

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

M5-009 Karakteristik Pengering Energi Surya Menggunakan Ketebalan Absorber Porus 9 Cm

Budi Setyahandana

Jurusan Teknik Mesin
Universitas Sanata Dharma Yogyakarta
Kampus III Paingan Maguwoharjo Depok Sleman Yogyakarta, Indonesia
Phone: +62-274-883037, FAX: +62-274-886529, E-mail: budisetya@staff.usd.ac.id

ABSTRAK

Pengeringan merupakan salah satu proses yang penting khususnya pada pengolahan hasil pertanian. Cara pengeringan yang kurang baik dapat mengakibatkan hasil pertanian menjadi kurang baik, misalnya struktur vitaminnya menjadi rusak, kotor karena debu dan kotoran, mudah berjamur karena lembab, berubah warna atau berkecambah. Mengingat krisis global dan energi, perlu solusi yang lain dalam pengeringan yaitu pembuatan pengering energi surya menggunakan absorber porus.

Pembuatan pengering energi surya dengan panjang 1,5 m lebar 1 m dan tebal 0,2 m, dan menggunakan porus dari alumunium dicat warna hitam. Dalam penelitian ini variasi yang dilakukan adalah sudut buka udara masuk (untuk mengatur udara masuk) dan kemiringan alat. Variasi bertujuan mengetahui karakteristik pengering energi surya menggunakan absorber porus yaitu mengetahui nilai temperatur maksimal, efisiensi kolektor, kelembaban relatif yang dihasilkan alat pengering dengan menggunakan absorber porus. Pengukuran dilakukan tiap 10 menit, dengan pengambilan data suhu kering dan suhu basah udara masuk kolektor, udara setelah kolektor dan udara setelah beban yang dikeringkan.

Setelah dilakukan penelitian dengan variasi sudut buka udara masuk kolektor, dan kemiringan alat, maka dapat diketahui nilai suhu udara maksimal terjadi pada saat keluar kolektor sebesar 70,9 C, efisiensi kolektor tertinggi 0,00206%.

Kata kunci: absorber porus, kolektor, pengering surya

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

1. Pendahuluan

Sampai saat ini banyak daerah di Indonesia yang mengeringkan hasil pertaniannya dengan cara penjemuran langsung. Cara ini dapat merusak kualitas hasil pertanian karena radiasi ultraviolet, air hujan dan gangguan binatang. Penjemuran secara langsung juga memerlukan waktu yang lama, padahal saat panen raya hasil pertanian umumnya melimpah dan harus dikeringkan terlebih dahulu sebelum disimpan atau dipasarkan. Cara pengeringan yang lain adalah menggunakan alat pengering yang umumnya menggunakan bahan bakar minyak atau energi listrik. Tetapi belum semua daerah di Indonesia memiliki jaringan listrik atau belum memiliki sarana transportasi yang baik sehingga bahan bakar minyak sulit diperoleh. Selain itu penggunaan bahan bakar minyak atau energi listrik menyebabkan biaya proses pengeringan menjadi mahal sehingga harga jual hasil pertanian menjadi tinggi.

Energi surya merupakan energi yang tersedia melimpah di Indonesia sehingga pemanfaatan energi surya dapat mengurangi atau bahkan menggantikan penggunaan bahan bakar atau energi listrik dalam proses pengeringan hasil-hasil pertanian. Alat pengering dengan memanfaatkan energi surya yang ada umumnya menggunakan absorber jenis pelat yang terbuat dari tembaga atau aluminium. Masalah yang ada dengan penggunaan absorber jenis pelat ini adalah dari segi biaya yang lebih mahal dan teknologi pembuatan alat pengering yang lebih sukar jika dibandingkan alat pengering yang menggunakan absorber jenis porus. Informasi mengenai karakteristik pengering energi surya menggunakan absorber porus masih sangat terbatas, oleh karena itu perlu banyak dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik pengering menggunakan absorber porus.

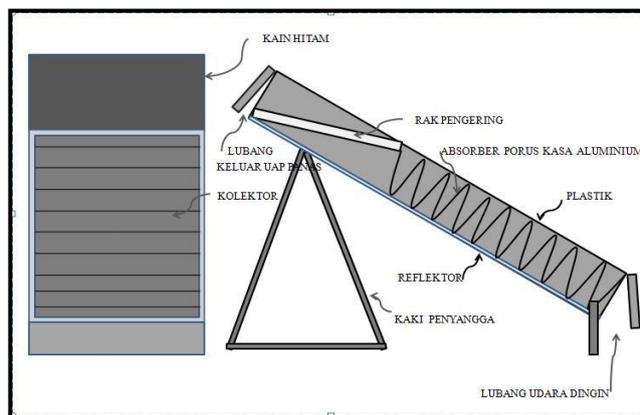
Tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakteristik alat pengering energi surya dengan menggunakan absorber porus. Beberapa parameter yang akan diteliti adalah temperatur, penurunan tekanan, energi berguna, efisiensi kolektor, dan kelembaban relatif.

Pengeringan merupakan cara terbaik dalam pengawetan bahan makanan dan pengering energi surya merupakan teknologi yang sesuai bagi kelestarian alam (Scanlin, 1997). Pengeringan dengan penjemuran langsung (tradisional) sering menghasilkan kualitas pengeringan yang buruk. Hal ini disebabkan bahan yang dijemur langsung tidak terlindungi dari debu, hujan, angin, serangga, burung atau binatang lain. Kontaminasi dengan mikroorganisme yang terdapat di tanah dapat membahayakan kesehatan (Häuser et. al). Kunci dari pengeringan bahan makanan adalah mengeluarkan kandungan air secepat mungkin pada temperatur yang tidak merusak bahan makanan tersebut. Jika temperatur terlalu rendah maka mikroorganisme akan berkembang sebelum bahan makanan kering tetapi jika temperatur terlalu tinggi maka bahan makanan dapat mengalami pengeringan yang berlebih pada bagian permukaan (Kendall, 1998). Kelemahan utama dari pengering energi surya adalah kecilnya koefisien perpindahan panas antara pelat absorber dan udara yang dipanasi, sehingga menyebabkan efisiensi kolektor yang rendah. Beberapa modifikasi telah banyak diusulkan meliputi penggunaan sirip (Garg et al., 1991), penggunaan absorber dengan permukaan kasar (Choudhury et al., 1988), dan penggunaan absorber porus (Sharma et. al., 1991). Penelitian pengering energi surya dengan luas kolektor $1,64\text{m}^2$ yang dilengkapi 8 sampai 32 sirip segi empat dengan luas total sirip $0,384\text{m}^2$ dapat menaikkan temperatur udara keluar dan efisiensi kolektor. Sirip dipasang di dalam kolektor dengan dua variasi pemasangan yaitu sirip dapat bergerak bebas dan tetap (Kurtbas, 2006). Penelitian dengan metode simulasi

untuk mengetahui efisiensi tahunan pengering energi surya dengan absorber jenis porus di India menghasilkan nilai yang sesuai dengan penelitian secara eksperimen (Sodha et. al., 1982). Eksperimen dengan absorber porus menggunakan kasa aluminium dengan permukaan reflektif di bagian bawahnya menghasilkan efisiensi yang hampir sama dengan enam lembar bilah baja yang dicat hitam tetapi memiliki keunggulan dalam kemudahan pembuatannya (Scanlin, D et. al., 1999).

2. Metode

Alat pengering dengan menggunakan absorber porus pada umumnya terdiri dari 3 bagian utama yaitu : (1) kotak kolektor, dengan ukuran 100 cm x 100 cm yang terdiri dari absorber porus dan plastik transparan, serta lubang udara masuk dengan ukuran 100 cm x 9 cm, (2) kotak pengering dengan ukuran 100 cm x 50 cm, rak pengering untuk meletakkan bahan yang dikeringkan dengan ukuran 100 cm x 50 cm dan (3) lubang udara keluar dari kotak pengering dengan ukuran 100 cm x 9 cm. Skema alat pengering hasil pertanian dapat dilihat seperti pada Gambar 1:



Gambar 1. Skema alat penelitian

Pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan sudut tutup udara masuk dengan variasi 30°, 45° dan kemiringan alat pengering 30°, 45°. Pengambilan data dilakukan setiap 10 menit selama kurang lebih 2 jam. Data yang dicatat adalah radiasi dari energi surya yang datang, temperatur udara masuk kolektor, temperatur udara setelah kolektor, temperatur udara setelah kotak beban. Sebelum melanjutkan pengambilan data untuk variasi berikutnya kondisi alat pengering didiamkan agar kembali ke kondisi awal sebelum dilakukan pengambilan data.

Persamaan-persamaan yang digunakan untuk mengetahui karakteristik dapat dilihat pada persamaan (1) sampai dengan (14). Perbedaan tekanan ditimbulkan karena adanya perbedaan massa jenis antara udara di dalam dan di luar pengering, untuk h_1 dan h_2 dapat dilihat pada Gambar 2. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut: (Arismunandar, W, 1995, hal 143)

$$\Delta p = [h_1(\rho - \rho_1) + h_2(\rho - \rho_2)]g \quad (1)$$

dengan :

Δp : penurunan tekanan (Pa)

h_1 : jarak antara lapisan bawah handuk dengan lubang udara masuk (m)

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

h_2 : jarak antara lapisan atas handuk dengan lubang udara keluar (m)

Δh : tebal lapisan yang dikeringkan

ρ : massa jenis udara lingkungan sekitar (kg/m^3)

ρ_i : massa jenis udara setelah melewati kolektor (kg/m^3)

ρ_{\square} : massa jenis udara setelah melewati lapisan padi (kg/m^3)

g : $9,81 \text{ m/detik}^2$

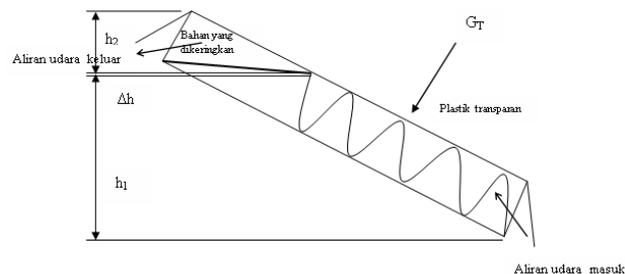
Kalor yang diperlukan untuk mengeluarkan uap air adalah kalor yang diperlukan untuk mengeluarkan uap air, secara matematis dinyatakan dengan persamaan:

$$Q = \text{massa air yang keluar} \times h_{fg} \quad (2)$$

dengan :

Q : kalor yang diperlukan untuk mengeluarkan uap air (Mj / kg)

h_{fg} : entalpi uap jenuh (kJ/kg)



Gambar 2. Pengering Padi Energi Surya

Energi Berguna (Q_u) adalah jumlah energi yang terpakai untuk memanasi udara di absorber (jumlah energi yang dipindahkan dari absorber ke udara) disebut dengan energi berguna, secara matematis dinyatakan dengan persamaan:

$$Q_u = \frac{m}{\Delta t} \times C_p \cdot (T_0 - T_1) \quad (3)$$

dengan:

m : laju massa aliran udara dalam kolektor (kg/detik)

C_p : panas spesifik udara ($\text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$)

T_0 : temperatur udara keluar kolektor ($^\circ\text{C}$)

T_1 : temperatur udara masuk kolektor ($^\circ\text{C}$)

Δt : waktu pengambilan data (detik)

Laju massa aliran udara (m) dapat dihitung dengan:

$$m = \rho \cdot V \quad (4)$$

dengan:

ρ : massa jenis udara (kg/m^3)

V : volume aliran udara kolektor (m^3)

Efisiensi dari suatu alat adalah perbandingan dari keluaran yang dihasilkan dengan masukan yang diberikan. Efisiensi kolektor (η_c) didefinisikan sebagai perbandingan

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

antara energi berguna dengan total energi surya yang datang ke kolektor, secara matematis dinyatakan dengan persamaan:

$$\eta_c = \frac{Q_U}{I A_c} \quad (5)$$

dengan:

Q_U : energi berguna (W)

I : intensitas energi surya yang datang (W/m^2)

A_C : luas kolektor surya (m^2)

Kelembaban Spesifik (ω_2) dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\omega_2 = \frac{0,622P_{g2}}{P_2 - P_{g2}} \quad (6)$$

dengan:

P_{g2} = P-sat suhu basah

$P_2 = 101,325$ kpa (1atm)

Kelembaban Spesifik (ω_1) dengan menggunakan rumus:

$$\omega_1 = \frac{C_p(T_{basah} - T_{kering}) + \omega_2 h_{fg2}}{h_{g1} - h_{f2}} \quad (7)$$

dengan:

$C_p = 1.005$ (Kj/kg $^{\circ}$ C)

T_{basah} = Suhu basah ($^{\circ}$ C)

T_{kering} = Suhu kering ($^{\circ}$ C)

H_{fg2} = Hfg basah

H_{g1} = Hg suhu kering

H_{f2} = Hf suhu basah

Tekanan jenuh (P-saturated) dapat dicari dengan menggunakan persamaan yang diambil dari Grafik P-saturated, secara matematis dinyatakan dengan persamaan:

$$P\text{-sat} = 10^{-6} x^4 - 0,000x^3 + 0,010x^2 - 0,173x + 1,624 \quad (8)$$

Dengan x = suhu udara kering dan basah pada saat masuk kolektor, keluar kolektor, dan setelah beban.

H_g (entalpi uap) dapat dicari dengan menggunakan persamaan yang diambil dari Grafik H_g pada, secara matematis dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_g = -10^{-5} \cdot x^3 + 0,000x^2 + 1,816x + 2501 \quad (9)$$

Dengan x = suhu udara kering dan basah pada saat masuk kolektor, keluar kolektor, dan setelah beban.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

H_{fg} dapat dicari dengan menggunakan persamaan yang diambil dari Grafik H_{fg} , secara matematis dinyatakan dengan persamaan:

$$H_{fg} = -10^{-5}x^3 + 0,000x^2 - 2,387x + 2501 \quad (10)$$

Dengan x = suhu udara kering dan basah pada saat masuk kolektor, keluar kolektor, dan setelah beban.

H_f (entalpi cair) dapat dicari dengan menggunakan persamaan yang diambil dari Grafik H_f , secara matematis dinyatakan dengan persamaan:

$$H_f = 40^{-6}x^3 - 0,000x^2 + 4,206x - 0,007 \quad (11)$$

Dengan x = suhu udara kering dan basah pada saat masuk kolektor, keluar kolektor, dan setelah beban.

Kelembaban relatif (ϕ_1) adalah kelembaban yang diperoleh dari suhu kering dan basah yang dari udara yang masuk ke dalam pengering, dihitung dengan rumus :

$$\phi_1 = \frac{\omega_1 P_2}{(0,622 + \omega_1) P_{g1}} \quad (12)$$

dengan:

P_{g1} = P saturated suhu kering

P_2 = 101,325 kpa (1atm)

ω_1 = Kelembaban Spesifik (kg H₂O/kg dry air)

Penurunan berat (penyusutan berat) (ΔW) adalah selisih berat yang dihasilkan dari bahan yang dikeringkan sebelum dan setelah dikeringkan, secara matematis dihitung dengan rumus :

$$\Delta W = W_{awal} - W_{akhir} \quad (13)$$

dengan:

ΔW = penyusutan berat (gram)

W_{awal} = berat awal ditimbang (gram)

W_{akhir} = berat akhir setelah ditimbang (gram)

Persentase berat yang dihasilkan (%W) adalah persentase besarnya air yang dihilangkan dari bahan yang dikeringkan. Secara matematis dihitung menggunakan rumus :

$$\%W = \frac{(W_{awal} - W_{akhir})}{W_{awal}} \times 100\% \quad (14)$$

dengan :

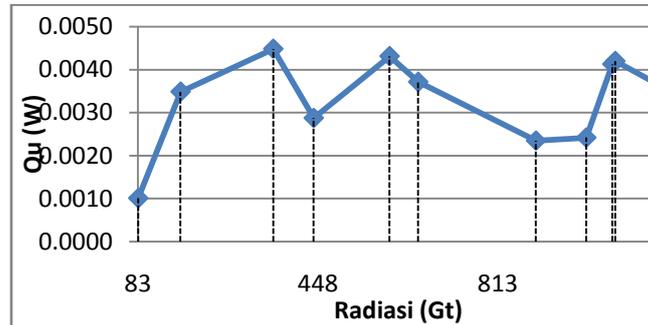
W_{awal} = berat awal ditimbang (kg)

W_{akhir} = berat akhir setelah ditimbang (kg)

%W = Persentase berat

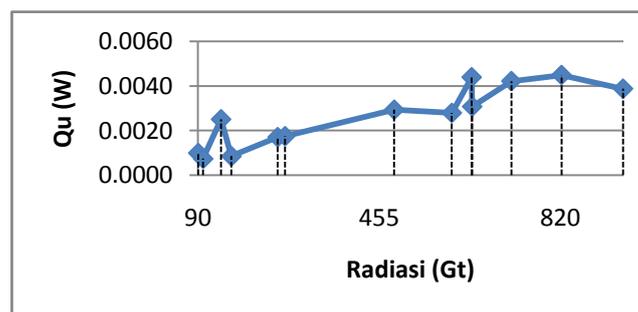
3. Hasil dan Pembahasan

Setelah dilakukan penelitian terhadap pengering energi surya dengan absorber porus variasi sudut buka udara masuk, dan kemiringan alat, diperoleh hasil:



Gambar 3. Grafik energi berguna terhadap radiasi (Gt) pada pengering energi surya menggunakan absorber porus dengan variasi sudut udara masuk 30° , dan kemiringan alat 30° menggunakan beban handuk basah 0,55 kg.

Dari Gambar 3, diketahui energi berguna tertinggi yang dihasilkan sekitar 0,0043 W. Hal tersebut dikarenakan variasi kemiringan alat 30° menggunakan beban handuk basah 0,55 kg, dan radiasi energi surya yang tidak stabil diserap absorber menyebabkan temperatur dan tekanan yang kurang tinggi setelah kolektor, sehingga menghasilkan energi berguna yang relatif rendah. Diperlukan temperatur yang tinggi dan tekanan yang tinggi untuk menghasilkan energi berguna yang tinggi, karena temperatur yang dihasilkan akan mempengaruhi penurunan tekanan yang terjadi pada pengering untuk menghasilkan Q_u yang tinggi.



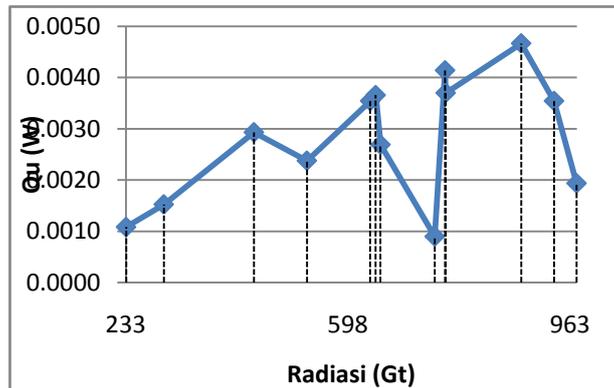
Gambar 4. Grafik energi berguna terhadap radiasi (Gt) pada pengering energi surya menggunakan absorber porus dengan variasi sudut udara masuk 60° , dan kemiringan alat 30° menggunakan beban handuk basah 0,55 kg.

Dari Gambar 4, diketahui energi berguna tertinggi yang dihasilkan sekitar 0,0045 W. Hal tersebut dikarenakan variasi kemiringan alat 30° , dan radiasi energi surya yang tidak stabil diserap absorber menyebabkan temperatur dan tekanan yang kurang tinggi setelah kolektor. Hal ini menghasilkan energi berguna yang tidak relatif tinggi. Diperlukan temperatur yang tinggi dan tekanan yang tinggi untuk menghasilkan

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

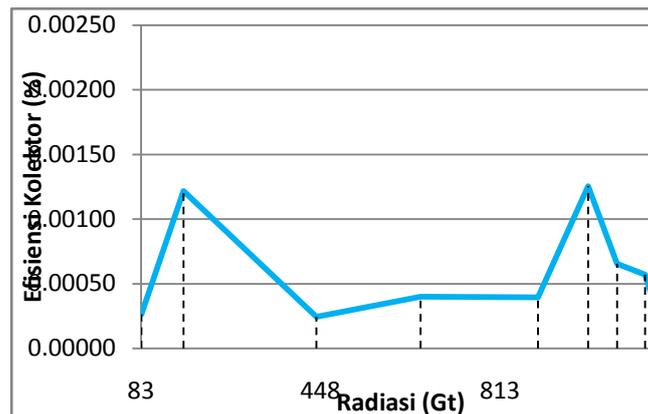
Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

energi berguna yang tinggi, karena temperatur yang dihasilkan akan mempengaruhi penurunan tekanan yang terjadi pada pengering untuk menghasilkan Q_u yang tinggi.



Gambar 5. Grafik energi berguna terhadap radiasi (Gt) pada pengering energi surya menggunakan absorber porous dengan variasi sudut udara masuk 30° , dan kemiringan alat 45° menggunakan beban handuk basah 0,55 kg.

Dari Gambar 5, energi berguna tertinggi dihasilkan pada pengering menggunakan absorber porous dengan variasi sudut udara masuk 30° , dan kemiringan alat 45° . Dari grafik diatas dapat diketahui energi berguna tertinggi yang dihasilkan sebesar 0,0047 W. Hal tersebut dikarenakan variasi kemiringan alat 45° , dan radiasi energi surya yang stabil diserap absorber menyebabkan temperatur dan tekanan yang tinggi setelah kolektor. Hal ini menghasilkan energi berguna yang relatif tinggi.

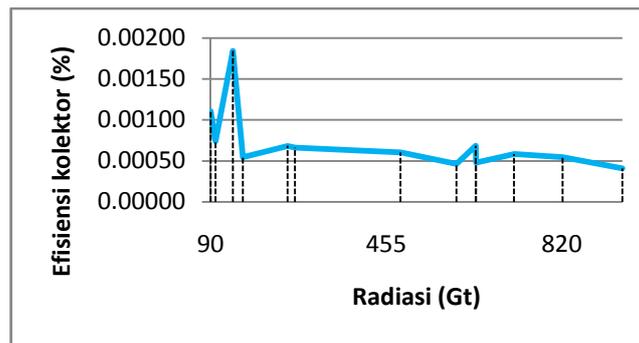


Gambar 6. Grafik efisiensi kolektor terhadap radiasi (Gt) pada pengering energi surya menggunakan absorber porous dengan variasi sudut udara masuk 30° , dan kemiringan alat 30° menggunakan beban handuk basah 0,55 kg.

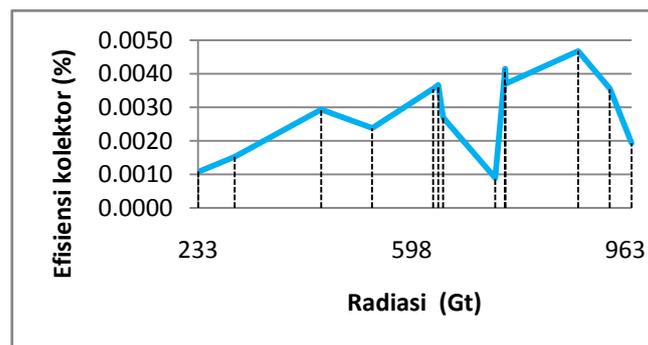
Dari Gambar 6 diketahui efisiensi kolektor tertinggi yang dihasilkan sekitar 0,002 %. Hal tersebut dikarenakan sudut udara masuk 30° yang menyebabkan volume udara yang masuk ke kolektor terlalu banyak, dan juga energi surya yang diserap kolektor kurang stabil. Karena kemiringan alat 30° tersebut laju aliran udara lebih lambat, mengakibatkan tekanan menjadi lebih tinggi setelah kolektor dan menghasilkan efisiensi kolektor lebih tinggi dibandingkan variasi sudut udara masuk 60° , dan kemiringan alat 30° .

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

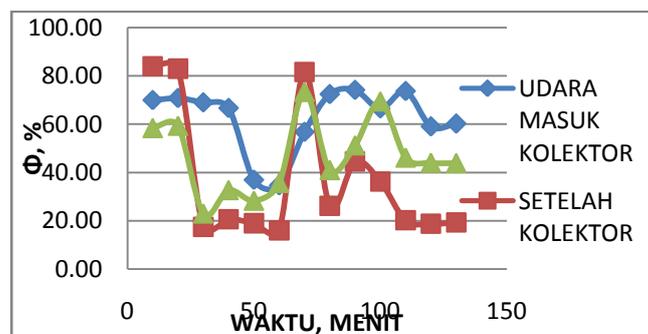


Gambar 7 Grafik efisiensi kolektor terhadap radiasi (Gt) pada pengering energi surya menggunakan absorber porous dengan variasi sudut udara masuk 60° , dan kemiringan alat 30° menggunakan beban handuk basah 0,55 kg.

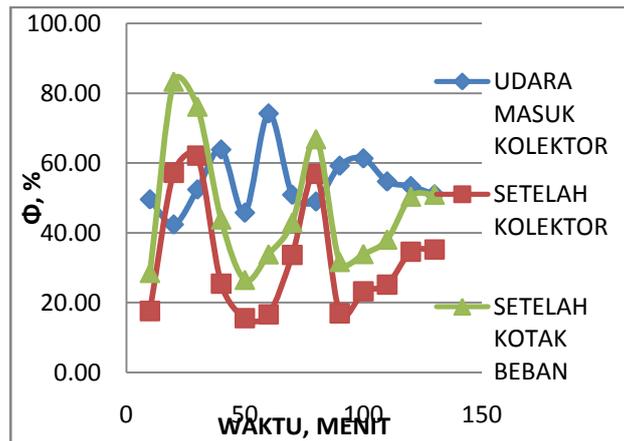


Gambar 8. Grafik efisiensi kolektor terhadap radiasi (Gt) pada pengering energi surya menggunakan absorber porous dengan variasi sudut udara masuk 30° , dan kemiringan alat 45° menggunakan beban handuk basah 0,55 kg.

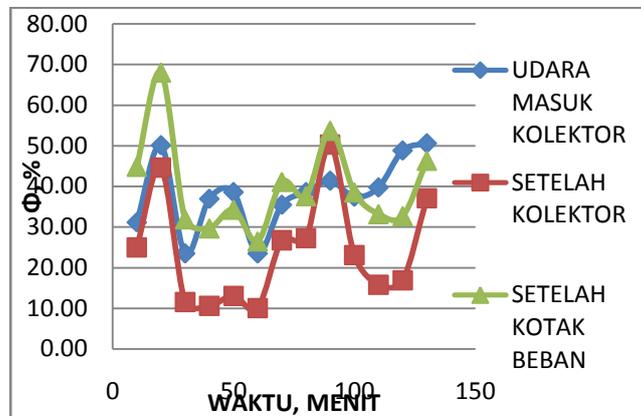
.Dari Gambar 8 diketahui efisiensi kolektor tertinggi yang dihasilkan sebesar 0,0047%. Hal tersebut dikarenakan variasi sudut udara masuk 30° , variasi kemiringan alat 45° yang menyebabkan volume udara cukup untuk dipanaskan oleh absorber dan laju aliran udara lebih cepat yang mengakibatkan tekanan menjadi tinggi setelah kolektor. Radiasi energi surya relatif stabil semakin tinggi sehingga menghasilkan efisiensi kolektor yang paling tinggi.



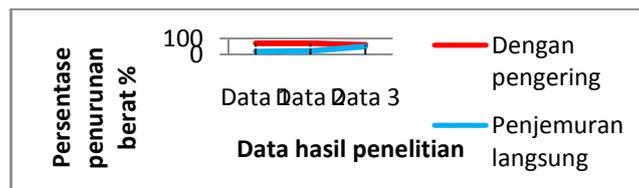
Gambar 9 Grafik kelembaban relatif pada pengering energi surya menggunakan absorber porous dengan variasi sudut udara masuk 30° , dan kemiringan alat 30° menggunakan beban handuk basah 0,55 kg.



Gambar 10 Grafik kelembaban relatif pada pengering energi surya menggunakan absorber porous dengan variasi sudut udara masuk 60° , dan kemiringan alat 30° menggunakan beban handuk basah 0,55 kg.



Gambar 11 Grafik kelembaban relatif pada pengering energi surya menggunakan absorber porous dengan variasi sudut udara masuk 30° , dan kemiringan alat 45° menggunakan beban handuk basah 0,55 kg.



Gambar 12 Grafik persentase penurunan berat dari hasil pengeringan dengan alat pengering dan penjemuran langsung.

Persentase penurunan berat tertinggi alat pengering adalah pada pengeringan dengan variasi sudut buka 30° , kemiringan alat 30° yaitu sebesar 70%. Hal tersebut

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

disebabkan variasi sudut buka 30° dan kemiringan alat 30° menyebabkan volume udara yang masuk cukup untuk dipanaskan. Dengan kemiringan alat 30° kolektor dapat menyerap energi surya maksimal, sehingga pengeringan berjalan dengan baik dan maksimal.

4. Kesimpulan

Dari data dan perhitungan dapat disimpulkan:

1. Energi berguna (Q_u) paling tinggi sebesar 0,0047 W terjadi pada variasi sudut udara masuk 30° , kemiringan alat 45° .
2. Efisiensi kolektor paling tinggi terdapat pada hasil perhitungan efisiensi kolektor pada variasi sudut udara masuk 30° , kemiringan alat 30° , dengan efisiensi sebesar 0,00206 %.
3. Kelembaban relatif paling rendah sebesar 11% pada saat keluar kolektor, dan 30 % setelah beban dengan variasi sudut udara masuk 30° , kemiringan alat 45° .
4. Persentase penurunan berat paling tinggi terjadi pada pengering energi surya pada variasi sudut udara masuk 30° , kemiringan alat 30° , yaitu sebesar 70% (0,385 kg).
5. Persentase penurunan berat paling tinggi dengan penjemuran langsung adalah 50% (0,275 kg).

Ucapan Terimakasih

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ir. FA Rusdi Sambada, MT
2. Aji Prima Barus Nurcahya

Daftar Pustaka

- Arismunandar, W., (1995), *Teknologi Rekayasa Surya*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Çengel, A. Yunus & Robert H. 2005. Turner. *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*. Mc Graw Hill : New York
- Choudhury C.; Anderson S.L.; Rekestad, J., (1988) *A solar air heater for low temperature applications*, *Solar Energy* 40, pp 335-344.
- Garg, H.P.; Choudhury, C.; , Datta, G., (1991), *Theoretical analysis on a new finned type solar air heater*, *Solar Energy*, 16, pp1231-1238. Häuser; Markus; Ankila; Omar, Morroco Solar Dryer Manual; Centre de Développement des Energies Renouvelables (CER), <http://www.gtz.de/gate/isat>
- Kendall, P.; Allen, L., (1998), *Drying Vegetables; Food and Nutrition Series Preparation*, Colorado State University Cooperative Extension Service Publication 10 / 1998.
- Kennedy, David., (2002), leaf for life, [http : //www.leafforallife.org](http://www.leafforallife.org), dlkennedy@kih.net.
- Kurtbas, I.; Turgut, E. (2006), *Experimental Investigation of Solar Air Heater with Free and Fixed Fins: Efficiency and Exergy Loss*, *International Journal of Science & Technology*, Volume 1, No 1, 75-82.
- Scanlin, D., (1997), *The Design, Construction And Use Of An Indirect, Through Pass, Solar Food Dryer*, *Home Power* , Issue No. 57, pages 62 -72, February/March 1997.
- Scanlin, D; Renner, M.; Domermuth, D.; Moody, H., (1999), *Improving Solar Food Dryers*, *Home Power*, Issue No. 69 • February / March 1999

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

Sharma, S.P.; Saini J.S.; Varma, K.K.; (1991), *Thermal performance of packed-bed solar air heaters*, Solar Energy, 47, pp 59 - 67.

Sodha, M. S.; Bansal, N. K.; Singh, D.; Bharadwaj, S. S., (1982), *Performance of a matrix air heater*, Journal of Energy, vol. 6, Sept.-Oct. 1982, p. 334-339