



SIMULASI PENGERINGAN JAGUNG PIPILAN MENGGUNAKAN ALAT PENGERING SURYA TIPE EFEK RUMAH KACA (ERK) - HYBRID DENGAN PENGERING SILINDER BERPUTAR

(Simulation of Shelled Corn Drying Using Hybrid-Green House Effect (GHE) Dryer With Rotary Bed Dryer)

Lilik T. Mulyantara¹⁾, Leopold O. Nelwan²⁾, S. Endah Agustina²⁾, dan Teguh W. Widodo¹⁾

¹⁾ Perekayasa pada Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Serpong

²⁾ Staf Pengajar pada Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, Bogor

ABSTRAK

Selama ini, dalam proses pengeringan jagung, keseragaman kadar air sulit dicapai tanpa adanya pengadukan. Untuk itu simulasi unjuk kerja pengering jagung pipilan menggunakan pengering surya tipe efek rumah kaca (ERK)-hybrid dengan pengering silinder berputar dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi unjuk kerja pengering surya ERK-hybrid dengan pengering silinder berputar dan menyusun pemodelan perubahan suhu, kelembaban relatif, dan penurunan kadar air. Metode penelitian adalah mengembangkan model simulasi dan melakukan validasi dengan data hasil pengujian. Model simulasi disusun berdasarkan pada keseimbangan panas dan massa dan diselesaikan menggunakan metode beda hingga Euler. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang dikembangkan sudah mendekati dengan data hasil pengujian. Nilai koefisien determinasi untuk suhu ruang pengering, kelembaban relatif, suhu jagung pipilan, suhu air dalam tangki dan kadar air berturut-turut adalah 0,74; 0,09; 0,35; 0,91; dan 0,98. Persentase simpangan mutlak berturut-turut adalah 1,29%; 5,89%; 1,79%; 3,5% dan 0,86%. Simulasi pemutaran terhadap silinder pengering menunjukkan bahwa pemutaran silinder secara terus-menerus menghasilkan perbedaan suhu dan kadar air lapisan dalam dan luar terkecil, yaitu berturut-turut adalah 0,05-1,78°C dan 0,14-0,56% bb.

Kata kunci : Pengering surya, efek rumah kaca, silinder berputar, jagung pipilan

ABSTRACT

Uniformity of moisture content is difficult to reached due to un-mixed product during drying process. A computer simulation of performance of hybrid-green house effect (GHE) solar dryer with rotary bed dryer for shelled corn drying has been conducted. The objectives of this research were to evaluate the performance of hybrid-GHE solar dryer with rotary bed dryer and to perform simulation of temperature, relative humidity, as well as decreasing of shelled corn moisture content. The method of this research was to perform model and to validate model with experimental data. Model used for the simulation was constructed based on heat and mass balance which solved by Euler's finite difference method. Results showed that model developed in this study has been agreed with the experimental data. The coefficient of determinant (COD) between the model and the experimental data for room temperature, relative humidity, grain temperature, water tank temperature, and moisture content were 0.74, 0.09, 0.35, 0.91 and 0.98, respectively. The absolute percentage deviation (APD) was 1.29%, 5.89%, 1.79%, 3.5% and 0.86%. Simulation for rotating cylinder showed that continuous rotation of the drum provided smallest difference of inside and outside temperature and moisture content were 0.05-1.78°C and 0.14-0.56% wb., respectively.

Keywords: Solar dryer, green house effect, rotary bed dryer, shelled corn

PENDAHULUAN

Pengeringan jagung hingga kadar air 14% pada umumnya dilakukan oleh pedagang besar maupun industri pengolahan dengan menerapkan teknologi maju (Pasandaran, 2003). Namun penggunaan teknologi berupa pengering artifisial, sebagian besar masih menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber pemanas. Permasalahan akan muncul karena saat ini harga energi fosil semakin meningkat dan fluktuatif akhir-akhir ini menjadi masalah tersendiri dalam proses pengeringan.

Salah satu alternatif pemecahan masalah di atas adalah pengembangan pengering menggunakan sumber energi surya berupa pengering efek rumah kaca (ERK). Pengering ERK merupakan pengering dengan struktur terintegrasi antara kolektor surya dengan wadah produk yang dikeringkan.

Penggunaan alat pengering surya tipe ERK pada skala penelitian dan lapangan telah dilakukan diantaranya untuk berbagai produk biji-bijian (gabah, jagung), perkebunan (kopi, kakao, cengkeh), buah-buahan (pisang, pepaya), benih (cabai, mentimun) dan ikan (Kamaruddin, 1995; Nelwan, 1997; Wulandani, 2005; Manalu, 1999). Suhu udara pengering berkisar antara 39 – 50°C pada berbagai lokasi, dengan waktu pengeringan berkisar antara 4 – 57 jam bergantung dari jenis produk yang dikeringkan dan kondisi lingkungan saat pengeringan berlangsung.

Dalam proses pengeringan suatu bahan, kontinuitas, keseragaman suhu dan kadar air adalah masalah yang sangat penting. Keseragaman kadar air akhir bahan sulit sekali dicapai bahkan dalam pengeringan mekanis, kecuali dilakukan pembalikan atau pengadukan dalam selang waktu tertentu.

Pada pengeringan buatan dengan model *batch*, biji-bijian dikeringkan dengan cara ditumpuk dalam suatu wadah dengan pertimbangan kapasitas yang lebih besar dan kemudahan dalam pengoperasian. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya variasi kadar air antara lokasi biji. Widodo dan Hendriadi (2004) mengatakan pengeringan bahan pertanian dengan pengering tipe bak datar menghasilkan kadar air akhir yang kurang seragam pada lapisan bawah, tengah, dan atas. Perbedaan kadar air pengeringan antara lapisan bawah dan atas sebesar 4-6% untuk pengering bak datar juga disebutkan oleh Thahir *et al.* (1993) dalam Thahir (2000).

Kelemahan pengering tipe bak datar adalah menghasilkan kadar air akhir bahan yang tidak seragam, yang kemungkinan karena tidak adanya pengadukan. Selama ini pengadukan bahan dalam proses pengeringan dilakukan secara manual, biasanya dengan kaki atau alat bantu. Sulikah (2007) menyimpulkan bahwa dari proses pemutaran dalam pencampuran jagung pipilan pada pengering silinder putar selama 5-15 menit, telah diperoleh campuran yang merata sehingga suhu bahan yang dikeringkan juga merata.

Untuk melakukan pengembangan desain pengering yang efisien dan efektif, pada penelitian ini dilakukan simulasi berdasarkan keseimbangan termal dan massa. Pemodelan keseimbangan termal dan massa ini dilakukan berdasarkan model *lump* yang telah dikembangkan (Kamaruddin, 1995; Nelwan, 1997; 2005; Wulandani, 2005; Manalu, 1999). Pada penelitian ini simulasi dilakukan untuk mengobservasi kinerja pengering ERK-hibrid tipe wadah silinder yang mencakup perubahan suhu dan kelembaban udara, perubahan kadar air dan penggunaan energi selama proses pengeringan berlangsung. Penggunaan simulasi sistem sangat menguntungkan karena dapat menghindari kesulitan atau secara biaya terlalu besar untuk membuat sistem nyata (Stoecker, 1989).

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan bulan September 2007 hingga bulan Juli 2008. Pengujian validasi dilaksanakan di Laboratorium Energi Surya Laboratorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian, Jurusan Keteknikan Pertanian, Fateta, Institut Pertanian Bogor.

Bahan

Bahan yang dikeringkan pada pengujian validasi adalah jagung pipilan jenis hybrida, dengan kadar air awal rata-rata 22,28% bb. Peralatan yang digunakan meliputi: alat pengering tipe ERK-hibrid tipe silinder berputar (Gambar 1); tungku bahan bakar biomassa; penukar panas; serta kipas penghisap udara. Alat ukur utama meliputi: timbangan digital AND Model EK-1200A, termokopel tipe T (C-C), *pyranometer*, oven pengering SS-204D, *hybrid recorder* HR-2500E, dan *digital balance* EK-1200A (AND).



Gambar 1 Pengering ERK-hybrid tipe silinder berputar

Model Matematik

Model matematik yang digunakan untuk simulasi didasarkan dengan memperhatikan sub-sistem yang ada dalam keseluruhan sistem pengering ERK-hybrid (Nelwan *et al.*, 2007) yang mencakup: sub-sistem tangki air, penukar panas, silinder pengering, dan ruang pengering (Gambar 2).

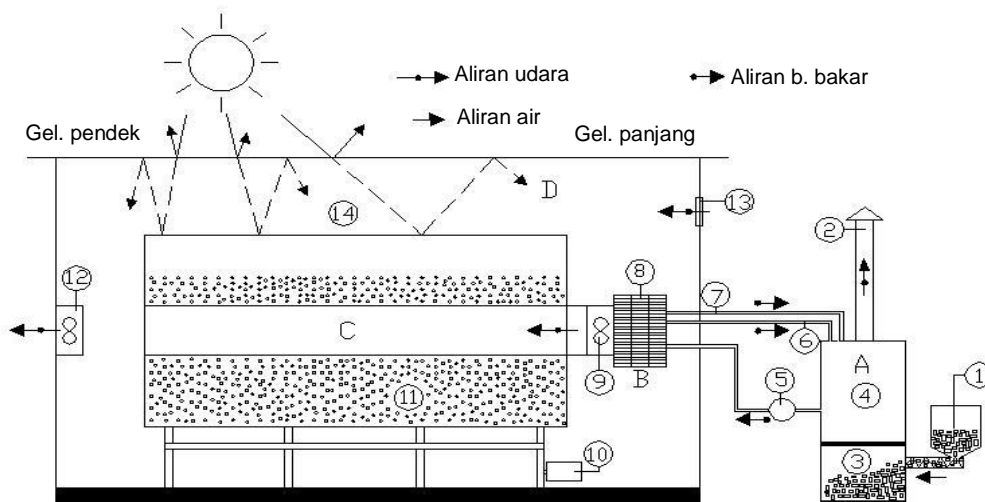
Perubahan suhu dan RH dalam pengering ERK-hybrid dan perubahan kadar air jagung pipilan selama pengeringan dihitung berdasarkan model perpindahan panas dan massa (persamaan 1-9) dan persamaan pengeringan lapisan tipis (10) dan diselesaikan dengan metoda beda hingga (*finite difference*) Euler (Bird *et al.*, 1960). Penyelesaian model menggunakan komputer dengan bantuan bahasa pemrograman Visual Basic. Dua buah acuan yang digunakan untuk validasi suhu dan

RH ruang, suhu air dalam tangki, suhu jagung dalam tumpukan dan perubahan kadar air jagung pipilan meliputi koefisien determinasi (COD) dan persentase simpangan mutlak (APD) (Stoecker, 1989).

Keseimbangan Panas pada Udara dalam Ruang

Udara pengering di dalam ruang pengering diasumsikan memiliki suhu yang seragam sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$m_r(C_{p,a} + C_{p,s}H_r)\frac{dt_r}{d\theta} + (m_r C_{p,s} t + h_{j_s})\frac{dH_r}{d\theta} = (-n\dot{k}_{amb} - n\dot{k}_{sil})(C_{p,a} + C_{p,s}H_r)t_r + n\dot{k}_{amb}(C_{p,a} + C_{p,s}H_{amb})t_{amb} + n\dot{k}_{sil}(C_{p,a} + C_{p,s}H_r)t_{sil} - h_{c,abs}A_{abs}(t_r - t_{abs}) - h_{c,wall}A_{wall}(t_r - t_{amb}) \quad \dots(1)$$



Keterangan : A : Sub-sistem tangki air; B : Sub-sistem penukar panas; C : Sub-sistem silinder pengering; D : Sub-sistem ruang pengering ERK; 1: Tongkol jagung; 2 : Cerobong; 3 : Tungku; 4 : Tangki air; 5 : Pompa air; 6 : Pipa outlet-1; 7 : Pipa outlet-2; 8 : Penukar panas; 8 : Penukar panas; 9 : Kipas inlet; 10 : Motor penggerak; 11 : Silinder pengering; 12 : Kipas outlet; 13 : Inlet udara; 14 : Sistem pengering ERK.

Gambar 2. Skematis alat pengering ERK-hybrid tipe silinder

Keseimbangan Panas pada Komponen dalam Ruang

Keseimbangan termal komponen dalam ruangan dapat dinyatakan sebagai selisih radiasi yang diserap oleh komponen-komponen tersebut dengan panas yang dipindahkan secara konveksi udara ke absorber atau secara matematis dapat dinyatakan sebagai:

$$m_{abs} C_{p,abs} \frac{dt_{abs}}{d\theta} = I\alpha_{abs}\tau_{wall}A_{proy} - h_{c,abs}A_{abs}(t_{abs} - t_r) \dots\dots(2)$$

Keseimbangan Panas pada Udara dalam Silinder Bagian Dalam

Pada silinder bagian dalam, keseimbangan termal dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$m_a \frac{dh_{inlet}}{d\theta} = -m_a(h_{inlet} - h_r) + U_{HE}A_{HE}(t_{HE} - t_{inlet})_m \dots\dots(3)$$

Keseimbangan Panas Air di dalam Penukar Panas

Dengan asumsi bahwa perubahan entalpi air cepat menuju ke *equilibrium (steady state)* maka keseimbangan termalnya dapat dinyatakan sebagai:

$$0 = -m_w C_{p,w} (t_{w0} - t_{wi}) + U_{HE}A_{HE}\Delta t_{HE,lm} \dots\dots(4)$$

Keseimbangan Panas Air di dalam Tangki

Persamaan keseimbangan termal tangki dapat dituliskan sebagai:

$$m_w C_{pw} \frac{dt_{w0}}{d\theta} = -m_w C_{pw} (t_{w0} - t_{wi}) + U_T A_T \Delta t_{T,lm} \dots\dots(5)$$

Keseimbangan Termal dan Uap Air pada Tumpukan Biji Silindris

Model yang digunakan untuk simulasi tumpukan adalah model yang dikembangkan dari Bala (1997) oleh Nelwan *et al.* (2008), untuk aliran arah silindris. Model-model tersebut

mencakup keseimbangan uap air dan termal pada udara dalam tumpukan serta pada biji dalam tumpukan.

a. Keseimbangan Uap Air pada Udara dalam Tumpukan Jagung

Laju perubahan uap air pada udara dalam tumpukan merupakan penjumlahan dari laju penambahan uap air serta laju uap air masuk dan keluar dari tumpukan yang terbawa oleh udara pengeringan.

$$0 = \frac{\partial}{\partial r} (2s\pi r LGH) + \rho_d 2s\pi r L \frac{\partial M}{\partial \theta} \dots\dots(6)$$

b. Keseimbangan Panas pada Udara dalam Tumpukan Jagung

Dengan asumsi bahwa gerakan aliran udara hanya terjadi pada arah jari-jari silinder dan udara dengan cepat mencapai *equilibrium*, maka keseimbangan termal pada udara dalam tumpukan dapat ditulis menjadi:

$$0 = G_a (C_{p,a} + C_{p,s}H) \frac{\partial t_a}{\partial r} + \left(-\rho_d C_{p,s} \frac{\partial M}{\partial \theta} + h_{cv} \right) (t_a - t_g) \dots\dots(7)$$

Jagung pipilan diasumsikan tercampur secara merata setelah proses pengadukan dilakukan.

c. Keseimbangan Panas pada Jagung yang Dikeringkan

Perubahan entalpi pada jagung berbanding lurus dengan laju pindah panas konvektif ke jagung dan panas yang disuplai untuk menguapkan air dari jagung. Untuk masing-masing elemen volume dari tumpukan jagung, maka persamaan keseimbangannya dapat dinyatakan sebagai:

$$\rho_d (C_{pg} + C_{pw}M) \frac{\partial t_g}{\partial \theta} + \rho_d t_g C_{pw} \frac{\partial M}{\partial \theta} = h_{cv} (t_a - t_g) + \rho_d (h_{fg} + C_{ps}t_g) \frac{\partial M}{\partial \theta} \dots\dots(8)$$

Keseimbangan Uap Air pada Udara dalam Ruang

Keseimbangan uap air di dalam udara ini dapat dinyatakan sebagai berikut:



$$m_a \frac{dH_r}{d\theta} = -m_a k_a (h_r - h_a) - m_{sil} k_{sil} (h_r - h_{sil}) \dots\dots(9)$$

Penurunan Kadar Air

Model pengeringan lapisan tipis diterapkan untuk menduga penurunan kadar air pada setiap lapisan. Penurunan kadar air dapat dinyatakan sebagai (Bala, 1997):

$$\frac{dM}{d\theta} = -k(M - Me) \dots\dots\dots(10)$$

dimana *k* dan *Me* merupakan fungsi suhu dan kelembaban.

Pengujian Validasi Perubahan Suhu, RH dan Kadar Air

Pengujian pengeringan dilakukan tiga kali ulangan, operasi dilakukan pada siang hari saja untuk memaksimalkan energi dari matahari. Dimensi silinder pengering adalah diameter 1,25 m dan panjang 2,4 m. Sedangkan dimensi ruang pengering ERK adalah panjang 6 m, lebar 2,5 m, serta tinggi 2 m. Kapasitas pengeringan penelitian ini adalah 1500 kg. Pengeringan dihentikan jika kadar air bahan mencapai 16% bb. dengan alasan pengeringan akan diteruskan ke pengeringan selanjutnya. Parameter yang diukur meliputi: (1) Massa, kadar air (lihat Gambar 3), densitas bahan; (2) Suhu meliputi: suhu udara lingkungan, plat, lantai, tungku, inlet, outlet, ruang pengering, dan suhu bahan; (3) Kelembaban relatif (RH) : RH lingkungan dan RH ruang pengering (4) Waktu pengoperasian alat; (5) Konsumsi bahan bakar; (6) Iradiasi surya, kecepatan angin.

Pemutaran Silinder Pengering untuk Pengadukan

Guna mengetahui efek pemutaran terhadap keseragaman suhu dan kadar air lapisan dalam dan luar jagung pipilan dalam silinder pengering, maka dihitung nilai persentase simpangan mutlak (APD), menggunakan persamaan (11).

$$APD = \frac{100}{n} \sum \sqrt{\left(\frac{y_{lap.dalam} - y_{lap.luar}}{y_{lap.dalam}} \right)^2} \dots\dots\dots(11)$$

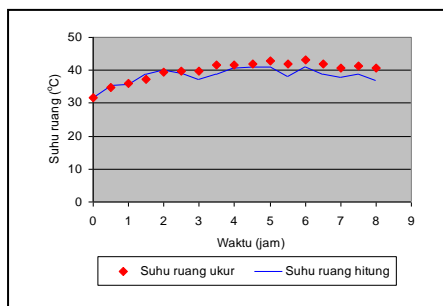
HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi Model

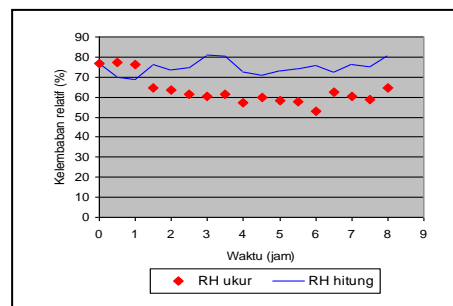
Model matematik yang telah disusun divalidasi dengan data-data hasil pengujian II. Input data untuk validasi model meliputi iradiasi surya, suhu dan RH lingkungan, serta jumlah konsumsi bahan bakar biomassa (tongkol jagung). Nilai-nilai sifat termofisik yang digunakan dalam perhitungan berturut-turut disajikan pada Lampiran 1.

Perubahan Suhu dan RH Ruang

Gambar 3 (a) memperlihatkan perubahan suhu ruang pengeringan hasil perhitungan dan pengukuran. Nilai koefisien determinasi (COD) perubahan suhu ruang hasil perhitungan dan hasil pengukuran adalah 0,74 sedangkan simpangan mutlak (APD) adalah 1,29%. Gambar 3 (b) memperlihatkan perubahan kelembaban relatif (RH) ruang pengeringan. Nilai koefisien determinasi perubahan RH ruang pengering adalah 0,09 dengan simpangan mutlak perubahan RH adalah 5,89%. Penyimpangan dari perhitungan dapat disebabkan oleh adanya sebagian udara yang mengalir melalui tumpukan yang lebih tipis, udara yang demikian hanya membawa jumlah uap air yang lebih sedikit.



(a)



(b)

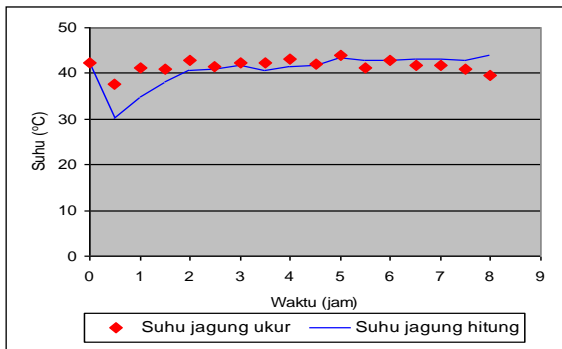
Gambar 3. (a) Perubahan suhu ruang hasil perhitungan dan hasil pengukuran pada pengujian II dan (b) Perubahan RH ruang hasil perhitungan dan hasil pengukuran pada pengujian

Suhu Lapisan Jagung dalam Silinder

Sebaran suhu lapisan jagung hasil simulasi belum sepenuhnya mengikuti suhu hasil pengukuran seperti pada Gambar 4. Perubahan suhu ruang dipengaruhi oleh jumlah panas tambahan yang diberikan, pemanasan secara konveksi oleh plat dan laju aliran massa udara serta kehilangan panas lewat dinding dan lantai.

Sebaran suhu lapisan jagung hasil simulasi sampai jam ke-6 sebenarnya sudah mengikuti hasil pengukuran, hal itu ditunjukkan apabila dibuat korelasi antara suhu hasil simulasi dan suhu hasil pengukuran (sampai jam ke-6), nilai koefisien determinasinya adalah 0,76. Suhu hasil simulasi setelah jam ke-6 cenderung naik, pada kenyataannya suhu hasil pengukuran cenderung turun, hal ini karena pengumpulan bahan bakar tongkol jagung dilakukan manual, sehingga kurang kontinyu dalam hal waktu maupun jumlah.

Nilai determinasi suhu lapisan jagung hasil perhitungan dan hasil pengukuran adalah sebesar 0,35. Nilai COD tersebut menunjukkan bahwa model belum dapat sepenuhnya mengikuti kecenderungan data, sedangkan nilai APD sebesar 1,79%.



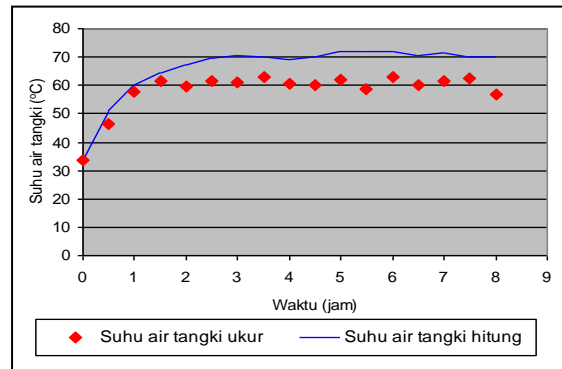
Gambar 4. Suhu rata-rata hasil perhitungan dan hasil pengukuran

Suhu Air dalam Tangki

Sebaran suhu air dalam tangki simulasi belum sepenuhnya mengikuti suhu hasil pengukuran seperti tersaji pada Gambar 5. Perubahan suhu air dalam tangki dipengaruhi oleh luasan penukar panas yang ada dalam tangki dan jumlah panas tambahan yang

diberikan. Pemanasan penukar panas dalam tangki ke air terjadi secara konduksi. Pemodelan untuk pendugaan suhu air dalam tangki ini menggunakan rumus yang ada pada persamaan (5).

Nilai koefisien determinasi suhu hasil perhitungan dan hasil pengukuran adalah 0,91, dimana 91% model sudah dapat menerangkan data, sedangkan nilai APD sebesar 3,5%.



Gambar 5. Suhu air dalam tangki hasil perhitungan dan hasil pengukuran

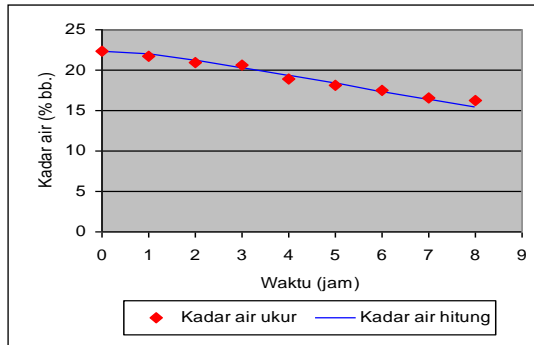
Penurunan Kadar Air

Pendugaan penurunan kadar air tumpukan tebal (40 cm) menggunakan model pengeringan lapisan tipis (Bala, 1997) dengan membagi menjadi 40 lapisan tipis. Gambar 6 menunjukkan penurunan kadar air hasil perhitungan dan kadar air hasil pengukuran. Nilai COD antara kadar air hasil perhitungan dan hasil pengukuran pada pengujian II adalah 0,98, berarti 98% data dapat diterangkan oleh model dan nilai APD sebesar 0,68%.

Perbedaan yang terjadi pada Gambar 6, karena model lapisan tipis yang digunakan berlangsung pada laju pengeringan menurun sedangkan pada keadaan sebenarnya cenderung konstan baru selanjutnya pada kondisi menurun. Perbedaan diduga disebabkan oleh tidak tepatnya penerapan nilai kelembaban udara pengering kepada tumpukan. Bila pada pengeringan lapisan tipis pengeringan terjadi pada kelembaban yang relatif sama dengan udara pengering, tetapi pada lapisan tebal asumsi tersebut akan membuat penyimpangan, karena uap air yang keluar tidak semuanya langsung terbawa oleh udara pengeringan, sehingga lapis batas (*boundary layer*) produk lebih tebal. Keadaan ini akan menambah



kesalahan yang cukup berarti terutama pada saat kadar air produk masih tinggi.



Gambar 6. Penurunan kadar air hasil perhitungan dan hasil pengukuran

Simulasi Pengeringan dengan Pengeringan ERK-hybrid

Hasil validasi di atas menunjukkan bahwa secara umum model telah dapat menerangkan perubahan suhu ruang, suhu lapisan tumpukan jagung, suhu air dalam tangki dan kadar air jagung pipilan, kecuali RH ruang. Selanjutnya model digunakan untuk mensimulasikan performansi pengering ERK-hybrid lebih lanjut, antara lain untuk menduga perubahan suhu dan kadar air apabila silinder diputar beberapa menit setiap jamnya. Selain itu akan digunakan untuk menduga perubahan suhu dan kadar air yang terjadi apabila input dari model diubah-ubah, sehingga bisa diketahui perubahan input mana yang paling mempengaruhi output.

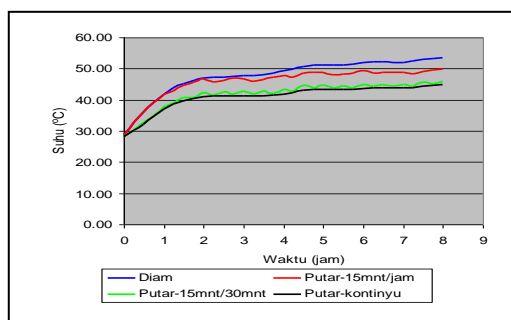
Simulasi Pemutaran Silinder

Pemutaran silinder (simulasi) selama 15 menit/½ jam, pemutaran silinder secara terus-menerus (kontinyu) dan dibandingkan dengan

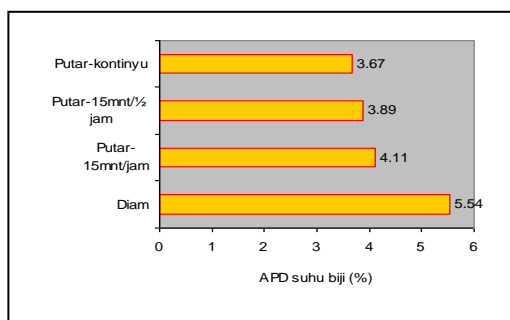
pemutaran aktual yaitu 15 menit/jam. Gambar 7 (a) secara keseluruhan menunjukkan bahwa selama pengeringan apabila silinder tidak diputar (diam) akan mempunyai suhu rata-rata tertinggi bila dibandingkan dengan suhu jagung dengan pemutaran silinder selama 15 menit/jam, pemutaran silinder 15 menit/½ jam, serta pemutaran silinder secara terus menerus.

APD suhu jagung dalam silinder yang tidak berputar, antara lapisan dalam dan luar adalah 5,54% atau mempunyai selisih suhu lapisan dalam dan lapisan luar selama pengeringan sebesar 0,26-20,93°C. Pemutaran silinder selama 15 menit/jam mempunyai APD 4,11% (selisih suhu lapisan dalam dan lapisan luar 0,26-8,00°C). APD suhu jagung dalam silinder yang diputar 15 menit/½ adalah 3,89% (selisih suhu lapisan dalam dan lapisan luar 0,1-5,81°C), sedangkan untuk pemutaran silinder secara terus-menerus mempunyai APD 3,67% (selisih suhu lapisan dalam dan lapisan luar 0,05-1,78°C). Dapat dilihat pengaruh lama pemutaran silinder terhadap selisih suhu lapisan dalam dan lapisan luar semakin kecil, dengan nilai terkecil selisih suhu lapisan dalam dan lapisan luar pada pemutaran silinder secara terus-menerus. Ilustrasi persentase simpangan mutlak suhu lapisan dalam dan luar yang terjadi dengan empat perlakuan tersaji pada Gambar 7 (b).

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa perlakuan tanpa pemutaran silinder (diam), mempunyai suhu jagung rata-rata tertinggi akan tetapi ternyata mempunyai simpangan mutlak suhu jagung terbesar (lebih tidak seragam), dibandingkan dengan suhu jagung yang terjadi dengan pemutaran silinder selama pengeringan. Pemutaran secara terus-menerus (kontinyu) mempunyai persentase simpangan mutlak terkecil (3,67%) dibandingkan dengan perlakuan pemutaran yang lain. Perhitungan pengaruh lama pemutaran silinder terhadap energi dan biaya pokok dapat dilihat pada Tabel 1.



(a)



(b)

Gambar 7. (a) Hasil simulasi pengaruh pemutaran silinder terhadap perubahan suhu lapisan jagung dan (b) APD suhu lapisan dalam dan luar pada empat perlakuan.

Tabel 1. Perbandingan energi listrik (MJ) dan biaya pokok pengeringan (Rp/kg)

Perlakuan silinder	Energi listrik (MJ)		Biaya operasional (Rp/kg)
	Untuk pengadukan	Total	
Diputar 15 menit/jam	16,60	51,07	75,89
Diputar 15 menit/30 menit	33,20	67,67	81,35
Diputar terus-menerus	66,40	100,87	85,55

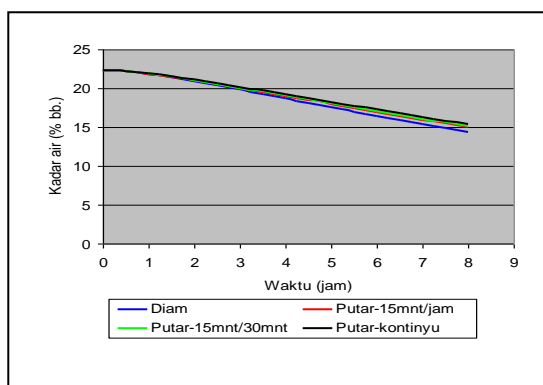
Pengaruh pemutaran silinder terhadap perubahan kadar air selama proses pengeringan dapat dilihat pada Gambar 8 (a). Dari gambar ditunjukkan hasil simulasi dengan pemutaran silinder selama 15 menit setiap jam, pemutaran silinder selama 15 menit setiap 30 menit, dan pemutaran silinder secara terus-menerus (kontinyu).

Terlihat bahwa secara keseluruhan apabila silinder tidak diputar (diam) akan mempunyai kadar air rata-rata terendah bila dibandingkan dengan kadar air rata-rata jagung dengan pemutaran silinder selama 15 menit/jam, dan pemutaran silinder 15 menit/½ jam, serta pemutaran silinder secara terus menerus.

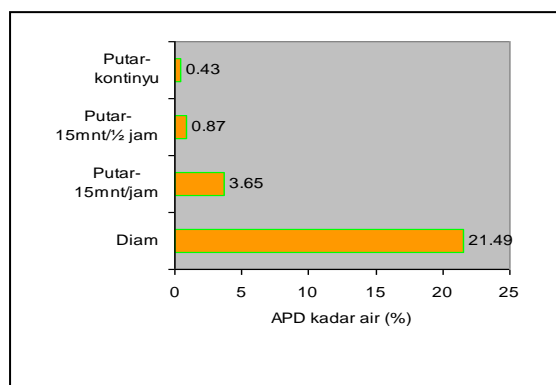
Untuk mengetahui sebaran kadar air per lapisan untuk ke-empat perlakuan tersebut maka dibandingkan persentase simpangan mutlak (APD) kadar air jagung yang terjadi pada lapisan dalam dan lapisan luar. APD kadar air jagung dalam silinder yang tidak diputar (diam) antara lapisan dalam dan luar adalah 21,49%, atau mempunyai selisih kadar air lapisan dalam dan lapisan luar 0,14-15,36% bb. Pemutaran silinder 15 menit/jam mempunyai APD kadar air

lapisan dalam dan lapisan luar 3,65% (selisih kadar air lapisan dalam dan lapisan luar 0,14-2,94% bb.). APD kadar air jagung dalam silinder yang diputar 15 menit/½ jam adalah 0,87% (selisih kadar air lapisan dalam dan lapisan luar 0,14-1,36% bb.), sedangkan untuk pemutaran silinder secara terus-menerus mempunyai APD 0,43% dan selisih kadar air lapisan dalam dan lapisan luar 0,14-0,56% bb. Ilustrasi persentase simpangan mutlak kadar air jagung lapisan dalam dan luar yang terjadi dengan empat perlakuan tersaji pada Gambar 8 (b).

Simulasi pengaruh pemutaran silinder terhadap penurunan kadar air menunjukkan bahwa tanpa pemutaran silinder akan terjadi penurunan kadar air paling cepat. Tetapi apabila dilihat dari keseragaman kadar air yang terjadi persentase simpangan mutlak (APD) antara lapisan dalam dan luar yang terjadi sangat besar yaitu 21,49%. Sebaliknya dengan semakin lama pemutaran silinder kadar air semakin seragam, seperti terlihat bahwa pemutaran silinder secara terus-menerus mempunyai persentase simpangan mutlak (APD) terkecil yaitu 0,43%, selisih kadar air lapisan dalam dan lapisan luar semakin kecil.



(a)



(b)



Gambar 8. (a) Hasil simulasi pengaruh pemutaran silinder terhadap perubahan kadar air dan (b) APD kadar air lapisan dalam dan luar pada empat perlakuan.

KESIMPULAN

1. Model matematik yang telah disusun sudah dapat menerangkan hasil pengukuran, kecuali untuk RH ruang dan suhu lapisan jagung dalam silinder. Hasil validasi model matematik yang digunakan untuk menduga performansi pengeringan jagung terhadap pengujian II adalah: suhu ruang mempunyai nilai koefisien determinasi (COD) sebesar 0,74 dan persentase simpangan mutlak (APD) adalah 1,29%; COD RH ruang adalah 0,09 dan APD 5,89%; COD suhu lapisan jagung dalam silinder adalah 0,35 dan APD 1,79%; COD suhu air dalam tangki adalah 0,91 dan APD dengan nilai 3,5%; sedangkan COD penurunan kadar air adalah 0,98 dan APD adalah 0,68%.
2. Simulasi pemutaran silinder untuk mencari keseragaman suhu lapisan jagung paling baik adalah pemutaran silinder secara terus-menerus, karena mempunyai selisih suhu lapisan dalam dan lapisan luar yang terkecil (0,05-1,78°C) dengan nilai persentase simpangan mutlak 3,67%, serta keseragaman kadar air lapisan dalam dan lapisan luar terkecil (0,14-0,56% bb.) dengan nilai persentase simpangan mutlak 0,43% .

DAFTAR PUSTAKA

- Bala, B.K. 1997. *Drying and Storage of Cereal Grains*, Oxford & IBH Publishing Co. PVT. LTD, New Delhi Calcutta.
- Bird, R.B., W.E. Stewart, and E.N. Lighfoot. 1960. *Transport Phenomena*, Dept. of Chemical Engineering, University of Wincosin, John Wiley & Sons
- Hall, C.W. 1957. *Drying Farm Crops*, Agricultural Consulting Associates, Inc. East Lansing, Michigan.
- Manalu, L.P. 1999. *Pengering Energi Surya dengan Pengaduk Mekanis untuk Pengeringan Kakao*, Thesis, Program Pascasarjana IPB Bogor.
- Nelwan, L.O. 1997. *Pengeringan Kakao dengan Energi Surya Menggunakan Rak Pengering dengan Kolektor Tipe Efek Rumah Kaca*, Thesis, Program PS. IPB Bogor.
- Nelwan, L.O., D. Wulandani, R. Paramawati, dan T.W. Widodo. 2007. *Rancang Bangun Alat Pengering Efek Rumah Kaca (ERK)-Hybrid dan In-Store-Dryer Terintegrasi untuk Jagung-jagungan*. Laporan Hasil Penelitian, Kerjasama IPB dan Departemen Pertanian.
- Pasandaran, E. F. Kasrino. 2003. *Sekilas Ekonomi Jagung Indonesia : Suatu Studi di Sentra Utama Produksi Jagung, Ekonomi Jagung Nasional*. Balitbang Pertanian.
- Stoecker, W.F. 1989. *Design of Thermal Systems*, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, Tokyo. International Student Edition.
- Sulikah. 2007. *Rancangan dan Uji Performansi Prototipe Mesin Pengering Tipe Silinder Berputar untuk Pengeringan Jagung (Zea mays L.)*. Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB, Bogor.
- Thahir, R. 2000. *Pengaruh Aliran Udara dan Ketebalan Pengeringan terhadap Mutu Gabah Keringnya*. Buletin Enjinering Pertanian, Volume VII No.1. BBPAP, Balitbangtan.
- Widodo, P., dan A. Hendriadi. 2004. *Perbandingan Kinerja Mesin Pengering Jagung Tipe Bak Datar Model Segiempat dan Silinder*. Jurnal Enjiniring Pertanian,

Badan Penelitian dan Pengembangan
Pertanian, Vol. II No. 1.

Wulandani, D. 2005. Kajian Distribusi Suhu, RH,
dan Aliran Udara Pengering untuk
Optimasi Disain Pengering Efek Rumah
Kaca, Desertasi, Sekolah Pascasarjana,
IPB, Bogor.



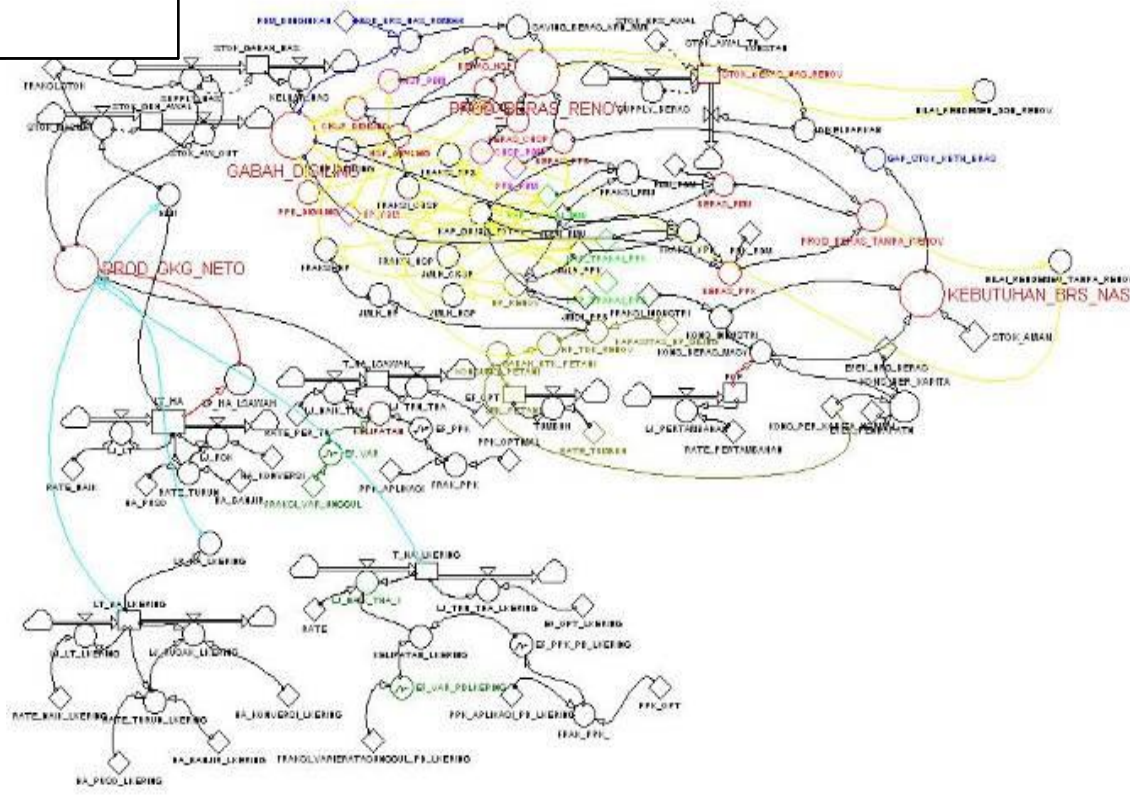
Lampiran 1. Keterangan Notasi dan Subskrip

<i>A</i>	Luas (kontak) permukaan	m^2
<i>APD</i>	Persentase simpangan mutlak	%
<i>bb</i>	Basis basah	%
<i>bk</i>	Basis kering	%
<i>C_p</i>	Panas jenis	$kJ/kg^{\circ}K$
<i>COD</i>	Koefisien determinasi	-
<i>G</i>	Fluks aliran massa	kg/m^2det
<i>G_a</i>	Fluks aliran massa	kg/m^2det
<i>h</i>	Entalpi	kJ/kg u.k.
<i>h</i>	Koefisien konveksi	$W/m^{\circ}K$
<i>h_{cv}</i>	Koefisien pindah panas volumetrik	$kJ/m^2det^{\circ}K$
<i>h_{fg}</i>	Panas laten penguapan	kJ/kg
<i>I</i>	Iradiasi	kW/m^2
<i>k</i>	Konduktivitas	$W/m^{\circ}K$
<i>L</i>	Panjang	m
<i>m</i>	Massa	kg
<i>\dot{m}_x</i>	Laju aliran udara ruang pengering	kg/det
<i>\dot{m}_y</i>	Laju aliran massa air yang diuapkan	kg/det
<i>\dot{m}_{amb}</i>	Laju aliran udara luar	kg/det
<i>\dot{m}_{sil}</i>	Laju aliran udara di silinder	kg/det
<i>\dot{m}_w</i>	Laju aliran air	kg/det
<i>M</i>	Kadar air	% bk.
<i>M₀</i>	Kadar air awal	% bk.
<i>M_e</i>	Kadar air keseimbangan	% bk.
<i>P_{at}</i>	Tekanan atmosfer	Pascal
<i>Q₁</i>	Energi untuk pemanasan udara	kJ
<i>r</i>	Jari-jari lingkaran	m
<i>s</i>	Rasio keliling silinder yang tertutup terhadap keliling silinder dalam	-
<i>t</i>	Waktu dalam persamaan (1) dan (2)	detik
<i>t_g</i>	Suhu bahan	C
<i>t_a</i>	Suhu udara	C
<i>T</i>	Suhu mutlak	K
<i>T_a</i>	Suhu udara	C
<i>U</i>	Koefisien pindah panas total	$W/m^{\circ}K$
<i>W</i>	Massa	kg
<i>n</i>	Jumlah data	-
<i>y</i>	Nilai hasil perhitungan/pengukuran	-
<i>α</i>	Absorptivitas	-
<i>τ</i>	Transmisivitas	-
<i>θ</i>	Waktu	det
<i>ρ_c</i>	Kerapatan	kg/m^3

Subskrip

<i>abs</i>	Absorber	<i>r</i>	Udara dalam ruang
<i>amb</i>	Udara lingkungan	<i>sil</i>	Silinder
<i>at</i>	Atmosfer	<i>b</i>	Bahan bakar
<i>T</i>	Tangki	<i>ukur</i>	Hasil pengukuran
<i>d</i>	Kering (<i>dry</i>)	<i>HE</i>	<i>Heat exchanger</i>
<i>v</i>	Uap air	<i>w</i>	Air
<i>hit</i>	Hasil perhitungan	<i>wall</i>	Dinding
<i>inlet</i>	Suhu udara masuk ruang pengering		

Energi untuk
perlakuan
bahan, Q1



si

Lampiran 3. Tampilan Program

