

PENERAPAN ENERGI TERBARUKAN UNTUK PROSES THERMAL

Bagian I. Pengeringan Hasil Pertanian

Kamaruddin Abdullah¹⁾, Armansyah H Tambunan^{2)*}, Harsono Soepardjo³⁾

ABSTRACT

RENEWABLE ENERGY APPLICATION FOR THERMAL PROCESSES

Part I. Drying of Agricultural Products

Study on thermal processes using renewable energy sources for drying and cooling purposes have been selected due to their importance in extending shelf life of agro and marine products which are susceptible to high temperature and humidity under the tropical climatic conditions. The unavailability of these facilities had resulted in significant amount post harvest which sometime may reached up to 30% of harvest. This research was aimed to determine the proper design and construction of renewable energy conversion, namely, solar, wind and biomass to generate thermal energy for drying and cooling of agricultural and marine products. Both processes could also be used as the main component of a Small Processing Unit (SPU), an early form of SME and cooperative at village level. This paper will discuss Part I of the study which will be focused on the application of renewable energy sources for the drying of agricultural products. The following conclusions had been achieved. a). Study on simultaneous momentum, energy and mass transfer in thin layer drying process of rough rice have provided information on air temperature, velocity and RH distribution above the grain. b). A novel ventury type GHE solar dryer with solar PV power supply and PCM energy storage, has been successfully designed and constructed. Test results have shown that the dryer could be used to dry 75–95kg of fish within 36 to 40 hrs. with apparent PCM energy storage of 6.9MJ (6 hrs. drying time). c). Mathematical modelling and simulation of a biomass stove heated recirculation dryer indicated that drying of rough rice could be completed within 3–6hrs ($1.8-3.7T.hrs^{-1}$ recirculation rate with one hour tempering time) if 2 HP blower is used.

Keywords : energy storage, momentum and mass transfer, recirculation dryer, renewable energy conversion, simultaneous energy

ABSTRAK

Proses termal yang menjadi perhatian khusus dari penelitian adalah yang menyangkut penerapan sumber energi terbarukan untuk tujuan pengeringan dan pendinginan dimana kedua proses ini sangat penting dalam upaya memperpanjang masa simpan produk-produk hasil pertanian dan kelautan yang sangat rentan terhadap suhu dan kelembaban tinggi iklim tropis. Ketiadaan fasilitas semacam ini di pedesaan telah mengakibatkan kehilangan pascapanen yang dapat mencapai 30%. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan rancang bangun berbagai teknik konversi sumber energi terbarukan, terutama surya, angin dan biomassa untuk pembangkit energi termal khususnya pengeringan dan pendinginan. Kedua proses termal tersebut dapat dijadikan komponen dasar dari suatu Unit Pengolahan Skala Kecil (UPSK) di pedesaan, yang merupakan bentuk awal industri kecil dan menengah serta koperasi di pedesaan.

Dalam bagian pertama penelitian ini akan dibahas pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk tujuan pengeringan hasil pertanian dengan kesimpulan sebagai berikut: a). Pemodelan proses perpindahan simultan momentum, energi dan massa pada proses pengeringan gabah lapisan tipis telah berhasil didapatkan kurva distribusi, suhu, laju udara pengering dan RH. b). Penelitian ini telah berhasil merancang bangun sistem pengering surya ERK tipe venturi, yang dilengkapi dengan modul surya dan sistem penyimpanan panas. Hasil uji menunjukkan bahwa alat ini dapat digunakan untuk mengeringkan 75–95 kg ikan tembang selama 36–40 jam dengan jumlah penyimpan energi dengan PCM sebesar 6,9 MJ (6 jam pengeringan). c). Pemodelan dan simulasi matematika dari pengering resirkulasi dengan pemanasan BBN cair menunjukkan bahwa pengeringan gabah dapat berlangsung selama 3–6 jam ($1,8-3,7 T.jam^{-1}$ laju resirkulasi dan satu jam *tempering*) bila menggunakan 2 HP kipas angin.

Kata kunci : energi simultan, konversi energi terbarukan, penyimpanan energi, pengering tipe resirkulasi, transfer masa dan momentum

1) Laboratorium Teknik Konversi Energi Surya, Universitas Darma Persada

2) Bagian Energi dan Elektrifikasi Pertanian, Fateta, IPB

3) FMIPA, Universitas Indonesia

* Penulis Korespondensi: (+62251) 8624791

PENDAHULUAN

Teknologi merupakan suatu alat yang sangat efektif untuk membangun industri peningkatan nilai tambah sumber daya alam suatu negara. Hal ini berarti bahwa melalui teknologi dapat diciptakan berbagai lapangan kerja baru sebagai sumber penghidupan masyarakat dimana teknologi itu diterapkan. Sudah banyak hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti yang dapat diintegrasikan dalam bentuk industri peningkatan nilai tambah. Persoalannya adalah dalam menentukan skala ekonomi dari industri tadi di tingkat pedesaan yang dapat menjamin keberlanjutannya secara berkesinambungan.

Proses termal yang menjadi perhatian khusus dari penelitian ini merupakan suatu bentuk teknologi yang nantinya dimanfaatkan sebagai komponen utama suatu Unit Pengolahan Skala Kecil (UPSK), yang mempunyai skala ekonomi yang paling sesuai untuk kondisi sosial ekonomi masyarakat pedesaan negara kita (CREATA-IPB 2000). Untuk tujuan tersebut diperlukan teknologi konversi pembangkit energi termal dan listrik dari sumber energi terbarukan yang tersedia dalam jumlah sangat besar dan jenis yang beragam di daerah pedesaan. Energi termal dapat dimanfaatkan untuk pengeringan dan pendinginan produk-produk hasil pertanian dan kelautan yang sangat rentan terhadap suhu dan kelembaban tinggi di negara kita sedangkan energi listrik dimanfaatkan untuk proses industri lainnya seperti untuk menggerakkan motor, penerangan, pengontrolan proses, dan sebagainya. Karena kurangnya fasilitas pengeringan dan pendinginan diperkirakan tiap tahunnya para petani dan nelayan menderita kehilangan pascapanen yang dapat mencapai 30%.

Pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan yang umumnya tersedia ditempat seperti energi surya, biomassa dan angin. Melalui pemanfaatan teknologi yang dikembangkan sendiri akan dapat menghasilkan teknologi yang bersih, dan tidak mencemarkan lingkungan sehingga lebih murah dan terjangkau oleh kondisi sosial ekonomi masyarakat pedesaan. Melalui teknik konversi sumber energi terbarukan ini dapat dihasilkan semua bentuk energi yang diperlukan oleh suatu industri untuk meningkatkan nilai tambah melalui pembangunan UPSK yang diusulkan penulis, seperti listrik, termal, tenaga mekanis, cahaya, dan sebagainya.

Makalah ini akan membahas pemanfaatan teknik konversi energi terbarukan pada proses pengeringan. Untuk dapat mengoptimalkan proses pengeringan dalam makalah ini akan dikaji secara mendasar mekanisme perpindahan momentum, energi dan massa pada lapisan tipis yang merupakan dasar untuk rancang bangun berbagai konfigurasi alat pengering. Pada bagian utama dari penelitian konversi sumber energi terbarukan ini dibahas pemanfaatannya pada proses pengeringan hasil pertanian dan kelautan dengan tujuan: 1) Mengkaji secara mendasar proses perpindahan momentum, energi dan massa pada lapisan tipis sebagai dasar penyempurnaan proses pengeringan untuk berbagai kemungkinan konfigurasi

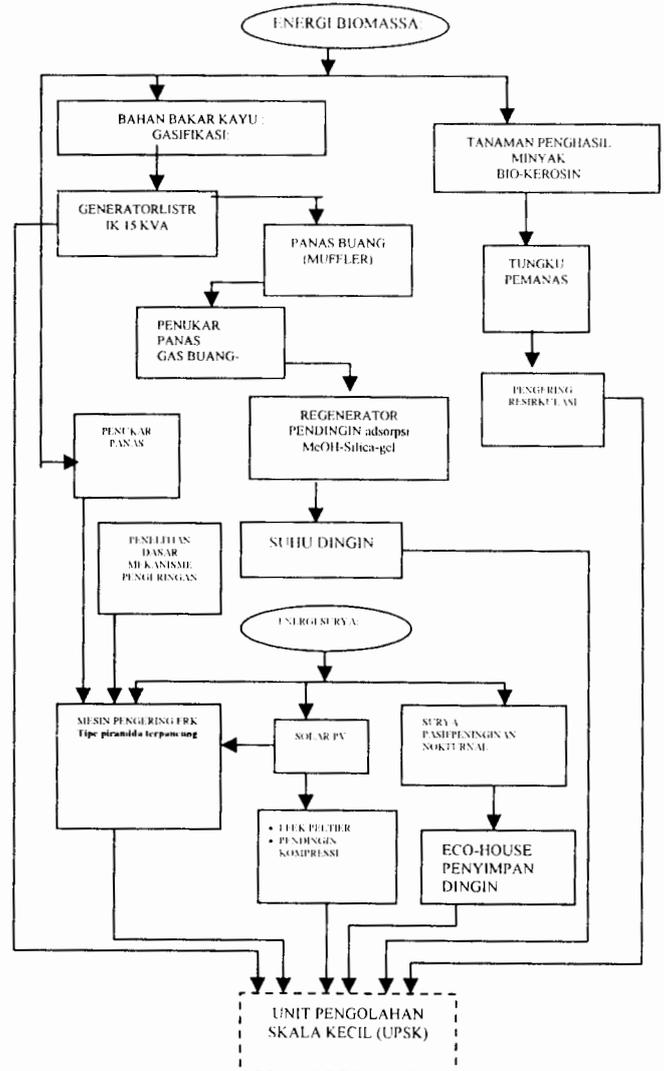
pengering dengan energi surya. 2) Mendapatkan kinerja pengering surya ERK tipe venturi yang merupakan perbaikan dari rancangan pengering ERK sebelumnya. 3) Mendapatkan kinerja dari sistem pengering tipe resirkulasi.

BAHAN DAN METODE

Konversi Biomassa Untuk Pengeringan

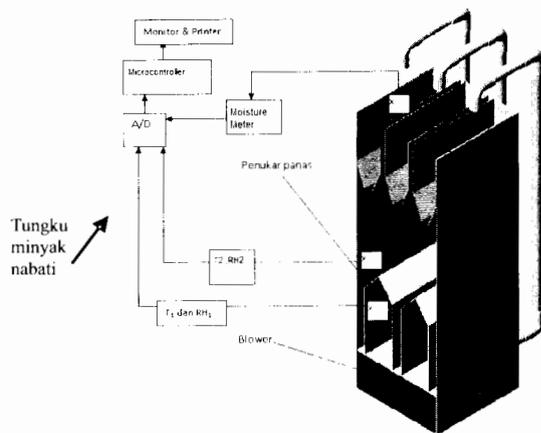
Pengeringan Tipe Resirkulasi

Dalam melaksanakan penelitian ini ditempuh pendekatan terpadu konversi sumber energi terbarukan untuk dimanfaatkan pada proses peningkatan nilai tambah hasil pertanian dan kelautan pada suatu UPSK. Gambar 1 menunjukkan diagram alir kaitan antara penelitian konversi energi baik untuk pembangkit listrik maupun energi termal. Dalam penelitian ini, pembangkitan energi termal dilaksanakan dengan menggunakan gasifikasi biomassa tipe



Gambar 1 Diagram Alir Konversi Energi Biomassa dan Surya Sebagai Pemasok Energi Listrik dan Energi Termal untuk Unit Pengeolahan Skala Kecil (UPSK).

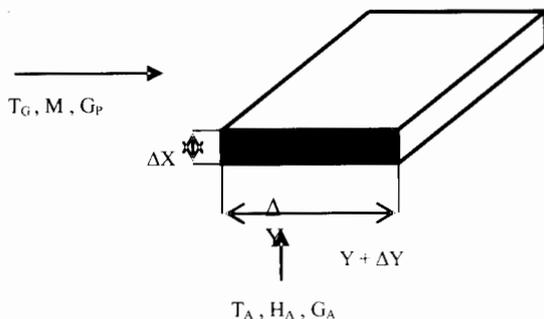
Imbert, dan melalui ekstraksi minyak tanaman seperti jarak (*jatropha curcas*), dan bintaro (*cerbera manghas, Lu*). Kinerja gasifikasi untuk membangkitkan energi termal dibahas lebih rinci pada makalah yang berikutnya tentang pemanfaatan energi biomassa pada proses pendinginan. Biji bintaro mengandung 5060% minyak yang tersusun terutama atas 43% asam oleat, 31% asam palmitat dan 17% asam linoleat. Untuk pemanfaatan pada proses pengeringan digunakan kompor minyak tanah yang dicampur dengan minyak jarak pada berbagai nisbah yaitu 1:1, 2:1 dan 3:1 sampai didapatkan kondisi yang optimal. Energi termal yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai pemasok pengering tipe resirkulasi (Gambar 2). Prototipe mesin skala laboratorium ini mempunyai tinggi 2,622m, lebar masing-masing 1,350m dan 0, m dan dilengkapi dengan



Gambar 2 Gambar Skematis Pengering Resirkulasi dengan Bahan Bakar Nabati.

konveyor pneumatik dan ruang penukar panas.

Analisis keseimbangan energi dan massa pada sistem pengering resirkulasi dapat diturunkan dari volume kontrol



Gambar 3 Volume Kontrol dalam Suatu Pengering Resirkulasi.

seperti pada Gambar 3 sebagai berikut (Bala 1997):

$$\frac{\partial T_g}{\partial x} = \frac{-[h_{cv} + G_a \cdot C_{pa} \left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)](T_a - T_g)}{G_p(C_{pg} + M \cdot C_{pw})} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{\partial T_g}{\partial y} = \frac{-[h_{cv}(T_a - T_g) - G_a \cdot \Delta H_{fg} + (C_{pw} - C_{pa}) \cdot T_g \left(\frac{\partial H}{\partial x}\right)]}{G_p(C_{pg} + M \cdot C_{pw})} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:
 T_a = Suhu udara [°C]
 T_g = Suhu produk [°C]
 G_a = Laju massa udara [kg/s]
 G_p = Laju massa produk [kg/s]

Untuk pengeringan lapisan tipis perubahan kadar air bahan dinyatakan dalam basis kering dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (Henderson, Perry (1976).

$$\frac{\bar{M} - M_e}{M_o - M_e} = e^{-k \cdot t}, \quad \frac{d\bar{M}}{dt} = -k(\bar{M} - M_e) \dots\dots\dots(3)$$

Untuk model silinder tak berhingga:

$$M_E = 17,7700 \exp(-0,0516 \cdot t) / 100 \dots\dots\dots(4)$$

$$K = \exp(7,6489 - 4903,02/T) \dots\dots\dots(5)$$

$$h_{cv} = 3,9178 (737,33 G_a)^{0,49} \text{ untuk } G_a < 0,678 \text{ kg/m}^2 \text{det.} \dots\dots\dots(6)$$

$$h_{cv} = 2.0611 (737.33 G_a)^{0.59} \text{ untuk } G_a > 0.678 \text{ kg/m}^2 \text{det} \dots\dots\dots(7)$$

Menurut Morita, Singh (1978) nilai panas jenis gabah (C_p) dapat dinyatakan sbb:

$$C_p = 1,269 + 0,03487 M_w \dots\dots\dots(8)$$

Pengeringan Tipe Stasioner

Untuk lebih meningkatkan kinerja sistem pengering tipe stasioner dibutuhkan penelitian dasar tentang mekanisme pengeringan berdasarkan analisis perpindahan momentum, energi dan massa pada lempeng datar berisi lapisan tipis bahan yang dikeringkan (Gambar 4). Melalui penelitian ini diharapkan tingkat laju udara, RH dan suhu optimal dapat ditentukan untuk proses pengeringan. Persamaan gerak, energi dan kontinuitas uap air pada lapisan batas dapat dinyatakan sebagai berikut (Birds *et al.*, 1960):

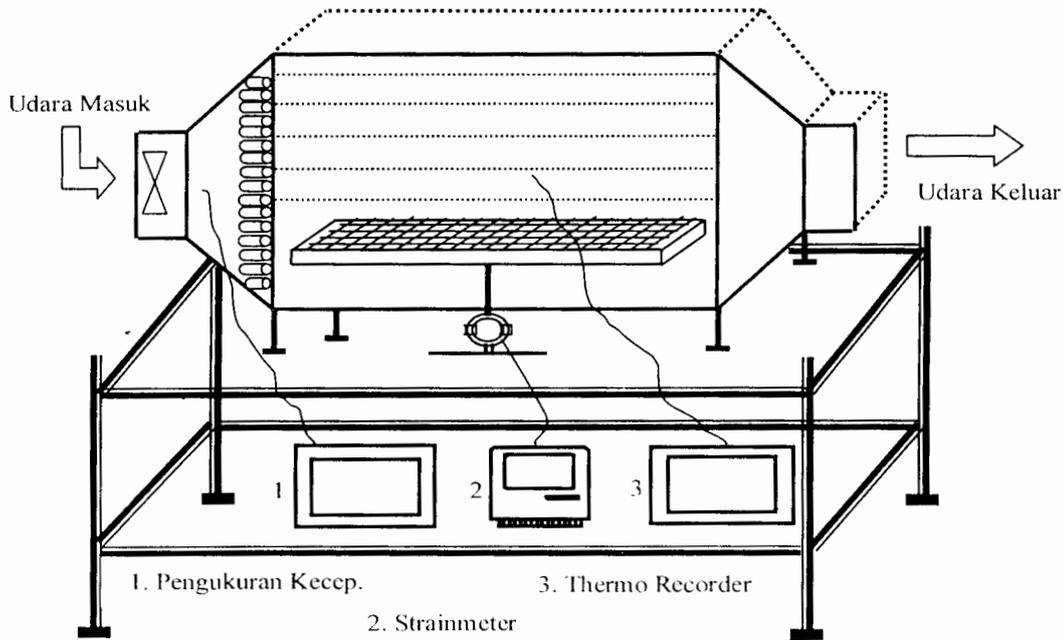
$$v_x \frac{\partial \Pi}{\partial x} - \left\{ \frac{D_{AB}}{1 - x_{A0}} \frac{\partial x_A}{\partial y} \Big|_{y=0} - \int_0^y \frac{\partial v_x}{\partial x} dy \right\} \frac{\partial \Pi}{\partial y} = \frac{\nu}{\Lambda} \frac{\partial^2 \Pi}{\partial y^2} \dots\dots\dots(9)$$

dengan kondisi batas pada v, T dan x_A menjadi:

pada $x \leq 0$ atau $y = \infty$; $\Pi = 1$
 $y = 0$; $\Pi = 0$

Berdasarkan bentuk kombinasi parameter η , maka persamaan (9) dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\Lambda \left[\frac{1}{\Lambda_{AB}} \frac{M_{Ac}}{\rho} \left(\frac{x_{A0} - x_{\infty}}{1 - x_{A0}} \right) \Pi'_{AB(0)} - \int_0^{\eta} 2 \Pi_v d\eta \right] \Pi' = \Pi'' \dots\dots\dots(10)$$



Gambar 4. Alat Percobaan Perpindahan Serentak Momentum, Energi dan Massa

Dengan memasukkan sifat udara dan uap air untuk proses pengeringan akan didapat profil laju udara, suhu dan kelembaban udara diatas rak pengering dinytakan dalam bentuk bilangan tak berdimensi, Π_v , Π_T , dan Π_{AB} , dimana masing-masing bilangan dinyatakan berikut ini:

$$\Pi_v = \frac{v_v - v_{v0}}{v_\infty - v_{v0}} = \frac{v_v}{v_\infty} \dots\dots\dots(11)$$

$$\Pi_T = \frac{T - T_0}{T_\infty - T_0} \dots\dots\dots(12)$$

$$\Pi_{AB} = \frac{x_A - x_{A0}}{x_{A\infty} - x_{A0}} \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan Notasi:

- C_p , panas jenis pada tekanan konstan ($\text{kJ.kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}$)
- D_{AB} , difusivitas uap air terhadap udara ($\text{m}^2.\text{det}^{-1}$)
- h , koefisien pindah panas konveksi ($\text{W.m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$)
- G_a , laju massa udara pengering (kg.det^{-1})
- G_p , laju massa produk (kg.det^{-1})
- H , humidity ratio (kg per kg dry air)
- ΔH_{fg} , panas laten produk (kJ.kg^{-1})
- k , konstanta pengeringan (lper jam)
- M_A , berat molekul uap air (Kg/mole)
- M , kadar air (% bk)
- T_a , suhu udara pengering ($^\circ\text{C}$)
- T_p , suhu produk ($^\circ\text{C}$)
- v , laju udara(m.det^{-1})

- x_{A0} , konsentrasi massa uap air pada jarak $y=0$ (-)
- $x_{A\infty}$, konsentrasi massa uap air pada jarak $y=\infty$ (-)
- Π , bilangan tak berdimensi (-)
- Λ , nisbah difusivitas (pers.(10))

$$\eta = \frac{y}{2} \sqrt{\frac{v_s}{vx}}$$

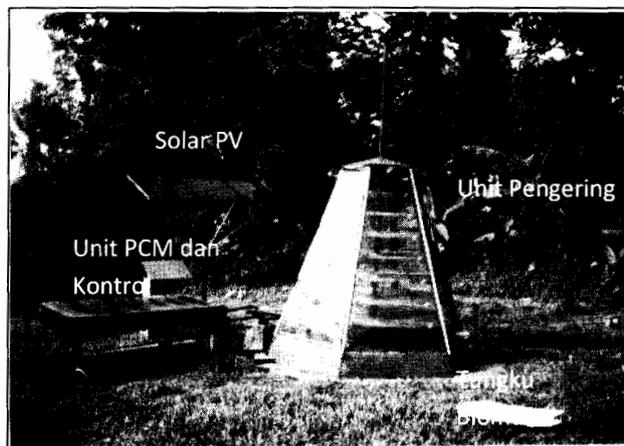
Keterangan Subskrip:

- a , udara
- AB , difusi uap air
- G , produk
- T , suhu
- v , kecepatan
- w , uap air

Pembangkit Energi Dengan Tenaga Surya

Penelitian konversi energi surya untuk membangkitkan energi termal yang dimanfaatkan untuk pengeringan telah dilakukan dalam bentuk pengering surya efek rumah kaca (ERK) (Kamaruddin 1993), berbentuk piramida terpancung dan pengering surya ERK tipe kabinet. Pada sistem ini energi termal yang dibangkitkan dari energi surya dimanfaatkan langsung untuk pengeringan.

Dalam penelitian ini konversi energi surya untuk pengeringan menggunakan geometri kerucut terpancung merupakan suatu upaya untuk penyempurnaan dari rancangan pengering surya ERK (efek rumah kaca) sebelumnya (Kamaruddin 1993). Pada rancangan baru ini beberapa penyempurnaan disain telah diupayakan antara lain, sistem bongkar muat dapat dilakukan dari luar bangunan, sistem kerucut diharapkan dapat mengurangi beban listrik untuk kipas dengan terjadinya aliran alami



Gambar 5 Unit Pengering Surya ERK Tipe Piramida Terpancung dengan Modul Tenaga Surya (Solar PV), Tungku Biomassa dan Unit Penyimpan Energi PCM

akibat perubahan penampang ruang pengering, tersedianya penyimpanan energi PCM (*Phase Change Material*) atau bahan berubah fase dari farafin, dan sistem pasokan energi dari modul surya sehingga alat pengering ini dapat dimanfaatkan di daerah terpencil. Pada Gambar 5, diperlihatkan alat pengering surya ERK tipe venturi mempunyai ukuran sisi alas 150cm dan sisi atas 50cm. Tinggi tegak 127cm dan panjang sisi miring 300cm dari permukaan tanah. Rak tempat ikan dikeringkan tujuh tingkat berbentuk lingkaran statis yang dapat di putar pada saat memasukkan dan mengambil hasil pengeringan. Untuk sirkulasi udara dan mempercepat laju aliran udara ruang pengering digunakan *blower* DC 3 unit dengan daya masing-masing 25 watt yang dipasok dari 3 unit modul tenaga surya masing-masing dengan daya 50 Wp.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengering Tipe Resirkulasi

Pengeringan Resirkulasi

Hasil simulasi proses pengering resirkulasi dengan menggunakan pers. (1)–(8), dapat dilihat pada Gambar 6. Untuk laju resirkulasi, $3,69 \text{ T.jam}^{-1}$, (suhu pengeringan,

50°C dan RH 50% kapasitas kipas 2 HP) lama pengeringan gabah menjadi sekitar 5 jam 38 menit dengan lama tempering satu jam.

Pada gambar 7 ditunjukkan hasil simulasi untuk laju resirkulasi $1,8 \text{ T.jam}^{-1}$ (suhu 60°C dan rh 40%) dengan lama tempering satu kali selama 80 menit. Lama pengeringan total yang dihasilkan dengan daya kipas yang sama yaitu 2 hp adalah sekitar 4,2 jam.

Pembangkit Energi dengan Tenaga Surya

Pengering Tipe Stasioner

Pada percobaan perpindahan momentum, energi, dan massa, telah berhasil didapatkan beberapa parameter penting. Laju fluks massa pada penguapan air dari gabah tertinggi adalah $0,00027 \text{ kg.m}^{-2} \text{ det.}$ pada kondisi kecepatan udara diatas lapisan $0,3 \text{ m.det}^{-1}$. ($v_r=0,68$) suhu $34,8^\circ\text{C}$ ($v_r=0,78$) dan RH 50,5%. Hasil pengukuran parameter pengeringan, k, kadar air ekulibrium Me, dan diffusivitas massa adalah seperti terlihat dalam Tabel 1, dimana nilai k berada pada $0,00350,0039 \text{ 1/men.}$ ($Dv=2,03 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ .det}^{-1}$ – $2,59 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ .det}^{-1}$), Me, antara 12,28%–12,56% bk pada kondisi suhu yang berkisar antara $36,8$ – $37,8^\circ\text{C}$. Kecepatan udara pada saat percobaan bervariasi $0,33$ – $0,44 \text{ m.det}^{-1}$. diatas lapisan gabah.

Percobaan ini memberikan hasil bahwa tebal lapis batas (*boundary layer*) untuk masing-masing perpindahan momentum dan energi berturut-turut $2,08$ – $1,41 \text{ cm}$, dan $1,55$ – $2,36 \text{ cm}$, pada 3 kali percobaan dengan laju aliran udara antara $7,34$ – $11,77 \text{ kg.jam}^{-1}$.

Pengering Surya ERK Tipe Venturi

Tabel 2 menunjukkan hasil uji pengering ERK tipe venturi. Pada percobaan ini digunakan ikan tembang sebagai contoh.

Hasil uji ikan tembang seperti terlihat pada Tabel 1 menunjukkan bahwa penggunaan total energi berada pada nilai $2,17$ – $2,74 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ikan, untuk kondisi suhu ruang $42,9$ – 44°C , pada beban pengeringan 75 kg dan 95 kg . Pada kondisi ini lama pengeringan $36,5$ – 40 jam untuk kadar air akhir antara 30 – $32,8\%$ b.k. Dari percobaan II diketahui bahwa penyimpanan energi dengan PCM dapat memasok energi untuk pengeringan selama 6 jam.

Tabel 1 Hasil Perhitungan Parameter Pengeringan

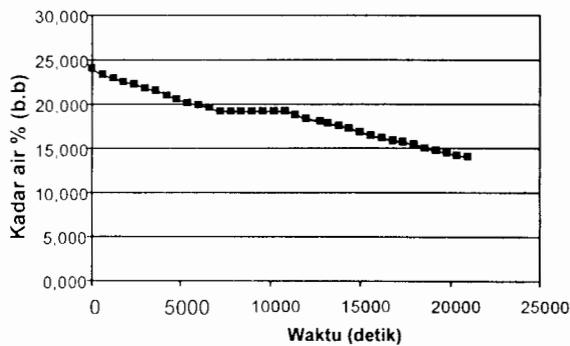
Laju udara (m.det^{-1})	Suhu ($^\circ\text{C}$)	Tebal lapisan (mm)	Me (%bk)	K.a. akhir (%bb)	K (1/men.)	$Dv^*) (\text{m}^2 \text{ .det}^{-1}) \times 10^{-5}$
0,33	36,8	22	12,32	15,48	0,0035	2,474
0,38	37,2	22	12,49	14,7	0,0036	2,59
0,42	37,6	22	12,28	14,89	0,0036	2,356
0,44	37,8	15	12,56	14,8	0,0039	2,24
0,39	37,4	15	12,43	14,72	0,0037	2,03

*) Diffusivitas dihitung dari hubungan $k=D_v \pi / (4 b^2)$

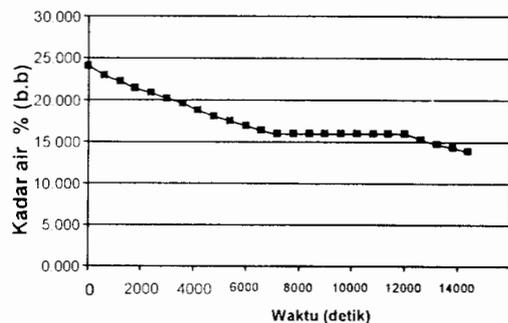
Tabel 2 Hasil Uji Pengeringan Ikan Tembang

No	Keterangan	Percobaan I		Percobaan II	
		Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
1	Suhu ruang pengering:				
	• Maksimum	52	⁰ C	48	⁰ C
	• Minimum	38	⁰ C	38	⁰ C
	• Rata-rata	42,87	⁰ C	43,99	⁰ C
2	Laju aliran udara ruang pengering	0,01–0,3	m.det ⁻¹	0,01–0,4	m.det ⁻¹
3	Humidity (RH)	78–90	%	72–92	%
4	Kadar air ikan	30,08–31,62	%bk	30,08–32,80	%bk
5	Besar energi yang dibutuhkan MJ/kg ikan	2,74	MJ	2,16517	MJ
6	Massa produk yang dikeringkan	75	kg	95	kg
7	Lama pengeringan	36.5	jam	40	jam
8	Laju pengering	0,08–2,12	% bk.jam ⁻¹	0,08–1,82	% bk.jam ⁻¹
9	Perpanjangan pengeringan dari lama penyinaran efektif	-	-	6	jam

Hasil penelitian lapangan dari pengering tipe ini yang dilakukan di Koperasi Barrak Cimahi, untuk pengeringan



Gambar 6 Hasil Simulasi Pengeringan Gabah untuk Model Resirkulasi Pengering pada Suhu 50°C dan RH 50%, Laju Resirkulasi Gabah 3,69t.jam⁻¹ dengan Daya Kipas 2 HP dan Lama Tempering Satu Jam.



Gambar 7 Hasil Simulasi Pengeringan Gabah untuk Model Resirkulasi Pengering pada Suhu 60°C dan RH 40%, Laju Resirkulasi Gabah 1,8 T.jam⁻¹ dengan Daya Kipas 2 HP dan Lama Tempering 80 Menit.

dendeng jantung pisang menunjukkan bahwa tingkat kelayakan ekonomi yang cukup potensial terlihat dari berbagai skenario pemilikan alat baik sebagai hibah ataupun dibeli dengan dana sendiri. Hasil analisis untuk kondisi pengering sebagai hibah menunjukkan nilai NPV sebesar Rp. 526.556.472,8 untuk umur ekonomi selama 10 tahun dan ROI sebesar 27,7% dengan lama pengembalian sekitar 4 tahun. Untuk lebih memastikan kelayakan sistem ini, monitoring lapangan perlu terus dilakukan dimasa mendatang (Anggita, 2006).

KESIMPULAN

Pada percobaan perpindahan momentum, energi dan massa secara simultan, didapatkan laju fluks massa pada penguapan air dari gabah tertinggi adalah 0,00027kg.m⁻² det. pada kondisi kecepatan udara diatas lapisan 0,3m.det⁻¹, ((Π₁=0,68) suhu 34,8°C (Π₁=0,78) dan RH 50,5%.

Pemodelan matematika untuk pengeringan re-sirkulasi telah menghasilkan beberapa skenario operasi yang meyangkut kaitan antara lama pengeringan dan lama tempering dengan laju pengumpanan bahan yang dikeringkan. Untuk laju resirkulasi 1,8 t.jam⁻¹ (suhu 60°C dan RH 40%, daya kipas 2 HP) didapatkan lama pengeringan untuk kadar air awal 25% bb, adalah 4,2 jam dengan lama tempering satu kali selama 80 menit. Untuk laju resirkulasi, 3,69 t.jam⁻¹, (suhu pengeringan 50°C dan RH 50% kapasitas kipas 2 HP) lama pengeringan gabah dengan kadar menjadi sekitar 5 jam 38 menit dengan lama tempering satu jam.

Hasil uji pengering surya tipe venturi menunjukkan bahwa penggunaan total energi berada pada nilai antara 2,17–2,74 MJ per kilogram ikan, untuk suhu ruang 42,9–44°C, dengan beban pengeringan 75 kg dan 95 kg. Pada kondisi ini lama pengeringan 36,5–40 jam untuk kadar air akhir 30–32.8% b.k. Dari hasil percobaan juga diketahui bahwa penyimpanan energi dengan PCM dapat memasok energi untuk pengeringan selama 6 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Tim Penelitian Pascasarjana Nomor : 026/SPPP/PP-PM/ DP3 M/IV/2005 dan Nomor : 317/SP3/PP-PM/DP2M/II/2006, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional atas dukungan finansial tahun 2004-2006 sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan. Terima kasih juga disampaikan kepada segenap mahasiswa bimbingan yang ikut aktif dalam penelitian ini baik dari program S1, S2 dan S3, khususnya kepada mahasiswa-mahasiswa berikut, Sdr Binsar Nababan (mendiang), Totok Prasetyo, M. Syaiful, Kudrat Sunandar, Yogi Gaoz, Gilang Anggita, Diaz Agriana, Ayi Rukmini dan M.Hanafi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggita G. (2006). Skripsi, Departemen TEP, Fateta, IPB
- Bala BK. (1997). *Drying and Storage of Cereal Grains.*, Oxford & IBH publishing co. Pvt. Ltd. New Delhi.
- Ballo Lobo M. (2007). Indonesian Scenario: Developing New and Renewable Energy, International Investment Summit, BIEM, 2007, JEC, Jakarta, November,5-7.
- Bird RB, WE Stewart, EN Lightfoot. (1960). *Transport Phenomena*. John Wiley & Sons. New York.
- Bliss RW Jr. (1959). "The Derivation of "Plate-efficiency factors" Useful in the Design of Flat-plate Solar Heat Collectors," *Solar Energy*,3,55.
- [CREATA-IPB] Center for Research on Engineering Applications in Tropical Agriculture, the Research Institute of IPB, Bogor. 2000. *Utilization of Environmentally Friendly Natural Energy to Promote Agro-based Industry-* a Japanese Government ODA Grassroots Project, Final Report. CREATA-IPB, Bogor.
- Daniels F. 1964. *Direct Use of Solar Energy*. Yale University Press.
- Departemen ESDM. (2005). Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025 (BP-PEN)
- Duffie JA, WA Beckman. 1974. *Solar Energy Thermal Processes*. New York. Wiley.
- Excell R H B. (1980). Basic Design Theory for Simple Solar Rice Dryer. *Renewable Energy Review Journal*, 1(2):1-14.
- Henderson SM, RL Perry.1976. *Agricultural Process Engineering*. 3rd edition, The AVI publishing Co.inc., Westport Connecticut.
- Kamaruddin A. (1993). System Optimization in Solar Drying. Paper No.30-1. Proceedings of the 5th International Energy Conference, Energex'93.Seoul, Korea.Vol. III. pp.86-102.
- Mühlbauer W, J Muller, A Esper. 1997. Agricultural Crop Drying and Storage, F.W.W. Bakker-Arkema and D.E. Maier Ed. Marcel Dekker Inc.
- Nakagawa K, K Horibe, S Ohshita, N Kawamura.1983. Grain Drying with Solar Energy. Report on Special Project Research on Energy under Grant in Aid of the Scientific Research of the 'Ministry of Education, Science and Culture of Japan, pp 261-264.
- Othman MY. (1991). *Teknologi Pengeringan Hasil Pertanian di Malaysia: Konsep, Status kearah Penggunaan Energi Surya.*, Dewan Bahasa dan Pustaka. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Parker DS. (2005). Theroretical Evaluation of the Night Cool Nocturnal Radiation Cooling Concept, Florida Solar Energy Center, FSEC-CR-1502-05.
- Sattar MA. (1990). Rural Application of Solar Energy-Timber Drying. in Energy and the Environment into the 990s. V 01.2. Edited by Sayigh. Pergamon Press. Oxford. pp. 599- 605.
- Soponronnarit S. 1991. Proceedings, the 1st Asian-Australian Drying Conference, ADC'99., Bali, Indonesia, October, 24-2.