

*Technical Paper***Disain dan Uji Kinerja Pengering Rotari Tumpukan untuk Pengeringan Jagung Pipilan*****Design and Performance Test of Rotary Bed Dryer for Shelled Corn Drying***Sulikhah¹, Leopold O. Nelwan², dan I Nengah Suastawa³**Abstract**

A rotary bed dryer for grain had been developed and tested in this study. The dryer was designed in order to provide an effective mixing effect. The dryer used perforated cylindrical drum for its chamber and was rotated by an electrical motor. The result showed that when the numbers of rotation was 20, the shelled corn had been mixed effectively. To meet this condition, the drum was rotated for 5 minutes every 15 minutes during the drying process. As the result, the variation of moisture content in radial direction was less than 1.1% w.b. With drying air temperature of 67°C and 60°C the specific energy consumption of the dryer were 5.6 MJ/kg to reduce the moisture content from 25 to 16% b.b. and 5.4 MJ/kg from 17 to 13% w.b. Thermal energy was the highest contributor of total energy consumption. As it had been expected, the full load of the dryer provided a lower mechanical energy requirement than the half load.

Keywords: rotary bed dryer, mixing, specific energy consumption

Diterima: 5 Februari 2008; Disetujui: 10 Juni 2008

Latar Belakang

Pengeringan merupakan salah satu tahap penanganan pascapanen yang umum dilakukan pada biji-bijian termasuk jagung. Kebanyakan proses pengeringan pada jagung dilakukan dengan cara penjemuran (sun drying). Cara ini mempunyai beberapa kelemahan antara lain kurang menjamin kebersihan produk, sangat bergantung pada kondisi cuaca, dan memerlukan tempat yang luas. Pengeringan buatan (artificial drying) diperlukan untuk mengatasi kekurangan-kekurangan pada proses pengeringan alami. Adapun kelebihan dari pengeringan buatan ini antara lain adalah tidak tergantung cuaca, waktu pengeringan yang relatif lebih cepat, tidak memerlukan tempat yang luas, dan hasil akhir yang cukup seragam.

Pada pengeringan buatan dengan mode 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 yang satu dengan yang lain terutama searah dengan aliran udara pengeringan yang digunakan. Variasi kadar air menyebabkan kesulitan untuk penerapan suhu udara yang relatif tinggi karena dapat menyebabkan kerusakan pada daerah biji-bijian yang telah kering, dan akibatnya

pada lapisan-lapisan biji yang jauh dari sumber aliran laju pengeringannya menjadi rendah. Laju pengeringan yang terlalu rendah tersebut dapat menyebabkan penurunan mutu. Untuk menghindari hal tersebut, pengadukan pada pengeringan tumpukan merupakan hal yang umum dilakukan. Pengadukan biasanya dilakukan dengan cara pembalikan secara manual. Cara tersebut membutuhkan tenaga yang cukup besar, sehingga umumnya di lapangan pembalikan tidak dilakukan pada interval yang memadai, sehingga dapat menyebabkan terjadinya overdrying pada daerah biji yang dekat dengan inlet udara pengering (Brooker et al, 1992). Cara pengadukan dengan menggunakan pemutar dengan poros vertikal pada bak yang silindris (Manalu, 1997) membutuhkan daya yang cukup besar yaitu 1.1 kW untuk 400 kg kakao.

Pada penelitian ini, pengering rotari untuk tumpukan biji-bijian didisain untuk memudahkan pengadukan selama proses pengeringan. Drum silindris yang dapat diputar digunakan sebagai wadah bagi tumpukan biji-bijian yang dikeringkan. Udara pengeringan dialirkan melalui bagian tengah drum dan melalui dinding berpori bagian dalam menembus biji-bijian dan keluar melalui dinding berpori bagian luar. Pemutar drum silindris diharapkan dapat menciptakan efek pengadukan yang memadai sehingga masalah variasi kadar air dapat diatasi.

¹ Alumni Departemen Teknik Pertanian Fateta IPB, Gedung Fateta IPB, PO Box 220

² Bagian Energi dan Elektrifikasi Pertanian, Departemen Teknik Pertanian Fateta IPB, Gedung Fateta IPB, PO Box 220, lonelwan@yahoo.com

³ Bagian Teknik Mesin dan Budidaya Pertanian, Departemen Teknik Pertanian Fateta IPB, Gedung Fateta IPB, PO Box 220

(yaitu *angle of repose* dari jagung pipilan) dengan permukaan horizontal. Dengan demikian, aliran udara dipaksa untuk mengalir melalui tumpukan biji.

Uji Kinerja

Uji keefektifan pengadukan

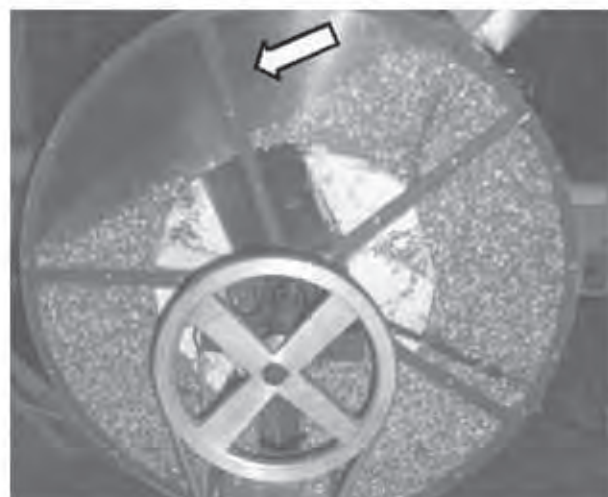
Pada pengujian pengadukan bahan digunakan jagung pipilan yang diwarnai merah dan yang tidak diwarnai. Kedua kelompok biji yang berbeda tersebut dimasukkan ke dalam drum dengan ketebalan yang sama, dimana warna merah di lapisan dalam dan yang tidak diwarnai berada di lapisan luar. Karena itu, jumlah kedua kelompok biji yang dimasukkan ke dalam drum tersebut berbeda. Persentase biji yang diwarnai terhadap total dijadikan target yang harus dicapai pada setiap lokasi pengambilan sampel biji jika pengadukan dilakukan secara sempurna.

Kebutuhan daya mekanis yang diperlukan dalam proses pengadukan diukur pada keadaan isi silinder penuh, setengah penuh, dan kosong. Pengukuran kebutuhan daya ini bertujuan untuk melihat hubungan beban terhadap kebutuhan daya.

Uji proses pengeringan

Percobaan dilakukan untuk melihat kinerja pengering pada kadar air awal biji yang berbeda dan kondisi udara yang berbeda. Pada percobaan I, biji jagung memiliki kadar air awal 25% b.b dengan suhu udara pengeringan 87°C sedangkan pada percobaan II, kadar air jagung awal 16% b.b dan suhu udara pengeringan 60°C. Kelembaban mutlak udara pengeringan dari masing-masing percobaan adalah 26.5 g/kg udara kering dan 28.8 g/kg udara kering. Suhu dan kelembaban udara pengeringan diukur pada saluran udara (titik 7 pada Gambar 1), dengan jarak 5 cm setelah belokan. Kelembaban diperoleh melalui pengukuran suhu bola kering – bola basah.

Jagung pipilan sejumlah 95 kg digunakan untuk setiap percobaan yang dilakukan. Tebal tumpukan biji adalah sesuai dengan selisih antara jarak-jarak silinder luar dengan silinder dalam yaitu 180 mm. Pengadukan dilakukan dengan cara memutar silinder selama 5



Gambar 4. Kemiringan permukaan tumpukan

menit untuk setiap interval 15 menit. Selama proses pengeringan berlangsung, pengukuran suhu, kelembaban dan kadar air dilakukan. Tiga titik pengukuran yang digunakan untuk mewakili lapisan luar tengah dan dalam yaitu 3 cm, 9 cm dan 15 cm dari dinding silinder dalam. Pengukuran dilakukan ketika drum dalam keadaan diam.

Konsumsi energi spesifik (KES) dari pengering didefinisikan sebagai energi total yang digunakan selama proses pengeringan untuk menguapkan 1 kg air dari biji jagung yang dikeringkan, atau ditulis sebagai:

$$KES = \frac{E_{total}}{m_v} \quad (1)$$

Energi total terdiri dari energi termal (E_{term}) untuk memanaskan udara dan energi mekanik (E_{mech}) untuk membuat efek pengadukan serta mengalirkan udara pengering. Konsumsi energi termal spesifik (KETS) dapat dinyatakan sebagai:

$$KETS = \frac{E_{term}}{m_v} \quad (2)$$

dan konsumsi energi mekanik spesifik (KEMS)nya adalah:

$$KEMS = \frac{E_{mech}}{m_v} \quad (3)$$

Dimana ketiga jenis energi pada persamaan (1), (2) dan (3) dinyatakan dalam MJ dan m_v adalah jumlah air yang diuapkan selama proses pengeringan (kg). Konsumsi energi termal diukur menggunakan persamaan berikut:

$$E_{term} = mc_p (t_{out} - t_{in}) \Delta \theta \quad (4)$$

dimana m adalah laju aliran massa udara yang masuk dalam pengering (kg/s), c_p adalah panas jenis udara ($\text{kJ/kg}^\circ\text{C}$), t_{in} dan t_{out} secara berturut-turut adalah suhu udara lingkungan dan suhu udara setelah dipanaskan ($^\circ\text{C}$) dan $\Delta \theta$ adalah waktu proses pengeringan (detik). Konsumsi energi mekanik diukur melalui energi listrik yang dikonsumsi untuk menggerakkan sistem pemutar

$$E_{mech} = VI(\cos \phi) \Delta \theta \quad (5)$$

Dimana V adalah tegangan (V) dan I adalah kuat arus (A) terukur dari motor listrik sedangkan $\cos \phi$ adalah faktor daya dari motor listrik.

Hasil Dan Pembahasan

Keefektifan pengadukan

Pada uji untuk melihat kehomogenan hasil pengadukan, komposisi jumlah biji jagung yang dimasukkan ke dalam drum pengering adalah 35.7% yang diwarnai, sedangkan yang tidak diwarnai adalah 64.3%. Tumpukan biji jagung sebelum dan setelah pengadukan dapat dilihat pada Gambar 5a dan 5b. Dapat dikatakan bahwa komposisi biji yang diwarnai

pada bagian dalam drum adalah 100% dan yang tidak diwarnai 0%, sebaliknya pada bagian luar drum komposisi biji yang diwarnai pada bagian dalam drum adalah 0% dan yang tidak diwarnai 100%. Pengadukan dilakukan dengan memutar drum sampai 20 putaran, dan sampel diambil setiap interval 5 putaran dari lapisan dalam, tengah dan luar arah radial. Kecepatan putaran yang digunakan adalah 4 rpm. Sampel tumpukan dianggap homogen jika persentasenya mendekati persentase awal biji yang dimasukkan. Gambar 6, 7 dan 8 menyajikan perubahan persentase biji jagung yang diwarnai dan yang tidak terhadap jumlah putaran yang dilakukan. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa setelah dilakukan pemutaran sebanyak 5 putaran, persentase bahan masih belum mencapai target. Tingginya nilai persentase biji yang tidak diwarnai pada seluruh lapisan pada arah radial setelah 5 putaran diduga disebabkan oleh masih belum teraduknya biji baik terutama pada arah tangensial. Akan tetapi perlu dicatat bahwa persentase biji yang diwarnai pada bagian luar sudah cukup tinggi setelah 5 putaran ini yaitu hampir 20% (sebelum pengadukan 0%). Hal ini menunjukkan bahwa laju pengadukan biji sangat tinggi. Sejalan dengan jumlah putaran yang bertambah komposisi biji pada ketiga lapisan berubah dimana bagian dalam, tengah maupun luar persentase pencampuran warna merah dan kuning

menuju target yang diinginkan. Dapat dilihat juga bahwa setelah 20 putaran komposisi di setiap bagian sudah hampir sama dengan komposisi target.

Kinerja pengering

Selama pengeringan, pemutaran drum dilakukan secara *intermittent* sebanyak 20 putaran untuk setiap 15 menit pengeringan. Kadar air pada arah radial selama proses pengeringan diperlihatkan pada Gambar 9. Dapat dilihat bahwa perbedaan kadar air pada lapisan dalam, tengah dan luar tidak terlalu besar, dimana kadar air jagung pipilan pada masing-masing lapisan tidak memperlihatkan konsistensi yang berarti kadar air pada lapisan atas dapat lebih tinggi atau lebih rendah dari lapisan yang lain, begitu pula pada lapisan tengah dan bawah. Pada pengeringan tumpukan tanpa pengadukan, variasi kadar air antara lapisan dalam, tengah dan luar terlihat dengan jelas. Hasil percobaan memperlihatkan

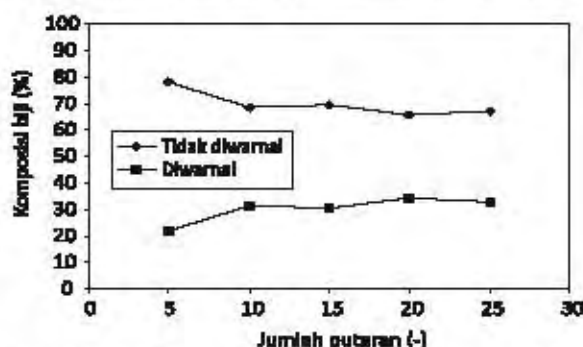


(a) Sebelum pemutaran

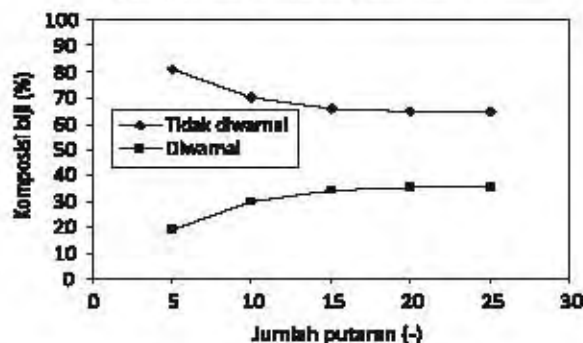


(b) Setelah dilakukan 20 kali pemutaran

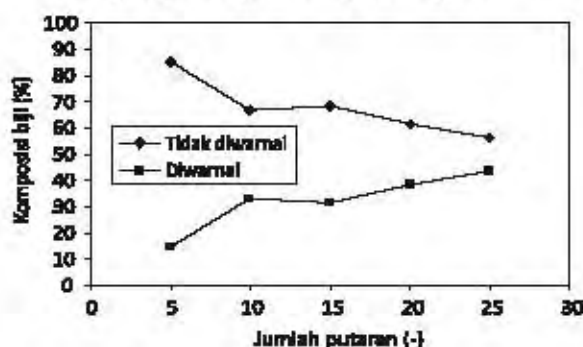
Gambar 5. Foto kondisi biji jagung campuran biji yang diwarnai dan yang tidak



Gambar 6. Persentase jagung yang diwarnai dan yang tidak pada bagian dalam



Gambar 7. Persentase jagung yang diwarnai dan yang tidak pada bagian tengah



Gambar 8. Persentase jagung yang diwarnai dan yang tidak pada bagian luar

Tabel 1. Kinerja pengering rotary tumpukan

Parameter	Percobaan I	Percobaan II
Beban pengeringan (kg) (m0)	90	95
Kadar air awal (% bk) (Mo)	33.8	21.1
Kadar air akhir (% bk)	19.5	15.8
Waktu pengeringan (jam) (t)	5.5	2.5
Air yang diuapkan (kg) (mu)	9.62	4.16
Suhu udara masuk rata-rata (°C)	67	61
Kelembaban mutlak udara masuk rata-rata (kg air/ kg udara kering)	0.0266	0.0285
Lama pengadukan (jam)	1.83	0.83
Energi pengaduk (MJ) (Q5a)	3.4	1.54
Energi kipas (MJ) (Q5b)	1.73	0.78
Energi pemanas (MJ) (Q1)	45.32	20.6
Energi total (MJ) (QT)	50.45	22.93
Efisiensi termal (%) (η_{termal})	74.2	68.13
Konsumsi energi spesifik (MJ/kg uap air) (KES)	5.24	5.52
Konsumsi energi panas spesifik (MJ/kg uap air) (KEPS)	4.71	4.95
Konsumsi energi mekanik spesifik (kJ/kg uap air) (KEMS)	0.53	0.56

bahwa variasi kadar air kurang dari 1.1 % b.b. pada percobaan I dan 0.8% b.b. pada percobaan II Hal ini menunjukkan pengadukan yang cukup efektif telah berlangsung selama proses pengeringan.

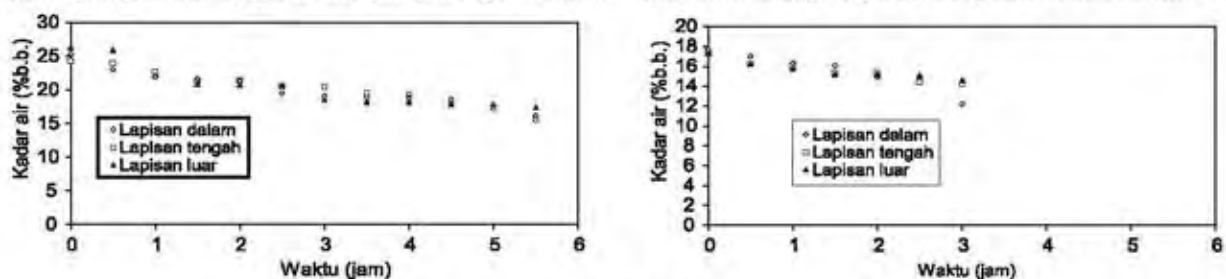
Pada percobaan I, pengeringan berlangsung dari kadar air 25.3% bb sampai 16.3% bb selama 5.5 jam dengan laju pengeringan yang terjadi sebesar 2.6 % bk/jam. Pada kadar air awal yang lebih rendah (percobaan II) pengeringan dilakukan dari rata-rata kadar air 17.4%b.b sampai 13.6 %b.b. dengan laju pengeringan rata-rata 2.1% bk/jam dan waktu pengeringan 2.5 jam. Laju pengeringan yang lebih tinggi pada percobaan I disebabkan oleh penggunaan suhu udara yang lebih tinggi dan kelembaban relatif dan kelembaban mutlak yang lebih rendah sehingga perbedaan tekanan uap antara air dalam produk dengan udara pengering lebih tinggi. Selain itu, pada produk dengan kadar air yang lebih tinggi, laju pengeringan pada umumnya lebih tinggi karena kebutuhan energi untuk melepaskan air yang lebih rendah. Laju pengeringan sebesar 2.1 – 2.6%b.k./jam tergolong laju pengeringan yang relatif tinggi untuk pengeringan tumpukan jagung. Dengan adanya pengadukan, suhu udara pengering yang diterapkan untuk proses pengeringan dapat lebih tinggi. Hal ini disebabkan sekelompok produk yang dikeringkan terkena udara yang bersuhu tinggi dalam waktu yang relatif tidak lama, sehingga mutu produk yang dikeringkan tidak menurun atau produk tidak mengalami *overdrying*. Dengan penggunaan suhu udara yang lebih tinggi waktu pengeringan dapat

dipersingkat.

Tabel 1 menunjukkan bahwa konsumsi energi total spesifik dari pengering ini untuk percobaan I dan II adalah 5.24 dan 5.5 MJ/kg air yang diuapkan. Untuk pengeringan jagung dengan metode *batch*, konsumsi energi ini cukup rendah. Jubaedah (2000) melaporkan pada pengeringan jagung dengan menggunakan pengering tumpukan dengan tinggi 75 cm konsumsi energi spesifiknya adalah 6.76 MJ/kg air yang diuapkan, sedangkan Subekti (1986) mendapatkan konsumsi energi spesifik sebesar 20.67 MJ/kg air yang diuapkan untuk pengering tipe sumur. Pada pengeringan skala komersial menggunakan pengering biji-bijian kontinu-tiga-tahap, untuk menurunkan jagung dari kadar air 26.5% b.b. sampai 14.8% b.b., konsumsi energi spesifiknya adalah 4.26 MJ/kg air yang diuapkan (Brooker, et al, 1992). Efisiensi yang sangat tinggi ini disebabkan oleh sistem yang digunakan adalah kontinu dan dengan jumlah beban yang cukup besar yaitu mencapai 623.6 kg/jam.

Konsumsi energi total spesifik yang relatif rendah menunjukkan bahwa adanya energy untuk pengadukan telah dapat dikompensasi oleh efektifnya proses pengeringan yang berlangsung. Pada bagian selanjutnya dapat dilihat bahwa kontribusi energi mekanik untuk pengadukan relatif kecil.

Energi termal menyumbang porsi terbesar dari konsumsi energi keseluruhan. Konsumsi energi termal spesifik (KETS) pada percobaan I dan II adalah 4.71 dan 4.95 MJ/kg air yang diuapkan. Akibat kebutuhan



Gambar 9. Penurunan kadar air selama proses pengeringan

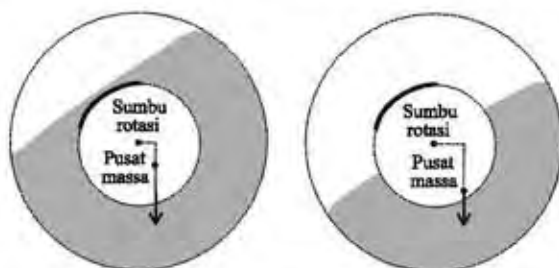
Tabel 2. Kebutuhan daya pemutaran pada beban yang bervariasi

Kondisi	Daya (W)
Tanpa beban (kosong)	523.3
Setengah penuh	549.4
Penuh	527.6

energi untuk penguapan lebih rendah pada kadar air yang tinggi, maka KETS pada percobaan I lebih rendah walaupun jumlah biji jagung yang dikeringkan lebih sedikit. Pada prototype pengering ini, sumber energi termal yang digunakan adalah energi listrik. Untuk aplikasi, penggunaan energi listrik sebagai sumber energi termal sebaiknya dihindari sehubungan dengan kualitasnya yang lebih sesuai sebagai sumber energi mekanik. Penggunaan motor listrik pada proses pengadukan hanya mengkonsumsi energi sebesar 3.4 dan 1.54 MJ untuk masing-masing percobaan I dan II atau kira-kira sebesar 7% dari energi totalnya. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan motor listrik sebagai penyedia daya untuk memutar silinder bisa dianjurkan.

Rata-rata penggunaan daya pada kapasitas tanpa beban, penuh dan setengah penuh masing-masing sebesar 523.3 W, 527.6 W, dan 549.4 W (Tabel 2). Pada beban pengeringan penuh nilai daya yang terukur lebih rendah 22.2 W dibandingkan dengan beban setengah penuh dan mendekati kebutuhan daya tanpa beban. Hal ini disebabkan oleh tidak meratanya beban pada keadaan beban setengah penuh yaitu jagung terkumpul di satu bagian sehingga jarak pusat massa terhadap poros menjadi lebih besar. Walaupun pada beban setengah penuh memiliki massa yang lebih rendah, torsi pemutaran drum menjadi lebih besar karena jarak pusat massa ke pusat rotasi yang lebih besar (Gambar 10). Oleh karena itu, penggunaan pada beban penuh memberikan keuntungan baik dari konsumsi energi mekanik maupun konsumsi energi termal spesifik.

Daya kipas yang digunakan untuk pengaliran udara pada system pengering ini relatif tidak besar. Walaupun penggunaan kipas dilakukan secara terus menerus selama pengeringan berlangsung, kebutuhan energinya pada percobaan I dan II secara berturut-turut adalah 1.73 dan 0.78 MJ masih lebih rendah dibandingkan kebutuhan energi untuk



Gambar 10. Pergeseran pusat massa akibat perbedaan beban

pengadukan.

Secara keseluruhan konsumsi energi mekanik spesifik (yaitu dari kipas dan pengaduk) adalah 0.53 dan 0.56 MJ/kg air yang diuapkan. Nilai ini relatif masih tinggi apabila dibandingkan dengan pengeringan skala biji-bijian kontinu-tiga-tahap yang hanya mencapai 0.15 MJ/kg air yang diuapkan (Brooker, *et al*, 1992). Jumlah beban pengeringan yang besar menyebabkan penggunaan energi mekanik menjadi lebih efisien.

Kesimpulan Dan Saran

1. Sebuah prototipe pengering tipe rotary tumpukan dengan kapasitas 95 kg jagung pipilan telah didisain dan dikonstruksi dengan konsumsi energi spesifik cukup rendah yaitu berkisar antara 5.4-5.6 MJ/kg air yang diuapkan untuk menurunkan kadar air dari 25 sampai 16% b.b. dan 17 sampai 13% b.b.
2. Dengan pengadukan selama 5 menit setiap 15 menit, pengering tersebut mampu mengeringkan biji jagung dengan variasi kadar air arah radial kurang dari 1.1% b.b. Energi yang dibutuhkan untuk pemutaran drum hanya 7% dari total kebutuhan energi.
3. Pengoperasian pada setengah kapasitas penuh membuat kebutuhan energi mekanik untuk pengadukan semakin besar. Pada beban penuh daya yang diperlukan adalah 22.2 W lebih rendah dibandingkan daya pada beban setengah penuh.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Hibah Program Kemitraan AMIn Unit tahun 2007 yang telah membiayai penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema, dan C.W. Hall. 1992. *Drying Cereal Grain*. The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.
- Jubaedah, N.S. 2000. *Mempelajari Karakteristik Pengeringan Tempering Jagung Varietas Hibrida*. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Manalu, L.P. 1999. *Pengering Energi Surya dengan Pengaduk Mekanis untuk Pengeringan Kakao*. Tesis Magister. IPB, Bogor.
- Subekti, D. 1986. *Pengembangan alat Pengering Jagung Model Sumur Untuk Tingkat Pedesaan*. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor
- Nelwan, L.O. 2006. *Study on Modified Convective Rotary Drying of Cocoa Beans*. Laporan Penelitian. IPB.