

KINERJA PENGERING SURYA SISTEM INTEGRASI MENGUNAKAN KOLEKTOR PLAT DATAR-BERSIRIP DAN ABSORBEN TERMOKIMIA UNTUK PENGERINGAN KAKAO

PERFORMANCE OF SOLAR DRYER'S INTEGRATED SYSTEM USING FLAT PLATE-FINNEDED COLLECTOR AND THERMOCHEMICAL-ABSORBENT FOR COCOA BEAN DRYING

Farel H. Napitupulu¹, Himsar Ambarita¹, dan Sari Farah Dina²

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara,
Jl. Almamater, Medan – Indonesia

²Baristand Industri Medan, Kementerian Perindustrian,
Jl. Sisingamangaraja No. 24 Medan – Indonesia

e-mail: sfdina1@yahoo.com

diajukan: 27/11/2014, direvisi: 27/03/2015, disetujui: 06/04/2015

ABSTRACT

Research on solar energy integration dryer using a flat plate-finned collector type and thermochemical absorbent to dry-fermented cocoa beans have been done. Installation of fins on the collector increased surface area of absorber and absorbed more solar energy. Drying was continued during the night using absorbent therefore shorten the drying time. Drying of fermented cocoa beans with initial moisture content of 62.6% was carried out in 18-19 June 2014 and final moisture content reached 7.6%. Solar energy during daytime was conducted at 08:30 - 16:00 WIB, followed by thermochemical energy using CaCl_2 salt as absorbent at 16:00 - 08:30 WIB the next day. Drying was discontinued when a constant weight was achieved. Evaluation was conducted on the ambient condition and potential radiation, thermal efficiency of solar collectors, the effectiveness of absorbent, and drying kinetics model. The results showed, the weather conditions recorded during the day is in the range of air temperature 29-38°C; relative humidity (RH) of 41-81% and solar radiation of 111-969 Watt/m^2 . The thermal efficiency of solar collectors with flat plate-finned improved the average thermal efficiency of 62% compared with the average thermal efficiency of solar collector without fins conducted the year before of which was 37%. Drying effectiveness was expressed as evaporation rate of water out of the cocoa bean. Solar energy evaporated water by 80% and the rest issued during the evenings with absorbent. Drying kinetics model is exponential, its drying time shorter than a solar dryer type of flat plate collectors without fins.

Keywords: solar dryers, thermochemical, flat plate-finned collector, performance

ABSTRAK

Penelitian tentang pengering integrasi energi surya menggunakan kolektor tipe plat datar bersirip dan termokimia untuk mengeringkan biji kakao-fermentasi telah dilakukan. Pemasangan sirip pada kolektor menambah luas permukaan absorber dan meningkatkan energi surya yang diserap. Pengeringan dilanjutkan malam hari menggunakan *absorben* dan dapat mempersingkat waktu pengeringan. Pengeringan biji kakao-fermentasi dengan kadar air awal rata-rata 62,6% dilakukan pada 18-19 Juni 2014 hingga mencapai kadar air 7,6%. Energi surya dilakukan selama siang hari pukul 08:30-16:00 WIB, dilanjutkan dengan energi termokimia menggunakan *absorben* berupa garam CaCl_2 pada malam hari pukul 16:00-08:30 WIB keesokan harinya. Pengeringan dihentikan pada saat dicapai berat konstan. Evaluasi terhadap kondisi dan potensi radiasi, efisiensi termal kolektor surya, efektifitas *absorben*, dan model kinetika pengeringan. Hasil menunjukkan bahwa selama proses pengeringan berlangsung, kondisi cuaca siang hari dicatat berada pada temperatur udara 29 – 38 °C; kelembaban relatif (RH) 41–81 % dan intensitas radiasi 111–969 Watt/m^2 . Efisiensi termal kolektor surya dengan pemasangan sirip pada plat absorber dapat meningkatkan efisiensi termal rata-rata sebesar 62%, sedangkan efisiensi termal rata-rata kolektor surya tanpa sirip yang dilakukan tahun sebelumnya adalah 37%. Efektifitas pengeringan dianalogikan terhadap laju pengurangan kadar air. Energi surya menguapkan air dari dalam biji kakao sebesar 80%, sisanya diuapkan pada malam hari menggunakan *absorben*. Model kinetika pengeringan adalah eksponensial dan waktu pengeringan lebih singkat dibanding pengering surya tipe kolektor plat datar tanpa sirip.

Kata kunci: pengering surya, termokimia, kolektor surya tipe plat datar-bersirip, performansi

PENDAHULUAN

Metode pengeringan biji kakao umumnya menggunakan energi surya dan buatan atau menggunakan udara panas yang digerakkan (*forced air drying*). Sesuai pertimbangan nilai ekonomis dan kondisi cuaca. Pengeringan biji kakao dengan cara penjemuran langsung masih terus berlangsung hingga saat ini. Cara konvensional ini memiliki kelemahan yaitu kontaminasi produk akibat hujan, angin, uap air dan debu; penurunan mutu akibat dekomposisi, serangga dan jamur. Proses pengeringan dengan penjemuran langsung memerlukan tenaga kerja intensif, waktu lebih lama dan memerlukan lahan lebih luas (Athul Sharma, *at el.* 2009). Selain sangat bergantung pada kestabilan kondisi cuaca, penjemuran langsung memerlukan waktu pengeringan lebih lama yakni 4 – 5 hari (Fagunwa A.O., *at el.* 2009).

Pengendalian terhadap kondisi temperatur dan kelembaban dapat membantu pengeringan berjalan cepat untuk mencapai kadar air aman. Oleh karena itu laju pengeringan merupakan faktor kritis terhadap mutu akhir biji kakao. Laju pengeringan yang terlalu cepat menghasilkan kadar asam berlebih dengan pengerasan kulit. Laju pengeringan yang terlalu lambat berpengaruh terhadap laju pertumbuhan jamur dan juga biaya (Hii C.L., *at el.* 2009). Pengeringan buatan menggunakan udara panas pada 60, 70 dan 80 °C di dalam ruang pengering dengan kecepatan udara hanya diakibatkan oleh konveksi alamiah yang diklaim sebesar 0,01 m/s. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengeringan dengan temperatur udara pengering 60°C adalah yang terbaik (Hii C.L., *at el.* 2009).

Selain itu kualitas kakao terbaik diperoleh pula dengan cara pengeringan sinar matahari secara tidak langsung (Bonaparte A., *at el.* 1998).

Suhu di Indonesia berkisar antara 26–35°C dan bila saat cuaca cerah akan disinari matahari selama 11-12 jam. Potensi energi surya rata-rata adalah 16 MJ/hari. Potensi energi terbarukan ini dapat dimanfaatkan untuk proses pengeringan. Salah satu jenis pengering surya yang banyak digunakan untuk mengeringkan

hasil-hasil pertanian adalah pengering surya tipe kolektor plat datar terbuat dari material dengan konduktivitas termal tinggi. Tipe ini dirancang untuk aplikasi yang memerlukan energi panas pada temperatur di bawah 100°C.

Meskipun energi surya dapat dipandang sebagai energi yang bersih dan ramah lingkungan namun bersifat tidak kontinu. Hal tersebut dapat diantisipasi dengan cara melanjutkan proses pengeringan pada malam hari, menggunakan bahan kimia adsorben, *absorben* atau bahan-bahan kimia penyimpan panas (*phase change material's* = *PCM's*) (Lalit M. Bal, *at el.* 2010). Selain itu *PCM's* dapat mencegah terjadinya reabsorpsi uap air di udara ke bahan yang dikeringkan.

Pengeringan kakao-fermentasi secara kontinu menggunakan pengering surya tipe kolektor plat datar dan termokimia telah dilakukan (Dina S.F 2014). Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi termal kolektor surya plat datar berkisar antara 27-58% dan waktu pengeringan 30 jam. Untuk meningkatkan efisiensi termal ini dapat dilakukan dengan cara memperbaiki sistem isolasi atau meningkatkan luas permukaan plat *absorber* yaitu dengan menambah sirip.

Sirip adalah peralatan tambahan yang digunakan untuk meningkatkan kinerja suatu peralatan penukar panas. Pada dasarnya penggunaan sirip bertujuan menambah luas bidang perpindahan panas dengan bahan yang mempunyai konduktivitas yang baik sehingga dapat menyimpan energi termal lebih banyak. Pengeringan kakao-fermentasi secara kontinu menggunakan pengering surya tipe kolektor plat datar bersirip terintegrasi dengan *absorben* belum pernah dilakukan sebelumnya

Tujuan penelitian ini adalah melakukan evaluasi kinerja pengering surya tipe kolektor plat datar-bersirip yang diintegrasikan dengan *absorben* termokimia untuk mengeringkan biji kakao. Evaluasi yang dilakukan meliputi potensi intensitas radiasi sebagai sumber energi termal kolektor surya selama proses pengeringan berlangsung, unjuk kerja pengering surya tipe kolektor plat datar-bersirip, efektifitas pengeringan kakao menggunakan sistem

integrasi energi surya dan termokimia *absorben* serta mendapatkan model kinetika pengeringan biji kakao-fermentasi.

METODE

Bahan

Buah kakao jenis kakao lindak (*bulk cocoa*) yang digunakan berasal dari petani kakao di kabupaten Tanah Karo propinsi Sumatera Utara, difermentasi selama 5 hari didalam kotak *Styrofoam* (Dina S.F 2014). Setelah direndam dan dicuci, ± 100gr biji kakao ditimbang dan dikeringkan. Bahan *absorben* CaCl₂ teknis ditimbang seberat 1000 gr.

Prosedur Percobaan

Pengeringan biji kakao sistem integrasi dilakukan pada tanggal 18 dan 19 Juni 2014 dengan memanfaatkan energi termal matahari dari jam 8.30–16.00 WIB. Posisi pengering dan kolektor surya terhadap arah peredaran matahari dapat dilihat pada Gambar 1a. Pada pengeringan malam hari dari jam 16.00–8.30 WIB bahan termokimia *absorben* ditempatkan dibawah rak biji kakao seperti terlihat pada Gambar 1.b. Demikian seterusnya siklus pengeringan dilanjutkan keesokan harinya hingga dicapai kondisi setimbang yakni tidak ada lagi penurunan berat sampel. Sebagai pembanding dilakukan juga pengeringan dengan cara penjemuran langsung. Penurunan berat selama pengeringan berlangsung di timbang menggunakan *weight data logger* yang terhubung dengan komputer.

Potensi energi surya diperoleh melalui pengukuran keadaan cuaca yang meliputi: intensitas radiasi (*pyranometer*), kecepatan angin (*wind velocity sensor*) temperatur udara (*ambient measurement apparatus*) dan kelembaban (*Tand RH smart sensor*). Keseluruhan alat ini dihubungkan dengan *HOBO Micro Station Data Logger*.

Unjuk Kerja Kolektor Surya Tipe Plat Datar Bersirip

Nilai unjuk kerja kolektor surya ditentukan dengan cara menghitung

efisiensi termalnya. Pengukuran temperatur dimulai dengan menghubungkan kabel-kabel termo kopel yang terhubung ke *agilent* dan ditempelkan ke permukaan kayu, ruang kolektor, permukaan kaca, lingkungan sekitar plat *absorber*, dan ruang pengering (Gambar 2). Data temperatur dicatat setiap menit dan untuk perhitungan diambil nilai rata-rata setiap 15 menit dengan *interval* waktu perekaman yang dapat disesuaikan. Untuk mencatat data perubahan massa dari sampel dipasang *load cell* di dalam ruang pengering, yang dihubungkan ke *laptop* menggunakan kabel data USB. Semua data temperatur dan massa direkam selama proses pengeringan berlangsung dan hasilnya disimpan dalam bentuk *Microsoft excel*.

Kolektor surya terdiri dari lapisan kayu, *styrofoam*, *rockwool* dan plat seng memiliki panjang 2 meter dan lebar serta tebal sesuai Gambar 3. Dimensi ini digunakan untuk menentukan luas profil kehilangan panas pada setiap sisi.

Kehilangan panas keseluruhan dihitung berdasarkan besarnya total kehilangan panas konveksi melalui udara lingkungan terhadap permukaan kayu, kehilangan panas konveksi melalui udara di dalam kolektor terhadap permukaan plat, kehilangan panas pada sisi alas dan sisi atas dan kehilangan panas radiasi.

Kehilangan panas pada sisi dinding-dinding dan sisi bawah/alas masing-masing dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_{dd} = U_{dd} \cdot A (T_p - T_u) \dots \dots \dots (1)$$

$$Q_b = U_b \cdot A (T_p - T_u) \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{1}{U_{dd}} = \frac{1}{A_{ky} \cdot h_1} + \frac{tb_{ky}}{A_{ky} \cdot k_{ky}} + \frac{tb_{sf}}{A_{sf} \cdot k_{sf}} + \frac{tb_{rw}}{A_{rw} \cdot k_{rw}} + \frac{tb_p}{A_p \cdot k_p} + \frac{1}{A_p \cdot h_d} \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{1}{U_b} = \frac{1}{A_{ky} \cdot h_1} + \frac{tb_{ky}}{A_{ky} \cdot k_{ky}} + \frac{tb_{sf}}{A_{sf} \cdot k_{sf}} + \frac{tb_{rw}}{A_{rw} \cdot k_{rw}} + \frac{tb_p}{A_p \cdot k_p} + \frac{1}{A_p \cdot h_d} \dots \dots \dots (4)$$

Untuk mendapatkan nilai koefisien konveksi permukaan luar, permukaan dalam yakni *h₁* dan *h_d*, maka diselesaikan dengan menentukan bilangan Grashof, Rayleigh, Prandtl dan Nusselt (Yunus, A. Cengel. 2003). Kehilangan panas pada sisi atas dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_a = U_a \cdot A (T_p - T_u) \dots \dots \dots (5)$$

$$U_a = \left\{ \frac{N}{\frac{c}{T_p} \left[\frac{(T_p - T_u)^e}{(N+f)} \right]} + \frac{1}{hw} \right\}^{-1} + \frac{\sigma(T_p + T_u)(T_p^2 + T_u^2)}{(\epsilon_p + 0.00591Nhw)^{-1} + \frac{2N+f-1+0.1333\epsilon_p-N}{\epsilon_{kc}}} \dots \dots \dots (6)$$

Kehilangan panas radiasi dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_{rad} = \frac{A \cdot \sigma \cdot (T_p^4 - T_{kc}^4)}{\left(\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_{kc}} - 1 \right) + \left(\frac{1}{\epsilon_{kc}} + \frac{1}{\epsilon_{kc}} - 1 \right)} \dots \dots \dots (7)$$

$$Q_{loss} = 2 \times Q_{dd} + Q_a + Q_b + Q_{rad} \dots \dots \dots (8)$$

Jumlah energi surya yang diterima selama siang hari melalui kolektor surya dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_{surya} = F' \cdot (I \cdot A \cdot \tau \cdot \alpha) - (Q_{loss}) \dots \dots \dots (9)$$

Nilai efisiensi termal kolektor surya dihitung menggunakan persamaan:

$$\eta = (F' \cdot ((I \cdot A \cdot \tau \cdot \alpha) - (Q_{loss}))) / (I \cdot A) \dots \dots \dots (10)$$

Efektifitas Pengeringan

Efektifitas pengeringan pada siang hari dilakukan menggunakan energi termal surya yang ditetapkan untuk melihat pengaruh intensitas radiasi terhadap laju penguapan. Jumlah air teruapkan dapat diketahui dari data penurunan berat sampel yang dikeringkan dari t = 0 detik hingga dicapai berat konstan.

Efektifitas *absorben* dapat diukur dari absorpsinya dengan menimbang pertambahan berat dari *absorben* setelah siklus pengeringan pada malam hari berlangsung. Sebagai pembanding dilakukan pengeringan sistem penjemuran langsung.

Kinetika Pengeringan

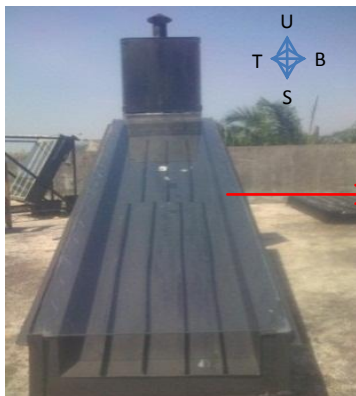
Profil laju pengeringan kakao secara normal ditentukan dengan melewati udara yang dipanaskan melalui suatu lapisan tunggal dari bahan dan mengukur perubahan kadar air dan waktu hingga tercapai kondisi kesetimbangan. Kurva pengeringan yang dibuat dengan mem-plot kankadar air dan waktu, digunakan untuk menggambarkan kehilangan air bahan selama proses pengeringan.

Rasio kadar air (MR) digunakan sebagai variabel fungsi yang berkaitan dengan kadar air awal (M_i), kadar air setimbang (M_e) dan kadar air pada waktu aktual (M_t).

$$MR = \frac{(M_t - M_{eq})}{(M_i - M_{eq})} \dots \dots \dots (11)$$

Untuk pengeringan yang memerlukan waktu panjang, nilai M_e relatif kecil dibanding M_t atau M_i (Clement A. D., et al. 2009), maka persamaan 11 disederhanakan menjadi:

$$MR = M_t / M_i \dots \dots \dots (12)$$



Pengering surya tipe kolektor

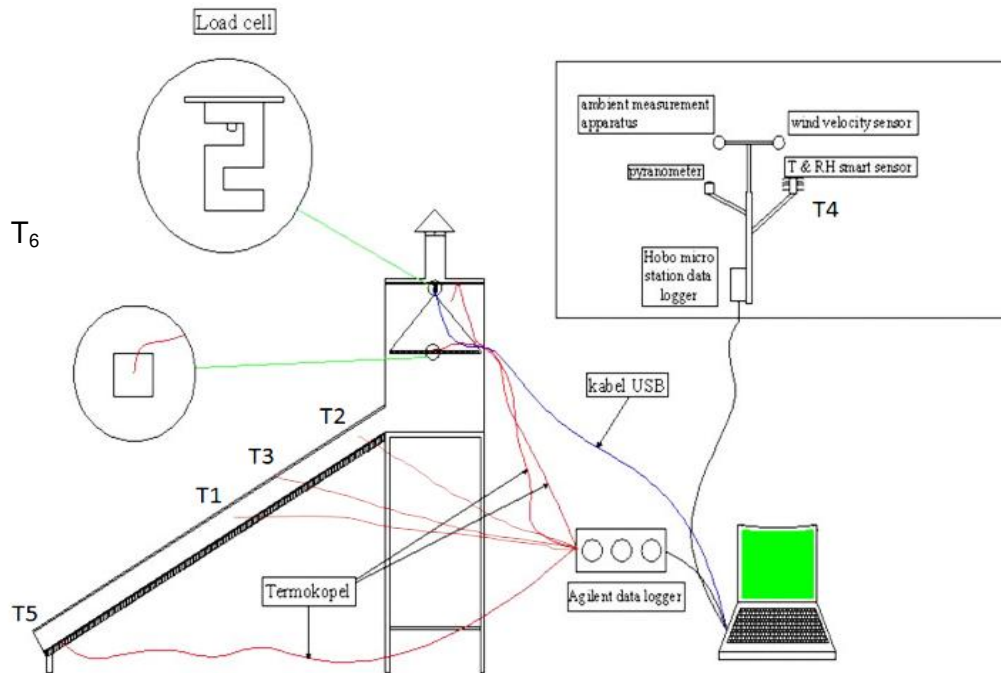
Plat datar-dengan 7 buah sirip



a

b

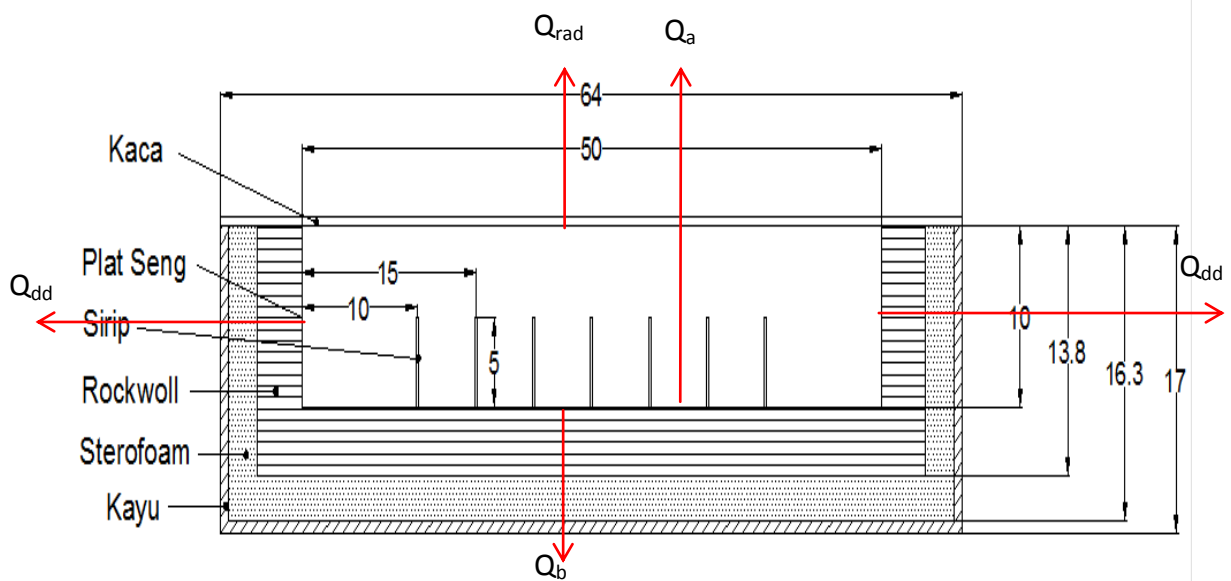
Gambar 1. Pengering Sistem Integrasi: (a) energi surya pada siang hari dan (b) termokimia –*absorben* pada malam hari



Gambar 2. Diagram Pengambilan Data Temperatur, Berat dan Intensitas Radiasi

Keterangan:

1. Temperatur Permukaan Kayu (T_1)
2. Temperatur Ruang Kolektor (T_2)
3. Temperatur Permukaan Kaca (T_3)
4. Temperatur Lingkungan Sekitar (T_4)
5. Temperatur Permukaan Plat (T_5)
6. Temperatur Ruang Pengering (T_6)



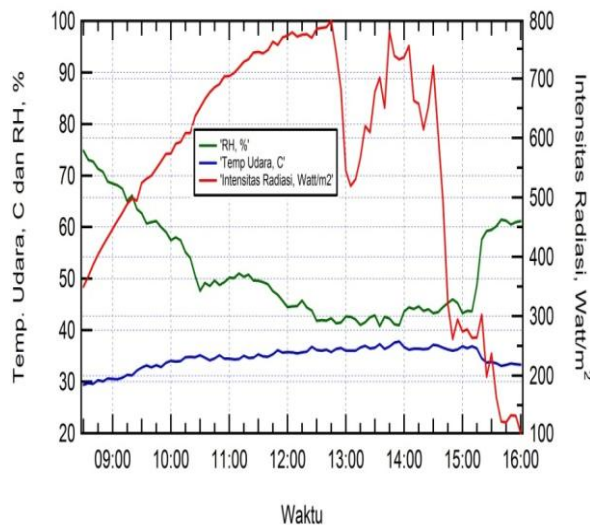
Gambar 3. Profil Rancangan Kolektor Surya

HASIL DAN PEMBAHASAN

Humiditas Relatif, Temperatur Lingkungan dan Potensi Radiasi Surya

Proses pengeringan pada siang hari dipengaruhi oleh nilai intensitas radiasi yang diterima oleh kolektor surya sehingga menentukan kenaikan temperatur media pengering (udara) yang memasuki ruang pengering. Makin tinggi intensitas radiasi, temperatur udara pengering yang memasuki kotak pengering akan makin tinggi.

Dari hasil pengukuran Intensitas radiasi matahari diperoleh data intensitas radiasi matahari, kecepatan angin, temperatur, dan RH. Data intensitas radiasi matahari yang telah dirata-ratakan per 30 menit pada tanggal 18 dan 19 Juni 2014 disajikan pada Gambar 4 dan Gambar 5.

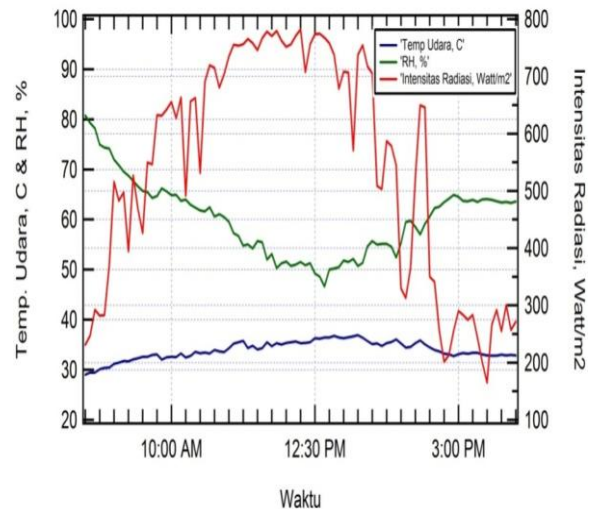


Gambar 4. Humiditas Relatif, Temperatur Lingkungan dan Potensi Radiasi Surya 18 Juni 2014

Dari Gambar 4 dan Gambar 5 dapat dilihat bahwa temperatur lingkungan selama pengukuran berkisar antara 29 – 38°C.

Pada daerah beriklim tropis seperti Indonesia, humiditas udara umumnya sangat tinggi sehingga operasi pengeringan pada suhu dibawah 100 °C mempunyai *drying rate* yang rendah. Hal ini memberikan dampak proses pengeringan akan memakan waktu lama dan bahkan dianggap tidak efisien. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai humiditas relatif

berada pada rentang berbanding terbalik dengan intensitas radiasi dan temperatur udara. Hasil pengukuran terendah yakni 41% pada tanggal 18 Juni dan tertinggi 75 %, sedangkan pada hari kedua pengeringan (19 Juni 2014) RH terendah adalah 47% dan tertinggi 81 %.

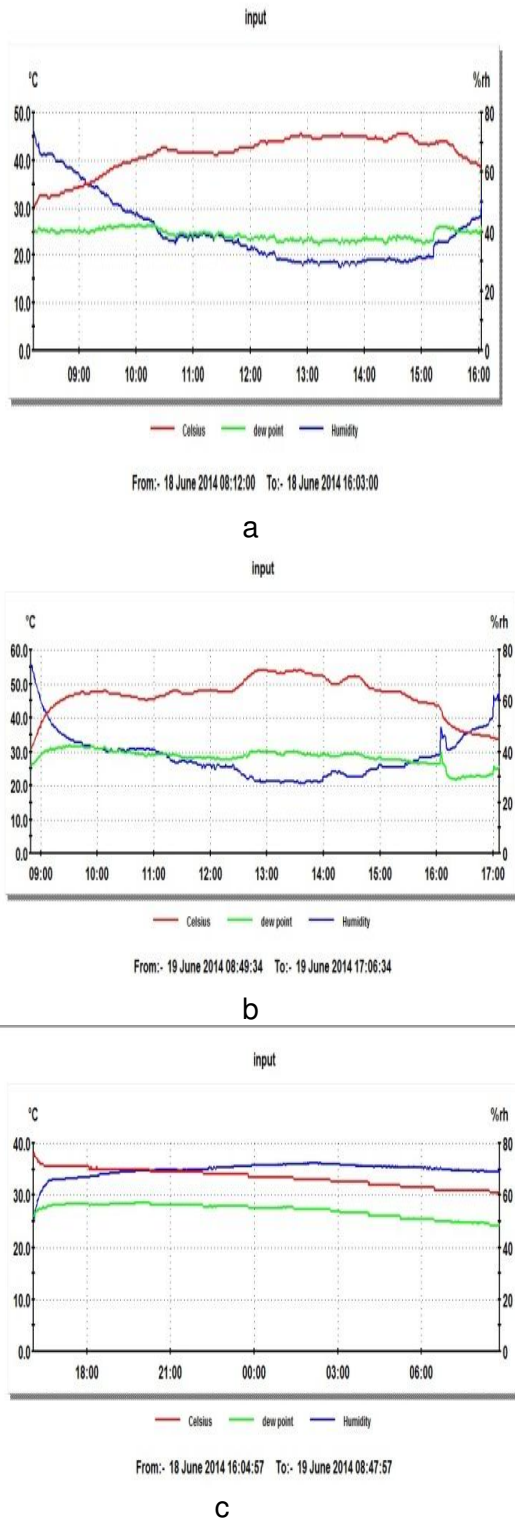


Gambar 5. Humiditas Relatif, Temperatur Lingkungan dan Potensi Radiasi Surya 19 Juni 2014

b. Pengaruh Intensitas Radiasi terhadap Temperatur dan RH dalam Kotak Pengering

Nilai intensitas radiasi berkorelasi pada temperatur di dalam kotak pengering (Gambar 4,5,6a dan 6.b). Tanggal 18 Juni 2014 merupakan pengeringan biji kakao hari pertama menggunakan energi surya pada pukul 08:30–16:00 WIB, dilanjutkan dengan pengeringan menggunakan energi termokimia pada jam 16:00–08:30 WIB keesokan hari. Pada tanggal 18 Juni 2014 intensitas radiasi matahari berada pada kisaran 103–797 Watt/m^2 suhu di dalam kotak pengering maksimum pada 46°C dengan RH pada kisaran 66 - 28%. Pada tanggal 19 Juni 2014 intensitas radiasi matahari berada pada kisaran 165– 782 Watt/m^2 suhu di dalam kotak pengering maksimum pada 59 °C dengan RH pada kisaran 67- 20%. Dari data-data di atas dapat dilihat bahwa suhu di dalam kotak pengering pada hari kedua pengeringan

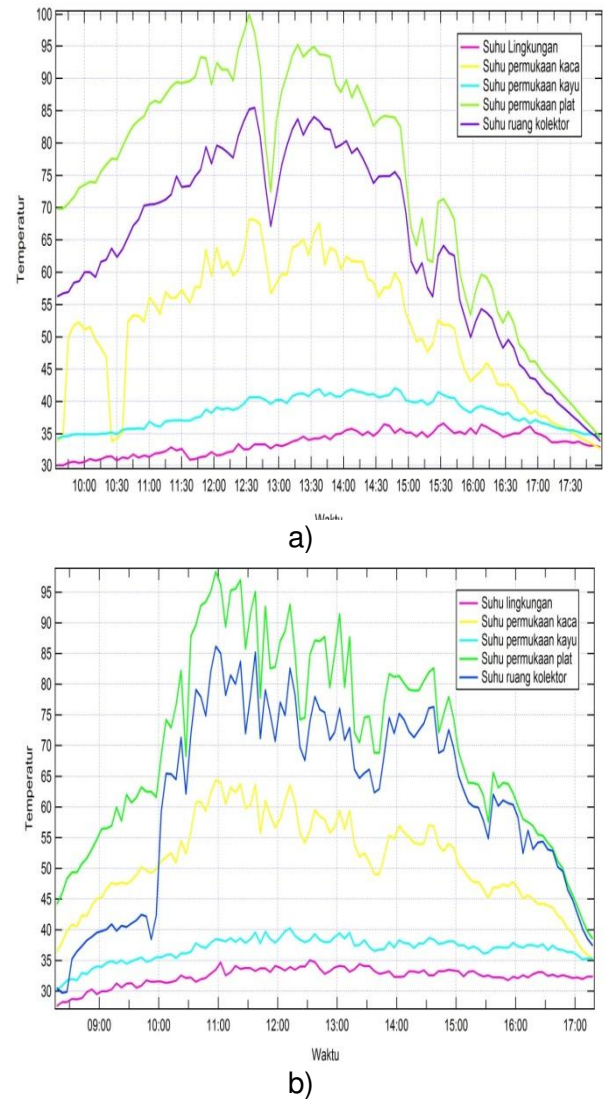
berlangsung (19 Juni 2014) lebih tinggi dibanding hari pertama pengeringan (18 Juni 2014).



Gambar 6 Temperatur dan RH di dalam Kotak Pengering: a) 18 Juni siang, b) 19 Juni siang, c) 18 Juni malam

Analisis Performansi Kolektor Plat Datar Dimodifikasi dengan Sirip/Fin

Untuk menentukan besarnya efisiensi termal kolektor surya-bersirip, diperlukan data temperatur plat absorber, temperatur kaca penutup, temperatur udara lingkungan, temperatur kayu dan temperatur ruang kolektor.



Gambar 7. Data Temperatur Lingkungan, Kaca, Kayu, Plat Absorber dan Ruang Kolektora) Pengukuran tanggal 18 Juni b) Pengukuran tanggal 19 Juni

Secara keseluruhan terlihat bahwa intensitas radiasi (Gambar 4 dan 5) begitu signifikan mempengaruhi temperatur plat absorber (Gambar 7a dan 7b) untuk selanjutnya berdampak pada kenaikan suhu

di ruang kolektor. Semakin tinggi intensitas radiasi yang diterima plat absorber, maka semakin tinggi pula suhu plat absorber dan suhu ruang kolektor. Nilai ini juga berkorelasi positif terhadap suhu udara menuju ruang pengering (Gambar 6 a dan 6b).

Untuk mendapatkan gambaran performansi kolektor surya plat datar bersirip ini maka data-data temperatur pada Gambar 7, data intensitas radiasi pada Gambar 4 dan Gambar 5 digunakan untuk menghitung kehilangan panas pada kolektor, meliputi kehilangan panas pada 2 sisi dinding, kehilangan panas pada alas bawah, kehilangan panas bagian atas dan kehilangan panas karena radiasi menggunakan persamaan 1 - 9.

Hasil perhitungan efisiensi disajikan pada Gambar 8 dengan nilai efisiensi termal rata-rata 62% sedangkan efisiensi rata-rata kolektor surya tanpa sirip 37%. Dari hasil ini dapat dilihat bahwa pemasangan sirip/fin pada kolektor plat datar dapat meningkatkan efisiensi termal kolektor surya karena adanya peningkatan luas permukaan *absorber* melalui penambahan sirip.

Efektifitas Pengeringan

Dari Gambar 6.c dapat dilihat proses absorpsi berlangsung mendekati isothermal dan perubahan humiditas terlihat signifikan pada awal proses yakni RH 52% pada pukul 16:00 dan meningkat cukup signifikan 35 menit kemudian menjadi RH 66% dan seterusnya cenderung datar pada RH 51-73 % hingga pukul 08:30 keesokan paginya.

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa jumlah air yang diuapkan pada hari pertama pengeringan (18 Juni) baik metode penjemuran langsung maupun pengering surya adalah jauh lebih besar dibanding siang hari kedua. Hal ini disebabkan oleh air yang diuapkan pada hari pertama adalah air bebas. Air bebas umumnya lebih mudah dikeluarkan dari dalam biji dibandingkan dengan air terikat. Pada pengeringan surya siang hari kedua jumlah air yang dikeluarkan jauh lebih sedikit, karena air terikat jauh lebih sulit lagi dikeluarkan dari dalam biji kakao.

Kadar air akhir biji kakao hasil pengeringan metode penjemuran langsung lebih tinggi (8,40%) dibanding metode pengering surya+termokimia 7,6%. Tingginya laju penguapan pada hari pertama pada penjemuran langsung dapat menyebabkan terjadinya pengerasan kulit biji sehingga air sulit menembus keluar dan akhirnya pengeringan berjalan lambat.

Pengeringan biji kakao padasiang hari menggunakan energi surya mencapai 80%, sedangkan pada malam hari menggunakan *absorben* mencapai 20%. Pengering surya tipe kolektor plat datar-bersirip memerlukan waktu 27,5 jam, sedangkan pengeringan dengan sistem penjemuran langsung adalah 56 jam.

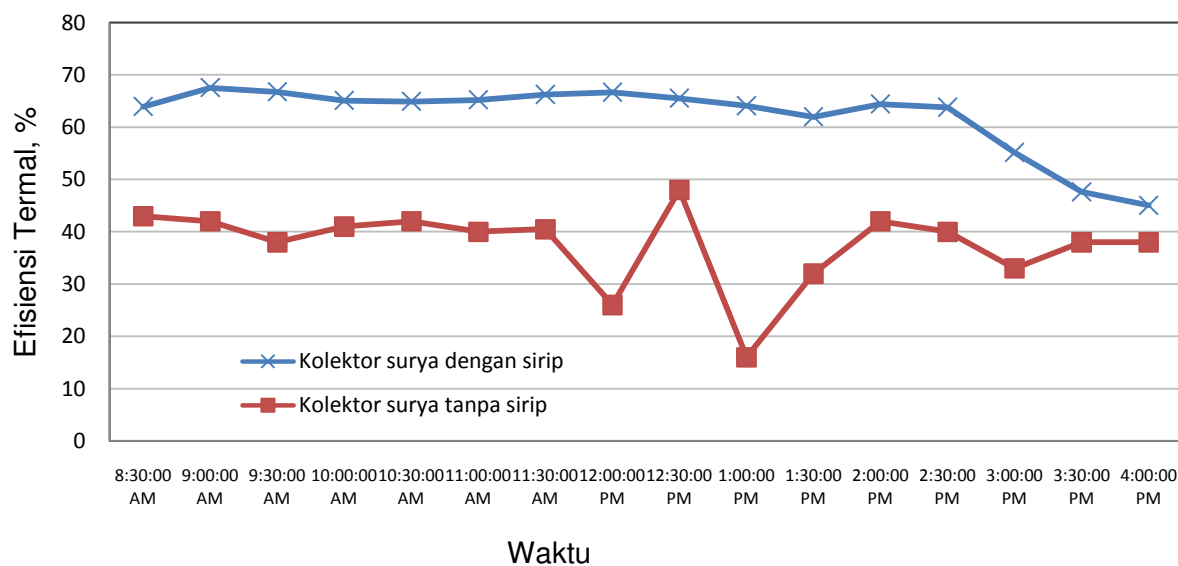
Kinetika Pengeringan

Laju pengeringan hasil percobaan disajikan dalam bentuk profil laju penurunan berat sebagai fungsi waktu. Asumsi utama yang digunakan adalah temperatur dan konsentrasi air di dalam produk adalah seragam dan hanya merupakan fungsi waktu. Oleh sebab itu laju penurunan kandungan air di dalam biji kakao adalah kasus 1 dimensi dinyatakan dengan bilangan kadar air tanpa dimensi (*Moisture Ratio*, MR) yang dapat dirumuskan dengan persamaan (12). Profil laju pengeringan hasil percobaan dapat dilihat pada Gambar 9. Dari profil tersebut, diperoleh bahwa pada MR secara terus menerus berkurang sejalan dengan waktu pengeringan dan tidak terlihat adanya periode laju pengeringan konstan. Laju pengeringan yang diamati adalah periode laju pengeringan menurun.

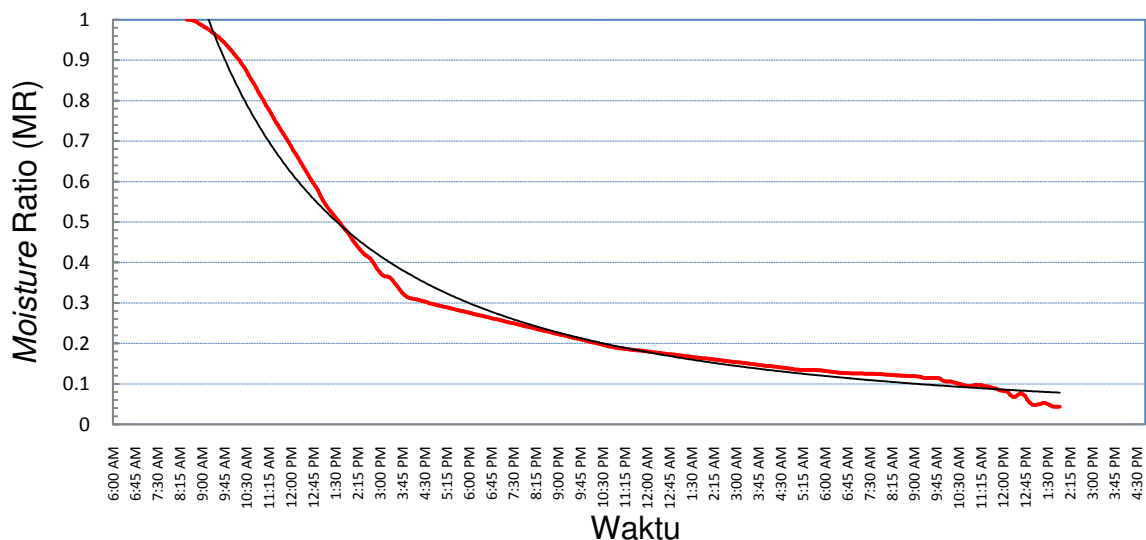
Model kinetika yang digunakan adalah model persamaan empirik menggunakan data laju penurunan massa biji kakao sebagai fungsi waktu. Hasil evaluasi statistik pencocokan kurva untuk model persamaan logaritma, polinomial pangkat 2, eksponensial dan power, ditetapkan model pengeringan energi surya+*absorben* yang dilakukan adalah model power dengan persamaan adalah $MR = 0,1786 t^{-1,803}$ dengan $R^2 = 0,9688$.

Tabel 1. Pengerengan Biji Kakao

Parameter	Pengerengan Energi surya+absorben	Penjemuran langsung
	(18 – 19 Juni 2014)	(18-20 Juni 2014)
Berat sampel awal, gr	1044	1100
Berat sampel akhir, gr	390	399
Kadar air akhir, %	7,60	8,40
Berat air yang diuapkan, gr		
1. Siklus energi surya (hari-1)	470,00	568
2. Siklus desikan (malam-1)	132,80	-
3. Siklus energi surya (hari-2)	50,40	100
4. Siklus desikan (malam-2)	-	-
5. Siklus energi surya (hari-3)	-	33
Waktu pengeringan, jam	27,5	56
Berat awal desikan, gr	1000	-
Pertambahan berat desikan, gr	146	-



Gambar 8. Efisiensi Termal Kolektor Surya Vs Waktu Pengeringan



Gambar 9. *Moisture Ratio* Vs Waktu Pengeringan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada kondisi lingkungan selama percobaan adalah pada kisaran temperatur udara 29 – 38 °C; humiditas relatif 41 – 81 % dan intensitas radiasi 111– 969 W/m² dapat disimpulkan bahwa pemasangan sirip pada kolektor plat datar dapat meningkatkan efisiensi termal kolektor surya dari 37 menjadi 62%. Dari penguapan air yang berlangsung, 80% menggunakan energi surya dan 20% menggunakan energi termokimia-*absorben*. Waktu yang diperlukan oleh tipe kolektor plat datar-bersirip untuk mencapai kadar air 7,7% adalah 27,5 jam sedangkan dengan penjemuran langsung adalah 56 jam. Hasil pencocokan kurva diperoleh model pengeringan energi surya+*absorben* yang dilakukan adalah model *power* dengan persamaan adalah $MR = 0,1786 t^{-1,803}$ dengan $R^2 = 0,9688$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah mendanai kegiatan ini melalui bantuan Hibah Bersaing tahun 2013 sampai dengan tahun 2014.

DAFTAR PUSTAKA

- Athul Sharma, Chen C.R., Nguyen Vu Lan, Solar-energy drying systems: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (13): 1185 – 1210, 2009.
- Bonaparte A., Zaman A., Chandra A.M., Some Quality Characteristics of Solar-Dried Cocoa Beans in St Lucia, *Journal of Science of Food and Agriculture* (76): 553 – 558, 1998.
- Clement A. D., Assidjo N. E., Kouame P., Yao K.B., Mathematical Modelling of Sun Drying Kinetics of Thin Layer Cocoa (*Theobroma Cacao*) Beans, *Journal of Applied Sciences Research*, 5 (9): 1110 – 1116, 2009.
- Dina S.F, Farel H. Napitupulu, Himsar A, Efektifitas Pengeringan Kontinu Biji Kakao Indonesia Menggunakan Energi Surya dan Termokimia, Seminar Nasional Teknologi Industri Hijau, Semarang, 21 Mei 2014.
- Fagunwa A.O., Koya O.A. and Faborode M.O., Development of an Intermittent Solar Dryer for Cocoa Beans, *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript number 1292, vol XI, July, 2009.

- Hii C.L., Law C.L., Cloke M., Modelling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa, *Journal of Food Engineering*, (90): 191 – 198, 2009.
- Hii C.L., Law C.L., Cloke M., Suzannah S., Thin layer drying kinetics of cocoa and dried product quality, *Biosystem Engineering* (102): 153 – 161, 2009.
- Jangam, S.V. and Mujumdar, A.S., Basic Concepts and Defenitions, in *Drying of Foods, Vegetables, and Fruits*, Published in Singapore, pp. 1-30, 2010.
- Kosuke Nagaya, Ying Li, Zhehong J., Masahiro F., Yoshonori A., Atsutoshi A, Low Temperature Desiccant-based Food Drying System with Airflow and Temperature Control, *Journal of Food Engineering*, 75: 71 – 77, 2006.
- Lalit M. Bal, Santosh Satya, Naik S.N., Solar dryer with thermal energy storage system for drying agricultural food products: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010.
- Sen Zekai, “Solar Energy Fundamental and Modelling Techniques”, *Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy*, Springer, 2008.
- Shanmugam V, Natarajan E. Experimental study of regenerative desiccant integrated solar dryer with and without reflective mirror. *Appl Therm Eng.*, (27): 1543–51, 2007.
- Thoruwa T.F.N., Johnstone C.M., Grant A.D., Smith J.E., Novel, Low Cost CaCl₂ Based Desiccants for Solar Crop Drying Applications, *Renewable Energy*, 19: 513 – 520, 2000.
- Yunus, A. Cengel. 2003, *Heat Transfer A Practical Approach*. Second Edition. Singapore: Mc.Grow-Hill.Inc.

