

KARAKTERISTIK PENGERINGAN CHIPS MANGGA MENGGUNAKAN KOLEKTOR SURYA KACA GANDA

[*Characteristics of Mango Chips Drying Using a Double Plated Solar Collector*]

Ansar*, Cahyawan dan Safrani

Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram, Mataram

Diterima 09 November 2011 / Disetujui 19 Juli 2012

ABSTRACT

The objectives of this research were to study the characteristics of mango chips drying using a double plated solar collector. The materials used were sliced mangoes with the thickness of 3, 6, and 8 mm. The equipments used for this research were double plated solar collector, thermocouple, digital balance, thermometer, vacuum oven, and desiccators. The research parameters included the rate of heat energy absorbed by the double plated solar collector, the heat energy losses, the efficiency of the double plated solar collector and the moisture content of the chips. The results of this study suggested that the use of double plated solar collector could increase the temperature and the amount of heat energy, thus speed up the drying process of the mango chips. The energy needed to evaporate the moisture content in mango decreased in proportion to the increase in drying time. The difference in mango chips' thickness resulted in different decrease rate in water content until it reached a constant state. The efficiency of the double plated solar collector was 77.82%.

Keywords: *drying, mango chips, solar collector*

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji karakteristik pengeringan *chips* mangga menggunakan kolektor surya kaca ganda. Bahan yang digunakan adalah buah mangga yang telah diiris dengan ketebalan 3, 6, dan 8 mm. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kolektor surya kaca ganda, termokopel, timbangan digital, termometer, oven vakum, dan desikator. Parameter penelitian yang diamati meliputi laju energi panas yang diserap oleh kolektor surya kaca ganda, energi panas yang hilang, efisiensi penggunaan kolektor surya kaca ganda, dan kadar air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan kolektor surya kaca ganda dapat meningkatkan temperatur dan jumlah energi panas, sehingga proses pengeringan *chips* mangga dapat berlangsung dengan cepat. Jumlah energi untuk mengevaporasi kadar air *chips* mangga menurun seiring dengan bertambahnya waktu pengeringan. Variasi ketebalan *chips* mangga memiliki laju penurunan kadar air yang berbeda-beda untuk mencapai kondisi konstan. Efisiensi kolektor surya kaca ganda dapat mencapai 77,82%.

Kata kunci: pengeringan, *chips* mangga, kolektor surya

PENDAHULUAN

Pengeringan merupakan salah satu cara untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian kadar air yang ada di dalam bahan menggunakan energi panas yang sudah lama dikenal oleh masyarakat. Keuntungan pengeringan antara lain adalah bahan menjadi lebih awet dan memudahkan pengolahan selanjutnya. Metode pengeringan yang paling banyak dilakukan adalah menggunakan energi panas matahari yang selalu tersedia di alam dan tidak memerlukan biaya yang mahal untuk pemanfaatannya. Jika hal ini dapat dieksploitasi dengan tepat, maka energi panas dari matahari mampu menyediakan kebutuhan konsumsi energi dalam waktu yang lebih lama.

Ada banyak cara untuk memanfaatkan energi matahari, salah satunya adalah pengeringan. Selama ini kebanyakan petani melakukan pengeringan hasil-hasil pertanian dengan cara penjemuran langsung dibawah terik sinar matahari dengan suhu lingkungan sekitar 30°C. Suhu pengeringan yang ideal

untuk komoditas pertanian pada umumnya berkisar antara 60-70°C. Dengan demikian, jika hanya menggunakan energi panas radiasi matahari pada suhu lingkungan, maka akan membutuhkan waktu pegeringan yang lebih lama.

Penyebaran sinar matahari setiap tahun di belahan bumi bervariasi. Di Indonesia rata-rata menerima sinar matahari 8 jam per hari dalam jumlah yang tak terbatas, sehingga memiliki nilai ekonomis yang tinggi apabila dimanfaatkan secara maksimal. Selama ini penggunaan kolektor surya dengan sumber panas dari radiasi matahari untuk pengeringan hasil-hasil pertanian belum banyak dilakukan. Padahal alat ini sangat tepat digunakan untuk mengeringkan bahan-bahan hasil pertanian yang memiliki kadar air yang tinggi.

Pemilihan kolektor surya sebagai alat pengering buatan merupakan pilihan yang tepat untuk mewujudkan energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Supriyadi (2005) mengungkapkan bahwa kolektor surya merupakan seperangkat alat pengumpul panas dengan memanfaatkan panas dari sinar matahari sebagai sumber energi. Ketika cahaya matahari menimpa *absorber* pada kolektor surya, sebagian cahaya

*Korespondensi Penulis:
e-mail: ancadewi@yahoo.com

tersebut akan dipantulkan kembali ke udara dan sebagian lagi diserap kemudian dikonversi menjadi energi panas di dalam ruang pengering kolektor surya.

Pembuatan *chips* mangga dengan bahan baku dari mangga selama ini hanya dilakukan dengan metode penjemuran langsung di bawah sinar matahari. Metode pengeringan seperti ini, selain membutuhkan waktu pengeringan yang lebih lama, juga produk asam yang dihasilkan sebagai bumbu masakan kurang higienis karena selama proses pengeringan terjadi kontaminasi dengan debu atau kotoran-kotoran lainnya.

Alat pengering kolektor surya mampu mengatasi hal tersebut di atas. Menurut Thamrin (2010) alat pengering kolektor surya dapat digunakan untuk pengeringan dan menghasilkan produk yang lebih higienis karena memiliki ruang pengering yang tertutup. Di samping itu, kolektor surya memiliki keunggulan dalam hal penggunaan energi karena mampu mengkonversi energi matahari menjadi energi termal. Selain itu, kolektor surya mampu menjaga higienitas produk yang telah dikeringkan (Sutanto, 2008).

Secara umum prinsip kerja kolektor surya adalah mengumpulkan energi panas dari intensitas radiasi matahari yang datang ke permukaan kaca kolektor surya. Energi panas radiasi tersebut mengalami tiga proses transfer energi yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi dari kaca penutup ke pelat penyerap. Untuk mempertahankan dan mengurangi kehilangan panas yang telah diserap oleh kaca penyerap, maka diberikan isolator pada ruang pengering kolektor (Supriyadi, 2005). Efisiensi kolektor surya dapat optimal jika posisinya diletakkan melintang terhadap arah matahari. Efisiensi kolektor surya merupakan perbandingan antara energi yang digunakan dengan jumlah energi yang diterima. Efisiensi kolektor surya dipengaruhi oleh laju energi panas yang diterima oleh pelat penyerap dan koefisien pindah panas pelat penyerap (Yani *et al.*, 2009).

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka perlu dikaji secara ilmiah karakteristik dan efisiensi penggunaan kolektor surya kaca ganda untuk pengeringan *chips* mangga. Dengan demikian, maka tujuan penelitian ini adalah melakukan pengeringan *chips* mangga menggunakan kolektor surya kaca ganda untuk mengkaji karakteristik pengeringan dengan memanfaatkan secara maksimal energi matahari yang sangat melimpah di negeri ini.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *chips* mangga yang telah diiris dengan variasi ketebalan 3, 6, dan 8 mm. *Chips* mangga tersebut dibuat dari buah mangga madu berumur 1 bulan yang dipetik di halaman Fakultas Pertanian Universitas Mataram.

Metode

Tahapan pertama dalam penelitian ini adalah melakukan preparasi alat kolektor surya kaca ganda dengan cara menentukan posisi kolektor terhadap arah matahari. Posisi kolektor surya diletakkan melintang dengan arah matahari untuk men-

dapatkan intensitas radiasi matahari yang dapat diserap secara maksimal oleh pelat kolektor.

Tahapan kedua adalah melakukan isolasi pada dinding kolektor surya. Isolasi ini bertujuan untuk mengisolir panas yang telah diserap oleh kolektor. Bahan isolasi yang digunakan adalah lakban berwarna hitam.

Tahapan ketiga adalah menempatkan sensor suhu pada tiga posisi, yaitu di kaca kolektor, bahan, dan lingkungan. Alat pengukur suhu yang digunakan adalah termodigital. Pengukuran suhu dimulai pada pukul 07.00 sampai dengan 17.00 WITA.

Tahapan keempat adalah pengeringan *chips* mangga dengan cara memasukkan ke dalam ruang pengering kolektor surya kaca ganda. Sampel dimasukkan ke dalam kolektor surya kaca ganda berukuran 900 x 800 x 200 mm seperti disajikan pada Gambar 1. Terdapat tiga variasi ukuran ketebalan *chips* mangga yang digunakan yaitu 3, 6, dan 8 mm. Ketiga jenis variasi ini dikeringkan secara bergantian selama 22 jam.



Gambar 1. Seperangkat kolektor surya kaca ganda

Tahapan penelitian berikutnya adalah pengukuran kadar air *chips* mangga dilakukan dengan cara pemanasan (AOAC, 1995). Sampel sebanyak 5 g dimasukkan ke dalam cawan yang telah diketahui beratnya, kemudian dimasukkan ke dalam oven vakum dengan suhu 50°C hingga diperoleh berat konstan. Perhitungan kadar air *chips* mangga dihitung dengan rumus:

$$ka_{bb} = \frac{a-b}{a} \times 100 \dots\dots\dots 1$$

dengan, ka_{bb} adalah kadar air berat basah (%), a adalah berat awal (g), dan b adalah berat akhir (g).

Parameter penelitian

Laju energi panas yang diserap oleh kolektor surya kaca ganda dihitung dengan persamaan (Handoyo, 2001):

$$q_i = A_c I_{rad} T^{\alpha} \dots\dots\dots 2$$

dengan, q_i adalah laju energi panas yang masuk (W/m^2), A_c adalah luas permukaan kolektor (m^2), I_{rad} adalah intensitas radiasi matahari (W/m^2), T adalah transmisivitas kaca penutup (tidak berdimensi), α adalah absorpsivitas pelat penyerap (tak berdimensi).

Untuk mengetahui intensitas radiasi matahari yang diterima oleh kolektor diukur dengan solarimeter. Alat ini mencatat sendiri lamanya matahari bersinar dalam sehari yang terdiri dari dua kotak berbentuk setengah silinder dan tertutup. Di bagian dalam dipasang kertas yang sangat peka terhadap sinar matahari langsung. Apabila seberkas matahari langsung mengenai kertas ini akan meninggalkan bekas yang gelap.

Laju energi panas yang dikumpulkan oleh kolektor surya kaca ganda dihitung menggunakan persamaan:

$$q_u = \dot{m} \cdot C_p (T_o - T_i) \dots \dots \dots 3$$

dengan, q_u adalah laju energi panas yang dikumpulkan kolektor (W/m^2), \dot{m} adalah laju aliran massa udara (kg/jam), C_p adalah panas jenis udara ($kJ/kg^\circ C$), T_o adalah suhu udara keluar ($^\circ C$), dan T_i adalah suhu udara masuk ($^\circ C$). Laju aliran massa udara diukur menggunakan anemometer.

Laju energi panas yang hilang (q_L) dihitung dengan persamaan:

$$q_L = q_i - q_u \dots \dots \dots 4$$

dengan, q_i adalah laju energi panas yang masuk (W/m^2) dan q_u adalah laju energi panas yang dikumpulkan (W/m^2).

Efisiensi kolektor surya kaca ganda dihitung dengan persamaan:

$$\eta_c = FR(\tau\alpha) - FRUL \left(\frac{T_r - T_a}{I_{rad}} \right) \dots \dots \dots 5$$

dengan, η_c adalah efisiensi kolektor (%), $FR(\tau\alpha)$ adalah faktor pelepasan panas transmisi dan absorpsi, $FRUL$ adalah faktor kerugian panas total ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$).

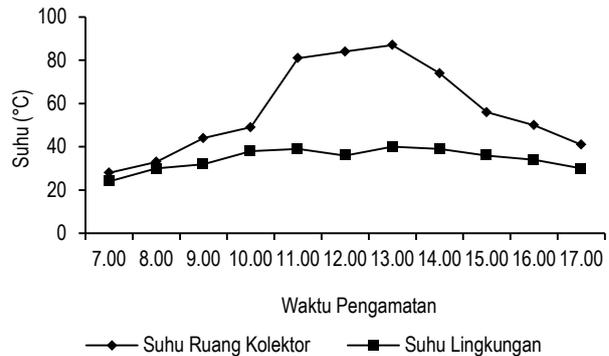
Analisis data

Data hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk grafik. Data rata-rata suhu ruang kolektor dan suhu lingkungan dilakukan 3 kali pengukuran pada saat hari cerah, berawan, dan mendung. Data laju energi panas yang dihasilkan oleh kolektor surya diambil rata-ratanya setelah dilakukan 3 kali pengukuran, kemudian diperoleh data tentang laju energi panas yang digunakan untuk pengeringan *chips* mangga.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu kolektor

Hasil pengukuran suhu ruang kolektor dan suhu lingkungan disajikan pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2 dapat dijelaskan bahwa pada awal pengeringan yaitu pada pukul 07.00 hingga 08.00 WITA suhu di ruang kolektor dan suhu lingkungan masih sama. Hal ini terjadi karena intensitas radiasi matahari yang sampai ke permukaan kolektor surya kaca ganda masih rendah.



Gambar 2. Hubungan antara suhu ruang kolektor dan suhu lingkungan dengan waktu pengeringan

Suhu ruang kolektor meningkat secara tajam terjadi pada pukul 10.00 hingga 12.00 WITA. Kenaikan suhu lingkungan tidak berubah secara signifikan seperti halnya suhu di ruang kolektor. Suhu di ruang kolektor jauh lebih tinggi dibandingkan dengan suhu lingkungan pada pukul 12.00 WITA. Hal ini terjadi karena pengaruh intensitas radiasi matahari yang tinggikan posisi kolektor tegak lurus dengan matahari pada pukul 12.00 dan 13.00 WITA, sehingga suhu yang diserap oleh kaca penutup kolektor sangat tinggi. Suhu di ruang kolektor perlahan-lahan turun mulai pada pukul 14.00 hingga 17.00 WITA.

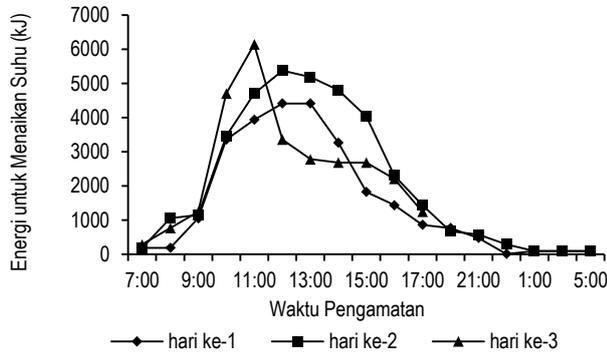
Penggunaan kaca sebagai transmisi penutup atas pada kolektor sangat berpengaruh terhadap jumlah energi panas yang diserap oleh ruang pengering kolektor. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Handoyo (2001) yang melaporkan bahwa kaca penutup sangat berpengaruh terhadap jumlah energi matahari yang dapat ditransmisikan ke ruang pengering kolektor dan direfleksikan kembali ke udara.

Besarnya suhu yang masuk ke dalam ruang pengering kolektor surya kaca ganda bergantung pada intensitas radiasi matahari yang diterima oleh permukaan kolektor. Berdasarkan pengamatan di lapangan terlihat bahwa besarnya intensitas radiasi matahari bergantung pada sudut datangnya radiasi. Hal ini terbukti bahwa pada pukul 12.00 WITA posisi matahari tepat berada tegak lurus dengan permukaan kolektor, sehingga intensitas radiasi matahari yang diterima kolektor tinggi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Burhanuddin (2005) bahwa intensitas radiasi matahari yang masuk ke kolektor akan maksimum jika permukaan kolektor tegak lurus dengan posisi matahari

Kondisi cuaca yang berfluktuatif mengakibatkan intensitas radiasi matahari yang sampai pada permukaan kolektor tidak konstan, sehingga radiasi panas yang terjebak diantara kaca penutup transparan dan absorber juga berbeda-beda. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Susanto (2008), bahwa pelat kaca dapat menjebak radiasi secara efektif dan berpengaruh terhadap tinggi rendahnya suhu di ruang kolektor surya kaca ganda. Pola peningkatan dan penurunan suhu di ruang kolektor surya kaca ganda selama proses pengeringan mengikuti pola intensitas radiasi matahari yang meningkat menjelang siang hari dan menurun kembali pada sore hari.

Laju energi panas

Secara grafik laju energi panas untuk menaikkan suhu *chips* mangga pada setiap variasi ketebalan ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan gambar tersebut terlihat bahwa laju energi panas untuk menaikkan suhu *chips* mangga bergantung pada intensitas radiasi matahari yang diterima oleh kolektor surya kaca ganda.



Gambar 3. Hubungan antara laju energi panas dengan waktu pengeringan *chips* mangga

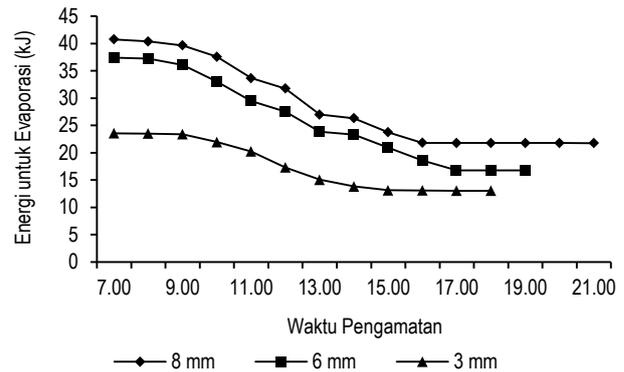
Jumlah kebutuhan energi untuk menaikkan suhu *chips* mangga pada setiap variasi ketebalan berbeda-beda. Semakin tinggi intensitas radiasi matahari suhu *chips* mangga juga semakin tinggi. Pola peningkatan energi panas untuk menaikkan suhu *chips* mangga mengikuti pola intensitas radiasi matahari. Hal ini terjadi karena sumber energi untuk menaikkan suhu *chips* mangga hanya berasal dari intensitas radiasi matahari. Pada sore hingga malam hari energi panas untuk menaikkan suhu *chips* mangga menurun dan konstan pada pukul 01.00 sampai 05.00 WITA. Fenomena ini menunjukkan bahwa kolektor surya masih menyimpan energi panas. Hal ini sesuai dengan pendapat Sugeng *et al.* (1997) bahwa kolektor surya mampu menyimpan energi panas beberapa saat setelah tidak lagi mendapatkan intensitas radiasi matahari pada siang hari.

Energi evaporasi

Hasil pengukuran laju energi untuk mengevaporasi kadar air *chips* mangga selama pengeringan ditunjukkan pada Gambar 4. Berdasarkan data pada Gambar 4 dapat dijelaskan bahwa laju energi untuk mengevaporasi kadar air *chips* mangga menurun seiring dengan bertambahnya waktu pengeringan. Laju energi untuk mengevaporasi kadar air pada *chips* mangga ketebalan 3, 6, dan 8 mm berbeda-beda. Laju evaporasi kadar air tertinggi dicapai pada ketebalan 8 mm dan laju evaporasi terendah dicapai pada perlakuan ketebalan 3 mm. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh perlakuan ketebalan sangat signifikan ($P > 0,01$) terhadap laju energi untuk mengevaporasi kadar air *chips* mangga. Perbedaan ketebalan menunjukkan perbedaan jumlah kadar air yang ada dalam *chips* mangga.

Selain faktor ketebalan iris, laju energi untuk mengevaporasi kadar air *chips* mangga juga dipengaruhi oleh suhu dan waktu. Semakin tinggi suhu di ruang pengering dan semakin lama waktu pengeringan, maka energi evaporasi semakin kecil dan jumlah kadar air yang menguap semakin banyak. Hal ini sesuai

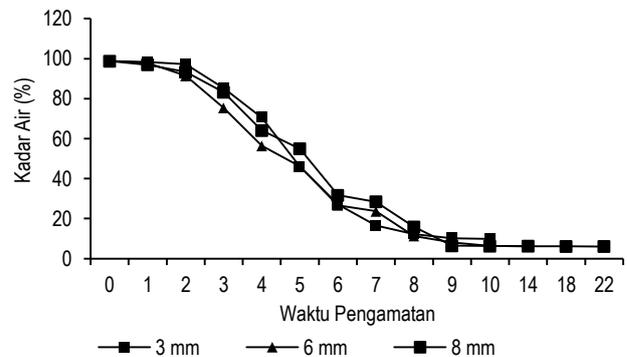
dengan pendapat Sangrame *et al.* (2007) bahwa semakin lama pengeringan daging buah angka massa air yang diuapkan juga semakin banyak hingga mencapai titik jenuh.



Gambar 4. Hubungan antara energi evaporasi dengan waktu selama pengeringan *chips* mangga

Kadar air *chips* mangga

Laju penurunan kadar air *chips* mangga pada setiap variasi ketebalan berbeda-beda (Gambar 5). Namun secara umum laju penurunan kadar air *chips* mangga mengikuti pola linier yaitu semakin lama pengeringan semakin menurun. Pada awal pengeringan laju penurunan kadar air terjadi dengan cepat. Akan tetapi semakin lama waktu pengeringan, penurunan kadar air semakin lambat dan akhirnya konstan.



Gambar 5. Hubungan antara penurunan kadar air *chips* mangga dengan waktu pengeringan

Pengeringan *chips* mangga ketebalan 3 mm mempunyai laju penurunan kadar air yang sangat cepat dan hanya membutuhkan waktu 10 jam untuk mencapai kadar air konstan yaitu 14%. Untuk ketebalan 6 dan 8 mm masing-masing membutuhkan waktu 14 dan 18 jam untuk mencapai kadar air konstan. Hal ini sesuai dengan pendapat Bahari *et al.* (2008) bahwa laju penurunan kadar air buah kakao dapat berubah dan konstan dengan bertambahnya waktu pengeringan.

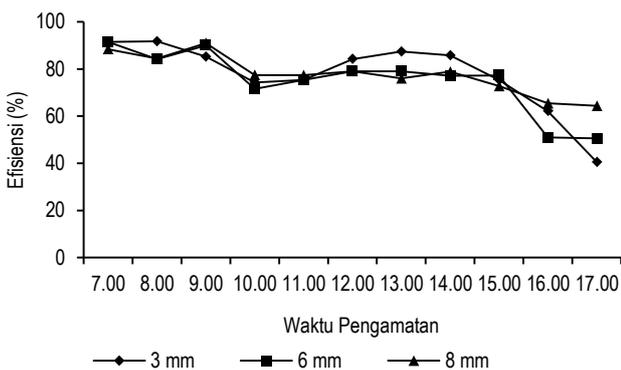
Perbedaan laju penurunan kadar air *chips* mangga dipengaruhi oleh ketebalan *chips* mangga. Semakin tebal iris *chips* mangga, jumlah kadar air yang diuapkan semakin besar dan waktu yang dibutuhkan juga semakin lama. Oleh karena itu, penentuan ukuran iris sangat penting dalam proses pengeringan *chips* mangga. Selain untuk memperoleh kualitas

produk asam mangga yang baik, juga dapat mempercepat laju penurunan kadar air.

Efisiensi kolektor

Efisiensi kolektor surya kaca ganda selama pengeringan diperoleh angka rata-rata 77,82% (Gambar 6). Untuk pengeringan *chips* mangga ketebalan 3 mm, efisiensi kolektor surya mengalami penurunan yang tinggi pada pukul 10.00 dan 11.00 WITA. Intensitas radiasi matahari rendah menyebabkan suhu yang diserap oleh kolektor juga rendah. Namun efisiensi meningkat pada pukul 11.00 hingga 13.00 WITA, kemudian menurun lagi pada pukul 14.00 WITA. Fenomena ini terjadi karena intensitas radiasi matahari yang selalu berubah-ubah, sehingga suhu kolektor surya berfluktuasi dan berdampak pada efisiensi kolektor.

Pada pengeringan *chips* mangga ketebalan 6 mm, efisiensi kolektor surya kaca ganda menurun pada pukul 10.00 WITA karena intensitas radiasi matahari terhalang oleh awan, sehingga suhu di ruang kolektor kecil. Pada pukul 11.00 hingga 17.00 WITA, efisiensi kolektor untuk pengeringan *chips* mangga ketebalan 8 mm mengalami penurunan yang relatif kecil. Hal ini terjadi karena intensitas radiasi matahari yang sampai ke permukaan kolektor surya sangat tinggi dan tidak tertutupi oleh awan. Hal ini sejalan dengan pendapat Burhanuddin (2005) yang melaporkan bahwa efisiensi kolektor bergantung pada intensitas radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi. Semakin tinggi intensitas radiasi matahari, maka efisiensi kolektor surya kaca ganda juga semakin besar.



Gambar 6. Efisiensi kolektor selama pengeringan *chips* mangga

Jika dibandingkan dengan metode pengeringan secara konvensional, penggunaan kolektor surya kaca ganda untuk pengeringan *chips* mangga memiliki banyak kelebihan, antara lain waktu pengeringan lebih cepat, produk yang dihasilkan lebih higienis karena selama pengeringan tidak terjadi kontaminasi dengan debu atau kotoran-kotoran lainnya, serta tekstur dan warna produk seragam.

KESIMPULAN

Penggunaan kolektor surya kaca ganda dapat mempercepat proses pengeringan *chips* mangga. Laju energi panas untuk menaikkan suhu *chips* mangga bergantung pada intensitas radiasi matahari yang di serap oleh kolektor surya kaca ganda. Laju energi untuk mengevaporasi kadar air *chips* mangga menurun seiring dengan bertambahnya waktu pengeringan. Variasi ketebalan *chips* mangga memiliki laju penurunan kadar air yang berbeda-beda untuk mencapai kondisi konstan. Ketebalan irisan 3, 6, dan 8 mm berturut-turut membutuhkan waktu pengeringan 10, 14, dan 18 jam untuk mencapai kadar air konstan yaitu 14%. Efisiensi kolektor surya kaca ganda dapat mencapai 77,82%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Peneliti berterimakasih kepada pihak-pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini khususnya kepada pengelola dana SPP/DPP Universitas Mataram Tahun Anggaran 2010 atas dukungan dana yang telah diberikan, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. 1995. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th Edition. AOAC. Washington.
- Bahari S, Abdullah A, Ginting P, Lembang YR. 2008. Rancang bangun model penyimpanan energi matahari. J Studia Teknologica 1: 107-115.
- Burhanuddin A. 2005. Karakteristik kolektor surya pelat datar dengan variasi jarak penutup dan sudut kemiringan kolektor. J Teknik 14: 52-58.
- Handoyo EA. 2001. Pengaruh jarak kaca ke pelat terhadap panas yang diterima kolektor surya pelat datar. J Teknik Mesin 10: 6-11.
- Sangrame G, Bhagavathi D, Thakare H. 2007. Performance evaluation of a thin film scraped surface evaporator for concentration of jack pulp. J Eng 43: 205-211.
- Sugeng R, Didik Y, Abdurrouf, Achmad H. 1997. Perbaikan teknologi pengering ikan tenaga surya di pulau Madura. J Teknik 9: 35-46.
- Supriyadi A. 2005. Uji performansi kolektor surya pelat datar dan pelat gelombang dengan variasi jarak dua kaca penutup. J Teknik 14: 59-65.
- Sutanto R. 2008. Analisis pengaruh pemakaian cover sistem ganda terhadap laju pengeringan pada pengering tenaga surya. J Teknik Mesin 17: 15-21.
- Thamrin I. 2010. Rancang bangun alat pengering ubi kayu tipe rak dengan memanfaatkan energi surya. J Teknik Mesin 10: 31-38.
- Yani E, Abdurrachim, Pratoto A. 2009. Perhitungan efisiensi kolektor surya pada pengering surya tipe aktif tidak langsung. J Teknik 31: 26-33.

