

Studi Tentang Kinerja Pengeringan Biji Kakao Menggunakan Sistem Terintegrasi dari Energi Panas Matahari dan Energi Termokimia

Farel H. Napitupulu^{1,a,*}, Himsar Ambarita^{2,b}, Tulus B.Sitorus^{3,c}, dan Sari Farah Dina^{4,d}

^{1,2,3} Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater, Medan – 20155

⁴ Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan, Jl. Sisingamangaraja No. 24 Medan – 20217

email: ^afarelnapitupulu@yahoo.com, ^bhimsar@gmail.com, ^ctburhanudin@yahoo.com, ^dsfdina1@yahoo.com

Abstrak

Penelitian tentang ‘Pengembangan Pengeringan Biji Kakao Indonesia Menggunakan Sistem Terpadu Energi Panas Surya dan Termokimia telah dilakukan. Modifikasi sistem kolektor surya dengan teknologi fin telah dikembangkan sebagai upaya dalam meningkatkan efisiensi termal. Pengeringan terhadap biji kakao hasil fermentasi dengan kadar air awal rata-rata 62,64%. menggunakan energi surya selama siang hari yang dilakukan mulai jam 08:30 sampai dengan jam 16:00, dilanjutkan dengan energi termokimia menggunakan absorben berupa garam CaCl_2 pada malam hari dari jam 16.00 sampai dengan jam 08:30 keesokan hari. Pengeringan dihentikan pada saat dicapai berat konstan. Evaluasi terhadap kinerja pengeringan kontinu ini ditinjau dari 4 (empat) aspek yakni: kondisi dan potensi radiasi, efisiensi termal kolektor surya, efektifitas pengeringan dan kualitas fisik biji kako hasil pengeringan. Hasil percobaan menunjukkan bahwa selama proses pengeringan berlangsung, kondisi cuaca dicatat berada pada kisaran temperatur udara 29,4 – 37,8 °C; kelembaban relatif (RH) 40,78 % – 80,76 % dan intensitas radiasi 110,60W/m² – 969,40 W/m². Efisiensi termal kolektor surya dngan pemasangan sirip pada plat absorber dapat meningkatkan efisiensi termal hingga maksimum 67,53% dibanding efisiensi termal kolektor surya tanpa sirip yang dilakukan tahun lalu maksimum hanya mencapai 57,73%. Efektifitas pengeringan dianalogikan terhadap laju pengurangan kadar air dimana laju penguapan tertinggi diperoleh pada pengeringan hari pertama 470 gram, dilanjutkan pada malam hari sebesar 132,80 gram dan pada pengeringan siang hari berikutnya dengan energi surya (19 Juni) dapat menguapkan air lagi sebesar 50,40 gram hingga diperoleh kadar air akhir mencapai 7,64% dan waktu pengeringan 27,5 jam. Waktu yang diperlukan pada pengeringan dengan sistem penjemuran langsung adalah 56 jam.

Kata kunci: pengeringan kontinu energi surya +absorben, kolektor surya tipe plat datar, teknologi sirip, penjemuran langsung, efisiensi termal, efektifitas pengeringan

Tata Nama	Simbol
A luas permukaan, m ²	α absorpsivitas plat
$Deff$ diffusivitas efektif (m ² /det)	β sudut kemiringan kolektor
F' faktor efisiensi kolektor, asumsi = 90%	ϵ emisivitas
h koefisien konveksi, W/m ² .K	τ transmisivitas
I intensitas radiasi matahari, W/m ²	η efisiensi termal kolektor surya, %
k konduktifitas termal, W/m.K	
MR rasio kadar air (basis kering)	Subskrip
m berat sampel, kg	a atas
N jumlah penutup/kaca	ab absorben
Q Jumlah panas, J	ad adsorben
r jari-jari ekivalen bola, m	b bawah
T temperatur, °K, °C	dd dinding
t waktu, detik	d permukaan dalam
tb tebal, m	l permukaan luar
v kecepatan rata-rata, m/s	k kering sampel
X kadar air (kg air/kg bahan kering)	kc kaca
H entalpi, kJ	ky kayu
	o kondisi awal ($t=0$ detik)

<p>Konstanta</p> <p>$C = 520(1 - 0,000051\beta^2)$ untuk $0^\circ \leq \beta \leq 70^\circ$</p> <p>$\sigma$ Stefan-Boltzman, $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m} \cdot \text{C}^4$</p> <p>$e = 0.43 (1 - (100/T_p)) \rightarrow T_p$ dalam $^\circ\text{K}$</p> <p>$f = (1 + 0.089 hw - 0.1166 hw \cdot \epsilon_p)(1+0,07866N)$</p> <p>$hw$ = koefisien perpindahan kalor konveksi = $2.8+3v$, $\text{W/m}^2\text{C}$</p>	<p>p plat absorber</p> <p>r reaksi</p> <p>rw <i>rockwool</i></p> <p>sf <i>styrofoam</i></p> <p>t kondisi pada t detik</p> <p>ud udara</p> <p>loss hilang</p> <p>rad radiasi</p>
---	--

Pendahuluan

Metoda 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. Namun cara konvensional ini memiliki banyak kelemahan

Pengendalian terhadap kondisi temperatur dan kelembaban dapat membantu pengeringan berjalan cepat untuk mencapai kadar air aman. Oleh karenanya 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 [3]. Hii et al. melakukan pengeringan buatan dengan menggunakan udara panas pada temperatur 60°C , 70°C , dan 80°C di dalam ruang pengering (oven) dengan kecepatan udara hanya diakibatkan oleh konveksi alamiah yang diklaim sebesar $0,01 \text{ m/s}$. Hasil pengujian pH menunjukkan bahwa pengeringan dengan temperatur udara pengering 60°C adalah yang terbaik [4].

Bonaparte et al [5] membandingkan kualitas biji kakao yang dikeringkan dengan menggunakan energi matahari dengan 4 metode berbeda. Metode-metode yang dibandingkan adalah: (a) pengeringan secara tidak langsung, (b) pengeringan dengan tertutup kaca, (c) pengeringan terbuka dengan alas besi berpori, dan (d) pengeringan terbuka dengan alas kayu tertutup. Kesimpulan utama penelitian ini adalah kualitas kakao terbaik didapat dari pengeringan dengan sinar matahari secara tidak langsung.

Sebagai negara yang terletak di daerah katulistiwa, yaitu pada $6^\circ\text{LU} - 11^\circ\text{LS}$ dan $95^\circ\text{BT} - 141^\circ\text{BT}$, dan dengan memperhatikan peredaran matahari dalam setahun yang berada pada daerah $23,5^\circ\text{LU}$ dan $23,5^\circ\text{LS}$ akan mengakibatkan suhu di Indonesia cukup tinggi (antara $26^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}$) dan bila saat cuaca cerah akan disinari matahari selama 11-12 jam dalam sehari. Potensi energi

diantaranya: kontaminasi produk akibat hujan, angin, uap air dan debu; penurunan mutu akibat dekomposisi, serangga dan jamur. Lebih lanjut, proses memerlukan tenaga kerja intensif, waktu lebih lama dan membutuhkan lahan lebih luas [1]. Selain sangat bergantung pada kestabilan kondisi cuaca, penjemuran langsung membutuhkan waktu pengeringan lebih lama yakni 4 – 5 hari [2].

surya rata-rata nasional adalah 16 MJ/hari . Oleh karenanya, potensi energi terbarukan ini dapat dimanfaatkan untuk proses pengeringan.

Meskipun energi surya dapat dipandang sebagai energi yang bersih dan ramah lingkungan namun secara alamiah bersifat intermitten (tidak kontinu) dan temperatur maksimum yang dapat dicapai adalah 35°C . Kelayakan energi surya dapat ditambah dengan memanfaatkan teknologi energi surya buatan (solar dryer dengan sistem kolektor plat datar) sehingga dapat menaikkan temperatur udara pemanas mencapai $45 - 60^\circ\text{C}$ pada siang hari (sunshine) dan dilanjutkan dengan menyimpan sebagian energi surya ini pada bahan-bahan penyimpan panas (*phase change material's* = PCM's) untuk melanjutkan proses pengeringan pada saat malam hari [6].

Absorben seperti garam hidrat, termasuk jenis bahan penyimpan panas dengan sifat memiliki afinitas tinggi terhadap uap air. Secara khas kandungan air absorben merupakan fungsi humiditas relatif dari udara lingkungan yang nilainya berbanding lurus. Terdapat dua kategori desikan yang dijumpai yakni absorben dan adsorben. Absorben bekerja melalui suatu perubahan kimia ketika beratraksi dan mengikat/menahan uap air. Litium klorida dan kalsium klorida adalah absorben yang paling umum digunakan sebagai desikan [7]. Bahan-bahan adsorben menangkap dan menahan molekul air didalam pori-pori permukaannya dan disini tidak terjadi perubahan kimia. Senyawa alumina silikat seperti silica gel dan *molecular sieve* adalah adsorben komersial yang banyak dijumpai di pasaran [8].

Pengeringan kakao-fermentasi secara kontinu menggunakan energi surya dan termokimia telah

dilakukan Farel dkk [9]. Hasil pengukuran dan perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi termal kolektor surya plat datar berkisar antara 27,22 % - 57,73% dan waktu pengeringan adalah 30 jam.

Shanmugam dkk, 2007 telah melakukan penelitian pengeringan kacang polong dan nenas menggunakan sistem integrasi konveksi paksa surya termal dan desikan secara kontinu. Kesimpulan yang diperoleh adalah dicapainya waktu pengeringan yang lebih singkat, efisiensi termal dan laju pengeringan yang lebih tinggi [10].

Fagunwa et al (2009) melakukan pengujian kualitas biji kakao yang dikeringkan secara intermitten dengan mesin pengering gabungan kolektor surya dan penyimpan panas sensibel. Kesimpulan utama yang didapatkan adalah pengeringan dengan menggunakan mesin ini dapat diperpendek dan kualitas biji kakao hasil pengeringan juga sangat baik atau dapat menyamai kualitas pengeringan dengan pengeringan langsung [11].

a. Bahan dan Peralatan Pengeringan

Gambaran Potensi Energi Matahari kota Medan dengan dengan posisi 33.6 LU 98.4 BB, ketinggian dari permukaan laut 37,5 meter dan waktu meridian (7 + GMT) diperoleh melalui pengukuran keadaan cuaca yang meliputi: intensitas radiasi (*pyranometer*), kecepatan angin (*wind velocity sensor*) temperatur udara (*ambient measurement apparatus*) dan kelembaban (*T and RH smart sensor*). Keseluruhan alat ini dihubungkan dengan *HOB0 Micro Station Data Logger* seperti tertera pada Gambar 1.

Penelitian aplikasi proses pengeringan kontinu biji kakao menggunakan mesin pengering tenaga surya (solar thermal dryer) dan termokimia dilakukan di Laboratorium Solar Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara Medan yang berada di kota Medan dengan posisi 33.6 LU 98.4 BB, dengan ketinggian 37,5 meter di atas permukaan laut dan waktu meridian (7 + GMT). Sebagai pembanding, telah dilakukan juga pengeringan biji kakao dengan metode penjemuran langsung (open sun).

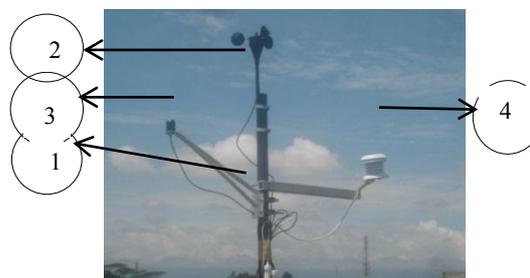
Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut: (a) memperoleh data potensi intensitas matahari untuk propinsi Sumatera Utara, khususnya kota Medan, (b) menentukan unjuk kerja pengering tenaga surya melalui perhitungan efisiensi termal kolektor surya, (c) mendapatkan gambaran efektifitas dan kinetika pengeringan kontinu biji kakao-fermentasi.

Bahan dan Metode

Buah kakao segar yang digunakan pada penelitian ini berasal dari petani kakao di kabupaten Tanah Karo propinsi Sumatera Utara, kemudian difermentasi selama 5 (lima) hari didalam kotak *styrofoam* sesuai hasil penelitian Dina, S.F., dkk, 2013. Proses pengeringan biji kakao sistem integrasi dilakukan selama periode bulan April sampai dengan Juni 2014, dengan memanfaatkan energi termal matahari dari jam 8.30 – 16.00 WIB (Gambar 2) dan dilanjutkan dengan energi termokimia jenis absorben berupa garam CaCl_2 dari jam 16.00 – 8.30.



(a)

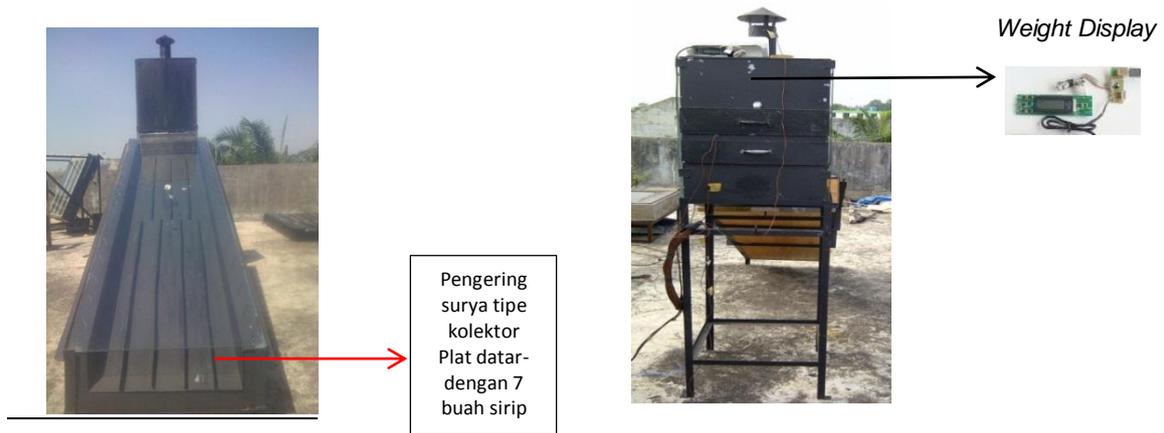


(b)

Keterangan :

1. *Pyranometer*
2. *Wind Velocity Sensor*
3. *Ambient Measurement apparatus*
4. *T and RH Smart Sensor*

Gambar 1. Alat ukur *Hobo Microstation data logger* (a) dan Sensor (b)



Gambar 2. Pengeringan dengan Energi Surya pada Siang Hari



Gambar 3.a) Absorben CaCl_2



Gambar 3.b) Pengeringan dengan termokimia (CaCl_2) pada malam hari



Gambar 3.c) Pengeringan Kakao dengan Metode Penjemuran Langsung

Pengeringan dilakukan terhadap sampel biji kakao seberat $1\text{ kg} \pm 0,05\text{ kg}$ dengan kadar air awal adalah 62,64%. Proses berlangsung terus-menerus secara bergantian antara energi surya dan energi termo-kimia dan dihentikan pada saat biji kakao tidak mengalami penurunan berat lagi (mencapai titik kesetimbangan). Sebagai pembandingan seperti Gambar 3.a, pengeringan kakao dengan penjemuran langsung (*open-sun*

drying) juga dilakukan pada saat bersamaan yakni jam 8.30 – 16.00 WIB.

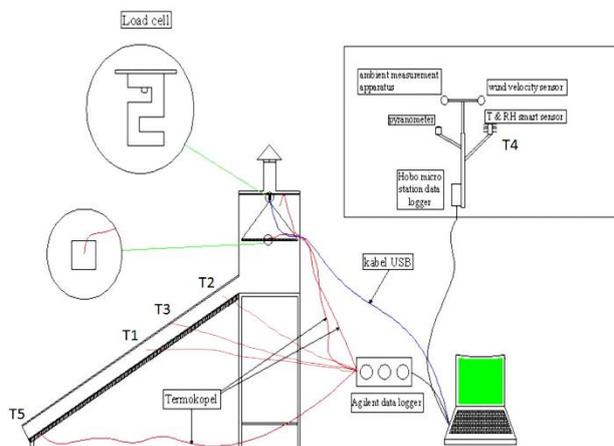
Malam hari sampel disimpan bersama absorben hingga keesokan harinya (Gambar 3.b). Efektifitas absorben ditetapkan berdasarkan pertambahan beratnya dan dinyatakan sebagai daya serap absorben tersebut terhadap uap air. Proses pengeringan dihentikan ketika kondisi kesetimbangan dicapai yakni dimana tidak ada lagi penurunan berat sampel.

Unjuk Kerja Kolektor Surya Tipe Plat Datar Bersirip

Nilai performans kolektor surya ditentukan dengan cara menghitung efisiensi termalnya.

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 Biji Kakao (T_6)
7. Intensitas Radiasi Matahari (G_a)



Gambar 4. Experimental Set-Up

Pengukuran temperatur dimulai dengan menghubungkan kabel-kabel termokopel yang terhubung ke *agilent* dan ditempelkan ke permukaan kayu, plat *absorber*, permukaan kaca inti biji kakao, dan ruang pengering (*drying chamber*) seperti terlihat pada Gambar 4. Data temperatur dicatat setiap menit dan untuk perhitungan diambil nilai rata-rata setiap 15 menit (*interval* waktu perekaman dapat disesuaikan). Untuk mencatat data perubahan massa dari sampel dipasang *load cell* di dalam ruang pengering, lalu dihubungkan ke laptop menggunakan kabel data USB. Semua data

temperatur dan massa direkam selama proses pengeringan berlangsung dan hasilnya disimpan dalam bentuk Microsoft excel.

Kehilangan panas keseluruhan dihitung berdasarkan besarnya total kehilangan panas konveksi melalui udara lingkungan terhadap permukaan kayu, kehilangan panas konveksi melalui udara didalam 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 sebagai berikut:

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

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

$$\frac{1}{U_{dd}} = \frac{1}{A_{ky} \cdot h_1} + \frac{t_{bky}}{A_{ky} \cdot k_{ky}} + \frac{t_{bsf}}{A_{sf} \cdot k_{sf}} + \frac{t_{brw}}{A_{rw} \cdot k_{rw}} + \frac{t_{bp}}{A_p \cdot k_p} + \frac{1}{A_p \cdot h_d} \quad \dots\dots(3)$$

$$h = \frac{Nu_x \cdot k}{l} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$Nu_x = 0,59 Ra_L^{0,25} \text{ untuk } Ra_L \text{ diantara } 10^4 \leq Ra_L \leq 10^9 \quad \dots\dots(5)$$

$$Ra_L = Gr_L \times Pr \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$Gr_L = \frac{\rho^2 g \cos \theta \beta (T_p - T_u) L^3}{\mu^2} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\frac{1}{U_b} = \frac{1}{A_{ky} \cdot h_1} + \frac{t_{bky}}{A_{ky} \cdot k_{ky}} + \frac{t_{bsf}}{A_{sf} \cdot k_{sf}} + \frac{t_{brw}}{A_{rw} \cdot k_{rw}} + \frac{t_{bp}}{A_p \cdot k_p} + \frac{1}{A_p \cdot h_2} \quad \dots\dots(8)$$

Kehilangan panas pada sisi atas dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_a = U_a \cdot A (T_p - T_u) \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$U_a = \left\{ \frac{N}{\left[\frac{c}{T_p} \left(\frac{T_p - T_u}{N + f} \right)^e + \frac{1}{hw} \right]} + \frac{\sigma(T_p + T_u)(T_p^2 + T_u^2)}{(\epsilon_p + 0.00591Nhw)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.1333\epsilon_p}{\epsilon_{kc}} - N} \right\}^{-1} \quad \dots\dots(10)$$

Kehilangan panas radiasi dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{rad} = \frac{A \cdot \sigma \cdot (T_p^4 - T_{kc}^4)}{\left(\frac{1}{\epsilon_p} + \frac{1}{\epsilon_{kc}} - 1 \right) + \left(\frac{1}{\epsilon_{kc}} + \frac{1}{\epsilon_{kc}} - 1 \right)} \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$Q_{loss} = 2 \times Q_{dd} + Q_a + Q_b + Q_{rad} \quad \dots\dots\dots(12)$$

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

$$Q_{surya} = F' \cdot (I \cdot A \cdot \tau \cdot \alpha) - (Q_{loss}) \quad \dots\dots\dots(13)$$

Nilai efisiensi termal kolektor surya dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = (F' \cdot ((I \cdot A \cdot \tau \alpha) - (Q_{loss}))) / (I \cdot A) \quad \dots\dots\dots(14)$$

Efektifitas dan Kinetika Pengeringan

Efektifitas pengeringan pada siang hari menggunakan energi termal surya ditetapkan untuk melihat pengaruh intensitas radiasi terhadap laju penguapan (jumlah air teruapkan). Sebagai pembanding dilakukan profil laju penguapan pada pengeringan sistem penjemuran langsung.

Pada malam hari, proses dehidrasi didalam ruang pengering bergantung pada efektifitas penyerapan absorben. Absorben adalah suatu zat yang dapat menyerap uap air yang terdapat dalam

udara (higroskopis). Oleh karenanya, efektifitas kerja suatu absorben dapat diukur dari absorpsinya. Daya serap ini dapat dihitung dengan menimbang pertambahan berat dari absorbendesikan setelah siklus pengeringan pada malam hari berlangsung. Jumlah molekul hidrat air yang dapat diikat garam absorben dihitung secara stoikiometri atas dasar rasio berat molekul garam dan hidrat air.

Profil laju pengeringan bahan hasil pertanian seperti 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 kadar air dan waktu, digunakan untuk menggambarkan kehilangan air (atau perilaku pengeringan) bahan selama proses pengeringan.

Hasil dan Pembahasan

Kondisi (Humiditas Relatif dan Temperatur Lingkungan) dan Potensi Radiasi Surya (Solar Radiation)

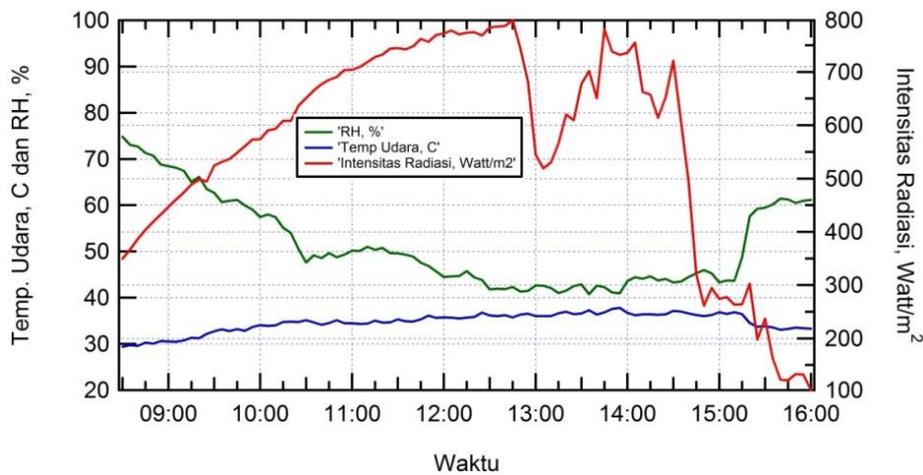
Proses pengeringan pada siang hari dipengaruhi oleh nilai intensitas radiasi yang diterima oleh kolektor surya sehingga menentukan berapa kenaikan temperatur media pengering (udara) yang memasuki ruang/box pengering dapat dicapai. Semakin tinggi intensitas radiasi, maka temperatur udara pengering yang memasuki box pengering akan semakin tinggi.

Model semi-teoritis merupakan model yang dikembangkan oleh Newton telah banyak digunakan peneliti untuk menggambarkan kinetika pengeringan dari bahan-bahan hasil pertanian.

Karakteristik pengeringan biji kakao di tampilkan dalam bentuk kurva penurunan kadar air (MR) biji kakao terhadap waktu pengeringan.

$$MR = \frac{(M_i - M_k) / M_k}{(M_0 - M_k) / M_k} \dots\dots\dots(15)$$

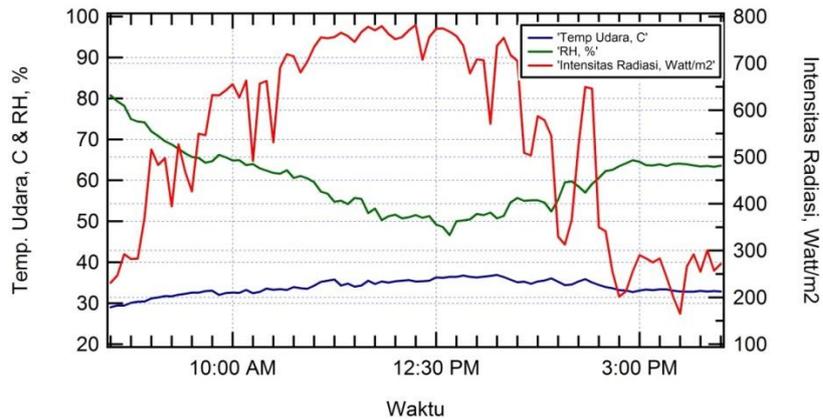
Dari hasil pengukuran Intensitas radiasi matahari menggunakan pyranometer yang terdapat pada alat Hobo Micro station Data Logger diperoleh data intensitas radiasi matahari, kecepatan angin, temperatur, dan RH. Sehingga kita dapat melihat data-data dari sensor tersebut oleh secara bersamaan dalam bentuk Microsoft Excel. Sensor ini dapat mencatat data-data dalam interval waktu 1 menit. Berikut data intensitas radiasi matahari per 30 menit pada tanggal 18 dan 19 Juni 2014.



Gambar 5. Kondisi Udara (Humiditas Relatif dan Temperatur Lingkungan) dan Potensi Radiasi Surya (Solar Radiation) 18 Juni 2014

Berdasarkan Gambar 5 dan Gambar 6 dapat dilihat bahwa temperatur lingkungan selama pengukuran tanggal 18 dan 19 Juni 2014 berkisar antara 29,4 – 37,8 °C.

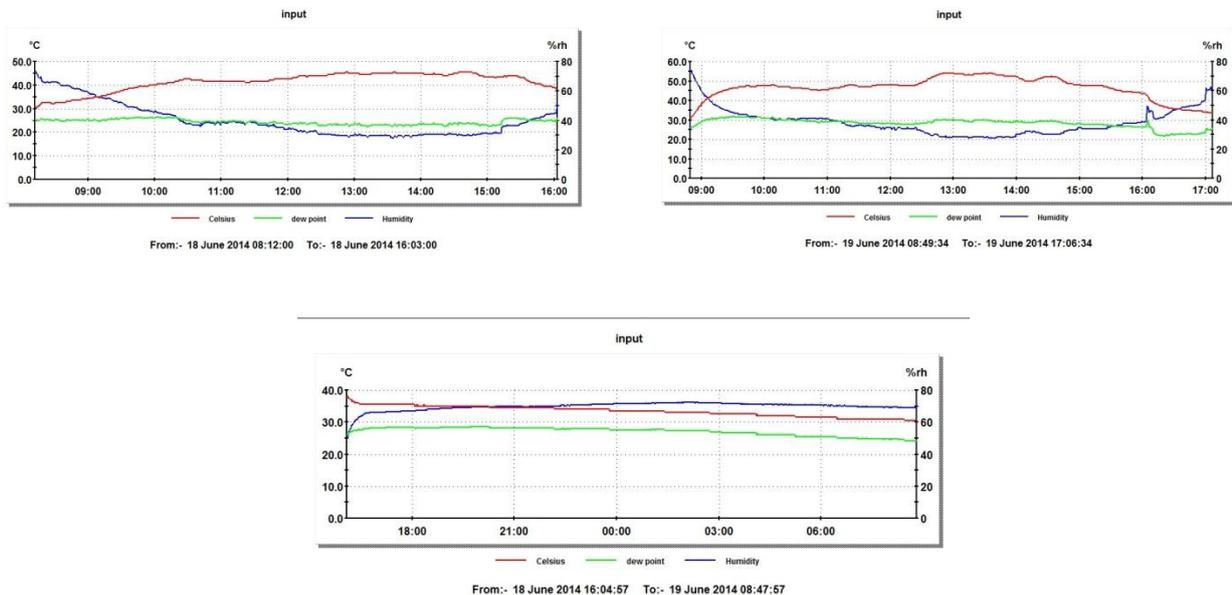
Udara mengandung uap air yang bisa dinyatakan dengan humiditas relatif (RH) ataupun humiditas mutlak. Humiditas mutlak adalah berat air persatuan berat udara kering (gr air/kg udara kering) sedang RH adalah kejenuhan relatif terhadap keadaan jenuh (100%).



Gambar 6. Kondisi Udara (Humiditas Relatif dan Temperatur Lingkungan) dan Potensi Radiasi Surya (Solar Radiation) 19 Juni 2014

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

berbanding terbalik dengan Intensitas Radiasi dan temperatur udara. RH hasil pengukuran terendah yakni 40,78 % pada tanggal 18 Juni jam 13:35 dan tertinggi 74,84% pada jam 08:30. Sedangkan pada hari kedua pengeringan (19 Juni 2014) RH terendah adalah 46,64% pada jam 12:40 dan tertinggi 80,76 % pada jam 08:30.



Gambar 7 Temperatur dan RH didalam Box Pengering (18 – 19 Juni 2014)

Nilai intensitas radiasi berkorelasi pada temperatur didalam box pengering (Gambar 5,6 dan 7). Tanggal 18 Juni 2014 merupakan pengeringan biji kakao hari pertama menggunakan energy surya pada jam 08:30 – 16:00, dilanjutkan dengan pengeringan menggunakan energy termokimia (absorben) pada jam 16:00 – 08:30 keesokan hari. Pada tanggal 18 Juni 2014 intensitas radiasi matahari berada pada kisaran 102,88 Watt/m² – 796,88 Watt/m² suhu didalam box pengering maksimum pada 45,5 °C

dengan RH pada kisaran 66,0% - 28,0%. Pada tanggal 19 Juni 2014 intensitas radiasi matahari berada pada kisaran 164,86 Watt/m² – 781,86 Watt/m² suhu didalam box pengering maksimum pada 59 °C dengan RH pada kisaran 67,0% - 19,5%. Dari data-data diatas dapat dilihat bahwa suhu didalam box pengering pada hari kedua pengeringan berlangsung (19 Juni 2014) lebih tinggi disbanding hari pertama pengeringan (18 Juni 2014).

Analisa Performansi Kolektor Plat Datar-Dimodifikasi dengan Sirip/Fin

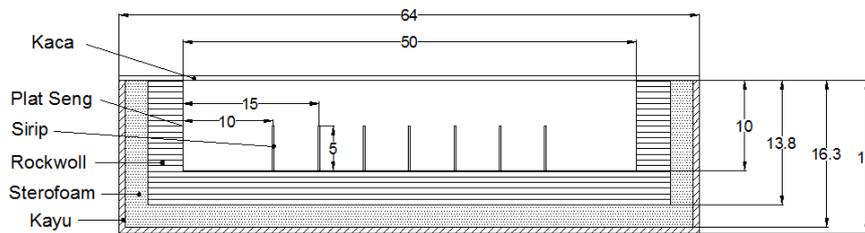
Untuk menentukan besarnya efisiensi termal kolektor surya-bersirip, maka diperlukan data temperatur plat absorber, temperatur kaca penutup, temperatur udara lingkungan, temperature kayu dan temperatur ruang kolektor.

a. Desain Kolektor Surya

Desain Kolektor Surya adalah tipe boks bentuk persegi panjang tanpa dengan menggunakan

penutup yang berlapiskan dua kaca. Pada Gambar 8. dapat dilihat profil desain kolektor surya beserta ukurannya dalam satuan cm.

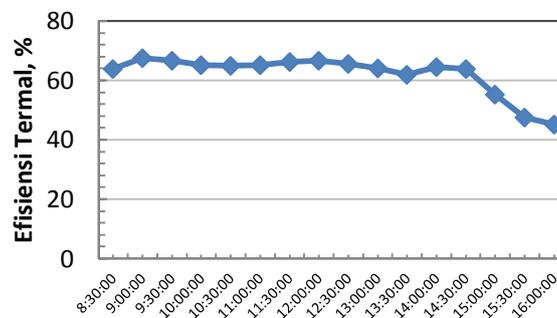
Kolektor Surya diisolasi dengan empat lapisan dinding berupa kayu, *styrofoam*, *rockwool* dan plat seng. Dengan menggunakan persamaan 1 sampai dengan persamaan 14 diatas diperoleh nilai efisiensi kolektor pengering surya plat datar bersirip seperti disajikan pada Gambar 9.



Gambar 8. Rancangan Kolektor Surya

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan sirip/fin pada kolektor plat datar dapat meningkatkan efisiensi termal kolektor surya. Hasil perhitungan rata-rata setiap 30 menit

mulai jam 8:30 sampai dengan jam 16:00 menghasilkan nilai efisiensi termal antara 45,06% - 67,53%.



Gambar 9. Efisiensi Termal Kolektor Surya Vs Waktu Pengeringan

Efektifitas dan Kinetika Pengeringan

Proses absorpsi merupakan peristiwa penyerapan uap dari udara akibat perbedaan tekanan uapnya. Absorben seperti garam hidrat memiliki tekanan parsial uap air yang lebih rendah dari udara lingkungan dan menyebabkan uap air berpindah dari udara ke absorben. Peristiwa perubahan kimia ini berlangsung secara simultan dengan pelepasan panas laten absorben pada kondisi isothermal hingga mencapai kondisi keseimbangan.

Proses absorpsi merupakan peristiwa penyerapan uap dari udara akibat perbedaan tekanan uapnya. Absorben seperti garam hidrat memiliki tekanan parsial uap air yang lebih rendah dari udara lingkungan dan menyebabkan

uap air berpindah dari udara ke absorben. Peristiwa perubahan kimia ini berlangsung secara simultan dengan pelepasan panas laten absorben pada kondisi isothermal hingga mencapai kondisi keseimbangan.

Bedasarkan Gambar 4.3 dapat dilihat bagaimana proses absorpsi berlangsung mendekati isothermal dan perubahan humiditas terlihat begitu signifikan pada awal proses yakni RH 51,5% pada pukul 16:00 dan meningkat cukup signifikan 35 menit kemudian menjadi RH 66% dan seterusnya cenderung datar pada RH 51% - 72,5 % hingga pukul 08:30 keesokan pagi.

Berdasarkan Tabel 1. dapat dilihat bahwa jumlah air yang diuapkan pada hari pertama

pengeringan (18 Juni) lebih besar terjadi pada metode penjemuran langsung, dimana air yang dikeluarkan dari biji kakao menggunakan pengeringan tenaga surya dan termokimia absorben hanya 470 gram, sedangkan pada penjemuran langsung sebesar 568 gram air yang teruapkan dari dalam biji kakao. Tetapi jika dilihat dari kadar air akhir biji kakao, maka kadar

air metode penjemuran langsung lebih tinggi (8,36%) dibanding metode pengering surya+termokimia (7,64%). Tingginya laju penguapan pada hari pertama pada penjemuran langsung dapat menyebabkan terjadinya pengerasan kulit biji sehingga air sulit menembus keluar yang pada pengeringan selanjutnya berjalan lambat.

Tabel 1. Data Hasil Pengeringan Biji Kakao

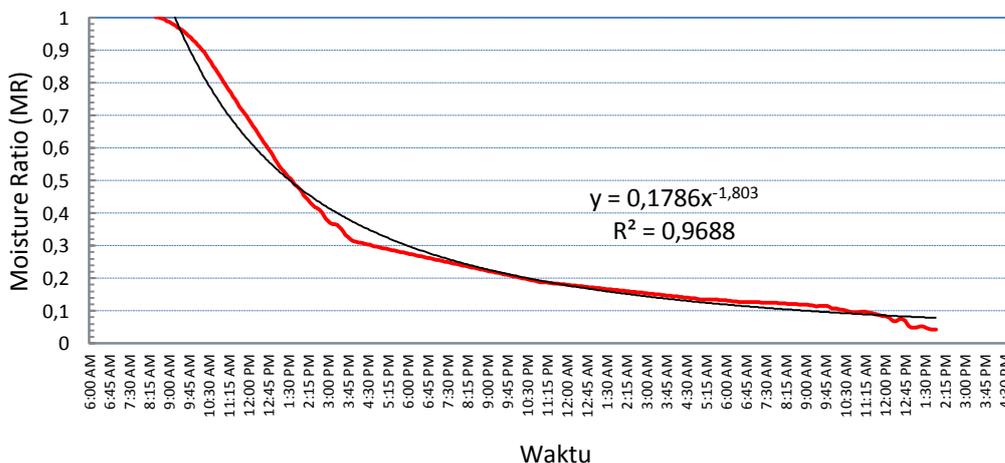
Parameter	Pengeringan Energi surya + absorben (18 – 19 Juni 2014)	Penjemuran langsung (18-20 Juni 2014)
Berat sampel awal, gr	1044	1100
Berat sampel akhir, gr	390	399
Kadar air akhir, %	7,64	8,36
Berat air yang diuapkan, gr		
1. siklus energi surya (hari-1)	470,00	568
2. siklus desikan (malam-1)	132,80	-
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 jam	56
Berat awal desikan, gr	1000	-
Pertambahan berat desikan, gr	146	-

Penguapan pada malam hari menggunakan absorben mampu mengikat uap air sebesar 132,80 gram dan pada pengeringan siang hari berikutnya dengan energi surya (19 Juni) dapat menguapkan air lagi sebesar 50,40 gram hingga diperoleh

Profil laju pengeringan hasil percobaan dapat dilihat pada Gambar 10. Dari profil tersebut didapat bahwa moisture ratio secara terus menerus berkurang sejalan dengan waktu pengeringan dan

kadar air akhir mencapai 7,64% dan waktu pengeringan 27,5 jam. Waktu yang diperlukan pada pengeringan dengan sistem penjemuran langsung adalah 56 jam.

tidak terlihat adanya periode laju pengeringan konstan. Oleh karenanya laju pengeringan telah diamati adalah berada pada periode laju pengeringan menurun.



Gambar 10. Moisture Ratio Vs Waktu Pengeringan

Model kinetika yang digunakan adalah model persamaan empirik yang dibangun menggunakan data hasil percobaan berupa laju penurunan massa biji kakao sebagai fungsi waktu. Hasil evaluasi statistik pencocokan kurva (fitting curves) untuk model persamaan logaritma, polynomial 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 $R^2 = 0,9688$.



Pengeringan Surya Termal + Absorben



Penjemuran Langsung

Gambar 11. Biji Kakao Hasil Pengeringan

Kesimpulan

Atas dasar penelitian yang dilakukan tentang ‘Perbaikan Mutu Kakao Indonesia Melalui Metode Pengeringan’, dapat disimpulkan bahwa metode pengeringan kontinu yang memanfaatkan energy surya termal dengan konfigurasi tipe kolektor plat datar-bersirip pada siang hari dan dilanjutkan dengan energy termokimia absorben pada malam hari dapat mempersingkat waktu pengeringan menjadi 27,5 jam dibanding menggunakan metode yang sama tetapi kolektor plat datar tidak dibuat bersirip (waktu pengeringan 30 jam). Optimasi system konfigurasi kolektor plat datar dengan memanfaatkan teknologi sirip/fin dapat meningkatkan efisiensi termal kolektor surya dari rentang 27,22% – 57,73% (tanpa sirip) pada penelitian tahun pertama menjadi 45,06% – 67,53%.

Selama proses pengeringan berlangsung, kondisi cuaca dicatat berada pada kisaran temperatur udara 29,4 – 37,8 °C; kelembaban relatif (RH) 40,78 % – 80,76 % dan intensitas radiasi 110,60W/m² – 969,40 W/m².

Efektifitas pengeringan dianalogikan terhadap laju pengurangan kadar air dimana laju

Kualitas Fisik Biji Kakao Hasil Pengeringan

Ditinjau dari kualitas fisik biji kakao hasil pengeringan, dapat dilihat bahwa pada metode pengeringan sistem energi surya + absorben menghasilkan biji kakao dengan warna kulit lebih cerah dibanding warna kulit biji kakao hasil penjemuran langsung seperti disajikan pada Gambar 11 sebagai berikut:

penguapan tertinggi diperoleh pada pengeringan hari pertama 470 gram, dilanjutkan pada malam hari sebesar 132,80 gram dan pada pengeringan siang hari berikutnya dengan energi surya (19 Juni) dapat menguapkan air lagi sebesar 50,40 gram hingga diperoleh kadar air akhir mencapai 7,64% dan waktu pengeringan 27,5 jam. Waktu yang diperlukan pada pengeringan dengan sistem 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 $R^2 = 0,9688$.

Referensi

- [1] Athul Sharma, Chen C.R., Nguyen Vu Lan, Solar-energy drying systems: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, (13): 1185 – 1210, 2009.
- [2] 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.

- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Dina S.F, Farel H. Napitupulu, Himsar A, Efektifitas Pengerinan Kontinu Biji Kakao Indonesia Menggunakan Energi Surya dan Termokimia, *Seminar Nasional Teknologi Industri Hijau*, Semarang, 21 Mei 2014.
- [10] Shanmugam V, Natarajan E. Experimental study of regenerative desiccant integrated solar dryer with and without reflective mirror. *Appl Therm Eng.*, (27): 1543–51, 2007.
- [11] 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.
- [12] 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.