

**KESAN PERSEKITARAN DAN NUTRIEN TERHADAP
KADAR PERTUMBUHAN, KANDUNGAN KLOOROFIL a,
BERAT KERING DAN KANDUNGAN AGAR RUMPAI
LAUT MERAH *Gracilaria manilaensis*
(*RHODOPHYTA, GRACILARIACEAE*)**

Oleh

HAFIZAH BINTI ABDUL LATIB

**Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sains**

Januari 2016

PENGHARGAAN



Selawat dan salam ke atas junjungan besar Nabi Muhammad S.A.W. serta keluarga dan para sahabat baginda sekalian. Syukur tak terhingga di atas rahmat-Nya yang tak pernah putus. Sesungguhnya Dia-lah sebaik-baik Perancang.

Saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada penyelia utama saya Prof. Madya Dr. Misni Surif di atas segala tunjuk ajar, bimbingan dan teguran yang diberikan. Kesabaran beliau yang tinggi amat berharga buat saya sepanjang tempoh penghasilan tesis ini. Terima kasih juga diucapkan kepada Universiti Sains Malaysia yang banyak menyalurkan bantuan kewangan (geran RU/1001/PJJAUH/815011) serta kemudahan untuk melaksanakan penyelidikan.

Buat insan-insan yang terlalu dekat di hati - Haji Abdul Latib Abdul Raman, Hajah Hamidah Abdul Wahab, Afifah, Majdi, 'Atikah dan Fadzil - kalianlah pembakar semangat yang tak pernah padam, penghibur hati, pengubat lara. Terima kasih tak berpenghujung atas segala dorongan, bantuan, kesabaran dan kasih sayang yang dilimpahkan. Tanpa kalian, mana mungkin langkah demi langkah berjaya diharungi.

Tidak lupa juga kepada sahabat-sahabat yang tak putus-putus memberi bantuan dan semangat terutamanya kepada Nur Atikah, Syuhaila, Hajar, Asma, Sida, Anum, Afiqah dan Mahadia. Proses pembelajaran kita masih lagi berterusan, mari tingkatkan usaha!

KANDUNGAN

Muka surat

PENGHARGAAN	ii
KANDUNGAN	iv
SENARAI JADUAL	vii
SENARAI RAJAH	viii
SENARAI PLAT	xi
SENARAI SINGKATAN NAMA	xii
SENARAI SIMBOL	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xvi
BAB SATU: PENDAHULUAN	
1.2 Objektif kajian	3
BAB DUA: TINJAUAN BACAAN	
2.1 Pengenalan kepada rumpai laut	4
2.1.1 Jenis- jenis rumpai laut	4
2.2 Rumpai laut <i>Gracilaria</i>	5
2.2.1 Agar daripada rumpai laut <i>Gracilaria</i>	7
2.3 Kepentingan rumpai laut	8
2.4 Pengkulturan rumpai laut.....	10
2.4.1 Teknik-teknik pengkulturan	13
2.5 Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan	14
2.5.1 Cahaya	15
2.5.2 Pergerakan air	16
2.5.3 Nutrien	17
BAB TIGA: BAHAN DAN KAEDAH UMUM	
3.1 Sampel <i>Gracilaria manilaensis</i> segar untuk kajian makmal	19
3.2 Penentuan berat basah, saliniti dan keamatan cahaya	19
3.3 Aklimitasi dan pengkulturan	20
3.4 Penentuan berat basah dan kadar pertumbuhan relatif	20
3.5 Penentuan kepekatan klorofil a.....	20
3.6 Penentuan berat kering	21
3.7 Pengekstrakan agar dan penentuan kandungan agar	22

3.8 Analisis statistik.....	22
BAB EMPAT: KESAN BERAT PERMULAAN KULTUR DAN KEDALAMAN KULTUR TERHADAP PERTUMBUHAN, KANDUNGAN KLOOROFIL a, BERAT KERING DAN KANDUNGAN AGAR <i>Gracilaria manilaensis</i>	
4.1 Pengenalan.....	23
4.2 Bahan dan kaedah.....	24
4.2.1 Keamatan cahaya pada kedalaman berbeza.....	24
4.2.2 Kesan berat permulaan kultur dan kedalaman kultur yang berbeza terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a, berat kering dan kandungan agar <i>Gracilaria manilaensis</i>	25
4.3 Keputusan.....	28
4.3.1 Bacaan keamatan cahaya pada kedalaman berbeza.....	28
4.3.2 Kesan berat permulaan kultur dan kedalaman kultur terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a, berat kering dan kandungan agar <i>Gracilaria manilaensis</i>	28
4.4 Perbincangan.....	35
4.4.1 Kesan berat permulaan kultur terhadap pertumbuhan dan kandungan klorofil a <i>Gracilaria manilaensis</i>	36
4.4.2 Kesan kedalaman kultur terhadap pertumbuhan dan kandungan klorofil a <i>Gracilaria manilaensis</i>	40
4.4.3 Kesan berat permulaan kultur dan kedalaman kultur yang berbeza terhadap berat kering dan kandungan agar <i>Gracilaria manilaensis</i>	43
BAB LIMA: KESAN CAHAYA DAN PERGERAKAN AIR TERHADAP PERTUMBUHAN, KANDUNGAN KLOOROFIL a, BERAT KERING DAN KANDUNGAN AGAR <i>Gracilaria manilaensis</i>	
5.1 Pengenalan.....	44
5.2 Bahan dan kaedah.....	45
5.1.1 Kesan cahaya terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a, berat kering dan kandungan agar <i>Gracilaria manilaensis</i>	46
5.3.2 Kesan pergerakan air terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a dan berat kering <i>Gracilaria manilaensis</i>	47
5.3 Keputusan.....	50
5.3.1 Kesan cahaya terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a, berat kering dan kandungan agar <i>Gracilaria manilaensis</i>	50
5.3.2 Kesan pergerakan air terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a dan berat kering <i>Gracilaria manilaensis</i>	53
5.4 Perbincangan.....	58

5.4.1	Kesan cahaya terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil, berat kering dan kandungan agar <i>Gracilaria manilaensis</i>	58
5.4.2	Pengaruh pergerakan air terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a dan berat kering <i>Gracilaria manilaensis</i>	62
BAB ENAM: KESAN NUTRIEN (NITROGEN DAN FOSFAT) DAN TEMPOH PEMBEKALAN NUTRIEN TERHADAP PERTUMBUHAN, KANDUNGAN KLOROFIL a, BERAT KERING DAN KANDUNGAN AGAR <i>Gracilaria manilaensis</i>		
6.1	Pengenalan.....	65
6.2	Bahan dan Kaedah	67
6.2.1	Kesan nitrogen (NH_4^+ dan NO_3^-) terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a, berat kering dan kandungan agar <i>Gracilaria manilaensis</i>	68
6.2.2	Kesan kepekatan fosfat (PO_4^{2-}) terhadap pertumbuhan dan berat kering <i>Gracilaria manilaensis</i>	69
6.2.3	Kesan tempoh pembekalan nutrien ($100\mu\text{M NH}_4^+ + 10\mu\text{M PO}_4^{2-}$) terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a dan berat kering <i>Gracilaria manilaensis</i>	70
6.3	Keputusan	71
6.3.1	Kesan nitrogen (NH_4^+ dan NO_3^-) terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a, berat kering dan kandungan agar <i>Gracilaria manilaensis</i>	71
6.3.2	Kesan kepekatan fosfat (PO_4^{2-}) terhadap pertumbuhan dan berat kering <i>Gracilaria manilaensis</i>	74
6.3.3	Kesan tempoh pembekalan nutrien ($100\mu\text{M NH}_4^+ + 10\mu\text{M PO}_4^{2-}$) terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a dan berat kering <i>Gracilaria manilaensis</i>	78
6.4	Perbincangan	82
6.4.1	Kesan nitrogen (NH_4^+ dan NO_3^-) terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a, berat kering dan kandungan agar <i>Gracilaria manilaensis</i>	82
6.4.2	Kesan kepekatan fosfat (PO_4^{2-}) terhadap pertumbuhan dan berat kering <i>Gracilaria manilaensis</i>	84
6.4.3	Kesan tempoh pembekalan nutrien ($100\mu\text{M NH}_4^+ + 10\mu\text{M PO}_4^{2-}$) terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a dan berat kering <i>Gracilaria manilaensis</i>	86
BAB TUJUH: PERBINCANGAN UMUM DAN KESIMPULAN		
	RUJUKAN	92
	PEMBENTANGAN SEMINAR	

SENARAI JADUAL

	Muka surat
Jadual 2.1 Pengeluar rumpai laut dunia (FAO, 2012)	12

SENARAI RAJAH

	Muka surat
Rajah 4.1. Kedudukan bakul yang mengandungi <i>Gracilaria manilaensis</i> pada tiga kedalaman yang berbeza.	27
Rajah 4.2. Bacaan keamatan cahaya pada tiga kedalam kolam yang berbeza yang diukur setiap jam dari pukul 7.00 pagi sehingga 7.00 malam (n=6).	29
Rajah 4.3. Kadar Pertumbuhan Relatif (KPR) <i>Gracilaria manilaensis</i> yang dikultur selama 8 minggu mengikut berat permulaan kultur yang berbeza: (A) 200g, (B) 500g dan (C) 1000g, dan pada kedalaman berbeza: (i) permukaan, (ii) pertengahan dan (iii) dasar (n=5).	30
Rajah 4.4. Pertambahan berat <i>Gracilaria manilaensis</i> yang dikultur pada berat permulaan kultur serta kedudukan kultur yang berbeza di akhir kajian (n=5).	32
Rajah 4.5. Kepekatan klorofil a <i>Gracilaria manilaensis</i> pada berat permulaan kultur serta kedudukan kultur yang berbeza di akhir kajian (n=3).	34
Rajah 4.6. Berat kering <i>Gracilaria manilaensis</i> pada berat permulaan kultur serta kedudukan kultur yang berbeza di akhir kajian (n=3).	34
Rajah 4.7. Kandungan agar <i>Gracilaria manilaensis</i> pada berat permulaan kultur serta kedudukan kultur yang berbeza di akhir kajian (n=3).	35
Rajah 5.1. Ringkasan kaedah bagi kajian kesan pergerakan air.	48
Rajah 5.2. Kedudukan prob oksigen untuk menyukat kandungan oksigen terlarut dari pandangan tepi. (A) merujuk kepada kedudukan pam, (+) merujuk kedudukan prob untuk bacaan jauh dari talus dan (★) untuk bacaan dekat pada talus.	49
Rajah 5.3. Kadar pertumbuhan relatif (KPR) <i>Gracilaria manilaensis</i> yang dikultur selama 3 minggu pada jangka waktu cahaya yang berbeza. (n=3).	52

Rajah 5.4.	Kepekatan klorofil a <i>Gracilaria manilaensis</i> pada permulaan serta akhir kajian setelah rawatan jangka waktu cahaya yang berbeza (n=3)	52
Rajah 5.5.	Berat kering <i>Gracilaria manilaensis</i> pada permulaan serta akhir kajian setelah rawatan jangka waktu cahaya yang berbeza (n=3).	54
Rajah 5.6.	Kandungan agar <i>Gracilaria manilaensis</i> pada permulaan serta akhir kajian setelah rawatan jangka waktu cahaya yang berbeza (n=3).	54
Rajah 5.7.	Kadar pertumbuhan relatif (KPR) <i>Gracilaria manilaensis</i> yang dikultur selama 3 minggu pada pergerakan air yang berbeza (n=3).	56
Rajah 5.8.	Kepekatan klorofil a <i>Gracilaria manilaensis</i> pada permulaan serta akhir kajian setelah rawatan pergerakan air yang berbeza (n=3).	56
Rajah 5.9.	Berat kering <i>Gracilaria manilaensis</i> pada permulaan serta akhir kajian setelah rawatan pergerakan air yang berbeza (n=3).	57
Rajah 5.10.	Kandungan oksigen terlarut dalam (A) akuarium tanpa gerakan air dan (B) akuarium dengan pergerakan air menggunakan pengudaraan (salur udara) selama 6 jam pada dua kedudukan prob (dekat dan jauh dari talus)(n=3).	59
Rajah 6.1	Ringkasan kaedah bagi kajian tempoh pembekalan nutrien.	71
Rajah 6.2	Kadar pertumbuhan relatif (KPR) <i>Gracilaria manilaensis</i> yang dikultur selama 4 minggu dalam sumber nitrogen yang berbeza (n=3).	73
Rajah 6.3	Kepekatan klorofil a <i>Gracilaria manilaensis</i> pada permulaan serta akhir kajian setelah dikultur dalam sumber nitrogen yang berbeza (n=3).	73
Rajah 6.4	Berat kering <i>Gracilaria manilaensis</i> pada permulaan serta akhir kajian setelah dikultur dalam sumber nitrogen yang berbeza (n=3).	75

Rajah 6.5	Kandungan agar <i>Gracilaria manilaensis</i> pada permulaan serta akhir kajian setelah dikultur dalam sumber nitrogen yang berbeza (n=3).	75
Rajah 6.6	Kadar pertumbuhan relatif (KPR) <i>Gracilaria manilaensis</i> yang dikultur selama 4 minggu dalam kepekatan PO_4^{2-} yang berbeza (n=5).	77
Rajah 6.7	Berat kering <i>Gracilaria manilaensis</i> pada permulaan serta akhir kajian setelah dikultur dalam kepekatan PO_4^{2-} yang berbeza (n=5).	77
Rajah 6.8	Kadar pertumbuhan relatif (KPR) <i>Gracilaria manilaensis</i> yang dikultur selama 4 minggu dengan tempoh pembekalan nutrien yang berbeza (n=5).	79
Rajah 6.9	Kepekatan klorofil a <i>Gracilaria manilaensis</i> pada permulaan serta akhir kajian setelah dikultur pada tempoh pembekalan nutrien yang berbeza (n=5).	81
Rajah 6.10	Berat kering <i>Gracilaria manilaensis</i> pada permulaan serta akhir kajian setelah dikultur pada tempoh pembekalan nutrien yang berbeza (n=5).	82

SENARAI PLAT

Muka surat

Plat 4.1	Bakul plastik berisi <i>Gracilaria manilaensis</i> dibiarkan di atas para kayu sebelum ditimbang.	27
Plat 5.1	Kedudukan akuarium serta keadaan rak yang ditutupi kain hitam untuk menghalang kemasukan cahaya daripada luar.	46
Plat 5.2	Tiga keadaan pengkulturan pada pergerakan air yang berbeza. A: air tanpa gerakan, B: pergerakan air menggunakan pengudaraan (salur udara), dan C: pergerakan air menggunakan pam.	49
Plat 5.3	Gugusan <i>Gracilaria manilaensis</i> yang diikat pada tali di dalam akuarium.	49
Plat 6.1	Rak kedap cahaya untuk pengkulturan <i>Gracilaria manilaensis</i> .	67
Plat 6.2	Cabang-cabang baru talus <i>Gracilaria manilaensis</i> dari rawatan kultur yang direndam dalam larutan nutrien selama 3 jam.	79
Plat 6.3	Warna talus <i>Gracilaria manilaensis</i> yang (A) dikultur dalam larutan nutrien, dan (B) dikultur dalam larutan tanpa nutrien.	81

SENARAI SINGKATAN NAMA

FAO	Pertubuhan Makanan dan Pertanian Dunia atau 'Food and Agriculture Organization'
O ₂	Gas oksigen
DO	Oksigen terlarut
KPR	Kadar pertumbuhan relatif
N : P	Nisbah nitrogen kepada fosforus
N	Nitrogen
P	Fosforus
NH ₄ ⁺	ammonium
NO ₃ ⁻	nitrat
PO ₄ ⁻³	fosfat

SENARAI SIMBOL

μM	Mikro molar
μmol	Mikro mol
ml	mililiter
$^{\circ}\text{C}$	Darjah celsius
m	Meter
g	Gram
P	Panjang
L	Lebar
T	Tinggi
mgg^{-1}	Miligram per gram
$\text{g}_{\text{bb}}\text{L}^{-1}$	Gram (berat basah) per Liter

**KESAN PERSEKITARAN DAN NUTRIEN TERHADAP KADAR
PERTUMBUHAN, KANDUNGAN KLOOROFIL a, BERAT KERING DAN
KANDUNGAN AGAR RUMPAI LAUT MERAH *Gracilaria manilaensis*
(*RHODOPHYTA, GRACILARIACEAE*)**

ABSTRAK

Kajian dijalankan untuk mengkaji kesan keamatan cahaya, pergerakan air, kedalaman air, berat awal kultur dan kandungan nutrien (NH_4^+ , NO_3^- dan PO_4^{2-}) terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a, berat kering dan kandungan agar pada rumpai laut merah *Gracilaria manilaensis*. Kajian telah dijalankan di kolam udang terbiar di Merbok, Kedah dan juga di makmal Universiti Sains Malaysia (USM) dari Jun 2008 hingga Jun 2010. Keputusan kajian pengkulturan dengan berat awal kultur yang sedikit menghasilkan Kadar Pertumbuhan Relatif (KPR) yang lebih tinggi (200g>500g>1,000g). Terdapat perbezaan kandungan klorofil a antara berat awal kultur 200g dengan 500g dan 1,000g (200g>500g=1,000g). Berat kering bagi berat awal kultur 500g dan 200g adalah lebih tinggi (500g=200g>1,000g) namun tiada perbezaan yang signifikan terhadap kandungan agar ($P>0.05$). Pertumbuhan *G. manilaensis* yang dikultur pada permukaan kolam dan 0.75m dari dasar kolam adalah lebih tinggi berbanding kultur di bahagian dasar kolam ($P<0.05$) (permukaan=pertengahan>dasar). Kandungan klorofil a adalah berbeza secara signifikan antara kedudukan (dasar>pertengahan>permukaan). Berat kering dan kandungan agar bagi kultur dasar kolam adalah lebih rendah secara signifikan berbanding kultur pada permukaan dan pertengahan kolam ($P<0.05$) (permukaan=pertengahan>dasar). Kultur di bahagian permukaan air mendapat cahaya yang tinggi ($P<0.05$) dan terdedah kepada gangguan epifit berbanding kultur

0.75m dari dasar kolam dan dasar kolam. Pencahayaan selama 12 jam (12 jam cahaya: 12 jam gelap) menghasilkan pertumbuhan yang lebih tinggi berbanding daripada kultur yang diberikan jangka masa pencahayaan yang lain (12 jam cahaya>8 jam cahaya=24 jam cahaya>6 jam cahaya). Kandungan klorofil a dan berat kering dari kultur yang didedahkan pada cahaya selama 24, 18 dan 12 jam lebih tinggi dan berbeza secara signifikan berbanding cahaya 6 jam ($P<0.05$). Tiada perbezaan yang signifikan bagi kandungan agar antara semua kumpulan rawatan. Pertumbuhan dan kandungan klorofil a bagi kultur yang menerima pergerakan air daripada pam pada sela masa 4 dan 6 jam adalah lebih tinggi secara signifikan berbanding kultur dengan pergerakan air daripada pam dan pengudaraan secara berterusan ($P<0.05$). Berat kering adalah lebih rendah secara signifikan bagi kultur tanpa pengudaraan dan kultur dengan pergerakan air daripada pam. Kultur *G. manilaensis* dalam media mengandungi NO_3^- menunjukkan pertumbuhan yang lebih tinggi secara signifikan berbanding kultur dalam NH_4^+ namun tiada perbezaan antara kandungan klorofil a, berat kering dan kandungan agar bagi kedua-duanya. Nisbah $\text{NO}_3^-:\text{PO}_4^{2-}$ yang menghasilkan pertumbuhan lebih tinggi secara signifikan adalah 10:1, 20:1 dan 15:1. ($10:1=20:1=15:1>30:1=5:1$)($P<0.05$). Berat kering antara rawatan tidak menunjukkan perbezaan yang signifikan. Tempoh pembekalan nutrien ($100\mu\text{M NH}_4^+$ dan $10\mu\text{M PO}_4^{2-}$) yang mencatatkan pertumbuhan tertinggi dengan rendaman selama 24 jam sebelum dikultur di dalam larutan tanpa nutrien selama seminggu namun tiada perbezaan yang signifikan berbanding rawatan yang lain ($P>0.05$)(24 jam=3 jam=12 jam=6 jam>tanpa nutrien). Perbezaan kandungan klorofil a dan berat kering adalah tak signifikan antara rawatan ($P>0.05$).

**EFFECT OF ENVIRONMENT AND NUTRIENT TOWARDS GROWTH
RATE, CHLOROPHYLL a CONTENT, DRY WEIGHT AND AGAR YIELD
OF THE RED SEAWEED *Gracilaria manilaensis* (RHODOPHYTA,
GRACILARIACEAE)**

ABSTRACT

A study was carried out to determine the effect of light intensity, water movement, water depth, initial stocking density and nutrient content (NH_4^+ , NO_3^- and PO_4^{2-}) on the growth, chlorophyll a concentration, dry weight and agar yield of the red macroalgae *Gracilaria manilaensis*. The study was conducted in an abandoned shrimp pond in Merbok, Kedah and in the laboratory of Universiti Sains Malaysia (USM) from June 2008 until June 2010. Results showed that the culture with low initial weight produced higher Relative Growth Rate (RGR) (200g>500g>1,000g). Chlorophyll a content showed a significant difference between 200g culture compared to 500 and 1,000g (200g>500g=1,000g). Dry weight for 500g and 200g culture were significantly high (500g=200g>1,000g) but both showed no significant differences for the agar yield ($P>0.05$). *G. manilaensis* cultured near the surface and intermediate had higher growth compared to the culture at the bottom of the pond ($P<0.05$). Chlorophyll a content differ significantly between the three positions (bottom>intermediate>surface). Dry weight and agar yield for bottom culture were significantly lower compared to surface and intermediate culture ($P<0.05$) (surface=intermediate>bottom). The surface cultures were exposed to higher light intensity and were more susceptible to epiphytes' interference. The growth of *G. manilaensis* exposed to 12 hours of light (12 hour light: 12 hour dark) was higher

than other light treatments (12 hours of light>8 hours of light=24 hours of light>6 hours of light). Chlorophyll a content and dry weight from cultures exposed to light for 24, 18 and 12 hours were significantly higher than 6 hours ($P<0.05$). No significant differences were observed for the agar yield of all treatments. Significantly higher growth and chlorophyll a content were recorded in cultures with water movement from a pump at intervals of 4 and 6 hours compared to the cultures with continued water movements ($P <0.05$). Dry weights were significantly lower for cultures with no water movement and water movement by using pumps. *G. manilaensis* cultured in media containing NO_3^- showed significantly higher growth than in NH_4^+ media, but there was no difference between chlorophyll a content, dry weight and agar content for both treatments. Higher growth were significantly observed in NO_3^- : PO_4^{2-} ratio of 10:1 compared to the ratio of 10:1, 20:1 and 15:1 (10:1=20:1=15:1>30:1=5:1)($P<0.05$). The dry weight showed no significant differences. Soaking *G. manilaensis* in a stock solution (100 μM NH_4^+ and 10 μM PO_4^{2-}) for 24 hours before being cultured in a nutrient limited medium for a week showed higher RGR but were not significant compared to other treatments ($P>0.05$)(24 hours= 3 hours=12 hours=6 hours>no nutrient supply). There were no significant difference on chlorophyll a content and dry weight among the treatments ($P>0.05$).

BAB SATU

PENDAHULUAN

1.1 Pendahuluan

Gracilaria, *Laminaria*, *Porphyra*, *Undaria* dan *Eucheuma* adalah antara rumpai laut yang paling banyak dikultur secara besar-besaran untuk mendapatkan hasil agar, alginat dan karageenan. Agar ialah polisakarida yang dihasilkan daripada kumpulan rumpai laut merah (Rhodophyta), terutamanya daripada famili Gelidiaceae dan Gracilariaceae (Armisen, 1995; McHugh, 2003). Kini, rumpai laut *Gracilaria* telah menjadi asas kepada industri pemprosesan agar bagi menggantikan *Gelidium*. Walaupun kualiti agar *Gelidium* adalah lebih tinggi daripada *Gracilaria*, keupayaan *Gracilaria* yang lebih mudah dikultur menjadikan ianya pilihan yang lebih baik untuk dikomersilkan (Dhargalkar & Verlecar, 2009).

Di negara seperti Jepun, Korea dan China, rumpai laut telah lama menjadi makanan ruji. Kandungan mineral, vitamin, protein yang tinggi serta kandungan lipid yang rendah menjadikan rumpai laut makanan yang baik untuk kesihatan. Agar pula banyak digunakan dalam penyediaan makanan yang digunakan dalam kehidupan seharian. Antara produk yang mempunyai komponen agar dalam penghasilannya adalah seperti dalam penghasilan kertas, media untuk kultur bakteria, pembungkusan makanan, bakeri, industri tenusu serta penghasilan bahan kosmetik dan farmaseutikal (Becker & Rotmann, 1990; Armisen, 1995; Lim & Darah, 2004; Dhargalkar & Verlecar, 2009).

Permintaan yang tinggi terhadap *Gracilaria* daripada kilang memproses agar, menyebabkan berlakunya lampau tuai (overharvest) populasi semulajadi *Gracilaria*. Keadaan ini mendorong para pengusaha mencari kaedah bagi memastikan bekalan *Gracilaria* sentiasa ada (Ajisaka & Chiang, 1993; Bixler & Porse, 2011). Untuk itu, pengkulturan rumpai laut *Gracilaria* pada skala yang besar telah dilakukan agar dapat membekalkan hasil yang banyak. Teknik pengkulturan yang dilakukan haruslah berupaya memberikan hasil yang banyak secara berterusan pada kos pengeluaran yang minimum. Antara teknik pengkulturan yang popular adalah pengkulturan di dasar pantai yang cetek, pengkulturan menggunakan tali, pengkulturan dalam sangkar terapung serta dalam kolam (Friedlander & Levy, 1995; Capo *et al.*, 1999; Friedlander, 2001; Chirapart *et al.*, 2006; Mohamad *et al.*, 2011).

Selain itu, kajian turut dijalankan untuk memahami keperluan pertumbuhan *Gracilaria* bagi mendorong kepada teknik pengkulturan terbaik. Banyak spesies *Gracilaria* yang telah dikaji antaranya *G. conferta* (Friedlander, 1992; Weinberger & Friedlander, 2000; Friedlander, 2001; Figueroa *et al.*, 2010), *G. birdiae* (Maciel *et al.*, 2008; Marinho-Soriano *et al.*, 2009; Bezerra & Marinho-Soriano, 2010), *G. salicornia* (Buriyo & Kivaisi, 2003; Smith *et al.*, 2004; Phooprong *et al.*, 2007; Fukunaga *et al.*, 2014), *G. lemaneiformis* (Yu & Yang, 2008; Zheng, 2009; Xu & Gao, 2012; Zhou *et al.*, 2013; Chen *et al.*, 2015; Wu *et al.*, 2015), *G. tenuistipitata* (Mercado *et al.*, 2000; Lopes *et al.*, 2002; Barufi *et al.*, 2011; Ye & Zhang, 2013; Yarnpakdee *et al.*, 2015), *G. cornea* (Dawes *et al.*, 1999; Navarro-Angulo & Robledo, 1999; Freile-Plegrin, 2000) dan *G. chilensis* (Gomez *et al.*, 2005; Chow & de Oliveira, 2008; Abreu *et al.*, 2009). Walau bagaimanapun, kajian yang melibatkan *G. manilaensis* masih kurang dijalankan. Memandangkan *G. manilaensis* amat

berpotensi untuk dimajukan sebagai satu komoditi yang dapat menyumbang kepada peningkatan ekonomi negara, kajian terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan kandungan agarnya perlu dilakukan.

1.2 Objektif kajian

Objektif kajian adalah untuk:

- a) Mengkaji kesan berat permulaan kultur dan kedalaman kultur terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a, berat kering dan kandungan agar *Gracilaria manilaensis*;
- b) Mengkaji kesan cahaya dan pergerakan air terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a, berat kering dan kandungan agar *Gracilaria manilaensis*; dan
- c) Menentukan kesan nutrien (nitrogen dan fosfat) dan tempoh pembekalan nutrien terhadap pertumbuhan, kandungan klorofil a, berat kering dan kandungan agar *Gracilaria manilaensis*.

BAB DUA

TINJAUAN BACAAN

2.1 Pengenalan kepada rumpai laut

Rumpai laut atau makroalga adalah tumbuhan ringkas multiselular yang tidak mempunyai sistem vaskular yang jelas. Tumbuhan yang kebanyakannya hidup di laut ini mempunyai kebolehan fotosintesis yang tinggi hasil dari adaptasi penyesuaian fisiologi terhadap keadaan fizikal dan kimia di laut (John *et al.*, 2011; Harley *et al.*, 2012; Kraan, 2013).

2.1.1 Jenis- jenis rumpai laut

Rumpai laut terdiri daripada tiga kumpulan utama iaitu rumpai laut merah (Rhodophyta), rumpai laut perang (Phaeophyta) dan rumpai laut hijau (Chlorophyta). Ketiga-tiga kumpulan ini ditentukan berdasarkan jenis pigmen yang utama, iaitu sama ada fikobilin, klorofil atau karotenoid (Ramus, 1990; Simpath-Wiley *et al.*, 2008). Pengelasan yang lain adalah berdasarkan bentuk makanan simpanan, komponen dinding sel serta bentuk morfologi (Ramus, 1990). Rumpai laut merah mendominasi lautan dengan lebih 2500 spesies, diikuti dengan rumpai laut perang sebanyak 1000 spesies dan 900 spesies rumpai laut hijau (Ismail, 1995; Diez *et al.*, 2003).

Pigmen aksesori fikobilin yang terdiri dari fikoerithrin dan fikosianin memberikan warna merah kepada rumpai laut merah (Rhodophyta). Phaeophyta atau rumpai laut perang mempunyai pigmen karotenoid yang terdiri daripada xantofil yang berwarna perang dan karotin yang berwarna kuning. Pigmen asas bagi semua tumbuhan ialah klorofil yang memberikan warna hijau kepada tumbuhan. Pigmen ini terdiri dari jenis a, b, c, d dan e serta menjadi asas kepada rumpai laut hijau (Chlorophyta). Walaupun begitu, klorofil masih terdapat dalam rumpai laut merah dan perang dalam jumlah yang sedikit. Rumpai laut merah mengandungi klorofil a dan d manakala rumpai laut perang mempunyai klorofil a dan c (Ramus, 1990; Yan *et al.*, 1999; Simpath-Wiley *et al.*, 2008).

Selain itu, perbezaan asas dinding sel antara rumpai laut tersebut juga dapat membezakan kumpulan rumpai laut tersebut. Asas dinding sel rumpai laut merah adalah terdiri daripada agar dan ia juga terdapat di ruang antara sel. Rumpai laut perang pula mempunyai dinding sel yang diperbuat dari selulosa, alginat dan fukoidan. Dinding sel bagi rumpai laut hijau terdiri daripada selulosa, manosa dan xylene (Hong *et al.*, 2014).

2.2 Rumpai laut *Gracilaria*

Gracilaria adalah salah satu jenis rumpai laut merah dengan jumlah spesies terbanyak dalam famili Gracilariaceae (Rhodophyta). Pengkelasan *Gracilaria manilaensis* oleh Dawson (1946) adalah seperti berikut:

Domain	: Eukaryota
Filum	: Rhodophyta
Kelas	: Rhodophyceae

Order : Gracilariales
Famili : Gracilariaceae
Genus : *Gracilaria*
Spesies : *Gracilaria manilaensis*

Gracilaria adalah tumbuhan tanpa vaskular dengan morfologi yang ringkas. *Gracilaria* mempunyai talus berbentuk silinder yang terdiri daripada pelekap, stip dan lamina. Pelekap berfungsi untuk mencengkam substrat bagi menjadi tapak pertumbuhan. Stip dan lamina memainkan peranan yang lebih kurang sama iaitu bertindak sebagai daun untuk melakukan proses fotosintesis. Disebabkan bentuknya yang halus dan panjang, luas permukaannya adalah tinggi dengan produktiviti yang tinggi (Pritchard & Brandt, 1984; Ismail & Mamat, 1992; Plus *et al.*, 2005). *Gracilaria* hadir dalam bentuk sporofit, gametofit dan karposporofit. Sporofit terdiri daripada tumbuhan dengan kromosom diploid manakala gametofit adalah haploid. Dua keadaan ini tidak boleh dibezakan dengan mata kasar. Namun, karposporofit adalah lebih mudah dibezakan kerana keadaan talusnya yang menggerutu (Trono, 1988; Engel *et al.*, 2004; Gupta *et al.*, 2011; Zhou *et al.*, 2013).

Genus rumpai laut *Gracilaria* adalah antara jenis rumpai laut yang terbesar dengan lebih daripada 150 spesies (Byrne *et al.*, 2002). Ia boleh didapati di sepanjang Lautan Atlantik, Lautan Pasifik dan Lautan Hindi dengan majoriti di kawasan Indo-Pasifik (Tseng & Xia, 1999; Ganesan *et al.*, 2011). Rumpai laut *Gracilaria* kini mendapat perhatian kerana pertumbuhannya yang tinggi serta ekstraknya yang mempunyai nilai komersil (Wang, 2002).

2.2.1 Agar daripada rumpai laut *Gracilaria*

Setiap kumpulan rumpai laut mempunyai kepentingan masing-masing terutamanya dalam industri fikokoloid. Bahan fikokoloid yang dimaksudkan adalah agar-agar, karagenan dan alginat. Rumpai laut yang berupaya menghasilkan agar adalah daripada genus *Gelidium* dan *Gracilaria*. Karagenan diekstrak daripada *Kappaphycus*, *Eucheuma* dan *Chondrus* manakala alginat pula dihasilkan daripada *Ascophyllum*, *Durvillaea*, *Eclonia*, *Lessonia*, *Laminaria* dan *Sargassum* (Dhargalkar & Verlecar, 2009; Bixler & Porse, 2011; Prajapati *et al.*, 2014).

Rumpai laut yang mengandungi agar digelar sebagai agarofit. Selain *Gracilaria*, *Gelidium* adalah antara agarofit yang digunakan secara meluas untuk menghasilkan agar. Agar terbahagi kepada dua komponen utama; agarose dan agaropektin. Agarose mempunyai kekuatan gel yang tinggi manakala agaropektin pula mempunyai kekuatan gel yang rendah (McHugh, 2003). Pada peringkat permulaan, agar hanya diekstrak daripada *Gelidium* dengan menggunakan teknik pengekstrakan menggunakan air panas yang diusahakan oleh orang-orang Jepun seawal tahun 1700. *Gelidium* berupaya menghasilkan agar yang berkualiti tinggi berbanding *Gracilaria*, namun dengan wujudnya teknik rawatan pra-alkali sebelum proses pengekstrakan agar, kualiti agar daripada *Gracilaria* berjaya ditingkatkan (Hanisak, 1998; McHugh, 2003; Dhargalkar & Verlecar, 2009). Hasilnya, pada masa kini, *Gracilaria* menghasilkan hampir 80% dari jumlah keseluruhan penghasilan agar dengan nilai tahunan mencecah US \$ 138 juta. *Gelidium* kini jatuh ke tempat kedua dalam penghasilan agar (Bixler & Porse, 2011). Hasil koloid ini memainkan peranan penting dalam bidang mikrobiologi, farmaseutikal, biomedikal, kosmetik, pertanian, penghasilan dan pemprosesan makanan (Armisen, 1995; Robledo & Freile-Pelegrin,

1997; Bixler & Porse, 2011; Bedoux *et al.*, 2014; Sangha *et al.*, 2014; Winberg *et al.*, 2014).

2.3 Kepentingan rumpai laut

Terdapat lebih kurang 220 spesies rumpai laut yang digunakan secara meluas, dan daripada jumlah itu, 66% daripadanya digunakan sebagai sumber makanan (Zemke-White & Ohno, 1999). Dianggarkan pada tahun 2012, sebanyak 9 juta tan rumpai laut yang dikultur telah digunakan sebagai sumber makanan terutamanya oleh penduduk di Asia Timur seperti Jepun, China dan Korea (Manivannan *et al.*, 2011; FAO, 2014). Rumpai laut kaya dengan zat, vitamin, mineral dan serat. Ini menjadikan ia amat sesuai sebagai makanan tambahan berkualiti tinggi. Kandungan vitamin C yang tinggi berpotensi untuk digunakan sebagai antioksidan. Selain itu, metabolit daripada rumpai laut ini juga telah menjadi komponen yang penting dalam industri kosmetik sebagai bahan pelembap serta mempunyai kuasa pemutih (Norziah & Ching, 2000; Burtin, 2003; Bedoux *et al.*, 2014). Serat mudah larut ini adalah amat berguna untuk diaplikasi dalam rawatan obesiti dan diabetes kerana tidak mengandungi kalori (Jimenez-Escrig & Goni, 1999; Mesnildrey *et al.*, 2012). Sebenarnya, rumpai laut telah lama digunakan sebagai ubat tradisional. Perubahan moden juga membuktikan kemujaraban perubahan tradisional di mana terbukti korelasi antara pemakanan yang tinggi dengan karotin daripada rumpai laut dengan pengurangan risiko penghidap penyakit kardiovaskular dan kanser (Albanes, 1999; Osganian *et al.*, 2003; Voutilainen *et al.*, 2006; Pangestuti & Kim, 2011).

Selain itu, disebabkan oleh khasiatnya yang tinggi, ia juga turut dihasilkan dalam bentuk makanan tambahan untuk haiwan ternakan, minyak bio dan juga baja

(Robledo & Freile-Pelegrin, 1997; McHugh, 2003; Neto *et al.*, 2006; Wei *et al.*, 2013). Baja organik ialah baja yang dihasilkan daripada hasil tumbuhan, haiwan, kompos dan tinja daripada binatang. Ia mendapat sambutan yang amat baik buat masa kini kerana tidak beracun dan mesra alam sekitar. Penggunaan baja kimia secara berterusan akan menyebabkan denitrifikasi pada permukaan tanah yang akan mengurangkan kesuburan tanah (Higa, 1998). Baja organik daripada rumpai laut adalah kaya dengan mikronutrien dan komponen seakan hormon (hormon-like substance) yang berupaya meningkatkan pertumbuhan vegetatif dan reproduktif (Ruperez, 2002; McHugh, 2003; Sangha *et al.*, 2014).

Dalam industri makanan, ia digunakan sebagai penstabil dalam hasil bakeri, aiskrim dan produk makanan yang lain (Armisen, 1995). Pigmen klorofil yang terkandung di dalam rumpai laut digunakan sebagai agen pewarna hijau kerana kebolehan menyerap cahayanya yang terpilih. *Porphyra* yang mengandungi fikoeritrin juga digunakan untuk pigmen merahnya. Pewarna semulajadi kini semakin mendapat banyak permintaan berbanding pewarna tiruan (Albertsson, 2003; Lin *et al.*, 2014). Kebanyakan makanan akan kehilangan warna semulajadinya semasa pemprosesan dan dengan mencampurkan pewarna semulajadi, makanan menjadi lebih menarik (Fleurence, 1999; Kendrick, 2011). Selain itu, agar yang terhasil juga digunakan dalam pengkulturan bakteria patogen dan bukan patogen kerana sifat agar yang anti-virus, anti-kulat dan anti-bakteria (Trono, 1999; Lindequist & Schweder, 2001; Newman *et al.*, 2003; Smit, 2004; Jaswir *et al.*, 2014). Kebolehan agar untuk membentuk gel yang jernih menjadikan ia amat sesuai untuk digunakan dalam bidang bakteriologi (McHugh, 2003).

Selain kepelbagaian fungsi rumpai laut dalam pelbagai produk kegunaan harian, kehadiran rumpai laut di ekosistem dan habitat asal juga memainkan peranan penting dalam ekologi pantai dan laut. Rumpai laut adalah penghasil primer dan menjadi asas utama rantaian makanan untuk hidupan marin. Sebagai organisma pengeluar, rumpai laut berfotosintesis dan ini akan membekalkan oksigen terlarut yang penting untuk respirasi hidupan laut yang lain (Wilson, 2002; Smith *et al.*, 2004). Selain itu, kehadiran rumpai laut meningkatkan produktiviti pantai yang rendah diakibatkan oleh struktur asalnya yang landai dengan arus yang kuat serta keadaan fizikal yang kerap berubah (McLachlan & Brown, 2006). Koloni rumpai laut yang merimbun mengubah struktur pantai menjadikannya habitat dan tempat pembiakan flora dan fauna seperti ikan, udang, ketam, buran laut dan lain-lain. Ini adalah kerana perlindungan yang diberikan oleh kanopi rumpai laut akan menghalang serangan pemangsa serta menyediakan tempat perlindungan yang baik (Thiel & Gutow, 2005; McLachlan & Brown, 2006; Yamamoto *et al.*, 2007; Crawley *et al.*, 2009; Abe *et al.*, 2012; McLachlan *et al.*, 2013; Orr *et al.*, 2014). Selain itu, keupayaan rumpai laut untuk menyerap dan menyimpan nutrien dari persekitaran dan menggunakan ia untuk pertumbuhan memainkan peranan yang amat penting bagi mengatasi masalah eutrofikasi yang berlaku disebabkan oleh pembebasan nutrien oleh pelbagai aktiviti pertanian yang giat berkembang (Savage *et al.*, 2010).

2.4 Pengkulturan rumpai laut

Pada awalnya, sumber rumpai laut didapati secara semulajadi dari habitat asal. Permintaan untuk hidrokoloid yang dijangka meningkat 8 – 10% setiap tahun telah menyebabkan berlakunya penuaian terlampau (*overharvesting*) pada tahun 1980-an yang mengurangkan populasi liar rumpai laut tersebut (Santelices & Doty,

1989; Dhargalkar & Verlecar, 2009). Ini menyebabkan kadar pengeluaran fikokoloid berkurangan dan untuk menangani masalah kekurangan sumber rumpai laut ini, ramai pihak telah mencuba untuk membangunkan teknik-teknik terbaru dan berkesan untuk mengkultur rumpai laut pada skala komersil.

Kini, hasil daripada pengkulturan adalah lebih tinggi berbanding rumpai laut yang dikutip dari populasi liar yang hanya mencatat 4.5% daripada jumlah hasil rumpai laut dunia pada tahun 2010 (FAO, 2012). Industri pengkulturan rumpai laut telah menjadi industri besar yang menyumbang kepada ekonomi dunia setiap tahun (Armisen, 1995; Hanisak, 1998). Sejumlah 25 juta tan rumpai laut dituai setiap tahun untuk pelbagai kegunaan dan ini memberi peluang pekerjaan kepada 10% penduduk dunia (FAO, 2014). Sektor ini telah banyak membantu ekonomi penduduk dengan menyediakan lebih banyak peluang pekerjaan berbanding sektor pertanian tradisional. Pada tahun 2006, 43.5 juta penduduk terlibat secara langsung dalam sektor ini dan ia meningkat pada tahun 2012 kepada hampir 60 juta penduduk yang kebanyakannya terdiri dari penduduk Asia dan Afrika (FAO, 2014). Pengkulturan rumpai laut bukan sahaja meningkatkan pendapatan nelayan dan pengusaha, ia juga menghapuskan kadar kemiskinan masyarakat setempat (Sade *et al.*, 2006).

Pengkulturan rumpai laut pada skala komersil banyak dilakukan di China, Indonesia dan Filipina. Malaysia, Thailand, Namibia, Sri Lanka, India dan Afrika Selatan juga turut membangunkan pengkulturan tersebut namun pada skala yang lebih kecil (Bixler & Porse, 2011). Terdapat hanya 31 negara yang menjalankan pengkulturan rumpai laut mengikut laporan FAO (2012) dan 99.6% hasil rumpai laut diperolehi dari hanya 8 negara pengeluar utama (Jadual 2.1). Kebolehan rumpai laut untuk tumbuh daripada cebisan vegetatif dengan daya tahan yang tinggi

menjadikannya calon yang berpotensi tinggi untuk dikultur secara besar-besaran (Smith *et al.*, 2002).

Jadual 2.1 Pengeluar rumpai laut dunia (FAO, 2012).

Negara	Pengeluaran (%)	Berat
1. China	58.4	11.1 juta tan
2. Indonesia	20.6	3.9 juta tan
3. Filipina	9.5	1.8 juta tan
4. Korea Selatan	4.7	901 700 tan
5. Korea Utara	2.3	444 300 tan
6. Jepun	2.3	432 800 tan
7. Malaysia	1.1	207 900 tan
8. Tanzania	0.7	132 000 tan

Malaysia amat menggalakkan penerokaan bidang ini kerana telah mengenalpasti potensi ekonomi rumpai laut. Ia juga turut tersenarai sebagai salah satu projek dalam Bidang Ekonomi Utama Negara (NKEA). Pelbagai bantuan disalurkan kepada pihak yang berminat untuk menjalankan pengkulturan rumpai laut, antaranya adalah bantuan kewangan dan kemahiran daripada agensi-agensi kerajaan dan swasta. Pengkulturan rumpai laut ini banyak dijalankan di lautan atau di pinggir pantai Sabah, terutamanya di Semporna, Lahad Datu, Kudat dan Kunak. Pengkulturan tersebut lebih fokus pada spesies *Kappaphycus* dan *Eucheuma* sahaja berbanding pengkulturan *Gracilaria* (Sade *et al.*, 2006; Mohamad *et al.*, 2011). Teknik yang paling banyak digunakan untuk mengkultur rumpai laut jenis Rhodophyta di Asia Tenggara adalah sistem pancang, sistem rakit, sistem raga dan sistem rawai (LKIM, 2009). Kehadiran spesies *Gracilaria* yang boleh didapati secara semulajadi di Semenanjung Malaysia menunjukkan bahawa pantai-pantai ini berpotensi untuk dibangunkan bagi pengkulturan spesies ini (Phang

et al., 1996; Norziah & Ching, 2000). Oleh itu, kajian yang lebih intensif haruslah dilakukan untuk mengenal pasti faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan dan kandungan agar *Gracilaria*.

2.4.1 Teknik-teknik pengkulturan

Teknik yang paling banyak digunakan dalam pengkulturan rumpai laut adalah teknik rawai dan pancang. Lebih kurang 95% daripada pengusaha rumpai laut di Sabah menggunakan teknik ini. Pengkulturan pada permukaan air ini boleh menghasilkan kadar pertumbuhan yang tinggi. Namun teknik ini memerlukan tenaga kerja yang banyak kerana penanaman serta penuaian harus dijalankan di tapak kultur kerana tapak kultur ini bersifat kekal dan tidak boleh diubah-ubah kedudukannya (Sade *et al.*, 2006; Mohamad *et al.*, 2011).

Selain itu, pengkulturan rakit dan dalam sangkar juga telah banyak diaplikasi kerana lokasi pengkulturannya mudah diubah berbanding kultur tetap pada dasar laut. Negara seperti Indonesia, Filipina dan Malaysia menggunakan teknik pengkulturan ini. Kebaikan utama kultur mudah alih ini adalah kultur ini boleh diubah jika kualiti air di lokasi pengkulturan tidak sesuai untuk pertumbuhan atau kehadiran haiwan perosak yang akan merosakkan kultur (Sade *et al.*, 2006; Mohamad *et al.*, 2011).

Pengkulturan dasar selalunya dijalankan di pinggir pantai yang mempunyai dasar bersedimen. Rumpai laut akan ditanam di atas sedimen yang kemudiannya membesar menjadi gugusan rumpai laut untuk dituai. Penanaman ini adalah antara teknik penanaman tradisional yang masih diguna pakai di Bali, Jepun dan Kiribati.

Teknik pengkulturan ini mudah untuk dijalankan dengan kos pengeluaran yang amat rendah. Tapak kultur senang diakses semasa air surut, memudahkan proses penyelenggaraan, penyemaian dan juga penuaian (Sade *et al.*, 2006; Mohamad *et al.*, 2011).

Negara seperti China, Indonesia, Filipina, Vietnam dan Malaysia juga turut mengkultur rumpai laut di kolam air payau. Teknik ini hanya memerlukan penjagaan dan tenaga kerja yang minimum, menjadikannya pilihan yang popular. Rumpai laut akan ditabur secara sekata ke dalam kolam dan dibiarkan untuk membesar. Selalunya kolam yang digunakan adalah kolam udang atau ikan terbiar (Ajisaka & Chiang, 1993).

Taiwan, Chile, Amerika Syarikat dan Kanada adalah antara negara yang sedang membangunkan teknik pengkulturan di dalam tangki (Buschmann *et al.*, 2001). Teknik hanya digunakan sebagai tangki semaian bagi membolehkan anak benih rumpai laut membesar sebelum dipindahkan ke laut untuk pengkulturan. Pengkulturan ini membolehkan pengawalan sepenuhnya dilakukan terhadap faktor persekitaran Walau bagaimanapun, kosnya yang terlalu tinggi menyebabkan teknik ini tidak mendapat tempat di kalangan penternak (Glenn *et al.*, 1998).

2.5 Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan

Kepelbagaian teknik-teknik pengkulturan telah dibangunkan untuk menyesuaikan lokasi pengkulturan dengan faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan rumpai laut bagi membolehkan hasil yang maksimum. Untuk itu, telah banyak kajian dijalankan yang merangkumi pelbagai aspek. Kajian yang lampau

lebih banyak tertumpu pada faktor biologi, ekologi, sifat fikokoloid, kajian taksonomi dan penentuan spesies yang banyak menghasilkan agar dengan kualiti yang tinggi (Santelices & Doty, 1989; Glenn *et al.*, 1998; Hanisak, 1998). Antara faktor yang memainkan peranan yang amat penting bagi pertumbuhan rumpai laut adalah seperti cahaya, pergerakan air, nutrien dan kepadatan kultur.

2.5.1 Cahaya

Cahaya adalah sumber tenaga yang diperlukan oleh semua tumbuhan bagi keperluan fotosintesis. Tindak balas fotosintesis akan mengasimilasi karbon dioksida dan air bagi membentuk karbohidrat (Horton *et al.*, 1996; Jeon *et al.*, 2005). Kadar fotosintesis bagi tumbuhan turut berhubung kait dengan kadar pertumbuhan di mana apabila tinggi kadar fotosintesis sesuatu rumpai laut, maka akan tinggillah kadar pertumbuhannya (Xu & Gao, 2008).

Selain itu, kadar fotosintesis juga berhubung kait dengan kepekatan kandungan klorofil. Rumpai laut mempunyai kebolehan adaptasi yang tinggi untuk penyesuaian terhadap lokasi taburan mengikut kualiti serta keamatan cahaya yang diperolehi. Penyesuaian itu juga turut melibatkan penukaran komposisi pigmen sedia ada rumpai laut mengikut pengaruh cahaya. Klorofil yang terlibat bagi rumpai laut merah adalah klorofil a dan d. Selain itu, rumpai laut merah mempunyai penyesuaian terhadap kuantiti cahaya yang rendah dengan gelombang yang pendek bagi membolehkan ia mendiami kawasan air dalam (Mata *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2006; Pereira *et al.*, 2006; Sousa *et al.*, 2007).

Cahaya pada keamatan yang tinggi akan menghasilkan kadar fotosintesis rumpai laut yang tinggi. Tahap kekeruhan air, kehadiran awan, posisi kultur

mahupun kepadatan kultur mempengaruhi kadar keamatan cahaya yang diterima (Raikar *et al.*, 2001; Holdt & Kraan, 2011). Walau bagaimanapun, keamatan cahaya yang terlalu tinggi akan memberikan kesan negatif kepada pertumbuhan terutamanya yang melibatkan tumbuhan muda apabila berlaku perencatan cahaya (Raikar *et al.*, 2001; Li *et al.*, 2009; Sforza *et al.*, 2012). Mekanisma adaptasi tersendiri oleh rumpai laut merah membolehkan ia terdedah kepada cahaya tanpa mengalami perencatan fotosintesis dengan pengubahsuaian kandungan klorofil serta fisiologinya yang lain bagi mengawal kadar pertumbuhannya (Yakovleva & Titlyanov, 2001; Skriptsova & Yakovleva, 2002; Pereira *et al.*, 2006; Sousa *et al.*, 2007).

2.5.2 Pergerakan air

Tumbuhan marin sentiasa terdedah kepada pergerakan air semulajadi yang terhasil dari pembentukan ombak dan arus laut semulajadi. Pergerakan ini sangat penting dalam menyeimbangkan suhu, saliniti, pH serta kandungan nutrien dan gas dalam air laut. Suhu dan saliniti yang terlalu tinggi atau terlalu rendah akan merencatkan pembahagian sel serta mengubah tekanan osmosis sel yang mengakibatkan pertumbuhan terbantut (Hurd, 2000; Nagler *et al.*, 2003; Ryder *et al.*, 2004; Nanba *et al.*, 2005; Msuya & Neori, 2008; Peteiro & Freire, 2011).

Pergerakan air ini memainkan peranan penting dalam penyerapan nutrien dan gas rumpai laut terutama dalam keadaan di mana nutrien/gas adalah terhad (Hurd, 2000; Kregting *et al.*, 2011). Pergerakan air memudahkan penyerapan nutrien/gas dari persekitaran dan pertukaran gas dari dalam sel ke persekitaran (Peteiro & Freire, 2011). Pergerakan air juga membantu rumpai laut untuk fotosintesis. Talus yang

terlindung akan berubah kedudukan apabila ditolak air dan seterusnya membolehkan ia terdedah kepada cahaya (Gonen *et al.*, 1995; Kregting *et al.*, 2013).

Selain itu, pergerakan air laut juga mengurangkan pemendapan sedimen ke atas talus serta mengurangkan pertumbuhan epifit (Dawes, 1995; Friedlander & Levy, 1995; Vairappan, 2006). Pergerakan air akan menyebabkan rumpai laut lebih kerap bergeser antara satu sama lain, lalu menyingkirkan epifit yang melekat di permukaan talus. Epifit cenderung untuk tumbuh di kawasan dengan pencahayaan dan nutrien yang tinggi dan kehadirannya akan mengganggu pertumbuhan rumpai laut kerana ia akan bersaing untuk mendapatkan cahaya, nutrien dan gas dari rumpai laut (Wakibia *et al.*, 2001; Peterson *et al.*, 2007; Stewart *et al.*, 2007). Walau bagaimanapun, sekiranya rumpai laut terdedah kepada pergerakan air yang terlalu kuat, produktiviti rumpai laut mungkin berkurang kerana talus-talus yang terputus (Mach *et al.*, 2007; Pedersen *et al.*, 2012).

2.5.3 Nutrien

Kandungan nutrien di dalam air memainkan peranan yang besar dalam pertumbuhan rumpai laut (Destomb *et al.*, 1996; Glenn *et al.*, 1998; Katz *et al.*, 2000; Zhou *et al.*, 2006). Nutrien yang sering dikaji untuk meningkatkan pertumbuhan rumpai laut adalah nitrogen dan fosfat. Banyak kajian oleh Yang *et al.* (2006), Figueroa *et al.* (2010), Abreu *et al.* (2011) dan Fukunaga *et al.* (2014) telah dijalankan untuk mendalami keperluan nutrien bagi pertumbuhan rumpai laut yang optima.

Kebolehan *Gracilaria* untuk menyerap dan menyimpan nutrien adalah nilai tambah yang amat berguna dalam pengkulturannya. Selain dapat mengurangkan kos

penyelenggaraan kultur, ia juga dapat mengurangi kehadiran gangguan epifit (Hein *et al.*, 1995; He *et al.*, 2008; Khoi & Fotedar, 2011). Teknik pembajaan berkala telah dibangunkan kerana dilihat berpotensi untuk dibangunkan di skala komersil. Teknik ini juga dapat mengurangkan pencemaran laut akibat lebihan nutrien hasil dari aktiviti pengkulturan tersebut (Fong *et al.*, 2004; Davidson *et al.*, 2012; Morelissen *et al.*, 2013). Rumpai laut akan dibekalkan dengan nutrien yang akan diserap dan disimpan dalam bentuk protein dan pigmen yang digunakan setelah kandungan nitrogen sel berkurangan (Dy & Yap, 2001; Yang *et al.*, 2006).

BAB TIGA

BAHAN DAN KAEDAH UMUM

3.1 Sampel *Gracilaria manilaensis* segar untuk kajian makmal

Sampel *Gracilaria manilaensis* yang digunakan dalam kajian ini diambil daripada kolam ternakan di Ban Merbok, Kedah ($5^{\circ} 41' 25.37''\text{N}$, $100^{\circ} 22' 21.19''\text{E}$). Sampel dimasukkan ke dalam kotak polisterin yang dilapik dengan kertas surat khabar bagi mengekalkan kelembapan *G. manilaensis* tersebut. Sampel dibawa balik ke Kompleks Penyelidikan Akuatik, Universiti Sains Malaysia (USM), Pulau Pinang dan dibersihkan daripada segala kekotoran dan epifit. *G. manilaensis* yang telah bersih kemudiannya diletakkan di dalam tangki gentian kaca berukuran 2m (P) x 1m (L) x 0.5m (T) yang mengandungi 600L air laut tiruan 'Instant Ocean' (keluaran Aquarium System) pada saliniti 20‰ dan diberikan pengudaraan yang secukupnya dan didedahkan kepada cahaya persekitaran.

3.2 Penentuan berat basah, saliniti dan keamatan cahaya

Berat basah ditentukan dengan menggunakan penimbang jenama Shimadzu UW420H, saliniti ditentukan dengan menggunakan refraktometer jenama ATAGO dan keamatan cahaya ditentukan dengan menggunakan alat pengukur cahaya kuantum sfera jenama LI-COR LI-193SA yang disambung ke pengellog data LI-COR LI-1400.

3.3 Aklimitasi dan pengkulturan

Sampel yang digunakan untuk setiap kajian diaklimatase selama tiga hari mengikut parameter yang telah ditetapkan untuk setiap kajian. Untuk aklimatase *G. manilaensis* dikultur di dalam air laut tiruan pada saliniti 20‰, diberikan pengudaraan secukupnya dengan pencahayaan dari lampu akuarium jenama Dymax OB pada keamatan $100\mu\text{mol photon m}^{-2}\text{s}^{-1}$ selama 12 jam (7.00 pagi hingga 7.00 malam) dan 12 jam berikutnya (7.00 malam – 7.00 pagi) dalam keadaan gelap.

3.4 Penentuan berat basah dan kadar pertumbuhan relatif

Air yang terdapat pada permukaan talus *G. manilaensis* yang basah diserap dengan menekapkannya pada kertas tisu dan kemudian ditimbang untuk menentukan beratnya. Kadar pertumbuhan relatif (KPR) ditentukan dengan menggunakan formula Nelson *et al.* (2001) seperti berikut:

$$\text{Kadar Pertumbuhan Relatif (\%)} = \frac{100 \times (\ln \text{ berat akhir} - \ln \text{ berat awal})}{\text{Masa (hari)}}$$

3.5 Penentuan kepekatan klorofil a

Klorofil memainkan peranan penting dalam kultur rumpai laut merah kerana klorofil adalah antara pigmen fotosintetik yang penting bagi rumpai laut merah (Kumar *et al.*, 2010; Indriatmoko *et al.*, 2015). Bagi penentuan kepekatan klorofil a, talus *G. manilaensis* dipotong kecil dan dihancurkan dengan menggunakan alu dan lesung. Pasir yang telah dicuci dengan asid turut digunakan untuk memudahkan penghancuran talus. Sebanyak 5 – 10ml 90% aseton ditambah ke dalam lesung yang mengandungi *G. manilaensis* dan ditumbuk untuk menghasilkan homogenat.

Homogenat ini kemudiannya dimasukkan ke dalam tabung uji dan kemudian diempar menggunakan pengempar jenama Kubota 5400 pada kelajuan 3,000 pusingan/minit (rpm) selama 10 minit. Supernatant dipindahkan ke dalam silinder penyukat dan ditambah dengan 90% aseton untuk menjadikan isipadu akhir ekstrak 10ml. Ekstrak disimpan di dalam bekas gelap dan sejuk untuk menghalang sebarang perubahan biokimia. Penentuan kepekatan klorofil a dilakukan dengan menggunakan spektrofotometer Hach Dr 2800 pada jarak gelombang 665nm. Pengiraan kepekatan pigmen ditentukan dengan menggunakan formula dari Dawes *et al.* (1999):

$$\text{Klorofil a} = 11.9A_{665}$$

3.6 Penentuan berat kering

Air yang terdapat pada talus *G. manilaensis* dikeringkan dengan menggunakan kertas tisu. Lima replikat *G. manilaensis* ditimbang sebanyak 5.0g setiap satunya, dibungkus dalam keranjang aluminium dan dikeringkan di dalam ketuhar pengering jenama Memmert UM400 pada suhu 60°C selama 72 jam. Pengiraan peratus berat kering adalah seperti berikut:

$$\text{Berat kering (\%)} = \frac{\text{Berat akhir selepas pengeringan (g)}}{\text{Berat awal sebelum pengeringan (g)}} \times 100$$

3.7 Pengekstrakan agar dan penentuan kandungan agar

Teknik pengekstrakan agar yang digunakan dalam penyelidikan ini adalah berdasarkan kaedah Marinho-Soriano *et al.* (1998) dan Marinho-Soriano & Bourret (2003). Sebanyak 5 replikat 20g *G. manilaensis* kering direndam ke dalam 1.0L air suling setiap satunya dan kemudian direbus selama 90 minit sehingga talus hancur. Talus yang telah hancur kemudian ditapis dengan menggunakan 4 lapisan kain muslin. Baki tapisan direbus semula dan kemudian ditapis lagi. Ekstrak tersebut dibiarkan sejuk pada suhu bilik untuk membentuk gel sebelum dimasukkan ke dalam peti sejuk pada suhu -15°C semalaman. Keesokan harinya, gel agar yang terbentuk daripada ekstrak tersebut dikeluarkan daripada peti sejuk untuk dinyahbeku pada suhu bilik. Selepas air keluar daripada gel tersebut, gel agar ditapis dan dibilas dengan air suling. Proses pembekuan, penyahbekuan, penapisan dan pembilasan diulang sekali lagi sebelum gel agar yang terhasil pada bilasan terakhir dikeringkan pada suhu 60°C di dalam ketuhar pengering (jenama Memmert UM400) selama 48 jam. Selepas 48 jam beratnya ditimbang dan dicatat.

3.8 Analisis statistik

Analisis varians dan kovarians ANOVA dari perisian Statistix 9 versi 9.0 diguna untuk perbandingan kesan faktor yang berbeza ke atas kadar pertumbuhan, kandungan klorofil a, berat kering dan kandungan agar *G. manilaensis*. Kebarangkalian perbezaan diuji dengan menggunakan 'Tukey's Honestly Significant Difference' (Tukey's HSD). Nilai kritikal ditetapkan pada $P = 0.05$.

BAB EMPAT

KESAN BERAT PERMULAAN KULTUR DAN KEDALAMAN KULTUR TERHADAP PERTUMBUHAN, KANDUNGAN KLOOROFIL a, BERAT KERING DAN KANDUNGAN AGAR *Gracilaria manilaensis*

4.1 Pengenalan

Wabak penyakit bintik putih (white spot) telah menyebabkan kejatuhan industri ternakan udang Malaysia serta mendatangkan kerugian yang besar kepada pengusaha kolam. Kebanyakan penternak telah mengambil keputusan menutup kolam ternakan dan ini menyebabkan kolam tersebut terbiar (Oseko, 2003). Pembaziran kawasan ini adalah amat merugikan kerana masih terdapat beberapa aktiviti yang masih boleh dijalankan bagi menjana pendapatan pengusaha kolam yang terjejas.

Pengkulturan rumpai laut *Gracilaria* spp. di kolam air payau terbiar ini boleh menjadi sumber ekonomi baru untuk pengusaha kolam kerana permintaan terhadap agar yang diekstrak daripada *Gracilaria* spp. adalah amat tinggi (Oliveira *et al.*, 2000; Bixler & Porse, 2011; Yarnpakdee *et al.*, 2015). Antara faktor utama yang mempengaruhi pertumbuhan bagi teknik ini adalah berat kultur permulaan (Nagler *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2013) serta posisi kultur (Gomez *et al.*, 2005; Hurtado *et al.*, 2008; Xu & Gao, 2008; Naguit & Tisera, 2009; Borlongan, 2011; Indriatmoko, 2015). Kedua-dua faktor ini mempengaruhi kuantiti dan kualiti

cahaya yang diperolehi oleh kultur yang memberi kesan kepada produktiviti *Gracilaria*.

Kajian terdahulu lebih banyak difokuskan pada *Gracilaria parvispora*, *Gracilaria lemaneiformis*, *Gracilaria chilensis*, *Turbinaria ornata*, *Porphyra dioica*, *Kappaphycus alvarezii*, *Kappaphycus striatum*, *Eucheuma denticulatum* (Nagler *et al.*, 2003; Gomez *et al.*, 2005; Pereira *et al.*, 2006; Yang *et al.*, 2006; Stewart *et al.*, 2007; Hurtado *et al.*, 2008; Xu & Gao, 2008; Naguit & Tisera, 2009; Kim *et al.*, 2013; Indriatmoko, 2015). Maklumat berkaitan faktor yang mempengaruhi pertumbuhan *G. manilaensis* adalah masih terhad. Sehubungan itu, kajian ini dijalankan untuk menentukan kesan berat permulaan kultur dan kedalaman kultur *G. manilaensis* terhadap pertumbuhan, berat kering, kandungan klorofil a dan kandungan agar.

4.2 Bahan dan kaedah

4.2.1 Keamatan cahaya pada kedalaman berbeza

Bacaan keamatan cahaya diambil pada tiga kedalaman yang berbeza di dalam kolam iaitu pada permukaan air, pertengahan (0.7m dari dasar kolam) dan dasar kolam selama tiga hari dengan enam kali bacaan (n=6). Keamatan cahaya diukur dengan menggunakan alat pengukur cahaya kuantum sfera jenama LI-COR LI-193SA yang disambung ke pengellog data LI-COR LI-1400. Bacaan diambil setiap jam, bermula dari pukul 7.00 pagi sehingga 7.00 malam semasa cuaca terang (langit tidak dilindungi oleh awan).