

PENERAPAN ENERGI SURYA DALAM PROSES TERMAL PENGOLAHAN HASIL PERTANIAN¹⁾

Kamaruddin Abdullah

PENDAHULUAN

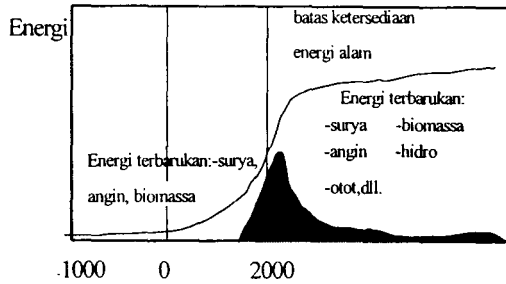
Baru-baru ini Gustav Grob (1996) mengingatkan lagi prediksi Club of Rome di awal tahun 1970-an bahwa bahan bakar fosil, yang sifatnya mencemarkan lingkungan, dan tak terbarukan kian berkurang keberadaannya dan dalam waktu dekat harus diganti dengan sumber energi terbarukan yang lebih bersahabat dengan lingkungan seperti sumber-sumber energi surya, biomassa, angin, hidro, dll. Ketergantungan kita atas bahan bakar fosil mungkin akan berlanjut sampai beberapa dekade lagi tetapi dalam jumlah yang jauh lebih kecil dari apa yang di konsumsi sebelum tahun 2000 seperti terlihat pada Gambar 1 (Grob, 1996).

Penggunaan energi fosil diperkirakan akan terus meningkat disebabkan karena tetap meningkatnya jumlah penduduk dunia, yang memerlukan pangan dan kesejahteraan serta kualitas hidup yang lebih baik, yang hanya dapat dipenuhi dengan pemacu proses industrialisasi. Sebagai konsekuensinya diperlukan peningkatan jumlah pasokan energi yang merupakan motor penggerak proses industri-alisasi tsb. Sejauh mana peningkatan peranan energi terbarukan

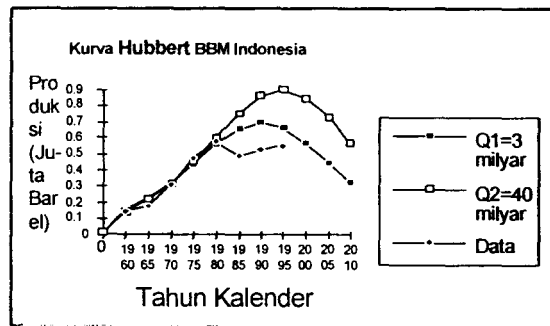
setelah tahun 2000 nanti nanti akan sangat tergantung kepada kesadaran kita terhadap masalah serta dampak pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh pemakaian bahan fosil tsb. yang sudah mulai terasa pada saat ini.

Untuk Indonesia, Foell (1983) telah membuat prediksi tentang keberadaan BBM dengan menggunakan metoda analisis Hubbert seperti terlihat pada Gambar 2 untuk dua kondisi pendugaan potensi BBM di perut bumi Indonesia pada tahun 1930, yaitu yang pertama dinyatakan dalam Q1 untuk cadangan BBM sebesar 30 milyar barel dan Q2 sebesar 40 milyar barel. Bila dibandingkan prediksi Foell dengan data produksi tahunan BBM kita dapat diketahui bahwa perkiraan potensi cadangan BBM cenderung berada pada kondisi Q1 dan terus menurun menjelang tahun 2010. Hasil prediksi ini kelihatannya sesuai dengan hasil studi MARKAL, AEEMTRC, dll. (Harijono, 1995) dimana diperkirakan bahwa Indonesia pada tahun tsb. akan menjadi negara pengimpor minyak netto. Hasil proyeksi ini mendukung konsep batas-batas pertumbuhan yang diprakarsai oleh para pakar Kelompok Roma pada awal tahun 1970.

¹ Ringkasan orasi ilmiah Guru Besar Tetap, Ilmu Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor



Gambar 1. Transisi menuju penggunaan energi terbarukan



Gambar 2. Kurva Hubbert produksi BBM untuk Indonesia

Hasil perkiraan Kelompok Roma yang juga menyangkut persediaan pangan dunia telah dikonfirmasi melalui perhitungan sederhana Nitta (1996). Nitta memperkirakan bahwa luas lahan untuk memberi makan 10 milyar manusia pada tahun 2050 adalah 14 juta km² sedangkan lahan yang tersedia saat ini tinggal 14 juta km². Bila proses konversi lahan untuk tujuan non-pertanian seperti untuk industri dan pemukiman di negara berkembang terus berlangsung maka mungkin saja lahan untuk produksi pangan menjadi tidak lagi mencukupi.

Upaya Penanggulangan Krisis Energi dan Pangan

Dalam KUBE, 1992 telah dinyatakan perlunya program diversifikasi energi, yaitu pemanfaatan sumber energi potensial lain yang tersedia di negara kita seperti energi surya, biomassa, angin, dll. Melalui program diversifikasi energi, BBM dapat dihemat sehingga dapat disimpan lama atau digunakan seefisien mungkin untuk mendapatkan devisa. Sumber-sumber energi lain yang tersedia cukup melimpah seperti energi surya, angin, biomassa, hidro, dll. dapat dimaksi-

malkan pemanfaatannya untuk menggerakkan berbagai proses produksi termasuk usaha pengadaan dan pengolahan pangan. Dengan demikian diharapkan masalah krisis energi dan pangan dapat ditanggulangi secara bertahap.

Dalam tulisan ini akan dibahas hanya peranan energi surya khususnya yang dikaitkan dalam penggunaannya untuk pengolahan hasil pertanian. Pada saat ini sekitar 10-20% hasil pertanian hilang atau busuk dan tak dapat dikonsumsi akibat teknologi pengolahan yang kurang baik. Alangkah ironisnya bagi Pak Tani setelah menghadapi risiko yang sangat tinggi karena kemarau panjang atau serangan hama, akhirnya tidak dapat memanfaatkan semua hasil panennya karena rusak dan hanya terjual dengan harga murah. Berbagai proses penanganan pascapanen dapat mempertahankan kualitas hasil pertanian, mengurangi susut. Disamping itu usaha pengolahan hasil melalui proses industrialisasi di daerah pedesaan dapat meningkatkan nilai tambah hasil pertanian dan akan sangat membantu upaya pemerintah dalam mengentaskan masyarakat dari kemiskinan serta mempercepat usaha pemerataan hasil pembangunan. Untuk itu sangat diperlukan pasokan energi yang tersedia di pedesaan untuk menggerakkan berbagai alat serta mesin pengolahan untuk menghasilkan produk industri yang dapat diekspor ke luar negeri dan juga untuk kebutuhan konsumsi dalam negeri. Agar kebutuhan energi dapat dihemat semaksimal mungkin diperlukan upaya rekayasa rancang bangun peralatan dan proses yang sesuai dengan karakteristik dari bahan pertanian tropis. Untuk itu pengukuran serta pengum-

putan data serta parameter dasar tentang karakteristik hasil pertanian tropis untuk tujuan rekayasa dan rancang bangun tersebut perlu dilakukan oleh perguruan tinggi atau lembaga penelitian. Usaha-usaha semacam ini telah dirintis pada Laboratorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian IPB sejak awal tahun 1980-an.

Potensi Energi Surya

Energi surya merupakan salah satu energi alternatif yang potensial untuk dikembangkan karena merupakan sumber utama (asal) dari hampir seluruh sumber energi di dunia (Hutchinson, 1950) yang melalui berbagai proses penyampaiannya ke bumi dapat dimanfaatkan secara langsung atau melalui proses konversi alami menjadi energi terbarukan lain seperti energi angin, hidro, biomassa, otot (ternak), dll.. Energi surya merupakan hasil proses pembangkitan energi nuklir fusi dimana hidrogen diubah menjadi helium dengan laju 10^{20} kWh/det.. Pada proses fusi ini terjadi kehilangan massa matahari dengan laju sekitar 4 juta t/det. dan berbarengan dengan proses tersebut dilepaskan gelombang elektromagnetik ke seluruh jagad raya dan mencapai bumi dalam waktu hanya 8 menit. Dari jumlah energi yang dipancarkan tersebut tiap tahun bumi kita menerima sebesar 3200 Q (9.4×10^{11} GWh). Dalam perjalanannya ke bumi sebagian dari energi tersebut diserap oleh gas CO_2 dan H_2O dan gas lainnya yang berada di atmosfer bumi sehingga yang dapat diterima di permukaan bumi negara kita adalah sekitar 4.5 kWh/m^2 (kurang dari 1000 W/m^2). Dengan luas daratan sekitar 1.9 juta km^2 maka negara kita menerima 4.5

$\text{kWh/m}^2 \times 365/2 \text{ (hari/th)} \times 1.9 \times 10^{12} \text{ m}^2 = 1560 \times 10^{12} \text{ kWh/tahun}$ atau setara dengan 192000 Juta SBM jauh lebih besar dari total total konsumsi total energi kita saat ini yang diperkirakan berjumlah sekitar 667 juta SBM/th. Mengingat potensinya yang besar serta ketersediaannya hampir diseluruh plosok bumi, terutama pada siang hari dan hari cerah dan tanpa memerlukan alat angkut khusus maka pemanfaatan energi surya sejak lama telah dianjurkan oleh para peneliti dunia dan badan internasional seperti PBB termasuk Indonesia. Di negara kita pemanfaatan energi surya sudah merupakan komitmen nasional seperti tertuang dalam buku Kebijakan Umum Bidang Energi (KUBE), tahun 1992.

Energi surya dapat dimanfaatkan secara langsung untuk berbagai proses termal tetapi dapat pula dikonversikan menjadi tenaga listrik untuk penerangan dan pemompaan air atau menguraikan air menjadi hidrogen dan oksigen yang nantinya dapat digunakan sebagai bahan bakar yang akrab lingkungan. Aplikasi energi surya untuk pengolahan hasil pertanian sudah banyak dilakukan orang tetapi sampai saat ini hasil dari penelitian ini masih belum begitu menonjol dan belum banyak dimanfaatkan secara komersial.

Proses Termal Pengolahan Hasil Pertanian

Proses pengeringan dan pendinginan merupakan dua proses termal yang populer dilakukan di daerah produsen hasil pertanian. Tujuan utama dari proses pengolahan hasil pertanian ini adalah untuk menciptakan kondisi produk agar nantinya dapat disimpan lama baik untuk tujuan

konsumsi, produksi maupun perdagangan. Tanpa pengeringan dan pendinginan hasil pertanian yang telah dipanen akan mudah busuk atau berjamur dan berkecambah, terlebih mengingat kondisi negara kita yang sepanjang tahun berada pada suhu dan RH yang cocok bagi kehidupan jasat renik atau serangga yang merusak. Melalui proses pendinginan dan pengeringan kualitas bahan dapat terjaga melalui sistem penyimpanan sehingga fluktuasi harga yang sangat merugikan produsen dapat diredam. Dengan terkontrolnya harga komoditas yang dihasilkan, para petani dapat merencanakan usahanya secara lebih optimal, agar didapat keuntungan yang layak demi kesinambungan usahanya.

Pengeringan adalah suatu proses penghilangan kandungan air dalam bahan melalui penambahan panas sehingga air yang berada dalam bahan menguap sampai pada kadar air tertentu yang aman bagi serangan jamur dan penyakit. *Pendinginan* adalah proses pengkondisian udara disekitar produk yang disimpan sehingga suhu dan RH mencapai kondisi tertentu yang dapat menghalangi proses pembusukan karena kegiatan enzimatik dalam bahan. Dengan pendinginan, selain sayuran, benih untuk bibit juga dapat tersimpan lama menunggu masa tanam berikutnya atau untuk tujuan penyimpanan sumber bibit unggul.

Sifat termofisik hasil pertanian

Optimasi dan simulasi sistem termal bertujuan untuk menekan biaya konstruksi alat dan untuk mendapatkan cara operasi sistem yang diinginkan. Untuk tujuan tersebut sangat mutlak diperlukan data dasar yang merupakan sifat interinsik dari bahan hasil

pertanian yang kita sebut sebagai *sifat termofisik*.

Sifat fisik disini diartikan sebagai karakteristik fisik dari bahan berupa ukuran, bentuk, luas permukaan, volume, kerapatan, dll. Kesemuanya ini bersama dengan *sifat termal* yaitu sifat bahan dalam menyimpan dan menghantarkan panas seperti panas jenis Cp, konduktivitas panas, k, panas laten, DHfg, koefisien pindah panas, difusivitas panas, dll. sangat berguna untuk tujuan rancang bangun serta operasi proses termal seperti pada proses pengeringan, pendinginan dan pembekuan hasil pertanian. Disamping itu perlu pula diketahui besaran-besaran seperti difusivitas massa, koefisien pengeringan, kadar air keseimbangan, tahanan udara, dll. yang sangat berperan pada proses pengeringan. Dengan diketahuinya sifat termofisik ini, disamping untuk tujuan rancang bangun, dapat pula dimanfaatkan untuk menyusun standardisasi komoditas hasil pertanian untuk tujuan perdagangan baik untuk keperluan domestik maupun internasional.

Bahan pertanian mempunyai bentuk dan struktur yang beragam. Karena itu setiap bahan pertanian mempunyai kemampuan yang berbeda dalam menguapkan air atau mengubah suhunya bila ada perlakuan pemanasan dari luar. Walaupun demikian ada beberapa bentuk dasar yang dapat mewakili bentuk-bentuk yang ada yaitu bentuk bola, silinder terbatas, silinder tak berhingga, lempeng dll. Beberapa metoda serta peralatan pengukuran sifat termofisik bahan pertanian telah berhasil dibuat dan telah dimanfaatkan untuk penelitian sarjana, pascasarjana maupun penelitian dosen.

Secara umum, persamaan keseimbangan massa dalam berbagai geometri benda padat homogen dan isotropik seperti bentuk lempeng, bola dan silinder dan mengikuti kaidah Fick berlaku hubungan berikut (Bird et al, 1960, Carslaw and Jaeger, 1971, Crank, 1975, Henderson dan Perry, 1976).

$$\frac{\partial M}{\partial \theta} = D \nabla^2 M \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dimana ∇^2 merupakan operator yang dinyatakan oleh,

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

untuk kordinat segiempat (*cartesian*),

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \dots (3)$$

untuk kordinat silinder,

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} + \frac{1}{r^2 \sin \phi} \frac{\partial}{\partial \theta} \quad (4)$$

untuk kordinat bola.

Bila kondisi awal dan kondisi batas

Kondisi awal:

$$\theta=0, M=M_0 \text{ pada } 0 < y < \pm b \quad (5)$$

Kondisi batas:

$$\theta \geq 0, M=Me \text{ pada } y = \pm b \quad (6)$$

diterapkan kepada persamaan dasar, yaitu persamaan (1) diatas, maka pemecahan untuk kadar air rata-rata dalam bahan berbentuk lempeng (kordinat satu dimensi) dengan tebal 2b dapat dinyatakan sbb.

$$\frac{\bar{M} - Me}{Mo - Me} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \pi^2 \frac{Dv\theta}{b^2}\right] \dots\dots\dots (7)$$

Henderson dan Perry (1976) menyederhanakan persamaan [6] menjadi bentuk berikut:

$$\frac{\bar{M} - Me}{Mo - Me} = A \exp(-k\theta) \dots\dots\dots (8)$$

dan Nishiyama (1974) mengajukan bentuk :

$$\frac{M - Me}{Mo - Me} = 0.17723 \exp(-36.5655 k\theta) + 0.81585 \exp(-2.47511 k\theta) \dots\dots\dots (9)$$

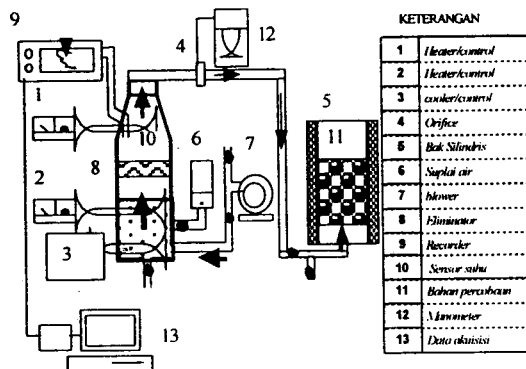
$$k = \frac{A}{V} \sqrt{Dv} \dots\dots\dots (10)$$

dimana A adalah luas permukaan biji, Dv , difusivitas massa dan V adalah volume biji.

Salah satu hasil rancangan alat pengukur sifat termofisik proses

pengeringan dapat dilihat pada Gambar 3. Dengan alat ini dapat dilakukan percobaan lapisan tipis ataupun tebal yang diperlukan untuk menentukan berbagai parameter pengeringan seperti kadar air keseimbangan Me, konstanta pengeringan k atau Dv, koefisien pindah panas dalam tumpukan biji-bijian h_m , penurunan tekanan udara melalui tumpukan biji-bijian, DP/L dll. untuk berbagai geometri bahan.

Dengan menggunakan teknik Newton-Raphson, metoda beda kuadrat terkecil maka nilai-nilai parameter pengeringan dapat ditentukan. Untuk penentuan koefisien pindah panas efektif dalam tumpukan dapat digunakan berbagai metoda antara lain dengan metoda analisis dimensi Dow dan Jacob (1957), analisis pindah panas dalam tumpukan tebal yang dilakukan oleh Bird dkk.(Bird et al, 1960). Nilai panas laten dapat dihitung setelah diketahui nilai Me pada berbagai kondisi suhu dan RH, seperti dikemukakan oleh Hall (1980).



Gambar 3. Peralatan untuk mengukur parameter pengeringan

Selain pengukuran sifat termofisik biji-bijian untuk tujuan pengeringan dapat pula dilakukan metoda yang serupa untuk buah-buahan atau sayuran dalam upaya diversifikasi peluang dan pengembangan agribisnis yang sebenarnya sudah lama dikembangkan dinegara lain.

Dalam upaya meningkatkan ketepatan pendugaan perubahan kadar air dalam bahan, penentuan parameter Diffusivitas massa, D_v yang sesungguhnya merupakan topik penelitian yang menarik untuk ditelusuri lebih lanjut. Untuk itu analisis dengan teknik elemen hingga mungkin merupakan salah satu metoda yang dapat dianjurkan. Sejalan dengan hal tsb. pengukuran parameter geometris yang kompleks dari bahan pertanian dengan menggunakan metoda "digital image processing" dapat pula mulai dikerjakan. Pengkajian yang lebih mikro melalui metoda terakhir ini, dengan memperhitungkan nilai D_v yang mungkin berbeda tergantung kepada arah penguapan diharapkan dapat menerangkan bentuk struktur bahan ditinjau dari proses termal dan perpindahan massa secara lebih akurat sehingga pencegahan kehilangan kandungan gizi dan zat berguna dalam bahan pada proses pengeringan dapat dilakukan. Dengan demikian kemungkinan untuk inovasi teknik dan teknologi pengeringan baru dapat diciptakan sesuai dengan tuntutan kebutuhan dimasa yang akan datang.

Model keseimbangan panas atau keseimbangan energi dalam benda padat dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = \alpha \nabla^2 T \quad \dots\dots\dots (11)$$

Berbeda dengan biji-bijian yang

ukurannya kecil buah-buahan dan sayuran mempunyai ukuran yang agak besar sehingga distribusi suhu dalam bahan dapat diukur umpamanya dengan termokopel, disamping suhura rata rata sehingga pengecekan serta keabsahan nilai a yang diukur dapat diuji secara lebih meyakinkan. Mengingat keterbatasan peralatan di laboratorium kami selama ini maka beberapa metoda sederhana telah dikembangkan untuk mendapatkan nilai dugaan a untuk beberapa komoditas penting di negara kita. Cara tersebut meliputi penentuan langsung nilai α dari persamaan [11] setelah diketahui data sebaran suhu terhadap waktu θ dan jarak dari pusat bahan, r , untuk bola dan silinder dan y untuk bahan berbentuk lempeng satu dimensi melalui pengukuran dengan termokopel. Cara lain adalah dengan pemecahan numerik (beda hingga) dari persamaan [12] dengan memberikan kondisi awal dan batas yang sesuai kemudian menggunakan data sebaran suhu untuk penentuan α .

Jadi untuk bahan berbentuk bulat

$$\alpha = \frac{(\Theta_i^{j+1} - \Theta_i^j) \Delta r^2}{\Delta t (\Theta_{i-1}^j - 2\Theta_i^j + \Theta_{i+1}^j)} \quad \dots\dots\dots (12)$$

dimana $\Theta = T r \quad \dots\dots\dots (13)$

Beberapa perbaikan ketajaman pendugaan dengan cara terakhir ini telah pula diupayakan umpamanya dengan cara "curve fitting". Hasil pendugaan nilai a untuk beberapa produk pertanian di negara kita dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai a dapat pula diduga dengan menggunakan metoda pengukuran komponennya berdasarkan hubungan

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho C_p} \quad \dots\dots\dots (14)$$

Konduktivitas bahan dapat diukur dengan alat pengukur konduktivitas panas bahan seperti KEMTHERM (Kamaruddin dan Sagara, 1992), Cp dengan metoda campuran (Chowdary, 1988) sedangkan r dapat diukur dengan mengetahui massa dan volume bahan.

Hasil pengukuran sifat termofisik bahan pertanian untuk beberapa komoditas pertanian disajikan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Parameter pengeringan dari berbagai komoditas pertanian

Komoditas	Kopi * robusta	Jagung **	Kedelai **	Kakao **
A. Model Lempeng				
1. Konstanta k : $k = \exp(a-b/T)$				
	k(1/jam)	k(1/mn)	k(1/mn)	k(1/jam)
a =	23.324	1.9281	0.0484	5.3476
b =	8441.25	2803.35	1963.79	9707.65
2. K.a. keseimbangan(%db) $Me = a_1 + a_2(DT) + a_3(DT)^2$, $DT = T_d - T_w$				
a1 =	11.1144	12.6999	16.5013	14.63
a2 =	0.41206	0.1883	0.12729	1.1348
a3 =	0.00489	0.02446	0.02387	0.03082
3. Panas laten (kJ/kg) : $Hfg = hfgw[1 + b_1 \exp(-b_2 T Me)]$				
b1 =				0.7297
b2 =				0.1361
B. Model Bola				
1. Difusivitas massa (m ² /det)				
T=57 C RH=2%				4.53e-10

* Supriyono (1986), M, dihitung dengan persamaan [6]

** M, dihitung dengan persamaan [10]

Optimasi Dan Simulasi Sistem Termal Pengolahan Hasil Pertanian Dengan Energi Surya

Dengan tersedianya data sifat termofisik atau sifat transport seperti dikemukakan diatas akan memungkinkan kita untuk melakukan optimasi rancang bangun serta simulasi sistem termal proses pengolahan hasil pertanian. Dengan cara ini selain biaya

konstruksi dapat ditekan seminimal mungkin, prosedur serta metoda operasi alat yang paling efisien akan dapat ditentukan sehingga secara menyeluruh baik biaya awal maupun biaya operasi dapat dibuat seoptimal mungkin.

Optimasi dan simulasi sistem pengering

Hasil optimasi dengan menggunakan metoda pengganda Lagrange, untuk sistem pengering energi surya yang menggunakan kolektor surya seperti pada Gambar 11 didapatkan bahwa biaya konstruksi komponen kolektor surya merupakan komponen dengan biaya tertinggi diikuti oleh biaya kipas dan yang terendah adalah biaya pembuatan bak pengering (Kamaruddin, 1995). Karena itu pengembangan sistem pengering yang menggunakan efek rumah kaca seperti terlihat pada Gambar 9 sampai 13 di Lampiran perlu dikaji lebih lanjut penerapannya di Indonesia baik untuk skala petani maupun untuk perkebunan besar. Di berbagai negara seperti India, Bangladesh dan Cina sistem ini telah banyak digunakan untuk pengeringan pada skala komersial (Sattar, 1990, Garg, 1990, Huang, 1990).

Teknik simulasi sangat berguna untuk mengetahui kinerja sistem pengering sebelum dibuat karena dengan demikian kita dapat terlebih dahulu mengetahui jumlah bahan konstruksi yang diperlukan, termasuk jenis serta kualitasnya. Selain dari pada itu dapat pula diperkirakan tambahan peralatan atau jenis pengaturan (*control*) yang diperlukan untuk mencapai kualitas akhir pengeringan yang diinginkan. Dengan demikian biaya pengembangan alat dapat ditekan semurah mungkin.

Algoritma proses simulasi dapat dilihat dalam Gambar 4 dimana terlihat bagaimana parameter pengeringan (sifat termofisik) berperan dalam menduga perubahan kadar air bahan selama proses pengeringan. Dengan teknik simulasi ini kita dapat mempelajari pengaruh berbagai faktor operasi proses seperti laju penambahan panas pengaruh cuaca terhadap kondisi optimal untuk mendapatkan kualitas pengeringan yang diinginkan. Proses simulasi pada Gambar 4 tersebut

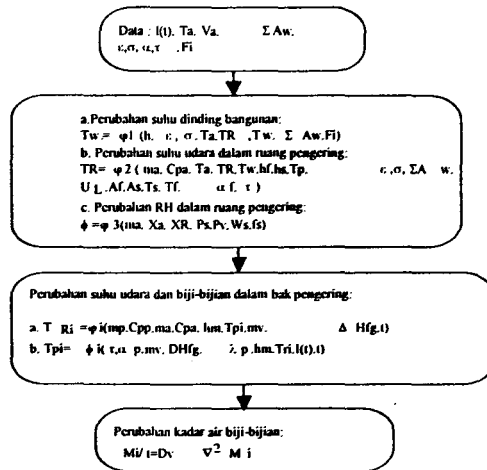
diperuntukkan bagi sistem pengering dengan efek rumah kaca seperti terlihat pada Gambar 9. Salah satu contoh hasil simulasi untuk suatu prototipe yang diuji dapat dilihat pada Gambar 5 dimana untuk mencapai suhu yang diinginkan, umpamanya, untuk pengeringan kopi diperlukan penambahan plat hitam untuk menyerap energi surya pada bagian atas bangunan atau bila perlu penambahan panas dengan penggunaan tungku energi biomassa.

Tabel 2a. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Divusivitas Termal Beberapa Buah-buahan Tropis.

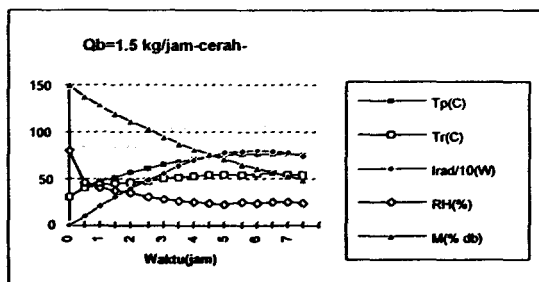
Metoda	Semangka	Melon	Manggis (x e-7 m ² /detik)	Apel	Ket:
					Apel: Rho: 700-770 kg/cm ³ Cp=2.93-3.97 kJ / kg C k= 0.385-0.628 W/m K k a: 80.2-85.9% bb
1. Langsung					
a. Numerik (Biasa)	1.6	1.6	0.634		
b. Numerik (Curve Fit)	1.65		0.364		
c. Analitik		1.652			
d. Data akuisi otomatis (numerik)		1.815			
2. Tak Langsung					
k-ditentukan dg.					Manggis :
- Kemtherm				0.176	Rho = 872.5 kg/m ³
- Model Rothstein			0.171		d = 6.6 cm
k-paralel					W = 130.44 g

Tabel 2b. Data Geometri Beberapa Buah-buahan Tropis

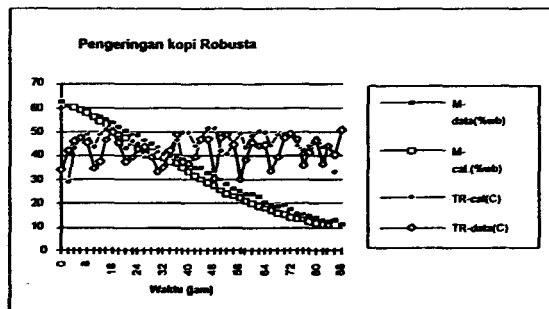
	Panjang (m) (m)	Diameter (m) (m)	Volume (m ³) (m ³)	Massa (kg) (kg)
1. Nenas (n=6)	0.176	0.106	0.00114	0.885
2. Mangga :				
Dermayu (5)	0.116	0.082	0.00028	0.330
Arum manis (4)	0.118	0.075	0.00025	0.310
3. Melon (5)		0.161	0.00196	1.631
4. Semangka		0.180	0.00305	
5. Manggis		0.066	0.00015	0.130
6. Apel Malang		0.762	0.00023	0.172



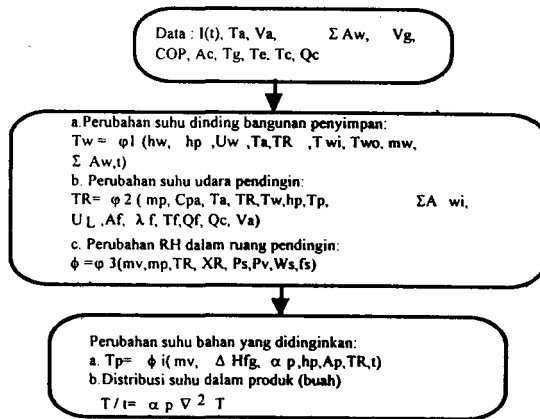
Gambar 4. Algoritma proses simulasi sistem pengering energi surya dengan efek rumah kaca. Subskrip i menyatakan urutan lapisan biji-bijian dalam tumpukan.



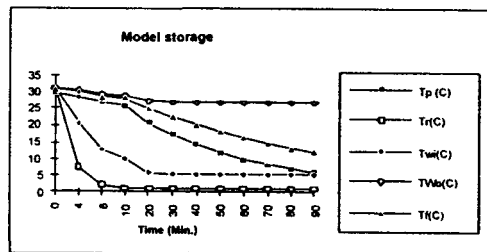
Gambar 5. Hasil simulasi perubahan suhu dalam ruangan pengering ERK dengan pemanasan tambahan dan penambahan plat hitam penyerap panas energi surya.



Gambar 6. Perbandingan antara hasil simulasi dan data pengamatan



Gambar 7. Diagram alir simulasi sistem penyimpanan dingin buah-buahan dan sayur-sayuran dengan energi surya



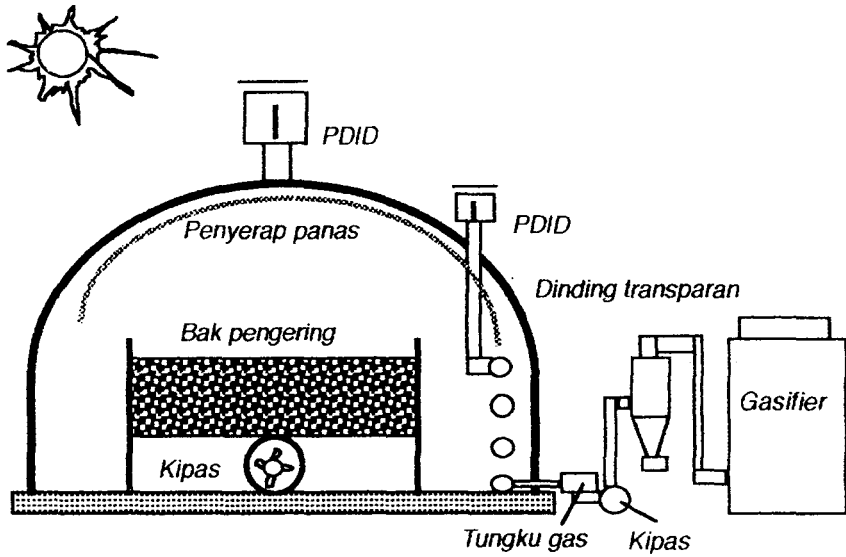
Gambar 8. Hasil simulasi distribusi suhu dalam buah yang disimpan dalam ruang dingin.

Pada Gambar 5 tersebut ditunjukkan pemanasan pada kondisi udara cerah dengan tambahan energi dari tungku biomassa Q_b , sebesar 1.5kg/jam atau setara dengan 6.1 kW, dimana laju udara pengering dipertahankan tetap pada $m_a = 0.1$ kg/jam. Untuk menguji ketepatan hasil simulasi perlu dilakukan uji validasi di laboratorium, umpamanya, dengan membuat prototipe alat pengering

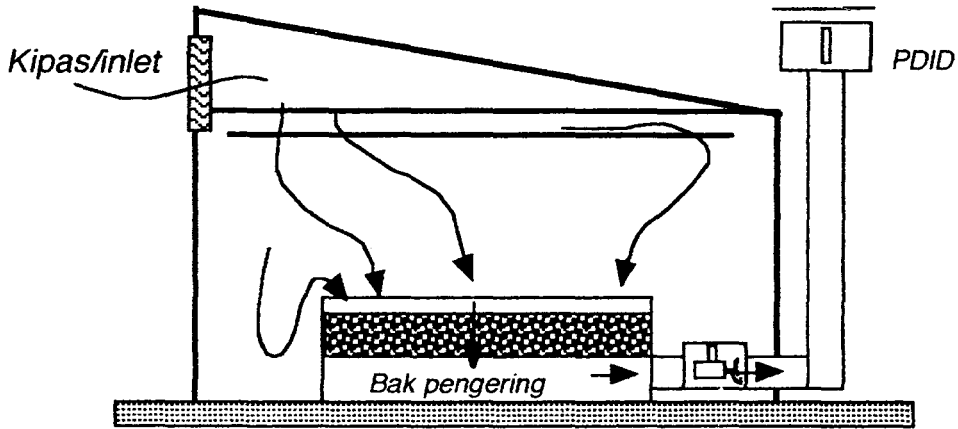
sebelum sistem yang ingin dikembangkan ini dipasarkan ke masyarakat.

Kinerja sistem pengering energi surya

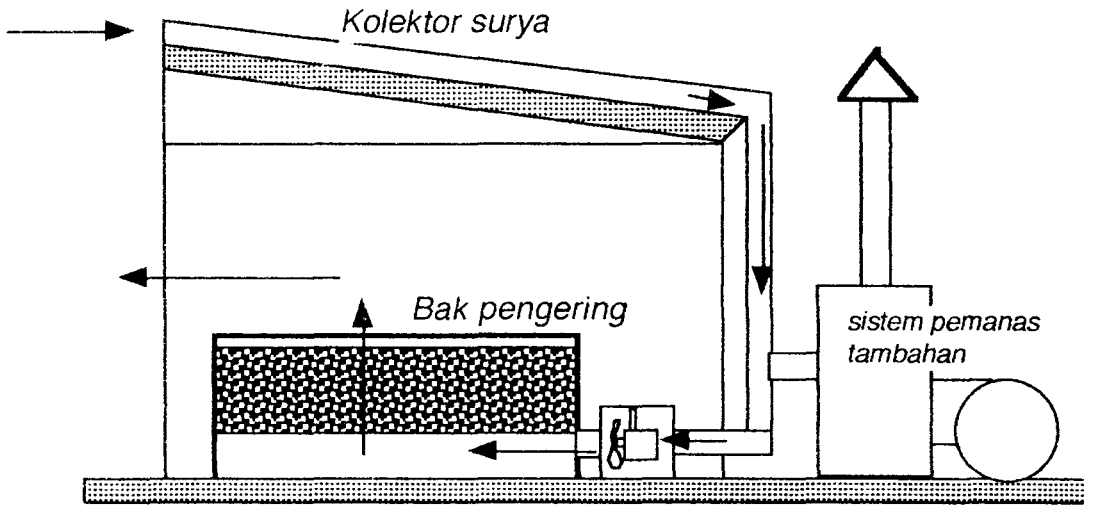
Untuk melakukan uji performansi alat pengering energi surya dengan efek rumah kaca digunakan prototipe seperti terlihat pada Gambar 10 (Kamaruddin, 1995, 1996). Alat ini mempunyai ukuran lantai semen



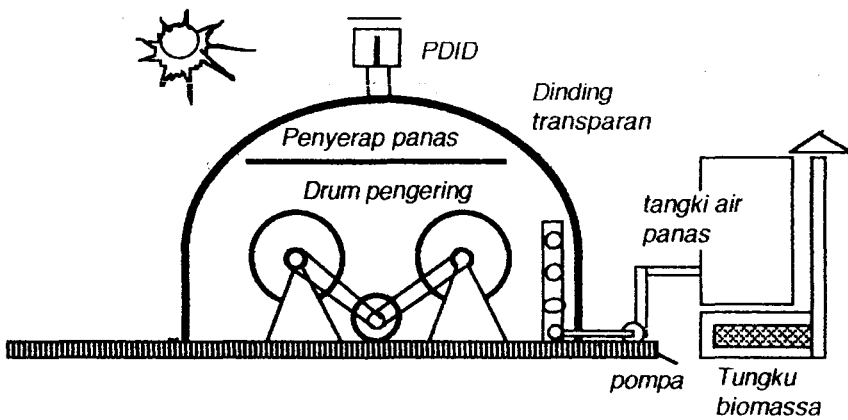
Gbr. 9 Pengering energi surya efek rumah kaca tipe terowongan



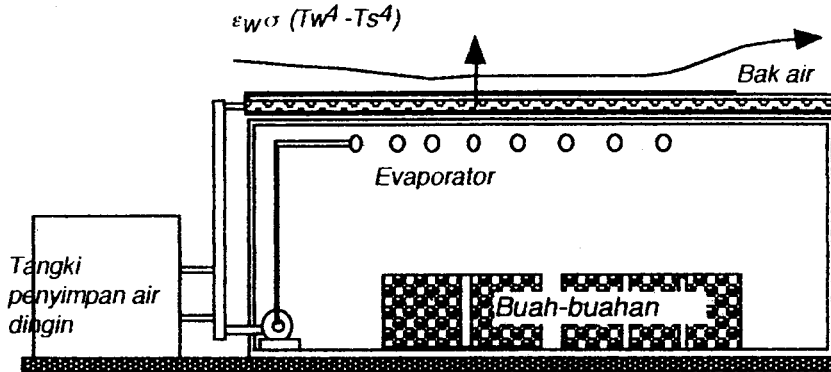
Gbr. 10 Pengeringan energi surya efek rumah kaca tipe bangunan segiempat



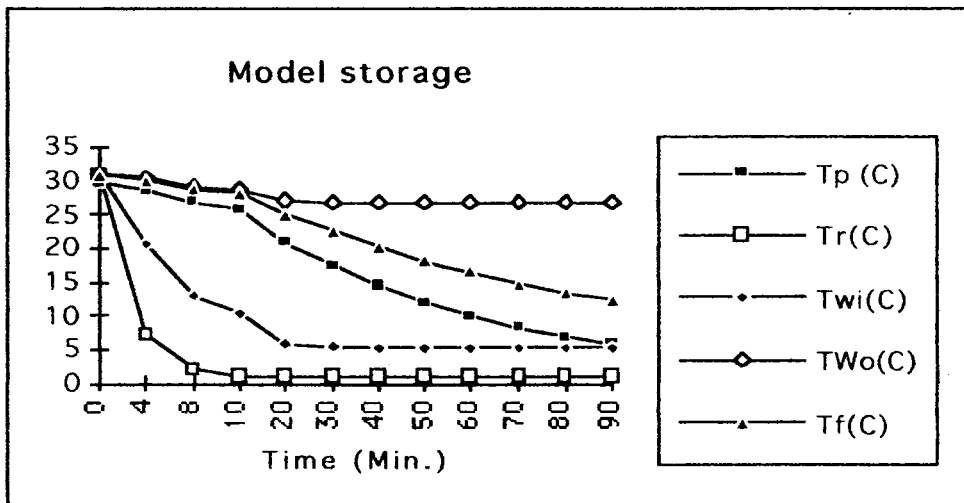
Gbr. 11 Pengering surya dengan atap berfungsi sebagai kolektor panas



Gbr. 12 Pengering energi surya efek rumah kaca tipe terowongan dengan tempat pengering berbentuk drum



Gbr. 13 Sistem penyimpanan dingin dengan menggunakan air sebagai fluida kerja



Gbr. 14 Hasil simulasi pendinginan dengan efek radiasi malam hari. Tp adalah suhu produk, Tr, suhu ruangan, Tw, suhu dinding ruang penyimpanan

3.6 m x 3.6m, dan terbuat dari bahan transparan *fiberglass* dan kerangka besi. Kapasitas kipas yang digunakan adalah 0.5 HP, 1400 rpm. Dari hasil uji kinerja alat dapat diketahui kelayakan teknis alat antara lain yang menyangkut, suhu dan RH udara pengeringan, lama pengeringan, kebutuhan energi, efisiensi termal serta efisiensi pengeringan sistem secara keseluruhan. Gambar 6 menunjukkan suatu contoh perbandingan antara hasil perhitungan simulasi dan data hasil percobaan yang dilakukan dengan alat yang ditempatkan di Puslit Kopi dan Kakao, Jember.

Dari perbandingan antara simulasi dan percobaan diketahui permasalahan yang masih ada dalam upaya menyempurnakan kinerja alat. Dengan demikian secara bertahap penyempurnaan rancang bangun dilakukan secara sistematis karena setiap permasalahan yang timbul dapat dikaji ulang melalui proses simulasi. Dengan terkumpulnya data sifat termofisik bahan maka dimungkinkan penerapan sistem pengeringan untuk berbagai komoditas perdagangan di negara kita. Alat yang dihasilkan dapat dikembangkan lebih lanjut oleh industri kecil atau menengah tergantung kecanggihan alat yang dikembangkan dalam rangka memacu proses industrialisasi di daerah pedesaan.

Simulasi sistem penyimpanan dingin

Seperti halnya pada proses simulasi pengeringan pada simulasi sistem pendinginan dengan energi surya bertujuan untuk menentukan jenis komponen yang masih diperlukan untuk mencapai kondisi suhu dan RH udara dalam ruang penyimpanan yang menjamin lamanya penyimpanan hasil pertanian. Karena sebagian besar

hasil pertanian tropis membutuhkan suhu simpan antara 10-20 °C maka sistem pendinginan energi surya yang dapat diterapkan haruslah disesuaikan dengan target suhu tsb. Cara yang paling sering digunakan adalah dengan menggunakan sistem kolektor surya yang dapat menggerakkan sistem pendinginan tipe absorpsi baik dengan menggunakan kombinasi NH₃-H₂O maupun dengan sistem LiBr-H₂O. Hasil penelitian sebelumnya dengan menggunakan kombinasi terakhir ini dimana suhu generator berada pada suhu sekitar 70 C dapat dihasil suhu evaporator sekitar 3 C (Kamaruddin, 1976). Pendinginan dengan energi surya seperti diatas dapat dikombinasikan dengan memanfaatkan sistem pendinginan radiasi malam hari. Beberapa daerah pegunungan dimana sayur-sayuran diproduksi, suhu sekitar 14 C atau lebih rendah dapat dijumpai dan dapat diturunkan lagi melalui proses pindah panas radiasi malam hari tsb. Untuk dapat mengetahui lebih jauh potensi sistem pendinginan tipe radiasi ini telah dilakukan simulasi dengan memanfaatkan model seperti pada Gambar 15 dimana air murni digunakan sebagai fluida kerja. Perhitungan simulasi dapat dilihat pada Gambar 7. Dari hasil perhitungan simulasi didapatkan bahwa suhu simpan dapat dengan mudah dicapai pada malam hari. Secara keseluruhan perkiraan perubahan suhu pada berbagai komponen ruang penyimpan termasuk perubahan suhu produk terlihat pada Gambar 8, dimana suhu produk (Tp) dapat diturunkan menjadi 10 C selama kurang dari satu jam.. Dari hasil simulasi ini dapat disimpulkan bahwa sistem pendinginan dengan memanfaatkan radiasi malam hari dapat dikombinasikan dengan

sistem pendinginan energi surya untuk mendapatkan suhu penyimpanan dingin yang relatif konstan. Hasil percobaan dengan menyimpan brokoli pada suhu 10 C umur simpan dapat diperpanjang sampai 9 hari.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil telaah yang telah dikemukakan dalam tulisan ini dapat disimpulkan beberapa hal.

- 1) Untuk menghadapi krisis energi dan pangan energi surya serta energi terbarukan lainnya terbukti mempunyai potensi yang besar untuk dapat dimanfaatkan sebagai pengganti energi konvensional (BBM, listrik) pada berbagai proses termal hasil pertanian seperti proses pendinginan dan pengeringan. Dengan mengkombinasikan kedua cara ini energi BBM dapat dihemat dan kerusakan pascapanen dapat ditekan.
- 2) Beberapa metoda dan alat pengukuran sifat termofisik hasil pertanian telah berhasil diciptakan. Dengan menggunakan metoda serta alat tsb. beberapa sifat termofisik bahan pertanian tropis telah berhasil diukur. Data dasar ini sangat berguna dalam mengoptimalkan rancang bangun berbagai alat untuk tujuan proses termal hasil pertanian.
- 3) Metoda optimasi dan simulasi peralatan proses termal pengolahan hasil pertanian telah berhasil dikembangkan dan sebagai hasilnya telah dibuktikan bahwa sistem pengeringan dengan efek rumah kaca merupakan cara pengeringan yang hemat biaya konstruksinya.

Notasi

A	koefisien bentuk (-)
A	luas lantai atau luas permukaan (m^2)
C_v	nilai kalor biomassa (kJ/kg)
C_p	panas jenis (J/kg-C)
D_v	difusivitas massa ($m^2/det.$)
F_i	faktor pandangan (-)
DH_{fg}	panas laten penguapan (kJ/kg)
H	koefisien pindah panas konveksi (W/m^2-C)
I	radiasi surya global (kW/m^2)
K	konstanta pengeringan (1/jam)
m	massa (kg)
m'	laju massa (kg/det.)
M	kadar air bahan (% bk)
P_w	daya kipas (kW)
Q_1	panas untuk meningkatkan suhu bahan (kJ)
Q_2	panas penguapan bahan (kJ)
Q_b	laju pemanasan tambahan dari tungku biomassa (W)
r	jarak radial (m)
U_L	koefisien pindah panas total ($W/m^2 - C$)
W	massa produk (kg)
t	suhu (C)
T	suhu mutlak (K)

Subskrip

a	udara
e	ekuilibrium
f	lantai
i	inlet
o	awal, outlet
p	lempeng, produk atau plat
R, r	ruang
w	dinding, air

Simbol huruf Yunani

α	koefisien penyerap panas (-), difusivitas panas ($m^2/det.$)
ϵ	emissivitas (-)
λ	konduktivitas panas bahan (W/m-K)
η	efisiensi (-)
ρ	kerapatan bahan (kg/m^3)
σ	konstanta Stefan-Boltzmann, $5.67 \times 10^{-8} W/m^2-K^4$
τ	koefisien tembus sinar surya dinding bangunan (-)

Ucapan Terima Kasih

Penulis sangat berterima kasih kepada Direktorat Pengembangan Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, ASEAN University Consortium - SEARCA, JICA, JSPS atas berbagai bantuan biaya penelitian yang telah memungkinkan terlaksananya berbagai penelitian yang hasilnya telah dipaparkan dalam tulisan ini. Tidak kalah pentingnya peranan rekan sejawat di Laboratorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fateta-IPB, serta staff CREATA-LP IPB yang telah banyak jasanya dalam membantu terlaksananya berbagai program penelitian yang disebutkan diatas. Kepada mereka penulis mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya. Kepada para mahasiswa baik mahasiswa tingkat sarjana maupun pascasarjana yang telah banyak membantu dalam merancang, membuat alat, mengukur serta menganalisis berbagai hasil penelitian tak lupa diucapkan banyak terima kasih semoga pengalaman bekerja dengan penulis dapat bermanfaat kiranya.

KEPUSTAKAAN

- ASEAN Canada Project on Solar Energy in Drying Processes, 1994. *Summary Report on Construction and Commissioning Workshop*, Bandung 10-11 October.
- Bird, R.B., W.E. Steward and E.N. Lightfoot, 1960. *Transport Phenomena*. John Wiley & Sons, Inc. London.
- Carslaw, H.S. and J.C. Jaeger, 1971. *Conduction of Heat in Solids*. 2nd Ed. Oxford, Clarendon Press, Oxford, UK.
- Chowdary, T.P., 1988. Thermal properties of Mangoes. Master of Engineering Thesis, AIT, Bangkok.
- Dow and Jacob, 1957. in Lapidus, L. (1962). *Digital Computation for Chemical Engineers*. Chemical Engineering Series, McGraw Hill, New York.
- Foell, W.K., 1983. *Energy systems Analysis and Planning in Indonesia*. A preliminary Report on the Intensive Course/ Workshop. University of Wisconsin, Wisconsin, USA.
- Grob, G., 1996. Proc. 6th. International Energy Conference and Exhibition-ENERGEX'96, Beijing, June 3-7.
- Hall, C.W., 1957. *Drying Farm Crops*. Consulting Association Inc. Reynoldsburg.
- Harijono, H., 1995. Trends in Efficient Supply and Use of Energy in Fast Developing Economies-The case of Indonesia. Transactions, International Symposium on Energy, Environment and Economics, Melbourne, Australia, 20-24th August, pp.23-38.
- Henderson, S.M. and R.L Perry, 1976. *Agricultural Process Engineering*, The AVI, Pub. Co. Inc. Westport.
- Kamaruddin A., and Y. Sagara, 1992. Thermophysical properties of tropical agricultural products, Paper No. 926066. Int. Summer Meeting of the ASAE, Charlotte, June 21-24.
- Kamaruddin Abdullah, Sri Mulato, Endah Agustinah and Dyah W., 1995. *Drying Performance of a Fiberglass house Solar Dryer*. International Symposium on Energy Economics and Environ-

- ment, Melbourne Australia, November 20-25. pp.253-257.
- Kamaruddin Abdullah, 1995. *Optimasi dalam Perencanaan Alat Pengering Hasil Pertanian Dengan Energi Surya*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing I, Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Kontrak No.039/P4M/DPPM/PHB/95.
- Kamaruddin Abdullah, 1996. *Solar Drying of Coffee*. Workshop on Industrial Drying Technology, CREATA-LP-IPB, Bogor, August 20-22.
- Lyons, S., 1978. *Sun! A Handbook for Solar Decade*. Friends of the Earth, Sanfarnsisco, US.
- Mursalim, 1994. Skripsi, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB.
- Nishiyama, Y. 1974. Doctoral Dissertation, The University of Tokyo.
- Nitta, Y., 1996. A Case Study of Sustainable Development, Proceedings of the Asia Pacific Conference on Sustainable Energy and Environmental Technology, P.F. Greenfield, C.Y. Liu, J.H.Tay, G.Q.Liu, A.C. Lua and K.C. Toh Edited, 19-21 June, Singapore. pp.559-576.
- Ridwan Tahir, 1986. Disertasi Doktor, IPB.
- Silaban, M. 1994. *Perancangan Alat Pengering Kayu dengan Sumber Energi Matahari dan Biomassa..* Workshop on Solar Thermal Energy Utilization System "Drying Technology", BPP Teknologi, Jakarta, Feb.9.
- Supriyono, 1986. Skripsi Sarjana Teknologi Pertanian, IPB.
- Vo-Ngoc, D. and N.K. Srivastava, 1993. *Evaluation and Application of a Simple Pressure Difference Inducer Device (PDID) for Postharvest Drying and Storage*. Universite de Moncton, Canada.
- Wan Ramli wan Daud, dkk., 1994. *Drying of Cocoa Beans*. Drying '94. Vol.4. Edited by V. Rudolph and R.B. Key, Proc. IDS'94. Gold Coast, Australia.