

## **Kinerja Bangunan Tembus Cahaya Skala Besar untuk Proses Pengeringan Kopi**

### *Performance of a Large Scale Green House for Coffee Drying Process*

**Sukrisno Widyotomo<sup>1\*)</sup>**

<sup>1)</sup>Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jl. PB. Sudirman No. 90, Jember, Indonesia

<sup>\*)</sup>Corresponding author: swidyotomo@yahoo.com

#### **Abstrak**

Pengeringan merupakan salah satu tahapan penting dalam proses pengolahan kopi. Bangunan tembus cahaya (rumah kaca) merupakan salah satu alternatif pengeringan buatan yang sangat potensial untuk pengeringan kopi karena sifatnya bersih, terbarukan dan murah. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia telah mengembangkan dan menguji bangunan tembus cahaya skala besar untuk pengeringan kopi. Bangunan tembus cahaya memiliki ukuran panjang dan lebar masing-masing 24 m dan 18 m. Tinggi bangunan bagian depan 3 m dan bagian belakang 2 m. Kapasitas tampung maksimum pengering adalah 40 ton buah kopi segar. Lembaran polikarbonat transparan bergelombang digunakan sebagai atap bangunan. Buah kopi dan biji kopi berkulit tanduk dari jenis Robusta dikeringkan dengan kerapatan bahan yang diuji 30 kg/m<sup>2</sup>, 60 kg/m<sup>2</sup> dan 90 kg/m<sup>2</sup>. Proses pembalikan dilakukan dua kali sehari yaitu pada pagi dan sore hari. Sebagai kontrol dilakukan proses pengeringan jenis bahan yang sama dengan cara penjemuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan pengering tembus cahaya memiliki efisiensi panas pengeringan antara 29,9–58,2% tergantung jenis dan kerapatan bahan yang dikeringkan. Pada kondisi cuaca cerah, bangunan tembus cahaya mampu menghasilkan udara pengering pada suhu maksimum 52°C. Pada tingkat radiasi kumulatif per hari 4–5 kW-jam/m<sup>2</sup>, bangunan tembus cahaya mampu mengeringkan 12,9–38,8 ton buah kopi atau biji kopi berkulit cangkang dari kadar air 58–64% menjadi 12% selama 6 sampai 14 hari. Mekanisme pengeringan secara perlahan dapat mencegah kerusakan senyawa pembentuk citarasa. Kapasitas pengeringan dapat ditingkatkan dan pertumbuhan jamur perlu dicegah dengan menerapkan pengaduk mekanis terkendali di dalam bangunan tembus cahaya.

**Kata kunci:** bangunan tembus cahaya, kopi, pengeringan, mutu

#### *Summary*

*Drying is one of important steps in coffee processing to produce good quality. Greenhouse is one of artificial drying alternatives that potential for coffee drying method which is clean, environmental friendly, renewable energy sources and cheaper. Indonesian Coffee and Cocoa Research Institute has developed and tested a large scale greenhouse type dryer for fresh coffee cherries and wet parchment coffee drying process. Greenhouse has 24 m length, 18 m width, 3 m high of the front side and 2 m high of the rear side. The maximum capacity of the greenhouse dryer is 40 tons fresh coffee cherries. Fiber reinforced plastic used as greenhouse roof combined with I and C profile of steel. Fresh coffee cherries and wet parchment coffee of Robusta variety used as main materials*

*in this research. The treatment of this research was 30 kg/m<sup>2</sup>, 60 kg/m<sup>2</sup> and 90 kg/m<sup>2</sup> for coffee density. Stirring process was done by manual, two times a day in the morning and in the afternoon. As control, fresh coffee cherries and wet parchment coffee were dried by fully sun drying method. The result showed that the large scale greenhouse had heat drying efficiency between 29.9–58.2% depend on type and density of coffee treatments. On a full sunny day, greenhouse dryer produced maximum drying air temperature up to 52°C with radiation cumulative level 4–5 kW-jam/m<sup>2</sup> per day, 12.9–38.8 tons fresh coffee cherries or wet parchment coffee with 58–64% moisture content can be dried to 12% moisture content for 6 up to 14 days drying process. Slowly drying mechanism can avoid negative effect of degradation of precursor compound quality. Capacity of the dryer can be raised and fungi can be reduced with application of controllable mechanical stirring in the greenhouse.*

**Keywords:** *greenhouse, coffee, drying, quality*

## PENDAHULUAN

Pengeringan merupakan salah satu tahapan penting dalam proses pengolahan kopi. Matahari merupakan sumber energi panas yang sangat potensial karena murah dan ramah lingkungan (Sharma *et al.*, 2009; Fudholi *et al.*, 2010), sehingga sebagian besar petani kopi melakukan proses pengeringan dengan cara penjemuran. Kelemahan penerapan proses pengeringan dengan cara penjemuran antara lain radiasi matahari tidak dimanfaatkan secara maksimal, tingginya kontaminasi benda asing, dan diperlukan banyak tenaga kerja pada saat musim hujan (Prakash & Kumar, 2014). Kelemahan tersebut dapat diatasi dengan proses pengeringan menggunakan metode pengeringan buatan (*artificial drying process*). Proses pengeringan buatan dapat berlangsung lebih cepat, kontaminasi dapat ditekan serendah mungkin, kapasitas pengering per satuan luas lebih besar dan kebutuhan tenaga kerja relatif lebih sedikit. Penggunaan pengering buatan dengan sumber panas tungku biomassa memiliki beberapa kelemahan, antara lain perlu investasi yang cukup tinggi, harus dioperasikan oleh tenaga terlatih dan polusi udara akan mudah

terjadi jika proses pembakaran kurang sempurna (VenkataRaman *et al.*, 2012).

Upaya pengembangan pengeringan kopi akhir-akhir ini diarahkan pada usaha pemanfaatan energi surya sebagai sumber panas karena sifatnya bersih, terbarukan dan murah. Pemanfaatan panas radiasi untuk proses pengeringan dapat dilakukan dengan menggunakan kolektor pelat datar dan bangunan tembus cahaya. Kelemahan dari penggunaan kolektor surya antara lain memiliki efisiensi yang rendah (Sudia, 2010; Oktova & Santoso, 2012), konstruksi yang relatif sulit dan biaya investasi yang cukup tinggi (Mulato *et al.*, 2009). Bangunan tembus cahaya merupakan pengeringan buatan yang memanfaatkan radiasi panas matahari sebagai sumber panas pengeringan (Koyuncu, 2006; Janjai *et al.*, 2011; Kaewkiew *et al.*, 2012) dan sangat potensial untuk pengeringan kopi. Pada proses pengeringan kopi dalam bangunan tembus cahaya dua hari lebih cepat jika dibandingkan dengan pengeringan dengan cara penjemuran penuh (Janjai *et al.*, 2011). Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia pada tahun 1995 dan 1997 telah mengembangkan bangunan tembus cahaya untuk proses pengeringan

kopi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tingkat radiasi kumulatif per hari 4–5 kW-jam/m<sup>2</sup>, bangunan tembus cahaya mampu menghasilkan suhu udara pengering antara 42–44°C. Pengeringan buah kopi dari kadar air 65% menjadi 12% diperlukan lama proses 72–110 jam (Atmawinata *et al.*, 1995; Atmawinata *et al.*, 1997).

Kelemahan dari penggunaan bangunan tembus cahaya di antaranya adalah proses pembalikan kopi tidak dapat dilakukan secara manual. Keseragaman kadar air bahan selama proses pengeringan merupakan parameter penting untuk menggambarkan kinerja suatu pengering mekanis. Beberapa metode digunakan agar proses pembalikan dapat dilakukan selama pengeringan berlangsung, di antaranya menggunakan wadah silinder berputar dan rak kerucut berputar (Wijaya, 2007). Rendahnya kapasitas pengeringan merupakan salah satu kelemahan dari proses pengeringan yang menggunakan metode pembalikan tersebut.

Laju pengeringan dan mutu produk akhir sangat ditentukan oleh ketebalan kopi selama proses pengeringan. Panas udara pengering yang tidak terdistribusi dengan baik akan berdampak pada cepat tumbuhnya mikroorganisme karena kopi berada dalam kondisi lembab (Sfredo *et al.*, 2005; Burmester, 2010). Pertumbuhan mikroorganisme selama proses pengolahan akan berdampak pada penurunan mutu produk sampai dengan produk tidak layak untuk dikonsumsi manusia. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia telah berhasil merancang bangun dan membuat pengering tipe bangunan tembus cahaya skala besar. Bahan yang dikeringkan dihamparkan di atas lantai semen, dan proses pembalikan serta pengukuran kadar air hanya dilakukan dua kali sehari yaitu pada pagi dan sore hari. Proses pembalikan dilakukan secara manual dengan menggunakan alat bantu yang dibuat dari bahan kayu. Penelitian yang mengkaji proses pengeringan kopi di dalam bangunan

tembus cahaya skala besar seperti hasil rancangbangun Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia perlu dilakukan. Tujuan kegiatan penelitian ini adalah mempelajari kinerja bangunan tembus cahaya skala besar untuk proses pengeringan kopi dari beberapa variasi ketebalan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan operator dalam menentukan kondisi optimum proses agar diperoleh mutu akhir yang terbaik.

## BAHAN DAN METODE

Kegiatan penelitian dilakukan di Kebun Percobaan Kaliwining Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia yang terletak pada ketinggian 45 m dpl. dan bertipe iklim D menurut klasifikasi Smith Ferguson. Bahan utama yang digunakan adalah buah kopi segar jenis Robusta hasil panen buah dari Kebun Percobaan Kaliwining. Kisaran kadar air awal antara 65–67% dan persentase buah merah rata-rata lebih dari 95%. Kopi berkulit cangkang diperoleh dari proses pengupasan basah kulit buah segar dan telah dikenakan proses fermentasi serta pencucian. Suhu udara dan kelembaban udara lingkungan serta udara pengering dipantau dengan beberapa sensor suhu Ni-CrNi yang dihubungkan dengan perangkat komputer sebagai penyimpan data.

### Struktur Bangunan Pengering

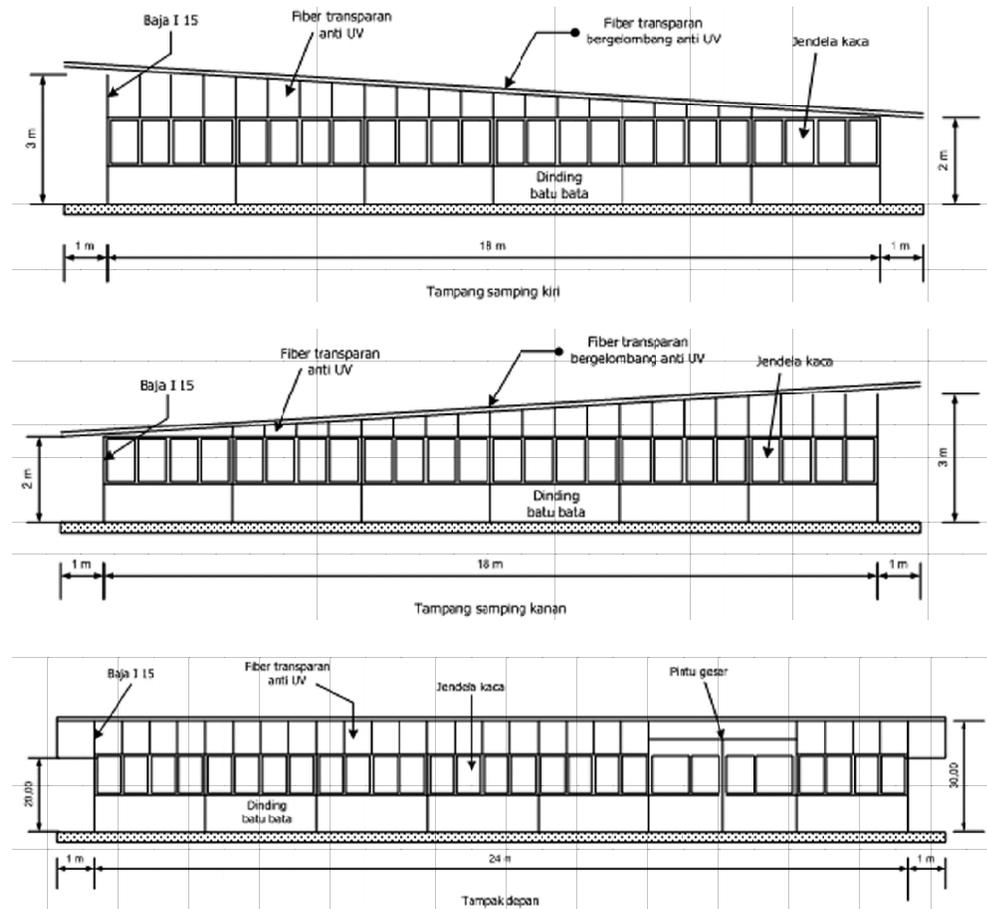
Bangunan berukuran 24 m x 18 m didirikan di atas lantai semen ukuran 26 m x 20 m. Tiang bangunan dan kuda-kuda yang tertumpu pada masing-masing pasang tiang dibuat dari bahan konstruksi baja profil I 15. Lembaran polikarbonat transparan bergelombang anti ultra-violet diletakkan di atas kombinasi konstruksi baja profil siku (L) 7 dan profil C 7. Lembaran polikarbonat memiliki ketebalan dan efisiensi penyerapan panas masing-masing sebesar 8,5 mm dan 90%. Dinding bangunan tembus cahaya

bagian depan memiliki tinggi 3 m, sedangkan dinding bangunan bagian belakang memiliki tinggi 2 m. Atap bangunan dibuat rendah dan miring di satu sisi dengan tujuan mampu menangkap energi panas matahari dan memanfaatkannya lebih maksimal. Dinding bangunan dibuat dari pasangan semen dan batu bata setinggi 1 m, dan selebihnya digunakan bahan konstruksi lembaran kaca tebal 5 mm yang dipasang di dalam bingkai baja. Bingkai kaca mudah dibuka dan ditutup untuk mempermudah terjadinya sirkulasi udara di dalam pengering ke udara

lingkungan. Untuk mempermudah proses pemasukan dan pengeluaran barang yang dikeringkan, maka sebuah pintu dipasang di dinding bangunan bagian depan dan sebuah lagi dipasang di dinding bangun bagian samping. Sketsa bangunan tembus cahaya ditampilkan pada Gambar 1.

### Tempat Pengeringan

Pengeringan di dalam bangunan tembus cahaya dilakukan dengan metode menghamparkan kopi di atas para-para yang dibuat



Gambar 1. Sketsa bangunan tembus cahaya untuk pengeringan kopi  
 Figure 1. Sketch of green house type for drying coffee

dari bahan konstruksi kayu dan sebagai alas dipasang lembaran kawat kasa plastik dengan dimensi lubang berbentuk bujur sangkar. Ukuran lubang kawat kasa plastik jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan ukuran lebar buah dan kopi berkulit cangkang. Para-para diletakkan di dalam bangunan dan di atas lantai bangunan yang dibuat dari kombinasi campuran semen, pasir dan batu bata dengan permukaan dibuat halus. Jarak antara lantai bangunan dan kopi yang dikeringkan di dalam para-para setinggi 20 cm. Udara pengering bersirkulasi dan menembus lapisan kopi secara alami untuk proses pemanasan dan penguapan air yang terkandung di dalam biji kopi.

### Sumber Panas

Energi panas yang digunakan untuk proses pengeringan berasal dari gelombang panjang yang terkurung di dalam bangunan tembus cahaya. Energi gelombang pendek dari radiasi matahari membentur permukaan benda yang ada di dalam bangunan (permukaan lantai, permukaan buah dan dinding pengering) dan berubah menjadi energi gelombang panjang. Energi panas yang terperangkap tidak mampu menembus ulang atap dan dinding. Suhu udara di dalam bangunan meningkat dan kelembaban relatifnya menurun. Besarnya kenaikan suhu tergantung pada intensitas radiasi matahari kumulatif per hari. Kebun kopi Robusta terletak di dataran rendah dengan ketinggian tempat lebih rendah dari 800 m dpl. memiliki radiasi kumulatif rata-rata 4 kW-jam/m<sup>2</sup> (Mulato *et al.*, 1998).

### Pelaksanaan Penelitian

Proses pengeringan dilakukan terhadap buah kopi dan biji kopi basah berkulit cangkang. Kopi basah berkulit cangkang

diperoleh setelah melalui tahapan proses pengupasan kulit buah segar, fermentasi kopi berkulit cangkang selama 24 jam, pencucian dan penirisan. Buah kopi segar dan biji kopi berkulit cangkang pascapenirisan diamparkan di dalam para-para beralaskan lembaran anyaman kasa plastik. Ketebalan tumpukan diatur sesuai perlakuan yang telah ditetapkan. Proses pembalikan dilakukan dua kali sehari, yaitu pada pagi hari sekitar pukul 07.00 WIB dan sore hari sekitar pukul 17.00 WIB. Pengukuran penurunan berat kopi dilakukan pada pagi dan sore hari bersamaan dengan proses pembalikan dengan cara penimbangan sejumlah kopi yang dikeringkan. Suhu udara dan kelembaban relatif udara diukur sebanyak tiga kali dalam satu hari, yaitu pada pagi (pukul 07.00 WIB), siang (pukul 13.00 WIB) dan sore hari (pukul 17.00 WIB). Proses pengeringan dari masing-masing perlakuan dihentikan setelah diperoleh hasil penimbangan berat kopi yang tetap. Setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali. Kopi yang telah dikeringkan kemudian dianalisis untuk mengetahui karakteristik penurunan kadar air selama proses pengeringan, dan mutu produk keringnya.

### Perlakuan

Perlakuan yang digunakan dalam kegiatan penelitian ini adalah jenis dan ketebalan bahan. Perlakuan jenis bahan yang dikeringkan terdiri dari buah kopi segar dan kopi berkulit cangkang pascapenirisan. Perlakuan ketebalan bahan yang dikeringkan dibuat dalam tiga tingkatan yaitu 30 kg/m<sup>2</sup>, 60 kg/m<sup>2</sup> dan 90 kg/m<sup>2</sup>. Sebagai kontrol adalah proses pengeringan buah kopi segar dan kopi berkulit cangkang pascapenirisan dengan cara penjemuran menggunakan para-para. Pengeringan kopi di dalam bangunan tembus cahaya dan pengeringan dengan panas matahari langsung dilakukan dalam waktu yang bersamaan.

### Tolok Ukur

Beberapa parameter yang digunakan sebagai tolak ukur menggambarkan karakteristik pengeringan kopi Robusta dalam bangunan tembus cahaya ini.

Distribusi suhu udara di dalam bangunan pengering dan suhu udara lingkungan dicatat dan dihitung untuk mengetahui potensi panas yang dihasilkan untuk proses pemanasan dan penguapan air yang terdapat di dalam kopi.

Kadar air biji kopi basis basah (b.b.) selama proses pengukuran ditentukan dengan menggunakan metode gravimetri, yaitu pengurangan bobot biji selama 16 jam pengeringan oven yang terkontrol pada suhu  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , dan perhitungannya dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Brooker *et al.*, 1974):

$$K_a = \frac{(W_i - W_t)}{W_i} \times 100\%$$

Dalam hal ini  $K_a$  adalah kadar air (%),  $W_i$  adalah berat awal biji (g),  $W_t$  adalah berat biji pada waktu ke-t (g).

Laju pengeringan bahan selama proses pengeringan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{W_t - W_{t+1}}{t} \times 100\%$$

Dalam hal ini  $dW/dt$  adalah laju pengeringan (%/jam),  $W_t$  adalah berat contoh ditimbang pada waktu ke t (kg),  $W_{t+1}$  adalah berat contoh ditimbang pada waktu ke t+1 (kg), dan t adalah waktu (jam)

Efisiensi panas dianalisis berdasarkan neraca energi di dalam dan di sekitar bangunan tembus cahaya yang meliputi masukan panas dari sinar matahari, panas yang dimanfaatkan dan kehilangan panas (Kreider & Keith, 1981; Atmawinata *et al.*, 1995; Atmawinata *et al.*, 1997). Beberapa parameter yang akan dihitung untuk

menentukan efisiensi panas pengeringan adalah jumlah energi panas yang diperlukan ( $Q_o$ ) digunakan untuk proses pengeringan yang terdiri dari panas sensible, panas laten penguapan air dan kehilangan panas terhadap jumlah energi panas yang dapat dibangkitkan ( $Q_i$ ) oleh bangunan tembus cahaya dengan sumber panas radiasi matahari.

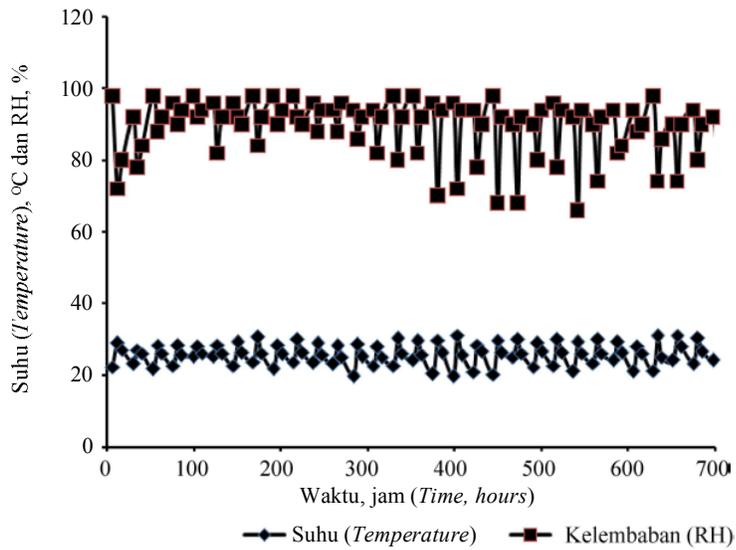
Analisis operasional pengeringan dilakukan berdasarkan atas beberapa parameter data yang diperoleh dari uji coba proses pengeringan. Bangunan tembus cahaya dianalisis pada kapasitas tampung pengeringan maksimum dari jenis bahan buah kopi dan biji kopi berkulit cangkang dengan ketebalan bervariasi antara 30 sampai dengan 90 kg/m<sup>2</sup>. Prediksi total panen buah per musim dari masing-masing perlakuan kerapatan bahan yang dikeringkan sangat diperlukan untuk mengetahui kemampuan bangunan pengering dalam mendukung kegiatan penanganan pascapanen dari luasan lahan perkebunan kopi.

Produk akhir yang dihasilkan dari pengeringan ini adalah buah kopi (gelondong) kering, dan kopi berkulit cangkang kering. Analisis mutu kopi kering dilakukan dengan cara mengamati secara visual pertumbuhan jamur di permukaan buah dan biji selama proses pengeringan berlangsung. Pencatatan dilakukan setelah teridentifikasi tumbuhnya jamur di permukaan buah dan biji kopi yang dikeringkan.

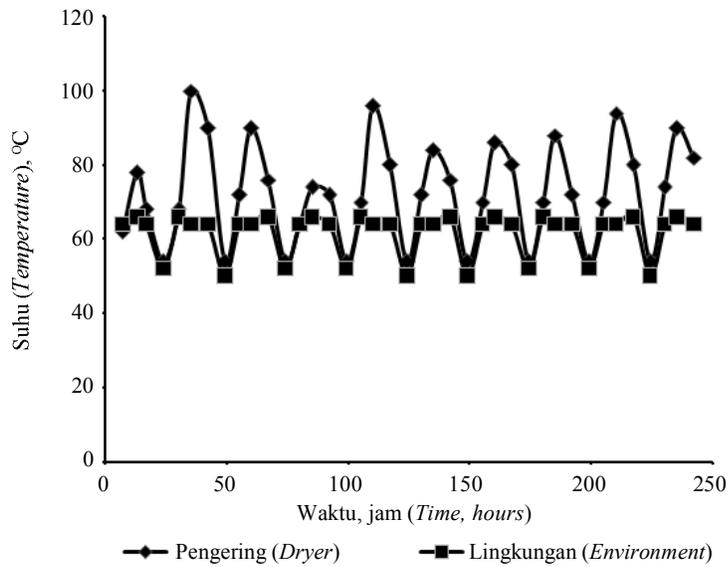
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Suhu Udara Pengering

Suhu, kelembaban relatif dan kecepatan aliran udara pengering merupakan tiga faktor utama yang menentukan laju pengeringan. Suhu merupakan tolak ukur kandungan energi panas dan dengan semakin tinggi suhu udara pengeringan, maka kemampuan untuk memanaskan dan menguapkan air yang



Gambar 2. Karakteristik suhu dan kelembaban relatif lingkungan  
 Figure 2. Characteristics of temperature and humidity (RH) of the environment



Gambar 3. Karakteristik suhu udara pengering dan lingkungan  
 Figure 3. Characteristics of the air temperature and environment

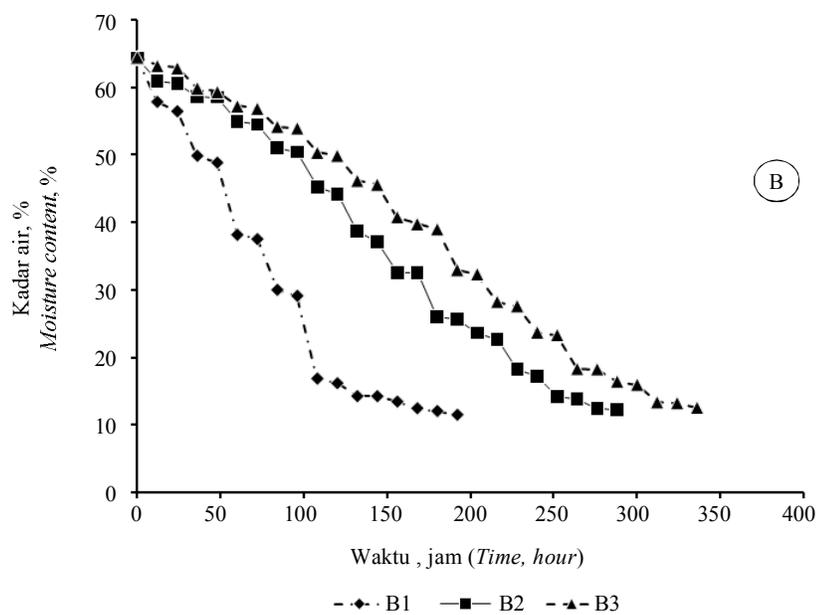
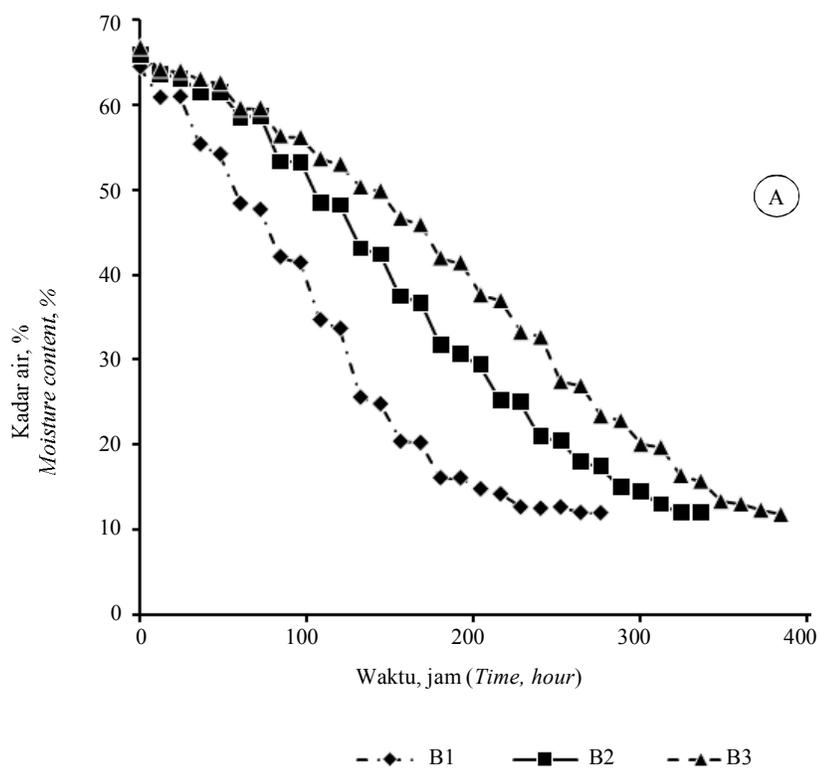
terkandung di dalam bahan akan semakin besar. Kelembaban udara menunjukkan kemampuan udara untuk menyerap sejumlah uap air. Dengan semakin rendah kelembaban relatif udara pengeringan, maka kemampuan udara untuk membawa uap air semakin besar. Aliran udara berfungsi untuk membawa energi panas yang selanjutnya memindahkannya ke bahan dan membawa uap air keluar dari ruang pengering. Hasil pengukuran data suhu dan kelembaban udara lingkungan selama proses pengeringan berlangsung ditampilkan pada Gambar 2. Suhu udara lingkungan berkisar 20–31°C, sedangkan kelembaban relatif udara berkisar 66–98%. Kelembaban relatif udara yang rendah merupakan potensi awal yang cukup besar untuk dapat menyerap uap air yang keluar dari permukaan buah kopi dalam jumlah yang relatif tinggi. Radiasi panas matahari yang terjebak di dalam bangunan tembus cahaya akan dimanfaatkan untuk memanaskan suhu udara lingkungan yang masuk sampai suhu tertentu. Besarnya kenaikan suhu sangat ditentukan oleh besarnya intensitas radiasi matahari kumulatif per hari yang diterima bangunan tembus cahaya.

Profil suhu udara dan kelembaban udara lingkungan yang terekam selama 700 jam, selama kegiatan penelitian berlangsung ditampilkan pada Gambar 3. Suhu terendah dan tertinggi tercatat masing-masing 29°C dan 31°C, sedangkan kelembaban udara terendah dan tertinggi tercatat masing-masing 68% dan 98%. Suhu udara pengering yang direkomendasikan untuk digunakan dalam proses pengeringan kopi Robusta tidak lebih dari 45–60°C (Ditjen PPHP, 2006). Boréma & Eggers (2010) melaporkan bahwa proses pengeringan biji kopi pada suhu 40°C tidak mengubah satuan sel dengan membran plasma. Kerusakan terjadi jika dikeringkan pada suhu di atas 60°C yang ditunjukkan oleh munculnya

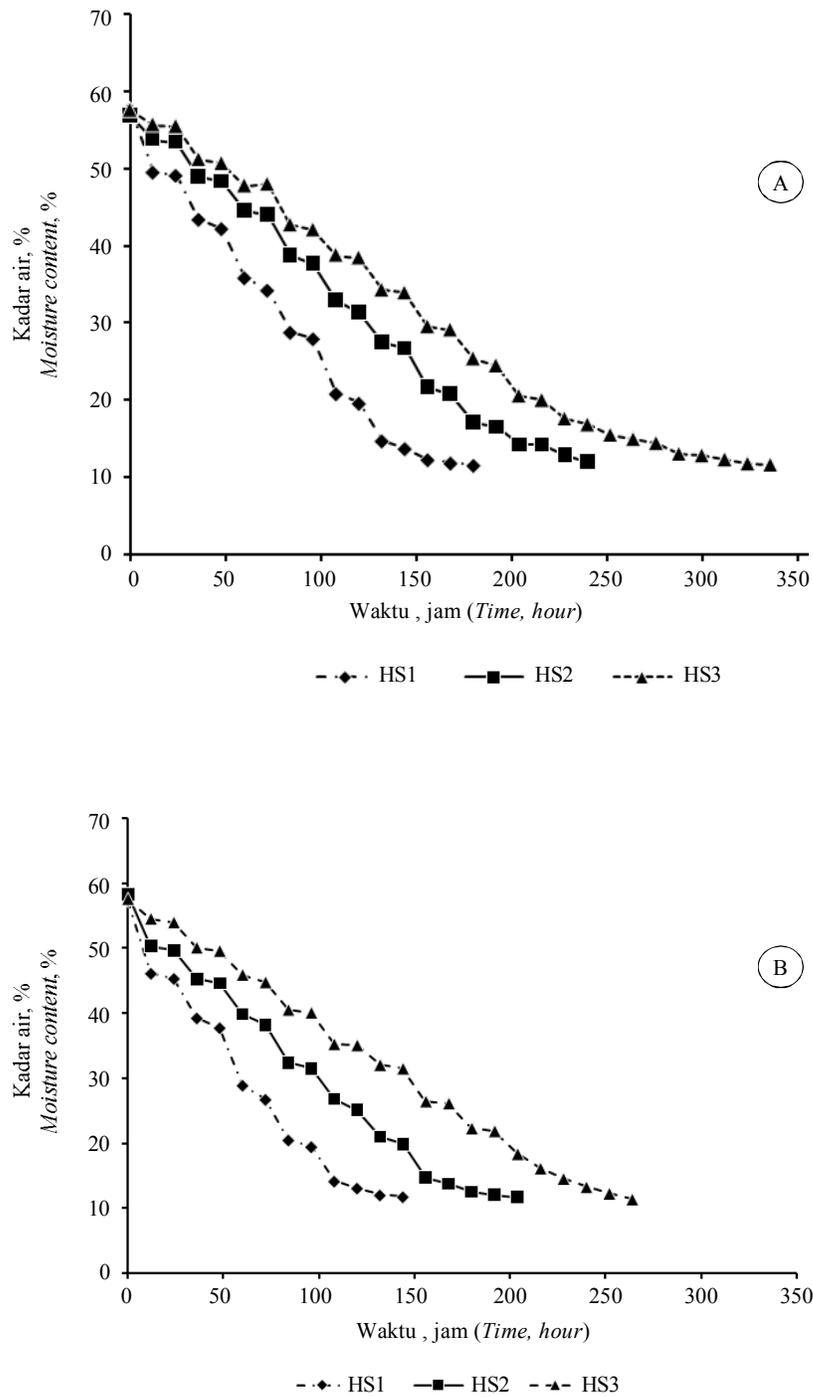
tetes di antara sel karena pecah atau kebocoran membran sel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa disain bangunan dan penggunaan lembaran polikarbonat bergelombang sebagai atap utama mampu menyerap energi panas matahari dengan baik. Proses pemanasan dengan sumber energi yang cukup besar diperlukan untuk meningkatkan suhu udara lingkungan menjadi suhu udara pengeringan yang siap dimanfaatkan dengan kisaran 16–29°C. Suhu udara lingkungan yang masuk ke dalam bangunan mampu ditingkatkan menjadi 50°C yang masih dalam kondisi aman untuk proses pengeringan kopi (Wijaya, 2007). Kinerja bangunan pengering yang lebih baik jika dibandingkan dengan model sebelumnya maupun penggunaan kolektor plat datar yang hanya mampu meningkatkan suhu udara pengering sampai 44°C (Atmawinata *et al.*, 1995, 1997; Mulato *et al.*, 1998).

### Penurunan Kadar Air

Secara umum, waktu yang diperlukan untuk menurunkan sejumlah air yang terkandung di dalam buah kopi dan biji kopi berkulit cangkang berbeda cukup nyata untuk mencapai kadar air akhir 11–12%. Proses pengeringan kedua jenis bahan tersebut dilakukan hanya pada saat sinar matahari cukup untuk membangkitkan panas proses pengeringan atau dengan metode terputus. Perhitungan waktu pengeringan ditentukan selama satu hari satu malam karena udara panas yang terperangkap di dalam bangunan pengeringan akan lebih tinggi jika dibandingkan dengan suhu udara lingkungan di malam hari. Waktu pengeringan buah kopi di dalam bangunan tembus cahaya lebih cepat 24–36 jam jika dibandingkan dengan cara penjemuran tergantung tingkat kerapatan yang digunakan. Sementara itu untuk proses pengeringan biji kopi berkulit cangkang diperoleh perbedaan waktu antara 36–72 jam



Gambar 4. Perkembangan kadar air selama pengeringan dengan cara penjemuran (A) dan di dalam rumah kaca (B) pada kerapatan buah kopi; 30 kg/m<sup>2</sup> (B1), 60 kg/m<sup>2</sup> (B2), dan 90 kg/m<sup>2</sup> (B3)  
 Figure 4. Development of moisture content during drying by fully sun drying (A) and in glass house (B) at coffee density of 30 kg/m<sup>2</sup> (B1), 60 kg/m<sup>2</sup> (B2) and 90 kg/m<sup>2</sup> (B3)



Gambar 5. Perkembangan kadar air selama proses pengeringan dengan cara penjemuran (A) dan di dalam rumah kaca (B) pada kerapatan buah kopi berkulit cangkang: 30 kg/m<sup>2</sup> (HS1), 60 kg/m<sup>2</sup> (HS2), dan 90 kg/m<sup>2</sup> (HS3)

Figure 5. Development of moisture content during drying by fully sun drying (A) and in glass house (B) at parchment coffee density of 30 kg/m<sup>2</sup> (HS1), 60 kg/m<sup>2</sup> (HS2), and 90 kg/m<sup>2</sup> (HS3)

tergantung tingkat kerapatan yang digunakan. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengeringan di dalam bangunan tembus cahaya dari aspek pemanfaatan energi panas yang dipancarkan matahari lebih efektif jika dibandingkan dengan metode penjemuran langsung.

Pada pengeringan di dalam bangunan tembus cahaya dengan perlakuan kerapatan bahan  $30 \text{ kg/m}^2$ , untuk menurunkan kadar air biji kopi berkulit cangkang dari 64,5% menjadi 11,5% diperlukan waktu pengeringan 144 jam, sedangkan untuk pengeringan buah kopi diperlukan waktu 192 jam. Hal yang sama terjadi pada perlakuan kerapatan bahan  $60 \text{ kg/m}^2$  dan  $90 \text{ kg/m}^2$ , yaitu masing-masing berbeda waktu 84 dan 275 jam. Perbedaan tersebut disebabkan oleh faktor pra pengeringan yang berbeda. Biji kopi berkulit cangkang telah mengalami proses pengupasan kulit buah secara mekanis dan penghilangan lendir melalui proses pencucian. Kulit buah memiliki sifat yang cukup keras sehingga akan menghambat difusi air dari dalam jaringan daging biji sebelum siap untuk diuapkan. Lendir memiliki sifat sangat mudah menyerap air dari udara, sehingga lapisan kulit buah dan lendir cenderung memperlambat laju pengeringan (Vincent, 1987). Selain itu, jumlah energi yang diperlukan untuk menguapkan sejumlah air di dalam pori mikro atau lebih dekat dengan pusat biji jauh lebih besar jika dibandingkan dengan energi yang diperlukan untuk menguapkan sejumlah air di dalam pori makro atau lebih jauh dari pusat biji.

Jumlah air yang diuapkan dari buah dan biji kopi berkulit cangkang terjadi secara bertahap selama berlangsungnya proses pengeringan. Pada 100 jam pertama proses pengeringan yang dilakukan di dalam bangunan tembus cahaya, jumlah air rata-rata yang dapat diuapkan dari buah kopi dan biji kopi berkulit cangkang meningkat secara

bertahap masing-masing dari 3,6% dan 7,4% menjadi 27,5% dan 33,2%. Pada tahap selanjutnya proses pengeringan berlangsung relatif lebih lambat karena kandungan air di permukaan biji kopi berangsur-angsur berkurang, sedangkan air yang tersisa masih berada di dalam jaringan biji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mengeringkan buah kopi sampai diperoleh kadar air 12% dengan kerapatan  $30 \text{ kg/m}^2$ ,  $60 \text{ kg/m}^2$  dan  $90 \text{ kg/m}^2$  masing-masing diperlukan waktu 180 jam, 288 jam dan 336 jam. Hal tersebut menunjukkan bahwa jumlah energi yang lebih besar dan waktu yang lebih lama diperlukan untuk memanaskan dan merambatkan sejumlah air dari pusat biji menuju permukaan. Laju difusi molekul air merupakan faktor yang mengendalikan laju penguapan air sehingga jumlah air yang dapat diuapkan semakin rendah. Fenomena tersebut mengindikasikan bahwa laju penguapan air dari permukaan biji kopi berkulit cangkang berlangsung lebih cepat dibandingkan yang terjadi di permukaan kulit buah, dan biji kopi mampu menyerap energi lebih banyak dibanding buah kopi. Dengan demikian, secara umum waktu pengeringan buah kopi untuk mencapai kadar air akhir 12% menjadi lebih panjang dibanding waktu pengeringan biji kopi berkulit cangkang.

### **Efisiensi Panas Pengeringan**

Secara umum ditunjukkan bahwa bangunan tembus cahaya mampu membangkitkan energi panas untuk proses pengeringan buah dan biji kopi berkulit cangkang. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi panas pengeringan dari bangunan tembus cahaya berkisar antara 29,9–58,2% tergantung jenis dan kerapatan bahan yang dikeringkan. Efisiensi panas pengeringan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan nilai yang diperoleh dari proses pengeringan bangunan tembus cahaya terdahulu

(Atmawinata *et al.*, 1995; Atmawinata *et al.*, 1997).

Efisiensi panas pengeringan sangat ditentukan oleh jenis lembaran transparan yang digunakan. Lembaran transparan yang digunakan sebagai atap bangunan tembus cahaya adalah jenis *fiber reinforced plastic* (FRP) karena memiliki kekuatan mekanik lebih baik dan tahan terhadap beban serta benturan dibandingkan dengan lembaran *polyethylene* (PE). Secara fisik, penurunan daya tembus dapat dilihat dari perubahan warna permukaan yang semula bening

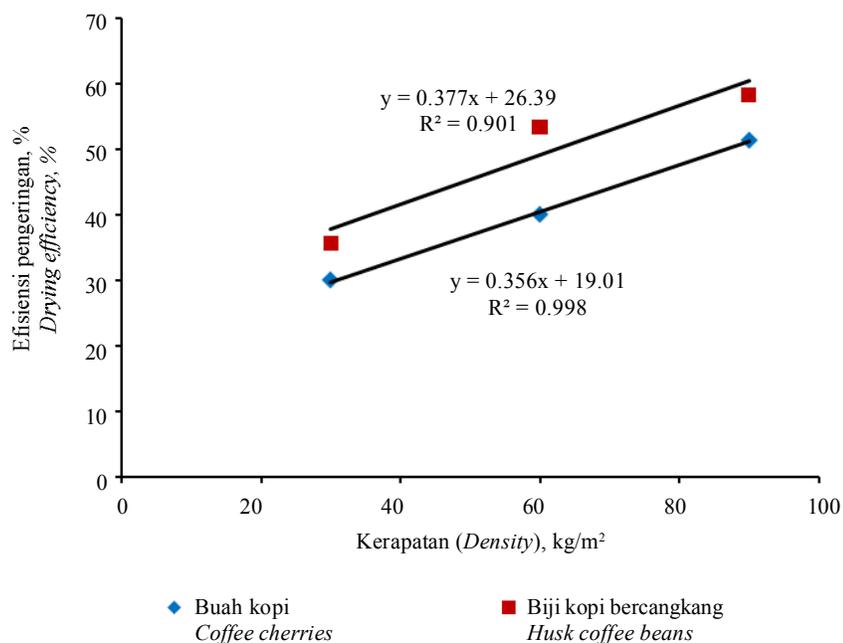
menjadi buram kekuningan. Setelah enam bulan, nilai daya tembus serat FRP turun sampai 50% sehingga efisiensi panas pengeringan bangunan tembus cahaya secara otomatis akan berkurang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan semakin tinggi kerapatan bahan yang dikeringkan, maka efisiensi panas pengeringan akan semakin besar. Hasil tersebut menunjukkan bahwa bangunan tembus cahaya mampu memanfaatkan panas yang dibangkitkan untuk semaksimal mungkin menguapkan sejumlah air yang

Tabel 1. Analisis teknis pengeringan buah kopi segar dan kopi berkulit cangkang dengan tiga kepadatan  
Table 1. Technical analysis of drying of coffee cherries and husk coffee beans with three density

Parameter	Unit	Kerapatan ( <i>Density</i> ), kg/m <sup>2</sup>					
		Buah kopi segar <i>coffee cherries</i>			Kopi berkulit cangkang <i>Husk coffee beans</i>		
		30	60	90	30	60	90
Luas atap ( <i>Roof area</i> )	m <sup>2</sup>				432		
Luas dinding ( <i>Wall area</i> )	m <sup>2</sup>				126		
Radiasi ( <i>Radiation</i> )	kW/m <sup>2</sup>				0,4		
Kapasitas tampung <i>Bearing capacity</i>	kg	12,960	25,920	38,880	12,960	25,920	38,880
- Buah segar ( <i>Coffee cherries</i> )	kg	12,960	25,920	38,880	27,000 *)	54,000 *)	81,000 *)
Kadar air awal <i>Initial water content</i>	%	64/20	64.16	64.45	57.25	58.28	57.49
Kadar air akhir <i>Final water content</i>	%	12/05	12.28	12.50	12.03	12.05	12.3
Lama proses <i>Processing period</i>	hari	7/5	12	14	5.5	8	10.5
Lama penyinaran <i>Period of radiation</i>	jam/proses	75	120	140	55	80	105
Bobot kering ( <i>Dry weight</i> )	kg	4,666	9,331	13,997	5,443	10,886	16,330
Berat air yang diuapkan <i>Water weight vaporized</i>	kg	7,735/5	15,469.1	23,203.6	6,863.6	13,727.2	20,590.8
Suhu masuk ( <i>Input energy</i> )	°C				50		
Suhu keluar ( <i>Output energy</i> )	°C				30		
Cp air ( <i>Water capacity</i> )	kJ/kg °C				4.22		
Cp uap air ( <i>Vapor capacity</i> )	kJ/kg °C				1.69		
Cp kopi ( <i>Coffee capacity</i> )	kJ/kg °C				1.69		
Panas laten air <i>Latent heat of water</i>	kJ/kg				2,260		
Energi panas yang dibangkitkan <i>Energy supplied</i>	MW-detik	64,281.6	96,422.4	112,492.8	48,211.2	64,281.6	88,387.2
Energi panas yang diperlukan <i>Energy needed</i>	MW-detik	19,252.7	38,505.5	57,758.3	17,142.1	34,284.3	51,426.4
Efisiensi panas <i>Energy efficiency</i>	%	29.9	39.9	51.3	35.5	53.3	58.2

Keterangan (*Note*): \*) nisbah buah segar ke biji kopi berkulit cangkang (48%) [*ratio of coffee cherries to husk coffee beans (48%)*].



Gambar 6. Efisiensi panas pengeringan dan hubungannya dengan kerapatan buah kopi dan biji kopi bercangkang

Figure 6. Relationship between drying efficiency and density of coffee cherries and husk coffee beans

terdapat di dalam buah dan biji kopi. Secara teknis penggunaan volume dan laju aliran udara pengeringan dapat meningkatkan kapasitas pengeringan karena lapisan biji dapat dihamparkan lebih tinggi, namun hal tersebut akan mempersulit proses pembalikan selama pengeringan. Pembalikan yang tidak cukup akan mengakibatkan terjadinya keragaman kadar air biji kopi yang dikeringkan karena udara pengering tidak dapat berdifusi dengan baik di lapisan biji kopi. Potensi panas yang terkandung di udara pengering tidak dapat dimanfaatkan dengan baik sehingga mengakibatkan pengering memiliki efisiensi proses yang rendah.

Gambar 6 menampilkan persamaan linier regresi efisiensi panas pengeringan yang dihasilkan dari bangunan tembus cahaya.

Efisiensi panas pengeringan biji kopi berkulit cangkang relatif lebih tinggi dibandingkan pengeringan buah kopi. Ketebalan lapisan daging kulit buah mengakibatkan energi total untuk penguapan sejumlah air dalam waktu yang sama menjadi lebih besar. Pada selang kerapatan bahan yang dikeringkan (X) antara 30–90 kg/m<sup>2</sup>, efisiensi panas pengeringan (Y) buah kopi dan biji kopi berkulit cangkang masing-masing mengikuti persamaan  $Y = 0,356X + 19,01$  ( $R^2 = 0,998$ ) dan  $Y = 0,377X + 26,39$  ( $R^2 = 0,901$ ).

### Analisis Operasional Pengeringan

Analisis operasional pengeringan perlu dilakukan untuk memastikan proses pengeringan dilakukan dengan baik dan benar. Data analisis untuk operasional

pengering ditampilkan pada Tabel 2. Luas lantai dan atap bangunan tembus cahaya memiliki ukuran yang relatif sama, yaitu 432 m<sup>2</sup>. Jika proses pengeringan buah kopi dilakukan pada ketebalan 30 kg/m<sup>2</sup>, 60 kg/m<sup>2</sup> dan 90 kg/m<sup>2</sup>, maka jumlah buah kopi per hari yang dapat dikeringkan masing-masing sebanyak 1,62; 2,16; dan 2,77 ton. Untuk mencapai kadar air 12% diperlukan waktu pengeringan masing-masing 8, 12, dan 14 hari. Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan kondisi parameter tersebut di atas maka bangunan pengering dapat diterapkan pada suatu areal perkebunan kopi dengan jumlah panen antara 40,5 sampai dengan 69,5 ton buah segar/musim. Pengeringan biji kopi berkulit cangkang pada kerapatan 30 kg/m<sup>2</sup>, 60 kg/m<sup>2</sup> dan 90 kg/m<sup>2</sup> masing-masing diperlukan waktu 6, 8, dan 11 hari untuk mencapai kadar air 12%. Jika digunakan untuk proses pengeringan biji kopi berkulit cangkang, maka bangunan pengering dapat diterapkan pada suatu areal perkebunan kopi dengan jumlah panen antara 112,5 sampai dengan 184 ton buah segar/musim. Mesin pengupas kulit buah (*pulper*) dan pencuci (*washer*) harus ditambahkan dalam rangkaian proses yang sinambung dengan bangunan pengering.

Hasil analisis energi panas menunjukkan bahwa diperlukan energi yang lebih besar untuk mengeringkan buah kopi dibandingkan dengan biji kopi berkulit cangkang. Pada kerapatan yang sama, energi yang diperlukan untuk mengeringkan buah kopi 14–15% lebih rendah dibandingkan pengeringan biji kopi berkulit cangkang. Namun demikian, waktu pengeringan biji kopi berkulit cangkang 2–4 hari lebih cepat dibandingkan pengeringan buah kopi. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengeringan biji kopi berkulit cangkang akan lebih efisien dibandingkan pengeringan buah segar.

Gambar 7 menunjukkan persamaan regresi yang terbentuk dari proses pengeringan buah dan biji kopi berkulit cangkang dari 3 perlakuan kerapatan bahan. Waktu pengeringan buah kopi akan mengikuti persamaan  $Y=3,1X+92$  dengan nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,991, sedangkan untuk kopi berkulit cangkang mengikuti persamaan  $Y=2,066X+69,33$  dengan nilai R<sup>2</sup> sebesar 0,999. Pada rentang ketebalan 30 sampai dengan 90 kg/m<sup>2</sup> terlihat bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kadar air yang sama, baik untuk pengeringan buah maupun kopi berkulit cangkang akan semakin panjang. Pada kerapatan yang sama, pengeringan buah kopi memerlukan waktu yang lebih panjang dibandingkan dengan pengeringan biji kopi berkulit cangkang.

Keefektifan operasional bangunan tembus cahaya untuk proses pengeringan sangat dipengaruhi oleh sifat optik bahan serat kaca yang digunakan (Atmawinata *et al.*, 1995; Atmawinata *et al.*, 1997). Serat kaca harus memiliki daya tembus sinar yang tinggi dan daya serap serta daya pantul yang rendah. Nilai daya tembus dipengaruhi oleh waktu pemakaian, dan adanya debu atau kotoran di permukaan serta karena gaya elektrostatis. Setelah enam bulan pemakaian, nilai daya tembus serat FRP turun menjadi 50% sehingga efisiensi panas bangunan tembus cahaya secara otomatis akan berkurang.

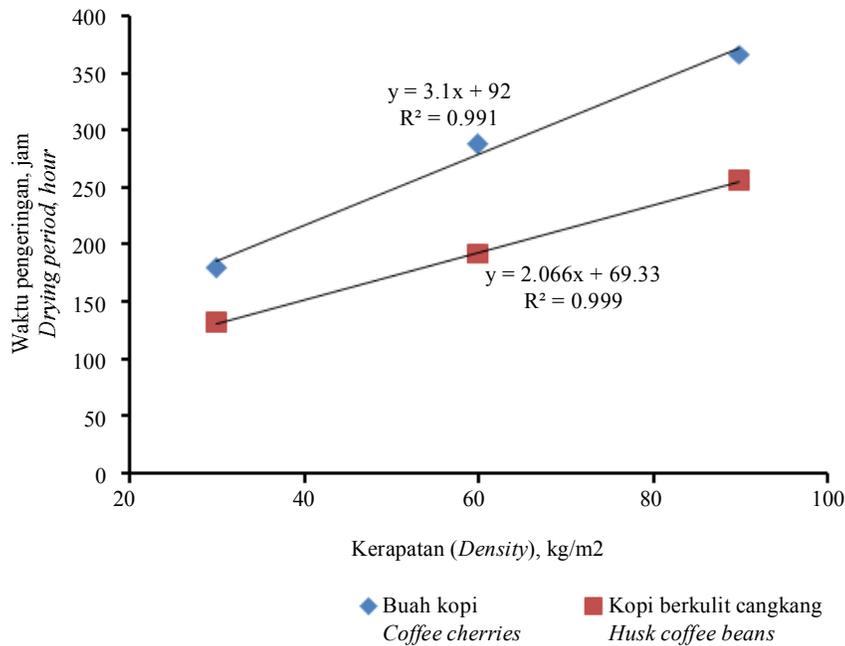
Salah satu kendala pengoperasian pengeringan kopi adalah waktu operasional yang pendek, yaitu tiga sampai empat bulan dalam satu tahun. Waktu luang pengering sangat panjang sehingga dari aspek ekonomi akan menjadi sangat rendah. Upaya perpanjangan waktu operasional dapat dilakukan untuk mengeringkan produk buah, sayuran, holtikultura dan benih (Koyuncu, 2006; Barnwal & Tiwari, 2008; Banout *et al.*, 2011; Janjai *et al.*, 2011).

Tabel 2. Analisis operasional bangunan tembus cahaya skala besar untuk pengering kopi dengan tiga kerapatan

Table 2. Operational analysis of green house type dryer in drying coffee with three density

Parameter Pengering (Drying)	Unit	Kerapatan bahan (kg/m <sup>2</sup> )					
		Buah segar <i>Coffee cherries</i>			Kopi berkulit cangkang <i>Husk coffee beans</i>		
		30	60	90	30	60	90
Panjang ( <i>Length</i> )	m	24					
Lebar ( <i>Width</i> )	m	18					
Luas lantai ( <i>Floor area</i> )	m <sup>2</sup>	432					
Luas atap ( <i>Roof area</i> )	m <sup>2</sup>	432					
Kapasitas tampung <i>Bearing capacity</i>	kg	12.960	25.920	38.880	12.960	25.920	38.880
- Buah segar ( <i>Coffee cherries</i> )	kg	12.960	25.920	38.880	27.000 <sup>*)</sup>	54.000 <sup>*)</sup>	81.000 <sup>*)</sup>
Satu siklus ( <i>One cycle</i> )	hari	8	12	14	6	8	11
Persentase panen harian maksimum <i>Percentage of maximum daily harvest</i>	%	4					
Panen harian maksimum <i>Maximum daily harvest</i>	kg	1.620	2.160	2.777	4.500	6.750	7.364
Total panen buah per musim <i>Total cherries harvested per season</i>	kg	40.500	54.000	69.429	112.500	168.750	184.091

Keterangan (Note): <sup>\*)</sup> Nisbah buah segar ke biji kopi berkulit cangkang (48%) [Ratio of coffee cherries to husk coffee beans (48%)].



Gambar 7. Hubungan antara waktu pengeringan dan kerapatan kopi  
Figure 7. Relationship between drying period and density of coffee

### Mutu Biji Kopi Kering

Kopi merupakan salah satu bahan minuman penyegar yang sangat populer, dan aspek kebersihan yang berkaitan dengan kontaminasi merupakan faktor utama yang harus diperhatikan agar kesehatan konsumen tetap terjaga dengan baik. Salah satu aspek mutu yang menjadi kriteria dalam penilaian biji kopi adalah kadar jamur. Pengeringan buah dan biji kopi berkulit cangkang di dalam bangunan tembus cahaya berlangsung dengan suhu rendah (maksimum 52°C) dan mekanisme pengeringan berjalan secara bertahap. Pengeringan diawali pada suhu rendah di pagi hari, dan berangsur meningkat hingga siang hari yang selanjutnya menurun di sore hari. Pemanasan yang demikian cenderung menghasilkan biji kopi dengan citarasa yang baik (Yusianto *et al.*, 2003; Misnawi & Sulistyowati, 2006; Yusianto *et al.*, 2007). Sebaliknya, penggunaan suhu tinggi diawal proses akan cenderung berdampak kurang baik terhadap mutu biji kopi yang dihasilkan. Pengeringan suhu tinggi memiliki aspek positif untuk menghambat pertumbuhan jamur. Jamur akan tumbuh lebih banyak pada proses pengeringan lambat.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan jamur di permukaan kulit buah kopi berlangsung lebih cepat pada kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengeringan biji kopi berkulit cangkang. Pada pengeringan buah kopi dengan kerapatan 60 kg/m<sup>2</sup> dan 90 kg/m<sup>2</sup>, jamur mulai tumbuh di permukaan kulit buah pada hari keempat dan ketiga. Pada pengeringan biji kopi berkulit cangkang dengan kerapatan 60 kg/m<sup>2</sup> dan 90 kg/m<sup>2</sup> diketahui bahwa jamur mulai tumbuh di permukaan kulit cangkang masing-masing pada hari kelima dan keempat. Pada kerapatan 30 kg/m<sup>2</sup> tidak ditemukan jamur yang tumbuh di permukaan kulit buah

maupun kulit cangkang. Jamur tumbuh lebih awal di permukaan kulit buah yang dikeringkan dengan cara penjemuran langsung pada kerapatan 60 kg/m<sup>2</sup> dan 90 kg/m<sup>2</sup>, yaitu pada hari kedua. Pada perlakuan yang sama pertumbuhan jamur di permukaan biji kopi berkulit cangkang mulai terlihat pada hari ketiga.

Kontaminasi jamur yang melekat di permukaan kulit buah dan kulit cangkang ternyata tidak sampai pada permukaan biji kopi (*green beans*). Dari hasil proses pengupasan kulit kering diperoleh biji kopi pasar yang bebas dari pertumbuhan jamur. Hasil analisis mutu menunjukkan bahwa citarasa biji kopi tergolong baik dan bebas kandungan jamur. Suatu indikasi bahwa laju pengeringan buah kopi dan biji kopi berkulit cangkang di dalam bangunan tembus cahaya aman dilakukan sampai kerapatan 90 kg/m<sup>2</sup>. Namun, beberapa konsumen masih menilai bahwa tumbuhnya jamur di permukaan kulit buah dan kulit cangkang kering menunjukkan pengeringan belum berlangsung optimal. Penurunan kadar air yang relatif cepat dan seragam dapat memperlambat tumbuhnya jamur. Untuk itu, mekanisme pengadukan terkendali di dalam bangunan tembus cahaya perlu didisain dan segera diaplikasikan agar pertumbuhan jamur dapat ditekan serendah mungkin.

Selain masalah jamur, penilaian mutu dengan nilai cacat menunjukkan bahwa masih dijumpai sejumlah biji hitam sebagian, biji pecah dan biji muda. Ketiga cacat biji tersebut tidak disebabkan oleh proses pengeringan, namun oleh bercampurnya buah inferior seperti buah busuk, buah terserang hama dan penyakit serta buah hijau di dalam bahan baku penelitian. Perbaikan perlu dilakukan selain dari aspek pengeringan, yaitu proses-proses yang tepat terhadap buah kopi hasil panen sebelum dilanjutkan pada tahapan pengeringan buah atau pengupasan kulit buah basah.

## KESIMPULAN

1. Bangunan tembus cahaya skala besar dengan atap FRP memiliki efisiensi panas pengeringan antara 29,9–58,2% tergantung jenis dan kerapatan bahan yang dikeringkan. Pada kondisi cuaca cerah, bangunan tembus cahaya mampu menghasilkan udara pengering pada suhu maksimum 52°C.
2. Pada tingkat radiasi kumulatif per hari 4–5 kW-jam/m<sup>2</sup>, bangunan tembus cahaya mampu mengeringkan 12,9–38,8 ton buah kopi atau 12,9–38,8 ton kopi berkulit cangkang dari kadar air 58–64% menjadi 12% selama 6 sampai 14 hari.
3. Mekanisme pengeringan secara perlahan ini dapat mencegah pertumbuhan jamur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Atmawinata, O.; Sri-Mulato & K. Abdullah (1995). Pengeringan buah kopi dalam bangunan tembus cahaya. *Pelita Perkebunan*, 11, 181–189.
- Atmawinata, O.; Sri-Mulato; Yusianto & K. Abdullah (1997). Pengembangan bangunan tembus cahaya untuk pengeringan buah kopi. *Pelita Perkebunan*, 13, 188–198.
- Banout, J.; P. Ehla; J. Havlik; B. Lojka; Z. Polesny & V. Verner (2011). Design and performance evaluation of a double-pass solar drier for drying of red chilli (*Capsicum annum* L.). *Solar Energy*, 85, 506–515.
- Barnwal, P. & G.N. Tiwari (2008). Grape drying by using hybrid photovoltaic-thermal (PV/T) greenhouse dryer: An experimental study. *Solar Energy*, 82, 1131–1144.
- Borém, F.M.; E.R. Marques & E. Alves (2008). Ultrastructural analysis of drying damage in parchment Arabica coffee endosperm cells. *Biosystems Engineering*, 99, 62–66.
- Burmester, K. & R. Eggers (2010). Heat and mass transfer during the coffee drying process. *Food Engineering*, 99, 430–436.
- Fudholi, A.; K. Sopian; M.H. Ruslan; M.A. Alghoul & M.Y. Sulaiman (2010). Review of solar dryers for agricultural and marine products. *Renewable and Sustainable Energy*, 14, 1–30.
- Janjai, S.; P. Intawee; J. Kaewkiew; C. Sritus & V. Khamvongsa (2011). A large-scale solar greenhouse dryer using polycarbonate cover: Modeling and testing in a tropical environment of Lao People's Democratic Republic. *Journal of Renewable Energy*, 36, 1053–1062.
- Kaewkiew, J.; S. Nabnean & S. Janjai (2012). Experimental investigation of the performance of a large-scale greenhouse type solar dryer for drying chilli in Thailand. *Proceeding Engineering*, 32, 433–439.
- Kleinwächter, M. & D. Selmar (2010). Influence of drying on the content of sugars in wet processed green Arabica coffees. *Food Chemistry*, 119, 500–504.
- Kouadio, I.A.; L.B. Koffi; J.G. Nemlin & M.B. Dosso (2012). Effect of Robusta (*Coffea canephora* P.) coffee cherries quantity put out for sun drying on contamination by fungi and Ochratoxin A (OTA) under tropical humid zone (Côte d'Ivoire). *Food and Chemical Toxicology*, 50, 1969–1979.
- Koyuncu, T. (2006). An investigation on the performance improvement of greenhouse-type agricultural dryers. *Renewable Energy*, 31, 1055–1071.
- Kreider, K.F. & F. Keith (1981). *Solar Energy Handbook*. Mc-Graw Hill-Book Co., New York.
- Misnawi & Soelistyowati (2006). Mutu kopi Indonesia dan peluang peningkatan daya saingnya. *Warta Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia*, 22, 127–132.
- Oktova, R. & S. Santoso (2012). Pengaruh cacah kaca penutup terhadap kenaikan suhu maksimum air tandon

- pada kolektor surya plat datar. *Berkala Fisika Indonesia*, 4, 33–42.
- Prakash, O. & A. Kumar (2014). Solar greenhouse drying: A review. *Renewable and Sustainable Energy*, 29, 905–910.
- Ramírez-Martínez, A.; M.A. Salgado-Cervantes; G.C. Rodríguez-Jimenes; M.A. García-Alvarado; F. Cherblanc & J.C. Bénet (2013). Water transport in parchment and endosperm of coffee bean. *Journal of Food Engineering*, 14, 375–383.
- Sfredo, M.A.; J.R.D. Finzer & J.R. Limaverde (2005). Heat and mass transfer in coffee fruits drying. *Food Engineering*, 70, 15–25.
- Sharma, A. & C.R. Chen, Nguyen Vu Lan (2009). Solar-energy drying systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 1185–1210.
- 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.
- Sudia, B. (2010). Unjuk kerja kolektor surya plat datar menggunakan konsentrator dua cermin datar. *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1, 85–91.
- VenkataRaman, S.V.; S. Iniyar & R. Goic (2012). A review of solar drying technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 2652–2670.
- Vincent, J.C. (1987). Green coffee processing. p. 1–33. **In:** R. J. Clarke & R. Macrae (Eds.). *Coffee Technology*. Vol. 3. Elsevier Applied Sci., London.
- Wijaya, A. (2007). *Uji Kinerja Mesin Pengering Tipe Efek Rumah Kaca (ERK) Berenergi Surya dan Biomassa untuk Pengeringan Biji Pala (Myristica sp.) di UD. Sari Awi, Ciherang Pondok, Caringin, Bogor*. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. IPB. Bogor.
- Yusianto; R. Hulupi; Soelistyowati; S. Mawardi & C. Ismayadi (2007). Mutu fisik dan citarasa beberapa varietas kopi Arabika harapan pada beberapa periode penyimpanan. *Pelita Perkebunan*, 23, 205–230.
- Yusianto, Sri-Mulato & Martadinata (2003). Citarasa kopi dan bubuk di pasaran pada beberapa kabupaten di wilayah Jawa Timur. *Pelita Perkebunan*, 19, 39–47.

\*\*0\*\*