

PROSES PENGENDALIAN PASCA-TUAI ALGA
MERAH YANG BERKEPENTINGAN KOMERSIAL
EUCHEUMA DENTICULATUM
(GIGARTINALES, RHODOPHYTA)



ROSNITA RAZALIE

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

INSTITUT PENYELIDIKAN MARIN BORNEO
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH
2006

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN TESIS

JUDUL : _____

IJAZAH : _____

SAYA : _____ SESI PENGAJIAN : _____
(HURUF BESAR)

Mengaku membenarkan tesis *(LPSM/Sarjana/Doktor Falsafah) ini disimpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:-

1. Tesis adalah hak milik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. Sila tandakan (/)

☐

SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di AKTA RAHSIA RASMI 1972)

☐

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

☐

TIDAK TERHAD

Disahkan oleh:

(TANDATANGAN PENULIS)_____
(TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

Alamat Tetap: _____

TARIKH: _____

(NAMA PENYELIA)

TARIKH: _____

Catatan:

*Potong yang tidak berkenaan.

*Jika tesis ini SULIT dan TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.

*Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana Secara Penyelidikan atau disertai bagi pengajian secara kerja kursus dan Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).

PENGAKUAN

Karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan, ringkasan dan rujukan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.

ROSNITA RAZALIE

PS2002-004-472

08 OGOS 2006



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PENGHARGAAN

Sekalung penghargaan ditujukan kepada penyelia saya, Dr. Charles S. Vairappan di atas segala tunjuk ajar, keprihatinan, kesabaran, nasihat dan sokongan dalam membimbing saya sepanjang penyelidikan ini dijalankan.

Penghargaan ini juga saya tujukan kepada Pengarah Institut Penyelidikan Marin Borneo, Prof. Dr. Saleem Mustafa serta Prof. Dr. Ridzwan Abdul Rahman, di atas sokongan padu serta bantuan yang diberikan dalam menyediakan kemudahan serta kelancaran proses bagi mendapatkan bekalan sampel kajian.

Terima kasih kepada Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar dalam menyediakan bantuan kewangan dan biasiswa sepanjang penyelidikan ini dijalankan di bawah projek 'Grant Genomic & Drug Discovery'.

Saya juga ingin merakamkan terima kasih kepada kakitangan Projek Pengkulturan Rumpai Laut, Institut Penyelidikan Marin Borneo, UMS iaitu En. Ramlan, En. Azlin, dan Cik Siti Rahma di atas kerjasama dan bantuan yang diberikan.

Penghargaan ini juga ditujukan kepada kakitangan Institut Penyelidikan Marin Borneo, En. Motinius Guntalib, Cik Annita Yong, Cik Siti Badrah Abd Gaus, Puan Rosliah Lawrence, En. Mukti Murad, En. Asrafuddin Ismail, En. Asri, En. Bujang Kadir, En. Musa Rubin, En. Mail Kahar, En. Joy Budi Sumardi dan En. Ismail Tajul. Tidak dilupakan kepada rakan-rakan seperjuangan, Kun Han, Pei Nie, Julenah, Mei Yen, Cheng Yi, Jega dan Mackenzie, di atas kerjasama yang diberikan.

Akhir sekali buat keluarga tersayang, terima kasih di atas pengertian, kasih sayang dan sokongan moral berterusan yang diberikan sepanjang pengajian ini dijalankan.

ABSTRAK

PROSES PENGENDALIAN PASCA-TUAI RUMPAI LAUT YANG BERKEPENTINGAN KOMERSIAL *EUCHEUMA DENTICULATUM* (*GIGARTINALES, RHODOPHYTA*)

Alga merah genus *Eucheuma*/*Kappaphycus* merupakan spesies berkepentingan komersial kerana keupayaannya untuk menghasilkan fikokoloid Karaginan. Pemprosesan pasca-tuai alga ini lazimnya melibatkan pengeringan secara terus di bawah sinaran matahari (Teknik Konvensional) yang boleh mengakibatkan penyhasilan sebatian nutraceutikal dan komponen-komponen kimia penting, selain menghasilkan sebatian toksik seperti "poligeenan". Oleh itu, Inovasi telah dijalankan bertujuan untuk meningkatkan kualiti alga yang lazimnya diproses menggunakan teknik konvensional. Teknik Inovasi melibatkan pengeringan alga dalam bilik (P-1) dengan (i) suhu., (ii) indeks aktiviti air, dan (iii) keamatan cahaya yang terkawal. Teknik pemprosesan konvensional melibatkan pengeringan alga secara terus di bawah sinaran matahari (P-2) pada persekitaran terbuka. Proses ini dijalankan selama 28 hari dan perbandingan kualiti alga dinilai berdasarkan (i) pengekstrakan dan pengecaman karaginan., (ii) kandungan nutrisi., (protein, asid amino, lipid, asid lemak dan logam berat), (ii) potensi antibakteria ekstrak mentah alga, dan (iv) dinamik bilangan bakteria pada permukaan alga. Kajian tekstur permukaan alga dijalankan menggunakan Mikroskop Pengimbas Elektron. Jelas diperhatikan sel alga proses P-1 tersusun padat dan seragam, manakala sel alga proses P-2 mengecut dan tersusun longgar. Penemuan daripada penyelidikan ini menunjukkan alga proses P-1 mempunyai kualiti yang lebih tinggi dari segi warna, kandungan asid lemak, asid amino serta kandungan bakteria berbanding alga yang dikeringkan dalam proses P-2. Alga pada proses P-1 didapati tidak mengandungi koloid (karaginan) bersaiz kurang daripada 100,000 Dalton. Koloid ini wujud sebanyak 8% dalam alga proses P-2. Secara keseluruhannya, alga proses P-1 menunjukkan kualiti serta potensi bioaktif yang lebih baik berbanding alga proses P-2.

ABSTRACT

POST HARVEST HANDLING PROCESS OF COMMERCIALY IMPORTANT RED ALGAE, *EUCHEUMA DENTICULATUM* (GIGARTINALES, RHODOPHYTA)

Red algae from the genus *Eucheuma/Kappaphycus* are important commercial species and are known to produce a valuable phycocolloid called Carrageenan. Post harvest processing of these algae normally involves desiccation under direct sunlight (Conventional Technique) which may cause denaturation of nutraceuticals and important chemical components, besides producing toxic substances like "poligeenan". Hence, an innovation was done to improve the quality of algae which is normally processed using Conventional Technique. Innovation Technique involved desiccation in room condition (**P-1**) under controlled (i) temperature., (ii) water activity index, and (iii) light intensity. Meanwhile Conventional Technique involved desiccation directly under the sunlight (**P-2**) in an open environment. Desiccation process was carried out for 28 days and comparison of algae's quality were based on (i) extraction and identification of carrageenan., (ii) nutritional contents., (proteins, lipids, amino acids, fatty acids and heavy metal), (iii) antibacterial potential of its crude extract, and (iv) bacterial dynamic on algae's surface. A study of algal surface cell texture was carried out using Scanning Electron Microscope (SEM). It was evident that cells in algae under P-1 processed were compact and uniform while P-2 processed algae showed cells that were shrunk and loose. The findings from these research showed that algae in P-1 processed have a better quality in terms of colour, fatty acids content, amino acids content and bacteria content compared to algae in P-2 processed. The alga in P-1 processed also does not have carrageenan with less than 100,000 Dalton in size. Meanwhile, 8% of colloids exist in P-2 processed algae. Based on the overall result, algae in P-1 processed had a better quality and bioactivity potential compared to algae in P-2 processed.

SENARAI SINGKATAN

ADI	<i>Allowable Daily Intake</i>
AHTEG-MAR	<i>Ad Hoc Technical Expert Group on Mariculture</i>
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
C:M:W	Kloroform:Metanol:Air suling
C3	Karbon Ke-3
C6	Karbon Ke-6
CBD	<i>Convention On Biological Diversity</i>
CC	<i>Column Chromatography</i>
EDTA	<i>ethylenediaminetetraacetic acid</i>
FAME	<i>Fatty acid methyl ester</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>
FDA	<i>US Food and Drugs Administration</i>
FT-IR	<i>Fourier Transform Infrared</i>
GC-MS	<i>Gas Chromatography-Mass Spectrofotometer</i>
H:E	Heksana:Etil asetat
HPLC	<i>High Performance Liquid Chromatography</i>
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>
IPMB	Institut Penyelidikan Marin Borneo
JECFA	<i>Joint Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization Expert Committee on Food Additives</i>
KDNK	Keluaran Dalam Negara Kasar
Na ₂ SO ₄	Natrium sulfat
NaCl	Natrium klorida
NaOH	Natrium hidroksida
PPRL	Projek Pengkulturan Rumpai Laut

<i>PUFA</i>	<i>Polyunsaturated fatty acid</i>
<i>R_f</i>	<i>Mobiliti Relatif to Front</i>
<i>RH</i>	<i>Relatif Humidity</i>
<i>rpm</i>	<i>Round per minute</i>
<i>SEM</i>	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
<i>TLC</i>	<i>Thin Layer Chromatography</i>
<i>UNEP</i>	<i>United Nations Environment Programme</i>
<i>UV</i>	<i>Ultraviolet</i>
<i>WHO</i>	<i>World Health Organization</i>



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

SENARAI SIMBOL

%	Peratus
β	Beta
α	Alpha
ι	Iota
κ	Kappa
λ	Lambda
$^{\circ}\text{C}$	Celsius
$\mu\text{g/g}$	mikro gram per gram
μl	mikro liter
μm	mikro meter
μmolg^{-1}	mikro mol per gram
a_w	Indeks aktiviti air
CFU	<i>Colony formed per unit</i>
cm^{-1}	per sentimeter
cm^2	sentimeter padu
Cps	centipoises
g	gram
kg	kilogram
mg	miligram
ml	mililiter
N	Normaliti
ν	nu

KANDUNGAN

KANDUNGAN	MUKASURAT
TAJUK PADA HELAIAN PERTAMA	i
PENGAKUAN	ii
PENGHARGAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
SINGKATAN	vi
SIMBOL	viii
KANDUNGAN	ix
SENARAI JADUAL	xii
SENARAI RAJAH	xiii
GLOSARI	xv
 BAB 1	
Pengenalan	
1.1 Penghasilan dan Perdagangan Global Rumpai Laut	1
1.2 Industri Rumpai Laut di Malaysia	7
1.3 Kelemahan Industri Rumpai Laut di Malaysia	11
 BAB 2	
ULASAN LITERATUR	
2.1 KAJIAN PENYELIDIKAN DAN PEMBANGUNAN <i>EUCHEUMA</i> DAN <i>KAPPAPHYCUS</i>	12
2.1.1 Biologi <i>E. denticulatum</i> dan <i>K. alvarezii</i>	12
2.1.2 Kemajuan Penanaman Menerusi Perkembangan Strain	14
2.1.3 Sistem Perladangan	16
2.1.4 Ekologi Ladang	18
(i) Penyakit "ice-ice" dan Fenomena Epifit	19
(ii) Masalah Haiwan Peragut (Herbivor)	20
2.2 KARAGINAN SEBAGAI SUMBER UTAMA FIKOKOLOID	21
2.2.1 Aplikasi Karaginan	21
2.2.2 Karsinogenik Karaginan	22
2.3 PENDEKATAN KAJIAN DAN OBJEKTIF	23
 BAB 3	
BAHAN DAN KAEDAH	
3.1 LOKASI PENYAMPELAN	25
3.2 PENYEDIAAN SAMPEL	25
3.3 PEMROSESAN PASCA-TUAI	27
3.3.1 Pemonitoran Kandungan Kelembapan Alga dan Indeks Aktiviti Air	27
3.3.2 Kajian Mikroskop Pengimbas Elektron (SEM)	28
3.3.3 Kajian Dinamik Bakteria Permukaan Alga	28
3.4 ANALISIS KARAGINAN	29
3.4.1 Pengekstrakan Karaginan	29
(i) Kaedah Pengekstrakan Tanpa Alkali (K-1)	29
(ii) Kaedah Pengekstrakan Beralkali (K-2)	30
3.4.2 Analisis Spektroskopi (FTIR)	31
3.4.3 Penentuan Saiz Molekul Karaginan	32

3.5	ANALISIS NUTRIEN	32
3.5.1	Pemprosesan Ekstrak Mentah	32
3.5.2	Pemisahan Ekstrak Mentah Menggunakan Kaedah Kromatografi Lapisan Nipis (TLC)	33
3.5.3	Pengekstrakan Lipid	34
3.5.4	Analisis Asid Lemak	34
(i)	Penyediaan Kolum Kromatografi Turus (CC)	34
(ii)	Proses Metilasi Asid Lemak	35
(iii)	Aplikasi GC dalam Analisis Asid Lemak	36
3.5.5	Analisis Asid Amino	36
3.5.6	Analisis Protein	37
3.5.7	Analisis Logam	38
3.6	ANALISIS STATISTIK	38
3.7	BIOESEL	38
3.7.1	Penyediaan Zat Agar dan Zat Kadru	39
3.7.2	Pengkulturan Bakteria	39
3.7.3	Kajian Agen Antibakteria	40

BAB 4

KEPUTUSAN

4.1	PEMROSESAN PASCA-TUAI	42
4.1.1	Hubungan Kandungan Kelembapan Alga dengan Indeks Aktiviti Air (a_w)	42
4.1.2	Perubahan Morfologi Permukaan Alga Semasa Proses Pengeringan	44
4.1.3	Dinamik Bakteria Permukaan Alga	46
4.2	ANALISIS KARAGINAN	47
4.2.1	Kandungan Peratusan Karaginan	47
4.2.2	Pencirian Karaginan	48
4.2.3	Penentuan Molekul Karaginan	51
4.3	ANALISIS NUTRIEN	51
4.3.1	Profil Kimia Ekstrak Mentah <i>E. denticulatum</i>	51
4.3.2	Analisis Protein	54
4.3.3	Analisis Asid Amino	55
4.3.4	Analisis Lipid	56
4.3.5	Analisis Asid Lemak	57
4.3.6	Analisis Logam berat	58
4.4	BIOESEL	59

BAB 5

PERBICANGAN

5.1	PEMROSESAN PASCA-TUAI	61
5.1.1	Penyusutan Kelembapan dan Indeks aktiviti air	61
5.1.1	Dinamik Bakteria Permukaan Alga	64
5.1.2	Perubahan Morfologi Permukaan Alga Semasa Proses Pengeringan	66
5.2	ANALISIS KARAGINAN	67
5.3	ANALISIS NUTRIEN	69
5.3.1	Kandungan Protein	69
5.3.2	Kandungan Asid Amino	70
5.3.3	Kandungan Lipid	71
5.3.4	Kandungan Asid lemak	72
5.3.5	Analisis Logam Berat	73
5.4	BIOESEL	75
5.4.1	Aktiviti Antibakteria Ekstrak Mentah <i>E. denticulatum</i>	75

BAB 6

KESIMPULAN

6.1	Signifikan Penyelidikan	76
6.2	Keperluan Penyelidikan Masa Hadapan	77

RUJUKAN

LAMPIRAN



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

SENARAI JADUAL

JADUAL		MUKASURAT
1.1	Kawasan Berpotensi Pengkulturan Rumpai Laut di Sabah	10
4.1	Kandungan Peratusan Protein Pada Proses P-1 dan P-2	55
4.2	Kandungan Asid Amino (ppb) Pada Proses P-1 dan P-2	56
4.3	Aktiviti Antibakteria Ekstrak Mentah <i>E. denticulatum</i>	60



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

SENARAI RAJAH

RAJAH	MUKASURAT
1.1 Rumpai Laut Komersial dan Aktiviti Pengkulturan Rumpai Laut Dunia. (a) <i>P. umbilicalis</i> ; (b) <i>L. japonica</i> ; (c) <i>U. Pinnatifida</i> ; (d) <i>E. denticulatum</i> ; (e) Teknik Pengkulturan Jaring <i>Porphyra</i> ; (f) Teknik Pengkulturan <i>Horizontal line-raft, L. Japonica</i> ; (g) Teknik Pengkulturan Rakit, <i>E. denticulatum</i> ; (h) Teknik Pengkulturan Rawai, <i>E. denticulatum</i>	6
1.2 Aplikasi Pasaran Karaginan, 2001	7
1.3 Peraturan Pengeluaran Berat Kering <i>Euclidean</i> dan <i>Kappaphycus</i> , 2001	7
1.4 Jumlah Pengeluaran Rumpai Laut Kering Negeri Sabah (m.t), 1989-2001	9
1.5 Jumlah Pengkultur dan Keluasan Kawasan Pengkulturan Rumpai Laut Negeri Sabah, 1989-2001	10
1.6 Jumlah Pengeluaran Produk-produk Akuakultur Marin Negeri Sabah (m.t), 1996-2000	10
2.1 Kitar hidup umum alga merah, <i>Polysiphonia</i>	13
2.2 Aplikasi Teknik-teknik Pengkulturan Rumpai Laut di Tapak Semaian Teluk Lung, Pulau Balambangan, Kudat, Sabah. (a) Teknik Sangkar Rakit; (b) Teknik Pancang Berpukat; (c) Teknik Rakit (d) Teknik Tali Rentang Berkembar.	17
3.1 Peta lokasi Penyampelan di Teluk Lung, Pulau Balambangan, Kudat, Sabah	26
3.2 Aliran Pengekstrakan Karaginan dengan Kaedah Pengekstrakan Tanpa Alkali	30
3.3 Aliran Pengekstrakan Karaginan dengan Kaedah Pengekstrakan Beralkali	31
3.4 Aliran Kaedah Kajian Agen Antibakteria	41
4.1 Hubungan Kandungan Kelembapan Alga dengan Nilai Indeks Aktiviti Air (a_w) Bagi Tempoh Pengeringan 28 Hari	43
4.2 Perbandingan Warna dan Keadaan Sel Permukaan <i>E. denticulatum</i> di bawah Mikroskop Pengimbas Elektron	45
4.3 Jumlah Bilangan Bakteria Permukaan Bagi Tempoh Pengeringan 28 Hari	46

4.4	Perbandingan Peratusan Karaginan Menerusi Pengekstrakan K-1 dan K-2	48
4.5	Kandungan Peratusan Karaginan Proses P-1 dan P-2 Menerusi Pengekstrakan K-2	48
4.6	Spektrum Inframerah Karaginan Sampel <i>E. denticulatum</i>	50
4.7	Struktur Disakarida Berulang Karaginan yang di ekstrak Menerusi Sistem Pelarut Alkali (<i>iota</i> -karaginan) dan Tanpa Alkali (<i>nu</i> -karaginan)	51
4.8	Kandungan Ekstrak Mentah Alga Proses P-1 dan P-2	53
4.9	Kandungan Bahan Koloid Dalam Sampel Pengeringan Hari Ke-28	53
4.10	Kromatografi TLC Ekstrak Mentah <i>E. denticulatum</i> pada Hari Pengeringan ke-28 Hari	54
4.11	Kandungan Asid Amino Dalam Sampel Pada Alga Proses P-1 dan P-2	55
4.12	Peratusan Kandungan Lipid Dalam Sampel Alga Bagi Tempoh Pengeringan 28 Hari	57
4.13	Kepekatan Asid Lemak ($\mu\text{g/g}$) Bagi Tempoh Pengeringan 28 Hari	58
4.14	Kandungan Logam Berat (ppb) Dalam Sampel Alga	59
4.15	Perbandingan Aktiviti Ekstrak Mentah <i>E. denticulatum</i> Ke atas bakteria <i>Clostridium cellobioparum</i> Pada Proses P-1 dan P-2.	60

GLOSARI

Epifit	Hidup pada tumbuhan, tetapi melekat di permukaan sahaja.
Fikoeritrin	Pigmen merah dalam kromatofor Rhodophyta.
Gamet	Sel pembiakan mengawan karposporangium
Gonimoblas	Filamen yang dibentuk daripada zigot pada alga merah
Hidrokoloid	Bahan bermusilaj yang diekstrak daripada dinding beberapa alga, terutamanya kumpulan alga merah dan perang, dikeluarkan dalam keluaran komersial kerana sifat khas sebagai penstabil dan penggelan
Karpogonium	Gametangium betina dalam alga merah;terdiri daripada pangkal yang membengkak dan leher yang memanjang atau trikogin
Karpospora	Spora yang dihasilkan dalam karposporagium alga merah
Karposporangium	Organ pembiakan dalam alga merah yang akan menghasilkan karpospora
Karposporofit	Tumbuhan generasi kedua alga merah yang menghasilkan karpospora;parasit kepada gametofit betina.
Kromatofor	Jasad berwarna dalam sel yang mempunyai pigmen lain selain daripada pigmen klorofil
Makrofit	Tumbuhan yang dapat dilihat tanpa mikroskop, termasuk alga yang besar (rumpai laut, makroalga), tumbuhan bervaskular dan briofit
Musilaj	Seperti agar-agar, berlendir
Parenkima	tisu padat yang dibentuk oleh pembahagian sel pada semua satah
Perikarpa	Selaput steril sekeliling sistokarpa,lapisan sel yang dibentuk oleh gametofit betina sekeliling karposporofit beberapa alga merah floridean
Rumpai laut	Alga samudera makrofit
Sesil	Tanpa tangkai
Sistokarpa	Jasad buah yang terhasil daripada persenyawaan Rhodophyta
Spermatangium	Struktur yang menghasilkan spermatium dalam alga merah
Spora	Nama umum untuk struktur pembiakan biasanya unisel

Substrat	Sesuatu objek yang padanya atau dalamnya terdapat pertumbuhan alga
Talus	Jasad tumbuhan vegetatif yang mudah tidak terbeza kepada daun, batang dan akar sebenar jasad tumbuhan alga
Tetraspora	Satu daripada empat spora haploid tak motil yang dibentuk dalam tetrasporangium alga merah
Tetrasporangium	Meiosporangium dalam Florideophyceae yang menghasilkan empat spora melalui meiosis
Tetrasporofit	Tumbuhan yang menghasilkan tetraspora biasanya hidup bebas tumbuhan diploid(Florideophyceae) talus aseks di kalangan alga merah yang mengeluarkan Tetrasporangium



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Penghasilan dan Perdagangan Global Rumpai Laut

Pengkulturan rumpai laut merupakan industri yang sedang berkembang maju dalam membekalkan varieti produk pengguna yang luas. Menurut laporan FAO (2003) anggaran jumlah pengeluaran global rumpai laut adalah bernilai US\$ 6 bilion setahun di mana dari jumlah ini nilai produk makanan terdiri daripada US\$ 5 bilion.

Dianggarkan sebanyak 7.5 hingga 8 juta tan metrik rumpai laut basah diperlukan untuk menampung keperluan industri global rumpai laut setiap tahun. Rumpai laut ini diperolehi dan dituai sama ada daripada rumpai laut liar ataupun yang di tanam secara ladang berkelompok (FAO, 2003). Laporan FAO (2002) mengatakan bahawa di antara tahun 1981 dan 2000, penghasilan dunia bagi tumbuhan akuatik meningkat daripada 3.2 juta tan metrik kepada menghampiri 10.1 juta tan metrik (berat basah) yakni menyokong perdagangan dunia sebanyak US\$ 6 bilion dalam tahun 2000, berbanding US\$ 250 juta dalam tahun 1990.

Sumbangan pengkulturan rumpai laut adalah sebanyak 15 peratus daripada jumlah global akuakultur (45,715,559 tan metrik) atau menghampiri 5 peratus jumlah pengeluaran perikanan dunia (141,798,778 tan metrik) bagi tahun 2002. Daripada nilai ini, alga perang merupakan rumpai laut yang paling banyak dieksploitasi untuk pengkulturan iaitu sebanyak 4,906,280 tan metrik (71 peratus daripada jumlah pengeluaran), diikuti alga merah (1,927,917 tan metrik) dan amaun kecil alga hijau (33, 700 tan metrik). Terdapat hampir 42 negara di dunia yang terlibat dalam aktiviti rumpai laut

secara komersial (Khan & Satam, 2003). China menduduki tangga teratas dalam pengeluaran rumput laut dunia dengan penghasilan utama spesies *Laminaria japonica* Areschoug diikuti oleh Korea Utara, Korea Selatan, Jepun, Filipina, Chile, Norway, Indonesia, USA dan India. Negara-negara ini merupakan 10 buah negara teratas yang menyumbangkan lebih kurang 95 peratus daripada aktiviti komersial rumput laut dunia.

Rumput laut yang paling banyak ditanam adalah 'kelp' *L. japonica* iaitu melebihi 60 peratus jumlah penghasilan pengkulturan rumput laut dan selebihnya disumbangkan oleh rumput laut spesies *Porphyra*, *Kappaphycus*, *Undaria*, *Eucheuma* dan *Gracilaria* (FAO, 2003; Khan & Satam, 2003). Maka, adalah jelas bahawa negara-negara Asia Timur dan Asia Tenggara menyumbang hampir 99 peratus daripada pengeluaran pengkulturan rumput laut dengan separuh daripadanya (3 juta tan metrik) dibekalkan oleh China. Di Jepun pula, penanaman *Porphyra* merupakan industri rumput laut utama, dengan perolehan tahunan melebihi US\$ 1.8 bilion (Khan & Satam, 2003).

Secara keseluruhannya, terdapat sebanyak 107 genera dan 493 spesies rumput laut yang mempunyai kepentingan ekonomi dan digunakan secara meluas sebagai sumber makanan manusia dan haiwan, baja dagangan, aplikasi industri serta aplikasi perubatan dan farmasi. Walau bagaimanapun, hanya 11 genera rumput laut dengan kurang daripada 20 spesies sahaja yang di kultur secara komersial (Tseng, 1981; Ahmad, 1995). Empat genera rumput laut iaitu *Porphyra*, *Eucheuma*, *Laminaria*, dan *Undaria* dianggap sebagai tanaman tumbuhan laut sebenar memandangkan kuantiti tuaian daripada sumber yang di kultur melebihi populasi liar (Tseng, 1981).

Alga merah dan alga perang sering digunakan secara meluas sebagai sumber fikokoloid. Menurut laporan FAO (2003) dianggarkan sebanyak 1 juta tan metrik rumput laut basah telah dituai dan di ekstrak bagi menghasilkan lebih kurang 55 000 tan metrik hidrokoloid bernilai US\$ 585 juta. Daripada

nilai ini, penghasilan karaginan; alginat dan agar adalah masing-masing sebanyak US\$ 240 juta, US\$ 213 juta dan US\$ 132 juta.

Amalan menggunakan rumpai laut sebagai makanan merupakan tradisi yang telah lama dipraktikkan oleh negara-negara Asia seperti China, Jepun dan Republik Korea. *Porphyra* digunakan untuk membuat 'nori' (kulit nipis) yang digunakan secara meluas dalam sup dan sebagai pembungkus 'sushi'. Di beberapa tempat seperti di Amerika, Canada, Hawaii, New Zealand dan Kepulauan Britain, *Porphyra* yang dikenali sebagai 'purple laver' dijadikan kek leper atau 'laverbread'. *Laminaria* atau 'kombu' pula dikeringkan dan dihancurkan sebagai bahan tambah dalam nasi, sos dan sup. Ia juga digunakan untuk membuat teh dan manisan (Ahmad, 1995). *Undaria* atau 'wakame' terkenal di kalangan masyarakat Jepun dan Republik Korea sebagai ramuan dalam kacang soya dan sup ataupun dimakan secara mentah.

Menurut laporan Ad Hoc Technical Expert Group on Mariculture (AHTEG-MAR), Convention on Biological Diversity (CBD) & United Nation Environmental Programme UNEP (2000) daripada 32 spesies utama hidupan marin yang terlibat dalam aktiviti marikultur dunia, *L. japonica* menduduki tangga teratas dengan penghasilan tahunan sebanyak 4,580,056 tan metrik diikuti dengan *porphyra* sebanyak 1,010,963 tan metrik dan *Undaria pinnatifida* Harvey sebanyak 311,105 tan metrik. China dan Jepun merupakan negara pengkultur utama *porphyra* dan *Laminaria* sementara *U. pinnatifida* paling banyak di kultur di Jepun dan Republik Korea.

Rajah 1.1 menunjukkan foto rumpai laut komersial utama iaitu (a) *Porphyra umbilicalis* (Linnaeus) Kützinger; (b) *L. japonica*; (c) *U. pinnatifida* dan (d) *Eucheuma denticulatum* N.L. Burman. Menerusi Rajah 1.1 tersebut juga, dapat diperhatikan dengan jelas aktiviti pengkulturan rumpai laut yang diamalkan oleh negara-negara pengkultur rumpai laut dunia iaitu (e) Teknik

pengkulturan Jaring, *Porphyra* (Japan); (f) Teknik Pengkulturan *Horizontal line-raft*, *L. Japonica*; (g) Teknik Pengkulturan Rakit, *E. denticulatum*, dan (h) Teknik Pengkulturan Rawai, *E. denticulatum*.

Makroalga merah dari genera *Eucheuma* dan *Kappaphycus* merupakan rumput laut yang paling banyak di kultur di kawasan Asia Tenggara. Alga ini merupakan sumber utama polisakarida kompleks dikenali sebagai 'Karaginan' yang mempunyai nilai komersial meluas dalam penghasilan produk makanan dan tenusu.

Permintaan terhadap karaginan sedang meningkat sebanyak 5 hingga 7 peratus setiap tahun (Bixler, 1995; FAO, 2003). Menurut laporan FAO (2003) anggaran jumlah nilai pasaran karaginan pada tahun 2001 adalah sebanyak US\$ 300 juta dimana pasaran utama adalah tertumpu kepada aplikasi produk tenusu (Rajah 1.2).

Filipina merupakan negara pengkultur utama *Eucheuma* dan *Kappaphycus* dengan jumlah pengeluaran sebanyak 77 peratus pengeluaran dunia, diikuti dengan Indonesia, Zanzibar dan Malaysia (Rajah 1.3). Spesies yang di kultur adalah *Eucheuma denticulatum*, *Kappaphycus alvarezii* Doty dan *Kappaphycus striatum* F. Schmitz (Doty & Alvarez, 1975; Zemke-White & Ohno, 1999; Ask & Azanza, 2002).

Penanaman *Eucheuma* dan *Kappaphycus* telah dimulakan pada sekitar pertengahan tahun 1960an oleh Dr. Maxwell Doty daripada Universiti of Hawaii dan Syarikat Marine Colloids. Pada awal tahun 1970an, Biro Perikanan dan Sumber Akuatik Filipina telah terlibat secara langsung dalam aktiviti pengkulturan ini (Ronquillo & Gabral-Liana, 1989).

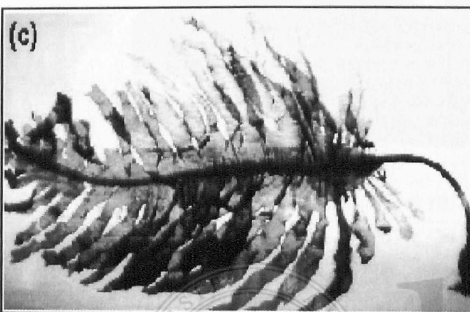
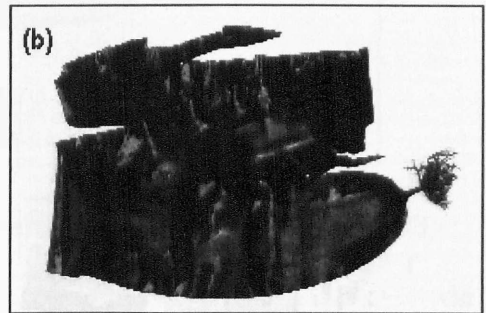
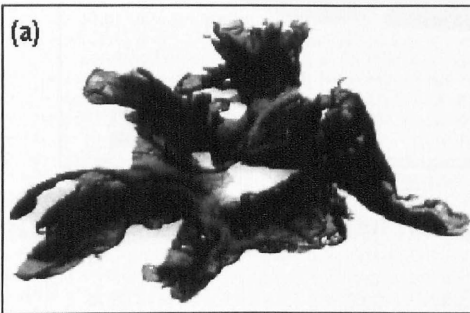
Negara-negara lain yang terlibat dalam penanaman *Eucheuma* dan *Kappaphycus* secara komersial adalah terdiri daripada China, Indonesia, Kiribati, Malaysia, French Antilles, dan Tanzania (Ask & Azanza, 2002). Meskipun Filipina merupakan penanam "carrageenophytes" yang utama,

beberapa strain tempatan telah mula diperkenalkan dengan jayanya dan ditanam di Indonesia, Malaysia dan Tanzania (Ask & Azanza, 2002).

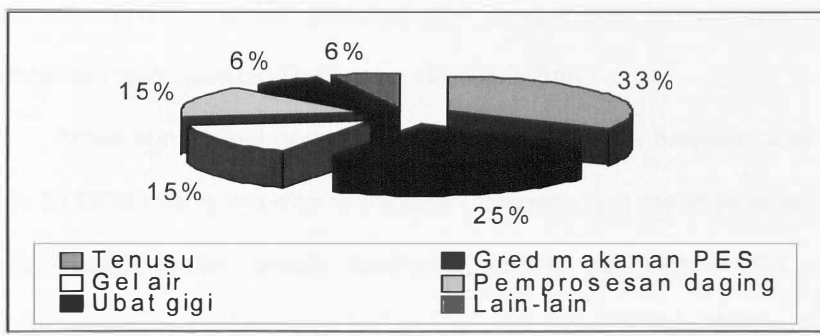
Pengeluaran komersial *Eucheuma* dan *Kappaphycus* telah meningkat secara mendadak semenjak permulaan penanaman iaitu dalam tahun 1971, dengan penghasilan rumpai laut kering kurang daripada 1,000 tan metrik (Doty & Alvarez, 1975) kepada anggaran penghasilan dunia melebihi 100,000 tan metrik pada tahun 2002 (Ask & Azanza, 2002; Khan dan Satam, 2003). Laporan FAO (2003) turut menyatakan bahawa dianggarkan sebanyak 120,000 tan metrik berat kering *K. alvarezii* dan 30,000 tan berat kering *E. denticulatum* telah dihasilkan pada tahun 2003. Bixler (1995) melaporkan nilai tahunan bagi tanaman ini adalah dianggarkan lebih kurang US\$ 200 juta.

“Spinsum” merupakan nama dagangan bagi *E. denticulatum*, yang menghasilkan iota-karaginan manakala “Cottonii” pula merujuk kepada *K. alvarezii* dan *K. striatum* yang menghasilkan kappa karaginan.

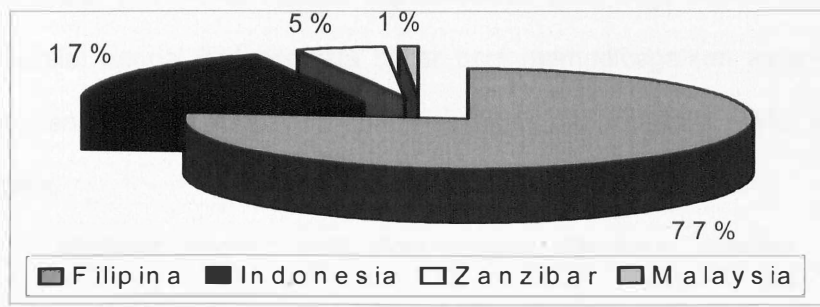
Peningkatan dalam penghasilan global *Eucheuma* dan *Kappaphycus* merupakan satu petanda yang amat baik bagi sektor pengkulturan rumpai laut dalam memastikan industri ini kekal sebagai sumber ekonomi yang penting. Walau bagaimanapun, Ask & Azanza (2002) melaporkan terdapat wujud rungutan yang mengatakan bahawa peningkatan dalam keluaran hanya merujuk kepada pertambahan dalam bilangan petani dan bukannya disebabkan oleh peningkatan pengeluaran secara keseluruhannya.



Rajah 1.1: Rumpai Laut Komersial dan Aktivit Pengkulturan Rumpai Laut Dunia. (a) *P. umbilicalis*; (b) *L. japonica*; (c) *U. Pinnatifida*; (d) *E. denticulatum*; (e) Teknik Pengkulturan Jaring *Porphyra*; (f) Teknik Pengkulturan Horizontal line-raft, *L. Japonica*; (g) Teknik Pengkulturan Rakit, *E. denticulatum*; (h) Teknik Pengkulturan Rawai, *E. denticulatum*.



Rajah 1.2: Aplikasi Pasaran Karaginan, 2001. (Sumber: Porse, 2003)



Rajah 1.3: Peratusan Pengeluaran Berat Kering *Eucheuma* dan *Kappaphycus*, 2001. (Sumber: Porse, 2003)



1.2 Industri Rumpai Laut di Malaysia

Pengkulturan rumpai laut secara komersial merupakan satu sektor yang masih belum berkembang maju di Malaysia. Usaha awal dalam memperkenalkan aktiviti ini telah dimulakan pada awal tahun 1980an dengan pengkulturan rumpai laut spesies *Gracilaria* di Gelugor Pulau Pinang dan *Eucheuma* di Sabah. Walau bagaimanapun, hanya pengkulturan *Eucheuma* di Sabah sahaja yang berjaya menembusi pasaran antarabangsa. Pengkulturan *Eucheuma* dan *Kappaphycus* telah diperkenalkan di Sabah pada tahun 1978 dan mula di kultur secara komersial pada tahun 1980. Perintis kepada aktiviti ini adalah sebuah syarikat yang berpangkalan di Hawaii iaitu Aquatic Resource Limited di mana daerah Semporna telah menjadi asas percubaan kepada aktiviti ini (Jabatan Perikanan Sabah, 2002).

Pada tahun 1980, aktiviti pengkulturan rumpai laut ini kemudiannya telah diambil alih oleh Jabatan Perikanan Negeri Sabah.

Meskipun aktiviti pengkulturan *Eucheuma* telah berjaya diperkenalkan sejak 27 tahun yang lalu dan merupakan industri yang menampakkan potensi, namun pengkulturan secara komersial kurang giat diusahakan seperti di negara-negara jiran. Sehubungan dengan itu dalam Kajian Separuh Penggal Rancangan Malaysia Ke Lapan 2001~2005, kerajaan telah menggalakkan usul untuk menerokai sumber pertumbuhan baru bagi aktiviti penanaman komersial rumpai laut berskala besar bagi mempelbagaikan asas keluaran dan meningkatkan keupayaan menjana pendapatan eksport sektor pertanian negara.

Menurut laporan Unit Perancangan Ekonomi, Jabatan Perdana Menteri (2003) hasil eksport pertanian negara telah meningkat sebanyak 28 peratus daripada RM 23 bilion pada tahun 2000 kepada RM 29 bilion pada tahun 2003 berikutan peningkatan keluaran kelapa sawit dan komoditi makanan. Dalam tempoh kajian semula, didapati industri rumpai laut yang merupakan sumber pertumbuhan baru, berpotensi meningkatkan pasaran domestik dan eksport, dan maka itu dapat menyumbang secara signifikan kepada Keluaran Dalam Negara Kasar (KDNK).

Laporan perangkaan Jabatan Perikanan Negeri Sabah (2003) pula mengatakan terdapat peningkatan pengeluaran rumpai laut kering dari 10 tan metrik pada tahun 1989 kepada 4,716 tan metrik pada tahun 2001. Pada tahun 2002, nilai eksport rumpai laut adalah berjumlah RM22.57 juta. Bermula dari tahun 1989 hingga tahun 2001 didapati terdapat peningkatan dalam hasil pengeluaran pengkulturan rumpai laut dan bilangan pengkultor (Rajah 1.4) serta kawasan yang dibangunkan bagi pengkulturan rumpai laut di negeri Sabah (Rajah 1.5).