

RANCANGAN DAN UJI PERFORMANSI ALAT PENGERING TENAGA SURYA MENGGUNAKAN POMPA KALOR (HIBRIDA) UNTUK PENGERINGAN BIJI KAKAO

DESIGN AND PERFORMANCE TEST OF SOLAR ASSISTED HEAT PUMP DRYER FOR COCOA BEAN DRYING

Sari Farah Dina, Harry P. Limbong, Siti Masriani Rambe

Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan,
Jl. Sisingamangaraja No. 24 Medan, Indonesia, telp. 061-7363471
e-mail: sfdina1@yahoo.com

Diterima : 05-04-2018

Direvisi : 07-05-2018

Disetujui : 17-05-2018

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performansi pengeringan biji kakao fermentasi dengan mengkondisikan udara pengering sehingga memiliki kelembaban yang lebih rendah dan suhu yang lebih tinggi daripada lingkungan. Penelitian ini menggunakan pompa kalor, kolektor surya, evaporator dan kondensor. Pengeringan berlangsung di posisi $3,36^{\circ}\text{LU} - 98,4^{\circ}\text{BT}$, pada ketinggian 200 meter di atas permukaan laut dan waktu meridian (GMT + 7), selama tiga (3) hari dengan tiga kali pengulangan. Selama pengeringan, intensitas radiasi berada pada kisaran 20-803 Watt/m² dan suhu ruang pengering dalam kisaran 32-48°C dan 35-80%RH. Hasil percobaan menunjukkan bahwa efisiensi termal rata-rata solar kolektor adalah 40-51%. Koefisien kinerja (COP) dan total kinerja pompa kalor, berturut-turut adalah 3,9 dan 9,3. Laju pengeringan, laju penguapan air spesifik dan konsumsi energi spesifik berturut-turut adalah 0,0481 kg/jam, 0,294 kg/kWh dan 6,12 MJ/kg. Pengeringan surya dibantu pompa kalor memberikan waktu pengeringan lebih pendek (rata-rata 24 jam) daripada penjemuran langsung (rata-rata 40 jam atau 5 hari).

Kata kunci: pengeringan, tenaga surya, pompa kalor, performansi, mutu biji kakao

ABSTRACT

This research aims to find out the performance of drying of fermented cocoa beans by conditioning the dryer air so that it has lower humidity and higher temperature than the ambient condition. This research uses heat pump, solar collector, evaporator and condenser. Drying takes at position $3.36^{\circ}\text{LU} - 98.4^{\circ}\text{BT}$, at an altitude of 200 meters above sea level and meridian time (GMT + 7), for three (3) days with three repetitions. During drying, the radiation intensity is in the range of 20-803 Watts / m² and the drying room temperature in the range of 32-48 °C and 35-80% RH. The experimental results show that the average thermal efficiency of collector solar is 40-51%. The performance coefficients (COP) and total heat pump performance, respectively, are 3.9 and 9.3. Drying rate, specific water evaporation rate and specific energy consumption are 0.0481 kg / hour, 0.294 kg / kWh and 6.12 MJ / kg, respectively. The solar drying assisted heat pump gives shorter drying time (24 hours on average) than direct drying (average 40 hours or 5 days).

Keywords: drying, solar power, heat pump, performance, quality of cocoa beans

PENDAHULUAN

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan mutu biji kakao (Bonaparte, 1998; Hii dkk, 2009, Zahouli dkk, 2010). Pengeringan merupakan metode paling kuno untuk

mengawetkan biji kakao setelah di panen. Kandungan air dalam biji kakao harus dikurangi dari sekitar 60% basis basah (bb) menjadi 7,5% bb untuk mendapatkan biji dalam kondisi baik selama

penyimpanan dan transportasi. Pengerinan juga memfasilitasi penurunan rasa pahit dan kelat biji kakao serta mendorong pengembangan karakteristik warna dan aroma khas kakao dari biji yang difermentasi dengan baik. Pengerinan yang tepat juga menjamin bahwa tidak berkembangnya aroma kurang sedap dari dalam biji (Hii dkk, 2009).

Parameter penting yang perlu dikendalikan selama pengerinan adalah laju pengerinan. Laju pengerinan ekstrim harus dicegah karena cenderung memberikan dampak negatif pada biji. Jika pengerinan terlalu lambat, menyebabkan berkembangnya jamur sehingga ini sebagai pemacu timbulnya aroma kurang sedap yang tidak disukai. Jika pengerinan berlangsung sangat cepat, maka oksidasi asam asetat menjadi terhalang dan ini menyebabkan asam tersebut terperangkap di dalam biji. Kandungan asam yang berlebih pada akhirnya mempengaruhi aroma atau rasa biji (Hii dkk, 2009). Laju pengerinan tergantung pada tiga faktor, yaitu perpindahan panas ke dalam biji, pergerakan uap air dari biji ke udara sekitar dan luas permukaan biji yang berhubungan dengan udara. Untuk itu berbagai metode pengerinan dilakukan untuk mengetahui model kinetika dan juga mutu yang dihasilkan (Clement dkk, 2009).

Pengerinan kakao dapat dicapai dengan menggunakan dua metode yakni secara alami dengan memanfaatkan energi matahari (langsung dan tidak langsung) maupun buatan melalui pengering biji kakao yang dipanaskan. Untuk itu berbagai rancangan pengering surya untuk mengeringkan produk pertanian telah banyak dijumpai (Sharma dkk, 2009). Metode pengerinan terputus di bawah sinar matahari memiliki beberapa kelemahan karena sering dijumpai sebagai produk rusak akibat hujan, angin, lembab dan debu, kehilangan produk akibat dimakan hewan (burung), serangan serangga dan jamur dan lain-lain. Pengerinan buatan secara mekanik menggunakan bahan bakar merupakan

suatu pengembangan yang relatif baru namun dianggap mahal dan pada akhirnya akan menambah biaya proses.

Proses pengerinan dengan udara (*air drying*) merupakan metode yang paling umum digunakan namun memiliki beberapa kelemahan seperti memburuknya rasa, warna dan kandungan gizi produk, peningkatan kadar aflatoksin (racun akibat jamur) serta potensi migrasi zat terlarut ke permukaan bahan dikarenakan kondisi dan metode pengerinan yang tidak dikontrol dengan baik (Mujumdar dkk, 2010).

Pengerinan terputus (tidak kontinyu) menggunakan alat pengering gabungan kolektor surya dan penyimpan panas sensibel dibuktikan telah dapat memperpendek waktu pengerinan dengan kualitas kakao yang dapat menyamai kualitas kakao hasil pengerinan terputus (Fagunwa dkk, 2009). Kinerja pengering kontinyu menggunakan sistem terintegrasi, energi surya dengan kolektor plat datar-bersip dan desikan pada pengerinan kakao telah dilakukan untuk melihat efektifitas pengerinan. Hasil penelitian membuktikan bahwa metode kontinyu ini dapat memperpendek waktu pengerinan hingga 45% dibanding penjemuran langsung (Dina dkk, 2013, 2015).

Meskipun teknologi pengerinan seperti yang telah dijelaskan diatas, telah dapat mempersingkat waktu pengerinan, namun faktor alamiah cuaca dapat menyebabkan kondisi pengerinan menjadi diluar kontrol. Untuk mengantisipasi fluktuasi intensitas radiasi yang dapat mempengaruhi kondisi (temperatur dan RH) udara pengering maka diperlukan energi buatan yang siap untuk mengendalikan kondisi udara sesuai yang dibutuhkan untuk pengerinan. Pengerinan surya yang dibantu dengan pompa kalor adalah jenis pengerinan hibrida atau pengerinan gabungan. Proses pengerinan yang dibantu pompa kalor adalah proses hemat energy karena panas yang dipulihkan sehingga dapat menurunkan konsumsi energy atau dengan kata lain koefisien

kinerja pompa kalor adalah tinggi (Daghigh dkk, 2010).

Teknologi pengeringan biji kakao menggunakan pompa kalor pada skala laboratorium telah dilakukandan telah menunjukkan adanya perbaikan yang signifikan ditinjau dari parameter uji pH, uji belah dan rasa (Hii dkk, 2011). Pengeringan dengan sistem hibrida ini juga telah dilakukan untuk mengeringkan biji jagung telah menunjukkan adanya penurunan konsumsi energi spesifik (1,24 kWh/ton uap air) pada rentang kelembaban 13,6% – 37,7% dan suhu ruang pengering 8,9 °C lebih tinggi dari lingkungan (Li Y., dkk, 2011).

Pengering surya yang dibantu pompa kalor terdiri dari ruang pengering konvensional dengan sistem sirkulasi udara, unit kolektor surya, unit kompresi, unit evaporasi dan kondensor. Unit evaporasi berfungsi untuk mengembunkan uap air yang dikandung udara, kemudian udara kering dipanaskan kembali oleh unit kondensor dan akhirnya melewati kolektor surya untuk pemanasan akhir yang optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performansi pengeringan biji kakao fermentasi dengan mengkondisikan udara pengering sehingga memiliki kelembaban yang lebih rendah dan suhu yang lebih tinggi daripada lingkungan. Dengan sistem hibrida pompa kalor utamanya berfungsi menurunkan kelembaban udara pengering dan selanjutnya suhu udara dinaikkan ketika melewati kolektor surya. Salah satu parameter penting dalam menjaga efektifitas pengeringan adalah konsentrasi uap air di udara.

METODOLOGI

Rancangan Alat

Perencanaan alat pengering hibrida bertujuan untuk membantu para petani dalam mengolah hasil produksi perkebunan dan pertanian. Oleh karena itu pertimbangan yang perlu diperhatikan dalam rancangan alat dan perencanaan

pengering yaitu: ekonomis, produktifitas tinggi, mudah pembuatan, kuat dan mudah dioperasikan.

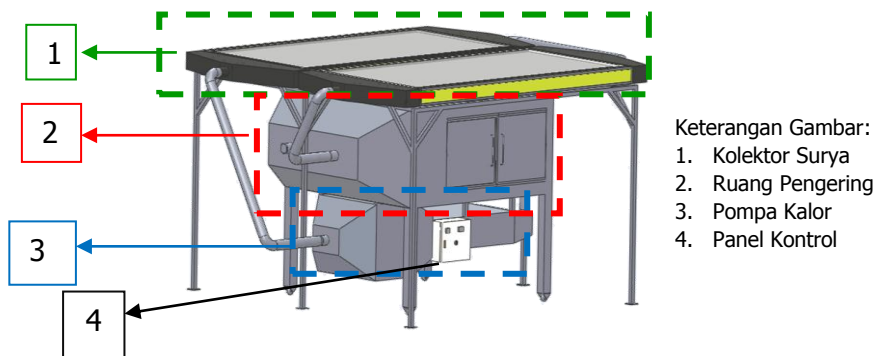
Rancangan Alat Pengering Hibrida

Pengeringan hibrida seperti ditunjukkan oleh Gambar 1 terdiri atas 3 (tiga) bagian (unit), yakni kolektor surya, pompa kalor dan ruang pengering. Kolektor surya terdiri atas dua unit yang terhubung secara seri dan masing-masingnya memiliki ukuran pelat absorber 1500mm x 3000mm. Sebagai isolator digunakan poliuretan (terluar), *styrofoam* (tengah) dan *rockwool* (terdalam) dengan ketebalan masing-masing 5, 50 dan 50mm. Pelat absorber dibuat dari aluminium dengan tebal 0,50mm. Agar tidak terjadi refleksi serta memiliki absorpsivitas yang maksimum maka dilakukan pelapisan pada permukaan absorber dengan cat semprot warna hitam kusam. Tinggi bukaan celah antara pelat absorber dan penutup kolektor adalah 100mm. Penutup kolektor berfungsi untuk meneruskan radiasi matahari dan mencegah terjadinya refleksi radiasi ke lingkungan yang dapat menyebabkan kehilangan panas. Untuk itu, dibuat dari lembaran polikarbonat dengan ketebalan 3mm.

Pompa kalor berfungsi untuk memindahkan panas dari suatu lokasi ke lokasi lainnya menggunakan kerja mekanis. Dalam proses memindahkan panas dihasilkan uap kering dan juga bersuhu sedang. Ini yang dimanfaatkan untuk proses pengeringan. Pompa kalor terdiri atas unit evaporator, kompresor, kondensor, katup ekspansi, memiliki spesifikasi beban pendinginan setara 9000 Btu/jam dan fluida kerja adalah refrigerant jenis R-22.

Ruang pengering dibuat dari dua lapisan pelat seng (ketebalan 0,3 mm) dan diantara pelat seng diberi isolator yang dalam hal ini digunakan *styrofoam* dengan ketebalan 25 mm. Ruang pengering memiliki dimensi panjang x lebar x tinggi yakni 2000mmx2000mmx1000mm. Jumlah rak 4 buah dan direncanakan mampu

mengeringkan 40-50 kg biji kakao dengan kadar air 50-60% (bb).



Gambar 1. Desain Konfigurasi Mesin Pengering Hibrida

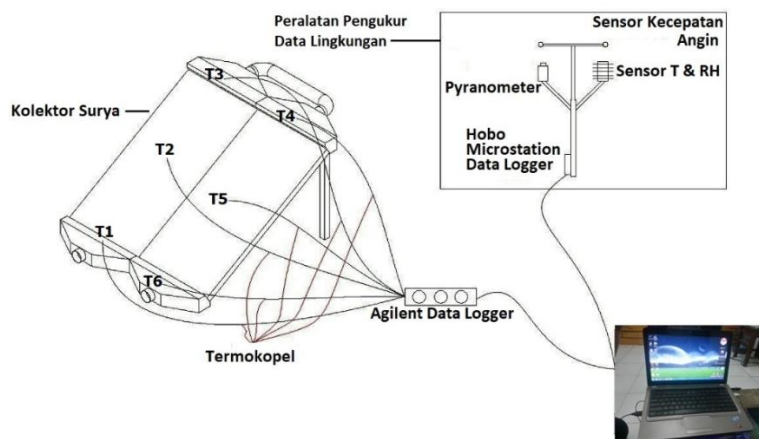
Uji Performansi Alat Pengering

Uji Performansi Kolektor Surya

Pengujian dimulai dengan menghubungkan kabel-kabel termokopel data logger dan parameter-parameter yang akan diukur temperaturnya. *Data logger* terhubung dengan komputer/LAN yang akan mencatat dan menyimpan data selama pengukuran.

Adapun beberapa parameter yang diukur seperti ditunjukkan pada Gambar 2 adalah sebagai berikut: temperatur

poliuretan (lapisan terluar/terbawah pelat absorber-1(T₁), temperatur didalam kolektor-1 (T₂), temperatur permukaan polikarbonat (T₃), temperatur lingkungan (T₄), temperatur permukaan pelat absorber (T₅) dan temperatur didalam kolektor-1 (T₆). Parameter diatas digunakan untuk menghitung besarnya nilai energi panas yang hilang pada kolektor surya dan nilai dari efisiensi kolektor surya.



Gambar 2. Set-Up percobaan Uji Performansi Kolektor Surya

Kehilangan panas keseluruhan dihitung berdasarkan besarnya total kehilangan panas konveksi melalui udara lingkungan terhadap permukaan poliuretan, kehilangan panas konveksi melalui udara didalam kolektor terhadap permukaan pelat, kehilangan panas pada sisi alas (poliuretan) dan sisi atas dan kehilangan panas radiasi. Energi matahari

yang diterima dihitung sebagai energy radiasi yang diserap oleh kolektor surya dikurangi dengan panas yang hilang dari kolektor(Duffie, 2005):

$$\dot{Q}_r = F'(IA \tau \alpha) - \dot{Q}_l \tag{1}$$

Dimana F' adalah faktor efisiensi kolektor yang dalam hal ini diasumsikan sebesar

0,9, dan I, A, τ dan α berturut-turut adalah intensitas radiasi (Watt/m²), luas pelat absorber dari kolektor (m²), transmisivitas penutup kolektor dan absorpsivitas pelat absorber. Total panas yang hilang dari kolektor (Q_i) dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Yunus A. Cengel, 2003):

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_w + \dot{Q}_b + \dot{Q}_t \quad (2)$$

Dimana Q_w (Watt), Q_b (Watt) dan Q_t (Watt) berturut-turut adalah panas yang hilang dari dinding, alas dan atas kolektor. Kehilangan ini dihitung menggunakan analogi tahanan termal seperti yang disajikan dalam gambar 2 dan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Yunus A. Cengel, 2003):

$$\dot{Q}_w = U_w A_w (T_p - T_\infty) \quad (3)$$

$$\dot{Q}_b = U_b A_b (T_p - T_\infty) \quad (4)$$

$$\dot{Q}_t = U_t A_t (T_p - T_\infty) \quad (5)$$

Dimana U_w, U_b dan U_t (Watt/m².K) adalah koefisien perpindahan panas keseluruhan dari sisi dinding, alas dan atas (penutup polikarbonat), A adalah luas masing-masing sisi, T_p dan T_u masing-masing adalah temperatur pelat absorber dan udara ambien.

Efisiensi termal (η) kolektor dihitung berdasarkan perbandingan antara panas yang diterima absorber (Q_r) dan panas matahari yang sampai ke bumi, dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut (Yunus A. Cengel, 2003):

$$\eta = \frac{Q_r}{Q_i} \times 100\% \quad (6)$$

Uji performansi pompa kalor direpresentasikan dengan menghitung nilai koefisien kinerja (COP), kinerja total (TP), laju ekstraksi uap air spesifik (SMER) dan konsumsi energy spesifik yang dihitung sebagai berikut (Tjukup M. dkk, 2012):

$$COP = \frac{Q_{cd}}{W_c} \quad (7)$$

$$TP = \frac{Q_{cd} + Q_{ev}}{W_c} \quad (8)$$

$$SMER = \frac{m_d}{W_c} \quad (9)$$

$$SEC = \frac{1}{SMER} \quad (10)$$

Dimana Q_{cd}, Q_{ev}, W_c dan m_d berturut-turut adalah panas yang dilepas kondensor (kW), panas yang diserap evaporator (kW), kerja kompresor dan blower (kW) serta laju pengeringan (kg/jam).

Hasil Uji Performansi Pengeringan

Sampel biji kakao ditimbang seberat 1000 gr (basis basah) selanjutnya diletakkan didalam rak kasa.

Alat pengering kolektor surya dipersiapkan (kolektor surya diletakkan pada posisi dimana semua permukaannya menerima radiasi matahari. Pastikan semua alat ukur yang dibutuhkan (Sensor RH/T-meter, anemometer, timbangan, power meter) telah diaktifkan.

Sensor RH/T meter dimasukkan kedalam ruang pengering untuk merekam perubahan konsentrasi uap air dan temperatur didalam ruang pengering selama proses pengeringan berlangsung.

Kabel-kabel termokopel dari *Agilent datalogger* dipasang pada kolektor surya sesuai Gambar 2. Pompa kalor di on-kan dan panel kontrol akan mengatur dengan sendirinya.

Pengujian dimulai ketika kompresor mulai bekerja dan dapat dilihat melalui *pressure gauge* yang akan menampilkan tekanan rendah, sedang dan tinggi. Pompa kalor diatur sedemikian rupa sehingga hanya bekerja pada saat kondisi ruang pengering belum mencapai temperatur yang diinginkan. Jika suplai energi termal surya dapat memenuhi kebutuhan tersebut maka secara otomatis kompresor pompa kalor tidak bekerja.

Pengujian dilakukan dari pukul 09:00 pagi hingga pukul 17:00 WIB dan setiap 30 menit dilakukan penimbangan

berat biji kakao dan pengukuran kecepatan udara pada sisi masuk kolektor menggunakan anemometer. Sejalan dengan waktu pengujian berlangsung, maka proses perekaman data diberlakukan. Pengujian akan berakhir apabila tidak ada lagi perubahan berat sampel biji kakao. Pengujian dilakukan dengan 3 kali ulangan.

Sebagai pembandingan dilakukan jugapengeringan dengan cara penjemuranlangsung, dimana 1000 gr (basis basah) dihamparkan membentuk lapisan tipis diatas rak kasa dan dijemur langsung dibawah sinar matahari. Setiap 30 menit dilakukan penimbangan hingga diperoleh berat konstan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Performansi Sistem Kolektor Surya dan Pompa Kalor

Pengering surya dibantu pompa kalor hasil pabrikasi memiliki kapasitas 40 – 50 kg produk biji-bijian yang dihamparkan membentuk lapisan tipis. Secara rinci alat ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Dari hasil pengukuran intensitas radiasi matahari selama uji coba yakni dari jam 9:00 sampai dengan jam 17:00, dapat dilihat pada Gambar 4. Intentesitas radiasi terendah adalah 20 Watt/m² (jam15:45) dan tertinggiadalah 803 Watt/m² (jam 12:45).

Kondisi cuaca yang ekstrim ini menghasilkan intensitas rata-rata hanya mencapai 347 Watt/m². Pola intensitas radiasi ini mirip dengan profil temperatur udara di dalam ruang kolektor (Gambar 5). Dari gambar ini dapat menjelaskan bagaimana intensitas radiasi berkorelasi positif terhadap suhu udara di dalam kolektor yang akan diteruskan ke ruang pengering. Kolektor surya dirancang terdiri atas dua unit yang masing-masingnyadibuat sedemikian rupa agar udara memiliki waktu tinggal lebih lama didalam ruang kolektor sehigga panas termal yang diserap absorber efektif menaikkan suhu udara.

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa temperatur udara didalam ruang kolektor berada pada rentang 36–80°C dan temperatur lingkungan berada pada rentang 30-36°C. Hal ini telah membuktikan bahwa sistem isolasi kolektor surya yang dirancang cukup efektif untuk mengisolasi panas termal yang diserap pelat aluminium (absorber).

Hasil perhitungan efisiensi panas surya untuk masing-masing kolektor dapat dilihat pada Gambar 7. Susunan seri dari aliran udara melewati 2 (dua) unit kolektor memberikan waktu tinggal yang lebih lama sehingga dapat lebih meningkatkan efisiensi termal kolektor surya. Secara garis besar, efisiensi panas rata-rata selama pengujian untuk kolektor-1 dan kolektor-2 masing-masing adalah 37% dan 49%.

Koefisien kinerja (COP) pada pompa kalor dan kinerja total (TP) dihitung berdasarkan persamaan 10 dan 11 serta menggunakan sifat termodinamika fluida kerja pada kondisi pengukuran rata-rata sesuai Tabel 1.

COP merupakan indikator efektifitas energi yang digunakan untuk menghasilkan panas dengan kata lain adalah rasio pemanasan atau pendinginan yang disediakan untuk energi listrik yang dikonsumsi. Oleh karenanya nilai COP tidak pernah kurang dari 1, dan semakin tinggi nilai COP maka biaya operasi akan semakin rendah. Hasil perhitungan nilai COP rata-rata untuk pompa kalor dari mesin pengering sistem hibrida adalah 3,9. Angka ini memberikan pernyataan bahwa untuk setiap 1kW energi listrik yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompressor akan menghasilkan panas di kondensor sebesar 3,9 kW. Ditinjau dari nilai kinerja total atau *total performance* (TP) rata-rata pompa kalor sebesar 9,3 mengindikasikan bahwa energi 1kW untuk menggerakkan kompresor mampu menghasilkan 9,3 kW untuk proses pendinginan di evaporator sehingga menurunkan temperatur dan kelembaban udara serta untuk proses pemanasan dan

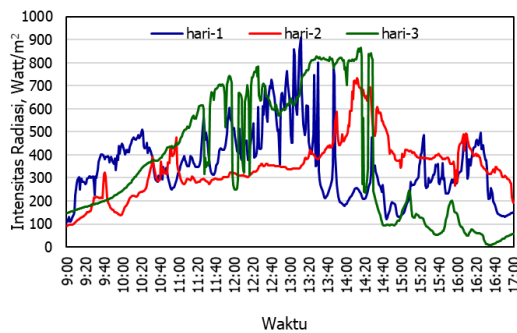
menurunkan kelembaban udara udara pada kondensor.



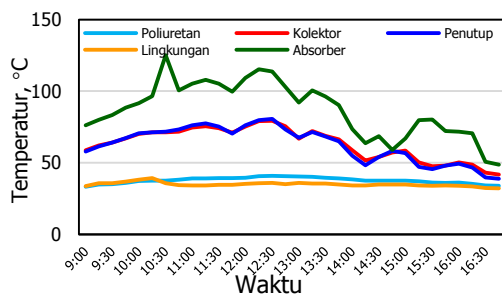
Gambar 3. Pengering Surya Dibantu Pempa Kalor

*Keterangan Gambar:

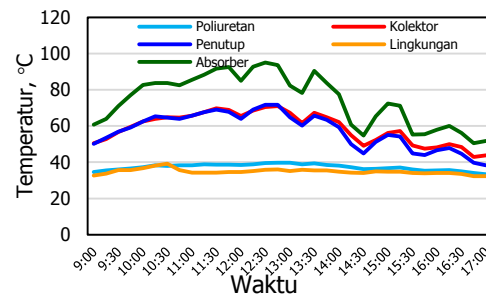
1. Kolektor Surya (dua unit), Ukuran/unit: 1500 mm x 3000 mm
2. Ruang Pengering: 2000 x 2000 x 1000 mm, kapasitas 40 – 50 kg
3. Pempa Kalor: 9000 Btu/jam
4. Panel Kontrol



Gambar 4. Intensitas Radiasi Vs Waktu



a)



b)

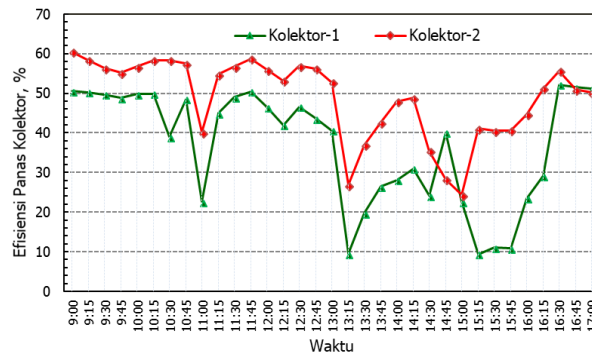
Gambar 5. Hasil Pengukuran Temperatur

- a). Kolektor Surya-1
- b). Kolektor Surya-2

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran pada Sistem Pempa Kalor

| No | Variabel Terukur | Satuan | Nilai |
|----|---|--------|-------|
| 1 | Tekanan <i>refrigerant</i> masuk kompresor | kPa | 550 |
| 2 | Tekanan <i>refrigerant</i> keluar kompresor | kPa | 3100 |

| | | | |
|---|---|----------------|--------|
| 3 | Tekanan <i>refrigerant</i> keluar kondensor | kPa | 3050 |
| 4 | Kecepatan udara rata-rata | m/det | 0,15 |
| 5 | Suhu rata-rata udara masuk kondensor | °C | 38,00 |
| 6 | Suhu rata-rata udara keluar kondensor | °C | 48,20 |
| 7 | Luas penampang saluran udara | m ² | 0,3395 |



Gambar 6. Hasil Perhitungan Efisiensi Termal Kolektor Surya

Hasil Pengujian Pengeringan

Profil Hasil Uji Mutu Pengeringan Biji Kakao

Profil laju pengeringan biji kakao seperti ditunjukkan pada Gambar 8 terjadi hanya pada siang hari. Pompa kalor dioperasikan bertujuan untuk menurunkan kandungan uap air udara pengering, sehingga membantu proses perpindahan massa uap air dari biji kakao ke udara pengering.

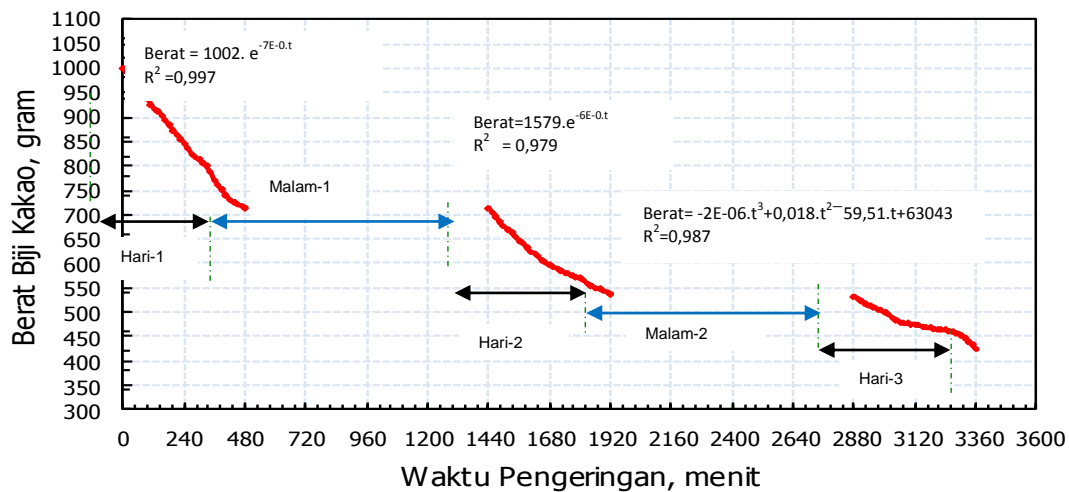
Pengeringan berlangsung sepanjang hari sedangkan pada malam hari (jam 17:00 sampai dengan jam 09:00 keesokan hari) biji kakao tidak dikeringkan dan dibiarkan didalam ruang pengering dalam keadaan ditutup agar tidak terjadi absorpsi. Pada hari pertama dan kedua, laju penurunan berat biji kakao adalah secara eksponensial dan pada hari ketiga menunjukkan profil polinomial. Proses pengeringan dapat dibagi menjadi dua periode, yakni periode laju pengeringan tetap dan periode laju pengeringan menurun (Dina dkk, 2015).

Pada awal pengeringan (hari-1 dan hari-2) dapat dikategorikan sebagai periode pengeringan meningkat. Dalam

periode ini, kadar air masih tinggi dan hadir di permukaan biji kakao. Setelah uap air ini menguap, kandungan uap air didalam biji kakao (dibawah permukaan) akan berdifusi ke permukaan dan ini membutuhkan waktu. Dengan demikian, proses pengeringan akan berjalan lambat (hari-3).

Dengan kondisi rentang rata-rata intensitas radiasi selama pengeringan adalah 359-434 Watt/m² (Gambar 4) diperlukan waktu pengeringan 3 (tiga) hari terputus dengan total waktu efektif pengeringan adalah 24 jam. Pemafaatan pengeringan terputus, dimaksudkan untuk menurunkan humiditas udara pengeringan dan selanjutnya dipanaskan lanjut dengan melewatkannya di kolektor surya untuk menaikkan suhu udara. Dengan demikian diperoleh udara dengan kondisi humiditas mutlak rendah dan suhu lebih tinggi dari lingkungan.

Tinggi rendahnya intensitas radiasi sangat mempengaruhi perubahan temperatur udara didalam ruang pengering.



Gambar 7. Penurunan Berat Biji Kakao Selama Pengeringan Vs Waktu

Hasil pengukuran temperatur dan humiditas relatif (RH) didalam ruang pengering seperti yang disajikan pada Gambar 8 memberikan gambaran kondisi proses pengeringan (perpindahan panas dan perpindahan massa) berlangsung. Hasil pengukuran menunjukkan suhu ruang pengering adalah 32-48°C dan RH 35-80%. RH pada pagi hari tinggi dan menurun setelah aliran udara melewati sistem pompa kalor (evaporator dan kondensor) dan kolektor surya. Semakin rendah nilai RH pada temperatur rendah (dibawah 50°C) akan memiliki konsentrasi uap air lebih rendah sehingga proses perpindahan massa dari permukaan biji kakao ke udara pengering semakin efektif.

Uji performansi pengeringan telah ditentukan dengan menghitung 3 (tiga) parameter yakni laju pengeringan, laju ekstraksi air spesifik dan konsumsi energi spesifik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa laju pengeringan secara menyeluruh adalah sebesar 0,04808 kg/jam. Dengan mengetahui laju pengeringan dan perhitungan neraca massa, kita dapat memprediksi waktu dan kadar air akhir bahan yang akan dikeringkan.

Nilai laju ekstraksi air spesifik dan konsumsi energi spesifik hasil perhitungan (asumsi kompresor pompa kalor adalah

berturut-turut 0,294 kg/kWh dan 6,12 MJ/kg. Nilai ini menggambarkan berapa energi yang dibutuhkan untuk menguapkan 1 kg air dari biji kakao. Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu (Dina dkk, 2015) menggunakan energi surya dan termokimia (13,16 MJ/kg), maka nilai konsumsi energi spesifik dari mesin pengering sistem hibrida termal surya dan pompa kalor adalah lebih rendah.

Hasil Uji Mutu Biji Kakao

Perbandingan hasil pengujian mutu biji kakao sebelum dikeringkan, biji kakao hasil pengeringan sistem hibrida dan biji kakao hasil penjemuran langsung dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut.

- **Kadar Air**
Hasil analisis mutu biji kakao seperti ditunjukkan pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa kadar air awal biji kakao sebelum dikeringkan memiliki kadar air 51,04%. Kadar air akhir setelah dikeringkan dengan mesin pengering sistem hibrida adalah 6,12%. Pada saat yang bersamaan juga dilakukan pengeringan dengan cara penjemuran langsung dan kadar air akhir biji yang dikeringkan adalah 6,69%. Hal ini dapat membuktikan bahwa pengeringan dengan sistem hibrida memberikan pola laju pengeringan lebih cepat dibanding dengan

penjemuran langsung. Untuk mengeringkan biji kakao secara penjemuran langsung diperlukan waktu pengeringan 5 (lima) hari atau setara dengan 40 jam efektif, sedangkan dengan pengering sistem hibrida hanya diperlukan waktu pengeringan lebih singkat 3 (tiga) hari atau setara dengan 24 jam efektif.

Dengan demikian jika dihitung berdasarkan laju penguapan, maka laju penguapan pengeringan hibrida adalah 19,94 gram/jam sedangkan penjemuran langsung lebih rendah yakni 11,88 gram/jam.

- pH

Parameter pH tidak dipersyaratkan didalam SNI maupun Codex . Parameter ini hanya digunakan untuk membuktikan apakah biji kakao difermentasi atau tidak.

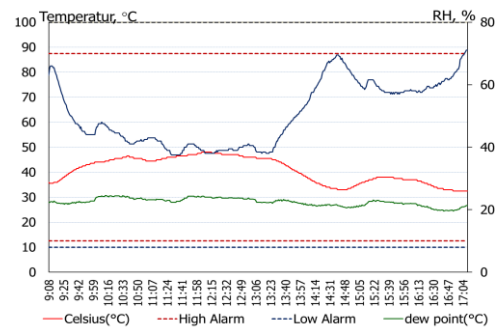
Pada kakao, pH yang rendah selalu dihubungkan dengan kandungan asam-asam volatil yang tinggi. Semakin tinggi pH kakao yang diperoleh maka semakin besar laju pengeluaran asam asetat hasil fermentasi yang terjadi pada saat pengeringan. Kadar asam yang tinggi pada biji kakao selalu dihubungkan dengan pH kurang dari 5,2, dan telah dibuktikan bahwa biji kakao dengan aroma terbaik dari Afrika Barat selalu mempunyai pH sekitar 5,5 (Hii dkk, 2011).

Hasil analisis pH biji kakao hasil pengeringan menunjukkan bahwa baik sistem hibrida maupun penjemuran langsung memiliki $pH > 5,5$. Selain itu laju pengeringan yang dikendalikan melalui kondisi temperatur dan RH rendah memberikan kesempatan untuk menguapkan asam-asam volatil didalam biji kakao. Hal ini dapat dilihat dari pH biji sebelum dikeringkan adalah 5,06 dan setelah dikeringkan menjadi 5,62.

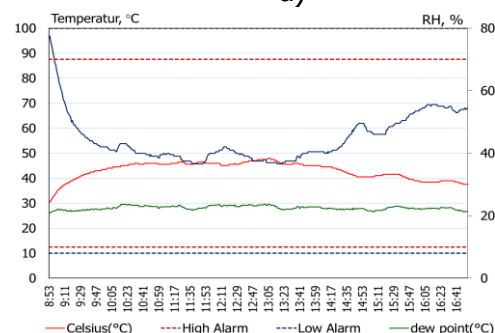
- Asam Lemak Bebas

Asam lemak bebas (ALB) merupakan parameter kerusakan lemak yang dibebaskan karena terjadinya proses hidrolisis oleh mikroorganisme pada keadaan lembab dan kotor. Gliserida dari asam-asam lemak berantai pendek yang dihasilkan akibat proses hidrolisa ini

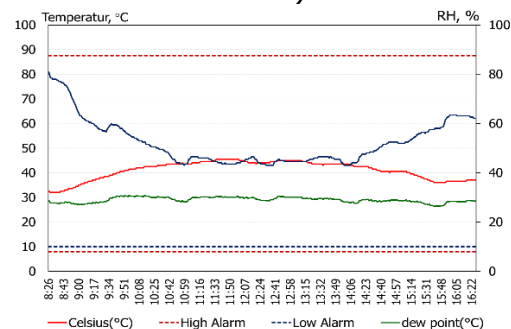
menimbulkan aroma dan rasa tengik(Jumriah dkk, 2011).



a)



b)



c)

Gambar 8. Data Kondisi Ruang Pengering a) Hari-1, b) Hari-2, c) Hari-3

Oleh karenanya, keberadaan asam lemak bebas di dalam lemak kakao harus dibatasi untuk menghindari kerusakan mutu. Codex Allimentarius, 2001 menetapkan toleransi kandungan asam lemak bebas di dalam biji kakao dengan batas maksimum 1,75 %. Hasil analisis menunjukkan meskipun masih dalam batas toleransi, namun selama pengeringan terjadi kenaikan kadar ALB dibanding biji kakao sebelum dikeringkan. Kadar ALB didalam biji kakao hasil

penjemuran langsung lebih tinggi dibanding hasil pengeringan sistem hibrida. Hal ini disebabkan selama pengeringan berlangsung terutama pada hari-1, intensitas radiasi setelah jam 14:30

menurunkan hingga <200 Watt/m² sehingga menjadi pemicu terjadinya proses hidrolisis oleh mikroorganismenya (Jumriah dkk, 2011).

Tabel 2. Hasil Uji Mutu Biji Kakao

| Parameter Uji | Satuan | Biji Kakao Sebelum Dikeringkan | Biji Kakao Hasil Percobaan | Biji Kakao Hasil Penjemuran Langsung |
|------------------|--------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Kadar Air | % | 51,04 | 6,12 | 6,69 |
| pH | - | 5,06 | 5,62 | 5,67 |
| Asam Lemak Bebas | % | 0,31 | 0,79 | 1,13 |
| Lemak Total | % | 32,88 | 40,45 | 35,28 |
| Aflatoxin | ppb | 2,80 | 2,35 | 3,25 |

- Lemak Total
Parameter lemak total tidak dipersyaratkan didalam SNI dan Codex. Namun parameter ini penting untuk melihat kualitas biji kakao dan mempengaruhi nilai jualnya.

Hasil analisis biji kakao sebelum dikeringkan memiliki kadar lemak cukup rendah (32,88%) dan setelah dikeringkan dengan sistem hibrida naik hingga 40,45% sedangkan dengan penjemuran langsung memiliki kadar lemak lebih rendah yakni 35,28%. Rendahnya kadar lemak hasil percobaan ini dikarenakan kadar lemak buah kakao yang belum dikeringkan sudah cukup rendah sehingga ketika kadar air berkurang akibat pengeringan, kadar lemak akan naik namun kenaikannya tidak terlalu tinggi. Menurut persyaratan dari Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, kadar lemak biji kakao yang baik adalah minimal 55%. Oleh karenanya kadar lemak biji kakao yang dihasilkan tidak memenuhi persyaratan.

- Aflatoxin
Aflatoxin merupakan kelompok metabolit sekunder yang dapat memberikan efek berbahaya bagi kesehatan karena bersifat karsinogenik, mutagenik, teratogenik dan immunosupresif. Ini disebabkan aktifitas kapang *Aspergillus flavus*, *Aspergillus parasiticus* dan *Aspergillus nomius*. Cemarannya ini tumbuh pada berbagai biji-bijian dan kacang-kacangan pada suhu

antara 24 sampai 35°C (Utami T, dkk, 2012).

Meskipun pada biji kakao belum ditetapkan batasan maksimal kadar aflatoxin, namun pada jagung yang digunakan sebagai pakan ternak telah diatur dalam SNI kadarnya tidak melebihi 50 ppb.

Berdasarkan hasil analisis aflatoxin pada penelitian ini, dapat dilihat bahwa baik dari biji kakao yang masih basah maupun biji kakao hasil pengeringan mengandung aflatoxin cukup rendah. Kadar aflatoxin lebih tinggi dijumpai pada biji kakao hasil penjemuran langsung yakni 3,25 ppb dibanding biji kakao hasil pengeringan hibrida yakni 2,35 ppb. Penjemuran langsung di alam terbuka lebih memungkinkan terjadinya kontaminasi mikotoksin pada makanan berprotein. Hal ini dikarenakan pada penjemuran langsung dimana lingkungan memiliki kondisi suhu 10 – 40 °C, pH 4 – 8 dan kelembaban relatif >70% merupakan kondisi yang sangat kondusif untuk pertumbuhan fungi (Lanyasanya TP dkk, 2005).

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan pengeringan surya dibantu pompa kalor memberikan laju pengeringan biji kakao lebih tinggi (19,94 gram/jam) dibanding penjemuran langsung (11,88 gram/jam).

Uji coba telah dilakukan pada kondisi cuaca fluktuatif yakni tertinggi 803 Watt/m² dan terendah 20 Watt/m². Efisiensi termal rata-rata kolektor surya berada pada rentang 40 -51%. Nilai koefisien kinerja (COP) dan kinerja total (TP) rata-rata dari pompa kalor berturut-turut adalah 3,9 dan 9,3. Laju pengeringan selama 3 hari adalah 0,04808 kg/jam dan konsumsi energi spesifik 6,12 MJ/kg. pada kondisi rata-rata intensitas radiasi, suhu dan kelembaban ruang pengering berturut-turut 359-434 Watt/m², 32-48°C dan RH 35-80%. Laju ekstraksi air spesifik dan konsumsi energi spesifik adalah 0,294 kg/kWh dan 6,12 MJ/kg.

Mutu biji kakao yang dihasilkan adalah lebih baik dibanding dengan penjemuran langsung ditinjau dari nilai kadar air, asam lemak bebas, lemak total dan kandungan aflatoksin. pH sedikit dibawah nilai penjemuran langsung namun masih diatas nilai biji kakao terbaik dari Afrika Barat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Industri – Kementerian Perindustrian Republik Indonesia yang telah memberikan dana penelitian melalui Anggaran DIPA TA 2015.

DAFTAR PUSTAKA

Bonaparte A, Alikhani Z, CA Madramootoo CA and Raghavan V,. Some Quality Characteristics of Solar-Dried Biji kakao Beans in St Lucia. *Journal Science Food Agriculture*. 1998; 76: 553-558.

Clement AD, Assidjo NE, Kouame P, and Yao K B,. Mathematical modelling of sun drying kinetics of thin layer cocoa (*Theobroma Cacao*) beans. *Journal of Applied Sciences Research*. 2009; Vol. 5, no.9: 1110-1116.

Codex Alimentarius Commission, Codex Standard for Cocoa Butter. Codex Stan 86-1981, Rev.1-2001, *Food*

and Agriculture Organization of United Nations. Geneva. 2001.

- Daghigh R, RuslanMH, SulaimanMY, Kamaruzzaman S,. Review of Solar Assisted Heat Pump Drying Systems for Agricultural and Marine Products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2010; Vol. 14: 2564 – 2579.
- Dina SF, Farel HN., Himsar A,. Kajian Berbagai Metode Pengeringan Untuk Perbaikan Mutu Biji Kakao Indonesia. *Jurnal Riset Industri*. 2013; Vol. 7, No.1: 35 – 52.
- Dina SF, Ambarita H, Napitupulu FH, Hideki Kawai,. Study on Effectiveness of Continuous Solar Dryer Integrated with Desiccant Thermal Storage for Drying Cocoa Beans. *Journal Case Study in Thermal Engineering, Elsevier*,. 2015; ISSN: 2214-157X, (5): 32-40.
- Duffie A John, Beckman WA,. *Solar Engineering of Thermal Processes*, Third Edition. John Wiley & Sons Inc.: New York, 2005.
- Fagunwa AO, Koya OA and Faborode MO,. Development of an Intermittent Solar Dryer for Cocoa Beans. *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. 2009; Manuscript number 1292, Vol. XI.
- Hii CL, Law CL, Cloke M, Suzannah S, .Thin layer drying kinetics of cocoa and dried product quality. *Biosystem Engineering* 2009;(102): 153 – 161.
- Hii CL, Law CL, Cloke M, Suzannah S,. Improving Malaysian cocoa quality through the use of dehumidified air under mild drying conditions. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 2011; (91): 239 – 246.
- Jumriah L, Elly I, Maryati B dan Junaedi M,. Pemetaan Lemak dari Biji Kakao (*Theobroma cocoa* L) di Sulawesi Selatan. *Disertasi, Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia*. 2011.

- Lanyasunya TP, Wamae LW, Musa HH, Olowofeso O, and Lokwaleput IK. The risk of mycotoxins contamination of dairy feed and milk on smallholder dairy farms in Kenya. *Pakistan Journal of Nutrition* 2005; Vol. 4 (3): 162-169.
- Li Y, Li HF, Dai YJ, Gao SF, Lei Wei, Li ZL, Odinez IG, Wang RZ,. Experimental investigation on a solar assisted heat pump in-store drying system. *Applied Thermal Engineering*. 2011; Vol. 31 (2011): 1718 – 1724.
- Mujumdar AS, Chung LL, Drying Technology: Trends and Applications in Postharvest. *Food and Bioprocess Technology*. 2010; Vol. 3, Issue 6: 843-852.
- Sharma A, Chen CR, Nguyen Vu Lan,. Solar-energy drying systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009; Vol. 13: 1185 – 1210.
- SNI 2323-2008: Biji kakao, *Badan Standardisasi Nasional, ICS* 67.140.30.
- Tjukup Marnoto, Endang S, Mahreni, Syahri M,. The Characteristic of Heat Pump Dehumidifier Drier in the Drying of Red Chili (*Capsium annum L*). *International Journal of Science and Engineering*. 2012. Vol. 3 (1):22-25.
- Utami T, Fx. Hartanta AN, Sri U, Sri M, Endang SR,. Penurunan Kadar Aflatoksin B₁ pada Sari Kedelai oleh Sel Hidup dan Sel Mati Lactobacillus acidophilus SNP-2. *J. Teknologi dan Industri Pangan*. 2012; Vol XXIII, no.1: 58-63.
- Yunus A Cengel, Heat Transfer A Practical Approach. Second Edition. Singapore: Mc.Graw-Hill.Inc., 2003.
- Zahouli GIB, Tagro Guchi S, Monk'e Fae, Ban-Koffi L and Gnopo Nemlin J, . Effect of Drying Methods on the Chemical Quality Traits of Cocoa Raw Material. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 2010; 2(4): 184 – 190.