

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS

DUL: PEMODELAN PENGERINGAN SURIA DAN OVEN TERHADAP RUMPAI AUT (*Kappaphycus alvarezii* DAN *Eucheuma denticulatum*)
 ZAH: SARJANA MUDA SAINS MAKANAN DENGAN KEPUJIAN
 (TEKNOLOGI MAKANAN DAN BIOPROSES)
 SESI PENGAJIAN: 2005 - 2009

ya TEOH HAN SEAN

(HURUF BESAR)

Saya membenarkan tesis (LPS/ Sarjana/ Doktor Falsafah) ini di simpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah
 dan 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 dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972)

TERHAD

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

TIDAK TERHAD

Disahkan oleh

(TANDATANGAN PENULIS)

amat Tetap: 34, Jalan Aman,
 Taman Robina, Teluk Air Tawar,
 13050 Butterworth. P.P.

(TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

PROF. MADYA DR. SHARIFUDIN MO. SHAAR

Nama Penyelia

Tarikh: 21/5/09

Tarikh: 21/5/09

CATATAN: * Potong yang tidak berkenaan.

* Jika tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organsasi 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 disertasi bagi pengajian secara kerja kursus dan penyelidikan, atau Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

**PEMODELAN PENGERINGAN SURIA DAN
OVEN TERHADAP RUMPAI LAUT
(*Kappaphycus alvarezii* DAN *Eucheuma
denticulatum*)**

TEOH HAN SEAN

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

**TESISINI DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI
SYARAT MEMPEROLEHI IJAZAH SARJANA
MUDA SAINS MAKANAN DENGAN KEPUJIAN
(TEKNOLOGI MAKANAN DAN BIOPROSES)**

**SEKOLAH SAINS MAKANAN DAN PEMAKANAN
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH
2009**



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PENGAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.

17 April 2009



Teoh Han Sean
HN2005-2150

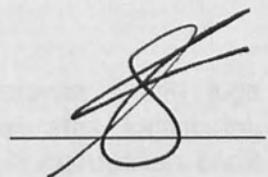
PENGESAHAN

DISAHKAN OLEH

TANDATANGAN

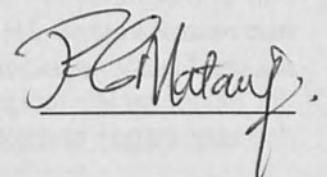
1. PENYELIA

(PROF. MADYA DR. SHARIFUDIN MD. SHAARANI)



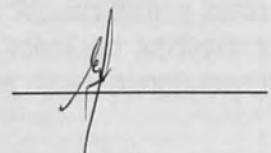
2. PEMERIKSA – 1

(DR. PATRICIA MATANJUN)



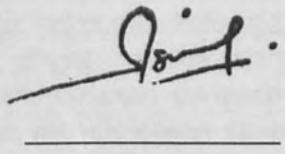
3. PEMERIKSA – 2

(MS. HO AI LING)



4. DEKAN

(PROF. MADYA DR. MOHD. ISMAIL ABDULLAH)



PENGHARGAAN

Dengan hormatnya saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada penyelia saya iaitu Profesor Madya Dr. Sharifudin kerana sudi memberi tunjuk ajar kepada saya dengan sabarnya sepanjang penyelidikan dijalankan. Beliau telah meluangkan masanya dalam pemberian panduan dan nasihat bermula dari awalan kajian saya. Perbincangan yang dijalankan dengan penyelia banyak membantu dalam penyelesaian masalah yang wujud sewaktu kajian dilakukan.

Beberapa pensyarah dari sekolah lain di Universiti Malaysia Sabah juga memainkan peranan yang penting dalam penyumbangan ke atas kajian ini. Pensyarah pertama yang ingin saya ucapkan ribuan terima kasih merupakan encik Ramlan dari Institut Penyelidikan Marin Borneo. Beliau menolong saya dengan kutipan sampel *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum* dari Kudat, Pulau Banggi mengikut jadual pengambilan sampel yang disediakan. Penyarah kedua dan ketiga adalah profesor Ho Chong Mun dan Profesor Madya Dr. HJ. Rozaini Roslan dari Sekolah Sains Teknologi. Mereka memberikan bantuan dan bimbingan yang berguna dalam penyelesaian masalah model matematik yang dicadangkan dalam kajian ini. Terima kasih yang besar ingin saya rakamkan untuk mereka kerana segala masalah dan halangan dapat diatasi.

Selain itu, jasa semua pensyarah Sekolah Sains Makanan dan Pemakanan amat say hargai atas didikan dan bimbingan terhadap kajian ini. Ribuan terima kasih juga diucapkan kepada pembantu makmal SSMP kerana sudi memberi kerjasama yang besar kepada saya dalam penyediaan bahan dan radas atau penggunaan makmal semasa penyelidikan dalam makmal dijalankan.

Akhir sekali, saya ingin mengucapkan terima kasih atas sokongan keluarga saya. Dengan prihatin dan kasih sayang mereka, saya dapat melalui dan menghabiskan kajian saya dalam tempoh masa yang diizinkan. Galakan daripada rakan-rakan di sisi juga merupakan faktor yang penting untuk membolehkan saya melintasi rintangan-rintangan yang dihadapi dalam pelaksanaan penyelidikan ini.

Sekali lagi saya ingin menunjukkan tahu balas kepada mereka yang sedia berkorbon masa dan tidak menolak untuk membantu saya sampai ke penghujung penyelidikan. Dengan adanya pertolongan mereka, kajian saya dapat dihabiskan dengan lancar dan sempurna.

ABSTRAK

Kesan bagi pengeringan suria ($34 \pm 4^\circ\text{C}$) dan oven bersuhu (50°C , 60°C and 70°C) pada lengkuk pengeringan dan masa pengeringan yang diperlukan bagi sampel *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum* diselidik. Satu model matematik yang paling baik untuk mengsimulasikan lengkuk pengeringan bagi kedua-dua sampel dicadangkan. Hubungan antara peratusan karageenan separa tulen dengan kandungan kelembapan ditentukan juga. Sampel *Kappaphycus alvarezii* dipotong menjadi $3 \times 10^{-2}\text{m}$ panjang, $5.55 \times 10^{-3} \pm 0.45 \times 10^{-3}\text{m}$ diameter dan sampel *Eucheuma denticulatum* menjadi $3 \times 10^{-2}\text{m}$ panjang, $2.55 \times 10^{-3} \pm 0.45 \times 10^{-3}\text{m}$ diameter. Penggunaan tiga model matematik yang berlainan iaitu dua model lapisan nipis (*Newton* and *Henderson-Pabis*) dan satu model resapan dinilaikan. Pengaruh suhu terhadap parameter-parameter pengeringan dan koefisien resapan berkesan dalam model-model yang dicadangkan dikaji dan pengaktifan tenaga diketahui berdasarkan persamaan *Arrhenius*. Suhu mempengaruhi lengkuk pengeringan dengan mengurangkan masa pengeringan iaitu dari 450min hingga 330min dan dari 300 min hingga 180 min bagi sampel *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum* masing-masing. Model *Newton* menunjukkan simulasi lengkuk pengeringan yang paling baik bagi sampel *Kappaphycus alvarezii* dan model *Henderson-Pabis* bagi sampel *Eucheuma denticulatum* dengan berdasarkan ujian statistik yang digunakan (r^2 , MAE, RMSE and SE). $R^2 > 0.99$, $\%E < 6.7877$, MAE < 0.0095 , RMSE < 0.0131 , dan SE < 0.0043 diperoleh oleh model *Newton* dan $r^2 > 0.98$, $\%E < 10.394$, MAE < 0.0131 , RMSE < 0.0157 , dan SE < 0.0059 didapati oleh model *Henderson*. Hasilnya, dua model ini merupakan alat yang bagus untuk menganggarkan masa pengeringan bagi sampel *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum* masing-masing. Dalam kajian ini, korelasi antara peratusan karagenan separa tulen sebagai fungsi bagi kandungan kelembapan dihasilkan dengan koefisien regresi, $r^2 = 0.9911$ dan 0.9865 bagi sampel *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum* masing-masing.

ABSTRACT

EFFECT OF SUN DRYING AND OVEN DRYING METHODS ON SEAWEED (*Kappaphycus alvarezii* AND *Eucheuma denticulatum*)

The effect of sun drying ($34 \pm 4^\circ\text{C}$) and oven drying (50°C , 60°C and 70°C) on drying curves of sample *Kappaphycus alvarezii* and *Eucheuma denticulatum* and drying time has been investigated. Sample *Kappaphycus alvarezii* was cut into $3 \times 10^{-2}\text{ m}$ length, $5.55 \times 10^{-3} \pm 0.45 \times 10^{-3}\text{ m}$ diameter and sample *Eucheuma denticulatum* was cut into $3 \times 10^{-2}\text{ m}$ length, $2.55 \times 10^{-3} \pm 0.45 \times 10^{-3}\text{ m}$ diameter. The usefulness of three different mathematical models to simulate the drying kinetics of sample *Kappaphycus alvarezii* and *Eucheuma denticulatum* has been evaluated, that is two of thin layer model (Newton and Henderson-Pabis) and a diffusional model. The influence of temperature on the drying parameters and effective diffusivity coefficient for the proposed models was evaluated. Activation energy also being found out according to the Arrhenius equation. Air temperature affected the drying curves by decreasing the drying time from 450min to 330min and 300 min to 180 min of sample *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum*, respectively. Newton model provided the best simulation of the drying curves of sample *Kappaphycus alvarezii* and the Hanberson-Pabis model for sample *Eucheuma denticulatum* based on the statistical tests employed (r^2 , MAE, RMSE and SE). $R^2 > 0.99$, $\%E < 6.7877$, $MAE < 0.0095$, $RMSE < 0.0131$, dan $SE < 0.0043$ has been shown by and $r^2 > 0.98$, $\%E < 10.394$, $MAE < 0.0131$, $RMSE < 0.0157$, dan $SE < 0.0059$ by Henderson-Pabis model which is the best simulation towards the drying sample *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum*. In consequence, both models are excellent tools for estimating the drying time of sampel *Kappaphycus alvarezii* and *Eucheuma denticulatum*, respectively. In the present study, correlation for the percentage of semi refined carrageenan as a function of moisture content has been developed with regression coefficient, $r^2 = 0.9911$ dan 0.9865 for sampel *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum*, respectively.

SENARAI KANDUNGAN

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL	i
PENGAKUAN	ii
PENGESAHAN	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
SENARAI KANDUNGAN	vii
SENARAI JADUAL	x
SENARAI RAJAH	xi
SENARAI SIMBOL	xiii
SENARAI LAMPIRAN	xv
BAB 1: PENGENALAN	1
1.1 OBJEKTIF	4
BAB 2: ULASAN KEPUSTAKAAN	5
2.1 RUMPAI LAUT	5
2.2 KEPENTINGAN RUMPAI LAUT	7
2.3 KOMPOSISI RUMPAI LAUT	8
2.3.1 AGAR-AGAR	8
2.3.2 ALGINAT (ALGIN)	9
2.3.3 KARAGENAN	9
a. JENIS KARAGENAN	9
b. STRUKTUR KARAGENAN	11
c. KAEDAH PENGEKSTRASI KARAGENAN	13
2.4 SPESIS <i>EUCHEUMA</i>	14
2.5 KANDUNGAN KELEMBAPAN MAKANAN	17
2.6 PROSES PENGERINGAN	17



2.6.1 PENGERINGAN SURIA	18
2.6.2 PENGERINGAN UDARA PANAS	19
2.6.3 LENGKUK PENGERINGAN	20
a. TEMPOH PEMANASAN DAN KADAR PENGERINGAN	20
KONSTAN	
b. TEMPOH PENGERINGAN KADAR MENURUN	22
c. KESAN KADAR PENGERINGAN YANG BERBEZA TERHADAP	23
PROSES PENGERINGAN	
2.6.4 PEMINDAHAN HABA DAN JISIM DALAM PENGERINGAN	24
a. PEMINDAHAN JISIM	24
b. RESAPAN MOLEKUL	24
2.7 MODEL ANGGARAN	25
2.8 PEMODELAN MAKANAN	27
BAB 3: BAHAN DAN KAEADAH	31
3.1 BAHAN DAN RADAS	31
3.1.1 SAMPEL	31
3.1.2 PERLAKUAN SAMPEL	32
3.2 KAEADAH PENGERINGAN	32
3.2.1 PENENTUAN KANDUNGAN KELEMBAPAN (ASAS KERING)	32
3.2.2 PENENTUAN KANDUNGAN KELEMBAPAN (ASAS BASAH)	33
3.2.3 PENENTUAN PERATUSAN KARAGENAN SEPARA TULEN	33
3.3 PEMODELAN MATEMATIK	34
3.3.1 MODEL RESAPAN (<i>DIFFUSIONAL MODEL</i>)	34
a. PENENTUAN KOEFISIEN RESAPAN BERKESAN (D_{eff})	36
3.3.2 MODEL LAPISAN NIPIS (<i>THIN LAYER MODEL</i>)	37
3.4 ANALISIS STATISTIK	38
BAB 4: HASIL DAN PERBINCANGAN	39
4.1 LENGKUK PENGERINGAN	39
4.1.1 MODEL RESAPAN (<i>DIFFUSIONAL MODEL</i>)	43

4.1.2 MODEL LAPISAN NIPIS (<i>THIN LAYER MODEL</i>)	46
4.1.3 ANALISIS MODEL SECARA STATISTIK	49
4.2 HUBUNGAN ANTARA PERATUSAN KARAGENAN SEPARA TULEN DENGAN KANDUNGAN KELEMBAPAN	52
4.3 PERUBAHAN FIZIKAL SELEPAS PROSES PENGERINGAN	54
BAB 5: KESIMPULAN	60
5.1 KESIMPULAN	60
5.2 CADANGAN	61
RUJUKAN	63
LAMPIRAN	72



SENARAI JADUAL

	HALAMAN
Jadual 2.1: Penghasilan rumpai laut di Sabah (tahun 1989 hingga 2000)	7
Jadual 2.2: Kandungan Nutrien Bagi 2 Spesis Rumpai Laut Yang Dikaji (nilai min + SD ditunjukkan sebagai % bagi bahan kering)	15
Jadual 4.1: Nilai min dan sisihan piawai bagi parameter model <i>Newton</i>	46
Jadual 4.2: Nilai min dan sisihan piawai bagi parameter model <i>Handerson-Pabis</i>	47
Jadual 4.3: Ujian statistik bagi Model <i>Newton</i> pada setiap kaedah pengeringan dengan suhu yang berbeza	50
Jadual 4.4: Ujian statistik bagi Model <i>Handerson-Pabis</i> pada setiap kaedah pengeringan dengan suhu yang berbeza	50
Jadual 4.5: Ujian statistik bagi Model resapan pada setiap kaedah pengeringan dengan suhu yang berbeza	51
Jadual 4.6: Nilai min dan sisihan piawai bagi parameter A dan B, y = A exp (- B x)	53



SENARAI RAJAH

	HALAMAN
Rajah 2.1: Struktur ‘ideal’ bagi karagenan k-, i- dan λ	12
Rajah 2.2: Gambar menunjukkan spesies <i>Kappaphycus alvarezii</i>	16
Rajah 2.3: Gambar menunjukkan spesies <i>Eucheuma denticulatum</i>	16
Rajah 2.4 : Lengkuk pengeringan (A), kadar pengeringan melawan masa (B), kadar pengeringan melawan kandungan kelembapan (C), dan suhu produk melawan masa (D)	21
Rajah 4.1: Data eksperimen dan anggaran lengkuk pengeringan daripada model resapan (---), model Newton (----) dan <i>Handerson-Pabis</i> (—) bagi sampel <i>Kappaphycus alvarezii</i> (3×10^{-2} m panjang, $5.55 \times 10^{-3} \pm 0.45 \times 10^{-3}$ m diameter) pada suhu pengeringan yang berlainan	40
Rajah 4.2: Data eksperimen dan anggaran lengkuk pengeringan daripada model resapan (---), model Newton (----) dan <i>Handerson-Pabis</i> (—) bagi sampel <i>Eucheuma denticulatum</i> (3×10^{-2} m panjang, $2.55 \times 10^{-3} \pm 0.45 \times 10^{-3}$ m diameter) pada suhu pengeringan yang berlainan.	41
Rajah 4.3: Hubungan jenis <i>Arrhenius</i> antara koefisien resapan berkesan (D_{eff}) dengan suhu untuk sampel <i>Kappaphycus alvarezii</i>	45
Rajah 4.4: Hubungan jenis <i>Arrhenius</i> antara koefisien resapan berkesan (D_{eff}) dengan suhu untuk sampel <i>Eucheuma denticulatum</i>	45
Rajah 4.5: Aplikasi persamaan <i>Arrhenius</i> dalam pengiraan E_a daripada parameter k_i bagi sampel <i>Kappaphycus alvarezii</i>	48
Rajah 4.6: Aplikasi persamaan <i>Arrhenius</i> dalam pengiraan E_a daripada parameter k_i bagi sampel <i>Eucheuma denticulatum</i>	49
Rajah 4.7: Korelasi antara peratusan karagenan separa tulen dengan kandungan kelembapan diperoleh dengan pengeringan suria ($30-38^\circ C$) dan oven ($50^\circ C$, $60^\circ C$ dan $70^\circ C$) bagi sampel <i>Kappaphycus alvarezii</i> dan <i>Eucheuma denticulatum</i>	53

Rajah 4.8:	Korelasi antara peratusan karagenan separa tulen dengan kandungan kelembapan diperoleh dengan pengeringan suria ($30\text{-}38^\circ\text{C}$) dan oven (50°C , 60°C dan 70°C) bagi sampel <i>Eucheuma denticulatum</i>	54
Rajah 4.9:	Sebahagian daripada sampel <i>Kappaphycus alvarezii</i> (kiri) dan <i>Eucheuma denticulatum</i> (kanan) yang segar	54
Rajah 4.10:	Perbandingan warna bagi sampel <i>Kappaphycus alvarezii</i> selepas (a) pengeringan suria ($30\text{-}38^\circ\text{C}$), oven bersuhu (b) 50°C , (c) 60°C dan (d) 70°C	55
Rajah 4.11:	Perbandingan warna bagi sampel <i>Eucheuma denticulatum</i> selepas (a) pengeringan suria ($30\text{-}38^\circ\text{C}$), oven bersuhu (b) 50°C , (c) 60°C dan (d) 70°C	56
Rajah 4.12:	Perbandingan kesan pengecutan bagi sampel <i>Kappaphycus alvarezii</i> selepas (a) pengeringan suria ($30\text{-}38^\circ\text{C}$), oven bersuhu (b) 50°C , (c) 60°C dan (d) 70°C	57
Rajah 4.13:	Perbandingan kesan pengecutan bagi sampel <i>Eucheuma denticulatum</i> selepas (a) pengeringan suria ($30\text{-}38^\circ\text{C}$), oven bersuhu (b) 50°C , (c) 60°C dan (d) 70°C	58

SENARAI SIMBOL

a	- berat mangkuk pijar yang telah dikeringkan
b	- berat mangkuk pijar dan sampel sebelum pengeringan
c	- berat mangkuk pijar selepas pengeringan
d	- berat sampel setiap waktu pengeringan
e	- berat hasil setiap waktu pengeringan
<i>a</i>	- faktor <i>lag</i>
Bi_m	- nombor Biot
D_0	- faktor Arrhenius (m^2/s)
D_{eff}	- koefisien resapan berkesan (m^2/s)
E_a	- pengaktifan tenaga (kJ/mol)
h_m	- Koefisien pemindahan jisim (m/s)
$J_1 (\mu_1)$	- fungsi <i>Besse</i> /jenis pertama (urutan pertama)
$J_0 (\mu_1)$	- fungsi <i>Besse</i> /jenis pertama (urutan sifar)
k_1	- parameter pengeringan model <i>Newton</i>
k_2	- parameter pengeringan model <i>Henderson-Pabis</i>
M_0	- kandungan kelembapan awalan (kg air / kg jirim kering)
M_e	- kandungan kelembapanimbangan (kg air / kg jirim kering)
$M(t)$	- kandungan kelembapan pada sebarang masa (kg air / kg jirim kering)
N	- nombor pemerhatian
R	- jejari silinder (m)
R_g	- gas konstan (J/mol K)

t	- masa (saat)
T	- suhu (K)
μ	- ciri-ciri parameter
X_{ei}	- kandungan kelembapan (kg air / kg jirim kering) eksperimen
X_{ci}	- kandungan kelembapan (kg air / kg jirim kering) kiraan
W_0	- berat sampel sebelum pengeringan (g)
W_d	- berat sampel selepas pengeringan (g)
W_{dm}	- berat jirim kering (g)
Φ	- kandungan kelembapan tidak berdimensi
Φ_{ei}	- kandungan kelembapan tidak berdimensi eksperimen
Φ_{ci}	- kandungan kelembapan tidak berdimensi kiraan
\pm	- lebih atau kurang
$>$	- lebih daripada
\geq	- lebih daripada atau sama dengan
$<$	- kurang daripada
\leq	- kurang daripada atau sama dengan
$\&$	- dan

SENARAI LAMPIRAN

HALAMAN

LAMPIRAN A:	Data-data kandungan kelembapan tidak berdimensi bagi sampel <i>Kappaphycus alvarezii</i> dan <i>Eucheuma denticulatum</i>	72
LAMPIRAN B:	Keputusan ANOVA satu hala bagi uji kaji koefisien pengeringan (k_1) dalam model <i>Newton</i> - sampel <i>Kappaphycus alvarezii</i>	81
LAMPIRAN C:	Keputusan ANOVA satu hala bagi uji kaji koefisien pengeringan (k_1) dalam model <i>Newton</i> - sampel <i>Eucheuma denticulatum</i>	82
LAMPIRAN D:	Keputusan ANOVA satu hala bagi uji kaji faktor <i>lag</i> (a) dan koefisien pengeringan (k_2) dalam model <i>Henderson-Pabis</i> - sampel <i>Kappaphycus alvarezii</i>	83
LAMPIRAN E:	Keputusan ANOVA satu hala bagi uji kaji faktor <i>lag</i> (a) dan koefisien pengeringan (k_2) dalam model <i>Henderson-Pabis</i> - sampel <i>Eucheuma denticulatum</i>	85
LAMPIRAN F:	Data-data peratusan karageenan separa tulen dengan kandungan kelembapan bagi sampel <i>Kappaphycus alvarezii</i> dan <i>Eucheuma denticulatum</i>	87
LAMPIRAN G:	Keputusan ANOVA satu hala bagi uji kaji parameter A dan B dalam persamaan $y = A \exp(-Bx)$ - sampel <i>Kappaphycus alvarezii</i>	91
LAMPIRAN H:	Keputusan ANOVA satu hala bagi uji kaji parameter A dan B dalam persamaan $y = A \exp(-Bx)$ - sampel <i>Eucheuma denticulatum</i>	93

BAB 1

PENGENALAN

Di Asia Timur dan China, kebanyakan orang menganggap rumpai laut sebagai sayur-sayuran yang bernutrisi, sama ada dalam bentuk kering atau segar. Banyak ahli pemakanan memuji rumpai laut kerana ia adalah rendah dalam kalori dan kaya dengan vitamin, mineral dan serabut fiber (Jimenez-Escriv & Sanchez-Muniz, 2000). Oleh sebab polisakarida bersulfat tidak dapat dicernakan, rumpai laut dianggap sebagai bahan makanan berkhasiat baru yang dapat merendahkan berlakunya sesetengah penyakit kronik seperti penyakit sakit jantung, kegemukan, penyakit kencing manis, kanser dan lain-lain. Dalam beberapa penyelidikan, polisakarida bersulfat telah ditunjukkan menyumbangkan ciri-ciri antiviral (Watson *et al.*, 1999), antioksidatif (Lin *et al.*, 1999), antitumor (Koyanagi *et al.*, 2003) dan antikoagulan (Siddhanta *et al.*, 1999).

Model sering digunakan untuk mengkaji pembolehubah yang terlibat dalam proses, meramal kinetik pengeringan produk dan mengoptimiskan parameter yang beroperasi dan keadaannya (Karathanos & Belessiotis, 1999). Teknologi pemodelan bernombor merupakan satu alatan yang berkesan dan berkuasa bagi simulasi proses pemanasan atau penyejukan dalam industri makanan (Wang & Sun, 2003). Pemprosesan pemanasan merupakan proses makanan yang pertama diaplikasikan

pemodelan matematik disebabkan oleh kepentingannya kepada kesihatan orang awam dan keselamatan dan ekonomi bagi pemprosesan makanan. Proses pemanasan makanan, sama ada elektrikal atau konvensional, boleh dikelaskan sebagai unit operasi dalam pelunturan, masakan, pengeringan, pasteurisasi, sterilisasi dan penyahbekuan, serta terlibat dalam peningkatan produk ke suhu akhir dimana ia bergantung kepada objektif khusus bagi proses tertentu. Ciri-ciri pemanasan bergantung kepada komposisi kimia, struktur produk dan suhu namun pemprosesan makanan dan kaedah menyukatnya juga sangat penting (Sun, 2006).

Pengeringan merupakan satu operasi yang sangat intensif tenaga akibat daripada laten pengewapan haba yang tinggi dan penggunaan udara panas sebagai media pengering (Devahastin, 2001). Rumpai laut dikeringkan dengan agar dapat disimpan dengan lebih lama dan senang dikendalikan untuk pemprosesan seterusnya (Soleha, 1995). Oleh sebab kekurangan informasi terhadap pengeringan solar atau udara panas rumpai laut, ini adalah penting untuk membuat perbandingan dengan penggunaan model pengeringan bagi buah-buahan, sayur-sayuran dan rempah dengan data yang berkaitan. Banyak kajian terhadap buah-buahan, sayur-sayuran dan rempah telah dijalankan bagi simulasi model pengeringan, termasuk kacang hijau (Simal *et al.*, 1995), *Aloe vera* (Simal *et al.*, 2000), kulit oren (Garau *et al.*, 2006) dan tangkai unggur (Garcia-Perez *et al.*, 2008).

Suhu pengeringan dari 40, 50, 60 dan 70°C telah digunakan bagi penentuan suhu yang paling sesuai untuk pengeringan komoditi yang tertentu supaya kualiti dapat dijamin (Ambrose, 1998). Sebagai contoh, dalam penghasilan bawang kering (Ambrose, 1998) dan alga merah *Gracilaria* kering (Lemus *et al.*, 2008) yang berkualiti tinggi. Walaupun suhu yang tinggi dapat mempercepatkan proses pengeringan, tetapi ciri-ciri organoleptik (tekstur, warna, ketumpatan, ketelapan dan ciri pelekatan) serupa dengan nilai nutrisi (vitamin, mineral, protein, karbohidrat dat serabut fiber) akan hilang semasa proses. Kehilangan ciri-ciri ini tidak berbaloi meskipun masa

pengeringan telah dikurangkan (Krokida *et al.*, 2003).

Pada tahun 1999, Kementerian Pembangunan Luar Bandar Malaysia (KPLBM) telah meluluskan peruntukan bagi membiayai projek pengkulturan agar-agar atau rumpai laut *Eucheuma* khususnya untuk rakyat termiskin di dua daerah di Sabah, iaitu Semporna dan Kudat. *Kappaphycus alvarezii* (*Eucheuma cottonii*) dan *Eucheuma denticulatum* (*Eucheuma spinosum*) ialah spesis yang biasa dikultur di Sabah. Peratusan karagenan yang terhasil daripada *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum* kering adalah sebanyak 38% dan 21% masing-masing. Akan tetapi, sampel rumpai laut segar menghasilkan peratusan yang lebih rendah daripada yang kering disebabkan oleh kehadiran kelembapan yang tinggi. Kaedah pengeringan rumpai laut yang digunakan merupakan pengeringan di bawah matahari (Institut Penyelidikan Marin Borneo, 2001).

Disebabkan oleh proses pengeringan suria yang lambat, pendedahan kepada pencemaran sekitar, pergantungan kepada cuaca dan keperluan tenaga pekerja, satu operasi pengeringan yang lebih cepat, selamat dan dikawal diperlukan sebagai penggantian (Kostaropoulos & Saravacos, 1995). Pengeringan udara panas adalah kaedah pengeringan alternatif. Kaedah ini dapat mengurangkan masa pengeringan dan mempertingkatkan kualiti produk kering (Abdelhaq & Labuza, 1987; Mahmutoglu *et al.*, 1996). Justeru itu, kaedah pengeringan tenaga suria dan oven dijalankan dalam kajian ini untuk membuat perbandingan antara kedua-dua kaedah tersebut. Peratusan karagenan dalam *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum* dianalisiskan kerana luas penggunaannya dalam sektor industri tertentu.

Kepentingan penyelidikan ini adalah untuk menentukan kesan dua kaedah pengeringan terhadap peratusan karagenan yang diekstrak dan seterusnya meramalkan masa pengeringan dan kandungan kelembapan dalam proses pengeringan dengan simulasi pemodelan makanan. Ini adalah penting bagi pihak atau

industri makanan yang mengeringkan *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum* yang telah dikutip untuk meramalkan kualiti rumpai laut yang telah dikeringkan dan bersedia untuk komersial. Kaedah pengeringan yang lebih sesuai dengan keadaan yang ditetapkan bagi pihak berkenaan dapat dipilih berdasarkan pertimbangan mereka.

1.1 OBJEKTIF

1. Menentukan kesan pengeringan suria dan oven terhadap pengeringan kinetik *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum*.
2. Menentukan masa pengeringan yang diperlukan bagi pengeringan suria dan oven (50°C , 60°C dan 70°C) bagi *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum*.
3. Mencadangkan satu model matematik yang paling baik untuk mengsimulasikan lenguk pengeringan bagi *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum* dengan membandingkan tiga model iaitu model resapan, *Newton* dan *Henderson-Pabis*.
4. Menentukan hubungan antara peratusan karageenan separa tulen dengan kandungan kelembapan bagi *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum*.

BAB 2

ULASAN KEPUSTAKAAN

2.1 RUMPAI LAUT

Alga dipanggil 'organisma autotrof' kerana ia mampu menghasilkan makanan sendiri melalui proses fotosintesis. Ia berfungsi membekalkan oksigen, membersihkan air dan membekalkan makanan kepada organisme laut (Ahmad, 1995). Alga dapat hidup pada hampir semua tempat misalnya air laut, air tawar, pancutan air panas, kutub salji, tanah, pokok dan batu-batan (Ensminger *et al.*, 1995). Kebanyakan alga ditemui di persekitaran air tawar (Bequette, 1997). Pertumbuhan alga pula dipengaruhi oleh kandungan garam air dan suhu. Suhu yang paling sesuai bagi pertumbuhan alga adalah antara 20°C hingga 28°C (Emi & Hety, 2003).

Rumpai laut digolongkan dalam alga yang tidak membezakan bahagian daun, batang dan akar (Tim, 2003). Rumpai laut juga dikategorikan dalam alga marin yang multiselular dan mudah dibezakan daripada jenis alga lain kerana mempunyai yang yang mikroskopik (Bilgrami & Saha, 2004). Struktur anatomi talus untuk setiap jenis rumpai laut berbeza, misalnya pada famili yang sama antara *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum*, potongan talus yang melintang mempunyai susunan sel yang berbeza. Perbezaan ini membantu dalam pengenalan berbagai jenis rumpai laut berdasarkan penentuan jenis, genus ataupun famili (Aslan, 1998).

Kebanyakan rumpai laut dibahagikan kepada tiga jenis berdasarkan warna iaitu merah (*Rhodophyta*), hijau (*Chlorophyta*) dan perang (*Phaeophyta*) (Amin & Tan, 2002; Hashim & Chu, 2004). Rumpai laut merah merupakan kumpulan yang terbesar berbanding dengan divisi lain. Rumpai laut merah dikelaskan berdasarkan pigmen merahnya (fikobilin) yang meliputi klorofil (Ahmad, 1995). Rumpai laut merah tidak semestinya berwarna merah, tetapi mempunyai warna dari hijau muda hingga kuning kemerahan sampai warna hitam disebabkan oleh kewujudan pigmen yang lain dalam *Rhodophyceae* (McHugh, 2002). Dinding selnya terdiri daripada selulosa dan makanan simpanannya adalah kanji dan floridean. Talus rumpai laut merah tidak menunjukkan perbezaan yang besar dari segi saiz dan struktur berbanding dengan alga perang. Rumpai laut merah sangat sensitif terhadap cahaya matahari (Ahmad, 1995), jadi kebanyakan daripada kumpulan ini didapati di persekitaran marin dan hanya sedikit yang hidup di kawasan air tawar (Castro & Huber, 1997).

Rumpai laut perang dikategorikan mengikut warnanya yang perang dengan kehadiran pigmen kuning terutamanya fukoxantin pada klorofil. Bahan makanan simpanan alga perang adalah laminarin (Ahmad, 1995). Rumpai laut perang merupakan pengeluar yang penting di kawasan yang bersuhu sederhana dan polar iaitu pantai berbatu (Castro & Huber, 1997). Talus rumpai laut hijau yang tebal dan lembut membolehkannya menahan kesan pendedahan udara semasa air surut (Sze, 1993).

Kebanyakan rumpai laut hijau merupakan unisel dan bukannya marin. Rumpai laut hijau tidak diliputi oleh pigmen lain, ini menyebabkan warnanya hijau terang (Aishah, 1996). Warna yang terhasil daripada rumpai laut hijau adalah disebabkan kehadiran dominant klorofil a dan b berbanding dengan pigmen lain (Tim, 2003). Biasanya rumpai laut hijau dijumpai di persekitaran air tawar dan adanya yang terdapat di daratan (Castro & Huber, 1997) kerana ia sangat tahan dengan cahaya matahari (Tim, 2003). Kanji merupakan bahan simpanan fotosintesis utama kerana

dinding selnya yang terdiri daripada lapisan luaran bahan pektik dan lapisan dalaman selulosa (Tim, 2003).

2.2 KEPENTINGAN RUMPAI LAUT

Penggunaan rumpai laut sebagai makanan di Malaysia masih jarang (Norziah & Ching, 2000) namun di negara Jepun rumpai laut telah luas digunakan, sama ada dalam industri makanan atau perubatan (Jabatan Perikanan Sabah, 2002). Rumpai laut telah menjadi salah satu bahan makanan dalam diet harian mereka (Ahmad, 1995). Bagi negara Asia lain juga, seperti negara China dan Korea, penggunaan rumpai laut agak tinggi. Terdapat juga permintaan di negara Amerika Utara, Amerika Selatan dan Eropah (McHugh, 2004). Penggunaan dalam tempat berbeza berdasarkan kebudayaan mereka. Rumpai laut biasanya dimakan mentah, dimasak atau dikeringkan. Di Malaysia, biasanya masyarakat tempatan makan rumpai laut secara mentah (Ahmad, 1995).

Rumpai laut boleh digunakan dalam pembuatan ais krim dan bahan pengawet makanan. Selain menjadi bahan makanan, rumpai laut boleh digunakan untuk menghasilkan sabun syampu dan cat (LKIM, 2005), aerosol (racun serangga), pembuatan dakwat, ubat gigi, pembuatan kain dan benang, agen pembersih dan sebagainya (Rohman, 2005). Tambahan lagi sebagai makanan haiwan ternakan yang menyebabkan mereka dapat membesar dengan lebih cepat dan menghasilkan telur yang beriodin tinggi atau susu yang bermutu (Ahmad, 1995).

Jadual 2.1: Penghasilan rumpai laut di Sabah (tahun 1989 hingga 2000).

Tahun	Jumlah peladang	Jumlah kawasan (ekar)	Rumpai laut basah (kg)	Rumpai laut kering (kg)
1989	176	4	100,000	10,000
1990	376	32	950,000	95,000
1991	480	88	2,650,000	265,000
1992	540	89	2,670,000	267,000

1993	560	105	3,130,000	313,000
1994	800	1,817	9,080,000	908,000
1995	920	408	12,230,000	1,223,000
1996	1,200	608	18,230,000	1,823,000
1997	1,600	682	20,450,000	2,045,000
1998	1,800	595	17,850,000	1,785,000
1999	2,200	877	26,290,000	2,629,000
2000	2,720	1,344	40,320,000	4,032,000

Sumber: Jabatan Perikanan Sabah, 2002

2.3 KOMPOSISI RUMPAI LAUT

Rumpai laut mempunyai nilai nutrisi sama ada ia segar, kering atau diguna sebagai bahan dalam penyediaan makanan (Wong & Cheung, 2000). Rumpai laut mempunyai vitamin, mineral (8-40%), protein (45%) yang tinggi (Ruperez, 2002; Bequette, 1997; Wong & Cheung, 2000) dan karbohidrat yang tidak dapat dicernakan . Selain itu, kandungan lemak yang sedikit (1-2%) dengan nutrisi yang dikayai hanya memberikan kalori yang sedikit dalam diet manusia (Darcy-Vrillon, 1993; Jurkovic *et al.*, 1995). Garam mineral seperti magnesium, arsenik, kuprum, sulfur dan zink dan vitamin terutamanya vitamin A dikandungi (Bequette, 1997).

Rumpai laut menghasilkan fikokoloid yang boleh digunakan secara meluas dalam industri makanan (Ahmad, 1995) sebagai bahan pemekat, pengampai pengstabil dan pengel dalam industri (Wang *et al.*, 2005). Terdapat tiga jenis fikokoloid, iaitu agar-agar, alginat dan karagenan (Patricia, 2001).

2.3.1 Agar-agar

Agar-agar diekstrasi dari alga merah dan dikenali oleh orang ramai sebagai medium bagi pertumbuhan mikroorganisma, tetapi ia telah lama digunakan oleh orang Asia dalam pembuatan jelai dan penyediaan makanan lain. Walaupun kos agar lebih

RUJUKAN

- Abdelhaq, El-H. & Labuza, T.P. 1987. Air Drying Characteristics of Apricots. *Journal of Food Science*. **52**: 342–345.
- Ahmad Ismail. 1995. *Rumpai Laut Malaysia*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa & Pustaka.
- Aishah Salleh. 1996. *Panduan Mengenali Alga Air Tawar*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa & Pustaka.
- Akpınar, E.K. 2006. Determination of Suitable Thin Layer Drying Curve Model for Some Vegetables and Fruits. *Journal of Food Engineering*. **73**: 75–84.
- Akpınar, E.K. & Bicer, Y. 2008. Mathematical Modelling of Thin Layer Drying Process of Long Green Pepper in Solar Dryer and Under Open Sun. *Energy Conversion and Management*. **49**: 1367–1375.
- Alban, S., Schauerte, A. & Franz, G. 2002. Anticoagulant Sulfated Polysaccharides: Part I. Synthesis and Structure–activity Relationships of New Pullulan Sulfates. *Carbohydrate Polymer*. **47**: 267–276.
- Ambrose, D.C.P & Sreenrayanan, V.V. 1998. Studies on the Dehydration of Garlic. *Journal of Food Science & Technology*. **35**: 242–244.
- American Carrageenan Technology Systems, Inc. 2007. PNG Carrageenan is Derived from these Two Types of *Eucheuma* Seaweed Species,
<http://www.actscinc.biz/seaweed.html>.
- Amin Ismail & Tan, S.H. 2002. Antioxidant Activity of Selected Commercial Seaweeds. *Journal Nutrition*. **8** (2): 167–177.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*. Washington: Association of Official Analytical Chemists.
- Arman, 2005. Seaweed Farming in East Malaysia,
<http://www.fao.org/docrep/field1003/AB719E/AB719E08.htm>.
- Arturo, L. 1997. *Eucheuma & Its Cultivation*,
<http://www.botany.uwc.ac.2a/algae.html>.
- Ask, E.I. & Azanza, R.V. 2002. Advances in Cultivation Technology of Commercial Eucheumatoid Species: A Review with Suggestions for Future Research. *Aquaculture*. **206**: 257–277.

- Aslan, I.L.M. 1998. *Rumpai Laut*. Yogyakarta: Kanisius.
- Babalis, S.J. & Balessiotis, V.G. 2004. Influence of the Drying Conditions on the Drying Constants and Moisture Diffusivity During the Thin Layer Drying of Figs. *Journal of Food Engineering*. **65** (3): 449-458.
- Barbosa-Canovas, G.V. & Vega-Mercado, H. 1996. *Dehydration of Foods*. New York: Chapman & Hall.
- Bequette, F. 1997. Seaweed at Your Service. *UNESCO Courier*. **50** (11): 40.
- Bilgrami, K.S. & Saha, L.C. 2004. *A Textbook of Algae*. New Delhi: CBS Publishers & Distributors.
- Bixler, H.J. & Johndro, K.D. 2001. Philippine Natural Grade or Semi-refined Carrageenan. Philips, G.O. & Williams, P.A. (ed.). *Handbook of Hydrocolloids*. London: Woodhead Publisher Ltd.
- Caceres, P.J., Carlucci, M.J., Damonte, E.B., Matsuhiro, B. & Zuniga, E.A. 2000. Carrageenans from Chilean Samples of *Stenogramme interrupta* (*Phyllophoraceae*): Structural Analysis and Biological Activity. *Phytochemistry*, **53**: 81-86.
- Castro, P. & Huber, M. 1997. *Marine Biology*. Dubuque: Wm. C. Brown Publishers.
- Curcio, S., Aversa, M., Calabro, V. & Iorio, G. 2008. Simulation of Food Drying: FEM analysis and Experimental Validation. *Journal of Food Engineering*. **87**: 541-553.
- Darcy-Vrillon, B. 1993. Nutritional Aspects of the Developing Use of Marine Macroalgae for the Human Food Industry. *International Journal of Food Science & Nutrition*. **44**: 23-35.
- De Ruiter, G.A. & Rudolph, B. 1997. Carrageenan biotechnology. *Trends in Food Science & Technology*, **8**: 339-429.
- Devahastin, S. 2001. *Panduan Praktis Mujumdar untuk Pengeringan Industrial*. Terj.. Bogor: IPB Press.
- Diamante, L.M & Munro, P.A. 1993. Mathematical Modelling of the Thin Layer Solar Drying of Sweet Potato Slices. *Solar Energy*. **51** (4): 271-276.
- Emi Suminarsih & Hety Indriani. 2003. *Budibudaya Pengolahan & Pemasaran Rumpai Laut*. Cetakan ke-9. Jakarta: Penebar Swadaya.

- Ensminger, M.E., Ensminger, A.H., Konlande, J.E. & Robson, J.R.K. 1995. *The Concise Encyclopedia of Foods and Nutrition*. New York: CRC Press LLC.
- Eswaran, K., Ghosh, P.K., Siddhanta, A.K., Patolia, J.S., Periyasamy, C., Mehta, A.S., Mody, K.H., Ramavat, B.K., Prasad, K., Rajyaguru, M.R., Reddy. 2005. Integrated method for production of carrageenan and liquid fertilizer from fresh seaweeds. *United States Patent*: 6893479.
- Garau, M.C., Simal, S., Femenia, A. & Rossello, C. 2006. Drying of Orange Skin: Drying Kinetics Modelling and Functional Properties. *Journal of Food Engineering*. **75**: 288-295.
- Garcia-Perez, J.V., Carcel, J.A., Garcia-Alvarado, M.A. & Mulet, A. 2008. Simulation of Grape Stalk Deep Bed Drying. *Journal of Food Engineering*. **90**: 308-314.
- Hallstrom, B., Gekas, V., Sjoholm, I. & Romulus, A.M. 2007. Mass Transfer in Foods. In Heldman, D.R. & Lund, D.B. (eds.). *Handbook of Food Engineering*. (2nd edi). Baco Raton: Taylor & Francis.
- Hashim, M.A. & Chu, K.H. 2004. Biosorption of Cadmium by Brown, Green & Red Seaweeds. *Chemical Engineering Journal*. **97**: 249-255.
- Hayashi, L., Paula, E.J.D. & Chow, F.Y. 2007. Growth Rate and Carrageenan Analyses in Four Strains of *Kappaphycus alvarezii* (*Rhodophyta, Gigartinales*) Farmed in the Subtropical Waters of Sao Paulo State, Brazil. *Journal Applied Phycollid*. **19**: 393 - 399.
- Hernandez, J.A., Pavon, G. & Garcia, M.A. 2000. Analytical Solution of Mass Transfer Equation Considering Shringkage For Modelling Food-drying Kinetics. *Journal of Food Engineering*. **45**: 1-10.
- Hussain, M.M. & Dincer, I. 2003. Analysis of Two-dimensional Heat and Moisture Transfer During Drying of Spherical Objects. *International Journal Energy Research*. **27**: 703-713.
- Ibarz, A. & Canovas, B.G.V. 2003. *Unit Operations in Food Engineering*. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Jabatan Perikanan Sabah, 2002. Laporan Mengenai Pengenalan kepada Industri Rumpai Laut Negeri Sabah.

- Jia, C.C., Sun, D.W. & Cao, C.W. 2000. Finite Element Prediction of Transient Temperature Distribution in a Grain Storage Bin. *Journal of Agricultural Engineering Research*. **76**: 323-330.
- Jimenez-Escrig, A. & Sanchez-Muniz, F.J. 2000. Dietary Fiber from Edible Seaweeds: Chemical Structure, Physicochemical Properties and Effects on Cholesterol Metabolism. *Nutrition Research*. **20** (4): 585-598.
- Jurkovic, N., Kolb, N. & Colic, I. nutritive Value of Marine Algae Laminaria Japonica & Undaria Pinnatifida. *Die Nahrung*. **1**: 63-66.
- Karathanos, V.T. & Belessiotis, V.G. 1999. Application of a Thin-layer Equation to Drying Data Fresh and Semi-dried Fruits. *Journal of Agricultural Engineering Research*. **74**: 355-361.
- Karel, M. & Lund, D.B. 2003. *Physical Principles Preservation of Food*. (2nd edi.). Madison Avenue: Marcel Dekker.
- Kashaninejad M., Mortazavi, A. Safekordi, A. & Tabi,I L.G. 2007. Thin-layer Drying Characteristics and Modeling of Pistachio Nuts. *Journal of Food Engineering*. **78**: 98 - 108.
- Kashaninejad. 2007
- Kostaropoulos, A.E. & Saravacos, G.D. 1995. Microwave Pre-treatment for Sun-dried Raisins. *Journal of Food Science*. **60**: 344-347.
- Koyanagi, S., Tanigawa, N., Nakagawa, H., Soeda, S. & Shimeno, H. 2003. Oversulfation of Fucoidan Enhances Its Anti-angiogenic and Antitumor Activities. *Biochemical Pharmacology*. **65**: 173-179.
- Krokida, M.K., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B. & Marinos-Kouris, D. 2003. Drying Kinetics of Some Vegetables. *Journal of Food Engineering*. **59**: 391 - 403.
- Lemus, R.A., Perez M., Andres, A., Roco, T., Tello, C.M. & Vega A. 2008. Kinetic Study of Dehydration and Desorption isotherms of Red Alga *Gracilaria*. *Food Science & Technology*. **41**: 1592-1599.
- Le Questel, J.Y., Cros, S., Mackie, W. & Perez, S. 1995. Computer Modelling of Sulfated Carbohydrates: Applications to Carrageenans. *International Journal of Biological Macromolecules*. **17**: 161-175.
- Liapis, A.I. & Bruttini, R. 1995. Freeze Drying. *Handbook of Industrial Drying*. 2nd edition. Vol 1. Montreal, Quebec: Marcel Dekker Inc.

- Lin, J.K., Liang, Y.C. & Lin, S.Y. 1999. Cancer Chemoprevention by Tea Polyphenols Through Mitotic Signal Transduction Blockade. *Biochemical Pharmacology*. **58**: 911–915.
- LKIM, 2005. *Cadangan Pelaburan Dalam Bidang Perikanan bagi GLCs*. Malaysia: Lembaga Kemajuan Ikan Malaysia.
- Lozano, J.E. Rotstein, E. & Urbicain, M.J. 1983. Shrinkage, Porosity and Bulk Density of Foodstuffs at Changing Moisture Content. *Journal Food Science*. **48**: 1497–1553.
- Madamba, P.S. 2003. Physical Changes in Bamboo (*Bambusa Phyllostachys*) Shoot Hot Drying: shrinkage, Density and Porosity. *Journal of Food Processing & Preservation*. **21**(3): 555-568.
- Mahmutoglu, T., Emir, F. & Saygi, Y.B. 1996. Sun/solar Drying of Differently Treated Grapes and Storage Stability of Dried Grapes. *Journal of Food Engineering*. **29**: 289–300.
- Maroulis, Z. B., Kiranoudis, C. T. & Marinos-Kouris, D. 1995. Heat and Mass Transfer Modeling in Air Drying of Foods. *Journal of Food Engineering*. **26**: 113- 130.
- Martens, M., Scheerlinck, N., Belie, N.D. & Baerdemaeker, J.D. 2001. Numerical Model for the Combined Simulation of Heat Transfer and Enzyme Inactivation Kinetics in Cylindrical Vegetables. *Journal of Food Engineering*. **47**: 185-193.
- May, B. 2004. Dehydrated Tomatoes. Hui, Y.H., Ghazala, S., Graham, D.M., Murrell, K.D. & Nip, W.K. (ed.). *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*. New York: Marcel Pekker, Inc.
- Mayor, L. & Sereno, A.M. 2004. Modelling Shrinkage During Convective Drying of Food Materials: A Review. *Journal of Food Engineering*. **61**: 373–386.
- McHugh, D. 2002. Industri Rumpai Laut-suatu Tinjauan. *Warta Akuakultur*. **12**: 17-21.
- McHugh, D.J. 2004. *A Guide to Seaweed Industry*. FAO Fisheries Technical Paper. No. 441.
- McMinn, W.A.M. & Magee, T.R.A. 1997. Physical Characteristics of Dehydrated Potatoes—Part I. *Journal Food Engineering*. **33**: 37–48.
- Mwithiga, G. & Olwal, J.O. 2005. The Drying Kinetics of Kale (*Brassica oleracea*) in a Convective Hot Air Dryer. *Journal of Food Engineering*. **7** (4): 373-378.

Noorlilie Angkono, Patricia Matanjun & Azizani Bin Rosli. 2001. *Preliminary Study on Nutrinet Composition of Some Seaweeds from Sabah*. Kota Kinabalu: Universiti Malaysia Sabah.

Norziah, M.N. & Ching, Y.C. 2000. Nutritional Composition of Edible Seaweeds Gracilaria Changgi. *Food Chemistry*. **68**: 69-76.

Okos, M.R. Campanella, O. Narsimhan, G., Singh, R.K. & Weitnauer, A.C. 2007. Food Dehydration. In Heldman, D.R. & Lund, D.B. (eds.). *Handbook of Food Engineering*. (2nd edi). Baco Raton: Taylor & Francis.

Park, Y.W. & Bell, L.N. 2004. Determination of Moisture and Ash Contents of Foods, From Nollet, L.M.L. *Handbook of Food Analysis: Physical Characterization and Nutrient Analysis*. 2nd edi. New York: Marcel Dekker.

Patricia Matanjun. 2001. *Rumpai Laut: Penggunaan Sebagai Sumber Makanan*. Suara Makanan. Sep. 29-32. Penerbitan Universiti Malaysia Sabah.

Phillips, G.O. 1996. *The Chemical Identification of PNG-carrageenan in Gum & Stabilisers for the Food Industry* 8. Philips, G.O., Williams, P.A. & Wedlock, D.J. (ed.). IRL Press at the Oxford University Press, Oxford, pp. 403-421.

Projek Perintis Di Banggi/Kudat Laporan Kemajuan Tahunan. 2001. *Projek Pembangunan Pengkulturan Rumpai Laut Di Sabah*. Institut Penyelidikan Marin Borneo. Kota Kinabalu: Universiti Malaysia Sabah.

Ratti, C. 1994. Shrinkage During Drying of Foodstuffs. *Journal Food Engineering*. **23**: 91-105.

Rideout, C.S. & Bernabe, M.G. 1998. Method for extracting semi-refined carrageenan from seaweed. *United States Patent* : 5801240.

Ridzuan, H. 1993. *Sumber Makanan Persisiran Laut Sabah*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa & Pustaka.

Roberts, M.A. & Bernard, Q. 1999. Measurement of Carrageenan in Food: Challenges, Progress & Trends in Analysis. *Trends in Food Science & Technology*. **10**: 169-181.

Rohman Jasmani. 2005. *Rumpai Laut Bernilai Tinggi*. Azizan Othman & Rohman Jasmani. (ed.). Berita Transformasi Pertanian. Kuala Lumpur: Lembaga Pertubuhan Peladang. 10-12.

- Rudolph, B. 2000. Seaweed Products: Red Algae of Economic Significance. Lan caster: Technomic Publishing Company Inc.
- Ruperez, P. 2002. Mineral Content of Edible Marin Seaweeds. *Journal Food Chemistry*. **79**: 23-36.
- Schiffmann, R.F. 1995. Microwave & Dielectric Drying. *Handbook of Industrial Drying*. 2nd edition. Vol 1. Montreal, Quebec: Marcel Dekker Inc.
- Senadeera, W., Bhandari, B.R., Young, G. & Wijesinghe, B. 2003. Influence of Shapes of Selected Vegetable Material on Drying Kinetics During Fluidized Bed Drying. *Journal of Food Engineering*. **58** (3): 277-283.
- Siddhanta, A.K., Shanmugam, M., Mody, K.H., Goswami, A.M. & Ramavat, B.K. 1999. Sulfated polysaccharides of Codium Dwarkense Boergs from the West Coast of India: Chemical Composition and Blood Anticoagulant Activity. *International Journal Biological Macromolecules*. **26**: 151-154.
- Simal, S., Femenia, A., Garau, M.C. & Rosello, C. 2005. Use of Exponential, Page's and Diffusional Models to Simulate the Drying Kinetics of Kiwi Fruit. *Journal of Food Engineering*. **66** (3): 323-328.
- Simal, S., Femenia, A., Llull, P. & Rossello, C. 2000. Dehydration of Aloe Vera: Simulation of Drying Curves and Evaluation of Functional Properties. *Journal of Food Engineering*. **43**: 109-114.
- Simal, S., Mulet, A., Tarrazob, J. & Rossello C. 1996. Drying Models for Green Peas. *Food Chemistry*. **55**: 121-128.
- Simal, S., Rossello, C. Berna, A. & Mulet, A. 1998. Drying of Shrinking Cylinder-shaped Bodies. *Journal of Food Engineering*. **37**: 423-435.
- Soleha Ishak. 1995. *Pengawetan Makanan secara Pengeringan*. Kuala Lumpur: Dewan Bahasa dan Pustaka.
- Souraki, B.A. & Mowla, D. 2008. Axial and Radial Zdiffusivity in Cylindrical Fresh Green Beans in a Fluidized Bed Dryer with Energy Carrier: Modelling with and without Shrinkage. *Journal of Food Engineering*. **88**: 9-19.
- Srikiatden, J. & Roberts, J.S. 2008. Predicting Moisture Profiles in Potato and Carrot During Convective Hot Air Drying Using Isothermally Measured Effective Diffusivity. *Journal of Food Engineering*. **84**: 516-525.

- Suarez, C. & Viollaz, P.E. 1991. Shrinkage Effect on Drying Behavior of Potato Slabs. *Journal Food Engineering*. **13**: 103–114.
- Sun, D.W. 2006. *Thermal Food Processing: New Technologies and Quality Issues*. New York: Taylor & Francis.
- Sze, P. 1993. *A Biology of the Algae*. 2nd edition. Melbourne: Wm. C. Brown Publishers
- USDA. 2001. Agriculture Research Service Nutrient Database for Standard Reference, Release 14.
- Tang, J. & Yang, T. Dehydrated Vegetables: Principles and Systems. 2004. In Hui, Y.H., Ghazala, S., Graham, D.M., Murrell, K.D. & Nip, W.K. (eds.). *Handbook of Vegetable Preservation and Processing*. Madison Avenue: Marcel Dekker.
- Tim, H.P. 2003. *Budibudaya Pengolahan & Pemasaran Rumpai Laut*. Jakarta: Penebar Swadya.
- Togrul, I.T. & Pehlivan, D. 2003. Modelling of Drying Kinetics of Single Apricot. *Journal of Food Engineering*. **58** (1): 23-32.
- Tripathy, P.P., & Kumar, S. 2008. Modelling of Heat Transfer and Energy Analysis of Potato Slices and Cylinder During Solar Drying. *Applied Thermal Engineering*. Doi: 10.1016/j.applthermaleng.2008.04.018.
- Tye, R. 1994. *Philippine Natural Grade Carrageenan in Gum & Stabilisers for the Food Industry* 7. Philips, G.O., Williams, P.A. & Wedlock, D.J. (ed.). IRL Press at the Oxford University Press, Oxford, pp. 125-137.
- Usov, A.I. 1998. Structural analysis of red seaweed galactans of agar and carrageenan groups. *Food Hydrocolloids*, **12**: 301–308.
- Vagenas, G.K. & Karathanos, V.T. 1993. Prediction of the Effective Moisture Diffusivity in Gelatinized Food Systems. *Journal of Food Engineering*. **18** (2): 159-179.
- Vega, A., Andres, A., Fito, P. & Lemus, R. 2007. Mathematical Modelling of Hot-air Drying Kinetics of Red Bell Pepper (var. Lamuyo). *Journal of Food Engineering*. **79** (4): 1460-1466.
- Vega, A. Uribe, E. Lemus, R. & Miranda, M. 2007. Hot-air Drying Characteristics of Aloe Vera (*Aloe barbadensis* Miller) and Influence of Temperature on Kinetic Parameters. *LWT – Food Science and Technology*. **40**: 1698–1707.

- Vinderola, C.G. & Reinheimer, J.A. 1999. Culture media for the enumeration of *Bifidobacterium bixdum* and *Lactobacillus acidophilus* in the presence of yoghurt bacteria. *International Dairy Journal*, **9**: 497-505.
- Wang, L.J. & Sun, D.W. 2003. Recent Developments in Numerical Modelling of Heating and Cooling Process in the Food Industry. *Trend in Food Science & Technology*. **14**: 408-423.
- Wang, L.J. & Sun, D.W. 2006. Heat and Mass Transfer in Thermal Food Processing. In Sun, D.W. (ed.). *Thermal Food Processing: New Technologies and Quality Issues..* Baco Raton: Taylor & Francis.
- Wang, Q., Rademacher, B., Sedlmeyer, F. & Kulozik, U. Gelation Behavior of Aqueous Solutions of Different Types of Carrageenan Investigated by Low-intensity Ultrasound Measurements & Comparison to Rheological Measurements. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. **6**: 465-472.
- Wang, Z.H. & Chen G.H. 1999. Heat and Mass Transfer During Low Intensity Convection Drying. *Chemical Engineering Science*. **54**: 3899-3908.
- Watson, K., Gooperham, N.J., Davies, D.S. & Edwards, R.J. 1999. Interactions of the Transactivating Protein HIV-1 Tat with Sulphated Polysaccharides. *Biochemical Pharmacology*. **57**: 775-783.
- Wong, K.H. & Cheung, P.C.K. 2000. Nutritional Evaluation of Some Subtropical Red & Green Seaweeds Part 1-Proximate Composition, Amino Acid Profiles & Some Physicochemical Properties. *Food Chemistry*. **71**: 475-482.
- Zhou, L., Puri, V. M., Anantheswaran, R. C. & Yeh, G. 1995. Finite Element Modeling of Heat and Mass Transfer in Food Materials During Microwave Heating – Model Development and Validation. *Journal of Food Engineering*. **25**: 509-529.