

# **PENERAPAN ENERGI SURYA DALAM PROSES TERMAL PENGOLAHAN HASIL PERTANIAN**

---

Oleh:

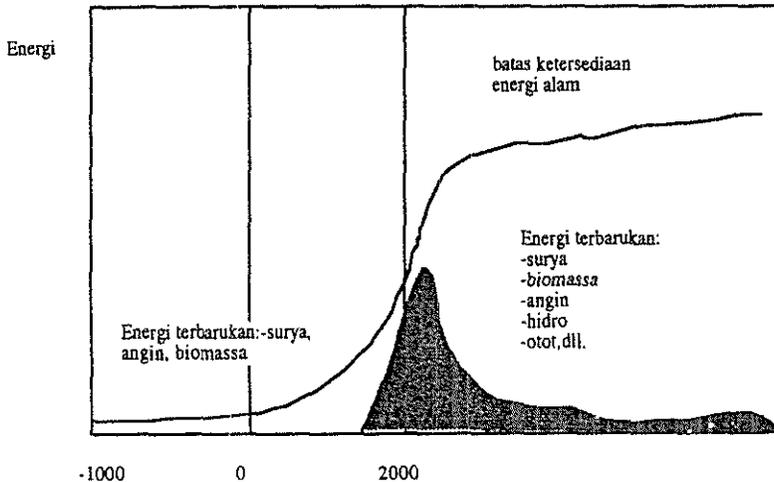
**Kamaruddin Abdullah**

## **I. Pendahuluan**

Baru-baru ini Gustav Grob (1996) menekankan lagi prediksi Club of Rome di awal tahun 1970an bahwa bahan bakar fosil, yang sifatnya mencemarkan lingkungan, kian berkurang keberadaannya dan dalam waktu dekat akan diganti oleh sumber energi terbarukan yang lebih bersahabat dengan lingkungan yang meliputi 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 Gbr. 1.

Penggunaan energi fosil saat ini dan menjelang tahun 2000 yang 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 pemacuan proses industrialisasi. Sebagai konsekuensinya diperlukan peningkatan jumlah konsumsi energi yang merupakan motor penggerak industrialisasi

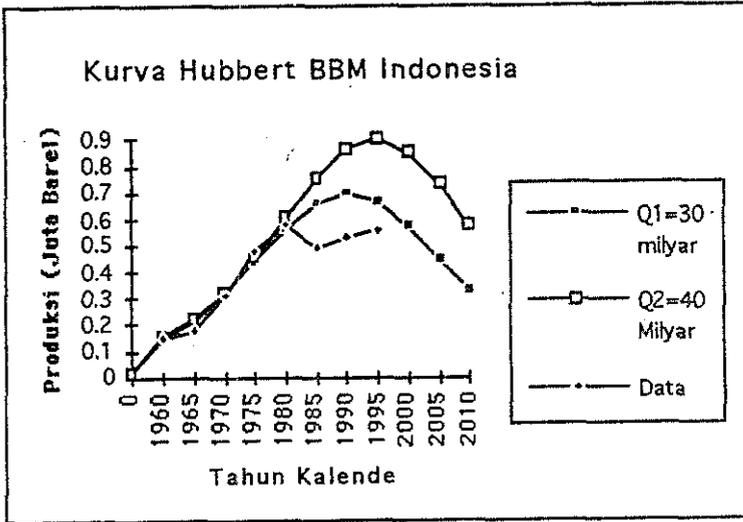
tsb. Sejauh mana pengurangan konsumsi bahan bakar fosil terjadi sejak tahun 2000 nanti tergantung kepada kesadaran kita terhadap masalah serta dampak pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh pemakaian bahan bakar fosil tsb., dan perkembangan hasil teknologi energi alternatif.



Gbr.1. Transisi menuju penggunaan energi terbarukan (Grob,1966

Untuk Indonesia, Foell (1983) telah membuat prediksi tentang keberadaan BBM dengan menggunakan metoda analisis Hubbert. Hasil dugaan adalah seperti pada Gbr.2. untuk dua kondisi pendugaan potensi BBM di perut bumi kita 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 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.



Gbr.2. Kurva Hubbert produksi BBM untuk Indonesia

Masalah lain yang perlu pula diantisipasi secara dini menjelang abad 21 adalah masalah penyediaan pangan. Nitta (1996) seorang peneliti Jepang pada the Central Research Institute of Electric Power Industry, Tokyo dan juga adalah pengajar pada Program Pascasarjana Universitas Keio dan Meiji telah mencoba melakukan perhitungan sederhana tentang kebutuhan pangan dan energi dunia. Ia melakukan perhitungan kebutuhan pangan dan energi tsb. untuk kondisi dimana laju pertumbuhan penduduk dunia sama dengan 0. Perhitungannya lebih lanjut didasarkan atas data yang tersedia dari berbagai negara yang meliputi kebutuhan

pangan, pupuk, luas lahan pertanian dan konsumsi energi.

Bila diasumsikan bahwa rata-rata manusia mengkonsumsi pangan sebesar 2600 kkal per hari dimana 1/4 darinya berasal dari daging ayam dan sisanya dari sereal. Karena sekitar 1/3 dari energi sereal yang dimakan ayam diubah menjadi daging dan bila 100 g sereal mengandung 250 kkal energi maka manusia akan mengkonsumsi sekitar 780 g per hari per orang. Dari 1/4 kalori yang dikonsumsi dari ayam tsb. kebutuhan akan sereal menjadi setara dengan 780 g sereal per hari per orang sehingga total kebutuhan akan sereal menjadi 1580 g per hari per orang atau setara dengan 750 kg per orang pertahun. Dengan mengasumsikan rata-rata lahan menghasilkan sereal 4 ton/ha, Nitta akhirnya mendapatkan nilai kebutuhan lahan untuk memproduksi sereal seluas 0.14 ha per orang. Berdasarkan hasil ini maka kebutuhan luas lahan untuk memberi makan penduduk dunia yang diperkirakan akan mencapai 10 milyar dalam tahun 2050 menjadi 14 juta km<sup>2</sup> mendekati luas lahan pertanian saat ini yaitu seluas 14.4 juta km<sup>2</sup>. Dari data kebutuhan energi per orang sebesar 2.7 ton SM (Setara Minyak yang berasal dari berbagai sumber energi termasuk listrik, surya, angin, hidro dll. ) yang bila dikalikan dengan jumlah penduduk dunia saat ini yaitu 5.6 milyar orang Nitta mendapatkan nilai kebutuhan energi sebesar 15.1 milyar ton SM atau sekitar 1.9 kali dari konsumsi minyak saat ini.

Dari kedua kenyataan diatas ternyata bahwa dunia kita saat ini telah mengalami masalah krisis pangan dan energi, dua unsur pokok untuk mendukung kehidupan di dunia ini. Karena itu

seyogyanyalah segala upaya pengembangan energi alternatif termasuk energi surya perlu dipacu lebih giat lagi dan dibarengi oleh pembangunan sektor pertanian. Untuk itu kerjasama berbagai pihak baik pemerintah, perguruan tinggi maupun swasta untuk menaggulangi masalah tsb. perlu segera dilaksanakan secara serius dan konsisten demi berlanjutnya kehidupan dimuka bumi ini.

## II. 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 dapat dimanfaatkan secara langsung atau melalui proses konversi alami menjadi energi terbarukan lain seperti energi angin, hidro, biomassa, otot (ternak). Energi surya merupakan hasil proses pembangkitan energi nuklir fusi dimana hidrogen diubah menjadi helium dengan laju. Pada proses fusi ini terjadi kehilangan massa matahari dengan laju sekitar 4 juat t/det. dan berbarengan dengan proses tersebut dilepaskan gelombang eletromagnetik ke seluruh jagad raya dan mencapai bumi dalam waktu hanya 8 menit. Dari jumlah energi yang dipancarkan tsb. tiap tahun bumi kita menerima sebesar 3200 Q (  $9.4 \times 10^{11}$  GWh). Dalam perjalanannya ke bumi sebagian dari energi tsb. diserap oleh gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O dan gas lainnya yang berada di angkasa sehingga yang dapat diterima di negara kita adalah sekitar  $4.5 \text{ kWh/m}^2$ . Dengan luas daratan sekitar 1.9 juta km<sup>2</sup> maka negara kita menerima  $4.5 \text{ kWh/m}^2 \times 365/2(\text{hari/th}) \times 1.9 \times 10^{12}$

$m^2 = 1560 \times 10^{12}$  kWh/tahun atau setara dengan 192000 Juta SBM jauh lebih besar dari total konsumsi energi komersial kita saat ini yang diperkirakan berjumlah sekitar 210 juta SBM/th. Mengingat potensinya yang besar serta ketersediannya 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.

Berikut ini saya ingin mengemukakan beberapa pengalaman saya dalam upaya menerapkan energi surya, yang sangat potensial ini, untuk proses termal pengolahan hasil pertanian. Masalah ini masih terus menjadi topik penelitian saya dan saya harap nantinya dapat diteruskan oleh mahasiswa bimbingan mapun rekan sejawat yang berkecimpung dalam bidang Teknik Pertanian.

### III. 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 jasad renik atau serangga yang merusak. Akan sia-sialah usaha pertanian yang penuh risiko itu apabila hasil panen yang telah diupayakan menjadi tidak bisa dikonsumsi atau dijual. Apalagi sebagian dari hasil yang dipanen tsb. harus dijadikan bibit untuk tanaman berikutnya sehingga usaha pertanian dapat berkelanjutan.

*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.

Agar energi surya dapat kita manfaatkan secara efisien dan efektif untuk proses termal diperlukan suatu sistem yang dapat menangkap energi ini untuk kemudian dikonversikan menjadi energi termal pada tingkat suhu tertentu yang dibutuhkan untuk

menjalankan proses pengeringan ataupun proses pendinginan. Selama ini dan sejak zaman purbakala energi surya telah digunakan untuk tujuan pengeringan, yaitu dengan cara meletakkan bahan yang akan dikeringkan ditengah terik matahari. Dengan cara demikian energi surya yang berupa gelombang elektromagnetik dengan radiasi maksimum pada panjang gelombang sekitar  $0.5 \mu\text{m}$  menggerakkan partikel bahan termasuk kandungan airnya sehingga bahan menjadi panas dan bila tercapai tingkat energi tertentu air akan menguap dari dalam bahan. Kelemahan dari cara penjemuran langsung ini adalah bahwa kita tidak dapat mengatur suhu sesuai dengan tingkat suhu optimum bagi produk tertentu. Selain itu bahan yang dijemur langsung akan terkontaminasi dengan kotoran dan juga mudah dijangkau burung, ayam,dll. Karena itu cara pemanfaatan energi surya yang lebih baik adalah dengan menangkap dan mengumpulkannya dengan cara tertentu untuk kemudian diatur sedemikian rupa dan dimanfaatkan untuk pemanasan udara pengering sampai mencapai suhu yang sesuai dengan tingkat suhu optimal bagi proses pengeringan. Disamping itu agar pemanfaatannya dapat dilaksanakan sepanjang waktu baik siang maupun malam atau pada cuaca hujan dan mendung diperlukan kombinasi sistem pemanfaatan dengan sumber energi lain seperti energi biomassa yang banyak terdapat di negara kita.

Ada terdapat beberapa metoda pemanfaatan energi surya untuk tujuan pendinginan. Yang sering dianjurkan untuk penggunaan didaerah produsen-hasil pertanian di pedesaan adalah dengan menggunakan sistem pendingin tipe absorpsi dimana kombinasi  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  merupakan kombinasi yang sangat memungkinkan

diterapkan di negara kita. Beberapa kombinasi larutan lain yang kurang toksik, tidak menghasilkan bahan yang merusak lapisan ozon dan dapat beroperasi pada tekanan mendekati tekanan atmosfer dan tidak korosif masih terus dikembangkan. Air murni yang dikombinasikan dengan LiBr dapat pula menghasilkan suhu evaporator yang moderat yang sesuai dengan kondisi suhu bagi banyak hasil pertanian tropis seperti buah-buahan dan sayuran.

Optimasi dan simulasi sistem termal bertujuan untuk menekan biaya konstruksi alat dan untuk mendapatkan cara operasi sistem yang diinginkan. Untuk tujuan tsb. sangat mutlak diperlukan data dasar yang merupakan sifat intrinsik 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  $C_p$ , konduktivitas panas,  $k$ , panas laten, koefisien pindah panas dll. sangat berguna untuk tujuan rancang bangun serta operasi proses termal seperti pada proses pengeringan, pendinginan dan pembekuan hasil pertanian. Dengan diketahuinya sifat termofisik ini dapat pula disusun standardisasi komoditas hasil pertanian untuk tujuan perdagangan baik untuk keperluan domestik maupun internasional.

Berikut ini saya akan menjelaskan metoda pengukuran sifat termofisik hasil pertanian yang telah saya coba rintis dan kembangkan bersama rekan-rekan dan mahasiswa di Laboratorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB sejak saya diterima sebagai dosen sekembalinya dari Jepang.

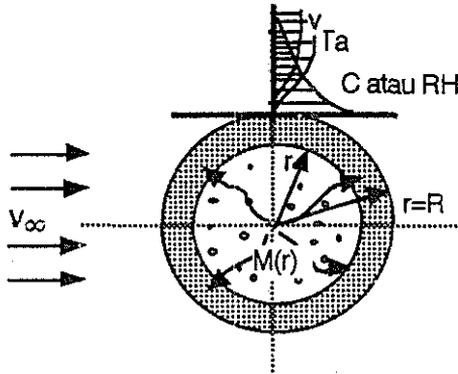
## **a. Proses perpindahan massa dalam bahan**

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. Penentuan dan teknik pengukuran sifat termofisik bahan pertanian dimulai dengan pertama-tama menyusun persamaan keseimbangan massa dan energi dalam bahan. Dari persamaan yang terbentuk diberikan kondisi awal dan kondisi batas tertentu yang dapat diciptakan oleh peralatan ukur yang ingin kita ciptakan, umpamanya, suhu dan RH yang konstan di sekitar bahan. Dengan pemecahan benar dan numerik dari persamaan yang tersusun akan diketahui parameter apa lagi yang perlu diukur untuk dapat menentukan nilai sifat termofisik atau sifat transport bahan pertanian. Berikut ini secara rinci akan dijelaskan prosedur pengukuran yang telah dikembangkan selama ini.

### **a-1. Persamaan pindah massa**

Bila kita perhatikan biji-bijian berbentuk bulat yang berada dalam bak pengering pada berbagai rancangan sistem pengering energi surya seperti pada Gbr. A1 sampai A5 di Lampiran, maka model perpindahan massa dari dalam bahan dapat diasumsikan untuk berlangsung seperti pada Gbr.3. Suhu tinggi dan RH rendah yang dibawa oleh udara pengering membuat gradien konsentrasi kandungan kadar air antara pusat dan bagian luar bahan yang akan membuat kandungan air yang ada dalam bahan bergerak menguap keluar dari bahan. Dengan dialirkannya udara pengering

dengan suhu tinggi dan RH rendah ts. maka proses pengeringan atau perpindahan massa akan berjalan secara terus menerus sampai kadar air yang diinginkan oleh persyaratan perdagangan atau penyimpanan tercapai.



Gbr 3. Pengeringan benda bulat

Secara umum persamaan satu dimensi 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) .

$$\frac{\partial M}{\partial \theta} = D \nabla^2 M \quad [1]$$

Dimana  $\nabla^2$  merupakan operator yang dinyatakan oleh

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad [2]$$

untuk kordinat segiempat (cartesian).

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \frac{\partial^2}{\partial \phi^2} \quad [3]$$

untuk kordinat silinder

$$\nabla^2 = \partial^2/\partial r^2 + (1/r)\partial/\partial r + \partial^2/\partial z^2 + \partial^2/\partial \phi^2 \quad [4]$$

untuk kordinat bola.

Bila kondisi awal dan kondisi batas

$$\text{Kondisi awal: } \theta=0, M=M_0 \text{ pada } 0 < y < \pm b \quad [5]$$

$$\text{Kondisi batas: } \theta \geq 0, M=M_e \text{ pada } y = \pm b \quad [6]$$

dikenakan kepada persamaan dasar yaitu pers.[1] diatas maka pemecahan untuk kadar air rata-rata dalam bahan berbentuk lempeng dengan tebal 2b dapat dinyatakan sbb.

$$\frac{\bar{M} - M_e}{M_0 - M_e} = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\{-((2n+1)^2) \pi^2 Dv \theta / b^2\} \quad \dots\dots[7]$$

Henderson dan Perry (1976) menyederhanakan pers.[6] menjadi bentuk berikut

$$\frac{\bar{M} - M_e}{M_0 - M_e} = A \exp(-k \theta) \quad [8]$$

dan Nishiyama (1974) mengajukan bentuk

$$\frac{\bar{M} - M_e}{M_0 - M_e} = 0.17723 \exp(-36.5655 k \theta) + 0.81585 \exp(-2.47511 k \theta) \quad [9]$$

$$k = (A/V) \sqrt{Dv} \quad [10]$$

dimana A adalah luas permukaan biji dan V adalah volume biji. Pemecahan benar untuk benda padat berbentuk bola dan silinder

dengan radius R untuk kondisi awal dan kondisi batas

Kondisi awal:  $\theta=0, M=M_0$  pada  $0 < r < \pm R$  [11]

Kondisi batas:  $\theta \geq 0, M=M_e$  pada  $r = \pm R$  [12]

adalah seperti pers.[13] untuk rata-rata kadar air bola

$$\frac{M-M_e}{M_0-M_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp[-Dv (\pi n)^2 \theta / R^2]}{n^2} \quad [13]$$

yang dapat pula diduga dengan persamaan Nishiyama (1974)

$$\frac{M-M_e}{M_0-M_e} = \begin{cases} 1 - 1.077522733 \sqrt{k\theta} + 0.3039355509 k\theta & \text{untuk } 0 \leq k\theta \leq 0.9 \\ 0.6679481(-k\theta) + 0.1562563 \exp(-4.02587 k\theta) & \text{untuk } k\theta \geq 0.9 \end{cases} \quad [14]$$

sedangkan untuk silinder tak berhingga dimana pengeringan hanya berlangsung kearah radial

$$\frac{M-M_e}{M_0-M_e} = \frac{2}{R} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\exp[-Dv (\alpha_n)^2 \theta] J_0(r \alpha_n)}{\alpha_n J_1(R \alpha_n)} \quad [15]$$

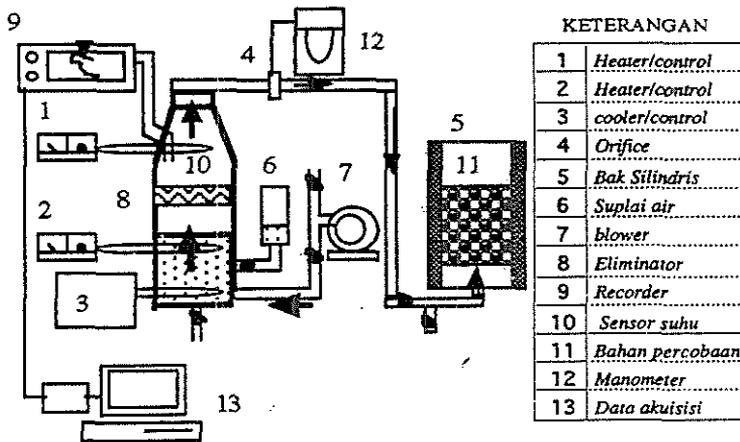
Disini  $\alpha_n$  adalah akar akar positif dari fungsi Bessel jenis 1 ordo 0 ( $J_0(R \alpha_n)$ ).  $J_1$  adalah fungsi Bessel jenis pertama ordo 1. Dari persamaan-persamaan yang terbentuk tadi terlihat jelas kaitan antara parameter termofisik seperti  $Dv$ , ukuran bahan, kadar air awal dan kadar air keseimbangan mempengaruhi laju penurunan kadar air dalam bahan. Mengingat bentuknya yang beragam dan kompleks tsb. maka seringkali untuk menyederhanakan masalah biasanya lapisan tumpukan bahan yang dikeringkan dianggap

sebagai lempeng tak berhingga bagaimanapun bentuk individu dari bahan tsb.( Henderson dan Perry,1976).

## **a-2. Penentuan parameter pengeringan**

Untuk merancang dan membuat alat pengukur sifat termofisik bahan ini saya telah dibantu oleh mahasiswa bimbingan. Salah satu hasil rancangan tsb. dapat dilihat pada Gbr.4. Dengan alat ini dapat dilakukan percobaan lapisan tipis ataupun tebal yang diperlukan untuk menentukan berbagai parameter pengeringan seperti kadar air keseimbangan  $M_e$ , konstanta pengeringan  $k$  atau  $D_v$ , koefisien pindah panas dalam tumpukan biji-bijian  $h_m$ , penurunan tekanan udara melalui tumpukan biji-bijian,  $\Delta P/L$  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 diukur setelah diketahui nilai  $M_e$  pada berbagai kondisi suhu dan RH, seperti dikemukakan oleh Hall (1980). Selain pengukuran sifat termofisik biji-bijian dapat pula dilakukan hal yang sama untuk buah-buahan atau sayuran dalam upaya diversifikasi peluang dan pengembangan agribisnis yang sebenarnya sudah lama di kembangkan dinegara lain.



Gbr.4. Peralatan untuk mengukur parameter pengeringan

Dengan menggunakan teknik ini sudah banyak pengukuran dilakukan bersama mahasiswa bimbingan baik pada tingkat sarjana maupun pascasarjana. Hasil pengukuran parameter pengeringan untuk beberapa komoditas pertanian disajikan pada Tabel 1 di Lampiran B.

Dalam upaya meningkatkan ketepatan pendugaan perubahan kadar air dalam bahan, penentuan parameter  $D_v$  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 yad..

Disamping untuk menduga kadar air dalam bahan, persamaan pindah massa mempunyai analogi dengan persamaan dasar distribusi suhu dalam bahan pertanian dimana untuk proses perpindahan panas koefisien proporsionalitas  $\alpha$ , yaitu koefisien difusivitas panas bahan yang akan berperan. Dengan mengetahui distribusi suhu dan kadar air dalam bahan maka berbagai kemungkinan pengembangan teknologi untuk proses termal dapat dikaji. Adanya berbagai cara pengeringan dengan suhu tinggi dan waktu cepat, umpamanya, yang diperlukan untuk memberantas jamur dan jasad renik pada biji-bijian sangat memerlukan pengetahuan distribusi suhu yang akurat sehingga suhu yang tinggi yang diterapkan tadi tidak sampai merusak bahan pertanian yang dikeringkan.

### **b. Difusivitas Termal**

Seperti halnya biji-bijian banyak pula buah-buahan dan sayuran di negeri kita yang mempunyai berbagai bentuk geometri dari yang berbentuk bulat, lonjong, lempeng, dsb. Bahan-bahan ini sangat memerlukan proses termal seperti pendinginan, pemanasan sebagai proses pascapanen yang berguna untuk mempertahankan

mutu bahan tsb. Pemanasan, umpamanya berguna untuk membunuh cendawan atau bakteri yang nantinya akan merusak produk sedangkan pendinginan akan membantu mempertahankan daya simpan hasil pertanian tsb. Dalam hal ini, difusivitas termal,  $\alpha$ , sangat berperan dalam menentukan laju dan magnitudo pemanasan dan pendinginan suatu bahan disamping data lainnya seperti koefisien pindah panas  $h$ . Dengan diketahuinya proses ini maka energi yang diberikan dapat diberikan sesuai dengan kebutuhan dan tingkat suhu yang dihasilkan tidak akan merusak kualitas bahan atau produk yang mengalami proses termal. Model keseimbangan panas atau keseimbangan energi dalam benda padat dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\partial T/\partial t = \alpha \nabla^2 T \quad [16]$$

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 suhu-rata rata sehingga pengecekan serta keabsahan nilai  $\alpha$  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  $\alpha$  untuk beberapa komoditas penting di negara kita. Cara tersebut meliputi penentuan langsung nilai  $\alpha$  dari pers.[16] setelah diketahui data sebaran suhu terhadap waktu  $T$  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 pers.[17] dengan memberikan kondisi awal dan batas yang sesuai kemudian menggunakan data sebaran suhu untuk penentuan  $\alpha$ .

Jadi untuk bahan berbentuk bulat

$$\alpha = \{(\Theta_{i+1} - \Theta_i) \Delta r^2\} / [\Delta t (\Theta_{i-1} - 2\Theta_i + \Theta_{i+1})] \quad [17]$$

disini  $\Theta = Tr$  [18]

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

$$\alpha = \lambda / (\rho C_p) \quad [19]$$

dimana  $\lambda$ , konduktivitas panas bahan (W/m-K)

$\rho$ , kerapatan bahan (kg/m<sup>3</sup>)

$C_p$ , panas jenis bahan (kJ/kg-K)

Konduktivitas bahan dapat diukur dengan alat pengukur konduktivitas panas bahan seperti KEMTHERM (Kamaruddin dan Sagara, 1992),  $C_p$  dengan metoda campuran (Chowdary, 1988) sedangkan  $\rho$  dapat diukur dengan mengetahui massa dan

volume bahan. Hasil pengukuran  $\alpha$  dengan metoda tidak langsung ini dapat dilihat pada Tabel 2 di Lampiran B.

#### **IV. 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.

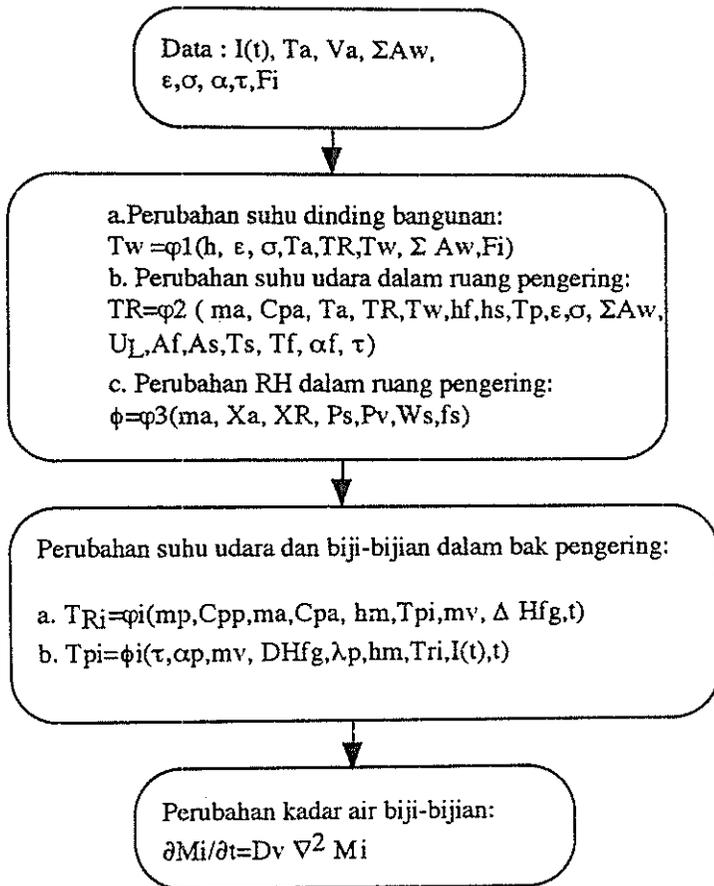
##### **a-1. Optimasi dan simulasi sistem pengering**

Hasil optimasi dengan menggunakan metoda pengganda Lagrange, umpamanya, untuk sistem pengering energi surya yang menggunakan kolektor surya seperti pada Gbr. A-3 biaya konstruksi komponen kolektor surya merupakan komponern 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 Gbr. A-1 sampai A-5 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 telah menggunakan sistem ini untuk pengeringan pada skala komersial.

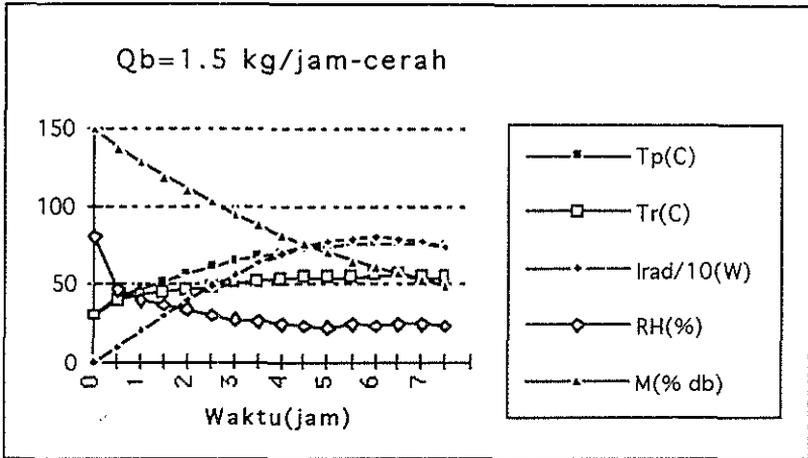
Teknik simulasi sangat berguna untuk mengetahui kinerja sistem pengering sebelum dibangun karena dengan demikian kita dapat terlebih dahulu mengetahui jumlah bahan konstruksi yang diperlukan, termasuk jenis serta kualitasnya. Selain dari pada itu

dapat pula diperkirakan tambahan peralatan yang diperlukan untuk mencapai kondisi operasi pengeringan yang diinginkan untuk mencapai kualitas akhir pengeringan. Dengan demikian biaya pengembangan alat dapat ditekan semurah mungkin. Algoritma proses simulasi dapat dilihat dalam Gbr.5 dimana terlihat bagaimana parameter pengeringan 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 Gbr.5. tsb. diperuntukkan bagi sistem pengering dengan efek rumah kaca seperti terlihat pada Gbr.A-1. Salah satu contoh hasil simulasi untuk suatu prototipe yang diuji dapat dilihat pada Gbr.5. dimana untuk mencapai suhu yang diinginkan, umpamanya, untuk pengeringan kopi diperlukan penambahan plat hitam untuk penyerap energi surya pada bagian atas bangunan atau bila perlu penambahan panas dengan penggunaan energi biomassa.

Pada Gbr.6 tsb.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.



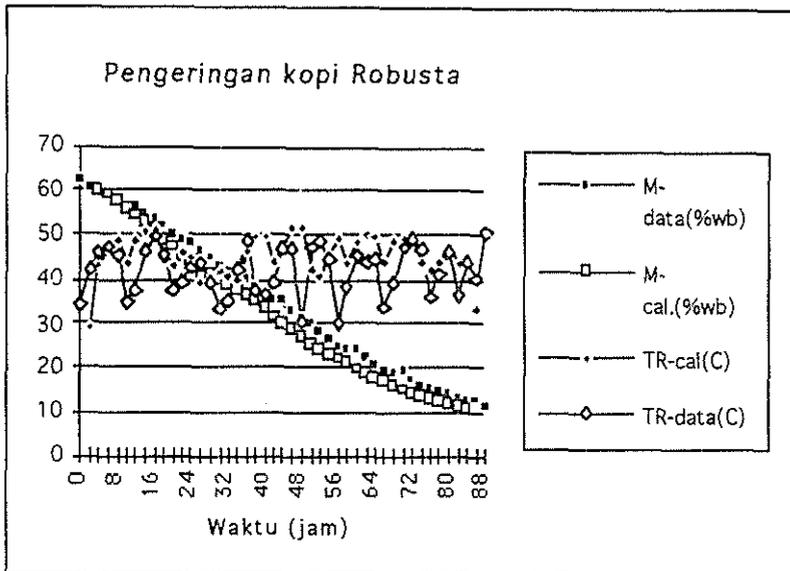
Gbr.5. Algoritma proses simulasi sistem pengering energi surya dengan efek rumah kaca. Subskrip i menyatakan urutan lapisan biji-bijian dalam tumpukan.



Gbr. 6. Hasil simulasi perubahan suhu dalam ruangan pengering ERK dengan pemanasan tambahan dan penambahan plat hitam penyerap panas energi surya.

### a-2. Kinerja sistem pengering energi surya

Untuk melakukan uji performansi alat pengering energi surya dengan efek rumah kaca digunakan prototipe seperti terlihat pada Gbr. A-2 di Lampiran A (Kamaruddin , 1995, 1996). Alat ini mempunyai ukuran lantai semen 3.6 m x 3.6m, dan terbuat dari bahan transparan fiberglas 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. Gbr.7 menunjukkan suatu contoh perbandingan antara hasil perhitungan simulasi dan data hasil percobaan yang dilakukan dengan alat yang ditempatkan di Puslit Kopi dan Kakao Jember .



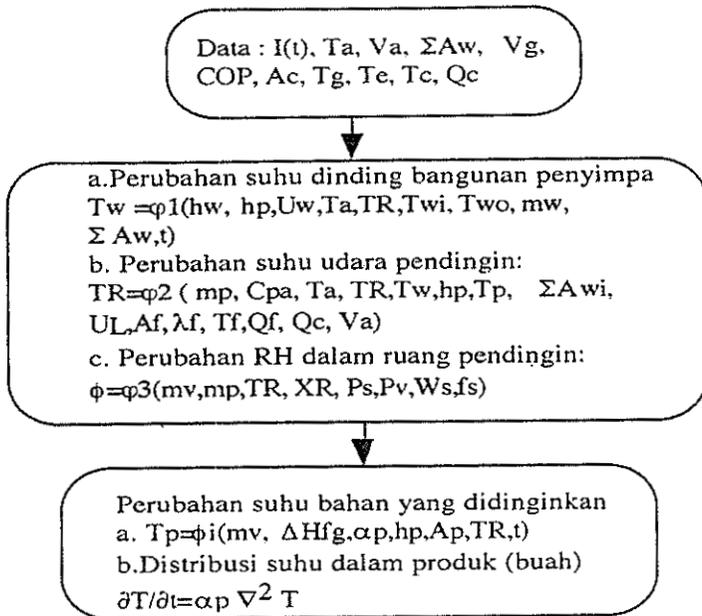
Gbr. 7. Perbandingan antara hasil simulasi dan data pengamatan

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.

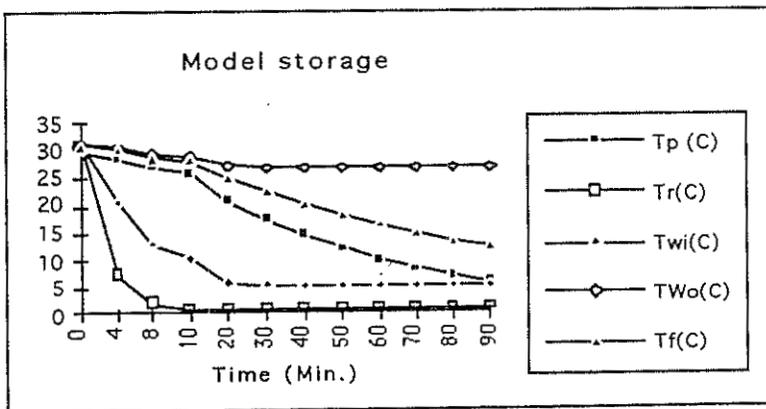
## **b. Simulasi sistem penyimpanan dingin**

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. Untuk tujuan simulasi ini diperlukan model dasar yang disusun berdasarkan kaidah keseimbangan energi seperti digambarkan secara diagramatik pada Gbr.8. Model sistem pendingin dapat berbentuk seperti pada Gbr. A-6 dimana pada sistem ini pendinginan dilakukan dengan cara pindah panas radiasi malam hari yang sebenarnya merupakan salah satu dampak dari adanya energi surya yang jatuh di muka bumi kita. Untuk daerah pegunungan dimana sayur-sayuran diproduksi, suhu sekitar 18 C atau lebih rendah dapat dijumpai dan dapat diturunkan lagi melalui proses pindah panas radiasi malam hari tsb. Dengan cara ini alat yang diperlukan menjadi sangat sederhana dan tentunya jauh lebih murah dibandingkan dengan menggunakan mesin pendingin biasa. Cara lain seperti telah dikemukakan diatas adalah dengan menggunakan tipe absorpsi  $\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$  atau  $\text{LiBr-H}_2\text{O}$ .

Dari hasil perhitungan simulasi didapatkan pola perubahan suhu bahan yang disimpan seperti terlihat pada Gbr. 9. Disini terlihat pula bahwa agar suhu ruangan konstan diperlukan sistem pendingin tambahan yang dapat dilakukan dengan sistem pendingin tipe absorpsi yang digerakkan oleh energi biomassa.



Gbr. 8. Diagram alir simulasi sitem penyimpanan dingin buah-buahan dan sayur-sayuran dengan energi surya



Gbr.9. Hasil simulasi distribusi suhu dalam buah yang disimpan dalam ruang dingin. .