

PENGELOLAAN RUMPUT LAUT (*Kappaphycus alvarezii*) BERBASIS EKOLOGIS SECARA SPASIAL DAN TEMPORAL DI PERAIRAN PESISIR BANTAENG

SEAWEED (*Kappaphycus alvarezii*) MANAGEMENT BASED ON ECOLOGY SPATIAL TEMPORAL IN BANTAENG COASTAL WATERS

ANDI ASNI



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

**PENGELOLAAN RUMPUT LAUT (*Kappaphycus
alvarezii*) BERBASIS EKOLOGIS SECARA SPASIAL
DAN TEMPORAL DI PERAIRAN PESISIR BANTAENG**

**Disertasi
Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Doktor**

**Program Studi
Ilmu Pertanian**

Disusun dan diajukan oleh

ANDI ASNI

kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2013**

RINGKASAN DISERTASI

**PENGELOLAAN RUMPUT LAUT (*Kappaphycus alvarezii*)
BERBASIS EKOLOGIS SECARA SPASIAL DAN TEMPORAL DI
PERAIRAN PESISIR BANTAENG**

**SEAWEED (*Kappaphycus alvarezii*) MANAGEMENT BASED ON
ECOLOGIES SPATIO-TEMPORAL IN BANTAENG COASTAL
WATERS**

ANDI ASNI



PROGRAM STUDI ILMU PERTANIAN

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2013

DISERTASI

**MODEL PENGELOLAAN RUMPUT LAUT
Kappaphycus alvarezii BERBASIS EKOLOGIS SECARA
SPASIAL DAN TEMPORAL DI PERAIRAN PESISIR
KABUPATEN BANTAENG**

Disusun dan diajukan oleh

ANDI ASNI
Nomor Pokok P0100308023

Telah dipertahankan didepan Panitia Ujian Disertasi

Pada tanggal

Dan telah dinyatakan memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasehat,

Prof. Dr. Ir. Syamsu Alam Ali, MS.
Promotor,

Prof. Dr. Abd. Wahid Wahab, M.Sc
Kopromotor,

Dr. Ir. Mukti Zainuddin, M.Sc
Kopromotor,

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Ilmu Pertanian,

Direktur Program Pasca Sarjana
Universitas Hasanuddin,

Prof. Ir. M. Saleh S Ali M.Sc. Ph.D

Prof. Dr. Ir. Mursalim

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Andi Asni
Nomor Mahasiswa : P0100308023
Program Studi : Ilmu Pertanian

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa disertasi yang saya tulis ini yang berjudul : 'Model Pengelolaan Rumput Laut (*Kappaphycus alvarezii*) Berbasis Ekologis Secara Spasial dan Temporal Di Perairan Pesisir Kabupaten Bantaeng', benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Maret 2013

Yang menyatakan,

ANDI ASNI

PRAKATA

Puji dan Syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, sebab dengan rahmat dan hidayah-Nya jualah maka penelitian dan penyusunan disertasi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Pelaksanaan penelitian yang dimulai dari penyusunan proposal hingga tersusunya disertasi ini telah melalui proses yang cukup panjang dan tidak sedikit kendala yang dihadapi namun berkat arahan dan bantuan berbagai pihak akhirnya disertasi ini dapat terselesaikan penyusunannya. Oleh karena itu dari lubuk hati yang paling dalam disampaikan penghargaan, rasa hormat dan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Syamsu Alam Ali, MS., Bapak Prof. Dr. Abd. Wahid Wahab, M.Sc., dan Bapak Dr. Ir. Mukti Zainuddin, M.Sc. Ucapan terima kasih dan penghargaan kepada Tim Penguji Bapak Prof. Dr. Ir. M. Natsir Nessa, MS., Prof. Dr. M. Guntur, MS. Prof. Dr. Ir. Ambo Tuwo, DEA. dan Dr. Ir. Rahmadi Tambaru, M.Si yang meberi masukan dan mengoreksi mulai dari penulisan proposal hingga selesainya disertasi ini.

Ucapan terima kasih dan penghargaan Kepada Ibu Rektor dan dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Muslim Indonesia yang telah memberi izin, bantuan materi dan moril selama kami menempuh pendidikan. Kepada Bapak Bupati Bantaeng dan Kepala Dinas Perikanan dan Kelautan atas bantuan materi dan moril

serta arahan selama melakukan penelitian di lapangan. Kepada rekan-rekan yang membantu baik di lapangan maupun pengolahan data masing-masing Bapak Dr. Ir. M. Hatta, M.Si, Ir. M. Saenong, MP., Ir. Rustam, MP., Saharuddin, S.Pi, MP., Asmidar, S.Kel. M.Si, Safar, Jamal, Iksan, Indrayani, S.Pi, MP. dan Arman, S.Pi, MP. Staf perpustakaan Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan Universitas Hasanuddin atas bantuannya meminjamkan buku referensi. Staf laboratorium kualitas air Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan dan staf laboratorium kimia analitik MIPA.

Dari lubuk hati yang dalam kupersembahkan penghargaan Kepada suamiku tercinta dan anak-anakku tersayang atas bantuan dan pengertiannya selama kami menempuh pendidikan sampai disertasi ini dapat terselesaikan. Kepada Kedua Orang tua tercinta dan mertua atas dukungan dan doanya yang senantiasa menyertai kami. Kepada semua pihak yang tidak dapat disebut satu persatu. Akhirnya dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa disertasi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangatlah penulis harapkan demi penyempurnaannya dimasa mendatang.

Makassar, Maret 2013

Andi Asni

ABSTRAK

ANDI ASNI. *Pengelolaan Rumput Laut (Kappaphycus alvarezii) Berbasis Ekologis Secara Spasial dan Temporal Di Perairan Pesisir Bantaeng* (dibimbing oleh Syamsu Alam Ali, Abd. Wahid Wahab dan Mukti Zainuddin).

Kabupaten Bantaeng merupakan salah satu lokasi sentra produksi rumput laut (*K. alvarezii*) yang masih perlu ditingkatkan produksinya. Penelitian bertujuan menganalisis (1) parameter lingkungan, produksi dan kualitas rumput laut berdasarkan jarak dari garis pantai dan musim (2) kondisi perairan yang sesuai untuk pengelolaan rumput laut berdasarkan tingkat kesesuaian lahan (3) model pengelolaan budidaya rumput laut yang optimal dan berkelanjutan

Penelitian dilaksanakan di perairan pesisir Kabupaten Bantaeng, pada bulan Juli 2011 sampai April 2012, menggunakan metode survey, eksperimen dan pengujian laboratorium. Ditetapkan 3 Stasiun 3 substasiun. Parameter lingkungan diamati setiap 2 minggu. Bobot rumput laut pada awal dan akhir untuk analisis karaginan dan logam berat. Analisis Univariat untuk analisis pengaruh musim dan jarak terhadap parameter lingkungan, produksi dan karaginan dan Regresi berganda hubungan antara parameter lingkungan dengan produksi dan karaginan dengan SPSS 15. ArcView GIS v 10.0 digunakan untuk kesesuaian lahan budidaya *K. alvarezii* dan software STELLA versi 9.0 untuk menganalisis model dinamik pengelolaan berkelanjutan.

Hasil penelitian ini menunjukkan musim dan jarak dari garis pantai ($P < 0,05$) terhadap parameter lingkungan, produksi dan karaginan. Produksi dan kadar karaginan lebih tinggi pada musim hujan pada jarak 1500 m dari pantai. Produksi rumput laut berkorelasi linear positif dengan kecerahan pada musim hujan, sedangkan pada musim kemarau salinitas, nitrat dan kecerahan. Karaginan berkorelasi linear dengan arus dan fosfat pada musim hujan, salinitas dan kecerahan pada musim kemarau. Pola sebaran parameter lingkungan berbeda secara spasial dan temporal. Pengelolaan pemanfaatan ruang budidaya rumput laut optimal berkelanjutan pada simulasi skenario 10 dengan produksi tertinggi dalam jangka waktu 10 tahun ke depan.

ABSTRACT

ANDI ASNI. Seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) Management Based on Ecologies Spatio-Temporal in Bantaeng Coastal Waters (Supervised by Syamsu Alam Ali, Abd. Wahid Wahab and Mukti Zainuddin).

Bantaeng district as one of seaweed production Centre in South Sulawesi were the utilization of seaweed cultivation area without control. The research aimed to analyses (1) environmental dynamics parameters, seaweed productivity and quality (2) water conditions that suitable to seaweed cultivation required (3) formulate seaweed management models. Research conducted in Bantaeng District waters from July 2011 through April 2012. Survey and experimental methods applied and also laboratory examination. Each station plots 3 substations. Environmental parameters measured biweekly for 45 days cultivation periods in each season. Samples for weighing, carrageenan and heavy metals collected at the start and the end of experiment. Statistical analyses with SPSS software performed to analyses the effects of season, locations and cultivation distance toward environmental parameters, seaweed production and carrageenan content. Arc View GIS 9.3 software used for analyzing suitability of water qualities for seaweed culture and STELLA 9.0 software used for analyzing dynamics models of sustainable seaweed culture.

Result of the study showed that seasons, locations and cultivation distance from coast line significantly affected environment parameters and productions. Season and distance significantly affected carrageenan content. Seaweed production and carrageenan content were higher in rainy season far from coast line. Seaweed production had positive linear correlation with water turbidity during rainy season and salinity, nitrate, turbidity during dry season. Carrageenan content had linear correlation with water current and phosphate. Distribution pattern for environment parameters were significantly difference spatially and temporally. Management for seaweed cultivation used was optimally and sustainable as shown in scenario 10 with the highest production for 10 years in the future.

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	Iv
ABSTRAK	Vi
ABSTRACT	Vii
DAFTAR ISI	Viii
DAFTAR TABEL	Xi
DAFTAR GAMBAR	Xii
DAFTAR LAMPIRAN	Xvii
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Perumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	7
D. Kegunaan Penelitian	7
E. Definisi dan Istilah	7
F. Kerangka Pemikiran	9
G. Hipotesis	12
II. TINJAUAN PUSTAKA	13
A. Klasifikasi dan Morfologi Rumput Laut	13
B. Produksi Rumput Laut	15
C. Karaginan Rumput Laut	16

D.	Parameter Lingkungan	22
E.	Model-Model Pengelolaan Budidaya Rumput Laut Berbasis Sistem Informasi Geografis	39
F.	Pengelolaan Rumput Laut	41
G.	Permodelan sistim Dinamik	45
III.	METODE PENELITIAN	47
A.	Waktu dan Tempat Penelitian	47
B.	Alat dan Bahan Penelitian	47
C.	Prosedur Penelitian	48
D.	Pengamatan dan Pengukuran Peubah	54
	1. Analisis Produktivitas Rumput Laut	54
	2. Analisis Kualitas Rumput Laut	55
	3. Pengukuran Parameter Faktor Lingkungan	55
E.	Analisis Data	57
	1. Analisis Statistik	57
	2. Analisa Kesesuaian Lahan	58
	3. Model Pengelolaan Rumput Laut	64
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	72
A.	Gambaran Umum Lokasi	72
	1. Administrasi	72
	2. Kecamatan Bissappu	73
	3. Kecamatan Bantaeng Kota	74
	4. Kecamatan Paju'kukang	75
	5. Topografi	76
	6. Iklim	77

B	Parameter Lingkungan	79
	1. Suhu	80
	2. Salinitas	83
	3. Nitrat	87
	4. Fosfat	91
	5. Kecepatan Arus	95
	6. Derajat Keasaman (pH)	99
	7. Kecerahan	102
	8. Logam Berat Cd, Pb dan Cu perairan	106
C.	Kesesuaian Lahan Budidaya <i>Kappaphycus alvarezii</i>	118
D.	Produksi Rumput Laut	121
	1. Produksi	121
	2. Pengaruh Jarak dari Garis Pantai dan Musim, terhadap Produksi Rumput Laut	123
	3. Hubungan Antara Paramater Lingkungan dengan Produksi Rumput Laut	124
E.	Kualitas Rumput Laut	128
	1. Karaginan	128
	1..1. Pengaruh Jarak dari Garis pantai dan Musim terhadap Kadar Karaginan Rumput Laut	130
	1.2. Hubungan Antara Paramater Lingkungan dengan Karaginan Rumput Laut	132
	2. Logam Berat Rumput Laut	134
	2.1. Logam Berat Cd, pada Rumput Laut	134
	2.2. Logam Berat Pb pada Rumput Laut	138
	2.3. Logam Berat Cu pada Rumput Laut	142
F.	Model Dinamik Untuk Regulasi Pengelolaan Rumput Laut	145
	1. Hasil Simulasi Model	145
	2. Perubahan Lahan Budidaya Rumput Laut	146
	3. Produksi Rumput Laut	156

V.	KESIMPULAN DAN SARAN	175
A.	Kesimpulan	175
B.	Saran	176
	DAFTAR PUSTAKA	177
	LAMPIRAN	188

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Unit-unit monomer karaginan	20
2.	Proyeksi pengembangan rumput laut tahun 2006-2009	44
3.	Kriteria penentuan jarak dari garis pantai	49
4.	Kriteria penentuan musim hujan dan kemarau	51
5.	Parameter Faktor Lingkungan yang Diamati dan Metode Pengukuran serta alat	56
6.	Kondisi dan persyaratan tumbuh <i>K.alvarezii</i>	56
7.	Matriks Kesesuaian Lahan	61
8..	Sistim Penilaian Kesesuaian Lahan	63
9.	Evaluasi kesesuaian Lahan	64
10.	Skenario yang di simulasikan	70
11.	Luas Wilayah Kabupaten Bantaeng	72
12.	Luas Wilayah Kecamatan Bissappu	73
13.	Luas Wilayah Kecamatan Bantaeng Kota	74
14.	Luas Wilayah Kecamatan Paju'kukang	75
15.	Rata-rata Pengukuran Parameter Lingkungan selama Penelitian pada Musim Hujan	79
16.	Rata-rata Pengukuran Parameter Lingkungan selama Penelitian pada Musim Kemarau	79

17	Uji BNT Suhu terhadap jarak dan garis pantai	83
18	Uji BNT Salinitas terhadap jarak dan garis pantai	86
19	Uji BNT Nitrat terhadap jarak dan garis pantai	90
20	Uji BNT Fosfat terhadap jarak dan garis pantai	95
21	Uji BNT Arus terhadap jarak dan garis pantai	98
22	Uji BNT Kecerahan terhadap jarak dan garis pantai	106
23	Uji BNT Produksi terhadap jarak dan garis pantai	124
24	Uji BNT Karaginan terhadap jarak dan garis pantai	131

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1.	Bagan Alur Pikir Penelitian	11
2.	Rumput Laut <i>Kappaphycus alvarezii</i>	14
3.	Struktur kimia kappa karaginan	18
4.	Struktur kimia iota karaginan	19
5.	Struktur dasar lambda karaginan	19
6.	Letak karaginan pada potongan melintang rumput laut	20
7.	Proses yang terjadi bila logam berat masuk ke lingkungan laut	31
8.	Peta Lokasi Penelitian	49
9.	Grafik kondisi awal parameter lingkungan pada Kedalaman (A), Kecerahan (B), Arus (C), dan Salinitas (D)	50
10	Budidaya Rumput laut metode Long Line	52
11	Diagram Model Dinamik Budidaya Rumput Laut di Perairan pesisir Kabupaten Bantaeng	71
12.	Jumlah Rata-rata curah hujan bulanan 2007-2011	78
13.	Peta sebaran suhu perairan musim hujan	80
14.	Peta sebaran suhu perairan musim kemarau	81
15.	Rata-Rata suhu perairan musim hujan dan kemarau	81
16.	Peta sebaran salinitas perairan musim hujan	84

17.	Peta sebaran salinitas perairan musim kemarau	85
18.	Rata-Rata salinitas perairan musim hujan dan kemarau	85
19.	Peta sebaran Nitrat perairan musim hujan	88
20.	Peta sebaran nitrat perairan musim kemarau	89
21.	Rata-Rata Nitrat perairan musim hujan dan kemarau	90
22.	Peta sebaran fosfat perairan musim hujan	92
23.	Peta sebaran fosfat perairan musim kemarau	93
24.	Rata-Rata fosfat perairan musim hujan dan kemarau	94
25.	Peta sebaran kec. Arus perairan musim hujan	95
26.	Peta sebaran kec. Arus perairan musim kemarau	96
27.	Rata-Rata kec. arus perairan musim hujan dan kemarau	97
28.	Peta sebaran pH perairan musim hujan	100
29.	Peta sebaran pH perairan musim kemarau	101
30.	Rata-Rata logam berat pH musim hujan dan kemarau	102
31.	Peta sebaran kecerahan perairan musim hujan	103
32.	Peta sebaran kecerahan perairan musim kemarau	104
33.	Rata-Rata kecerahan perairan musim hujan dan kemarau	105
34.	Peta sebaran logam berat Cd perairan musim hujan	107
35.	Peta sebaran logam berat Cd perairan musim kemarau	108

36.	Rata-Rata logam berat Cd perairan musim hujan dan kemarau	109
37.	Peta sebaran logam berat Pb perairan musim hujan	110
38.	Peta sebaran logam berat Pb perairan musim kemarau	111
39.	Rata-Rata logam berat Pb perairan musim hujan dan kemarau	112
40.	Peta sebaran logam berat Cu perairan musim hujan	115
41.	Peta sebaran logam berat Cu perairan musim kemarau	116
42.	Rata-Rata logam berat Cu perairan musim hujan dan kemarau	117
43.	Kesesuaian Lahan Budidaya Rumput Laut Musim Hujan	119
44.	Kesesuaian Lahan Budidaya Rumput Laut Musim Kemarau	120
45.	Peta sebaran Produksi Rumput laut musim hujan	121
46.	Peta sebaran Produksi Rumput Laut musim kemarau	122
47.	Rata-Rata Produksi Rumput Laut musim hujan dan kemarau	123
48.	Peta sebaran Karaginan Rumput laut musim hujan	128
49.	Peta sebaran Karaginan Rumput Laut musim kemarau	129
50.	Rata-Rata Karaginan Rumput Laut musim hujan dan kemarau	130
51.	Peta sebaran logam berat Cd Rumput laut musim hujan	135
52.	Peta sebaran logam berat Cd Rumput Laut musim kemarau	135
53.	Rata-Rata logam berat Cd Rumput Laut musim hujan dan kemarau	136
54.	Peta sebaran logam berat Pb Rumput laut musim hujan	139
55.	Peta sebaran logam berat Pb Rumput Laut musim kemarau	140

56.	Rata-Rata logam berat Pb Rumput Laut musim hujan dan kemarau	141
57.	Peta sebaran logam berat Cu Rumput laut musim hujan	143
58.	Peta sebaran logam berat Cu Rumput Laut musim kemarau	143
59.	Rata-Rata logam berat Cu Rumput Laut musim hujan dan kemarau	144
60.	Perubah Perubahan luas lahan budidaya rumput laut di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 1 sampai 4 dengan laju penambahan seperti 10 tahun terakhir dan proporsi berdasarkan jarak	147
61.	Perubah Perubahan luas lahan budidaya rumput laut di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 2 dengan laju penambahan seperti 10 tahun terakhir dan proporsi berdasarkan jarak	148
62.	Perubah Perubahan luas lahan budidaya rumput laut di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 3 dengan laju penambahan seperti 10 tahun terakhir dan proporsi berdasarkan jarak	149
63.	Perubah Perubahan luas lahan budidaya rumput laut di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 4 dengan laju penambahan seperti 10 tahun terakhir dan proporsi berdasarkan jarak	150
64.	Perubahan luas lahan budidaya rumput laut di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 5 dengan laju penambahan setengah dari laju penambahan 10 tahun terakhir dan proporsi berdasar kan jarak	151
65.	Perubahan luas lahan budidaya rumput laut di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 6 dengan laju penambahan setengah dari laju penambahan 10 tahun terakhir dan proporsi berdasar kan jarak	152
66.	Perubahan luas lahan budidaya rumput laut di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 7 dengan laju penambahan setengah dari laju penambahan 10 tahun terakhir dan proporsi berdasar kan jarak	153

67.	Perubahan luas lahan budidaya rumput laut di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 8 dengan laju penambahan setengah dari laju penambahan 10 tahun terakhir dan proporsi berdasarkan jarak	154
68.	Perubahan Perubahan luas lahan budidaya rumput laut di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 9 dengan tanpa penambahan lahan dan proporsi berdasarkan jarak	154
69.	Perubahan Perubahan luas lahan budidaya rumput laut di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 10 dengan tanpa penambahan lahan dan proporsi berdasarkan jarak	155
70.	Perubahan Perubahan luas lahan budidaya rumput laut di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 11 dengan tanpa penambahan lahan dan proporsi berdasarkan jarak	155
71.	Perubahan Perubahan luas lahan budidaya rumput laut di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 12 dengan tanpa penambahan lahan dan proporsi berdasarkan jarak	156
72.	Perubahan berat basah rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 1 dengan laju penambahan seperti 10 tahun terakhir dan proporsi berdasarkan jarak	157
73.	Perubahan berat basah rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 2 dengan laju penambahan seperti 10 tahun terakhir dan proporsi berdasarkan jarak	159
74.	Perubahan berat basah rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 3 dengan laju penambahan seperti 10 tahun terakhir dan proporsi berdasarkan jarak	160
75.	Perubahan berat basah rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 4 dengan laju penambahan seperti 10 tahun terakhir dan proporsi berdasarkan jarak	161

76.	Perubahan berat basah rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 5 dengan laju penambahan setengah dari laju penambahan 10 tahun terakhir dan proporsi berdasarakan jarak	162
77.	Perubahan berat basah rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 6 dengan laju penambahan setengah dari laju penambahan 10 tahun terakhir dan proporsi berdasarakan jarak	163
78.	Perubahan berat basah rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 7 dengan laju penambahan setengah dari laju penambahan 10 tahun terakhir dan proporsi berdasarakan jarak	163
79.	Perubahan berat basah rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 8 dengan laju penambahan setengah dari laju penambahan 10 tahun terakhir dan proporsi berdasarakan jarak	164
80.	Perubahan berat basah rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 9 dengan tanpa penambahan lahan dan proporsi berdasarakan jarak	164
81.	Perubahan berat basah rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 10 dengan tanpa penambahan lahan dan proporsi berdasarakan jarak	165
82.	Perubahan berat basah rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 11 dengan tanpa penambahan lahan dan proporsi berdasarakan jarak	166
83.	Perubahan berat basah rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 12 dengan tanpa penambahan lahan dan proporsi berdasarakan jarak	167
84.	Perubahan berat kering rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 9 dengan tanpa penambahan lahan dan proporsi berdasarakan jarak	170
85.	Perubahan berat kering rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 10 dengan tanpa penambahan lahan dan proporsi berdasarakan jarak	170
86.	Perubahan berat kering rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 11 dengan tanpa	171

penambahan lahan dan proporsi berdasar jarak

- | | | |
|-----|---|-----|
| 87. | Perubahan berat kering rumput laut hasil panen di Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 12 dengan tanpa penambahan lahan dan proporsi berdasar jarak | 171 |
| 88. | Perubahan kadar nitar dalam air di perairan Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 2 dengan tanpa penambahan lahan dan proporsi berdasarkan jarak | 173 |
| 89. | Perubahan kadar nitar dalam air di perairan Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 2 dengan tanpa penambahan lahan dan proporsi berdasarkan jarak | 173 |
| 90. | Perubahan kadar nitar dalam air di perairan Kabupaten Bantaeng berdasarkan hasil simulasi skenario 2 dengan tanpa penambahan lahan dan proporsi berdasarkan jarak | 174 |

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
1.	Cara Kerja Karaginan	188
2.	Cara Kerja Logam	189
3.	Data parameter lingkungan lengkap	191
4.	Hasil lengkap analisis Univariat Suhu Perairan Berdasarkan Musim, Lokasi, dan Jarak	196
5.	Hasil lengkap analisis Univariat Salinitas Perairan Berdasarkan Musim, Lokasi, dan Jarak	198
6.	Hasil lengkap analisis Univariat Nitrat Perairan Berdasarkan Musim, Lokasi, dan Jarak	200
7.	Hasil lengkap analisis Univariat Fosfat Perairan Berdasarkan Musim, Lokasi, dan Jarak	202
8.	Hasil lengkap analisis Univariat Arus Perairan Berdasarkan Musim, Lokasi, dan Jarak	203
9.	Hasil lengkap analisis Univariat pH Perairan Berdasarkan Musim, Lokasi, dan Jarak	205
10.	Hasil lengkap analisis Univariat Kecerahan Perairan Berdasarkan Musim, Lokasi, dan Jarak	206
11.	Hasil Analisis Univariat desain Faktorial pada Produksi Berdasarkan Musim, Lokasi, dan Jarak	209
12.	Hasil Analisis Regresi Berganda antara Produksi dengan Beberapa Parameter Lingkungan	211
13.	Hasil Analisis Univariat desain Faktorial pada Karaginan Berdasarkan Musim, Lokasi, dan Jarak	218
14.	Hasil Analisis Regresi Berganda antara Karaginan dengan Beberapa Parameter Lingkungan	220

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pengelolaan wilayah pesisir diperhadapkan pada berbagai masalah konflik kepentingan dan pemanfaatan lahan, sehingga cenderung mengesampingkan kepentingan perikanan. Sementara dampak dari semua kegiatan yang ada di pesisir akan mengarah ke laut. Akibatnya, kegiatan perikanan di laut sangat terpengaruh oleh berbagai aktivitas di wilayah pesisir. Oleh karena itu pengelolaan kegiatan perikanan dan budidaya di wilayah pesisir sangat diperlukan dalam rangka menjaga keberlanjutan produksi dan keamanan pangan.

Perkembangan budidaya rumput laut akhir-akhir ini di wilayah pesisir tumbuh sangat pesat. Hal ini berdampak pada pemanfaatan wilayah pesisir yang tidak beraturan dan cenderung mengganggu kegiatan lainnya, seperti kegiatan penangkapan ikan, budidaya ikan laut, jalur transportasi laut dan pariwisata. Disisi lain pemanfaatan ruang yang tidak memperhitungkan daya dukung lingkungan juga berdampak pada menurunnya produktivitas usaha rumput laut dari tahun ke tahun.

CCRF (*Code of Conduct for Responsible Fisheries*) (1995) menyatakan bahwa pengembangan akuakultur bertanggungjawab dan berkelanjutan secara ekologi dan menyediakan secara berimbang untuk kegiatan lain. Selanjutnya menurut Hosch (2009) bahwa akuakultur harus

diarahkan pada kegiatan yang lebih ramah lingkungan, direncanakan lebih baik, lebih bertanggung jawab dan berkelanjutan.

Kegiatan budidaya rumput laut dengan nilai komersial memiliki keuntungan lebih, sebab memiliki kemampuan efisiensi bioremediasi tinggi dan zat hara yang diserap dapat dikonversi menjadi produk biomassa (misalnya zat hara tenggelam) yang digunakan untuk pertumbuhannya. Selain berfungsi sebagai agen penyerap zat hara, rumput laut menjanjikan sumber biokimia yang bernilai tinggi (seperti antibiotik, kosmetik, dan tambahan nutrisi), dan makanan bernutrisi bagi organisme lain di sekitarnya (seperti abalone dan ikan) (Hayashi *et al.* 2010). Hal ini sesuai hasil penelitian Azis (2011) bahwa pengelolaan sumberdaya rumput laut memberikan hasil yang paling optimal yakni dengan asumsi penambahan limbah organik ke dalam perairan sebesar 50% dari kondisi yang ada.

Ada beberapa jenis rumput laut memiliki fungsi dapat memberikan pakan pada ikan-ikan karnivora (Neori *et al.*, 2007). Integrasi budidaya rumput laut dengan penangkapan ikan berhasil meningkatkan pendapatan petani rumput laut di Mamuju Utara (Najamuddin dkk. 2012). Beberapa peneliti melaporkan integrasi budidaya rumput laut dengan budidaya ikan mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan produktivitas rumput laut di suatu kawasan (Cuamo *et al.*, 1997; Hayashi *et al.*, 2008; Lombardi *et al.* 2006).

Rumput laut merupakan salah satu komoditas ekspor dan utama program revitalisasi perikanan yang diharapkan dapat berperan penting dalam peningkatan kesejahteraan masyarakat. Rumput laut *K. alvarezii* memiliki kandungan karaginan yang telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan utama dalam industri makanan, kosmetik, farmasi dan pupuk organik (Parenrengi *et al.* 2010 dan Aslan, 2011). Produksi rumput laut Indonesia ditargetkan meningkat dari tahun 2009 – 2014 yaitu menjadi 389 persen (Nurdjana, 2010). Untuk mewujudkan target tersebut diperlukan upaya optimalisasi potensi sumber daya untuk budidaya rumput laut. Pendekatan budidaya berdasarkan perubahan musim dan kualitas lingkungan secara ekologis yang optimal bagi pertumbuhan rumput laut yang tepat diharapkan menjadi acuan pengelolaan dan pemanfaatan lahan untuk peningkatan produksi rumput laut secara optimal dan berkelanjutan. Strategi pengembangan budidaya rumput laut di yang perlu diterapkan adalah mengacu pada pengelolaan lingkungan perairan berbasis ekologis, aspek teknologi dalam budidaya rumput laut dan penataan kawasan sesuai daya dukung lingkungan (Kamlasi, 2008).

Provinsi Sulawesi Selatan merupakan Provinsi penyumbang produksi rumput laut *Kappaphycus alvarezii* terbesar di Indonesia. Salah satu daerah penghasil rumput laut di Sulawesi Selatan adalah Kabupaten Bantaeng. Di sepanjang pesisir terdapat potensi perikanan laut yang cukup besar, di antaranya pengembangan rumput laut dengan potensi lahan 5.375 Ha (Dinas Perikanan dan Kelautan Bantaeng, 2011).

Perkembangan kegiatan rumput laut yang terjadi di wilayah pesisir Kabupaten Bantaeng dilihat dari pemanfaatan lahan budidaya berkembang pesat dan produksinya masih perlu ditingkatkan. Kondisi tersebut mengakibatkan kegiatan budidaya rumput laut di pesisir Kabupaten Bantaeng menjadi tidak terkendali. Masyarakat memanfaatkan hampir setiap jengkal laut pesisir untuk budidaya rumput laut, sehingga sepanjang garis pantai Kabupaten Bantaeng telah ditanami rumput laut yang diduga tanpa memperhitungkan daya dukung lahan. Hal ini terutama pada perairan dekat pantai dan yang jauh dari pantai belum banyak dimanfaatkan. Apabila hal ini terus berlanjut maka kemungkinan akan terjadi degradasi lingkungan terutama pada daerah yang dekat pantai dan akan berdampak pada produksi dan kualitas rumput laut. Dari informasi lapangan diketahui bahwa produktivitas usaha budidaya rumput laut di Kabupaten Bantaeng belum optimal sepanjang tahun dan bervariasi berdasarkan lokasi dan jarak dari garis pantai (Komunikasi Pribadi, 2011). Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dilakukan penataan lokasi dengan cara pengaturan proporsi pemanfaatan lahan berdasarkan jarak dari garis pantai dan waktu (musim hujan dan kemarau).

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka perlu dilakukan kajian pengelolaan rumput laut berbasis ekologis secara spasial (ruang atau jarak) dan temporal (waktu atau musim hujan dan kemarau), sehingga dapat menghasilkan rumput laut optimal dan berkelanjutan.

B. Rumusan Masalah

Salah satu daerah penghasil rumput laut di Sulawesi Selatan adalah Kabupaten Bantaeng. sepanjang 27,5 kilometer yang terbentang dari timur hingga ke barat yang tersebar dari pantai hingga ke arah laut Flores. Perkembangan kegiatan rumput laut yang terjadi di wilayah pesisir Kabupaten Bantaeng dilihat dari produksi dan area budidaya yang masih perlu ditingkatkan. Akan tetapi pengelolaannya belum optimal, baik dilihat dari penataan lahan secara ruang maupun secara waktu (musim hujan dan kemarau).

Permasalahan rumput laut sampai saat ini di Kabupaten Bantaeng adalah pemanfaatan lahan yang tidak terkendali akibat antusiasme masyarakat yang sangat tinggi terhadap kegiatan rumput laut sehingga sepanjang garis pantai Kabupaten Bantaeng, telah ditanami rumput laut sepanjang waktu yang diduga tanpa memperhitungkan daya dukung lahan secara ruang dan waktu atau musim. Apabila hal ini terus berlanjut tanpa adanya pengaturan penataan lahan, dikhawatirkan akan mengakibatkan daya dukung perairan untuk budidaya rumput laut terlampaui yang bisa menyebabkan degradasi lahan, pada akhirnya bisa berpengaruh terhadap produktivitas, kualitas dan kontinuitas produksi rumput laut. Disamping itu permasalahan yang lain adalah belum optimalnya pengembangan rumput laut sepanjang tahun, hal ini diduga akibat faktor lingkungan. Beberapa penelitian telah mengungkap mengenai faktor lingkungan namun penelitian tersebut masih terbatas pada lokasi tertentu dan dalam waktu

yang singkat. Faktor lingkungan yang diduga berpengaruh terhadap keberhasilan budidaya rumput laut adalah ketersediaan unsur hara (nitrat dan fosfat), suhu, salinitas, kecepatan arus, pH, kecerahan.

Keberadaan faktor lingkungan tersebut diduga bervariasi berdasarkan musim (hujan dan kemarau), lokasi dan jarak dari pantai. Oleh karena itu diperlukan suatu penelitian yang bersifat komprehensif dan detail, mulai dari jarak dari garis pantai dan musim serta regulasi pengelolaan rumput laut ke depan.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana parameter lingkungan mempengaruhi produksi dan kualitas rumput laut pada jarak dari garis pantai dan musim yang berbeda di wilayah pesisir Kabupaten Bantaeng?
2. Bagaimana kondisi perairan yang sesuai untuk mendukung pengelolaan rumput laut di wilayah pesisir Kabupaten Bantaeng berdasarkan tingkat kesesuaian lahan?
3. Bagaimana cara mengelola lahan budidaya rumput laut di wilayah pesisir Kabupaten Bantaeng sehingga produksi optimal dan berkelanjutan?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan pada latar belakang dan perumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh parameter lingkungan terhadap produksi dan kualitas rumput laut pada jarak dari garis pantai dan musim yang berbeda.
2. Menganalisis kondisi perairan yang sesuai untuk pengelolaan rumput laut wilayah pesisir Kabupaten Bantaeng berdasarkan tingkat kesesuaian lahan.
3. Menformulasikan model pengelolaan budidaya rumput laut yang optimal dan berkelanjutan.

D. Kegunaan Penelitian

Kegunaan dari penelitian ini adalah sebagai acuan dalam pengelolaan budidaya rumput laut secara optimal dan berkelanjutan di perairan pesisir Bantaeng, sehingga dapat menghasilkan rumput laut yang berkualitas dan produktif.

E. Definisi dan Istilah (Glosarium)

Beberapa definisi dan istilah yang digunakan dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Ekologis adalah : Hubungan timbal balik antara faktor lingkungan dengan rumput laut.

- b. Karaginan adalah : suatu bentuk polisakarida linear dengan berat molekul di atas 100 kDa dan merupakan senyawa hidrokoloid yang terdiri atas ester kalium, natrium, magnesium dan kalium sulfat dengan galaktosa 3,6 anhidrogalaktosa kopolimer.
- c. Logam Berat adalah unsur-unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari 5 g/cm³, terletak di sudut kanan bawah sistem periodik, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S dan biasanya bernomor atom 22 d. sampai 92 dari periode 4 sampai 7.
- d. Pola Sebaran Spasial-Temporal adalah Pola sebaran data yang memiliki ruang (lokasi dan jarak) dan waktu (musim hujan dan kemarau).
- e. Produksi rumput laut adalah : hasil bobot basah atau kering rumput laut yang didapatkan pada kegiatan usaha budidaya rumput laut.
- f. Pengelolaan adalah suatu upaya agar suatu perairan tetap memiliki fungsi/kemampuan memproduksi secara berkelanjutan dengan alami maupun melalui pemanfaatan.
- g. Pengelolaan rumput Laut adalah pengaturan waktu, lokasi dan jarak budidaya rumput laut berdasarkan kondisi lingkungan produktivitas dan kualitas rumput laut.
- h. Pengelolaan pesisir adalah suatu proses perencanaan, pemanfaatan, pengawasan dan pengendalian sumberdaya pesisir antar sektor antar pemerintah, antar ekosistem darat dan laut serta

antar ilmu pengetahuan dan manajemen untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

- i. Rumput Laut adalah : tumbuhan makro algae yang tidak memiliki daun, batang dan akar sebenarnya dan semua bagian tubuhnya terdiri dari batang yang disebut thallus.
- j. Wilayah Pesisir adalah : kawasan peralihan antara laut dan daratan, dimana batasan kawasan pesisir secara umum yaitu kearah laut masih dipengaruhi dampak daratan dan kearah darat masih dipengaruhi atau terkena dampak laut.

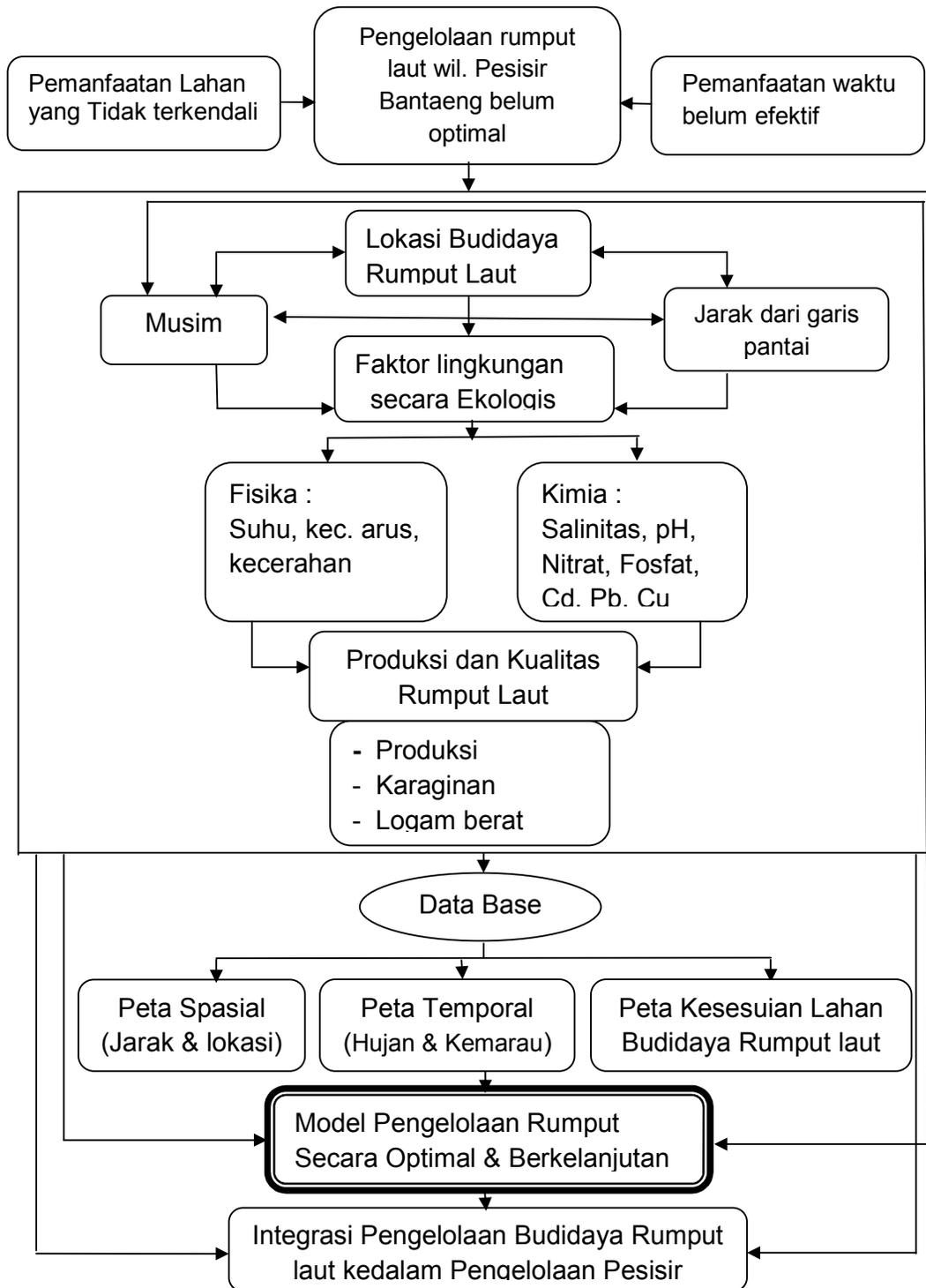
F. Kerangka Pemikiran

Pengelolaan rumput laut di pesisir Kabupaten Bantaeng belum optimal, diakibatkan oleh beberapa faktor diantaranya pemanfaatan lahan yang tidak terkendali yang menyebabkan pengelolaan yang tidak memperhitungkan azas kesesuaian dan daya dukung kawasan lingkungan. Apabila hal ini terus berlanjut maka akan terjadi degradasi lingkungan yang dapat menurunkan produktivitas dan kualitas rumput laut.

Faktor yang lain adalah pemanfaatan waktu pengembangan rumput laut yang belum efektif sepanjang tahun. Hal ini diduga akibat faktor lingkungan bervariasi berdasarkan jarak dari garis pantai dan musim. Kualitas lingkungan perairan pesisir dapat dipengaruhi oleh limbah di darat masuk ke perairan melalui sumber alamiah dan antropogenik yang

berasal dari kegiatan manusia. Penurunan kualitas lingkungan akan mempengaruhi pengembangan rumput laut.

Oleh karena itu perlu dikaji pengelolaan budidaya rumput laut secara ekologis (parameter lingkungan fisika dan kimia) dalam kaitannya dengan produksi dan kualitas rumput laut dalam bentuk pemetaan secara spasial (ruang atau jarak dan lokasi) dan temporal (waktu atau musim hujan dan kemarau), sehingga dapat menghasilkan model pengelolaan rumput laut yang optimal dan berkelanjutan. Kerangka pikir penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

G. Hipotesis

Hipotesis yang diuji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Parameter lingkungan mempengaruhi optimalisasi produksi dan kualitas rumput laut pada Jarak dari garis pantai dan musim yang berbeda.
2. Tidak semua wilayah perairan yang sesuai untuk budidaya budidaya rumput laut di wilayah pesisir Kabupaten Bantaeng, sehingga perlu melakukan analisis tingkat kesesuaian pemanfaatan lahan untuk pengelolaan rumput laut.
3. Pemanfaatan lahan secara optimal dan berkelanjutan di wilayah pesisir Kabupaten Bantaeng dapat ditentukan berdasarkan model pengelolaan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Klasifikasi dan Morfologi *Kappaphycus alvarezii*

Euchemma cottonii termasuk dalam kelas Rhodophyceae atau alga merah dan berubah nama menjadi *Kappaphycus alvarezii*. Nama *cottonii* adalah kata umum yang digunakan untuk menggambarkan sejumlah spesies *Euchemma* (Doty, 1988). Berdasarkan identifikasi fraksi karaginan yang dihasilkan oleh *Euchemma alvarezii* adalah tipe kappa karaginan, maka jenis ini secara taksonomi diubah namanya dari *Euchemma alvarezii* menjadi *Kappaphycus alvarezii*. Nama *alvarezii* yang secara khusus digunakan pada *Kappaphycus alvarezii* Doty merupakan penghargaan kepada almarhum Vicente (Vic) Alvarez yang merupakan seorang pionir metode penanaman *cottonii*. Klasifikasi *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty 1988, menurut Luning (1990) adalah sebagai berikut:

Kingdom : Plantae

Divisi : Rhodophyta

Kelas : Rhodophyceae

Ordo : Gigartinales

Famili : Solieraceae

Genus : *Euchemma*

Species : *Euchemma cottonii* atau

Kappaphycus alvarezii

Ciri fisik dari *Kappaphycus alvarezii* memiliki thallus silindris, permukaan licin, dan keadaan warnanya berubah-ubah kadang-kadang hijau, kuning, abu-abu atau merah. Perubahan warna terjadi karena faktor lingkungan. Penampakan thallus bervariasi mulai dari bentuk sederhana sampai kompleks. Duri-duri pada thallus runcing memanjang, agak jarang-jarang dan tidak tersusun melingkari thallus, percabangan kebagian arah dengan batang-batang utama keluar saling berdekatan ke daerah basal (Doty, 1987). Sedangkan ciri-ciri umum dari *K. alvarezii* yaitu thallus tegak lurus, silendris dengan dua sisi yang tidak sama lebarnya. Terdapat tonjolan-tonjolan (nodule) dan duri (spine), thallus berbentuk silendris atau pipih, bercabang-cabang tidak teratur, berwarna hijau kemerahan bila hidup (basah) dan bila kering berwarna kuning kecoklatan. Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rumput Laut *Kappaphycus alvarezii* (Sumber : Asni, 2011)

K. alvarezii merupakan rumput laut merah (Rhodophyta) yang kaya akan pigmen fotosintesis dan pigmen aksesoris lainnya, yaitu klorofil a, α -karoten, β -karoten, fikobilin, neozantin dan zeaxanthin (Luning,1990). Rumput laut (*Seaweeds*) merupakan salah satu tumbuhan laut yang tergolong tumbuhan tingkat rendah yang tidak memiliki daun, batang, dan akar sebenarnya tetapi semua bagian tubuhnya terdiri dari batang yang disebut *Thallus*. Rumput laut juga biasa disebut *algae* yang terdiri dari mikro algae dan makro algae yang banyak dimanfaatkan manusia dalam kehidupan sehari-hari.

B. Produksi Rumput Laut

Rumput laut merupakan tumbuhan laut yang memiliki syarat-syarat lingkungan tertentu agar dapat hidup dan tumbuh, dimana semakin sesuai kondisi lingkungan perairan dengan areal yang akan dibudidayakan akan semakin baik pertumbuhannya dan juga hasil produksi yang diperoleh (Sayaputra, 2005).

Produksi rumput laut juga dipengaruhi oleh habitat, menurut Patajai (2007) bahwa untuk memperoleh produksi rumput laut yang tinggi dengan kualitas yang baik maka rumput laut dapat dipelihara pada areal yang berhabitat atau mempunyai dasar karang yaitu produksi yang didapatkan 454,20 g rumpun⁻¹ dengan kandungan karaginan 73,03%. Sedangkan hasil penelitian Sattar (2004) produksi rumput laut tertinggi didapatkan 110,28 g dengan persentase karaginan 58,32%. Produktivitas rumput laut

dalam sekali panen rata-rata 500 kg berat kering/unit budidaya atau 2 000 kg berat kering/ha (Azis, 2011). Sedangkan menurut Latief (2012) bahwa faktor lokasi tidak tidak berpengaruh terhadap produksi rumput laut *K. alvarezii* tetapi faktor musim berpengaruh dimana pada waktu hujan memperlihatkan hasil produksi lebih tinggi dari pada waktu kemarau.

C. Karaginan Rumput Laut

Karaginan merupakan senyawa hidrokoloid yang terdiri atas ester kalium, natrium, magnesium dan kalium sulfat dengan galaktosa 3,6 anhidro galaktosa kopolimer. Karaginan adalah suatu bentuk polisakarida linear dengan berat molekul di atas 100 kDa (Winarno, 1996). Karaginan tersusun dari perulangan unit-unit galaktosa dan 3,6-anhidro galaktosa (3,6-AG). Keduanya baik yang berikatan dengan sulfat atau tidak, dihubungkan dengan ikatan glikosidik α -1,3 dan α -1,4 secara bergantian.

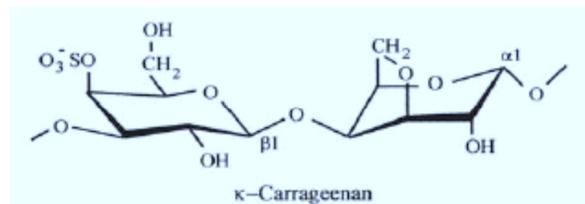
Menurut Hellebust dan Cragie (1978), karaginan terdapat dalam dinding sel rumput laut atau matriks intraselulernya dan karaginan merupakan bagian penyusun yang besar dari berat kering rumput laut dibandingkan dengan komponen yang lain. Jumlah dan posisi sulfat membedakan macam-macam polisakarida Rhodophyceae, seperti yang tercantum dalam Federal Register, polisakarida tersebut harus mengandung 20 % sulfat berdasarkan berat kering untuk diklasifikasikan sebagai karaginan. Berat molekul karaginan tersebut cukup tinggi yaitu berkisar 100 - 800 ribu (deMan, 1989). Karaginan merupakan getah rumput laut yang diperoleh dari hasil ekstraksi rumput laut merah

(Rhodophyceae) dengan menggunakan air panas (*hot water*) atau larutan alkali pada temperatur tinggi.

Karaginan merupakan nama yang diberikan untuk keluarga polisakarida linear yang diperoleh dari alga merah dan penting untuk pangan. Spesies *Eucheuma cottonii* merupakan penghasil kappa karaginan sedangkan spesies *Eucheuma spinosum* merupakan penghasil iota karaginan. Karaginan juga merupakan polisakarida yang berasal dari hasil ekstraksi alga. Karaginan terdiri dari *iota karaginan* dan *kappa karaginan* dimana kandungannya sangat bervariasi tergantung musim, spesies dan habitat. Dalam karaginan terdapat garam sodium, potasium dan kalsium. Karaginan potasium yang terdiri dari alfa karaginan dan B-karaginan sifatnya dapat larut dalam air panas, sedangkan karaginan sodium dapat larut dalam air dingin, sedangkan gel karaginan menempel pada dinding-dinding sel dalam jaringan thallus (Campo, et.al. 2009).

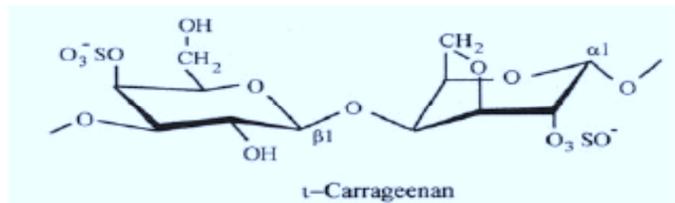
Doty (1987), membedakan karaginan berdasarkan kandungan sulfatnya menjadi dua fraksi yaitu kappa karaginan yang mengandung sulfat kurang dari 28 % dan iota karaginan jika lebih dari 30 %. Winarno (1996) menyatakan bahwa kappa karaginan dihasilkan dari rumput laut jenis *Eucheuma cottonii*, iota karaginan dihasilkan dari *Eucheuma spinosum*, sedangkan lambda karaginan dari *Chondrus crispus*, selanjutnya membagi karaginan menjadi 3 fraksi berdasarkan unit penyusunnya yaitu kappa, iota dan lambda karaginan.

Kappa karaginan tersusun dari α (1,3)-D-galaktosa-4-sulfat dan α (1,4)-3,6-anhidro-D-galaktosa. Karaginan juga mengandung D-galaktosa-6-sulfat ester dan 3,6-anhidro-D-galaktosa-2-sulfat ester. Adanya gugusan 6-sulfat, dapat menurunkan daya gelasi dari karaginan, tetapi dengan pemberian alkali mampu menyebabkan terjadinya transeeliminasi gugusan 6-sulfat, yang menghasilkan 3,6-anhidro-D-galaktosa. Dengan demikian derajat keseragaman molekul meningkat dan daya gelasinya juga bertambah (Winarno, 1996). Struktur kimia kappa karaginan dapat dilihat pada Gambar 3.



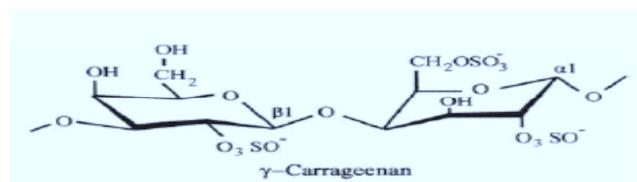
Gambar 3. Struktur kimia kappa karaginan.

Iota karaginan ditandai dengan adanya 4-sulfat ester pada setiap residu D-glukosa dan gugusan 2-sulfat ester pada setiap gugusan 3,6-anhidro-Dgalaktosa. Gugusan 2-sulfat ester tidak dapat dihilangkan oleh proses pemberian alkali seperti kappa karaginan. Iota karaginan sering mengandung beberapa gugusan 6-sulfat ester yang menyebabkan kurangnya keseragaman molekul yang dapat dihilangkan dengan pemberian alkali (Winarno,1996). Struktur kimia iota karaginan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur kimia iota karaginan.

Lambda karaginan berbeda dengan kappa dan iota karaginan, karena memiliki residu disulfat α (1-4) D-galaktosa, sedangkan kappa dan iota karaginan selalu memiliki gugus 4-fosfat ester (Winarno,1996). Struktur kimia lambda karaginan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur dasar lambda karaginan.

Monomer-monomer dalam setiap fraksi karaginan dihubungkan oleh jembatan oksigen melalui ikatan α -1,4 glikosidik. Monomer-monomer yang telah berikatan tersebut digabungkan bersama monomer-monomer yang lain melalui ikatan α -1,3 glikosidik yang membentuk polimer. Ikatan 1,3 glikosidik dijumpai pada bagian monomer yang tidak mengandung sulfat yaitu monomer D-galaktosa-4-sulfat dan D-galaktosa-2-sulfat. Ion sulfat tidak pernah ada pada atom C3, ikatan 1,4 glikosidik terdapat pada bagian monomer yang mengandung jembatan anhidro yaitu monomer-monomer 2,6-anhidro-D-galaktosa-2-sulfat dan 3,6-anhidro-D-galaktosa

serta pada D-galaktosa-2,6-disulfat. Unit-unit monomer karaginan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Unit-unit monomer karaginan

Fraksi karaginan	Monomer
Kappa	D-galaktosa 4-sulfat 3,6-anhidro-D-galaktosa
Iota	D-galaktosa 4-sulfat 3,6-anhidro-D-galaktosa 2-sulfat
Lambda	D-galaktosa 2-sulfat D-galaktosa 2,6-disulfat

Sumber: Towle (1973)

Pada potongan melintang, terlihat adanya rongga-rongga yang terisi oleh karaginan. Jenis karaginan yang dihasilkan oleh rumput laut *K.alvarezii* adalah kappa-karaginan yang terbentuk dari β -D-galaktosa-4-sulfat dan 3,6-anhidro-D-galaktosa melalui ikatannya (1-3) dan (1-4) dengan kandungan sulfat sekitar 25-30% dapat dilihat pada Gambar 6 (Glicksman, 1993 dalam Patadjai, 2007).



Gambar 6. Letak karaginan pada potongan melintang rumput laut (sumber: Patadjai, 2007)

Karaginan sangat penting peranannya sebagai *stabilizer* (penstabil), *thickener* (bahan pengentalan), pembentuk gel, pengemulsi,

penstabil, pensuspensi, pengikat, *protective*, *film former*, *syneresis inhibitor* dan *flocculating agent* (Aslan, 2011).

Anggadiredja, dkk., (2006), bahwa kualitas dan kuantitas cahaya matahari yang masuk ke perairan dapat menambah kandungan pigmen fikokieritrin pada rumput laut sehingga meningkatkan kandungan karaginan pada rumput laut yang dibudidayakan.

Sulistijo dan Atmadja (1996) melaporkan bahwa pertumbuhan rumput laut berkorelasi dengan kandungan karaginnannya, dimana saat pertumbuhan tinggi kandungan karaginan menurun. Hal ini disebabkan karena *Kappaphycus* sp. mempunyai 2 fase siklus kehidupan yaitu fase vegetatif dan generatif. Pada fase vegetatif, energi didistribusikan untuk pertumbuhan dan pembentukan karaginan. Kemudian dilanjutkan dengan fase generatif dimana energi untuk pembuatan karaginan direduksi untuk proses generatif sehingga kandungannya menurun sedangkan pertumbuhan tetap berjalan sampai mencapai titik maksimal.

Kadar karaginan dalam setiap spesies *Kappaphycus* sp. berkisar antara 54 - 73% tergantung pada jenis dan lokasinya, dimana di Indonesia karaginan rumput laut berkisar antara 61,5 - 67,5% (Sulistijo, 2002). Kualitas rumput laut yang terbaik dari kadar karaginan diperoleh dengan bibit dari asal ujung thallus yang dipanen pada minggu ke-4 atau pada usia tanam 4 minggu. Hubungan pertumbuhan dengan kadar karaginan berpola kuadratik, dimana semakin tinggi pertumbuhan bobot maka

semakin tinggi kadar karaginan sampai batas tertentu (minggu ke-4), kemudian menurun seiring dengan kenaikan pertumbuhan (Iksan, 2005).

D. Parameter Lingkungan

Faktor lingkungan mempengaruhi produktivitas dan kualitas rumput laut jenis *Kappaphycus alvarezii* yang dibudidayakan. Beberapa kondisi lingkungan yang mendukung kehidupan rumput laut antara lain : musim, suhu, salinitas, pH, kecepatan dan arus, kekeruhan, nitrat, fosfat, Cd, Pb, Cu.

1. Musim

Pertumbuhan dan produksi spora bagi rumput laut dipengaruhi oleh musim. Produksi maksimum tetraspora dan karpospora pada *Gracilaria* umumnya terjadi pada musim panas. Struktur gametofit dan sporofit pada musim panas (Patajai, 1997). Pada budidaya *Kappaphycus alvarezii* di Calatagan Philipina menunjukkan bahwa pertumbuhan yang baik terjadi pada musim hujan (Gunalan, *et. al.* 2010).

2. Suhu

Nybakken (1992), mengemukakan bahwa suhu merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam mengatur proses kehidupan dan penyebaran organisme. Suhu suatu perairan dipengaruhi oleh radiasi matahari, posisi matahari, letak geografis, musim, kondisi awan, serta proses interaksi antara air dan udara seperti alih panas (*heat*), penguapan, dan hembusan angin (Dahuri *et al.* 2004). Sedangkan

menurut Effendi (2003), suhu suatu badan air juga dipengaruhi oleh musim, lintang (*latitude*), ketinggian dari permukaan laut (*altitude*), waktu dalam hari, sirkulasi udara, penutupan awan, dan aliran serta kedalaman badan air.

Pada umumnya rumput laut dapat tumbuh baik di daerah yang mempunyai temperatur antara 26 – 33°C. Selain memerlukan tempat menempel, rumput laut juga memerlukan sinar matahari untuk dapat melangsungkan fotosintesis. Banyaknya sinar matahari yang masuk dalam air berhubungan erat dengan kecerahan air laut (Afrianto dan Liviawaty, 1989). Sedangkan menurut Gros 1992 *dalam* Patajai 2007 menyatakan bahwa rumput laut *Eucheuma* sp. mempunyai toleransi terhadap suhu 24 – 36°C.

Pengaruh suhu terhadap sifat fisiologi organisme perairan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi fotosintesis disamping cahaya. Perbedaan suhu terjadi karena adanya perbedaan energi matahari yang diterima oleh perairan. Suhu akan naik dengan meningkatnya energi matahari yang masuk ke dalam perairan.

Suhu mempunyai peran yang sangat penting bagi kehidupan dan pertumbuhan rumput laut. Suhu air dapat berpengaruh terhadap beberapa fungsi fisiologis rumput laut seperti fotosintesis, respirasi, metabolisme, pertumbuhan dan reproduksi. Rumput laut mempunyai kisaran suhu yang spesifik karena adanya enzim pada rumput laut yang tidak dapat berfungsi pada suhu yang terlalu dingin maupun terlalu panas.

Secara prinsip suhu yang tinggi dapat menyebabkan protein mengalami denaturasi, serta dapat merusak enzim dan membran sel yang bersifat labil terhadap suhu yang tinggi. Pada suhu yang rendah, protein dan lemak membran dapat mengalami kerusakan sebagai akibat terbentuknya kristal di dalam sel.

Menurut Sulistijo (2002) bahwa kisaran suhu perairan yang baik untuk rumput laut *Kappaphycus* adalah 27 – 30 °C. Atmaja (1996) menyatakan suhu yang dikehendaki pada budidaya rumput laut *K. alvarezii* berkisar antara 27 - 29 °C. Sedangkan Ditjenkanbud (2005) melaporkan bahwa pada kisaran suhu 27 - 29 °C *Eucheuma* memberikan laju pertumbuhan rata-rata di atas 5 %.

3. Salinitas

Menurut Boyd (1990), salinitas merupakan konsentrasi rata-rata seluruh garam yang terdapat dalam air laut. Konsentrasi ini pada umumnya sebesar 35 % dari berat seluruhnya dan biasanya lebih sering disebut bilangan perseribu atau ‰ (permil).

Dahuri *et al.* (2004), menjelaskan bahwa salinitas suatu perairan dipengaruhi oleh keadaan lingkungannya (muara sungai atau gurun pasir), musim, serta interaksi antara laut dengan daratan/gunung es. Kisaran salinitas air laut berada antara 0 – 40 ‰, yang berarti kandungan garam berkisar antara 0 – 40 g/kg air laut. Secara umum, salinitas permukaan perairan Indonesia rata-rata berkisar antara 32 – 34 ‰.

Salinitas dapat berpengaruh terhadap proses osmoregulasi pada tumbuhan rumput laut (Aslan1998). Salinitas yang tinggi dapat menghambat pertumbuhan rumput laut. Selanjutnya merekomendasikan salinitas yang cocok untuk budidaya rumput laut berkisar antara 30 – 37 ‰.

Salinitas perairan berperan penting bagi organisme laut terutama dalam mengatur tekanan osmose yang ada dalam tubuh organisme dengan cairan lingkungannya. Mekanisme *osmoregulasi* pada alga dapat terjadi dengan menggunakan asam amino atau jenis-jenis karbohidrat. Doty (1987) menyatakan bahwa salinitas yang dikehendaki *Eucheuma sp.* berkisar 29 - 34 ppt. Rumput laut *Eucheuma sp.* hidup dan tumbuh pada perairan dengan kisaran salinitas antara 33 – 35 ‰ dengan nilai optimal 33 ‰ (Afrianto dan Liviawaty, 1989).

4. Nitrat

Nitrat (NO_3) adalah salah satu bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan tanaman dan algae. Nitrat nitrogen sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan (Effendi, 2003).

Distribusi vertikal nitrat di laut menunjukkan bahwa kadar nitrat semakin tinggi bila kedalaman bertambah. Sedangkan distribusi horizontal kadar nitrat makin tinggi menuju ke arah pantai dan kadar tertinggi biasanya ditemukan di perairan muara. Peningkatan kadar nitrat

di laut disebabkan oleh masuknya limbah domestik atau pertanian (pemupukan) yang umumnya banyak mengandung nitrat (Hutagalung dan Rozak, 1997).

Setiap jenis alga, untuk keperluan pertumbuhannya memerlukan kandungan nitrat yang berbeda-beda. Agar fitoplankton dapat tumbuh optimal diperlukan kandungan nitrat antara 0.9-3.5 ppm, tetapi apabila kandungan nitrat di bawah 0.1 atau diatas 4.5 ppm maka nitrat akan menjadi faktor pembatas (Sulistijo dan Atmadjaya, 1996). Sedangkan menurut Aslan (1998), kisaran kadar nitrat yang sesuai untuk budidaya rumput laut adalah antara 0.9 – 3.5 ppm.

5. Kecepatan dan arah Arus Arus

Arus merupakan gerakan mengalir suatu massa air yang dapat disebabkan tiupan angin, perbedaan densitas air laut dan pasang surut yang bergelombang panjang dari laut terbuka (Nontji, 1981). Angin yang berhembus di atas permukaan dan menghasilkan suatu pergerakan arus yang horizontal yang lamban dan mengangkut satu satuan volume air yang sangat besar dengan melintasi jarak yang cukup jauh di lautan. Demikian pula arus dapat menentukan pergeseran daerah biogeografis melalui pemindahan air laut yang lebih hangat ke daerah yang lebih dingin atau sebaliknya (Nybakken, 1986).

Gerakan air selain berfungsi untuk mensuplai zat hara juga membantu memudahkan rumput laut menyerap zat hara, membersihkan kotoran yang ada, dan melangsungkan pertukaran CO₂ dan O₂ sehingga

kebutuhan oksigen tidak menjadi masalah. Penyerapan zat hara dilakukan melalui seluruh bagian tanaman, selama ini ketersediaan zat hara tidak menjadi faktor penghambat pertumbuhan tanaman. Hal ini berarti zat hara yang ada di laut masih cukup, bahkan berlebihan untuk kebutuhan rumput laut karena adanya sirkulasi yang baik, *run-off* dari darat dan gerakan air. Arus dan ombak yang berkekuatan besar dapat menyebabkan kerusakan pada tanaman seperti patah, atau terlepas dari substratnya. Selain itu penyerapan zat hara dapat terhambat karena belum sempat diserap telah dibawa kembali oleh arus. Arus dan ombak yang besar di perairan pantai juga menyebabkan perairan menjadi keruh sehingga mengganggu proses fotosintesis tanaman.

Pergerakan arus mempunyai peranan penting dalam penyebaran unsur hara di laut. Menurut Sulistijo (1994) menyatakan salah satu syarat untuk menentukan lokasi budidaya rumput laut *E. Cottonii* adalah adanya arus dengan kecepatan 0,33 – 0,66 m/detik.

6. pH

Nybakken (1992) menyatakan jumlah ion hidrogen dalam suatu larutan merupakan tolak ukur keasaman. Nilai pH merupakan hasil pengukuran konsentrasi ion hidrogen dalam larutan dan menunjukkan keseimbangan antara asam dan basa air. Adanya karbonat, hidroksid dan bikarbonat akan meningkatkan kebasaaan air, sementara adanya asam-asam mineral bebas dan asam bikarbonat akan meningkatkan keasamannya.

Menurut Aslan (1998), kisaran pH yang sesuai untuk budidaya rumput laut adalah yang cenderung basa. Djurjani (1999) menyatakan bahwa rumput laut umumnya dapat tumbuh dengan baik pada kisaran pH antara 6,5 – 9,5.

7. Fosfat

Fosfat di perairan merupakan bentukan dari fosfat. Secara umum fosfat tidak ditemukan dalam bentuk bebas di perairan sebagai elemen, melainkan dalam bentuk senyawa anorganik yang terlarut dan senyawa organik yang bersifat partikulat. Fosfat membentuk kompleks dengan ion besi dan kalsium pada kondisi aerob, bersifat tidak larut dan mengendap pada sedimen sehingga fosfat tidak dapat dimanfaatkan oleh algae akuatik (Jeffries dan Mills, 1996 *dalam* Effendi, 2003).

Sumber alami fosfat di perairan adalah pelapukan batuan mineral. Selain itu fosfat juga berasal dari dekomposisi bahan organik. Sumber antropogenik fosfat adalah limbah industri dan domestik, yakni fosfat yang berasal dari detergen. Limpasan dari daerah pertanian yang menggunakan pupuk juga memberikan kontribusi yang cukup besar bagi keberadaan fosfat. Kadar fosfat total pada perairan alami jarang melebihi 1 mg/liter (Boyd, 1988)

Fosfat dapat menjadi faktor pembatas baik secara temporal maupun spatial karena sumber fosfat yang lebih sedikit di perairan. Kisaran fosfat yang optimal untuk pertumbuhan rumput laut adalah 0.051 - 1.00 ppm (Indriani dan Sumiarsih, 1991).

7. Kecerahan

Kecerahan dimaksudkan adalah besarnya jarak tembus cahaya matahari yang masuk ke dalam kolom air pada suatu perairan. Kondisi yang cerah atau jernih sangat baik untuk lokasi budidaya rumput laut. Pada perairan cerah jarak tembus cahaya matahari ke dalam perairan semakin besar sehingga dapat membantu rumput laut melakukan proses fotosintesis dengan sempurna. Kecerahan suatu perairan selain dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam perairan, juga dipengaruhi oleh tingkat kekeruhan perairan tersebut.

9. Logam Berat Cd, Pb, Cu.

Logam yang masuk ke dalam perairan laut akan mengalami pengendapan, pengenceran dan dispersi, kemudian dapat diserap oleh organisme dan tumbuhan laut. Proses yang terjadi bila zat pencemar masuk ke perairan dapat dilihat pada Gambar 7 (EPA, 1973 *dalam* Hutagalung, 1990).

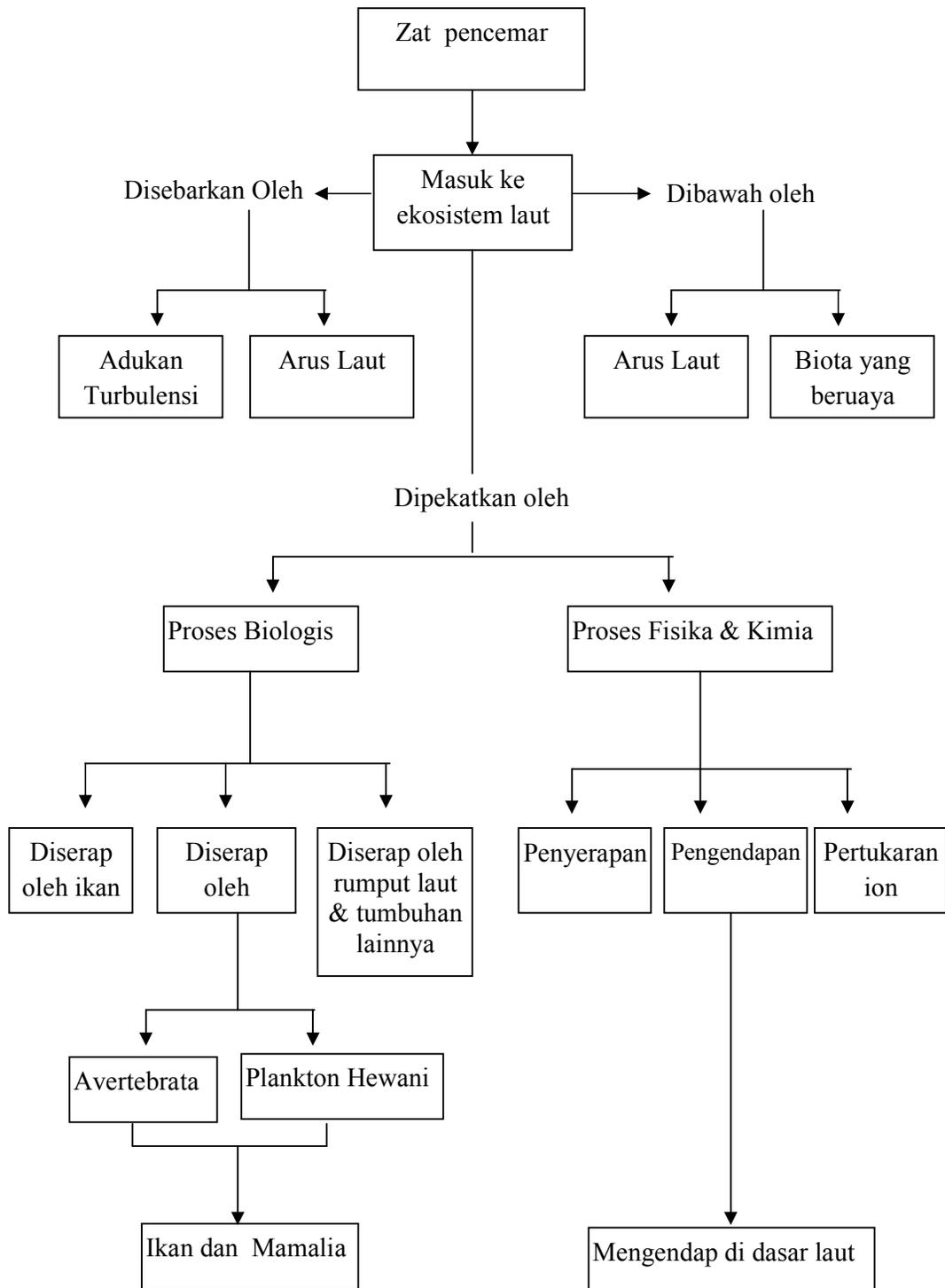
Makroalga mempunyai ambang batas kemampuan dalam mengakumulasi bahan pencemaran khususnya logam berat, jika melampaui batas tertentu, maka bahan pencemar akan merusak sistem jaringan dalam tubuh alga yang dapat mengakibatkan efek lethal dan sub lethal (Villaresa *et al.* 2002; Hashima & Chu 2004; Javaid *et al.*, 2011).

Logam berat yang terdapat di perairan dapat diserap dan terakumulasi dalam thallus rumput laut. Pada prinsipnya logam berat mempengaruhi tumbuhan dengan cara mengganti kedudukan ion-ion

esensial dalam sel. Rumput laut bermanfaat dalam menyerap logam berat sehingga kandungan logam berat yang mencemari badan perairan dapat pindah atau masuk dalam thallus rumput laut. Logam berat dapat mengacau sistem metabolisme dan menurunkan produktifitas rumput laut (Suresh *et al.* 2007; Vijayaraghavan *et al.* 2009; Rajfur *et. al.*, 2010).

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa berbagai spesies alga terutama dari golongan alga hijau (Chlorophyta), alga coklat (Phaeophyta), alga merah (Rhodophyta) baik dalam keadaan sel hidup atau sel mati (biomassa) memiliki kemampuan yang cukup tinggi untuk mengadsorpsi ion-ion logam (Stripeikis *et.al.* 1999; Lozana *et al.* 2003; Romera *et al.* 2007).

Akumulasi logam berat dipengaruhi oleh lama pemaparan. Hal ini dapat menyebabkan semakin lama pemaparan maka semakin banyak logam berat khususnya Pb yang terakumulasi dalam thallus (Muslih, 2009). Selanjutnya dikatakan *Eucheuma cottonii* merupakan rumput laut yang memiliki kemampuan untuk mengakumulasi Pb dalam thallusnya. Timbal menyebabkan penurunan kandungan klorofil dan fikoeritrin. Semakin besar konsentrasi Pb media dan semakin lama pemaparan maka semakin besar Pb yang terakumulasi dan semakin sedikit kandungan klorofil dan fikoeritrin thallus *E.cottonii*. Nilai serapan tertinggi berturut-turut Pb > Cd > Cu > Zn > Ni. Daya serap alga terhadap logam berturut-turut alga coklat > alga merah > alga hijau.



Gambar 7. Proses yang terjadi bila logam berat masuk ke lingkungan laut (EPA dalam Hutagalung 1990)

Alginat yang terkandung pada alga coklat bertanggung jawab terhadap penyerapan logam (Romera *et al.*, 2007; Baral 2009; Akcali, 2010). Alginat adalah umum digunakan polisakarida berdasarkan biosorben dan dihasilkan dari algin yang memiliki molekul tinggi (Williams and Edyvean, 1997; Figueira *et al.*, 2000; Morisson *et al.*, 2008).

Akumulasi logam berat Pb dan Cu pada rumput laut yang dipelihara di perairan Kabupaten Takalar meningkat sejalan dengan lamanya waktu pemeliharaan dengan umur yang berbeda, yaitu pada umur 0 sampai minggu ke VI dimana Pb 1,909 – 14,840 mg/kg dan Cu 0,827 – 4,417 mg/kg (Munir, 2009). Purnomo (2009) menjelaskan bahwa cara pengambilan (absorpsi) logam berat pada tumbuhan air, yaitu sebagai berikut :

1. *Passive uptake*. Proses ini terjadi ketika ion logam berat terikat pada dinding sel biosorben. Mekanisme passive uptake dapat dilakukan dengan dua cara, pertama dengan cara pertukaran ion di mana ion pada dinding sel digantikan oleh ion-ion logam berat; dan kedua adalah pembentukan senyawa kompleks antara ion-ion logam berat dengan gugus fungsional seperti karbonil, amino, thiol, hidroksi, fosfat, dan hidroksi-karboksil secara bolak balik dan cepat. Sebagai contoh adalah pada *Sargassum sp.* dan *Eklonia sp.* di mana Cr(6) mengalami reaksi reduksi pada pH rendah menjadi Cr(3) dan Cr(3) di-remove melalui proses pertukaran kation.

2. *Aktif uptake*. Mekanisme masuknya logam berat melewati membran sel sama dengan proses masuknya logam esensial melalui sistem

transpor membran, hal ini disebabkan adanya kemiripan sifat antara logam berat dengan logam esensial dalam hal sifat fisika-kimia secara keseluruhan. Proses aktif uptake pada mikroorganisme dapat terjadi sejalan dengan konsumsi ion logam untuk pertumbuhan dan akumulasi intraselular ion logam.

Alga mempunyai kemampuan yang cukup tinggi dalam mengabsorpsi logam berat karena di dalam alga terdapat gugus fungsi yang dapat melakukan pengikatan dengan ion logam. Gugus fungsi tersebut terutama gugus karboksil, hidroksil, amina, sulfidril, imadazol, sulfat dan sulfonat yang terdapat dalam dinding sel dalam sitoplasma (Davis & Mucci 2003; Kamala *et al.*, 2008). Dari hasil penelitian Ramlah (2008) menunjukkan bahwa jumlah logam Cd yang terakumulasi pada *E. cottonii* semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu kontaminasi, dimana ion logam Cd yang teradsorpsi pada rumput laut *E. cottonii* paling tinggi pada hari ke-5 yaitu sebesar 1,173 mg/g basah, kemudian menurun pada hari ke-10 dan hari ke-15 karena kemungkinan disebabkan oleh ketidakstabilan ikatan antara biosorben rumput laut dengan ion logam sehingga sebagian dari partikel ion logam Cd terlepas kembali. Setelah hari ke-5 rumput laut mengalami keracunan yang ditandai dengan adanya klorosis pada thallus. Klorosis mempengaruhi proses fotosintesis dan menyebabkan thallus menjadi kuning kemudian tidak berwarna sama sekali.

Kadmium (Cd) menjadi populer setelah timbulnya pencemaran sungai di wilayah Kumamoto Jepang yang menyebabkan keracunan pada manusia. Pencemaran lingkungan oleh kadmium sudah merupakan masalah penting, dimana pencemaran kadmium pada air minum di Jepang menyebabkan terjadinya penyakit itai-itai. Gejala penyakit ini ditandai dengan ketidak-normalan tulang dan beberapa organ tubuh menjadi mati.

Konsentrasi standar maksimum yang diperbolehkan untuk Cd dalam air menurut Departemen Kesehatan RI dan WHO adalah 0,01 mg/l, (Sutrisno dan Suciastuti, 1987) namun untuk standar negara-negara Eropa adalah 0,05 mg/l (Andersen *et al.*, 1996). FAO dan WHO merekomendasikan bahwa konsentrasi Cd pada daging makanan laut yang layak bagi kesehatan adalah lebih kecil dari 0,95 mg/kg berat (Andersen *et al.*, 1996) sebaliknya Dirjen Pengawasan Obat dan makanan merekomendasikan tidak lebih dari 2,0 mg/kg (Gan *et al.*, 1995).

Keracunan kronis yang disebabkan oleh Cd terutama pada kerusakan sistem fisiologis tubuh seperti sistem urinaria (ginjal), sistem respirasi, sistem sirkulasi darah dan jantung, penciuman, kelenjar reproduksi, dan kerapuhan tulang (Frenet & Alliot 1985; Darmono, 1995).

Keberadaan logam Cd secara simultan dapat mempengaruhi logam Cu dalam organisme atau tumbuhan, dimana salah satu sifat logam Cd memiliki kemampuan untuk menggantikan keberadaan logam-logam lain yang terdapat dalam metalloprotein termasuk logam Cu dapat digantikan

oleh Cd sehingga peran Cu dalam pembentukan ikatan-ikatan kovalen antar molekul protein terganggu. Apabila Cd bercampur dengan Cu, akumulasi Cu terhambat dan akumulasi Cd tetap meningkat (Rompas, *et. al.* 2009 dan Rompas, 2010). Lebih lanjut dikatakan bahwa dari beberapa logam yang telah diteliti ternyata Cd merupakan logam yang peneterasi dan akumulasinya dalam jaringan organisme tidak terpengaruh terhadap hadirnya logam lain.

Timbal (Pb) adalah jenis logam yang lunak dan berwarna coklat kehitaman serta mudah dimurnikan. Dalam bahasa ilmiahnya dinamakan plumbum dan logam ini disimbolkan dengan Pb. Logam ini termasuk ke dalam logam golongan IV A pada tabel periodik unsur kimia (Darmono1995), selanjutnya mempunyai nomor atom (NA) 82 dengan bobot atau berat atom (BA) 207,2 (Palar, 2004).

Menurut Palar (2004) logam timbal mempunyai sifat sebagai berikut :

1. Merupakan logam yang lunak, sehingga dapat dipotong dengan menggunakan pisau atau dengan tangan dapat dibentuk dengan mudah.
2. Merupakan logam yang tahan terhadap peristiwa korosi atau karat sehingga sering digunakan sebagai bahan *coating*.
3. Mempunyai titik lebur rendah, hanya 327,5°C.
4. Mempunyai kerapatan yang lebih besar dibandingkan dengan logam-logam biasa, kecuali emas dan merkuri.
5. Merupakan penghantar listrik yang baik.

Menurut Palar (1994), timbal digunakan dalam industri kimia yang berbentuk tetraetil-Pb, yang biasanya dicampur dengan bahan bakar minyak untuk melindungi mesin supaya awet. Persejawaan Pb dan Cr digunakan secara luas dalam industri cat. Pembakaran bahan bakar minyak oleh kapal-kapal merupakan sumbangan terbesar polusi timbal di perairan. Logam berat timbal yang terkandung dalam bahan bakar sebagai anti pemecah minyak (seperti Pb tetraetil dan tetrametil) ini kemudian dilepaskan ke atmosfer melalui alat pembuangan asap dan bagian ini kemudian terlarut dalam laut.

Timbal (Pb) tersebar luas pada batuan dan tanah dari kerak bumi dengan konsentrasi utama hanya 12-20 ppm. Pb dan persenyawaannya dapat berada di dalam badan perairan secara alamiah dan sebagai dampak dari aktivitas manusia. Secara alamiah, Pb dapat masuk ke badan perairan melalui pengkristalan Pb di udara dengan bantuan air hujan. Pb yang masuk ke badan perairan sebagai dampak dari aktivitas kehidupan manusia dengan berbagai macam bentuk. Di antaranya yaitu air buangan (limbah) dari industri yang berkaitan dengan Pb, air buangan dari pertambangan bijih timah dan buangan sisa industri baterai. Buangan-buangan tersebut jatuh pada jalur-jalur perairan seperti anak-anak sungai untuk kemudian terus menuju lautan. Umumnya jalur buangan dari sisa perindustrian yang menggunakan Pb akan merusak tata buangan lingkungan perairan yang dimasukinya (Palar, 2004).

Timbal tidak termasuk unsur yang esensial bagi makhluk hidup, bahkan unsur ini bersifat toksik bagi hewan dan manusia karena dapat terakumulasi pada tulang. Toksisitas timbal terhadap tumbuhan relatif rendah dibandingkan dengan unsur renik lainnya (Effendi, 2003). Timbal (Pb) sebagai bahan pencemar karena daya toksisitas yang tinggi terhadap manusia yakni dapat menghambat perkembangan otak pada anak-anak. Dalam dosis yang tinggi Pb dapat menyebabkan penyumbatan sel-sel darah merah dan mempengaruhi anggota tubuh lainnya. Keracunan Pb dalam darah dapat menyebabkan anemia (Gan *et al.*, 1995). Daya racun Pb lebih rendah dibandingkan dengan raksa (Hg) dan kadmium (Cd), tetapi kronis dan kumulatif (Hutagalung dan Hamidah, 1981). Keracunan Pb dapat menyebabkan keracunan yang akut dan kronis. Keracunan akut ditandai oleh rasa terbakarnya mulut, terjadinya perangsangan dalam gastrointestinal dan disertai diare. Sedangkan gejala keracunan kronis ditandai dengan rasa mual, anemia, sakit di sekitar perut dan dapat menyebabkan kelumpuhan.

FAO dan WHO merekomendasikan bahwa konsentrasi Pb pada daging makanan laut yang layak bagi kesehatan adalah lebih kecil dari 0,715 mg/kg (Andersen *et al.*, 1996), sedangkan Dirjen Pengawasan Obat dan makanan RI merekomendasikan tidak lebih dari 2,0 mg/kg (Gan *et al.*, 1995).

Tembaga (Cu) merupakan logam berat yang dijumpai pada perairan alami dan merupakan unsur esensial bagi tumbuhan dan hewan.

Pada alga, tembaga berperan sebagai penyusun plastocyanin yang berfungsi dalam transport elektron dalam proses fotosintesis (Boney, 1989).

Meskipun tembaga merupakan logam berat yang sangat membahayakan bagi manusia, tetapi sangat dibutuhkan oleh organisme sebagai unsur mikro yang berperan dalam pembentukan enzim oksidatif dan pembentukan kompleks Cu-protein sebagai bahan pembentuk haemoglobin, kolagen, pembuluh darah dan myelin otak. Penyerapan Cu dilakukan melalui insang dan saluran pencernaan (Darmono, 1995). Pada perairan laut kadar tembaga berkisar antara 0,001 - 0,025 mg/L.

Logam tembaga (Cu) adalah unsur logam yang berbentuk Kristal dengan warna logam kemerahan. Logam Cu banyak digunakan pada industri alat-alat listrik, industri galangan kapal sebagai campuran bahan pengawet, industri pengelolaan kayu, katalis, oligisida dan buangan rumah tangga (Hutagalung 1984 dan Palar, 1994). Kandungan Cu pada konsentrasi rendah tidak berbahaya, tetapi jika pada konsentrasi tinggi dapat merusak ginjal. Logam Cu pada dosis 0,2 mg/hari dapat merusak hati (Wardhana 1995). Menurut DepKes RI (1983), batas maksimum Cu yang diperbolehkan dalam makanan adalah sebesar 20 ppm, sedangkan menurut FAO/WHO (1972) batas maksimumnya adalah sebesar 1 ppm.

Rumput laut dapat menyerap logam berat yang terdapat di perairan karena termasuk memiliki sifat sebagai bioabsorpsi (Sudiarta 2009 ; Davis *et al.* 2000; Figuera *et al.* 2000; Hashim dan Chu 2004; Martin *et al.*,

2006). Silvanindya (2003), menemukan bahwa *Eucheuma cottonii* yang dibudidayakan di perairan Situbondo mengakumulasi Pb dengan konsentrasi rata-rata berkisar antara 0,19 – 0,94 ppm, yang menyebabkan laju pertumbuhan *Eucheuma cottonii* menurun.

E. Model-Model Pengelolaan Budidaya Rumput Laut Berbasis Sistem Informasi Geografis

Model Sistem Informasi Geografis (SIG) sebagai alat yang digunakan untuk pengumpulan, penyimpanan, mendapatkan informasi dan menampilkan suatu data untuk tujuan tertentu. Data yang dimaksud meliputi data spasial atau ruang maupun data atribut. Pada prinsipnya sistem informasi geografis mempunyai beberapa langkah yang berurutan dan berkaitan erat mulai dari perencanaan, penelitian, persiapan, inventarisasi, pemetaan tematik, penggabungan peta, mengedit hingga pemetaan secara otomatis (Aronof, 1995).

Teknologi SIG menjadi pilihan untuk menjawab permasalahan mengingat kemampuan yang dimilikinya yaitu dapat menampung, menyimpan, mengolah dan memanipulasi data spasial sehingga menghasilkan output sesuai dengan tujuan. Analisis keruangan (*spatial analysis*) dan pemantauan terhadap perubahan lingkungan dengan mudah dan cepat serta tepat dengan menggunakan SIG dalam menentukan suatu kawasan (Pauly and Clerk 2010 in Israel *et al* (eds), 2010).

Sistem informasi geografis sangat bermanfaat untuk penanganan data spasial daerah terutama untuk penyimpanan, editing, penampilan, penampilan, perubahan dan pemodelan. Fungsi dari penyimpanan, editing, penampilan ini merupakan pengolahan data bagi presentasi dan penyajian data sedangkan kegunaan untuk mengetahui perubahan sangat bermanfaat untuk kegiatan monitoring, terutama variabel yang cepat berubah. Pemodelan sangat penting untuk menghasilkan informasi baru untuk perencanaan dan pelaksanaan pembangunan (Burrough, 1986). Sistem informasi geografis dapat digunakan untuk pengumpulan, penyimpanan, mendapatkan kembali informasi dan menampilkan suatu data untuk tujuan tertentu. Data yang dimaksud meliputi data spasial atau ruang maupun data atribut. Pada prinsipnya sistem informasi geografis mempunyai beberapa langkah yang berurutan dan berkaitan erat mulai dari perencanaan, penelitian, persiapan, inventarisasi, pemetaan tematik, penggabungan peta, mengedit hingga pemetaan secara otomatisasi (Meaden & Chi, 1995).

Perolehan informasi untuk pengelolaan lingkungan perairan bagi kegiatan perikanan sangat diperlukan. Pengelolaan ini meliputi pengumpulan, pemrosesan, penelusuran dan analisis data menjadi informasi yang bermanfaat bagi penggunaannya pada waktu yang diinginkan, pengelolaan informasi ini dapat dilakukan dengan menggunakan SIG baik secara manual maupun dengan menggunakan komputer (Dahuri *et al.* 2004). Salah satu fungsi SIG yang berhubungan

dengan perikanan adalah untuk aplikasi kelautan, pembuatan zona konsentrasi ikan dan model budidaya perikanan laut (Paena, 2002).

F. Pengelolaan Rumput Laut

1. Kondisi dan Persyaratan Tumbuh Rumput Laut

Perairan yang baik untuk budidaya rumput laut adalah perairan yang terhindar dari aktivitas yang menyebabkan mutu dan kualitas rumput laut menurun. Salah satu faktor penting untuk menunjang keberhasilan budidaya rumput laut adalah pemilihan lokasi, dalam pemilihan lokasi yang tepat untuk budidaya rumput laut, perlu dipertimbangkan yaitu faktor-faktor resiko, ekologis, higienis, dan sosio-ekonomi (Akmal, 2009).

Lokasi budidaya sebaiknya terhindar dari cemaran yang berasal dari limbah rumah tangga aktivitas pertanian maupun industri. Selain itu cemaran sampah dan kotoran lumpur yang umumnya terjadi pada daerah aliran muara sungai sebaiknya dihindari. Hal ini disebabkan karena rumput laut umumnya dapat menyerap polutan (bahan pencemar) seperti logam berat, sehingga jika terakumulasi dalam jaringan tanaman akan berdampak pada konsumen (Sadhori, 1989). Lokasi yang sesuai dengan persyaratan tumbuh merupakan salah satu faktor yang sangat menentukan keberhasilan suatu budidaya rumput laut. Faktor-faktor lainnya adalah teknis budidaya atau penanaman, bibit unggul, sosial ekonomi dan pemasaran.

Panen dan penanganan hasil panen yang tidak sempurna akan menurunkan kualitas produksi rumput laut. Untuk itu panen dan pascapanen harus dilakukan dengan baik untuk memenuhi syarat standar mutu ekspor komoditas rumput laut. Panen sebaiknya dilakukan setelah rumput laut berumur 45 hari pemeliharaan pada cuaca yang cerah agar kualitasnya terjamin. Pemanenan rumput laut sangat tergantung dari tujuannya. Jika tujuan memanen untuk mendapatkan bibit, pemanenan dilakukan pada umur 25 – 35 hari. Sedangkan untuk mendapatkan kualitas tinggi dengan kandungan karaginan tinggi, panen dilakukan pada umur 45 hari umur ideal (Samawi *et al.*, 2009).

2. Metode Budidaya Rumput Laut

Di dalam teknik budidaya ada dua hal yang perlu diperhatikan, yaitu pemilihan bibit dan metoda budidaya. Dikenal lima metode budidaya rumput laut, yaitu: metode lepas dasar, metode rakit apung, metode *long line*, metode jalur dan metode keranjang (kantung) (Direktorat Produksi Dirjen Perikanan Budidaya, 2006). Penerapan metode tersebut harus disesuaikan dengan kondisi perairan dimana rumput laut akan dibudidayakan. Di Kabupaten Bantaeng petani rumput laut menggunakan metode *long line* karena dianggap cocok dengan kondisi biofisik perairan serta biaya konstruksinya lebih murah bila dibandingkan dengan metode lainnya. Metode *long line* menggunakan tali panjang yang dibentangkan, pada kedua ujungnya diberi jangkar dan pelampung besar, setiap 25 m diberi pelampung utama berupa drum plastik/*styrofoam* (Azis, 2011).

Budidaya dengan sistem rakit dapat mencapai produksi sekitar 2 kg/m²/tahun. Sedangkan untuk metode *long line*, rumput laut yang dipanen pada umur 45 hari menghasilkan rumput laut basah antara 25.600 – 51.200 kg/ha atau setara dengan 2.800 – 5.600 kg/ha rumput laut kering (Direktorat Produksi Dirjen Perikanan Budidaya, 2006).

4. Potensi dan Permasalahan Pengembangan Rumput Laut

Secara umum ada beberapa permasalahan pengembangan rumput laut di Indonesia, antara lain: 1) sumberdaya manusia yang tersedia walaupun dalam jumlah cukup namun dalam hal mutu masih relatif rendah akibatnya rumput laut yang dihasilkan, produktivitas dan kualitasnya rendah; 2) belum menguasai teknologi untuk mengolah rumput laut menjadi karaginan agar bisa memperoleh nilai tambah; dan 3) petani rumput laut umumnya kesulitan dalam hal permodalan karena belum tersentuh oleh lembaga keuangan yang ada sehingga kesulitan dalam mengembangkan usahanya.

Disisi lain, Indonesia sangat berpeluang untuk mengembangkan rumput laut karena didukung oleh potensi kawasan yang sesuai untuk budidaya hampir di seluruh wilayah pesisir Indonesia. *Master Plan Budidaya Laut tahun 2004* (Nurdjana, 2006) menyatakan bahwa potensi indikatif mencapai 4 720 000 ha dan potensi efektif 2 350 000 ha. Kemudian, sinar matahari yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tersedia sepanjang tahun dan sumberdaya manusia yaitu nelayan juga cukup tersedia, maka Indonesia berpotensi besar untuk menimba untung dari

bisnis ini. Proyeksi pengembangan rumput Laut 2006 - 2009 adalah sebagai berikut (Tabel 2).

Tabel 2. Proyeksi pengembangan rumput laut tahun 2006 - 2009

No	Parameter	Tahun			
		2006	2007	2008	2009
1.	Produksi (ton)	1 120 010	1 343 696	1 611 911	1 900 000
	- <i>Gracillaria</i> sp.	235 800	282 880	339 360	400 000
	- <i>K.alvarezii</i> .	884 210	1 060 816	272 631	1 500 000
2.	Luas lahan (ha)	18 220	21 453	25 336	29 283
	- Pengembangan <i>Gracillaria</i> sp.	5 895	7 072	8 484	10 000
	- Pengembangan <i>K.alvarezii</i> .	8 842	10 608	12 726	15 000
	- Tambahan Pengembangan <i>K.alvarezii</i> .	3 483	3 773	4 126	4 283
3.	Pengembangan Kebun Bibit Rumput Laut	1 474	1 767	2 121	2 500
	- <i>Gracillaria</i> sp.	590	707	848	1 000
	- <i>K.alvarezii</i> .	884	1 060	1 273	1 500
4.	Investasi dan Modal Kerja	46 231	54 747	65 662	70 484
	- <i>Gracillaria</i> sp. (Rp. Juta)	1 912	1 765	2 118	2 274
	- <i>K.alvarezii</i> . (Rp. Juta)	44 319	52 982	63 544	68 210
5.	Kebutuhan Mesin Pre-Processing (unit)	88	106	127	150
6	Tenaga kerja (Orang)	150 315	180 336	216 342	255 000

Sumber: Nurdjana, 2006.

Indonesia merupakan produsen rumput laut *K.alvarezii* terbesar ke dua di dunia setelah Filipina (Nurdjana, 2006). Peningkatan produksi setiap tahun sangat signifikan. Pada tahun 2002 produksi Indonesia baru 25.700

ton, merupakan 25 % dari produksi Filipina tetapi pada tahun 2007 produksi *K.alvarezii* Indonesia sudah hampir menyamai jumlah produksi Filipina.

Produk rumput laut Indonesia mayoritas diekspor dalam bentuk kering tanpa olahan lebih lanjut. Padahal beberapa pabrik pengolahan di dalam negeri masih kekurangan bahan baku dan kebutuhan Indonesia terhadap produk olahan rumput laut baik karaginan, alginat maupun agar-agar sangat tinggi (Dinas Kelautan dan Perikanan, 2005). Kebutuhan karaginan untuk beberapa industri di Indonesia pada tahun 2002 adalah sebesar 1.864 ton dan baru sebagian kecil (740 ton) yang bisa dipasok oleh industri pengolahan karaginan dalam negeri. Sisanya diimpor dari luar negeri (Dinas Kelautan dan Perikanan, 2005). Tingginya pemanfaatan karaginan menyebabkan permintaan terhadap rumput laut juga cenderung meningkat setiap tahun.

G. Permodelan Sistem Dinamik

Sistem didefinisikan sebagai suatu agregasi atau kumpulan objek yang saling menerangkan dalam interaksi dan tergantung satu sama lain (Eriyatno dan Sofyar, 2007 *dalam* Azis, 2011). Pengertian sistem adalah suatu kesatuan usaha yang terdiri dari bagian-bagian yang berkaitan satu sama lain yang berusaha mencapai suatu tujuan dalam suatu lingkungan yang kompleks atau sistem adalah suatu mekanisme dari interaksi berbagai komponen sebagai suatu cara untuk membentuk sebuah fungsi.

Dalam suatu sistem setiap komponen dan fungsinya dapat diidentifikasi seperti interaksi diantara komponen dan di dalam komponen.

Dan selanjutnya dikatakan bahwa Para ahli sistem memberikan batasan permasalahan yang solusinya sebaiknya menggunakan teori sistem adalah yang memenuhi karakteristik, 1) kompleks, dimana interaksi antar elemen cukup rumit; 2) dinamis, dalam arti faktornya ada yang berubah menurut waktu dan ada pendugaan ke masa depan; dan 3) probabilistik, yaitu diperlukannya fungsi peluang dalam inferensi kesimpulan maupun rekomendasi.

Langkah pertama untuk melakukan permodelan sistem dinamis adalah dengan menentukan struktur model. Struktur model akan memberikan gambaran bentuk dan perilaku sistem. Perilaku tersebut dibentuk oleh kombinasi perilaku simpal umpan balik (*causal loop*) yang menyusun struktur model. Perilaku model dinamis ditentukan oleh keunikan dari struktur model yang dapat dipahami dari hasil simulasi model. Dengan simulasi akan didapatkan perilaku dari suatu gejala atau proses tersebut di masa depan. Dalam pendekatan analisis sistem dinamis, struktur suatu sistem dijelaskan dengan jalan menentukan pengaruh ini akan memberikan hubungan sebab akibat antara faktor-faktor yang ada.