

## Analisis Kinetik Pengeringan Rumpai Laut *Gracilaria changii* Menggunakan Sistem Pengering Suria (Drying Kinetics Analysis of Seaweed *Gracilaria changii* using Solar Drying System)

MOHD. YUSOF HI. OTHMAN\*, AHMAD FUDHOLI, KAMARUZZAMAN SOPIAN,  
MOHD. HAFIDZ RUSLAN & MUHAMMAD YAHYA

### ABSTRAK

*Sistem pengering suria untuk pengeringan hasil pertanian dan laut telah direka bentuk, dibina dan diuji dalam suasana cuaca di Malaysia. Sistem pengeringan suria yang dibina, diuji untuk mengeringkan rumpai laut Gracilaria changii. Rumpai laut yang dikeringkan mempunyai kandungan air sekitar 95% asas berat basah untuk menghasilkan produk kering yang mempunyai kandungan air 10%. Proses pengeringannya mengambil masa selama kira-kira 7 jam, pada purata keamatan sinaran suria 593 W/m<sup>2</sup> dan kadar aliran udara pengering 0.0613 kg/s. Pemandangan tiga model pengeringan telah dilakukan dengan data uji kaji pengeringan rumpai laut menggunakan sistem pengering suria pada suhu udara purata dalam kebuk 50°C dan purata kelembapan relatif udara 20%. Kejituan padanan model ditentukan berdasarkan nilai R<sup>2</sup> yang paling tinggi, juga nilai MBE dan RMSE yang paling rendah. Kajian ini mendapati model pengeringan rumpai laut yang sesuai adalah model pengeringan Page dibandingkan dengan model pengeringan yang lain (model pengeringan Newton dan model Henderson dan Pabis).*

*Kata kunci: Kinetik pengeringan; model pengeringan; rumpai laut; sistem pengering suria*

### ABSTRACT

*A solar drying system suitable for agricultural and marine products have been designed, constructed and evaluated under Malaysia climatic conditions. The solar drying system has been constructed and evaluated for the drying of seaweed Gracilaria changii. The initial and final moisture content of seaweed are 95% (wet basis) and 10% (product basis), respectively. The drying time was about 7 hours at average solar radiation of 593 W/m<sup>2</sup> and air flow rate of 0.0613 kg/s. Three different thin-layer drying models were compared with experimental data, during the drying of seaweed using the solar drying system at average temperature and humidity of about 50°C and 20%, respectively. The one with highest R<sup>2</sup> and lowest MBE and RMSE was selected to better estimate the drying curves. The study showed that the Page model was better fit to drying seaweed compared to the other models (Newton model, and Henderson and Pabis model).*

*Keywords: Drying kinetics; drying modelling; seaweed; solar drying system*

### PENGENALAN

Malaysia terletak di kawasan khatulistiwa. Semenanjung Malaysia terletak di antara garis bujur 1.30 °U dengan 6.60 °U dan garis lintang 99.50 °T dengan 103.30 °T. Di kawasan Khatulistiwa khususnya, cahaya matahari yang banyak dapat diterima di sepanjang tahun. Malaysia biasanya menerima lebih kurang 13 jam sinaran suria. Purata sinaran suria adalah 4-5 kWj/m<sup>2</sup>, manakala purata jumlah jam sinaran suria adalah antara 4 hingga 8 jam. Purata suhu persekitaran adalah di antara 26 hingga 32°C, dan purata kelembapan relatif adalah di antara 80 hingga 90% dan tidak pernah kurang daripada 60% (Othman et al. 1993). Di Malaysia, terdapat peningkatan nilai min sinaran suria global harian. Pada lewat tahun 70-an nilai tersebut adalah 4.0 kWj/m<sup>2</sup>. Di sekitar awal tahun 90-an nilai tersebut meningkat kepada 4.5 kWj/m<sup>2</sup>, dan terkini nilai tersebut meningkat lagi ke paras 5.0 kWj/m<sup>2</sup> melalui kajian yang dibuat dengan menggunakan pengimejan

satelit (Azhari et al. 2008). Oleh itu, penggunaan sistem pengering suria sememangnya mempunyai potensi yang tinggi dan sesuai dengan iklim di Malaysia. Hampir semua hasil pertanian di Malaysia mempunyai potensi yang baik untuk menggunakan teknologi pengeringan suria (Othman 2009).

Malaysia adalah negara yang mengeksport produk pertanian dan perikanan kering ke luar negara. Permintaan terhadap produk bahan pertanian dan perikanan kering yang bermutu adalah tinggi. Kebanyakan komoditi pertanian dan perikanan memerlukan proses pengeringan dalam usaha untuk mendapatkan produk akhir yang berkualiti. Antara komoditi tersebut adalah koko, kopi, getah, lada hitam, tembakau, cili, teh, pisang, ikan bilis dan rumpai laut. Pada ketika ini, terdapat berbagai jenis sistem pengeringan suria yang boleh digunakan untuk proses pengeringan hasil pertanian dan laut di serata dunia, antaranya adalah sistem pengeringan berkabinet, sistem pengeringan berkhemah,

sistem pengeringan bercorong dan sistem pengeringan rumah hijau (Fudholi et al. 2010). Sistem pengeringan suria yang berbagai-bagai ini dapat disesuaikan dengan jenis komoditi yang ingin dikeringkan dan juga lokasi di mana komoditi tersebut berada.

Rumpai laut adalah tumbuhan peringkat rendah yang tidak mempunyai sistem akar batang dan daun. Keseluruhan jasad tumbuhan dikenali sebagai talus. Ia tergolong dalam kumpulan alga dan hidup di persekitaran air masin (laut) dan air payau (muara sungai dan kolam). Di persekitaran laut ia tersebar dengan meluas di kawasan tepi pantai yang mengalami pasang surut sehingga ke kawasan dasar laut yang dapat ditembusi oleh cahaya matahari. Rumpai laut tumbuh di kawasan terumbu karang, kawasan berpasir dan berbatu serta kawasan berlumpur. *Sargassum* spp. mendominasi kawasan terumbu karang dan berbatu manakala *Gracilaria* spp. mendominasi kawasan berlumpur dan hutan bakau. Salah satu spesies yang berpotensi dikomersialkan ialah *Gracilaria* spp. Pihak Jabatan Perikanan telah menjalankan kajian ke atas pengkulturan *Gracilaria changii* di mana pengkulturan dijalankan di dalam kolam di Ban Merbok, Kedah secara sistem polikultur. Hasil daripada kajian mereka menunjukkan bahawa spesies ini sesuai untuk dikultur di dalam kolam. Ini kerana di dalam kolam terdapat kandungan nutrien yang tinggi di samping fungsinya sebagai penapis biologi (Adibi Rahiman 2006). *Gracilaria* spp. ialah sejenis rumpai laut merah yang mempunyai kepentingan ekonomi kerana ia mengandungi polisakarida hidrofilik yang dikenali sebagai agar-agar. Agar-agar mempunyai sifat seperti gam dan banyak digunakan dalam industri pemrosesan makanan dan bukan makanan. Kini, spesies *Gracilaria* menjadi sumber bahan mentah yang utama di dunia bagi menghasilkan agar-agar (Adibi Rahiman 2006). Memandangkan kepentingan ekonomi rumpai laut, terdapat usaha yang dijalankan secara bersungguh-sungguh untuk meningkatkan aktiviti penanaman tumbuhan ini (Rosli Abdul Rahman 2007).

Pengeringan rumpai laut boleh dilakukan sama ada dengan cara menjemur secara langsung di bawah sinar suria (kaedah tradisi), atau pun dengan menggunakan alat pengering (pengeringan secara tidak langsung). Pengeringan tradisi boleh dilakukan dengan mudah dan dengan kos yang murah. Namun, terdapat beberapa masalah dalam pengeringan tradisi seperti:

1. Memerlukan kawasan jemuran yang luas.
2. Bergantung kepada keadaan cuaca.
3. Memerlukan masa yang lama.
4. Sukar dikawal.
5. Terdedah kepada kotoran, ancaman serangga dan binatang.
6. Berlaku banyak kehilangan, kerana rosak dan tercicir.

Sistem pengeringan suria diperkenalkan dengan tujuan untuk meningkatkan keupayaan proses pengeringan kerana ia jauh lebih baik jika dibandingkan dengan pengeringan tradisi seperti berikut:

1. Tidak memerlukan kawasan yang luas.
2. Boleh beroperasi pada hari dengan cuaca mendung dan berawan.
3. Lebih bersih dan dapat menjamin mutu hasil komoditi.
4. Kecekapan pengeringan yang lebih tinggi tanpa merosakkan mutu hasil.
5. Dapat mengelakkan ancaman serangga dan binatang.
6. Proses pengeringan boleh dikawal.

Lengkung pengeringan dan lengkung kadar pengeringan memberikan dua maklumat terpenting tentang proses pengeringan sesuatu bahan. Lengkung ini menggambarkan masa yang diperlukan untuk mencapai kandungan lembapan yang dikehendaki serta kandungan lembapan yang seimbang. Lengkung ciri pengeringan memberikan maklumat tentang ciri-ciri pengeringan sesuatu bahan, dan juga menunjukkan kewujudan pelbagai peringkat pengeringan.

Kajian ini membicarakan tentang lengkung pengeringan rumpai laut *Gracilaria changii* yang dilakukan dengan menggunakan sistem pengeringan suria yang dibina di Taman Inovasi Teknologi Tenaga Hijau, Universiti Kebangsaan Malaysia dengan objektif utamanya adalah untuk mendapatkan lengkung pengeringan, dan mencadangkan model pengeringan (model semi-empirikal) yang sesuai. Perbandingan dengan model pengeringan Newton (Ibrahim et al. 2009) dan Henderson & Pabis (Saeed et al. 2008) juga dilakukan.

Terdapat 12 model pengeringan berdasarkan kepada analisis kinetik (Jadual 1). Untuk menganalisis kinetik pengeringan rumpai laut *Gracilaria changii* yang dilakukan dalam kajian ini, model pengeringan telah digunakan, dan model ini telah dibandingkan dengan model Newton (1), model Page (2) dan model Henderson dan Pabis (5).

Kadar kandungan lembapan ( $MR$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan yang dicadangkan oleh Aktas et al. (2009):

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

dengan,  $M_e$  ialah kandungan lembapan seimbang dan  $M_0$  ialah kandungan lembapan awal.

Kandungan lembapan bahan ( $M$ ) dapat dikira melalui dua kaedah, iaitu sama ada berdasarkan kepada asas basah atau pun asas kering menggunakan persamaan yang berikut,

Kandungan lembapan asas basah, wb:

$$M = \frac{w(t) - d}{w} \times 100\% \quad (2)$$

Kandungan lembapan asas kering, db atau g/g (Dissa et al. 2009):

$$X = \frac{w(t) - d}{d} \quad (3)$$

JADUAL 1. Beberapa model pengeringan (Aktas et al. 2009; Ibrahim et al. 2009; Saeed et al. 2008)

No.	Model	Persamaan
1	Newton	$MR = \exp(-kt)$
2	Page	$MR = \exp(-kt^n)$
3	Page yang diubah suai	$MR = \exp(-(kt)^n)$
4	Page yang diubah suai II	$MR = \exp(-k(t/L^2)^n)$
5	Henderson dan Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
6	Henderson dan Pabis yang diubah suai	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$
7	Simplified Fick's	$MR = a \exp(-kt) + c$
8	Logaritma	$MR = a \exp(-c(c/L^2)^n)$
9	Two-term	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$
10	Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kat)$
11	Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$
12	Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$

dengan,  $w(t)$  ialah jisim sampel basah pada masa pengeringan tertentu dan  $d$  ialah jisim sampel kering

Nilai  $R^2$  (coefficient of determination), MBE (mean bias error) dan RMSE (root mean square error) digunakan untuk menentukan kualiti model pengeringan. Nilai  $R^2$  yang paling tinggi dan nilai-nilai MBE dan RMSE yang paling rendah dipilih untuk menganggar lengkung pengeringan yang paling baik (Ibrahim et al. 2009).

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2, \quad (4)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (5)$$

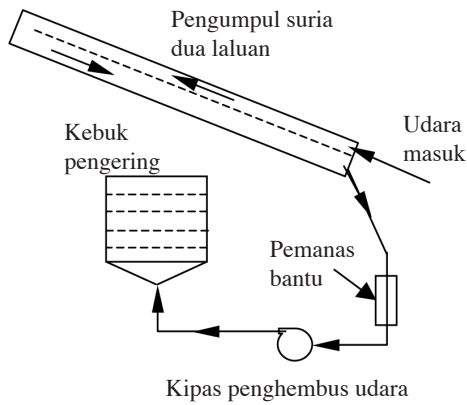
#### ALAT, BAHAN DAN KAEDAH UJI KAJI

Gambar foto sistem pengeringan suria yang dibina ditunjukkan seperti dalam Rajah 1. Sistem pengeringan suria untuk rumpai laut yang dibina terdiri daripada empat komponen utama, iaitu pengumpul suria dua laluan dengan penyerap bersirip, kipas penghembus udara, pemanas elektrik tambahan dan kebuk pengering. Gambarajah skema sistem pengeringan suria yang dibina ditunjukkan seperti Rajah 2. Pengumpul suria dua laluan dengan plat bersirip mempunyai kecekapan 45% sehingga 77% (Fudholi et al. 2011) telah digunakan.

Nilai kelembapan awal rumpai laut perlu diketahui sebelum proses pengeringan dilakukan di dalam kebuk pengering. Kajian pengeringan rumpai laut menggunakan alat pengering sekitaran dilakukan di Makmal Tenaga Suria, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan



RAJAH 1. Gambar sistem pengeringan suria untuk rumpai laut



RAJAH 2. Gambarajah skema sistem pengeringan suria untuk rumput laut

Malaysia. Pengering sekitaran yang digunakan adalah jenis *Low Temperature and Humidity Test Chamber* (Model DY110, Angelantoni Asean Pte Ltd, Singapore) yang terdapat di Makmal Tenaga Suria, Universiti Kebangsaan Malaysia. Julat suhu dan kelembapan yang boleh dijalankan oleh pengering sekitaran ini adalah antara -40°C sehingga 180°C dan kelembapannya antara 10% sehingga 98%. Kadar kelajuan udara dikawal pada keadaan malar 1 m/s. Daripada ujian pengeringan rumput laut dengan alat

pengering sekitaran, didapati ia mempunyai kandungan lembapan awal 94.6%.

Rumpai laut segar diperoleh dari kolam di Ban Merbok, Kedah. Gambar foto rumput laut basah yang akan dikeringkan dengan sistem pengering suria adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3(a), dan proses pengeringan dalam kebuk pengeringan ditunjukkan dalam Rajah 3(b).

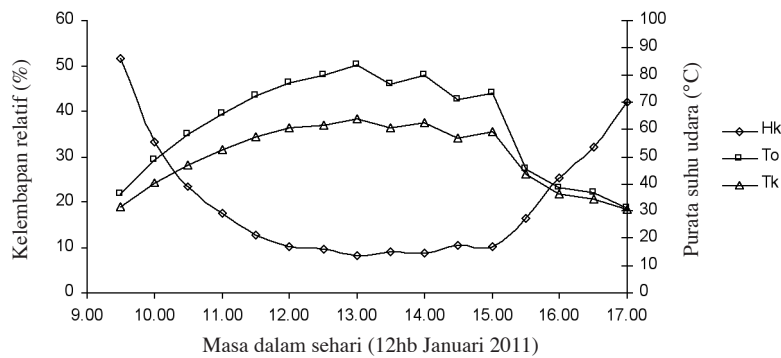
HASIL DAN PERBINCANGAN

Ujikaji dilakukan bermula jam 08:00 sehingga jam 18:00, manakala data diambil bermula jam 09:00 sehingga jam 17:00. Hasil uji kaji pengeringan rumput laut tanpa menggunakan bantuan pemanas elektrik, iaitu pada cuaca cerah adalah ditunjukkan seperti dalam Rajah 4. Kajian ini mendapati julat suhu kebuk pengering sekitar 30°C < T < 65°C, suhu purata kebuk 49.9°C, dan purata kelembapan relatif udara dalam kebuk pengering adalah 20 %.

Dalam kajian ini, proses pengeringan rumput laut yang dilakukan di Taman Inovasi Teknologi Tenaga Hijau, Universiti Kebangsaan Malaysia menggunakan sistem pengering suria dengan pengumpul dua laluan dengan plat penyerap berserip. Proses pengeringan mengambil masa selama 7 jam untuk mengurangkan



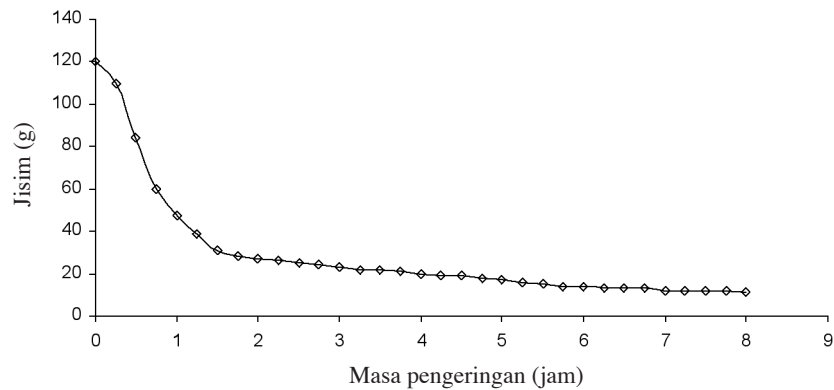
RAJAH 3. (a) Rumpai laut *Gracilaria changii* (Rosli 2007), dan (b) proses pengeringannya dalam kebuk pengeringan dalam sistem pengeringan suria yang dibina



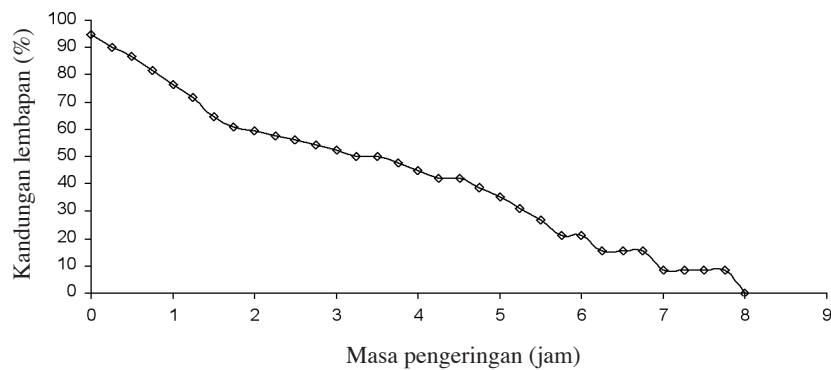
RAJAH 4. Kelembapan relatif kebuk pengering (Hk), suhu kebuk pengering (Tk) dan suhu keluar pengumpul (To) pada kadar aliran udara 0.0613 kg/s

kandungan lembapan awal 94.6% kepada kandungan lembapan akhir 8.33%. Nilai ini bersamaan dengan 120 g jisim awal bahan kepada 11 g jisim akhir bahan. Proses pengeringan berlaku pada purata keamatan sinaran suria 593 W/m<sup>2</sup> dan kadar aliran udara pengering 0.0613 kg/s. Perubahan jisim bahan (rumpai laut) dicatatkan setiap 15 minit. Rajah 5 menunjukkan perubahan jisim rumpai laut yang dikeringkan terhadap masa. Rajah 6 menunjukkan penurunan kandungan lembapan asas basah terhadap masa pengeringan.

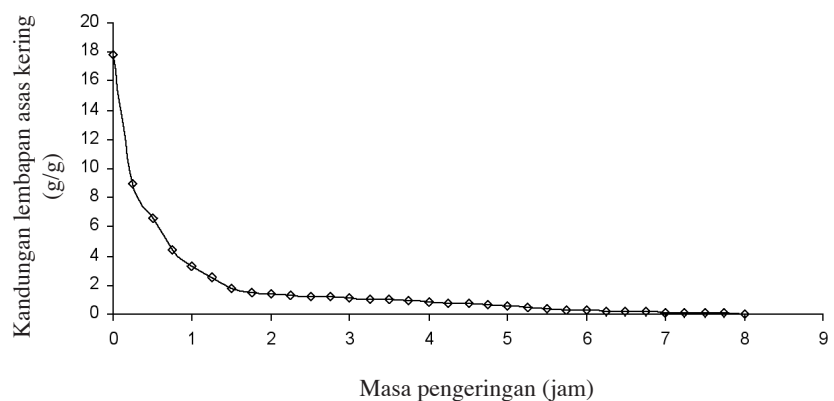
Lengkung kinetik pengeringan rumpai laut pada suhu 50°C dan kelembapan relatif udara 20% ditunjukkan dalam Rajah 7 sehingga Rajah 9. Lengkung kinetik pengeringan ini terdiri daripada tiga lengkung iaitu lengkung pengeringan, lengkung kadar pengeringan dan lengkung pencirian pengeringan. Lengkung pengeringan menunjukkan profil perubahan kandungan lembapan ( $X$ ) melawan masa pengeringan ( $t$ ). Lengkung kadar pengeringan menunjukkan profil kadar pengeringan ( $dX/dt$ ) melawan masa pengeringan ( $t$ ), manakala lengkung pencirian pengeringan menunjukkan



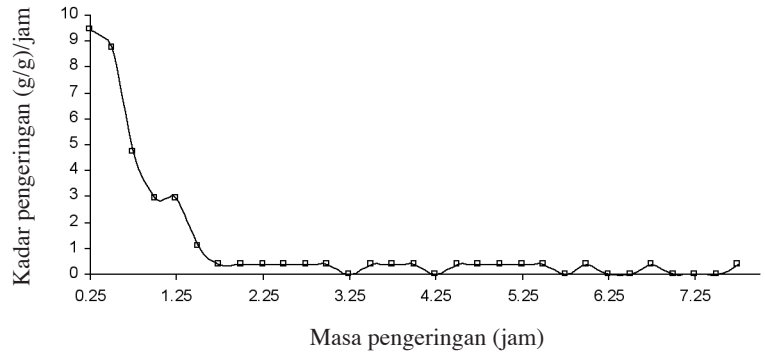
RAJAH 5. Perubahan jisim terhadap masa



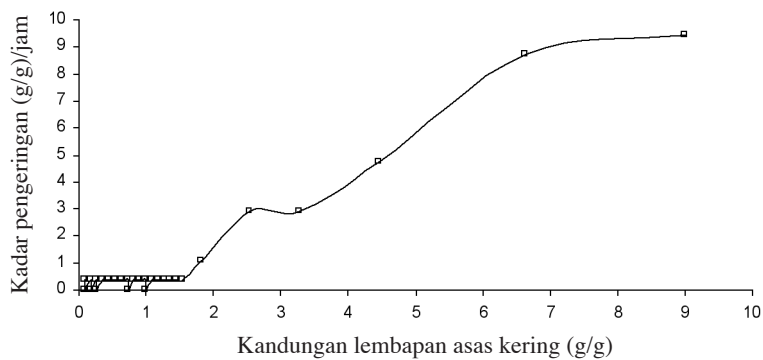
RAJAH 6. Lengkung pengeringan rumpai laut dalam asas basah



RAJAH 7. Lengkung pengeringan rumpai laut – kandungan lembapan asas kering melawan masa



RAJAH 8. Lengkung kadar pengeringan rumpai laut – kandungan lembapan asas kering melawan masa

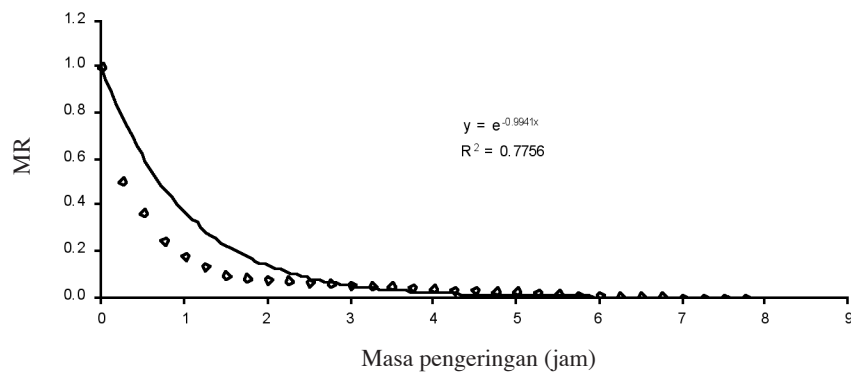


RAJAH 9. Lengkung pencirian pengeringan rumpai laut – kadar pengeringan melawan kandungan lembapan asas kering

profil kadar pengeringan ( $dX/dt$ ) melawan kandungan lembapan asas kering ( $X$ ).

Pemadanan beberapa model pengeringan telah dilakukan dengan data ujikaji pengeringan rumpai laut menggunakan sistem pengering suria pada suhu purata kebuk 50°C, dan purata kelembapan relatif udara 20%. Model pengeringan yang dipadankan dengan data ujikaji pengeringan ialah model pengeringan Newton, model pengeringan Page, dan model pengeringan Henderson dan Pabis. Data ujikaji pengeringan yang dipadankan

dengan model pengeringan adalah dalam bentuk perubahan kandungan lembapan melawan masa pengeringan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 10 sehingga 12. Pada model pengeringan ini, perubahan kandungan lembapan melawan masa dikira dengan menggunakan perisian *Excel*. Hasil padanan model pengeringan dengan data ujikaji pengeringan disenaraikan seperti dalam Jadual 2. Jadual 2 menunjukkan pemalar pengeringan dan kejituan padanan masing-masing terhadap model pengeringan. Nilai  $R^2$  yang paling tinggi dan nilai  $MBE$  dan  $RMSE$  yang paling rendah



RAJAH 10. Pengurangan kandungan lembapan melawan masa pengeringan (model Newton)

dipilih untuk menganggar lengkung pengeringan yang paling baik (Ibrahim et al. 2009).

Persamaan Page boleh juga dituliskan dengan persamaan:

$$\ln(-\ln MR) = \ln k + n \ln t. \quad (6)$$

Persamaan (6) merupakan hubungan antara  $\ln(-\ln MR)$  dengan masa pengeringan,  $t$ . Ia adalah garis lengkung daripada persamaan logaritma, seperti yang dilakarkan dalam Rajah 11. Persamaan Henderson dan Pabis boleh juga dituliskan dalam bentuk persamaan:

$$\ln MR = -kt + \ln a. \quad (7)$$

Persamaan (7) merupakan hubungan antara  $\ln MR$  dengan masa pengeringan,  $t$ . Ia adalah garisan lurus dengan pintasan =  $\ln a$ , dan kecerunan grafnya =  $k$ . Graf  $\ln MR$  melawan  $t$ , dapat dilakarkan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 12. Daripada graf ini, diperoleh nilai  $k = -0.6289$  dan nilai  $a = 0.4138$ .

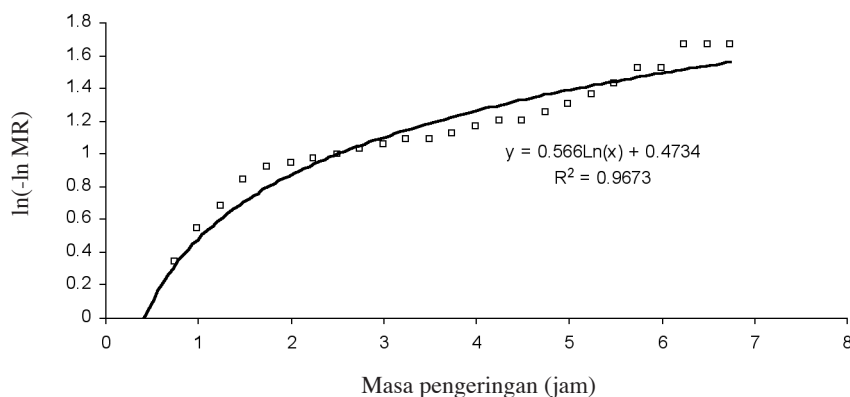
Keputusan yang diperoleh dalam Jadual 2 menunjukkan model pengeringan Page mempunyai nilai  $R^2$  yang paling tinggi, juga nilai  $MBE$  dan  $RMSE$  yang paling rendah berbanding model pengeringan Newton

dan model pengeringan Henderson dan Pabis. Dengan demikian model pengeringan rumpai laut yang sesuai digunakan adalah model pengeringan Page. Rajah 13 pula menunjukkan taburan nilai yang diperoleh hasil dari kajian yang dijalankan. Dapatan kajian berada di sekitar garis lurus sebagaimana yang dijangkakan.

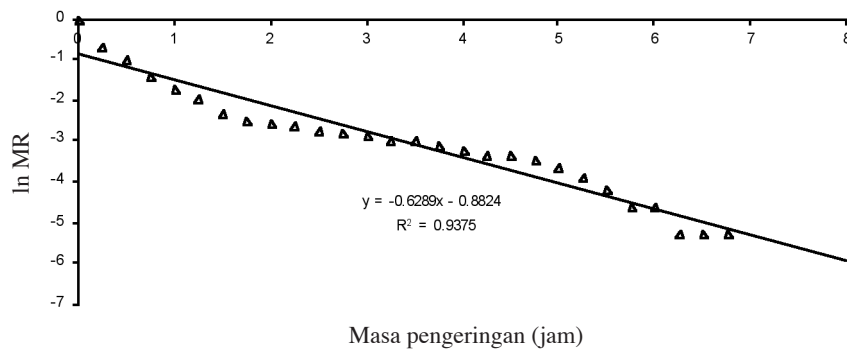
## KESIMPULAN

Kajian kinetik pengeringan rumpai laut menggunakan sistem pengering suria dengan pengumpul dua laluan yang mempunyai plat pengumpul bersirip telah dilakukan. Lengkung pengeringan dan kinetik pengeringan rumpai laut menggunakan sistem yang dibina ini telah diperolehi. Daripada kajian yang telah dijalankan, proses pengeringan rumpai laut menggunakan sistem ini telah mengambil masa selama 7 jam untuk menurunkan kelembapan awal 94.6% kepada 8.33%, yang bersamaan dengan 120 gram jisim awal kepada 11 gram jisim akhir.

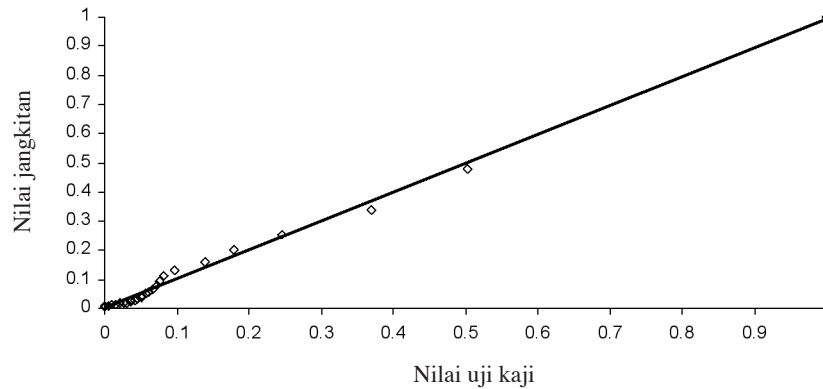
Oleh sebab kadar pengeringan bahan rumpai laut yang dikaji menurun, dan ia diandaikan berlaku secara eksponen, maka persamaan yang sesuai adalah persamaan pengeringan model Page dengan bentuk persamaan kinetik pengeringannya adalah  $MR = \exp(-1.6054t^{0.566})$  dengan kejaitan 96.7%.



RAJAH 11. Pengurangan kandungan lembapan rumpai laut melawan masa pengeringan (model Page)



RAJAH 12. Pengurangan kandungan lembapan rumpai laut melawan masa pengeringan (model Henderson dan Pabis)



RAJAH 13. Nilai kadar kandungan lembapan rumpai laut yang dikaji melawan nilai jangkakan oleh model Page

JADUAL 2. Nilai pemalar padanan beberapa model pengeringan rumpai laut

Model	$a$	$k$	$n$	$R^2$	$MBE$	$RMSE$
Newton		0.9941		0.7756	0.0087	0.0933
Page		1.6054	0.566	0.9673	0.0002	0.0139
Henderson & Pabis	0.4138	0.6289		0.9375	0.0120	0.1098

#### PENGHARGAAN

Para penulis merakamkan penghargaan kepada Universiti Kebangsaan Malaysia kerana menyediakan kemudahan untuk kajian ini dijalankan dan pihak FELDA yang telah memberikan geran penyelidikan di bawah dana RMK9 RS-DL-001-2007 untuk kajian ini.

#### RUJUKAN

- Adibi Rahiman Bin Md. Nor. 2006. Potensi rumpai laut merah dalam industri akuakultur. *Berita Perikanan*. Jabatan Perikanan Malaysia (atas talian) <http://dof.gov.my> 59:16 (dilayari pada 7 Februari 2011).
- Aktas, M., I. Ceylan & S. Yilmaz. 2009. Determination of drying characteristics of apples in a heat pump and solar dryer. *Desalination* 239: 266-275.
- Azhari, A.W., K. Sopian, A. Zaharim, & M.A. Alghoul. 2008. Solar radiation map from satellite data for a tropical environment-case study of Malaysia, *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> IASME/WSEAS International Conference on Energy & Environment*, ms. 528-533.
- Dissa, A.O., J.Bathiebo, S. Kam, P.W. Savadogo, H. Desmorieux & J. Kouliadiati. 2009. Modelling and experimental validation of thin layer indirect solar drying of mango slices. *Renewable Energy* 34: 1000-1008.
- Fudholi, A., K. Sopian, M.H. Ruslan, M.A. Alghoul & M.Y. Sulaiman. 2010. Review of solar dryers for agricultural and marine products. *Renewable & Sustainable Energy Review* 14:1-30.
- Fudholi, A., K. Sopian, M.H. Ruslan, M.Y. Othman & M. Yahya. 2011. Analytical and experimental studies on the thermal efficiency of double-pass solar collector with finned absorber. *American Journal of Applied Sciences* 8(7): 716-723.
- Ibrahim, M., K. Sopian & W.R.W. Daud. 2009. Study of the drying kinetics of lemon grass. *American Journal of Applied Sciences* 6(6): 1070-1075.

- Mohd Yusof Hj Othman. K. Sopian, B. Yatim, & M.N. Dalimin. 1993. Diurnal pattern for global solar radiation in tropics: a case study of Malaysia, *Renewable Energy* 3(6/7): 741-746.
- Mohd Yusof Hj Othman. 2009. *Tenaga Untuk Manusia*. Bangi: Penerbit Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Rosli Abdul Rahman. 2007. Berita Transformasi Pertanian, Lembaga Pertubuhan Peladang Kedah, Bil 12/2007 edisi Disember. <http://www.google.com.my/imgres?imgurl> (dilayari pada 7 Julai 2011).
- Saeed, I.E., K. Sopian & Z. Abidin. 2008. Drying characteristics of roselle (1): mathematical modeling and drying experiments. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript FP 08 015. Vol. X.

Mohd. Yusof Hj Othman\*  
 Institut Islam Hadhari  
 Universiti Kebangsaan Malaysia  
 43600 UKM Bangi, Selangor D.E.  
 Malaysia

Ahmad Fudholi, Kamaruzzaman Sopian, Mohd Hafidz Ruslan & Muhammad Yahya  
 Solar Energy Research Institute  
 Universiti Kebangsaan Malaysia  
 43600 UKM Bangi, Selangor D.E.  
 Malaysia

\*Pengarang untuk surat-menyurat; email: myho@ukm.my

Diserahkan: 16 Mei 2011  
 Diterima: 9 Ogos 2011