

Kinerja Pengering Putar Tipe Silinder Horizontal Untuk Pengeringan Kompos Organik Dari Kulit Buah Kakao

Performance of A Horizontal Cylinder Type Rotary Dryer for Drying Process of Organic Compost from Solid Waste Cocoa Pod

Sukrisno Widyotomo¹⁾, Sri-Mulato¹⁾, H. Ahmad²⁾, dan Siswijanto²⁾

Ringkasan

Kulit buah merupakan komponen terbesar dari buah kakao, yaitu lebih dari 70% berat buah masak. Setelah bijinya diambil, kulit buah merupakan sumber potensial sebagai bahan baku pupuk kompos. Salah satu tahapan penting dalam paket teknologi proses produksi kompos organik dari limbah kulit buah kakao adalah pengeringan karena kompos dalam bentuk kering akan lebih mudah dalam proses aplikasi, penyimpanan, dan distribusi. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia telah berhasil melakukan rancangbangun dan pengujian pengering putar tipe silinder horisontal dengan sumber panas *burner* berbahan bakar minyak tanah untuk proses pengering kompos organik dari kulit buah kakao. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kinerja pengering putar tipe silinder horisontal dengan sumber panas *burner* minyak tanah untuk proses pengeringan kompos organik dari kulit buah kakao. Bahan yang digunakan adalah kompos organik kulit buah kakao dengan kisaran kadar air 70–75% (basis basah); 70% kompos organik tersebut memiliki ukuran partikel lebih besar dari 4,76 mm, dan 30% berukuran lebih kecil dari 4,76 mm; densitas kamba 690–695 kg/m³. Suhu udara pengeringan yang digunakan 60°C, 80°C, dan 100°C, dengan kecepatan putar silinder pengering 7 rpm, 10 rpm, dan 16 rpm. Hasil uji kinerja pengering menunjukkan bahwa pengering tersebut memiliki kapasitas kerja 102–150 kg/jam tergantung pada suhu pengeringan dan kecepatan putar silinder pengering. Pengering akan memberikan hasil yang optimal pada kondisi kerja suhu pengeringan 100°C dan kecepatan putar silinder pengering 10 rpm. Pada kondisi operasional tersebut diperoleh kapasitas kerja pengeringan 136,14 kg/jam. Untuk memperoleh kadar air 20% diperlukan waktu pengeringan 1,6 jam, nilai densitas kamba dan porositas masing-masing 410 kg/m³, dan 45,15%, serta konsumsi bahan bakar dan efisiensi pengeringan masing-masing 2,57 l/jam, dan 68,34%.

Summary

Cocoa pod husk is the biggest component of cocoa pod, about 70% of total weight of mature pod, and to potentially used as organic compost source. Poten-

1) Peneliti (*Researcher*) dan Ahli Peneliti (*Senior Researcher*); Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jl. P.B. Sudirman 90, Jember 68118, Indonesia.

2) Dosen (*Lecturer*); Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Jl. Mastrip, Jember, Indonesia

tial solid waste of cocoa pod husk from a cocoa processing centre is about 15–22 m³/ha/year. A cocoa plantation needs about 20–30 ton/ha/year of organic matters. One of important steps in compost processing technology of cocoa pod solid waste is drying process. Organic compost with 20% moisture content is more easy in handling, application, storage and distribution. Indonesian Coffee and Cocoa Research Institute has designed and tested a horizontal cylinder type rotary dryer for drying process of organic compost from solid waste cocoa pod with kerosene burner as energy sources. The objective of this research is to study performance of a horizontal cylinder type rotary dryer using kerosene burner as energy source for drying process of organic compost from solid waste cocoa pod. The material used was solid waste cocoa pod with 70–75% moisture content (wet basis), 70% size particle larger than 4.76 mm, and 30% size particle less than 4.76 mm, 690–695 kg/m³ bulk density. Drying process temperatures treatment were 60°C, 80°C, and 100°C, and cylinder rotary speed treatments were 7 rpm, 10 rpm, dan 16 rpm. The results showed that dryer had capacity about 102–150 kg/h depend on drying temperature and cylinder rotary speed. Optimum operation condition at 100°C drying temperature, and 10 rpm cylinder rotary speed with drying time to reach final moisture content of 20% was 1,6 h, capacity 136,14 kg/h, bulk density 410 kg/m³, porosity 45,15%, kerosene consumption as energy source was 2,57 l/h, and drying efficiency 68,34%.

Key words : cocoa, drying, rotary dryer, compost, waste

PENDAHULUAN

Peningkatan produksi akibat Revolusi Hijau yang memang menghasilkan peningkatan produksi terutama pangan di dunia ketiga ternyata tidak dapat berlangsung lama. Dari berbagai penelitian disimpulkan bahwa tanpa bahan organik, sistem pertanian akan bersifat rapuh (*fragile*), mudah tergundang hanya dengan perubahan lingkungan yang kecil (Bergeret, 1987). Abdoellah (2000) melaporkan bahwa dengan kekhawatiran adanya pengaruh buruk terhadap kesehatan akibat pencemaran pupuk kimia, kini disadari peran yang dimainkan oleh bahan organik, dan pekebun berusaha kembali meningkatkan penggunaan bahan organik

serta mengurangi penggunaan pupuk buatan (anorganik). Kecenderungan tersebut memunculkan sistem pertanian yang dikenal dengan sistem pertanian berkelanjutan dengan masukan luar rendah. Di samping berfungsi utama untuk memperbaiki sifat fisika tanah (sebagai *soil conditioner*), bahan organik juga membantu mengubah unsur hara tanah yang semula tidak tersedia menjadi tersedia, serta mengandung unsur hara yang diperlukan tanaman meskipun dalam jumlah sedikit.

Kebutuhan bahan organik bagi kebun kakao rata-rata adalah 20–30 ton/ha/tahun. Makin meningkatnya harga pupuk anorganik yang begitu tajam pada beberapa tahun

terakhir, telah mendorong pengelola perkebunan kakao untuk memanfaatkan sebanyak mungkin pupuk organik (kompos) sebagai bahan pengganti atau substitusi pupuk anorganik (Erwiyono *et al.*, 2002; Sri-Mulato *et al.*, 2005). Baon *et al.* (2005) melaporkan bahwa rendahnya kandungan bahan organik tanah di perkebunan kopi dan kakao disebabkan oleh ketidakseimbangan antara penambahan dan hilangnya bahan organik dari tanah, utamanya melalui proses oksidasi biologis dalam tanah. Banyak upaya telah dilakukan untuk meningkatkan kandungan bahan organik tanah melalui pemberian pupuk kandang dan kompos, namun masalah yang dihadapi adalah ketidakcukupan persediaan dan kualitas bahan baku kompos serta transportasi. Sebagai contoh, kadar bahan organik pada sebagian besar tanah pertanaman kakao di Sulawesi Tengah berstatus sangat rendah sampai rendah yang menjadi kendala pertumbuhan kakao (Maskar *et al.*, 1999).

Komponen utama dari buah kakao adalah kulit buah, plasenta, dan biji. Kulit buah merupakan komponen terbesar dari buah kakao, yaitu lebih dari 70% berat buah masak. Persentase biji kakao di dalam buah hanya sekitar 27–29%, sedangkan sisanya adalah plasenta yang merupakan pengikat dari 30 sampai 40 biji (Widyotomo *et al.*, 2004b). Setelah bijinya diambil, kulit buah merupakan sumber potensial sebagai bahan baku pupuk kompos. Potensi limbah kulit buah kakao dari suatu pabrik pengolahan kakao sebesar 15–22 m³/ha/tahun. Pengomposan limbah biomassa dalam hal ini kulit buah kakao harus dilakukan untuk menghindari pengaruh negatif limbah

tersebut terhadap tanaman akibat nisbah C/N bahan yang tinggi, di samping untuk mengurangi kerapatan (*density*) bahan agar memudahkan dalam aplikasi serta menghindarkan terjadinya pencemaran lingkungan. Laju pengomposan tergantung pada ukuran partikel, kandungan lengas bahan, pengadukan, aerasi dan volume tumpukan (Baon *et al.*, 2005).

Selama ini, proses produksi kompos masih dilakukan secara manual tanpa memperhatikan produktivitas yang tinggi, dan kualitas akhir yang baik. Salah satu tahapan penting dalam paket teknologi proses produksi kompos organik dari limbah kulit buah kakao adalah pengeringan. Selain itu, kompos dalam bentuk kering akan mempermudah proses aplikasi, penyimpanan, dan mempermudah aspek distribusi. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia telah berhasil merekayasa dan menguji coba paket teknologi proses dan alat mesin untuk proses produksi kompos dari kulit buah kakao. Paket tersebut merupakan salah satu rangkaian dari suatu proses pengelolaan kebun kakao terintegrasi yang mengedepankan konsep *zero waste*, produktivitas tinggi dan mutu akhir yang baik (Widyotomo *et al.*, 2007). Pengeringan merupakan operasi rumit yang meliputi perpindahan panas dan massa secara transien proses, seperti transformasi fisik dan kimia yang pada gilirannya dapat menyebabkan perubahan mutu hasil maupun mekanisme perpindahan panas dan massa. Pengeringan terjadi melalui penguapan cairan dengan pemberian panas ke bahan umpan basah (Devahastin, 2000; Sagara, 1990). Pengeringan dilakukan sampai pada kadar air setimbang dengan keadaan udara atmosfer

normal atau pada kadar di saat penurunan kualitas yang disebabkan oleh jamur, aktivitas enzim dan serangga dapat diabaikan (Henderson & Perry, 1976).

Proses pengeringan berdasarkan jenis operasinya diklasifikasikan sebagai tipe *batch* bila bahan dimasukkan ke dalam alat pengering dan pengeringan berlangsung selama periode tertentu, dan tipe kontinu bila bahan dimasukkan dan keluar dari dalam alat pengering secara kontinu (Sagara, 1990; Henderson & Perry, 1976). Pengering tipe *batch* memiliki sistem yang lebih sederhana, harga relatif lebih murah dan dapat digunakan sebagai tempat penyimpanan setelah pengeringan selesai. Salah satu kelemahan pengering tipe *batch* adalah laju pengeringan bahan dengan ukuran partikel relatif kecil lebih lambat jika dibandingkan dengan proses pengeringan dengan sistem kontinu. Syahputra (2006) melaporkan bahwa lebih dari 70% kompos organik kulit buah kakao basah dengan kadar air 70–75% memiliki ukuran partikel lebih besar dari 4,76 mm. Lebih lanjut Nurhadiantoro (2006) melaporkan bahwa untuk mengeringkan kompos kulit buah kakao dari kadar air awal 75% menjadi 20% dengan menggunakan pengering mekanis tipe *batch* membutuhkan waktu 27 jam dengan suhu pengeringan 55–60°C.

Pengering tipe kontinu, sebagai contoh ADS (*American Drying System*) atau MASON, memiliki sistem yang lebih rumit, harga dan biaya operasional relatif mahal serta membutuhkan tempat yang relatif luas untuk setiap satuan kapasitasnya (Henderson & Perry, 1976). Pengering putar merupakan salah satu jenis pengering kontak langsung

yang beroperasi secara kontinu. Bagian utama pengering putar, yaitu silinder pengering yang berputar perlahan dimiringkan beberapa derajat dari bidang horizontal untuk mempermudah perpindahan uapan basah yang dimasukkan pada ujung atas drum, dan bahan kering keluar melalui ujung bawah. Udara pengering mengalir secara aksial melewati drum searah atau berlawanan arah dengan aliran bahan. Pengering jenis ini dapat mengeringkan sejumlah bahan yang memiliki bentuk, ukuran, dan distribusi ukuran yang beragam. Beberapa kelemahan pengering putar antara lain memerlukan biaya investasi, dan biaya pemeliharaan yang cukup tinggi serta tidak disarankan untuk bahan yang mudah pecah dan laju produksi yang rendah (Devahastin, 2000; Anonim, 1990).

Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia telah berhasil merekayasa pengering putar tipe silinder horizontal dengan sumber panas *burner* berbahan bakar minyak tanah untuk proses pengering kompos organik. Pengering dibuat dengan prinsip teknologi tepat guna, dan memaksimalkan penggunaan komponen lokal yang sesuai dengan sumber daya lokal sehingga akan mudah dan murah dalam penggunaan dan perawatannya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja pengering putar tipe silinder horizontal dengan sumber panas *burner* minyak tanah untuk proses pengeringan kompos organik dari kulit buah kakao. Analisis teknis pengoperasian pengering akan dikaji dalam penelitian ini untuk menentukan kondisi operasional optimal yang nantinya dapat dijadikan pedoman baku pengguna pengering pada skala aplikasi di lapangan.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Hasil dan Rekayasa Alat dan Mesin Pengolahan Kopi dan Kakao, Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia pada bulan Juni 2007 sampai dengan Oktober 2007.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kompos organik kulit buah kakao dengan kisaran kadar air berkisar 70–75% (basis basah); 70% kompos organik tersebut memiliki ukuran partikel lebih besar dari 4,76 mm, dan 30% berukuran lebih kecil dari 4,76 mm; densitas kamba antara 690-695 kg/m³, dan telah terpisah dari benda-benda logam dan asing lainnya. Sebelum dikeringkan, kompos organik yang berasal dari bahan dasar kulit buah kakao jenis lindak tersebut diperkecil ukurannya dengan cara pencacahan kemudian dilanjutkan dengan proses pengomposan selama 6 minggu (Syahputra, 2006).

Peralatan dan mesin yang digunakan adalah sebuah pengering putar tipe silinder horizontal dengan sumber panas *burner* berbahan bakar minyak tanah, alat pencatu data suhu berupa komputer dan data *acquisition FLUKE*, alat ukur kecepatan putar (*tachometer*) TECPEL 1501, oven, seri ayakan jenis RETSCH/ASTM, timbangan analitik, dan beberapa alat bantu lainnya.

Deskripsi Pengering Putar Tipe Silinder Horisontal

Kompos kulit buah kakao diumpangkan ke dalam mesin pengering melalui corong pengumpan (*hopper*) dengan laju pengumpanan 220–225 kg/jam. Proses penurunan kadar air terjadi selama kompos berada di dalam silinder putar. Udara panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air dari dalam bahan diperoleh dari *burner* berbahan bakar minyak tanah yang diletakkan di dalam tungku. Proses pengeringan menggunakan sistem berlawanan arah (*counter current*) antara arah bahan masuk dengan aliran udara pengeringan. Udara lingkungan masuk melalui tungku dan ke dalam silinder pengering karena adanya hisapan sebuah kipas sentrifugal. Jumlah putaran per menit silinder pengering dapat diatur sedemikian agar diperoleh kapasitas kerja dengan laju pengeringan kompos yang optimal.

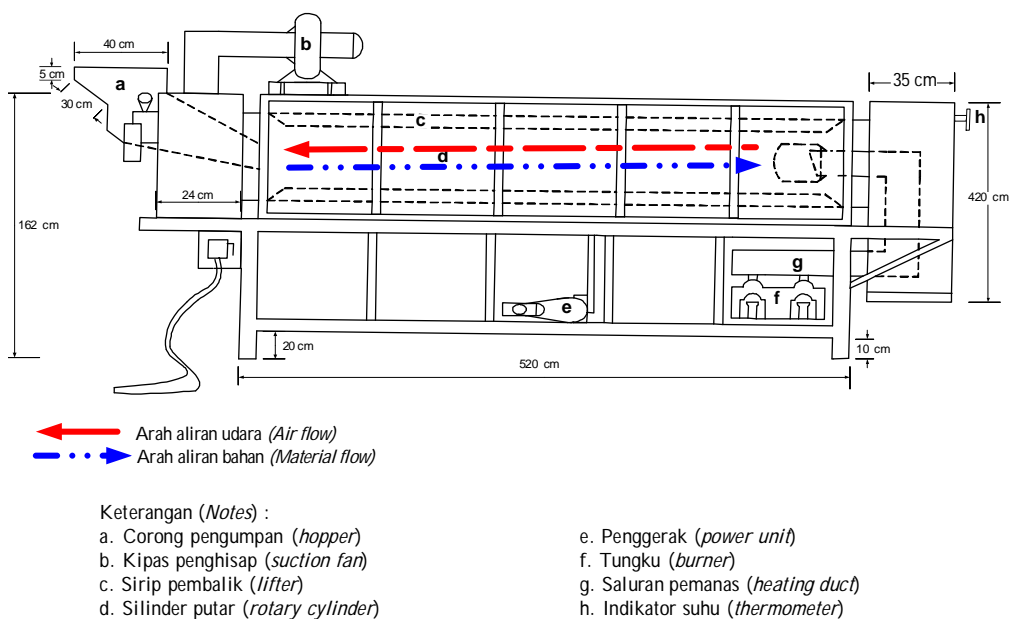
Mesin pengering putar tipe silinder horizontal dengan sumber panas *burner* berbahan bakar minyak tanah memiliki 4 bagian penting, yaitu tungku dengan sumber panas kompor bertekanan (*burner*) berbahan bakar minyak tanah, silinder pengering, kipas penghisap, sistem transmisi, dan rangka. Tungku sebagai ruang penghasil panas untuk proses pengeringan dibuat dari bahan plat baja tebal 6 mm dengan ukuran dimensi panjang, lebar dan tinggi masing-masing 600 mm, 425 mm, dan 450 mm. Dua buah kompor minyak bertekanan (*burner*) berbahan bakar minyak tanah tipe kupu-kupu diletakkan di dalam tungku dan berfungsi sebagai pembangkit panas. *Burner*

memiliki ukuran diameter dan tinggi masing-masing 150 mm dan 250 mm. Tekanan udara di dalam tangki yang berfungsi sebagai unit penampung bahan bakar minyak tanah dijaga pada tekanan tetap 0,2 M.Pa agar panas yang dihasilkan untuk proses pengeringan relative terjaga konstan.

Silinder pengering dibuat dari bahan plat aluminium tebal 4 mm dan memiliki ukuran dimensi panjang dan diameter masing-masing 5200 mm, dan 500 mm. Perbandingan panjang terhadap diameter silinder pengering putar yang umum digunakan pada skala industri berkisar antara 4 sampai 10 (Devahastin, 2000). Sepasang unit pembalik (*lifter*) tipe *strip* dari bahan baja profil siku ukuran 4 x 4 dipasang di sepanjang silinder pengering. Unit pembalik berfungsi sebagai

pengaduk bahan yang dikeringkan selama berada di dalam silinder pengering agar proses penguapan air berlangsung cepat dan diperoleh tingkat keragaman kadar air yang rendah. Untuk menekan panas yang hilang selama proses pengeringan, silinder pengering diselubungi oleh penutup (*housing*) yang berfungsi sebagai isolator panas dan terdiri dari lapisan lembaran baja 1 mm, lapisan *glasswool*, dan lembaran aluminium 2 mm.

Aliran udara panas untuk proses pengeringan berawal dari tungku yang berfungsi untuk meningkatkan suhu udara lingkungan, kemudian masuk ke dalam silinder pengering melalui partikel-partikel bahan yang dikeringkan, dan terakhir dihisap keluar dari sistem pengeringan oleh sebuah



Gambar 1. Sketsa mesin pengering putar tipe silinder horizontal.

Figure 1. Design of a cylinder horizontal type rotary dryer.

kipas sentrifugal. Sebuah kipas sentrifugal dipasang pada posisi sebagaimana ditampilkan pada Gambar 1, dan memiliki laju aliran udara rata-rata 20 m³/menit, tekanan 1,1 k.Pa, berdaya 1 kW, tegangan 380 V.

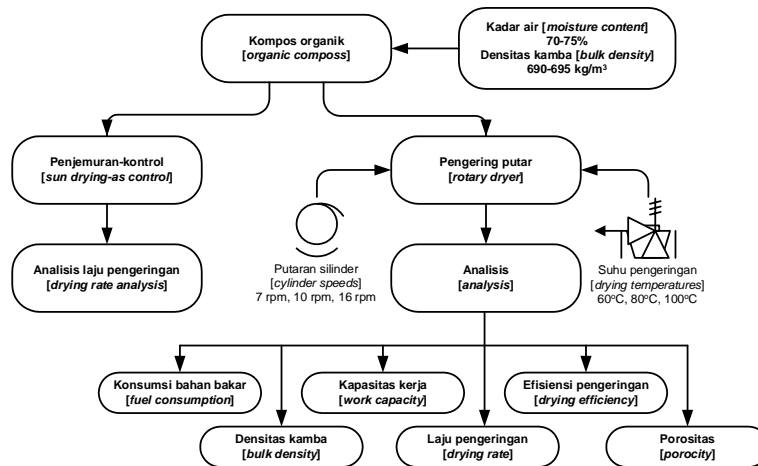
Silinder pengering diputar oleh sebuah motor listrik berdaya 3 HP, 1440 rpm, 220/380 V, 3 fase dengan tipe Y100L₁-4. Penerusan daya dari poros tenaga penggerak ke silinder pengering menggunakan kombinasi transmisi roda gigi-rantai dan puli-sabuk karet V. Putaran poros tenaga penggerak sebelum diteruskan ke silinder pengering diturunkan sampai batas putaran 7–16 rpm dengan menggunakan sebuah unit gigi reduksi (*gear box*). Rangka unit pengering berfungsi untuk menopang seluruh komponen pengering dan dibuat dari besi baja profil persegi 4 x 6. Rangka memiliki ukuran dimensi panjang, lebar dan tinggi masing-masing 5850 mm, 1200 mm, dan 1800 mm.

Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian uji kinerja mesin pengering putar tipe silinder horizontal untuk pengeringan kompos organik dari kulit buah kakao ditampilkan pada Gambar 2.

Perlakuan

Pada penelitian ini dilakukan dua macam variasi perlakuan, yaitu perlakuan suhu pengeringan, dan perlakuan putaran silinder pengering. Perlakuan suhu pengeringan yang digunakan terdiri dari tiga tingkatan, yaitu 60°C, 80°C, dan 100°C. Sedangkan perlakuan putaran silinder pengering terdiri dari tiga tingkatan, yaitu 7 rpm, 10 rpm, dan 16 rpm. Ulangan untuk masing-masing perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali. Sebagai kontrol dilakukan pengeringan kompos organik dari kulit buah kakao dengan cara



Gambar 2. Urutan percobaan pengeringan dan parameter yang diukur.

Figure 2. Drying test procedure and the experimental parameters measured.

penjemuran (*sun drying*) sampai diperoleh kadar air akhir 20% (b.b), dan dilakukan ulangan proses pengeringan sebanyak 3 kali.

Pengukuran

Parameter yang diukur meliputi waktu operasional, berat bahan yang diumpankan, berat bahan yang dihasilkan dari setiap perlakuan, suhu dalam sistem pengeringan, konsumsi bahan bakar, putaran silinder pengering, dan pengukuran beberapa sifat fisik kompos pascapengeringan. Data suhu diperoleh dengan menggunakan alat pencatu data suhu berupa komputer dan data *acquisition FLUKE* dengan pencatatan setiap 5 menit. Penurunan berat dan perubahan densitas kamba maupun porositas bahan dianalisis berdasarkan contoh bahan yang diambil setiap siklus pengeringan.

Analisis Teknis

Kinerja pengeringan kompos organik dari kulit buah kakao dengan pengering putar tipe silinder horizontal meliputi beberapa aspek teknis sebagai berikut :

1. Kapasitas kerja mesin

Kapasitas kerja pengering putar tipe silinder horizontal (K_m) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$K_m, \text{ kg/jam} = \frac{\text{kompos basah, kg}}{\text{waktu, jam (time, h)}} \dots 1$$

2. Kadar air bahan

Untuk menghitung penurunan kadar air bahan dilakukan dengan metode gravimetri terhadap contoh bahan yang keluar melalui corong keluaran setiap satuan waktu tertentu. Kadar air bahan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Brooker *et al.*, 1974) :

$$\dots\dots\dots 2$$

Keterangan (*Notes*) :
 M = kadar air bahan, % (*moisture content, %*)
 W_t = bobot contoh bahan pada saat t, g (*sample weight at t, g*)
 W_d = bobot contoh kering, g (*sample dry weight, g*)

3. Laju pengeringan

Laju pengeringan (dM/dt) ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\delta M}{\delta t} = \frac{(M_i - M_f)}{t} \dots\dots\dots 3$$

Keterangan (*Notes*) :
 dM/dt = laju pengeringan, %/jam (*drying rate, %/h*)
 M_i = kadar air awal, % (*initial moisture content, %*)
 M_f = kadar air akhir, % (*final moisture content, %*)
 t = waktu pengeringan, jam (*drying period, h*)

4. Suhu

Karakteristik perubahan suhu bahan, dan suhu udara di sekitar tungku selama proses pengeringan diukur dan dicatat dengan menggunakan komputer dan data *acquisition FLUKE* setiap interval 5 menit. Titik-titik pengukuran suhu adalah suhu udara lingkungan, suhu bahan, dan suhu udara di sekitar tungku sebagai sumber panas.

5. Konsumsi bahan bakar

Konsumsi bahan bakar diukur secara volumetrik dengan menghitung volume bahan bakar (minyak tanah) yang digunakan untuk menguapkan sejumlah air dalam satu kilogram kompos organik selama proses pengeringan (l/kg).

Keterangan (Notes) :

- h = efisiensi pengeringan, % (*drying efficiency, %*)
- m_k = bobot bahan, kg (*material weight, kg*)
- C_{pb} = panas jenis bahan, kJ/kg.°C (*specific heat of material, kJ/kg.°C*)
- T_k = suhu bahan, °C (*material temperature, °C*)
- T_l = suhu lingkungan, °C (*ambient temperature, °C*)
- m_w = bobot air, kg (*water weight, kg*)
- h_{fg} = panas laten penguapan air, kJ/kg (*latent heat of water evaporation, kJ/kg*)
- N_k = nilai panas bahan bakar, kJ/kg (*calorie value of fuel, kJ/kg*)
- B_b = konsumsi bahan bakar, kg (*fuel consumption, kg*)

6. Densitas kamba

Densitas kamba (D_k) kompos organik dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\dots 4$$

Sebagai pembanding (kontrol) digunakan densitas kamba biji kopi beras yang akan digunakan sebagai bahan uji.

7. Porositas

Porositas bahan (P_o) kompos dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\dots 5$$

Keterangan (Notes) :

- P_o = porositas bahan, % (*material porosity, %*)
- V_f = volume air, l (*water volume, l*)
- V_l = volume bahan, l (*material volume, l*)

8. Efisiensi pengeringan

Efisiensi pengeringan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\dots 6$$

Analisis Regresi

Analisis hubungan antara beberapa parameter penelitian bertujuan untuk memperkirakan atau menaksir nilai suatu variabel sesudah mengetahui nilai-nilai variabel yang lain. Metode penaksiran yang digunakan adalah kuadrat terkecil atau *least squares* karena relatif sederhana dan telah banyak digunakan pada bidang ilmu alam dan eksakta. Koefisien korelasi (r) merupakan ukuran nilai baik tidaknya suatu garis regresi yang terbentuk atas hubungan antara dua parameter penelitian. Koefisien korelasi (r) merupakan akar pangkat dua dari koefisien determinasi. Semakin dekat nilai r pada nilai -1 atau 1, data contoh yang diterangkan dengan persamaan garis regresi yang terbentuk semakin baik (Pasaribu, 1975).

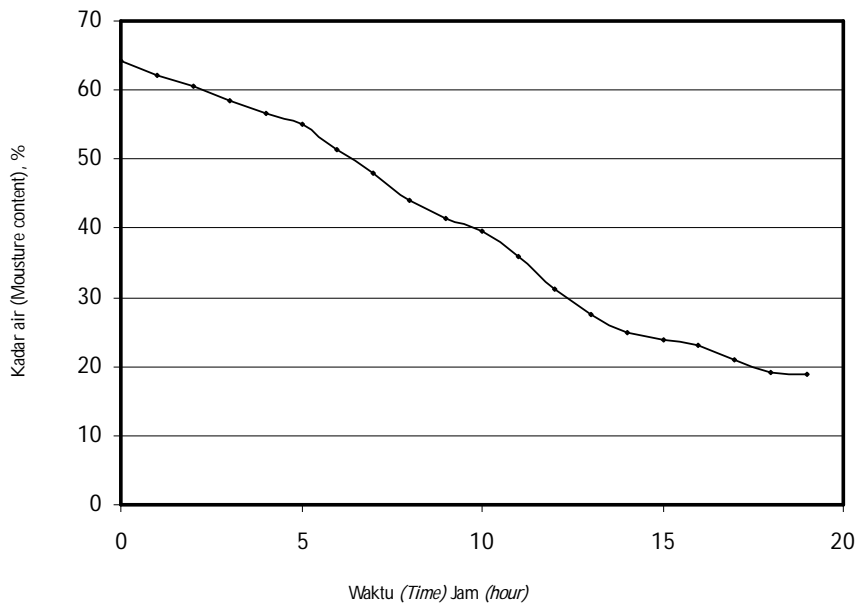
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengeringan bahan dengan metode penjemuran merupakan salah satu cara pengeringan sederhana dan murah dalam hal biaya operasional karena energi yang digunakan merupakan radiasi matahari langsung yang banyak tersedia bebas di alam. Sri Mulato *et al.* (1998) & Sri Mulato *et al.* (1997) melaporkan bahwa radiasi matahari

di daerah perkebunan kopi dan kakao berkisar pada 3-5 kW-jam/m², sebaliknya pada cuaca berawan tingkat radiasi pada 2,5 - 3,25 kW-jam/m² yang merupakan potensi sebagai sumber energi untuk proses pengeringan. Pada pagi hari sekitar pukul 06.00 intensitas radiasi matahari masih relatif rendah (0,1 kW/m²). Setelah pukul 08.00, intensitas radiasi matahari meningkat (> 0,40 kW/m²), dan peningkatan suhu udara mencapai nilai maksimum umumnya terjadi pada tengah hari antara pukul 10.00 sampai 14.00 saat intensitas matahari di atas 0,8 kW/m².

Salah satu kelemahan pengeringan dengan metode penjemuran adalah ketergantungannya terhadap fluktuasi kondisi cuaca. Pada kondisi cuaca berawan atau hujan, rendahnya energi radiasi matahari yang

tersedia mengakibatkan proses pengeringan berlangsung lambat yang dapat memicu pertumbuhan mikro organisme yang dapat menurunkan mutu produk yang dikeringkan (Syarief & Halid, 1991). Kurva penurunan kadar air dan karakteristik laju pengeringan kompos organik dari kulit buah kakao hasil penelitian ditampilkan pada Gambar 3 dan 4. Waktu yang diperlukan untuk menurunkan kadar air kompos dari 70–75% menjadi 20% dengan metode penjemuran adalah selama 18 jam. Waktu pengeringan efektif antara 5 sampai 6 jam per hari atau metode pengeringan terputus (*uncontinuous*) menyebabkan terjadinya penyerapan uap air oleh bahan pada saat menunggu proses pengeringan berikutnya. Kuantitas atau jumlah air yang diserap kompos organik per

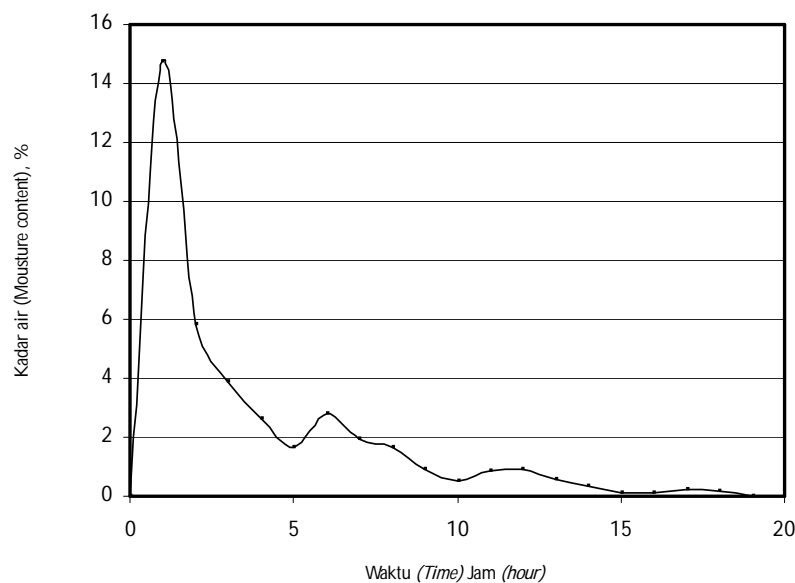


Gambar 3. Penurunan kadar air kompos kulit buah kakao dengan metode penjemuran.
Figure 3. Moisture content decreasing curve of organic compost by sun drying method.

satuan waktu (persen berat kering per jam) lebih detail ditampilkan pada kurva karakteristik laju pengeringan Gambar 4. Walaupun kompos bukan merupakan produk pangan, namun proses pengeringan lambat, dan penyerapan kadar air karena metode pengeringan terputus dapat mengakibatkan peningkatan biaya pengeringan secara keseluruhan. Nurhadiantoro (2006) melaporkan bahwa pengeringan kompos organik dari kulit buah kakao dengan metode penjemuran pada nilai rata-rata intensitas radiasi matahari $292,49 \text{ W/m}^2$ diperlukan waktu 27 jam untuk menurunkan kadar air dari 78% menjadi 20%.

Distribusi suhu udara lingkungan dan suhu udara pengering yaitu setelah dicampur dengan gas panas hasil pembakaran disajikan pada Gambar 5, 6, dan 7. Terlihat bahwa

panas pembakaran minyak tanah yang dibangkitkan oleh *burner* mampu menghasilkan udara pengering dengan suhu yang terkendali. Suhu campuran udara lingkungan dan gas hasil pembakaran dari *burner* dapat diatur dengan mudah dari katup pengatur bahan bakar yang masuk ke dalam *burner*. Udara lingkungan sebelum masuk ke dalam tungku mempunyai suhu awal 30°C dan setelah katup dibuka, maka udara lingkungan yang masuk ke dalam tungku dan tercampur dengan gas hasil pembakaran suhunya dapat meningkat menjadi $60\text{--}100^\circ\text{C}$. Lebih lanjut Widyotomo & Sri-Mulato (2002) melaporkan bahwa kompor bertekanan tipe spiral berbahan bakar minyak tanah untuk proses pengeringan biji kakao dalam pengering tipe palung mampu meningkatkan suhu udara lingkungan dari $24\text{--}30^\circ\text{C}$ menjadi $34\text{--}55^\circ\text{C}$ untuk udara pengeringan.

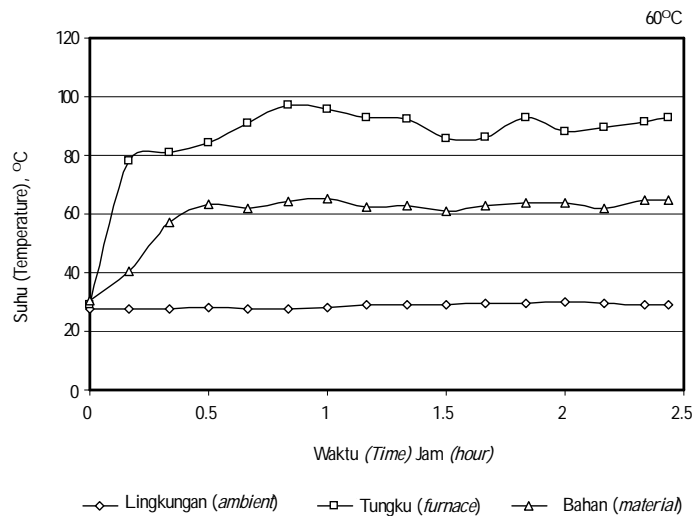


Gambar 4. Karakteristik laju pengeringan kompos kulit buah kakao dengan cara penjemuran.

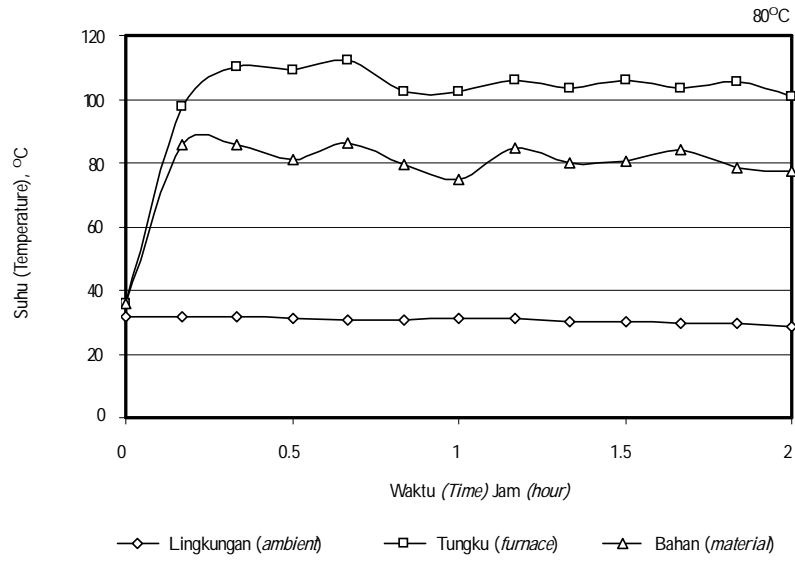
Figure 4. Drying rate characteristic of organic compost by sun drying method.

Laju aliran udara lingkungan masuk ke dalam silinder pengering dapat juga diatur dengan mengatur jumlah putaran mesin penggerak kipas. Makin cepat putaran mesin, makin tinggi putaran kipas dan makin banyak udara lingkungan yang masuk ke dalam silinder pengering. Dengan demikian, suhu udara pengering secara bertahap dapat diatur sesuai dengan tingkat suhu yang dikehendaki. Pada percobaan ini, pemanasan kompos organik di dalam silinder pengering dilakukan secara bertahap dimulai dari suhu rendah sehingga suhu lapisan kompos organik juga meningkat secara perlahan. Hal ini dilakukan untuk menghindari fenomena pengerasan lapisan luar (*case hardening*) yang biasanya terjadi pada bahan yang dikeringkan secara mendadak pada suhu pengeringan tinggi.

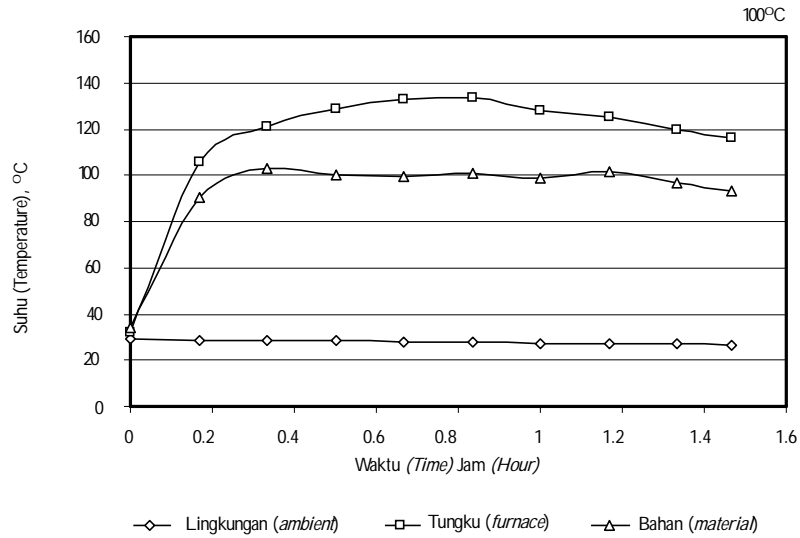
Secara teknis, pengering yang diuji mampu mengeringkan kompos organik dengan hasil pengeringan yang baik. Gambar 8, 9, dan 10 menunjukkan kurva pengeringan kompos organik yang dinyatakan dalam persentase penurunan kadar air sebagai fungsi waktu pengeringan. Bentuk kurva pengeringan ini sangat dipengaruhi oleh faktor internal di antaranya kadar air awal dan jumlah kompos yang dikeringkan, dan faktor eksternal di antaranya suhu, kelembaban dan kecepatan aliran udara pengering. Jika faktor eksternal tidak dijaga konstan, maka laju penurunan kadar air bahan dengan suhu pengeringan yang rendah akan lebih lambat dibandingkan dengan laju penurunan kadar air bahan dengan suhu pengeringan tinggi.



Gambar 5. Distribusi suhu di ruang pengering (60°C) sebagai fungsi waktu pengeringan.
 Figure 5. Temperature distribution in drying chamber (60°C) as drying time function.



Gambar 6. Distribusi suhu di ruang pengering (80°C) sebagai fungsi waktu pengeringan.
 Figure 6. Temperature distribution in drying chamber (80°C) as drying time function.



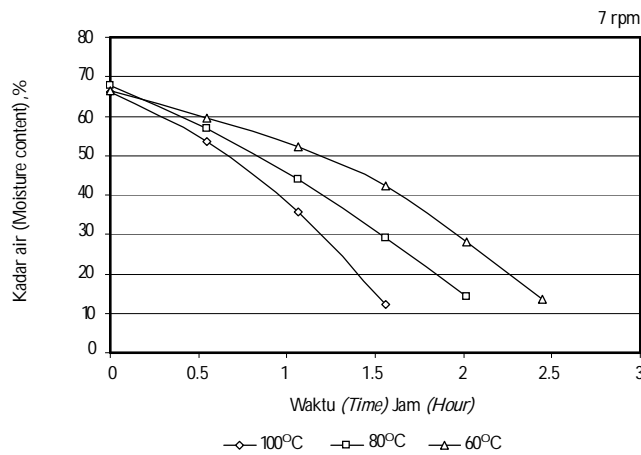
Gambar 7. Distribusi suhu di ruang pengering (100°C) sebagai fungsi waktu pengeringan.
 Figure 7. Temperature distribution in drying chamber (100°C) as drying time function.

Suhu merupakan tolok ukur kandungan energi panas, kelembaban menunjukkan kemampuan udara untuk menyerap uap air, sedangkan aliran udara yang cukup akan mampu membawa uap air keluar ruang pengering dengan lebih cepat (Bravo & Mc.Graw, 1974; Mc.Donald & Freire, 1982). Selain itu, waktu tinggal bahan di dalam silinder pengering juga merupakan salah satu faktor yang berpengaruh pada laju pengeringan bahan. Bahan diangkat ke bagian atas silinder putar oleh pembalik (*lifters*) dan mencurukannya seperti air terjun (Devahastin, 2000). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada perlakuan suhu yang sama, putaran silinder pengering 7 rpm memberikan laju pengeringan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan laju pengeringan pada putaran silinder pengering 10 rpm maupun 16 rpm. Hal tersebut disebabkan dengan semakin cepat putaran silinder pengering, maka waktu tinggal bahan di dalam ruang pengering akan semakin singkat yang berakibat pada

efektivitas penyerapan bahan terhadap panas udara pengeringan untuk menguapkan sejumlah air menjadi rendah. Namun demikian, penggunaan suhu tinggi dengan putaran silinder pengering yang rendah akan dapat menyebabkan timbulnya fenomena pengerasan lapisan luar.

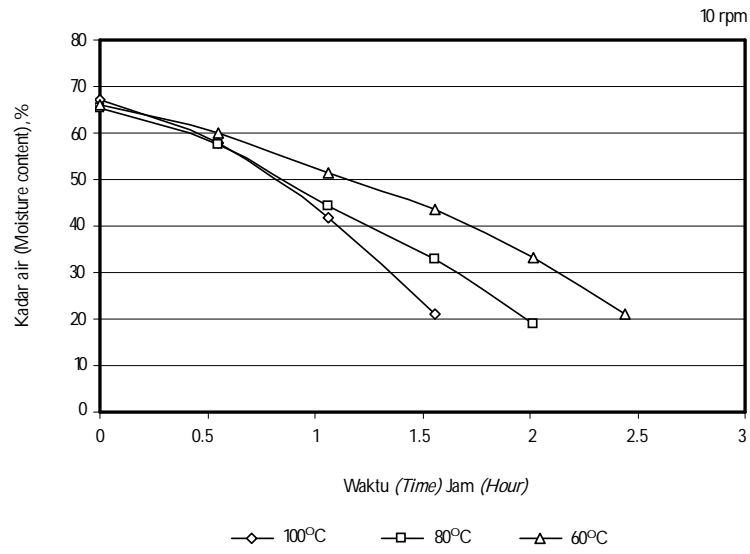
Indikasi bahwa pengering yang diuji dapat dioperasikan secara terkendali dilihat dari konsistensi laju pengeringannya (Gambar 11, 12 dan 13). Analisis penggal garis kurva pengeringan dari masing-masing perlakuan menunjukkan bahwa penguapan air dari kompos berlangsung dalam tiga tahap.

Pada tahap awal proses pengeringan, laju penguapan air berlangsung cepat, penurunan kadar air dari 70–75% menjadi 45–50% membutuhkan waktu antara 1–1,25 jam. Pada tahap ini, air yang menguap dari dalam bahan didominasi oleh air kapiler yaitu air yang terikat dalam rongga-rongga jaringan kapiler yang halus. Syarief & Halid

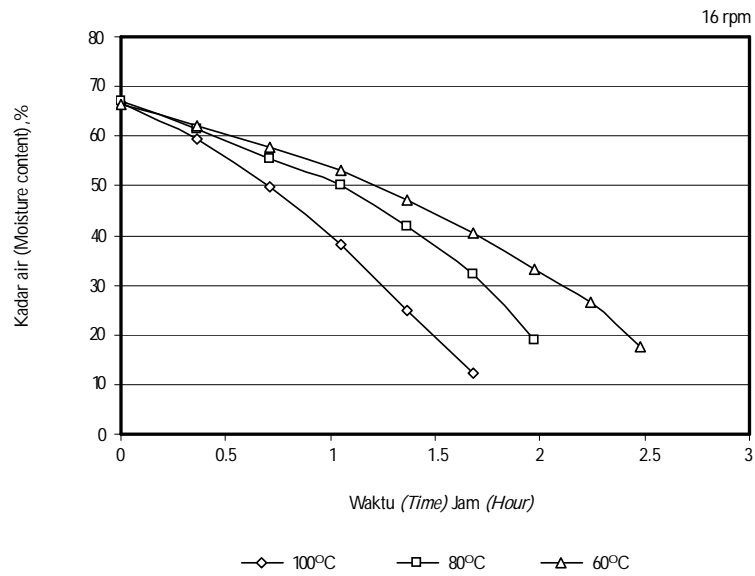


Gambar 8. Penurunan kadar air bahan pada putaran silinder 7 rpm.

Figure 8. Moisture content decreasing at 7 rpm cylinder rotation speed.



Gambar 9. Penurunan kadar air bahan pada putaran silinder 10 rpm.
Figure 9. Moisture content decreasing at 10 rpm cylinder rotation speed.



Gambar 10. Penurunan kadar air bahan pada putaran silinder 16 rpm.
Figure 10. Moisture content decreasing at 16 rpm cylinder rotation speed.

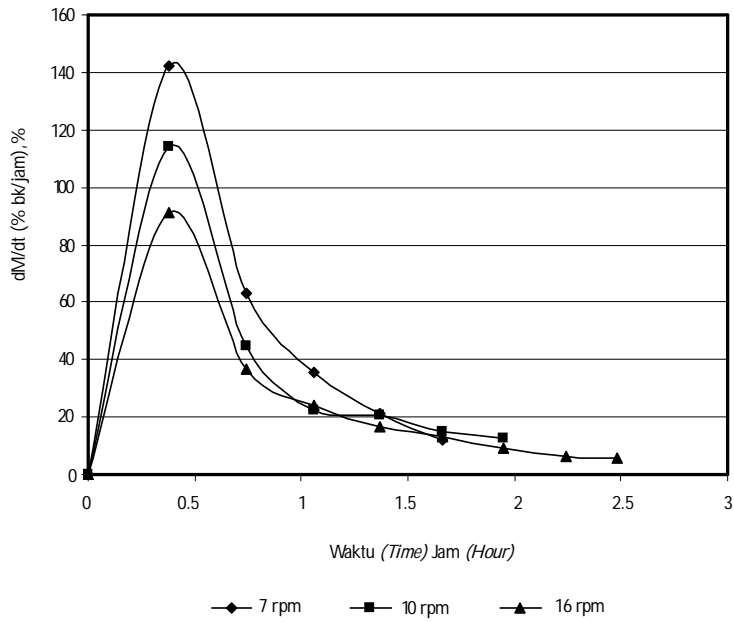
(1991) melaporkan bahwa air kapiler memiliki tekanan uap yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan tekanan uap bebas, suatu petunjuk bahwa faktor kecepatan aliran udara lebih berpengaruh terhadap pengeringan daripada faktor cuaca. Kecepatan aliran udara yang tinggi diperlukan untuk membawa uap air ke luar ruang pengering agar tidak terjadi kejenuhan udara lembab. Sebaliknya laju pengeringan di lantai jemur dengan sumber panas radiasi matahari cenderung lambat karena hanya mengandalkan aliran udara alamiah (angin) (Ong Kheng Hoi, 1977; Hardwood *et al.*, 1983). Hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan metode penjemuran, untuk menguapkan air dalam jumlah yang sama diperlukan waktu 6–8 jam.

Pada tahap kedua proses pengeringan, laju penguapan air sebesar 15–20%, yaitu dari 45–50% menjadi 30% membutuhkan waktu yang relatif sama dengan tahap awal proses pengeringan. Pada tahap ini, udara panas yang dihasilkan oleh *burner* berbahan bakar minyak tanah sangat berpengaruh terhadap laju penguapan air yang terkandung di dalam bahan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan metode penjemuran, untuk menguapkan air dalam jumlah yang sama diperlukan waktu 5–6 jam. Pada tahap ini, air yang menguap dari dalam bahan didominasi oleh air terlarut yaitu air yang terdapat dalam bahan padat dan seakan-akan larut dalam bahan tersebut. Apabila air terlarut akan diuapkan dari suatu bahan, maka air tersebut harus berdifusi dari bagian dalam melalui bahan-bahan padat (Sri - Mulato *et al.*, 1997; Syarief & Halid, 1991).

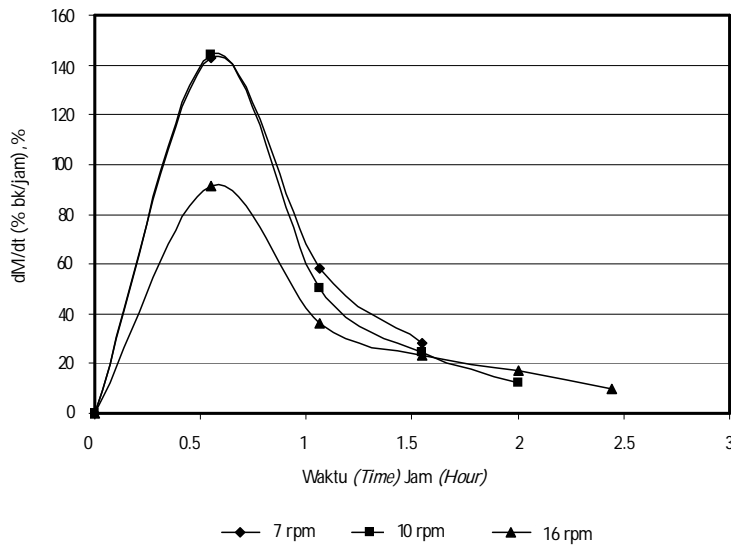
Pada tahap akhir proses pengeringan, penurunan kadar air kompos relatif sangat lambat karena permukaan bahan telah kering dan air yang tersisa berada di dalam jaringan bahan. Kurva pengeringan cenderung mendatar secara asimtotis mendekati kadar air 20%. Sisa air terlarut terikat kuat di dalam jaringan bahan. Molekul air harus berdifusi secara perlahan untuk mencapai permukaan bahan agar mudah diuapkan. (Sri -Mulato *et al.*, 1996). Pada tahap ini, laju difusi merupakan faktor yang menentukan laju pengeringan. Akhir pengeringan dicapai setelah proses pengeringan berlangsung selama 1,5–2,5 jam tergantung suhu dan kecepatan putar silinder pengering. Di lain pihak, untuk mencapai kadar air yang sama pada proses pengeringan dengan metode penjemuran diperlukan waktu efektif lebih dari 18 jam.

Nilai koefisien korelasi tertinggi diperoleh pada suhu pengeringan 100°C, diikuti dengan 60°C, dan terendah 80°C. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan suhu pengeringan 100°C terhadap kapasitas kerja mesin ternyata lebih baik jika dibandingkan suhu pengeringan 60°C, dan 80°C. Namun demikian, kapasitas kerja mesin yang tinggi belum menjamin diperolehnya kondisi operasional mesin yang terbaik karena kapasitas kerja yang tinggi tidak berkorelasi positif terhadap efektivitas mesin (Widyotomo *et al.*, 2005b).

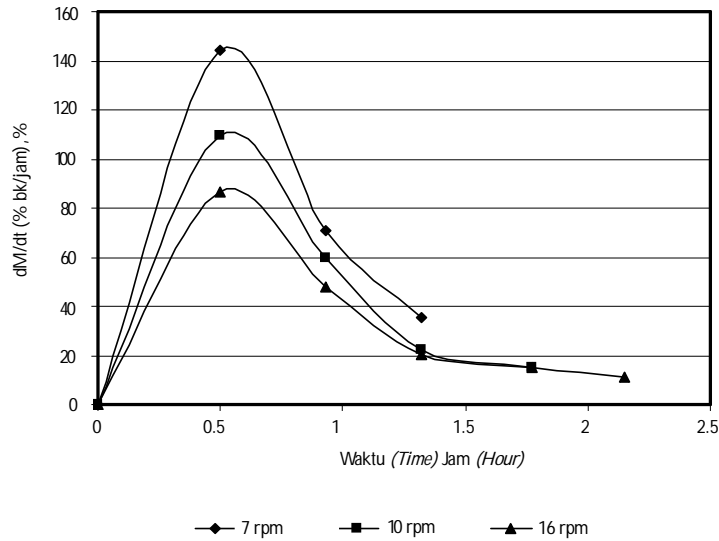
Densitas merupakan salah satu sifat dasar setiap bahan biologis yang selain sangat tergantung pada karakteristik ukuran bahan juga berhubungan dengan porositas bahan tersebut (Wirakartakusumah *et al.*, 1988).



Gambar 11. Karakteristik laju pengeringan kompos pada suhu udara pengering 60°C.
Figure 11. Drying rate characteristic of organic compost at 60°C drying temperature.



Gambar 12. Karakteristik laju pengeringan kompos pada suhu udara pengering 80°C.
Figure 12. Drying rate characteristic of organic compost at 80°C drying temperature.



Gambar 13. Karakteristik laju pengeringan kompos pada suhu udara pengering 100°C.
 Figure 13. Drying rate characteristic of organic compost at 100°C drying temperature.

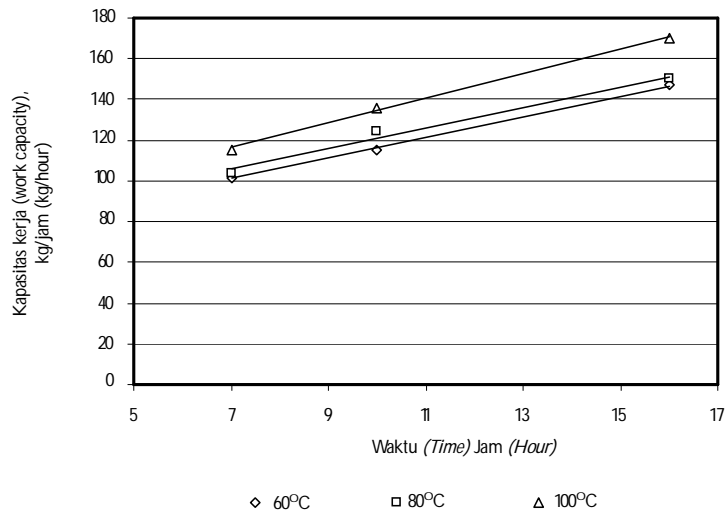
Kompos organik dari kulit buah kakao kering merupakan salah satu produk perkebunan yang memiliki sifat higroskopis, yaitu mudah menyerap uap air dalam kondisi lembab, dan melepas uap air dalam kondisi suhu tinggi. Sebelum proses pengeringan bahan uji berupa kompos organik segar memiliki nilai densitas kamba antara 690-695 kg/m³. Lebih lanjut Syarief & Irawati (1988) melaporkan bahwa besar kecilnya densitas kamba suatu bahan pertanian dipengaruhi oleh kadar air, ukuran partikel dan kekasaran permukaannya.

Densitas kamba kompos organik dari kulit buah kakao sebelum dan pasca-pengeringan dengan beberapa perlakuan suhu dan putaran silinder pengering ditampilkan pada Gambar 15, 16, dan 17. Pada suhu pengeringan yang sama maka nilai densitas kamba bahan uji akan semakin rendah

seiring dengan lamanya waktu pengeringan. Densitas kamba sebesar 690 kg/m³ turun menjadi 380 kg/m³ setelah dikeringkan secara mekanis dengan pengering tipe bak selama 27 jam sampai kadar air 17%.

Tabel 2, 3, dan 4 menunjukkan persamaan regresi polinomial dan koefisien korelasi (R) dari hubungan antara waktu pengeringan terhadap densitas kamba bahan yang dihasilkan. Persamaan regresi tersebut sangat berguna karena dapat digunakan untuk memperkirakan densitas kamba yang dihasilkan jika silinder pengering berputar pada kecepatan di antara 7 sampai 16 rpm dan pada suhu pengeringan antara 60 sampai 100°C.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada perlakuan putaran silinder pengering 7 rpm, porositas kompos organik meningkat



Gambar 14. Kapasitas kerja mesin pengeringan dari beberapa perlakuan.
 Figure 14. Work capacity of rotary dryer from several treatments.

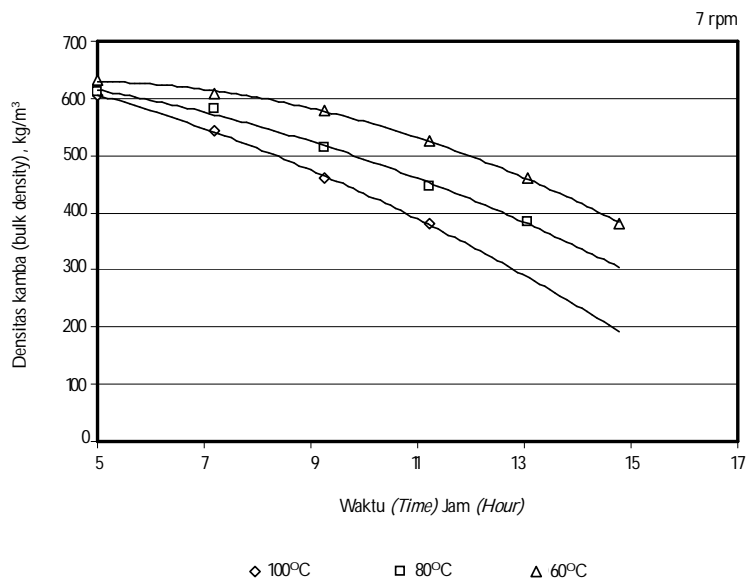
Tabel 1. Persamaan regresi linier kapasitas pengeringan dari beberapa perlakuan suhu
 Table 1. Linier regression equations of drying capacity from several temperature treatments

Suhu, °C Temperature, °C	Persamaan garis linier regresi Linier regression equations	Koefisien korelasi, R Coef. of correlation, R
60	$Y = 5.0614X + 65.654$	0.9987
80	$Y = 5.04X + 70.4$	0.9923
100	$Y = 6.0181X + 74.348$	0.9993

Keterangan (Note) : X adalah putaran silinder pengering (rpm), dan Y adalah kapasitas pengeringan (kg/jam) (X is rotation speed (rpm), and Y is drying capacity kg/hour).

masing-masing 15,25% pada suhu pengeringan 100°C; 13,72% pada suhu pengeringan 80°C; dan 9,27% pada suhu pengeringan 60°C setelah proses pengeringan berlangsung selama 1,5 jam. Pada perlakuan putaran silinder pengering 10 rpm, porositas kompos organik meningkat masing-masing 10,99% pada suhu pengeringan 100°C; 10,29% pada suhu pengeringan 80°C; dan

9,32% pada suhu pengeringan 60°C setelah proses pengeringan berlangsung selama 1,5 jam. Sedangkan pada perlakuan putaran silinder pengering 16 rpm, porositas kompos organik meningkat masing-masing 9,12% pada suhu pengeringan 100°C; 7,92% pada suhu pengeringan 80°C; dan 7,11% pada suhu pengeringan 60°C setelah proses pengeringan berlangsung selama 1,5



Gambar 15. Penurunan densitas kamba bahan pada putaran silinder 7 rpm.

Figure 15. Bulk density decreasing of organic compost at 7 rpm cylinder rotation speed.

Tabel 2. Persamaan garis polinomial densitas kamba bahan dari beberapa perlakuan suhu (7 rpm)

Table 2. Polynomial equations of materials bulk density from several temperature treatment (7 rpm)

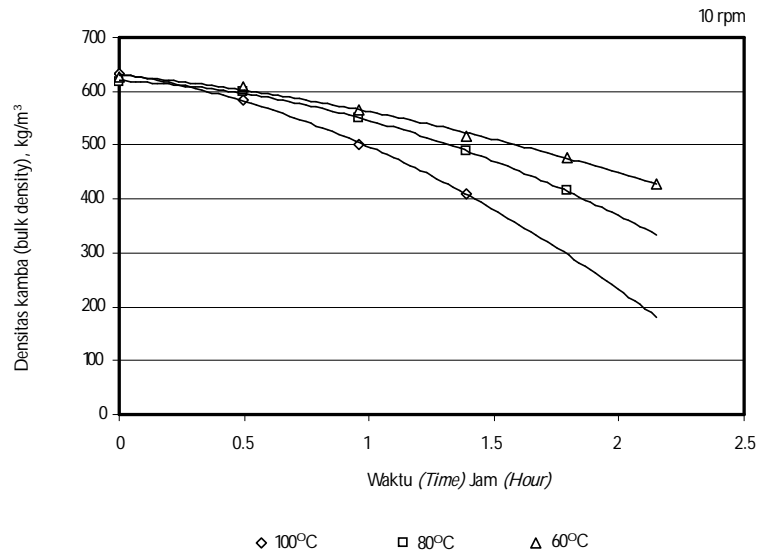
Suhu, °C Temperature, °C	Persamaan garis polinomial Polynomial equations	Koefisien korelasi, R Coef. corelation,
60	$Y = -37.622X^2 - 8.9605X + 629.56$	0.9994
80	$Y = -25.254X^2 - 65.29X + 614.93$	0.9973
100	$Y = -26.172X^2 - 105.47X + 606.23$	0.9996

Keterangan (Note): X waktu pengeringan, jam dan Y adalah densitas kamba, kg/m³ (X is drying time, hour and Y is bulk density, kg/m³).

jam. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan semakin lama waktu tinggal bahan di dalam ruang pengering maka laju penguapan air akan semakin cepat dan rongga yang terbentuk di dalam pori-pori bahan akan semakin besar.

Tabel 3, 4 dan 5 menunjukkan per-

samaan regresi polinomial dan koefisien korelasi (R) dari hubungan antara waktu pengeringan terhadap densitas kamba bahan yang dihasilkan. Persamaan regresi tersebut sangat berguna karena dapat digunakan untuk memperkirakan densitas kamba yang dihasilkan jika silinder pengering berputar pada kecepatan di antara 7 sampai 16 rpm



Gambar 16. Penurunan densitas kamba bahan pada putaran silinder 10 rpm.
 Figure 16. Bulk density decreasing of organic compost at 10 rpm cylinder rotation speed.

Tabel 3. Persamaan garis polinomial densitas kamba bahan dari beberapa perlakuan suhu (10 rpm)
 Table 3. Polynomial equations of materials bulk density from several temperature treatment (10 rpm)

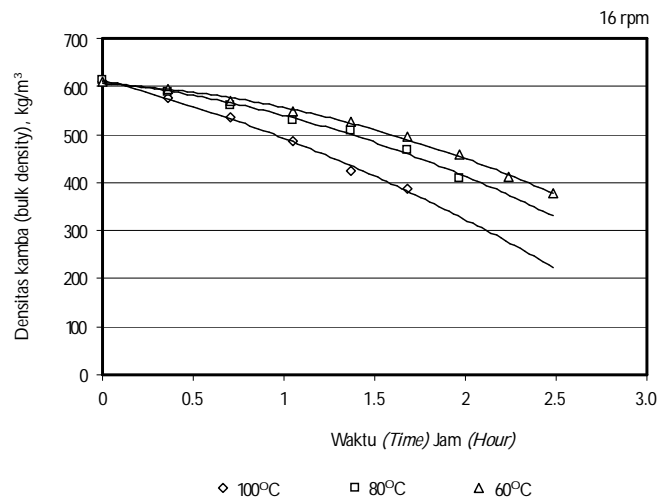
Suhu, °C Temperature, °C	Persamaan garis polinomial Polynomial equations	Koefisien korelasi, R Coef. correlation,
60	$Y = -23.002X^2 - 45.071X + 630.26$	0.9991
80	$Y = -51.969X^2 - 21.548X + 619.56$	0.9997
100	$Y = -64.851X^2 - 70.955X + 632.73$	0.9994

Keterangan (Note) : X waktu pengeringan, jam dan Y adalah densitas kamba, kg/m³ (X is drying time, hour, and Y is bulk density, kg/m³).

dan pada suhu pengeringan antara 60 sampai 100°C.

Konsumsi bahan bakar untuk proses pengeringan kompos dengan perlakuan kecepatan putar silinder pengering dan suhu pengeringan ditampilkan pada Gambar 21. Konsumsi bahan bakar minyak akan semakin tinggi dengan semakin cepat putaran silinder pengering, dan semakin tinggi suhu penge-

ringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan semakin cepat putaran silinder pengering, maka efektivitas penguapan air dari bahan akan semakin rendah. Sedangkan dengan semakin tinggi suhu pengeringan, maka energi yang dibutuhkan untuk meningkatkan suhu udara lingkungan akan semakin besar sehingga diperlukan aliran bahan bakar ke burner yang lebih tinggi.



Gambar 17. Penurunan densitas kamba bahan pada putaran silinder 16 rpm.
 Figure 17. Bulk density decreasing of organic compost at 16 rpm cylinder rotation speed.

Tabel 4. Persamaan garis polinomial densitas kamba bahan dari beberapa perlakuan suhu (16 rpm)
 Table 4. Polynomial equations of materials bulk density from several temperature treatment (16 rpm)

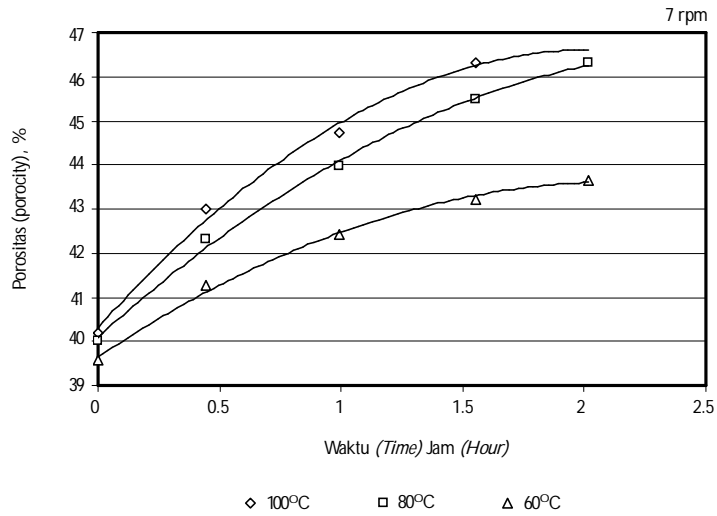
Suhu, °C Temperature, °C	Persamaan garis polinomial Polynomial equations	Koefisien korelasi, R Coef. correlation,
60	$Y = -28.277X^2 - 21.389X + 605.63$	0.9985
80	$Y = -28.87X^2 - 40.300X + 608.94$	0.9951
100	$Y = -23.575X^2 - 98.155X + 613.42$	0.9979

Keterangan (Note): X waktu pengeringan, jam dan Y adalah densitas kamba, kg/m³ (X is drying time, hour and Y is bulk density, kg/m³).

Sebagai sumber energi untuk menghasilkan udara pengeringan adalah minyak tanah di dalam kompor bertekanan (*burner*). Minyak tanah merupakan senyawa hidrokarbon yang jika direaksikan dengan oksigen dari udara akan mengeluarkan sejumlah panas karena reaksinya bersifat eksotermis berikut:

Minyak tanah umumnya mengandung senyawa sulfur (S) yang pada proses pembakaran akan bereaksi dengan oksigen sesuai persamaan berikut:

Hasil analisis nilai kalori pembakaran minyak adalah 8900 kJ/kg. Nilai ini merupakan hasil panas reaksi secara kumulatif dari pembakaran senyawa karbon (C), hidrogen (H) dan sulfur (S) yang terkandung di dalam minyak tanah. Mekanisme pembakaran minyak tanah dengan oksigen dilakukan pada sebuah *burner*. Minyak tanah dimasukkan ke dalam bejana tekan yang dibuat dari baja dan kemudian dipompa sampai diperoleh tekanan di dalam bejana



Gambar 18. Peningkatan porositas bahan pada putaran silinder 7 rpm.
 Figure 18. Porosity increasing of organic compos at 7 rpm cylinder rotation speed.

Tabel 5. Persamaan garis polinomial porositas bahan dari beberapa perlakuan suhu (7 rpm)
 Table 5. Polynomial equations of materials porosity from several temperature treatment (7 rpm)

Suhu, °C Temperature, °C	Persamaan garis polinomial Polynomial equations	Koefisien korelasi, R Coef. correlation, R
60	$Y = -1.5068X^2 + 6.1697X + 40.305$	0.9966
80	$Y = -0.951X^2 + 4.9704X + 40.097$	0.9986
100	$Y = -0.8551X^2 + 3.6865X + 39.644$	0.9978

Keterangan (Note): X waktu pengeringan (jam), dan Y adalah porositas, % (X is drying time (hour), and Y is porosity, %).

mencapai 0,2 M.Pa. Bejana tekan dilengkapi dengan penyalur minyak yang dibuat dari pipa tembaga. Keluaran minyak bertekanan dari bejana menuju burner dilewatkan sebuah katup putar sehingga debit minyak dapat

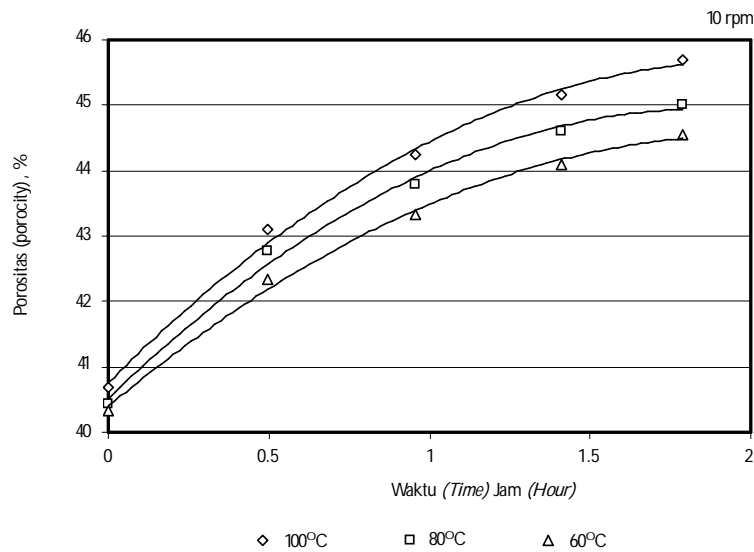
.....7

.....8

diatur dan disesuaikan dengan tingkat pembakaran serta suhu pengeringan yang diinginkan.

.....9

Laju aliran minyak yang kecil menyebabkan tekanan pada lubang semprot (nozzle) burner juga mengecil. Proses



Gambar 19. Peningkatan porositas bahan pada putaran silinder 10 rpm.

Figure 19. Porosity increasing of organic compos at 10 rpm cylinder rotation speed.

Tabel 6. Persamaan garis polinomial porositas bahan dari beberapa perlakuan suhu (10 rpm)

Table 6. Polynomial equations of materials porosity from several temperature treatments (10 rpm)

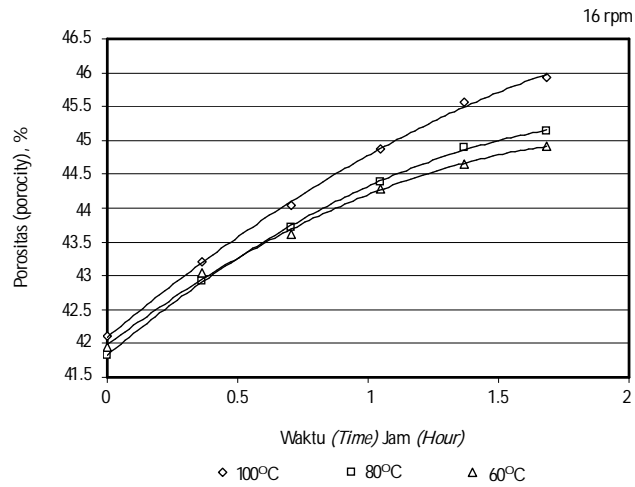
Suhu, °C Temperature, °C	Persamaan garis polinomial Polynomial equations	Koefisien korelasi, R Coef. corelation, R
60	$Y = -1.2156X^2 + 4.9002X + 40.759$	0.9978
80	$Y = -1.2821X^2 + 4.7621X + 40.517$	0.9975
100	$Y = -1.0159X^2 + 4.1082X + 40.397$	0.9983

Keterangan (Note) : X waktu pengeringan, jam dan Y adalah porositas, % (X is drying time, hour and Y is porosity, %).

atomisasi minyak bakar kurang berjalan secara optimal. Reaksi pembakaran butiran minyak dengan oksigen yang seharusnya mengikuti persamaan 7 dan 8 sebagaimana tersebut di atas menjadi terganggu dan sebagai gantinya adalah persamaan reaksi 10 dan 11.

Salah satu indikasi dari terjadinya reaksi 10 dan 11 adalah warna api menjadi kuning-

kemerahan dan pembentukan jelaga berwarna hitam karena pembentukan gas karbon-monoksida (CO) dalam jumlah yang banyak. Jelaga tersebut dapat menyebabkan kontaminasi bau dan warna pada permukaan gabah hasil pengeringan. Sebaliknya, jika reaksi pembakaran mengikuti persamaan 7 dan 8, warna api menjadi sedikit kuning-kebiruan dan asap berwarna putih.



Gambar 20. Peningkatan porositas bahan pada putaran silinder 16 rpm.

Figure 20. Porosity increasing of organic compost at 16 rpm cylinder rotation speed.

Tabel 7. Persamaan garis polinomial porositas bahan dari beberapa perlakuan suhu, 16 rpm

Table 7. Polynomial equations of materials porosity from several temperature treatment, 16 rpm

Suhu, °C Temperature, °C	Persamaan garis polinomial Polynomial equations	Koefisien korelasi, R Coef. correlation, R
60	$Y = -0.5545X^2 + 3.2453X + 42.089$	0.9994
80	$Y = -0.7669X^2 + 3.2668X + 41.822$	0.9998
100	$Y = -0.6976X^2 + 2.9178X + 41.978$	0.9969

Keterangan (Note) : X waktu pengeringan, jam dan Y adalah porositas, % (X is drying time, hour and Y is porosity, %).

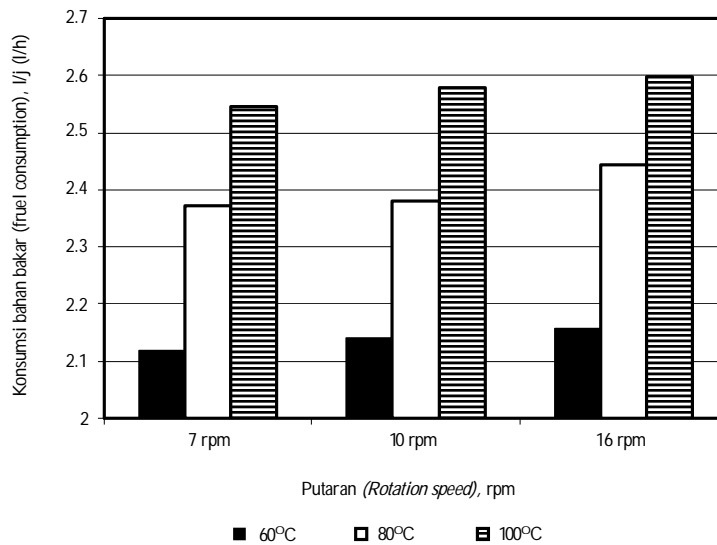
.....10

.....11

Efisiensi pemanfaatan energi

Sumber energi yang mendukung operasi alat pengering terdiri atas dua jenis, yaitu pertama adalah energi thermal untuk pemanasan udara pengering, dan kedua adalah energi mekanik untuk menggerakkan kipas sentrifugal. Energi thermal diperoleh

dari pembakaran minyak tanah dari 2 buah burner tipe kupu-kupu, sedangkan energi mekanik dihasilkan dari sebuah motor listrik berdaya 3 HP, 1440 rpm, 220/380 V, 3 fase. Pada percobaan ini tercatat bahwa laju pembakaran minyak tanah oleh dua burner mampu menghasilkan energi panas sebesar 112–183 MJ, sedangkan energi thermal yang dibutuhkan untuk pemanasan sekitar 99–108 MJ. Widyotomo *et al.* (2005a) melaporkan bahwa burner tipe kupu-kupu sebagai sumber panas untuk udara pengeringan mempunyai keluaran panas



Gambar 21. Konsumsi bahan bakar pengeringan kompos kulit buah kakao.

Figure 21. Kerosene consumption for organic compost drying process.

Tabel 8. Persamaan regresi linier konsumsi bahan bakar dari beberapa perlakuan

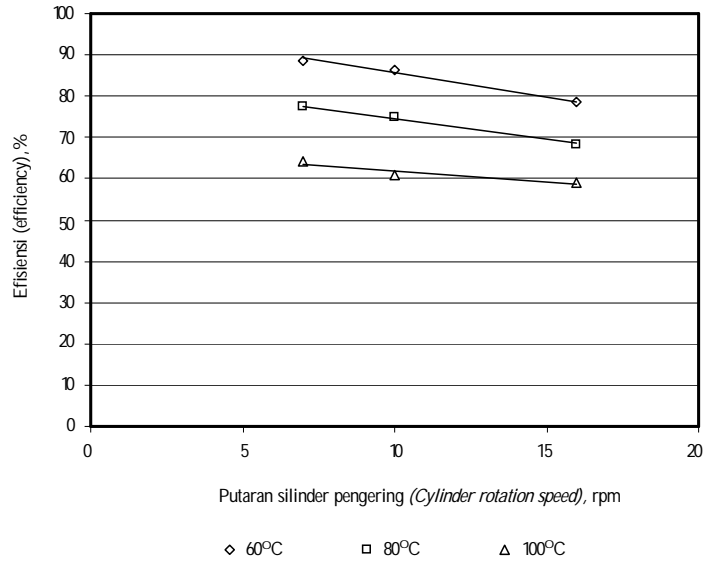
Table 8. Linier regression equations of machine fuel consumption from several treatments

Suhu, °C Temperature, °C	Persamaan garis polinomial Polynomial equations	Koefisien korelasi, R Coef. corelation, R
60	$Y = 0.0042X + 2.0923$	0.9700
80	$Y = 0.0083X + 2.3067$	0.9713
100	$Y = 0.0054X + 2.5152$	0.9541

Keterangan (Note) : X adalah putaran silinder pengering, rpm dan Y adalah konsumsi bahan bakar, l/h (*X is rotation speed, rpm and Y is machine fuel consumption, l/h*).

minimal 53,887 MJ/jam. Efisiensi thermal untuk pemanasan udara pengering merupakan perbandingan antara energi thermal yang dapat diserap oleh udara pengering pada laju aliran udara tertentu dengan energi yang diperoleh dari pembakaran minyak tanah dari dua buah *burner*. Dari perbandingan keduanya diperoleh nilai efisiensi thermal sebagaimana ditampilkan pada Gambar 22.

Efisiensi thermal pengeringan kompos organik dari kulit buah kakao pada suhu pengeringan antara 60 sampai 100°C dengan putaran silinder pengering 7 sampai 16 rpm berkisar pada 58,53–88,57%. Devahastin (2000) melaporkan bahwa efisiensi thermal pengering putar berkisar pada 30–60%.



Gambar 22. Efisiensi thermal pengering pada beberapa perlakuan.

Figure 22. Thermal efficiency from several treatments.

Tabel 9. Persamaan regresi linier efisiensi thermal pengeringan dari beberapa perlakuan

Table 9. Linier regression equations of thermal efficiency from several treatments

Suhu, °C Temperature, °C	Persamaan garis polinomial Polynomial equations	Koefisien korelasi, R Coef. correlation, R
60	$Y = -0.525X + 67.185$	0.9350
80	$Y = -1.0185X + 84.791$	0.9989
100	$Y = -1.1515X + 97.194$	0.9904

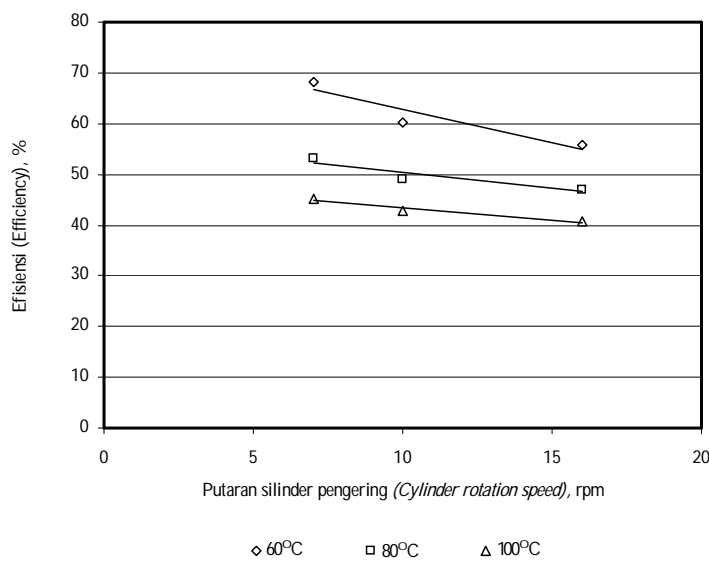
Keterangan : X adalah putaran silinder pengering, rpm dan Y adalah efisiensi thermal pengeringan, % (X is rotation speed, rpm and Y is thermal efficiency, %).

Efisiensi pengeringan dihitung dengan menggunakan persamaan 6, perbandingan antara energi thermal yang dipergunakan untuk penguapan air dari dalam kompos dengan total energi thermal yang diserap oleh udara pengering. Hasil perhitungan efisiensi pengeringan dengan variasi putaran silinder pengering dan suhu udara pengeringan disajikan pada Gambar 23. Efisiensi

pengeringan kompos organik dari kulit buah kakao pada suhu pengeringan antara 60 sampai 100°C dengan putaran silinder pengering 7 sampai 16 rpm berkisar pada 40,69–68,34%. Hasil tersebut sesuai Nurhadiantoro (2006) yang melaporkan bahwa efisiensi thermal pengering tipe bak untuk proses pengeringan kompos organik dari kulit buah kakao sebesar 54,61%.

Hal tersebut menunjukkan bahwa mekanisme pengeringan dan panas yang dihasilkan tungku mampu diserap dengan baik oleh bahan selama proses pengeringan. Namun demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian panas tinggi tidak menjamin mekanisme pengeringan yang ada akan menyebabkan bahan dapat menyerap panas pengeringan maksimal.

Gambar 23 menunjukkan bahwa efisiensi thermal tertinggi, yaitu 88,57% diperoleh pada proses pengeringan dengan suhu udara pengering 100°C dan kecepatan putar silinder pengering 10 rpm, sedangkan efisiensi thermal terendah, yaitu 59,13% diperoleh pada proses pengeringan dengan suhu udara pengering 100°C dan kecepatan putar silinder pengering 16 rpm. Kecepatan



Gambar 23. Efisiensi pengeringan dari beberapa perlakuan.

Figure 23. Drying efficiency from several treatments.

Tabel 10. Persamaan regresi linier efisiensi pengeringan dari beberapa perlakuan

Table 10. Linier regression equations of drying efficiency from several treatments

Suhu, °C Temperature, °C	Persamaan garis linier regresi Linier regression equations	Koefisien korelasi, R Coef. correlation, R
60	$Y = -0.4800X + 48.209$	0.9794
80	$Y = -0.6192X + 56.478$	0.9279
100	$Y = -1.3172X + 75.920$	0.9412

Keterangan (Note) : X adalah putaran silinder pengering, rpm dan Y adalah efisiensi pengeringan, % (X is rotation speed, rpm and Y is drying efficiency, %).

putar silinder pengering yang terlalu cepat mengakibatkan waktu tinggal bahan yang dikeringkan di dalam ruang pengering menjadi singkat sehingga proses perindahan panas berlangsung kurang efektif.

Gambar 23 menampilkan bahwa efisiensi pengeringan berkisar pada 40,69 sampai dengan 68,34% tergantung pada perlakuan kecepatan putar silinder pengering serta suhu udara pengeringan. Sivetz (1963) melaporkan bahwa efisiensi pengeringan buatan (*artificial dryer*) berkisar pada 40-60%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan semakin tinggi kecepatan putar silinder pengering akan diperoleh nilai efisiensi pengeringan yang semakin rendah. Hal yang berbeda dengan kondisi pengeringan gabah dengan menggunakan pengering tipe bak, yaitu makin tinggi berat bahan maka nilai efisiensi pengeringan akan semakin tinggi. Efisiensi pengeringan untuk pengeringan gabah dengan menggunakan pengering tipe bak berkisar pada 15-48% tergantung pada berat gabah yang dikeringkan. Sedangkan efisiensi pengeringan biji kakao dengan menggunakan pengering tipe bak pada beban pengeringan 75% dari kapasitas muat maksimum sebesar 34% (Widyotomo *et al.*, 2005a; Widyotomo *et al.*, 2002).

KESIMPULAN

Hasil uji kinerja pengering putar tipe silinder horizontal untuk proses pengeringan kompos organik kulit buah kakao menunjukkan bahwa pengering tersebut memiliki kapasitas kerja antara 102-150 kg/jam tergantung pada suhu pengeringan dan

kecepatan putar silinder pengering. Pengering akan memberikan hasil yang optimal pada kondisi kerja suhu pengeringan 100°C dan kecepatan putar silinder pengering 10 rpm. Pada kondisi operasional tersebut diperoleh kapasitas kerja pengeringan 136,14 kg/jam, dan untuk memperoleh kadar air 20% diperlukan waktu pengeringan 1,6 jam, nilai densitas kamba dan porositas masing-masing 410 kg/m³, dan 45,15%, serta konsumsi bahan bakar dan efisiensi pengeringan masing-masing 2,57 //jam dan 68,34%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Sdr. Dwi Kintoko Ari Utomo, mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember atas segala bantuan yang telah diberikan sampai dengan selesainya kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdoellah, S. (2000). Substitusi pupuk anorganik dengan pupuk organik pada tanaman kopi. *Pelita Perkebunan*, 16, 142-150.
- Anonim (1990). *Keternakan Pertanian Tingkat lanjut*. JICA-DGHE/IPB Project/ADAET : JTA-9a (132). Fakultas Teknologi Pertanian. IPB. Bogor.
- Baon, J. B.; R. Sukasih & Nurkolis (2005). Laju dekomposisi dan kualitas kompos limbah padat kopi : Pengaruh aktivator dan bahan baku kompos. *Pelita Perkebunan*, 21, 31-42.
- Bergeret, A. (1987). Sistem produksi menurut pendekatan ekologis. p.44-84. *In: J. Metzner & N Daldjoeni (Eds.)*.

- Ekofarming, Bertani Selaras Alam*. Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.
- Bravo, A. & D.R.Mc.Graw (1974). Fundamental artificial drying characteristics of cocoa beans. *Trop. Agric.(Trin.)*, 51, 395–406.
- Brooker, D.B.; F.W. Bakker-Arkema & C.W. Hall (1974). *Drying Cereal Grains*. The AVI Publishing Company Inc., Westport, Connecticut.
- Devahastin, S. (2000). *Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying*. Exergex Corp. brossard, Quebec, Canada.
- Erwiyono, R.; U. Kaspani; N. Sulistyarningsih; G. Sukarno & J. B. Baon (2002). Dampak jangka panjang pemupukan NaCl sebagai pengganti KCl pada kakao terhadap sifat fisik tanah dan perakaran. *Pelita Perkebunan*, 18, 22–30.
- Hardwood, C.; M.F. Henderson & J.H.Haldane (1983). A survey of cocoa dryers in East New Britain. *The Planter*, 59, 363–368.
- Henderson, S.M. & R.L. Perry (1976). *Agricultural Process Engineering*. 3rd Eds. The AVI Pub. Comp, Inc. Wesport, Connecticut.
- Maskar; Syafruddin & S. Abdoellah (1999). Status hara tanah perkebunan kakao rakyat di Sulawesi Tengah. *Pelita Perkebunan*, 15, 22–32.
- Mc.Donald, C.R & E.S.Freire (1982). Investigation of the characteristics of a traditional natural convection cocoa dryer. *Trop. Agric.(Trin.)*, 59, 24–32.
- Nurhadiantoro (2006). *Analisis Efisiensi Berbagai Tipe Pengeringan Pada Proses Pengolahan Kulit Kakao Menjadi Pupuk Organik (kompos)*. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Jember.
- Hoi, O. Kheng (1977). Cocoa beans processing-a review. *The Planter*, 53, 509–530.
- Pasaribu, A. (1975). *Pengantar Statistik*. Ghalia Indonesia. Jakarta.
- Sagara, Y. (1990). *Pengeringan Bahan Olahan dan Hasil Pertanian. Keteknikan Pertanian Tingkat Lanjut*. JICA-DGHE/ IPB Project/ADAET. IPB, Bogor.
- Sivetz, J.C. (1963). *Coffee Processing Technology*. The AVI Publishing Co., Westport, Connecticut.
- Sri-Mulato; O. Atmawinata & Yusianto (1996). Perancangan dan pengujian tungku pembakaran kulit kopi system fluidisasi. *Pelita Perkebunan*, 12, 108–118.
- Sri-Mulato; O. Atmawinata; Yusianto; Handaka & W. Muehlbauer (1997). Kinerja model unit sentralisasi pengolahan kakao rakyat skala kelompok tani. *Pelita Perkebunan*, 13, 100–114.
- Sri-Mulato; O. Atmawinata; Yusianto; S. Widyotomo & Handaka (1998). Kinerja kolektor tenaga matahari pelat datar dan tungku kayu mekanis sebagai sumber panas unit pengering kopi rakyat skala besar. *Pelita Perkebunan*, 14, 108–123.
- Sri-Mulato; S. Widyotomo, & E. Suharyanto (2005). *Pengolahan Produk Primer dan Sekunder Kakao*. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia.
- Syahputra, H. (2006). *Uji Kinerja Mesin Penyerpih Kulit Kakao (Theobroma cacao L.) Dalam Proses Pengolahan Pupuk Organik*. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Jember.
- Syarief, R. & A. Irawati (1988). *Pengetahuan Bahan Untuk Industri Pertanian*. Mediyatama Sarana Perkasa. Jakarta.

- Syarief, R. & H. Halid (1991). *Teknologi Penyimpanan Pangan*. Penerbit Arcan, Jakarta.
- Widyotomo, S. & Sri-Mulato (2000). Kinerja pengering tipe VIS dengan aliran udara paksaan untuk pengeringan biji kopi Robusta. *Pelita Perkebunan*, 16, 52–64.
- Widyotomo, S. & Sri-Mulato (2002). Kinerja pengering kakao tipe palung dengan sumber panas kompor bertekanan berbahan bakar minyak tanah. *Pelita Perkebunan*, 18, 46–55.
- Widyotomo, S.; Sri Mulato & Edy Suharyanto (2004a). Mesin penyerpih limbah biomassa kebun kopi dan kakao sebagai penyedia bahan baku kompos. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia*, 20, 132–137.
- Widyotomo, S.; Sri-Mulato & Edy Suharyanto (2004b). Pemecahan buah dan pemisahan biji kakao secara mekanis. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia*, 20, 132–137.
- Widyotomo, S; Sri-Mulato & E. Suharyanto (2005a). Rancangan dan uji kinerja alat pengering tipe bak mobile berbahan bakar minyak untuk pengeringan gabah. *Jurnal Teknik Pertanian. Universitas Jember*, 2.
- Widyotomo, S; Sri-Mulato & Edi Suharyanto (2005b). Kinerja mesin pemecah biji dan pemisah kulit kakao pascasangrai. *Pelita Perkebunan*, 21, 184–199.
- Widyotomo, S.; Sri-Mulato & Edi Suharyanto (2007). Rekayasa teknologi proses dan alsin untuk produksi kompos organik dari kulit buah kakao. *Prosiding Temu Karya Teknologi Bioenergi Pedesaan dan Pemanfaatan Limbah Pertanian. Direktorat Jenderal Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian. Departemen Pertanian*.
- Wirakartakusumah, M.A.; S. Hardjo & P. Haryadi (1988). *Rekayasa Proses Pangan*. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
