ANALISIS DISTRIBUSI SUHU DAN KECEPATAN ALIRAN UDARA DALAM RUANG PENGERING BERENERGI SURYA MENGGUNAKAN CFD

(Analysis of Temperature and Air Flow Distribution in Solar Dryer Using CFD)

Dyah W.[*], L.O. Nelwan[*], Kamaruddin, A[*] dan A. Indra S.[**]

* Laboratorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, FATETA IPB dan CREATA-LP-IPB, Bogor
** Pusat Komputer Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

Abstract

Solar drying is one of alternative drying method for various agricultural products using renewable energy resources. There is a significant problem i.e. improper uniformity of temperature and air flow in addition to the relatively low average temperature. This generates a non-uniformity of moisture content of the products being dried. The uniformity of these variables is determined by airflow pattern inside the drying room. Therefore, airflow distribution has to be considered in designing solar dryer, particularly that in form of tray drying.

It is important to build mathematical models in designing a system, in order to evaluate the performance of the system without expensive or trial and error experimentation. The objective of this study is to analize airflow and heat transfer in a solar dryer using computational fluid dynamics (CFD) and finite volume for temperature as well as airflow distribution for various positions of fan.

A physical model of solar dryer is designed in order to obtain temperature and air flow velocity, and to be utilized as comparison. Validation between data and calculation of velocity on 64 measurement points has R^2 of 89%. Both the experiment and simulation show a relatively more uniform air temperature distribution than that of airflow velocity. Consequently, the air flow velocity becomes a critical factor in designing inlet and outlet position. Simulation of upper inlet and lower outlet show a more appropriate result than lower inlet- upper outlet.

Keywords: temperature distribution, airflow, velocity, solar dryer, CFD

PENDAHULUAN

Suhu kontak antara udara dan biji yang rendah merupakan masalah yang terjadi pada pengering berenergi surya, dimana salah satu penyebabnya adalah distri-busi aliran panas yang tidak merata, khususnya pada tipe rak. Akibatnya terjadi ketidaksera-gaman kadar air produk pada setiap tingkat rak, sehingga membuat kualitas produk secara keseluruhan menjadi menurun. Selain itu ketidakseragaman distribusi aliran udara dan suhu tersebut mengakibatkan kemungkinan hilangnya udara panas dari ruang pengering sebelum melewati produk, dan pemborosan energi tidak terelakkan lagi. Salah satu pemecahan untuk masalah tersebut adalah dengan menganalisa sifat dan pola aliran serta distribusinya dalam suatu model simulasi. Dengan demikian, posisi penempatan kipas dan sumber panas (penukar panas) dapat diketahui secara tepat sehingga tujuan kesera-gaman mutu produk dan penghe-matan energi akan tercapai dan efeisiensi pengeringan dapat ditingkatkan.

Pemecahan permasalahan menggunakan analisis dimensi dan finite volume dengan metode CFD (Computational Fluid Dynamics) mempunyai keunggulan dibandingkan dengan metode numerik lainnya, yakni menggunakan kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan atur menghasilkan satu set persamaan diskret. Dengan demikian penyelesaian persamaan untuk 2 dimensi atau 3 dimensi lebih cepat dan dapat dilakukan secara simultan. Lokasi-lokasi kipas, inlet dan outlet serta ukuran alat dapat diubah-ubah di dalam program simulasi, untuk melihat distribusi aliran panas yang optimal, sehingga biaya konstruksi alat dapat dihemat.

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mendapatkan pola aliran panas dalam ruang pengering berenergi surya yang optimum menggunakan pemodelan *computational fluid dynamics* dengan metode *finite volume* melalui simulasi perubahan dan sebaran suhu dan kecepatan angin. Berdasarkan model tersebut dapat ditentukan disain optimum penempatan kipas, sistem pemanas, sistem penyaluran udara dan wadah produk, sehingga keseragaman mutu produk dan penghematan energi akan tercapai dan efisiensi pengeringan meningkat. Penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai dasar kerangka acuan dalam menentukan disain optimal suatu pengering produk-produk pertanian, untuk skala kecil maupun besar, karena ukuran alat dapat dibuat sedemikian rupa sesuai dengan kebutuhan pengguna, dengan keluaran hasil yang mudah dibaca oleh semua orang.

STUDI PUSTAKA

Pengering efek rumah kaca (ERK) adalah alat pengering berenergi surya yang memanfaatkan efek rumah kaca yang terjadi karena adanya penutup transparan pada dinding bangunan. Bahan dinding transparan yang dapat digunakan adalah polikarbonat, plastik UV *stabilizer*, kaca serat dan lain-lain (Kamaruddin, et al. 1994). Penelitian sebelumnya, menunjukkan bahwa dengan dinding yang terbuat dari plastik UV *stabilizer* tanpa pemanas tambahan, rata-rata suhu udara pengering adalah 35.3°C dan dengan penggunaan pelat hitam menjadi 37.2°C. Penggunaan pelat hitam menaikkan suhu cukup signifikan, akan tetapi perbedaan suhu di atas dan di bawah plat mencapai 4 hingga 6°C (Dyah, 1994). Dengan demikian aliran udara perlu diatur agar keseragaman suhu produk tercapai. Posisi plat hitam sebagai absorber pada bangunan rumah kaca menentukan jumlah energi berguna dalam pengeringan, dan disimpulkan bahwa posisi plat di samping bangunan memberikan performansi pengeringan yang lebih baik dibandingkan dengan posisi plat mendatar di atas bak (Tarigan, 2001). Nelwan (1997) menggunakan kipas dan kisi-kisi pengarah untuk mengalirkan udara pengering ke rak pengering, akan tetapi efisiensi pengeringan yang ditunjukkan masih rendah (20 %), walaupun rata-rata suhu udara pengering mencapai 45°C dan lama pengeringan untuk kakao hanya 41 jam. Hal tersebut menunjukkan bahwa tidak seluruh udara pengering termanfaatkan untuk pengeringan. Pada pengeringan yang menggunakan rak pengering, terdapat masalah yang cukup signifikan pada perbedaan suhu antar tingkat rak. Mursalim (1995) pada pengeringan vanili mendapatkan perbedaan suhu sebesar 10°C, yaitu 40°C dan 50°C masing-masing pada rak bagian tengah dan bawah. Pada pengeringan rumput laut, Sukarmanto (1996) menggambarkan perbedaan sebesar 4°C antara bagian tengah dan atas (31°C dan 35°C), dimana perbedaan yang lebih kecil ini disebabkan oleh rendahnya suhu pengeringan yang digunakan.

Pola distribusi aliran udara telah diteliti Karwito (1998), dengan mengubah posisi kipas yang ada (metode *trial and error*). Hasil penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan distribusi aliran di atas pelat dan dalam ruang. Di berbagai bagian terdapat aliran udara yang tidak dapat dimanfaatkan untuk pengeringan. Untuk pengeringan berskala besar hal ini merupakan masalah yang cukup berarti dalam hal penggunaan energi dan kualitas produk yang dikeringkan.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor dan di Laboratorium Komputer Pusat Komputer, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok. Pengambilan data pengukuran distribusi suhu dan kecepatan udara di dalam ruang pengering efek rumah kaca dilakukan pada 56 titik pengukuran yang terbagi dalam bentuk grid segiempat teratur (ukuran grid 10 x 10 cm), yang diambil pada bagian tengah bangunan pengering pada arah yz.

Pemodelan Simulasi

Simulasi berfungsi untuk melihat penyebaran panas berdasarkan distribusi suhu dan aliran udara di dalam ruang pengering. Model menggunakan persamaan keseimbangan massa, momentum (Navier-Stokes) dan energi. Udara digambarkan dalam persamaan diferensial, sebagai fluida Newtonian dalam koordinat Cartesian dan dipecahkan menggunakan pemodelan CFD: FLUENT 4.1 dua dimensi yang didasarkan pada analisa numerik dengan metode *finite volume*. FLUENT 4.1 terdiri dari dari tiga bagian, pertama pembentukan geometri dan grid, kedua adalah *solver* yang memecahkan persamaan-persamaan atur menggunakan *finite volume*, dan ketiga adalah tampilan hasil dalam bentuk grafik kontur atau vektor kecepatan. Kondisi batas ditentukan pada bagian pertama berdasarkan bentuk saluran dalam ruang dan kondisi awal ditentukan bagian kedua. Kecepatan udara pada semua dinding dan atap pengering serta pada dinding rak pada arah x dan y adalah 0. Kecepatan udara pada kipas besarnya ditentukan berdasarkan kebutuhan udara untuk menghilangkan uap air dari sejumlah massa bahan. Suhu udara pengering di semua dinding dan atap pengering pada arah x dan y sama dengan suhu lingkungan.

Persaman atur dikembangkan dari tiga buah persamaan dasar yang merupakan karakteristik sistem aliran fluida yang mencakup:

1. Persamaan kontinuitas/keseimbangan massa 2 dimensi steady state (Bird, Stewart and Lightfoot, 1960)

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \qquad (1)$$

2. Persamaan konservasi momentum (2 dimensi steady state):

   komponen x:

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y}\right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) + \rho g_x \qquad (2)$$

   komponen y:

$$\rho\left(u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y}\right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) + \rho g_y \qquad (3)$$

3. Persamaan konservasi energi 2 dimensi steady state:

$$\rho Cp\left(u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y}\right) = k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \qquad (4)$$

dimana,

ρ = massa jenis udara (kg/m^3)
Cp = panas jenis udara (J/kg^{o}C)
k = kondiktivitas udara (W/m^{2}K)
μ = viskositas udara (Pa dt)
u,v dan w = kecepatan masing-masing pada arah x, y dan z
T = suhu (^{o}C)

Persamaan-persamaan atur di atas diintegralkan sepanjang volume kontrol hingga akhirnya diperoleh persamaan diskret yang dapat dipecahkan secara aljabar, menggunakan metode iterasi. Dan akhirnya didapatkan nilai-nilai kecepatan, suhu dan tekanan sepanjang titik-titik dalam grid yang telah ditentukan pada bagian pertama software.

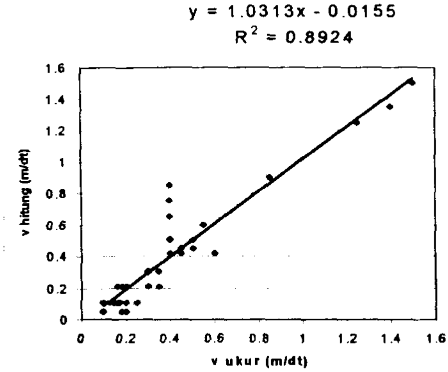
Asumsi yang digunakan :

1. Udara tidak terkompresi (*incompressible*), ρ konstan.
2. Bilangan Prandtl udara konstan (panas jenis, konduktivitas dan viskositas udara konstan)
3. Pergerakan udara karena perbedaan suhu konveksi bebas diabaikan.
4. Aliran udara pada penampang kipas mempunyai kecepatan yang seragam (*plug flow*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi Model Simulasi

Hasil simulasi model aliran dan pindah panas adalah berupa kontur yang menunjukkan besar dan arah aliran udara dan suhu di dalam ruang pengering. Validasi model dilakukan dengan membandingkan data ukur kecepatan udara pada 64 titik pengukuran dengan hasil simulasi. Kecepatan hasil simulasi mendekati data ukur. Pada beberapa titik, memiliki perbedaan yang agak menyolok, hal ini berkaitan erat dengan penyederhanaan model, dimana aliran masuk dan keluar dianggap tidak mengalami hambatan, sedangkan pada kenyataannya posisi penukar panas di depan inlet akan menghambat aliran udara. Pada kecepatan rendah (< 0.1 m/dt), kecepatan ukur (v_{ukur}) nampak lebih tinggi dibandingkan kecepatan hasil simulasi (v_{hitung}). Perbedaan ini diduga disebabkan oleh ketelitian alat yang digunakan hanya sampai 0.1 m/dt. Simulasi aliran udara pada penelitian dapat menggambarkan data ukur dengan nilai R^2 sebesar 89 % (Gambar 1).



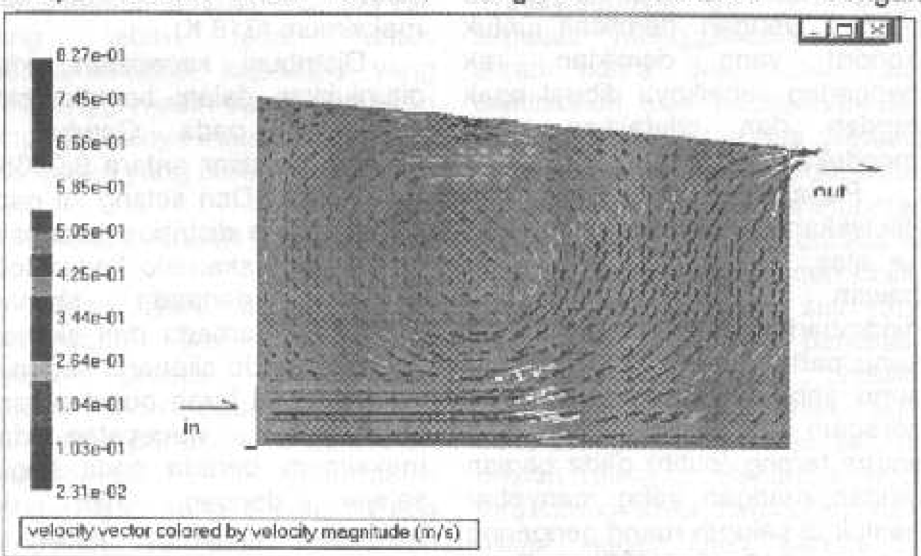
Gambar 1. Validasi kecepatan aliran udara hasil simulasi (v_{hitung}) terhadap pengukuran (v_{ukur}) di dalam model ruang pengering efek rumah kaca.

Simulasi Model Aliran Udara Dan Suhu

Pada penelitian ini, simulasi dilakukan dengan mengubah posisi inlet dan outlet pada bangunan pengering dan perubahan ukuran model menjadi prototipe bangunan pengering. Hasil yang baik ditentukan dari parameter keseragaman nilai kecepatan pada posisi dimana rak ditempatkan. Simulasi dilakukan pada ruang pengering dengan ukuran sesuai dengan prototipe pengering dengan perbandingan tinggi dan lebar yang lebih rendah. Dua posisi pasangan inlet dan outlet diterapkan untuk mendapatkan distribusi yang lebih seragam terutama pada kecepatan udara pengering.

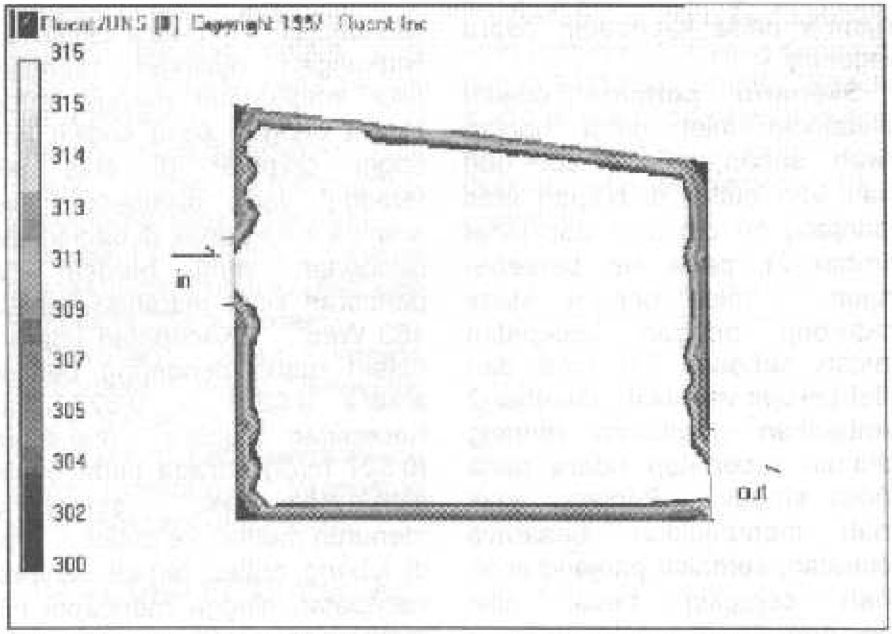
Skenario pertama adalah meletakkan inlet pada bagian bawah sepanjang 50 cm dari tanah dan outlet di bagian atas sepanjang 50 cm dari atap (lihat Gambar 2), pada sisi bersebe-rangan. Inlet berupa kipas pendorong dengan kecepatan konstan sebesar 0.9 m/dt dan outlet berupa ventilasi. Gambar 2 memberikan gambaran tentang distribusi kecepatan udara pada kondisi steady. Panjang anak panah menunjukkan besarnya kecepatan, semakin panjang anak panah semakin besar nilai kecepatan.

Distribusi suhu pada ruang relatif seragam , terutama pada bagian pinggir ruang, dimana suhunya sedikit lebih rendah, lingkungan. Udara dingin dari lingkungan dialirkan mengikuti jalur lengkungan menuju outlet. Udara dengan suhu sedikit lebih tinggi berputar di atas jalur tersebut yang diakibatkan oleh adanya fluks panas di bagian atap bangunan yang berasal dari pancaran sinar matahari sebesar 163 W/m^2. Kecepatan udara di dalam ruang pengering berkisar antara 0.0231 – 0.827 m/dt. Kecepatan udara maksimum (0.827 m/dt) berada pada bagian atas dari inlet, selanjutnya menurun menuju ke outlet. Tepat di lubang outlet, terjadi kenaikan kecepatan hingga mencapai nilai maksimum. Di atas sisi inlet, kecepatan udara berkisar pada 0.1 m/dt dan pada bagian tengah produk terdapat udara yang bergerak memutar dengan



Gambar 2. Distribusi kecepatan udara pengering (m/dt) di dalam prototipe bangunan pengering berukuran (panjang 3.6 m dan tinggi$_1$ 2.5 m dan tinggi$_2$ 2,7 m). **Skenario 1.**

karena pengaruh dari udara kecepatan yang sedikit lebih

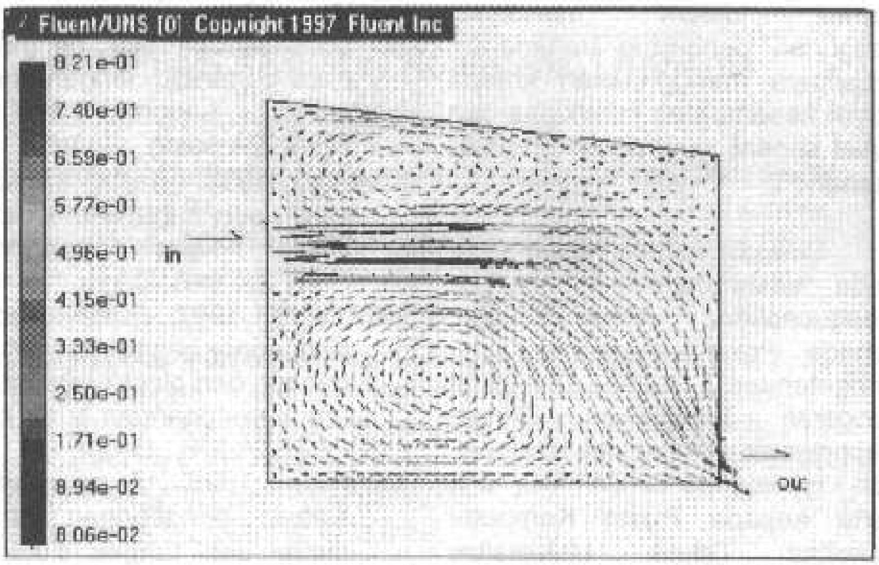


Gambar 3. Distribusi suhu udara pengering (K) di dalam prototipe bangunan pengering berukuran (panjang 3.6 m dan $tinggi_1$ 2.5 m dan $tinggi_2$ 2,7 m). **Skenario 2.**

tinggi, yakni 0.2 m/dt hingga 0.5 m/dt. Dengan demikian untuk kondisi yang demikian, rak pengering sebaiknya dibuat agak rendah dan diletakkan agak mendekati outlet.

Pada **skenario kedua**, inlet diletakkan di bagian tengah agak ke atas, sedangkan outletnya di bawah. Distribusi suhu digambarkan dalam bentuk kontur suhu pada Gambar 3. Distribusi suhu yang diperoleh juga relatif seragam, yang ditunjukkan oleh warna terang (putih) pada bagian tengah ruangan yang menyebar hampir di seluruh ruang pengering sebesar 318 K (45°C). Pada dinding yang membatasi kontak dengan udara lingkungan (300 K) terdapat beberapa lapisan suhu yang semakin membesar ke arah dalam ruang mendekati suhu maksimum (318 K).

Distribusi kecepatan udara ditunjukkan dalam bentuk vektor kecepatan pada Gambar 4, nilainya berkisar antara 0.0608 – 0.621 m/s. Dari selang ini dapat dilihat bahwa distribusi kecepatan udara pada skenario kedua lebih seragam daripada skenario pertama. Berbeda dari skenario pertama, pada skenario kedua ini terdapat dua buah pusat putaran aliran udara. Kecepatan udara maksimum berada pada bagian sejajar dengan inlet dan berangsur melambat pada sisi dekat outlet. Baik di sebelah atas, maupun di sebelah bawah dari bagian ini, kecepatannya lebih rendah dan relatif sama. Dengan demikian rak dapat



Gambar 4. Distribusi kecepatan udara pengering (m/dt) di dalam prototipe bangunan pengering berukuran (panjang 3.6 m dan tinggi$_1$ 2.5 m dan tinggi$_2$ 2,7 m). **Skenario 2**.

didisain lebih tinggi, dan diletakkan di tengah. Disain rak yang lebih lebar untuk mengakomodasi kapasitas yang lebih tinggi masih dapat dilakukan tanpa timbulnya masalah distribusi kecepatan yang berarti.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Aliran udara, suhu dan RH memegang peranan penting dalam proses pengeringan produk. Kombinasi nilai optimal dari ketiga parameter di atas akan memberikan performansi pengeringan yang efisien. Pada penelitian ini telah dihasilkan model matematis yang menggambarkan distribusi aliran dan suhu udara pengering. Validasi model simulasi menunjukkan hasil bahwa model dapat menggambarkan kondisi nyata sebesar 89 %. Hasil simulasi menggambarkan pola aliran udara dan suhu yang diakibatkan oleh posisi inlet dan outlet. Berdasarkan dua skenario simulasi yang dicoba didapatkan satu kondisi optimal penempatan kipas pada inlet yang berada di posisi 1.5 m dari tanah dan posisi outlet di bawah pada sisi yang berseberangan (dalam penelitian adalah Skenario 2). Heater diletakkan di depan inlet, agar suhu seragam tersebar ke seluruh bagian ruang. Besarnya kipas tergantung pada hambatan yang dilalui kipas. Oleh karena itu penentuan daya kipas harus dilakukan terlebih dahulu di luar model simulasi.

Saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini adalah bahwa dalam mendisain bangunan pengering transparan, sebaiknya menggunakan kriteria posisi penempatan inlet/kipas dan outlet seperti yang diberikan pada skenario 2.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Proyek Penelitian Ilmu Pengetahuan Dasar Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional, dan juga kepada CREATA-LP IPB serta kepada Pusat Komputer Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, atas segala fasilitas dan pendanaan yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

Bird, R.B., W.E. Stewart dan E.N. Lightfoot. 1960. Transport Phenomena. John Wiley & Sons, Inc. New York.

Dyah W. 1997. Analisis Pengeringan pada Alat Pengering Kopi Efek Rumah Kaca Berenergi Surya. Thesis. Program Pascasarjana IPB. Bogor.

Kamaruddin A., A.H. Tambunan, Thamrin, F. Wenur, dan Dyah W. 1994. Optimasi dalam perencanaan alat pengering hasil pertanian dengan energi surya. Laporan Penelitian Hibah Bersaing. Bogor.

Karwito. 1998. Kajian distribusi aliran dan suhu udara dalam model alat pengering. FATETA, IPB, Bogor.

Mas'ud R. 1997. Kinerja model pengering bangunan tembus cahaya dari plastik tahhan UV untuk pengeringan buah kopi. FATETA IPB. Bogor.

Mursalim. 1995. Uji performansi sistem pengeringan energi surya dan tungku batubara dengan bangunan tembus cahaya sebagai pembangkit panas untuk pengeringan panili (*Vanilla Planifolia*). FATETA IPB Bogor.

Nelwan, L.O. 1997. Pengeringan kakao dengan energi surya menggunakan rak pengering dengan kolektor tipe efek rumah kaca. Tesis. Program Pascasarjana IPB Bogor.

Tarigan, A. S. 1999. Uji Kinerja Rumah Kaca Pengerig dengan bantuan sel surya sebagai penggerak Kipas. FATETA IPB. Bogor.