

Pengaruh Konveksi Paksa Terhadap Unjuk Kerja Ruang Pengering Pada Alat Pengering Kakao Tenaga Surya Pelat Bersirip Longitudinal

Harmen^{1*} dan A. Muhilal¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Jl. Sumatri Brojonegoro No. 1, Bandarlampung 35145
*E-mail: harmenbur@unila.ac.id

Abstrak

Salah satu cara untuk meningkatkan temperatur masuk (T_{in}) dan kapasitas kakao yang ingin dikeringkan dalam ruang pengering adalah dengan memperluas daerah kontak permukaan perpindahan panas pada pelat kolektornya dan memperbesar laju aliran massa udara. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh laju alir massa udara (\dot{m}) terhadap laju pengeringan kakao yang meliputi beberapa parameter seperti distribusi udara, laju perpindahan panas, efisiensi ruang pengering serta laju pengurangan kadar air (m_w).

Ruang pengering dirancang dan dibuat dengan luas rak pengering $200 \times 600 \text{ mm}^2$, jarak antara rak pengering (ΔH) 6 cm dengan jumlah rak (i) 8 buah serta kapasitas pengeringan sebanyak (w_i) 8 kg. Ketinggian ruang pengering dari permukaan tanah 1 m dan lebar saluran udara keluar 0,25 cm. Pengambilan data dilakukan dengan membandingkan unjuk kerja antara ruang pengering pelat datar alamiah dengan ruang pengering pelat datar paksa dan ruang pengering pelat datar paksa dengan ruang pengering pelat bersirip yang berupa temperatur masuk ruang pengering, distribusi temperatur, perpindahan panas antar rak serta laju pengurangan kadar air (\dot{m}_w).

Hasil yang didapat untuk laju pengeringan membuktikan bahwa untuk ruang pengering dengan aliran alamiah didapat efisiensi rata-ratanya sebesar 18,09%, efisiensi ruang pengering dengan pelat datar terbesar pada laju alir massa udara (\dot{m}) 0,00819 kg/s yaitu sebesar 30,28% dengan $\dot{m}_w = 0,001565 \text{ kg/s}$ dan efisiensi untuk pelat bersirip terbesar pada laju alir massa udara (\dot{m}) 0,00921 kg/s yaitu sebesar 40,56% dengan $\dot{m}_w = 0,003949 \text{ kg/s}$. Maka, terdapat peningkatan efisiensi sebesar 12,19% dari aliran alamiah terhadap aliran paksa datar dan 10,28% dari aliran paksa datar terhadap aliran paksa sirip.

Keywords: pengering tenaga surya, pengering kakao, ruang pengering, pelat bersirip longitudinal, efisiensi pengeringan

Pendahuluan

Metode pengeringan dengan menggunakan alat pengering tenaga matahari banyak dikembangkan di daerah dengan intensitas sinar matahari yang cukup tinggi. Prinsip kerja alat ini adalah dengan memanaskan udara yang masuk melalui pengumpul panas (*collector*) pada alat pengering kemudian udara panas tersebut digunakan untuk memanaskan bahan yang akan dikeringkan.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya tentang pengering tenaga surya dengan menggunakan aliran alamiah untuk pengeringan sebesar 5 kg dengan lamanya proses (t) 8 jam dan ruang pengering tersebut mampu mengurangi kadar air bijih kakao sebesar 40,309 % menjadi 16,456 % dengan kemampuan penyerapan harian sebesar 0,702 kg, efisiensi ruang pengering sebesar 37,484 % serta perpindahan panas konveksi rancangan sebesar 10 watt [Arinto, 2004].

Metoda Eksperimen

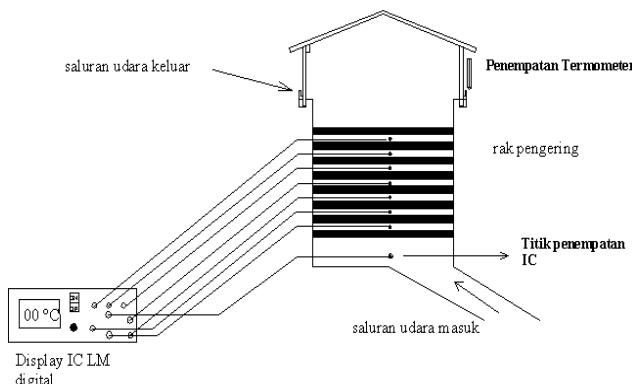
Ruang pengering yang akan dirancang ulang digunakan untuk mengeringkan kapasitas kakao sebesar 8 kg dengan lama waktu pengeringan selama

8 jam, dan massa jenis 1300 kg/m^3 . Perancangan dilakukan untuk menentukan dimensi ruang pengering. Langkah-langkah perancangan adalah sebagai berikut:

- 1) Mengasumsikan beberapa parameter perancangan awal yaitu: kelembaban udara relatif masuk ke alat pengering (ϕ_1), kelembaban relatif udara keluar ruang pengering (ϕ_2), temperatur udara lingkungan disekitar alat pengering (T_∞), temperatur udara masuk ke ruang pengering (T_1), temperatur udara keluar ruang pengering (T_8), kandungan air awal kakao (mc_1), kandungan air akhir kakao (mc_2), ketinggian ruang rak pengering dari tanah (H_1), dan lebar saluran udara keluar ruang pengering (H_2).
- 2) Menentukan masa jenis udara (ρ) pada ketinggian H_1 , H_2 , dan ΔH .
- 3) Menentukan besar penurunan tekanan (Δp) dalam ruang pengering.
- 4) Dengan kapasitas pengeringan sebesar 8 kg, maka jumlah air yang harus diuapkan (m_w).
- 5) Menentukan massa udara kering yang dibutuhkan (m_a) untuk menguapkan kandungan air kakao.
- 6) Menentukan laju alir massa udara (\dot{m}).
- 7) Menentukan perbandingan antara jarak rak pengering (ΔH) dengan luas rak pengering (A).

8) Perbandingan tersebut disubstitusi untuk memperoleh nilai ΔH dan A .

Alat ukur yang digunakan pada penelitian ini adalah windmeter, IC LM 35 DZ untuk sensor temperatur, kompas, dan timbangan (Gambar 1). Sebelum digunakan alat ukur ini terlebih dahulu dikalibrasi. Adapun pengujian yang dilakukan adalah pengujian aliran alamiah, konveksi paksa pelat datar, dan pengujian konveksi paksa pelat bersirip 19.



Gambar 1. Rancangan ruang pengering kakao

Dari Gambar 1 terlihat penempatan alat ukur IC LM 35 DZ diletakkan pada setiap rak sehingga dapat mempermudah dalam melihat distribusi temperatur dalam ruang pengering serta perpindahan panas yang terjadi antar rak. Sedangkan untuk mengetahui temperatur saluran udara keluar dapat diketahui dengan menggunakan termometer yang diletakkan di depan saluran udara keluar.

Hasil dan Pembahasan

Setelah rancangan dan pembuatan alat pengering selesai, maka dilakukanlah pengujian untuk mendapatkan prestasinya. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kecepatan putaran kipas untuk mendapatkan variasi laju alir dari udara (m) yang masuk ke dalam ruang pengering. Variasi laju alir udara pada ruang pengering pelat bersirip dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Perhitungan laju alir massa udara untuk kolektor surya pelat bersirip

Tegangan (volt)	V m/s	ρ kg/m ³	A m ²	\dot{m} kg/s
220	0.90	1.071026	0.012	0.01156
200	0.82	1.071687	0.012	0.01054
180	0.72	1.067047	0.012	0.00921
160	0.63	1.069040	0.012	0.00808

Sedangkan pengujian untuk laju alir massa udara

pada ruang pengering pelat datar dengan variasi kecepatan putaran kipas didapatkan hasil seperti pada Tabel 2 di bawah ini.

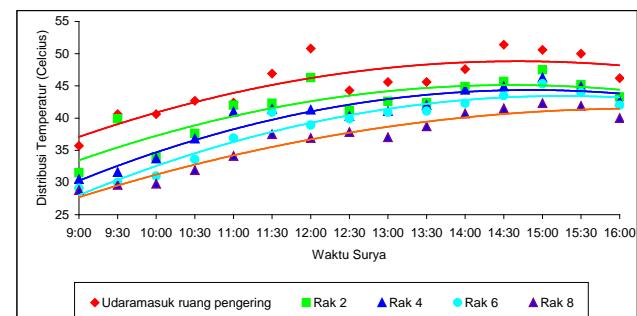
Tabel 2. Perhitungan laju alir massa udara pada pengujian dengan kolektor surya pelat datar

Tegangan (volt)	V m/s	ρ kg/m ³	A m ²	\dot{m} kg/s
220	1.17	1.094645	0.012	0.01152
200	1.1	1.100471	0.012	0.01089
180	1	1.091687	0.012	0.00982
160	0.82	1.110747	0.012	0.00819

Nilai laju alir massa udara yang terdapat di dalam Tabel 1 dan 2 digunakan dalam pengujian dan perhitungan unjuk kerja ruang pengering yang ingin dicapai.

Pengering dengan pelat datar alamiah

Dari pengujian ruang pengering dengan pelat datar aliran alamiah maka didapatkan hasil seperti pada Gambar 2 di bawah ini.

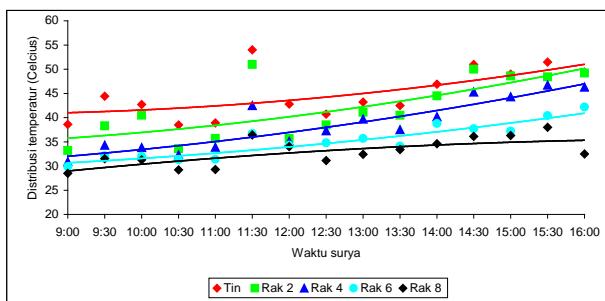


Gambar 2. Grafik distribusi temperatur pada ruang pengering pelat datar alamiah terhadap waktu surya

Untuk distribusi temperatur pelat datar alamiah sendiri terjadi fluktuasi dimana terjadi peningkatan temperatur tetapi kemudian pada pukul 12:00 turun sampai pukul 13:30 yang dikarenakan awan yang menutupi radiasi sinar matahari. Temperatur tertinggi yang masuk ke dalam ruang pengering terjadi pada pukul 12.00 sebesar 60°C dan yang terendah terjadi pada pukul 09.00 sebesar 33,4°C. Penyebaran temperatur terjadi antara temperatur (27 – 60°C).

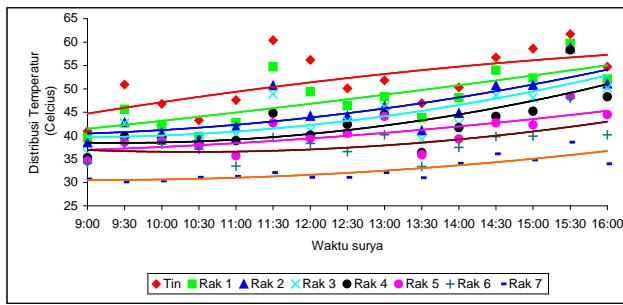
Perbandingan ruang pengering pelat datar aliran paksa dengan (\dot{m}) 0,01152 kg/s dan pelat bersirip aliran paksa dengan (\dot{m}) 0,01156 kg/s

Distribusi temperatur pada ruang pengering menggunakan kolektor surya pelat datar terhadap waktu surya dengan laju alir (\dot{m}) 0,01152 kg/s diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik distribusi temperatur pada ruang pengering dengan kolektor surya pelat datar terhadap waktu surya pada laju alir (\dot{m}) 0,01152 kg/s

Pada Gambar 3 terlihat bahwa terjadi fluktuasi temperatur selama waktu pengujian. Peningkatan temperatur terjadi sampai pada pukul 09:30, kemudian turun sampai pukul 11:00 yang dikarenakan awan yang menutupi radiasi sinar matahari. Temperatur tertinggi yang masuk kedalam ruang pengering terjadi pada pukul 11:30 sebesar 54°C dan yang terendah terjadi pada pukul 10:30 sebesar 38,5°C. Sebaran temperatur terjadi antara (29 – 55°C). Pada tegangan ini temperatur yang masuk kedalam ruang pengering pun tidak terlalu besar karena laju alir yang masih terlalu besar menyebabkan perpindahan panas pada kolektor tidak maksimal.



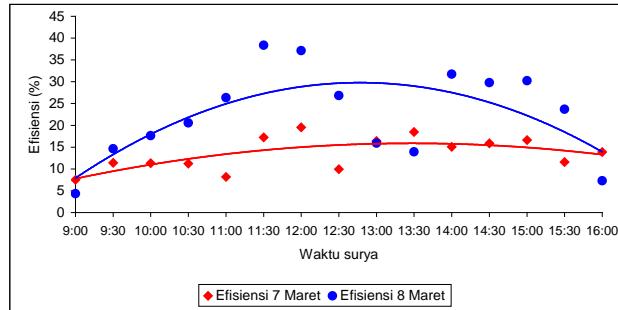
Gambar 4. Grafik distribusi temperatur pada ruang pengering dengan kolektor pelat bersirip terhadap waktu surya pada laju alir (\dot{m}) 0,01156 kg/s

Distribusi temperatur udara pada ruang pengering dengan kolektor pelat bersirip untuk laju alir massa udara 0,01156 kg/s bervariasi antara (30,3 - 61,7°C). Dari Gambar 4 terlihat bahwa ada peningkatan temperatur udara dari pukul 09:00 sampai puncaknya pukul 11:30 kemudian dengan turunnya intensitas cahaya matahari maka temperatur pun ikut turun sampai pukul 13:30 kemudian naik lagi secara linear sampai pukul 16:00. Temperatur udara masuk ruang pengering tertinggi adalah sebesar 61,70°C. Hal ini menunjukkan bahwa pada laju alir massa udara 0,01156 kg/s hanya mampu menghasilkan temperatur yang masuk kedalam ruang pengering rata-rata sebesar 61,7°C.

Karenanya temperatur udara masuk ruang pengering untuk aliran alamiah lebih besar yaitu 60°C dibandingkan dengan aliran paksa datar sebesar 54°C berarti terdapat penurunan 6°C. Sedangkan untuk

aliran paksa pelat bersirip nilainya 61,7°C, hasil ini lebih baik bila dibandingkan dengan aliran alamiah atau aliran paksa datar.

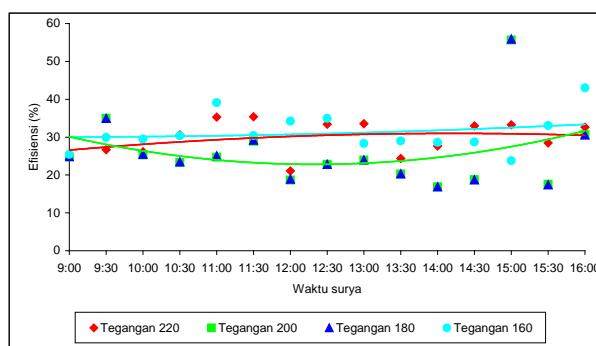
Efisiensi ruang pengering dengan kolektor surya pelat datar aliran alamiah



Gambar 5. Grafik efisiensi pengujian ruang pengering dengan kolektor surya pelat datar untuk aliran alamiah

Dari Gambar 5 didapatkan efisiensi rata-rata pengujian untuk aliran alamiah adalah sebesar 13,6192%. Efisiensi yang dihasilkan tidak begitu besar karena masih menggunakan sistem alamiah.

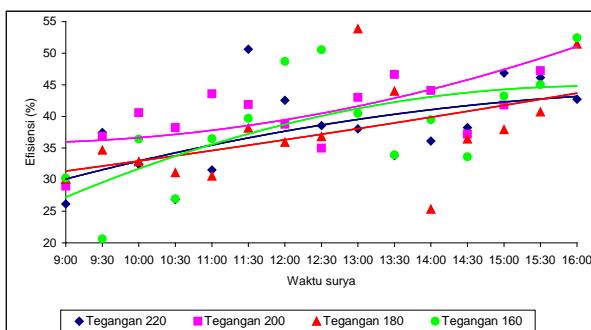
Efisiensi ruang pengering dengan kolektor surya pelat datar aliran paksa terhadap variasi laju alir massa udara



Gambar 6. Grafik efisiensi untuk pengujian variasi laju alir massa udara pelat datar terhadap waktu surya

Dari Gambar 6 terlihat bahwa untuk efisiensi pada laju alir massa 0,01152 kg/s terdapat penurunan yang membentuk sebuah kurva terbuka keatas, tetapi dilihat dari penyebarannya maka didapatkan nilai efisiensi tertinggi yaitu pada pukul 15:30. Sedangkan untuk laju alir 0,01089 kg/s dan 0,00982 kg/s nilai efisiensi sangat berdekatan sekali sehingga garis efisiensi antara kedua tegangan tersebut berhimpit. Nilai efisiensi dari kedua tegangan tersebut berkisar antara (20 – 35%). Sedangkan untuk laju alir 0,00819 kg/s efisiensi yang dihasilkan cenderung stabil berkisar antara (25 – 35%). Dari data yang ada dapat dilihat bahwa efisiensi terbesar terjadi pada laju alir 0,00819 kg/s dengan nilai rata-rata harian sebesar 30,28%.

Efisiensi ruang pengering pelat bersirip paksa terhadap variasi laju alir massa udara



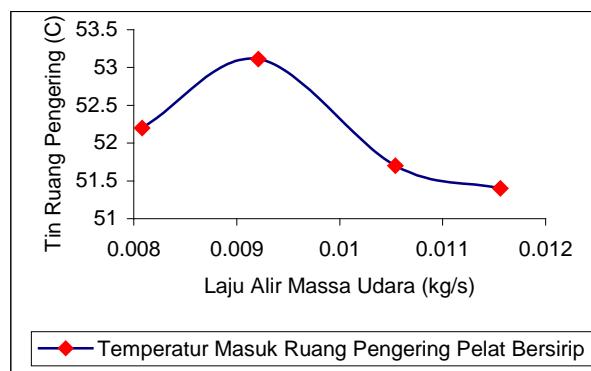
Gambar 7. Grafik efisiensi untuk pengujian variasi laju alir massa udara pelat bersirip terhadap waktu surya

Dari Gambar 7terlihat bahwa efisiensi merata untuk setiap laju alir. Nilai efisiensi terkecil terjadi pada laju alir 0,00808 kg/s pukul 09:30 yaitu sebesar 20,62%. Pada laju alir 0,01054 kg/s efisiensinya lebih stabil dibandingkan dengan laju alir lainnya yang efisiensi rata-rata harianya mencapai 37,04%. Nilai ini lebih tinggi bila dibandingkan dengan laju alir 0,01156 kg/s yang hanya mencapai efisiensi sebesar 36,955%. Sedangkan untuk laju alir 0,00921 kg/s nilai efisiensinya terendah yaitu

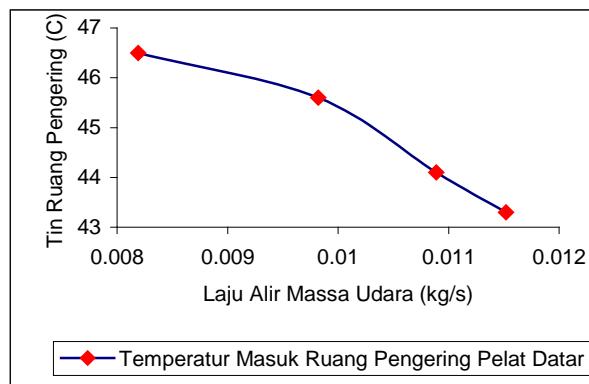
37,30739% dan laju alir 0,00808 kg/s sebesar 38,52541%.

Pengaruh laju alir massa udara terhadap temperatur udara masuk ruang pengering

Dari hasil pengujian, pengaruh laju alir massa udara (\dot{m}) terhadap temperatur udara masuk pada ruang pengering dengan kolektor surya pelat bersirip dan kolektor surya pelat datar dapat dilihat seperti pada gambar 8 dan 9.



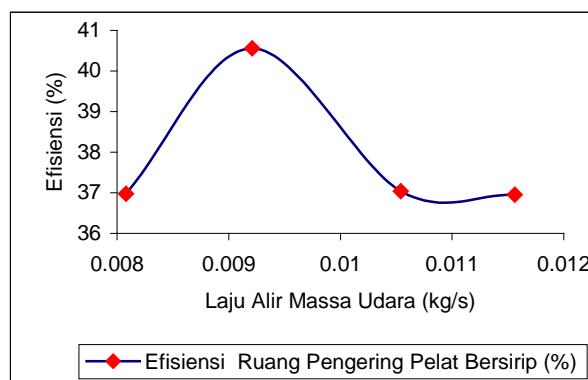
Gambar 8. Grafik pengaruh laju alir massa udara terhadap temperatur masuk ruang pengering kakao pada kolektor surya pelat bersirip



Pada Gambar 8terlihat bahwa temperatur rata-rata masuk ke dalam ruang pengering tertinggi adalah sebesar 53,11°C yang terjadi pada laju alir massa udara (\dot{m}) 0,00921 kg/s. Pada laju alir yang lebih rendah temperatur masuk juga lebih rendah, ini disebabkan oleh besarnya loses yang terjadi. Sesudah mencapai titik optimum pada laju alir 0,00921 kg/s kemudian temperatur masuk ruang pengering menurun seiring dengan meningkatnya laju alir massa udara. Temperatur terendah terjadi pada laju alir massa udara (\dot{m}) 0,01152 kg/s dan temperatur 43,4°C.

Gambar9. Grafik pengaruh laju alir massa udara terhadap temperatur udara masuk ruang pengering kakao pada kolektor surya pelat datar.

Dari Gambar 9 terlihat bahwa kenaikan laju aliran udara akan menyebabkan penurunan temperatur udara masuk ke ruang pengering. Untuk laju alir aliran panas yang konstan, maka penambahan laju aliran massa udara akan terkonvensasi pada turunnya temperatur udara masuk ke ruang pengering. Dimana pada laju alir massa udara (\dot{m}) 0,00819 kg/s, temperatur rata-rata udara masuk adalah 46,5°C. Sedangkan untuk laju alir massa udara (\dot{m}) 0,01152 kg/s, temperatur udara masuk ke ruang pendingin adalah

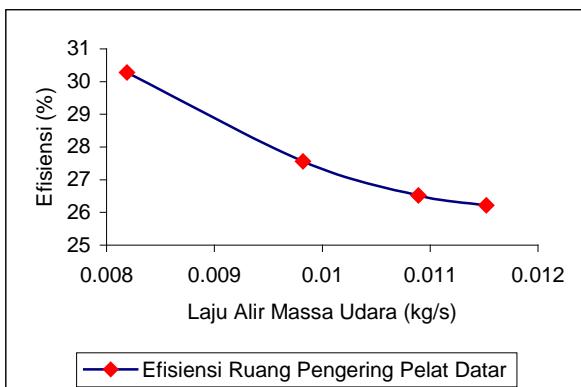


sebesar 43,3°C.

Gambar 10. Grafik pengaruh laju alir massa udara terhadap

efisiensi ruang pengering kakao pelat bersirip.

Pada Gambar 10 terlihat pada laju alir (\dot{m}) 0,01156 kg/s efisiensi yang dihasilkan belum optimal, kemudian seiring dengan kenaikan laju alir massa udara (\dot{m}) 0,00921 kg/s efisiensi yang dihasilkan pelat bersirip meningkat menjadi 40.56%. Ini merupakan titik optimum dari efisiensi tertinggi yang dapat dihasilkan pelat bersirip, nilai ini sebanding dengan perpindahan panas serta temperatur masuk ruang pengering pada laju alir yang sama. Kemudian efisiensi mengalami penurunan yang cukup signifikan hingga mencapai nilai 36.95% pada laju alir (\dot{m}) 0,01156 kg/s.



Gambar 11. Grafik pengaruh laju alir massa udara terhadap efisiensi ruang pengering kakao pelat datar

Pada Gambar 11 efisiensi ruang pengering dengan kolektor pelat datar didapat untuk laju alir massa udara 0,00819 kg/s sebesar 30,28% dimana ini merupakan laju alir puncak efisiensi pada ruang pengering pelat datar. Terjadi titik maksimum pada laju alir terkecil yang diakibatkan udara yang berkontak dengan pelat mampu memindahkan panas secara maksimal. Kemudian seiring dengan meningkatnya laju alir massa udara maka efisiensi mengalami penurunan hingga pada laju alir massa terbesar (\dot{m}) 0,01152 kg/s dengan nilai efisiensi sebesar 26,22%.

Penggunaan kolektor surya baik pelat datar maupun pelat bersirip mampu mengurangi kadar air kakao dengan berbagai variasi. Untuk pelat bersirip, pada laju alir massa udara 0,01152 kg/s pengurangan kadar air awal biji kakao sebesar 57,72% dan kadar akhirnya 15,44%, laju alir massa udara 0,01089 kg/s kadar airnya 58,52% dan kadar akhirnya 17,04%, laju alir massa udara 0,00982 kg/s kadar air awalnya 57,8% dan kadar air akhirnya 15,6% dan untuk laju alir massa udara 0,00819 kg/s kadar awalnya 58,24% dan kadar akhirnya 16,49%.

Sedangkan untuk pelat datar, pada laju alir massa udara 0,01152 kg/s kadar air awal biji kakao sebesar 63,13 % dan kadar akhirnya 26,26 %, laju alir massa udara 0,01152 kg/s kadar airnya 61,80 % dan kadar akhirnya 23,60 %, laju alir massa udara 0,01152 kg/s kadar air awalnya 61,99 % dan kadar air akhirnya

23.99 % dan untuk laju alir massa udara 0,01152 kg/s kadar awalnya 64,30 % dan kadar akhirnya 28,61 %.

Kesimpulan

- Dari perancangan ruang pengering didapatkan hasil perancangan dengan dimensi rak pengering $20 \times 60 \text{ cm}^2$ dan jarak antara rak pengering (ΔH) 6 cm serta jumlah kakao yang akan dikeringkan sebanyak (w_i) 8 kilogram dengan lamanya proses pengeringan (t) 8 jam.
- Nilai perpindahan panas pelat bersirip terbesar terjadi pada laju alir 0,009210 kg/s yaitu sebesar 15,62 Watt dan perpindahan panas pelat datar terbesar terjadi pada laju alir 0,008190 kg/s yaitu sebesar 8,43 Watt
- Nilai temperatur masuk ruang pengering pelat bersirip terbesar terjadi pada laju alir 0,009210 kg/s yaitu sebesar $53,11^\circ\text{C}$ dan temperatur masuk ruang pengering datar terbesar terjadi pada laju alir 0,010890 kg/s yaitu sebesar $45,50^\circ\text{C}$.
- Didapatkan hasil berupa peningkatan efisiensi sebesar 12,19% dari ruang pengering aliran alamiah terhadap aliran paksa datar dan 10,28% dari ruang pengering paksa datar terhadap paksa bersirip.
- Laju pengurangan kadar air kakao terbesar untuk ruang pengering pelat bersirip terjadi pada laju alir massa 0,009210 kg/s yaitu sebesar 0,0039400 kg/s dan untuk ruang pengering pelat datar pada laju alir massa 0,008190 kg/s dengan nilai laju pengurangan kadar air 0,001834 kg/s.

Nomenklatur

A	Luas rak pengering (m^2)
C_p	Panas spesifik volume konstan ($\text{kJ}/(\text{kg.K})$)
H_1	Ketinggian ruang pengering dari tanah (m)
H_2	Lebar saluran udara keluar ruang pengering (m)
h	Entalpi ($\text{kJ}/\text{Kg}_{\text{udara kering}}$)
h_g	Nilai entalpi jenis ($\text{kJ}/\text{Kg}_{\text{udara kering}}$)
m	Massa
P_a	Tekanan parsial udara kering (Pa)
P_g	Tekanan parsial udara jenuh (Pa)
P_v	Tekanan parsial udara (Pa)
q	Perpindahan panas konveksi (W)
R	Konstanta gas udara kering (287 J/kg.K)
T	Temperatur ($^\circ\text{C}$)
t	Waktu (detik)
W	Berat (kg)

Greek letters

ρ	Densitas udara (kg/m^3)
v	kecepatan (m/s)
Δ	Beda
ω	Rasio kelembaban (kg uap air/ kg udara kering)
η	Efisiensi (%)

- ϕ Kelembaban relatif (%)
- μ Viskositas

Subscripts

- wb Basis basah
- db Basis kering
- a Udara kering
- w Uap air
- c₁ Cacao awal
- c₂ Cacao akhir
- in Masuk
- out keluar

Referensi

Arinto,*Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian ruang pengering pada sistem pengering kakao tenaga matahari*, Skripsi, Teknik Mesin Universitas Lampung, Bandar Lampung (2004).

Arismunandar, W., Prof. Dan Jansen, Ted. *Teknologi Rekayasa Surya*. Pradnya paramitha. Jakarta.(1995)

Beckman, William A, Duffie, John A. *Solar Engineering of Thermal Processes*. JOHN WILEY & SONS, INC. NEW YORK. (1991)

Cengel, Yunus A., Boles, Michael A. *Thermodynamics: An Engineering Approach* 2th Edition. Mc Graw Hill, Inc. (1992)

Hara, supratman., Jones, Jerold W., Stoecker Wilbert F. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara edisi kedua*. Erlangga. Jakarta. (1989)

Incropora, Frank P., DeWitt, David P. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* 4th Edition. John Wiley & Sons. New York. (1996)

Muin, A. Syamsir. *Pesawat-Pesawat Konversi Energi I*. Rajawali Pers. Jakarta. (1987)

Scanlin, Dennis., Renner, Marcus. *Improving Solar Food Dryers*. February.. Appalachian State University (ASU). England. <http://www.homepower.com/files/fooddeh.pdf> (1997)

Sodha, Mahendra. *Solar Crop Drying*. CRC Press Inc. Boca Raton. Florida. USA. (1987)

_____. *Drying of Foods*. Schumacer Centre for Technology Bourton Hall, Rugby. United Kingdom. (1998)