

PENGUJIAN MESIN PENGERING KAKAO ENERGI SURYA

Tekad Sitepu
Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

ABSTRAK

Pengembangan mesin-mesin pengering tenaga surya dapat membantu untuk meningkatkan kualitas biji kakao mengingat letak geografis Indonesia yang berada pada garis katulistiwa dan petani kakao Indonesia yang masih didominasi oleh smallholders. Aliran udara pada mesin pengering dapat mencapai 0,0141 kg/s dengan kecepatan maksimum 1,09 m/s. Temperatur udara keluar kolektor dapat mencapai 37,28°C dan efisiensi kolektor 19,41%. Karakteristik pengeringan kakao dibentuk dengan model persamaan empirik, penurunan kadar air, moisture ratio, terhadap waktu.

Kata kunci: Kakao, mesin pengering, efisiensi kolektor, moisture ratio.

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara agraris, kaya akan hasil-hasil pertanian dan perkebunan. Beberapa diantaranya menjadi komoditas ekspor seperti kakao, kopi, karet, minyak kelapa sawit dan lain-lain. Indonesia merupakan produsen kakao terbesar ketiga di dunia setelah Pantai Gading dan Ghana, atau sekitar 15% produk kakao dunia, jumlah produksi kakao nasional belum mampu memenuhi permintaan pasar baik dalam maupun luar negeri. Tingginya permintaan pasar akan produk kakao menjadikan harga kakao menjadi relative tinggi dan stabil dan menjadikan komoditi kakao menjadi peluang usaha yang baik bagi petani Indonesia.

Di dalam negeri, pengolahan buah kakao dari proses pasca panen masih dilakukan dengan teknologi tradisional. Penggunaan teknologi modern menjadi tidak memungkinkan bagi pengusaha lokal karena kekurangan modal dan dana. Karenanya penggunaan teknologi tepat guna yang murah dan ramah lingkungan perlu dikembangkan sebagai alternatif bagi petani kakao. Pada proses pengeringan, petani kakao biasanya

menjemur biji kakao langsung dibawah sinar matahari. Cara ini kurang efektif karena sangat bergantung pada kondisi cuaca dan perlu lahan yang cukup luas bila produk yang dikeringkan dengan kapasitas besar.

Mengingat wilayah Indonesia yang dilalui garis katulistiwa, dimana sinar matahari cukup melimpah sehingga pengembangan teknologi tepat guna yang memanfaatkan sinar matahari sebagai energi alternatif sangat sesuai. Penggunaannya dalam bidang pengering berupa mesin pengering tenaga surya yang memanfaatkan sinar matahari untuk memanaskan udara pengering yang akan dialirkan pada produk. Sebagai tujuan pengujian adalah untuk mendapatkan hubungan antara pengurangan kadar air kakao terhadap waktu dan mendapatkan efisiensi kolektor mesin pengering tenaga surya.

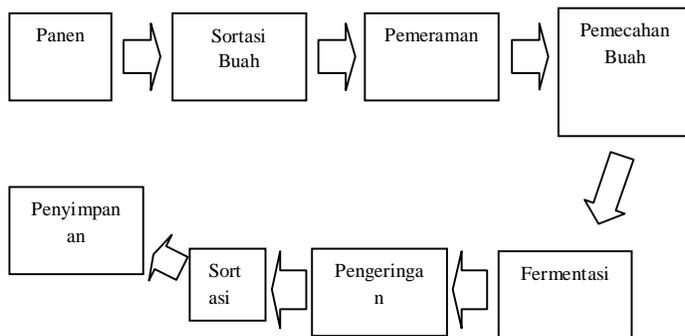
Mesin pengering tenaga surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin pengering yang telah ada di lantai IV gedung Laboratorium Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera

Utara dengan kapasitas 25 kg/siklus dan luas kolektor 2 m x 1,5 m.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sekilas Tentang Kakao

Proses pengolahan biji kakao akan menentukan mutu akhir dari biji kakao tersebut, oleh karenanya perlu dipahami setiap proses dari pengolahan kakao agar diperoleh biji kakao dengan mutu yang baik. Tahap-tahap proses pengolahan kakao dapat dilihat pada diagram alir berikut ini:



Gambar 1 Diagram alir pengolahan kakao (Dikutip dari Susanto, 1994)

Pengeringan secara umum bertujuan untuk menurunkan kadar air biji sampai pada kondisi kadar air dalam biji tidak dapat menurunkan kualitas biji dan tidak ditumbuhi cendawan.

Keuntungan dari proses pengeringan adalah:

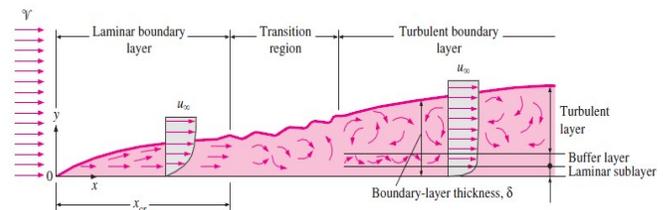
1. Bahan menjadi lebih tahan lama disimpan
2. Volume bahan berkurang
3. Mempermudah proses transportasi
4. Menurunkan biaya produksi

Kerugian dari proses pengeringan yaitu sifat asal dari bahan yang dikeringkan menjadi berubah (baik bentuk dan penampakan fisik/kimia, penurunan mutu dan lain sebagainya).

Proses pengeringan kakao tidak hanya bertujuan untuk menurunkan kadar air biji kakao semata. Tetapi juga kualitas akhir biji seperti tingkat keasaman, total kandungan lemak dan kandungan asam lemak bebas.

2.2 Perpindahan Panas dan Perpindahan Massa

Perpindahan panas konveksi pada saluran kolektor sangat dipengaruhi oleh bilangan Reynold, apakah laminar maupun turbulent. Bilangan Reynold pada plat datar dirumuskan sebagai berikut.



Gambar 2 Perpindahan panas konveksi plat datar (Sumber: Literatur 5)

Bilangan Reynold dirumuskan dengan, [1]

$$R_e = \frac{\rho UL}{\mu} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana,

Re = bilangan Reynold

U = kecepatan rata-rata fluida (m/s)

L = panjang kolektor (m)

ρ = massa jenis (kg/m³)

μ = viskositas dinamik (N.s/m²)

Dengan pembagian jenis aliran berdasarkan bilangan Reynold sebagai berikut:

0 < Re < 1.000	Laminar
1.0 Re < 10.000	Transisi
Re > 10.000	Turbulen

Sifat-sifat udara dapat dicari dengan persamaan yang dibentuk dengan teknik pencocokan kurva sebagai berikut:

Untuk massa jenis udara dapat dicari dengan persamaan:

$$\rho = 0,27177 + 1,6507^{(-173-T)/58,124} + 1,6307^{(-173-T)/2991} \quad (2.2)$$

Untuk panas jenis, viskositas, konduktivitas, dan bilangan Prandtl dapat dihitung dengan persamaan:

$$s = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 + a_4T^4 + a_5T^5 \quad (2.3)$$

Dengan koefisien untuk masing-masing sifat sebagai berikut:

a. Panas jenis c_p [J/kg· K]

$$\begin{aligned} a_0 &= 1004,3 & a_3 &= -9,9878 \times 10^{-7} \\ a_1 &= 0,0053318 & a_4 &= 7,928 \times 10^{-10} \\ a_2 &= 0,00067998 & a_5 &= -3,1285 \times 10^{-12} \end{aligned}$$

b. Viskositas μ [N·s/m²]

$$\begin{aligned} a_0 &= 1,7154 \times 10^{-5} & a_3 &= 3,5398 \times 10^{-14} \\ a_1 &= 5,0304 \times 10^{-8} & a_4 &= -2,1549 \times 10^{-17} \end{aligned}$$

$$a_2 = -3,7512 \times 10^{-11} \quad a_5 = 4,7955 \times 10^{-21}$$

Error maksimum 0,2%

c. Konduktivitas k [W/m · K]

$$\begin{aligned} a_0 &= 0,024125 & a_3 &= -1,6489 \times 10^{-11} \\ a_1 &= 8,0525 \times 10^{-5} & a_4 &= 1,8313 \times 10^{-14} \\ a_2 &= -3,0471 \times 10^{-8} & a_5 &= 6,2557 \times 10^{-18} \end{aligned}$$

d. Bilangan Prandtl Pr [-]

$$\begin{aligned} a_0 &= 0,71396 & a_3 &= -3,7995 \times 10^{-10} \\ a_1 &= -0,00027438 & a_4 &= -1,7506 \times 10^{-14} \\ a_2 &= 7,123 \times 10^{-7} & a_5 &= -6,1671 \times 10^{-17} \end{aligned}$$

error maksimum 0,4%

Laju pindahan panas konveksi dapat dituliskan sebagai sebagai berikut:[2]

$$Q_h = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.4)$$

Dimana,

h = koefisien konveksi (W / m². K)

A = luas permukaan kolektor surya (m²)

T_s = temperatur dinding (K)

T_∞ = temperatur udara lingkungan (K)

Q = laju perpindahan panas (Watt)

Analog dengan perpindahan panas, perpindahan massa dapat dihitung dengan persamaan:[5]

$$\dot{m} = h_m A_s (\rho_s - \rho_\infty) \quad (2.5)$$

Dimana:

\dot{m} = Laju perpindahan massa (kg/s)

h_m = koefisien pindahan massa (m/s)

A_s = Luas permukaan kakao (m^2)

Untuk menghitung koefisien pindahan massa dapat dilakukan dengan persamaan bilangan Sherwood:[5]

$$S_h = \frac{h_m \cdot L}{D} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

L = Panjang karakteristik (m)

D = difusivitas massa (m^2/s)

Persamaan kontinuitas dirumuskan:[1]

$$\rho_1 A_1 U_1 = \rho_2 A_2 U_2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

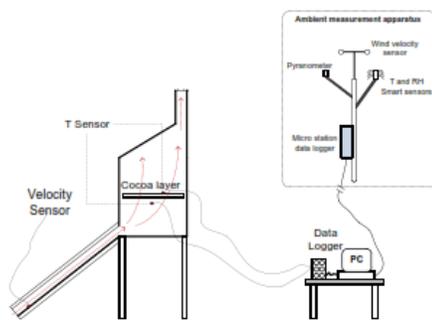
A_1 dan A_2 = Luas penampang pada titik 1 dan 2 (m^2)

ρ_1 dan ρ_2 = Massa jenis fluida pada titik 1 dan 2 (kg/m^3)

U_1 dan U_2 = kecepatan fluida pada titik 1 dan 2 (m/s)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mendapatkan data-data, peralatan pengujian di set seperti gambar 3. berikut ini:



Gambar 3 Skema instalasi pengujian

Adapun variabel input dari pengujian yang akan dianalisa dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Variabel tetap

- ✓ Tebal kaca tetap 10 mm (2 lapis kaca tanpa jarak antar kaca dengan ketebalan masing- masing 5 mm)
- ✓ Jarak antara kaca dengan pelat absorber adalah tetap, 10 mm

Variabel bebas

- ✓ Laju aliran massa udara masuk kolektor berubah-ubah dipengaruhi kecepatan angin.

Pengujian dilakukan terhadap tiga sampel kakao dengan data awal kakao seperti pada tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1 Data awal biji kakao

SAMPSEL	Solar Drying	
	Disimpan	Tak Disimpan
Sampel 1		
Berat Sampel Basah (gr)	800,58	801,09
Kadar air awal	46,93	46,64
Berat Sampel Kering (gr)	424,83	427,50
Sampel 2		
Berat Sampel Basah (gr)	900,90	900,10
Kadar air awal	59,30	59,20
Berat Sampel Kering (gr)	366,39	367,11
Sampel 3		
Berat Sampel Basah (gr)	901,06	900,62
Kadar air awal	49,36	50,11
Berat Sampel Kering (gr)	456,31	449,32

Untuk setiap pengujian, kakao dikeringkan dengan dua perlakuan yang berbeda, yakni:

- Sebagian disimpan dalam ruangan tertutup pada malam hari.

- Sebagian lagi tetap berada dalam mesin pengering pada malam hari

4. HASIL DAN ANALISA

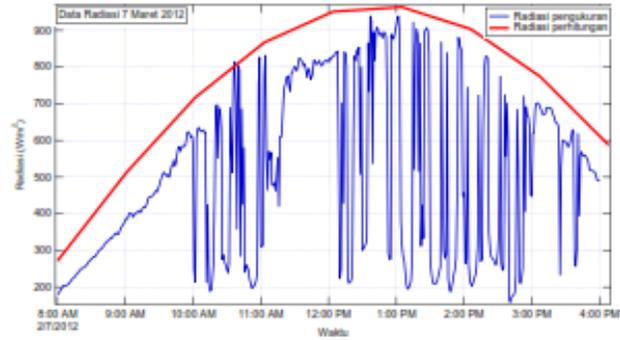
4.1 Analisa Radiasi Matahari

Radiasi total pada tanggal 1 Juli 2011 dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 2 Data radiasi teoritis pada tanggal 1 Juli 2011

1 Jul 2011	cos θ_z	cos θ	Gb (W/m ²)	Gbt (W/m ²)	Gd (W/m ²)	Gtotal (W/m ²)
8:00	0.31	0.41	147.50	195.68	75.59	271.28
9:00	0.53	0.61	361.60	414.85	97.57	512.42
10:00	0.72	0.78	561.40	607.79	109.4	717.22
11:00	0.86	0.90	712.96	750.86	116.3	867.21
12:00	0.93	0.97	799.28	831.55	119.8	951.38
13:00	0.94	0.98	812.08	843.47	120.3	963.79
14:00	0.89	0.93	750.18	785.71	117.8	903.59
15:00	0.77	0.83	619.38	662.76	112.2	774.99
16:00	0.60	0.67	433.34	484.90	102.3	587.23

Untuk pengukuran radiasi diperoleh dari alat ukur *station data logger HOBO Micro Station*, dengan interval pencatatan data 60 detik. Perbandingan data radiasi teoritis dan data radiasi pengukuran dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 Radiasi teoritis dan radiasi pengukuran tanggal 1 Juli 2011

Kurva radiasi pengukuran berada dibawah garis kurva radiasi perhitungan secara teoritis. Hal ini disebabkan oleh kondisi pengukuran yang berawan dan hujan.

4.2 Karakteristik Pengeringan Kakao

Karakteristik pengeringan kakao di tampilkan dalam bentuk kurva penurunan kandungan air (*moisture ratio = MR*) kakao terhadap waktu pengeringan. Kandungan air (*MR*) diperoleh dengan membandingkan selisih massa specimen awal dengan batas kering.

$$MR = \frac{m_i - m_e}{m_o - m_e} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dengan :

MR = Kandungan Air (*Moisture Ratio*)

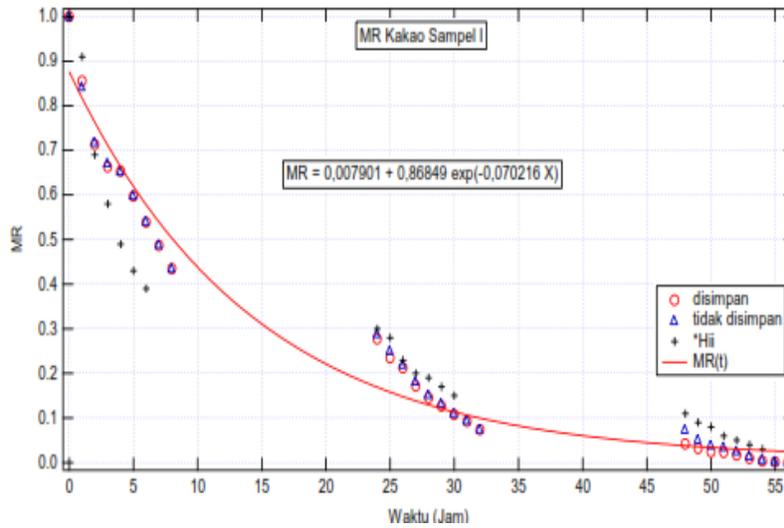
m_i = massa specimen pada saat pengeringan

m_e = massa akhir specimen pada batas pengeringan

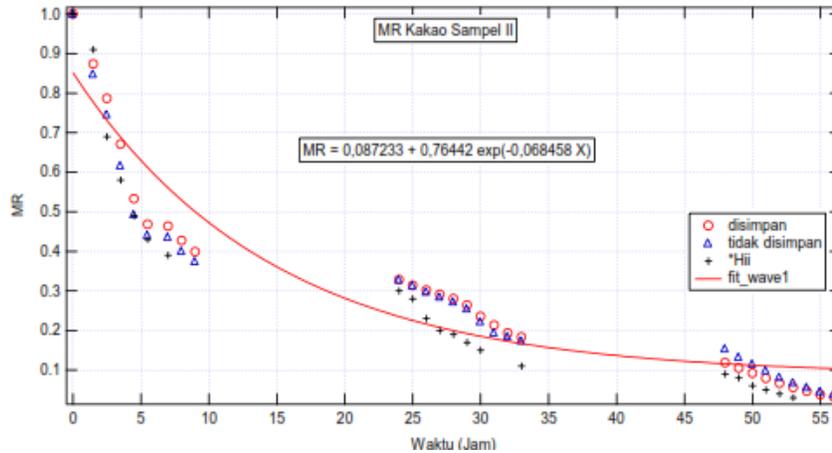
m_o = massa awal specimen

MR kakao dalam hal ini dihitung dengan persamaan 4.1, dimana pengeringan dilakukan dengan sinar matahari dari jam 9.00 WIB sampai jam 18.00 WIB. Kurva penurunan MR

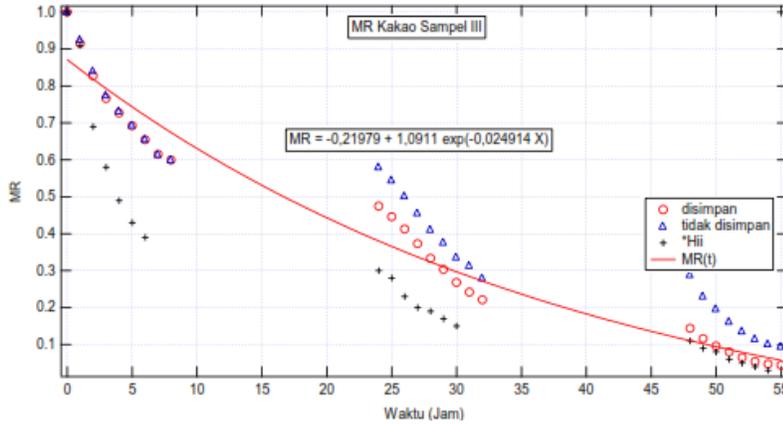
terhadap waktu seperti pada gambar berikut ini, dan juga ditampilkan sebagai perbandingan dengan kurva dalam jurnal internasional (Hii 2009).



Gambar 5 MR kakao Sampel 1



Gambar 6 MR kakao Sampel 2

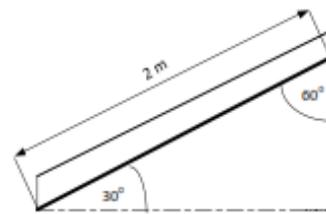


Gambar 7 MR kakao Sampel 3

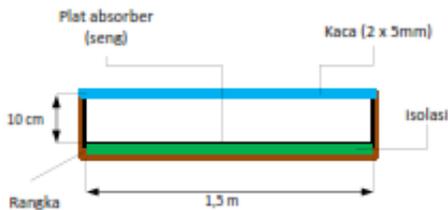
Dari ketiga grafik MR kakao diatas terlihat bahwa penurunan kadar air biji kakao mirip dengan grafik MR dari jurnal Hii (2009).

4.3 Analisa Massa dan Temperatur Udara Pengering

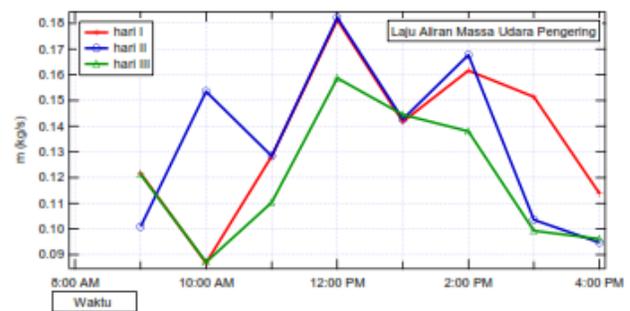
Gambar skematis kolektor pengering ditunjukkan pada gambar 8 berikut ini.



Gambar 8 Gambar skematis kolektor (a) kolektor plat datar, (b) penampang kolektor, (c) tampak samping.



Grafik laju aliran massa udara pada kolektor dapat dilihat pada gambar 9 di berikut ini.



Gambar 9 Laju aliran massa udara pengering

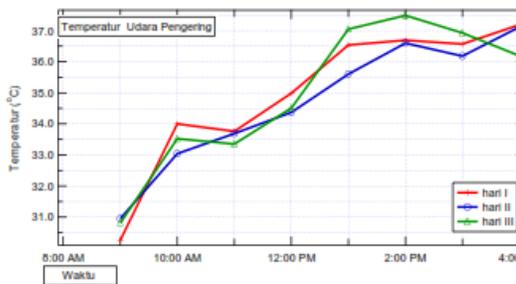
Dari gambar 9 laju aliran massa udara maksimum yang mengalir melalui kolektor mencapai 0,0141 kg/s dengan kecepatan aliran 1,09 m/s.

Untuk menghitung temperatur udara meninggalkan kolektor, temperatur plat absorber diasumsikan seragam. Hasil perhitungan temperatur udara kolektor (To) dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3 Temperatur kolektor To

Waktu	Ti (°C)	Ts (°C)	U (m/s)	H (W/m.K)	Q (W)	To (°C)
08-09	27,14	42,00	0,72	2,76	123,13	30,26
09-10	29,34	51,67	0,52	2,35	157,10	34,00
10-11	28,60	53,33	0,77	2,86	211,80	33,75
11-12	29,65	55,33	1,09	3,35	262,02	34,98
12-13	31,78	54,67	0,86	3,01	206,45	36,53
13-14	32,14	54,00	0,98	3,20	210,58	36,68
14-15	32,25	53,00	0,91	3,11	193,34	36,58
15-16	33,45	51,33	0,70	2,70	144,36	37,28

Grafik hasil perhitungan temperatur udara keluar kolektor dari hari pertama sampai hari ke-3 ditampilkan pada gambar 10 berikut ini.



Gambar 10 Temperatur udara keluar kolektor

Pada Gambar 10, temperatur maksimum udara keluar dari kolektor hanya mencapai 37,28 °C. Perhitungan temperatur udara keluar dari kolektor ini dilakukan dengan interval waktu 1 jam.

4.4 Efisiensi Kolektor

Efisiensi kolektor dalam setiap jam mesin pengering dapat dihitung dengan persamaan (Duffie, 1991):

$$\eta = \frac{Q_u}{I.A} \dots\dots\dots (4.2)$$

Dengan:

Q_u = Energi panas yang diserap udara (W)

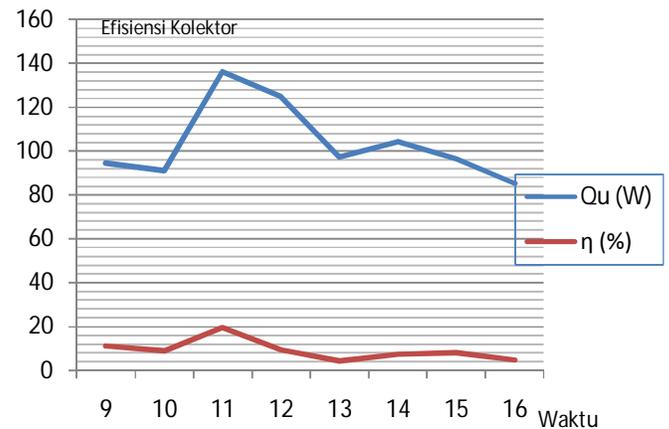
A = Luas kolektor, besarnya = 3 m²

I = Intensitas matahari (W/m²)

Hasil perhitungan efisiensi kolektor ditunjukkan dalam tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4 Efisiensi Kolektor

Waktu (Jam)	I (W/m ²)	I.A (W)	Q _u (W)	η (%)
08-09	282,162	846,486	94,539	11,16
09-10	338,880	1016,640	91,099	8,96
10-11	234,290	702,870	136,476	19,41
11-12	440,080	1320,240	124,871	9,45
12-13	746,852	2240,556	97,388	4,34
13-14	475,103	1425,309	104,318	7,31
14-15	403,002	1209,006	96,588	7,98
15-16	580,980	1742,940	85,266	4,89



Gambar 11 Efisiensi kolektor

Pada gambar 11 diatas terlihat efisiensi maksimum terjadi pada jam 11.00

5. KESIMPULAN

Pengeringan kakao menggunakan mesin pengering kakao energy surya berangsung selama 3 hari dengan kadar air akhir kakao adalah 5,75% dan 6,15 % untuk sampel yang disimpan dan tidak disimpan. Kurva MR yang terbentuk dari hasil penelitian berbeda untuk setiap hari pengujian yang disebabkan oleh kondisi udara pengeringan yang berubah-ubah. Dari kurva MR kakao tampak bahwa sampel yang disimpan dalam ruangan pada malam hari lebih cepat kering daripada sampel yang dibiarkan dalam mesin pengering. Hal ini disebabkan karena kelembaban udara pada malam hari sangat tinggi. Laju aliran massa udara maksimal mencapai 0,0141 kg/s. Efisiensi kolektor maksimum mesin pengering 19,41%.

DAFTAR PUSTAKA

1. Frank M.White. 1997. Fluid Mechanics. Fourth Edition. USA: Mc.Grow-Hill.Inc.
2. Holman, J.P, 1991, Perpindahan Kalor, Edisi Keenam, Jakarta, Erlangga
3. Henderson, S.M. 1976. Agricultural Process Engineering. New York: The Avi.
4. Hii, C.L., C.L. Law, M. Cloke, S. Suzannah. 2009. Thin Layer Drying Kinetics of Cocoa and Dried Product Quality. Biosystem Engineering, 102: 153-161.
5. Incropera, F.P., DeWitt, Bergman, Lavine. (2006). Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 6th Edition.
6. Jansen, J. Ted. 1995. Teknologi Rekayasa Surya. Alih bahasa, Arismunandar, Wiranto, Prof. Cetakan Pertama. Jakarta: Pradnya Paramita.
7. Susanto, F.X. 1994. Tanaman Kakao: Budidaya dan Pengolahan Hasil. Cetakan Pertama, Yogyakarta: Kanisius