

Pengaruh Penggunaan dan Desain *Thermal Mass* terhadap Kinerja *Solar Crop Dryer*

Djoko Wahyudi dan M Fathuddin Noor

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Panca Marga
Jl. Yos Sudarso 107 Pabean Dringu Probolinggo 67271
email: mfathuddinnoor@yahoo.co.id

ABSTRAK

Pemanfaatan energi radiasi matahari sangat penting dalam menghasilkan alat pengering hasil pertanian yang hemat energi dan ramah lingkungan. Permasalahan penggunaan alat pengering hasil panen energi radiasi matahari yaitu kelebihan panas yang dihasilkan kolektor udara, tidak adanya sumber energi ketika malam hari dan fluktuasi panas ketika matahari terhalang awan. Penggunaan *thermal mass* sebagai media penyimpan panas penting untuk diteliti dalam upaya mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *thermal mass* terhadap temperatur udara panas dan mengetahui pengaruh lebar celah *thermal mass* terhadap kemampuan menyerap dan melepas panas. Eksperimen dilakukan dengan memasang bahan *thermal mass* pada alat pengering dan mengatur variasi lebar celah susunan *thermal mass* 2, 4 dan 6 cm. Data diambil selama 24 jam per hari dengan memasang sensor temperatur untuk mengukur temperatur aliran udara keluar kolektor, temperatur sebelum *thermal mass*, temperatur setelah *thermal mass* dan temperatur lingkungan. Selain itu juga dilakukan pengambilan data radiasi matahari dan kecepatan aliran udara. Hasil penelitian menunjukkan adanya penurunan temperatur maksimum udara masuk rak pengering sebesar $10^{\circ}\text{C} - 17^{\circ}\text{C}$ setelah ditambah *thermal mass*. Fluktuasi temperatur yang terjadi pada aliran udara yang memasuki rak pengering ketika intensitas radiasi berubah-ubah berhasil direduksi dan temperatur udara dapat dipertahankan di atas 30°C sampai pukul 21:45.

Kata kunci: *thermal mass*, alat pengering radiasi matahari

ABSTRACT

Using solar energy is a vital importance in creating the crop dryer means that save energy and save the environment. Some problems caused by the using of solar crop dryer are heat excess which is yielded by the air collector, inexistence of energy source at night and heat fluctuation when the sun covered by clouds. A study of using a thermal mass to store the heat of the sun is an important thing to solve those problems. This study is aimed to know the effect of thermal mass addition to air flow temperature and to unfold the effect of the size of thermal mass interpose in accordance to its ability in absorbing and releasing heat of the solar. The experiment was done by installing some parts of thermal mass at the dryer and arrange the variation of the thermal mass formation interpose at 2, 4 and 6 cm. The data was taken during 24 hours/day by installing temperature sensor to measure air flow temperature that out from the collector, the temperature before the thermal mass, and the temperature after the thermal mass, and ambient temperature. This solar radiation and air flow speed data also taken from this research. Results of the experiment show the highest level of air temperature degradation that comes into the drying bed range between $10^{\circ}\text{C} - 17^{\circ}\text{C}$ after the thermal mass was added. The temperature fluctuation that took place in the air flow that comes into the drying bed when the radiation intensity fluctuate was successfully reduced and keep the air temperature above 30°C until 09:45 PM.

Keywords: *thermal mass, solar crop dryer*

PENDAHULUAN

Solar crop dryer adalah alat pengering hasil pertanian yang bekerja berdasarkan pemanfaatan energi radiasi matahari yang tersedia dalam jumlah besar dan ramah lingkungan.

Permasalahan penggunaan *solar crop dryer* yaitu adanya kelebihan panas yang dihasilkan kolektor udara sehingga dapat merusak produk yang dikeringkan. Masalah kedua adalah ketika sumber panas utama tidak berfungsi, maka perlu usaha untuk menjaga agar tersedia sumber panas cadangan yang bisa menggantikan sumber panas utama. Masalah selanjutnya berasal dari radiasi matahari yang tidak kontinyu diterima kolektor sepanjang hari yang terjadi akibat awan.

Untuk menghindari kelebihan panas yang terjadi dapat diatasi dengan menambahkan *heat storage* yang ditempatkan setelah sisi outlet kolektor dan sebelum rak pengeringan. *Heat storage* bisa dipilih dari bahan apa saja yang penting dapat menyerap kelebihan panas sekaligus melepaskannya apabila panas yang dihasilkan sumber panas utama (dari kolektor) berkurang karena berkurangnya radiasi matahari.

Sokhansanj (2002) telah merancang alat pengering hasil panen dan mengatur susunan rak pengeringan untuk membatasi temperatur udara maksimum yang masuk kedalamnya. Hasilnya temperatur udara panas maksimum bisa diturunkan menjadi 55 °C.

Scanlin (1999) mendesain alat pengering hasil panen yang menghasilkan udara panas sebesar 54 °C - 82 °C dan dengan sistem ventilasinya dapat mengatur temperatur maksimum masuk rak pengering sampai dengan 10°C sampai dengan 20°C di atas temperatur lingkungan.

Persamaan *thermal energy balance* telah digunakan untuk menjelaskan efisiensi kolektor udara panas dan alat pengering. Temperatur maksimum yang diperoleh mencapai sekitar 30 °C di atas temperatur lingkungan. Laju pengeringan maksimum yang berhasil diteliti dicapai ketika memperlakukan aliran konveksi paksa pada aliran udara panas (Sarkar, 2002).

Jensen (2002) melakukan uji coba dengan menambahkan 150 kg *heat storage* dari bebatuan dengan ukuran beragam pada alat pengering energi surya dengan tujuan untuk menurunkan temperatur maksimum udara panas. Hasil yang diperoleh adalah temperatur maksimum bisa diturunkan sekitar 3 – 10 °C dengan *capacity loss* hanya sekitar 2%. Artinya *capacity loss* tidak terlalu

besar bila dibandingkan dengan resiko rusaknya produk bila tanpa penggunaan *heat storage*.

Dincer (2002) melakukan penelitian terhadap beberapa jenis material seperti batu bata, batuan dan beton dapat digunakan sebagai penyimpan panas energi radiasi matahari. Analisa terhadap energi pada *thermal energy storage* dilakukan untuk keperluan desain sistem dan optimalisasi.

Pada penelitian ini dilakukan dengan membuat alat pengering hasil panen radiasi matahari dengan menggunakan *heat storage* dengan desain pengaturan variasi lebar celah. Adapun perumusan masalahnya adalah bagaimana pengaruh penggunaan *heat storage* pada alat pengering radiasi matahari terhadap temperatur aliran udara dan bagaimana pengaruh desain lebar celah *heat storage* terhadap kinerja *solar crop dryer*?

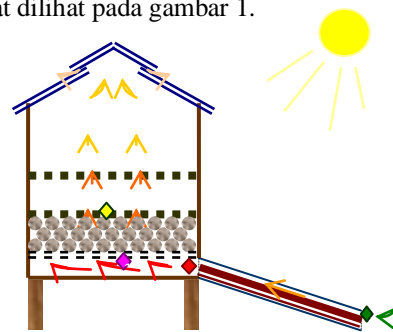
Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan *heat storage* terhadap temperatur aliran udara dan mengetahui pengaruh lebar celah *heat storage* terhadap kinerja *solar crop dryer*.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Energi Alternatif dan Tenaga Surya, Fakultas Teknik.

Bagian-bagian utama alat pengering terdiri dari kolektor udara, ruang pengering, rak pengering, rangka penyangga *heat storage*, isolator, pintu, atap dan cerobong.

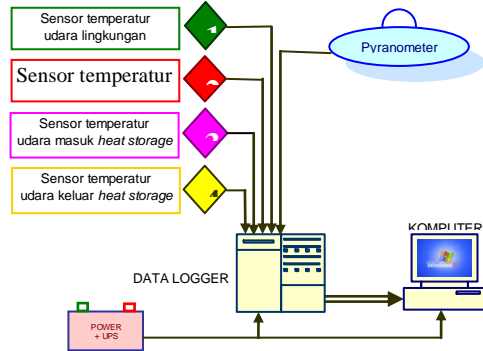
Instalasi penelitian dan alur pengambilan data dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Alat pengering hasil panen radiasi matahari.

Bahan yang dipakai sebagai media *heat storage* adalah beton *paving block* berbentuk balok dengan dimensi: panjang 20 cm, lebar 10 cm dan tinggi 10 cm total berjumlah 144 buah.

Pengambilan data dilakukan tiap 5 menit menggunakan peralatan berupa sensor temperatur IC-LM35, *pyranometer*, *datalogger*, komputer, *power supply*, dan *stop watch*.



Gambar 2. Instalasi penelitian.

Data yang diambil adalah waktu, radiasi matahari total, temperatur udara yang keluar dari kolektor, masuk ruang pengering, sebelum *heat storage*, setelah *heat storage*, masuk rak pengering, dan temperatur lingkungan. Data tersebut diperoleh dari alat pengering tanpa penggunaan *heat storage* dan setelah penggunaan *heat storage* dengan variasi lebar celah 2 cm, 4 cm dan 6 cm. Selain itu juga melakukan percobaan dengan menutup pintu masuk udara menuju *heat storage* pada malam hari.

Untuk mengetahui potensi energi radiasi matahari selama penelitian dilakukan dengan cara menghitung luasan grafik menggunakan metode Simpson berikut:

$$\int_{x_0}^{x_n} y dx = \frac{h}{3} [y_0 + 4(y_1 + y_3 + y_5 + \dots + y_{n-1}) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + \dots + y_{n-2}) + y_n]$$

Dengan:

h = subinterval pengambilan data.

y = data radiasi.

$0,1,2$ = urutan data.

Perpindahan panas yang terjadi antara *heat storage* dan udara panas dihitung dengan persamaan:

$$Q_u = \dot{m} c_p (\Delta T) \text{ (Holman, 1994)}$$

Dengan:

Q_u = panas yang ditransfer, (watt).

\dot{m} = laju aliran massa udara (kg/s).

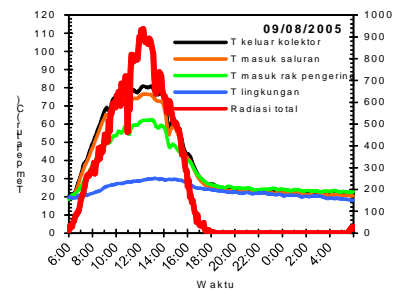
c_p = panas spesifik, (kJ/kg. °C).

ΔT = perbedaan temperatur (°C).

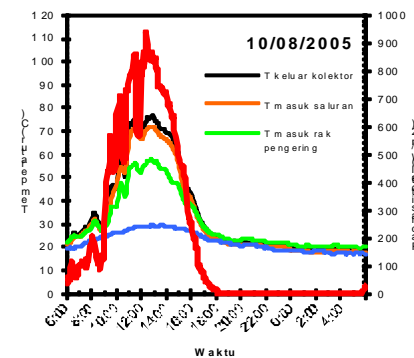
Untuk mengetahui jumlah energi yang diserap dan dilepaskan *heat storage* dilakukan dengan cara menghitung luasan antara grafik temperatur udara sebelum dan setelah *heat storage* menggunakan metode Simpson.

HASIL DAN PEMBAHASAN

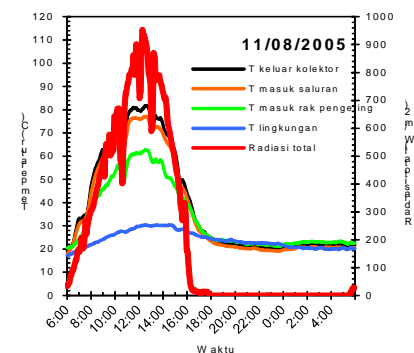
1. Data penelitian hubungan waktu dengan temperatur dan radiasi total sebelum menggunakan *heat storage*.



Gambar 3. Grafik hari ke-1 tanpa penggunaan *heat storage*.



Gambar 4. Grafik hari ke-2 tanpa penggunaan *heat storage*.

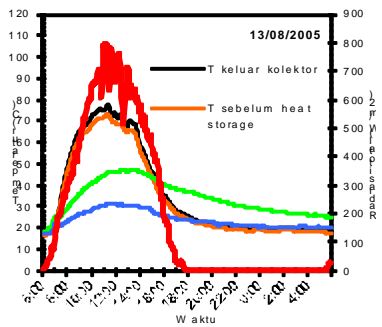


Gambar 5 Grafik hari ke-3 tanpa penggunaan *heat storage*.

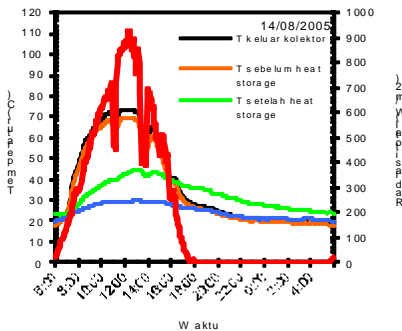
Dari gambar 3 sampai 5 terlihat bahwa temperatur udara yang keluar dari kolektor meningkat seiring meningkatnya radiasi matahari.

Radiasi matahari total yang diterima melalui pyranometer bervariasi dan mencapai puncaknya 936,0 W/m². Temperatur udara masuk saluran lebih rendah dibanding udara ketika keluar dari kolektor. Hal ini disebabkan adanya kehilangan energi panas selama perjalanan melewati saluran. Temperatur udara masuk rak pengering juga lebih rendah. Temperatur udara panas yang masuk rak pengering maksimal sebesar 62,54 °C.

2. Data hubungan waktu dengan temperatur dan radiasi total setelah menggunakan *heat storage* dengan lebar celah 2 cm.

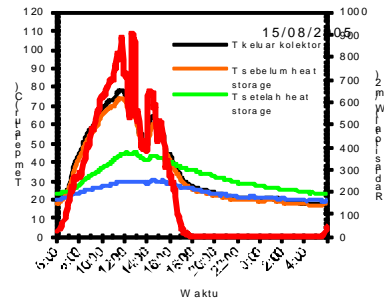


Gambar 6. Grafik hari ke-1 menggunakan *heat storage* dengan lebar celah 2 cm.



Gambar 7. Grafik hari ke-2 menggunakan *heat storage* dengan lebar celah 2 cm.

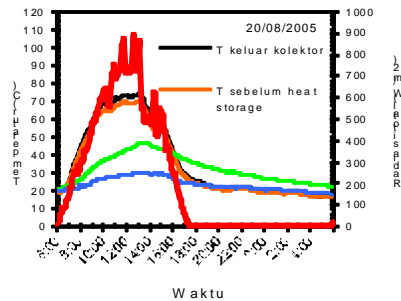
Dari gambar 6 sampai 8 terlihat bahwa temperatur naik sejak pagi hari dan terjadi fluktuasi pada tengah hari. Tetapi kenaikan temperatur udara setelah *heat storage* atau masuk rak pengering pada lebar celah 2 cm lebih rendah dibanding ketika tanpa penggunaan *heat storage*.



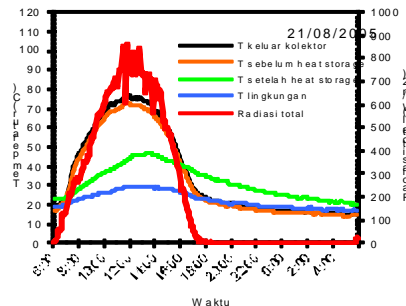
Gambar 8. Grafik hari ke-3 menggunakan *heat storage* dengan lebar celah 2 cm.

Saat penurunan temperatur, intensitas radiasi matahari sempat mengalami penurunan drastis sehingga hal ini berpengaruh pada menurunnya temperatur udara keluar kolektor, tetapi temperatur udara setelah *heat storage* hanya mengalami sedikit penurunan. Pada ketiga gambar diatas penurunan temperatur setelah *heat storage* lebih berlangsung lebih lambat dan berada pada temperatur diatas 30 °C hingga pukul 22:30.

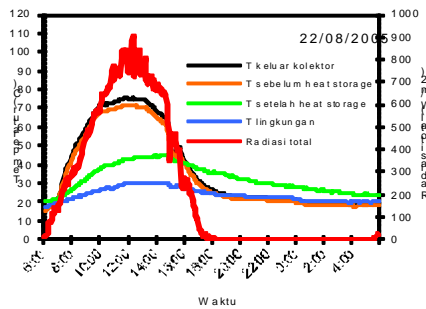
3. Data hubungan waktu dengan temperatur dan radiasi total setelah menggunakan *heat storage* dengan lebar celah 4 cm.



Gambar 9. Grafik hari ke-1 menggunakan *heat storage* dengan lebar celah 4 cm.



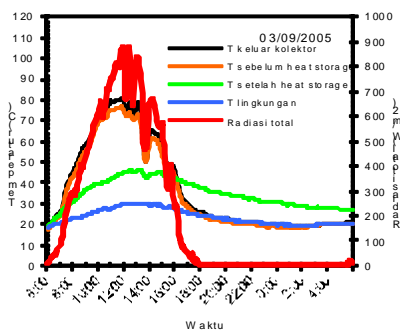
Gambar 10 Grafik hari ke-2 menggunakan *heat storage* dengan lebar celah 4 cm.



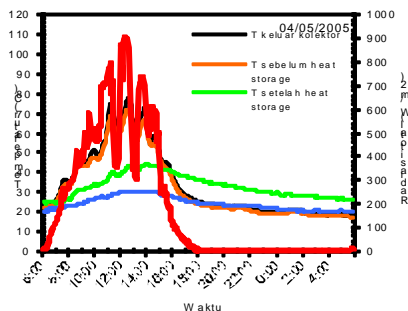
Gambar 11. Grafik hari ke-3 setelah penggunaan *heat storage* dengan lebar celah 4 cm.

Dari gambar 9 sampai 11 secara umum terlihat bahwa temperatur naik sejak pagi dan tidak terlalu banyak terjadi fluktuasi. Demikian juga ketika terjadi penurunan temperatur maka temperatur setelah *heat storage* lebih lambat mengalami penurunan dan berada pada temperatur diatas 30 °C hingga pukul 21:25.

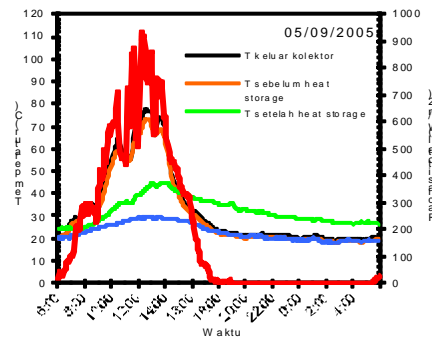
4. Data hubungan waktu dengan temperatur dan radiasi total setelah menggunakan *heat storage* dengan lebar celah 6 cm.



Gambar 12. Grafik penggunaan *heat storage* dengan lebar celah 6 cm pada hari ke-1.



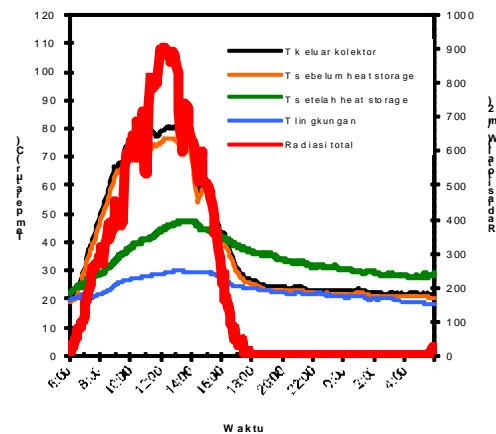
Gambar 13. Grafik penggunaan *heat storage* dengan lebar celah 6 cm pada hari ke-2.



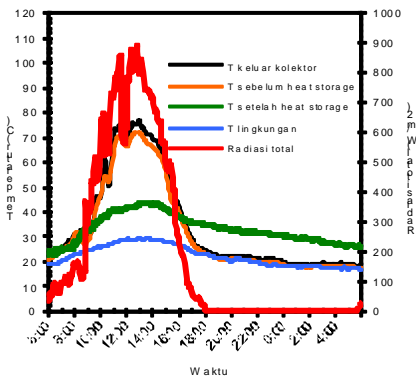
Gambar 14. Grafik penggunaan *heat storage* dengan lebar celah 6 cm pada hari ke-3

Dari gambar 12 sampai 14 terlihat bahwa temperatur naik sejak pagi dan terjadi fluktuasi pada tengah hari. Tetapi kenaikan temperatur udara setelah *heat storage* lebih rendah dibanding temperatur masuk rak pengering pada alat pengering yang tanpa penggunaan *heat storage*. Penurunan temperatur setelah *heat storage* mengalami penurunan lebih lambat dan tetap berada diatas temperatur 30 °C hingga pukul 22:30.

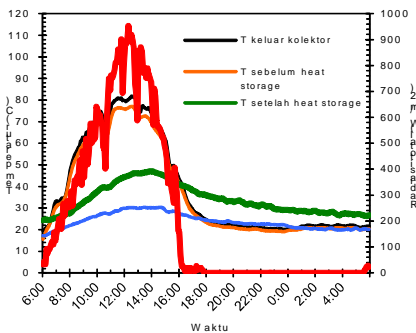
5. Data penelitian hubungan waktu dengan temperatur dan radiasi total dengan menutup *pintu heat storage* pada pukul 18:00 sampai pukul 06:00 pagi.



Gambar 15. Grafik hari ke-1 dengan menutup *pintu heat storage* pada malam hari.



Gambar 16. Grafik hari ke-2 dengan menutup pintu *heat storage* pada malam hari.



Gambar 17. Grafik hari ke-3 dengan menutup pintu *heat storage* pada malam hari.

Pada gambar 15 sampai 17 dapat dilihat bahwa pada malam hari, temperatur lingkungan menjadi rendah dan apabila dibiarkan mengalir melewati ruang pengering akan meyerap energi panas yang tersimpan pada *heat storage*. Untuk menghindarinya, mulai pukul 18:00 sampai dengan pukul 06:00 dilakukan penutupan pintu saluran menuju *heat storage*.

Grafik yang diperoleh dengan menutup pintu *heat storage* menunjukkan penurunan temperatur yang lebih lambat pada malam hari. Hal ini disebabkan tidak ada lagi udara malam hari yang masuk pada *heat storage*.

Dari hasil pengukuran selama penelitian, besarnya radiasi matahari total yang diterima alat pengering cukup bervariasi. Besarnya energi radiasi diperoleh dengan menghitung luasan grafik radiasi total menggunakan metode Simpson. Hasilnya ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Energi radiasi matahari selama pengambilan data.

Waktu pengambilan Data	Energi radiasi tiap m ² (MJoule)
09-8-2005	19,0899
10-8-2005	17,9746
11-8-2005	18,6448
13-8-2005	17,5869
14-8-2005	18,7647
15-8-2005	18,1255
20-8-2005	18,3253
21-8-2005	18,9064
22-8-2005	19,3069
03-9-2005	18,7924
04-9-2005	16,1140
05-9-2005	17,0528
09-9-2005	19,0413
10-9-2005	17,8157
11-9-2005	18,5053

Temperatur maksimal udara panas yang memasuki rak pengering antara sebelum dan sesudah penggunaan *heat storage* dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Temperatur maksimal udara masuk rak pengering dan waktu.

Perlakuan	Hari ke:	Temperatur Maksimal (°C)	Waktu
Tanpa <i>Heat storage</i>	1	62,45	12:40
	2	57,50	12:50
	3	61,80	13:05
2 cm	1	45,44	13:40
	2	44,36	13:10
	3	45,12	12:55
4 cm	1	47,16	13:15
	2	46,68	13:20
	3	44,60	13:40
6 cm	1	46,42	13:05
	2	41,10	14:05
	3	40,66	13:55

Dari tabel 2 di atas menunjukkan bahwa temperatur maksimal udara masuk rak pengering sebelum penggunaan *heat storage* dicapai lebih awal dibanding setelah penggunaan *heat storage* yaitu antara pukul 12:40 sampai dengan pukul 13:05. Sedangkan setelah penggunaan *heat storage* temperatur maksimal udara yang masuk rak pengering (temperatur setelah *heat storage*) dicapai pada pukul 13:00 sampai 14:00. Hal ini disebabkan sebagian energi panas yang dihasilkan kolektor telah diserap oleh *heat storage*. Dari data tersebut dapat diperoleh selisih temperatur maksimum

udara masuk rak pengering sebelum penggunaan dan setelah penggunaan *heat storage* adalah sebesar 10 – 17 °C.

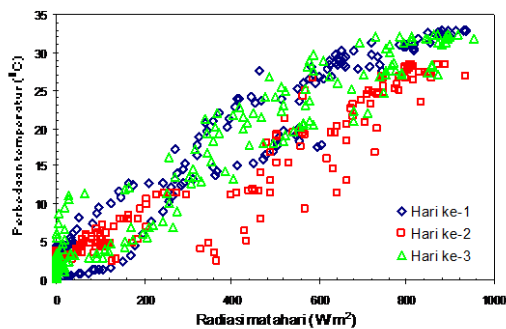
Pada lebar celah antara 2 cm, 4 cm, dan 6 cm dapat dilihat bahwa temperatur maksimal yang dicapai pada lebar celah 6 cm relatif lebih kecil dari temperatur yang dicapai pada lebar celah 2 cm, dan 4 cm. Selain itu, waktu tercapainya temperatur maksimal pada lebar celah 6 cm relatif lebih lama jika dibandingkan dengan lebar celah yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan pada lebar celah 6 cm menyerap panas lebih banyak jika dibandingkan lebar celah yang lebih kecil. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar lebar celah maka temperatur maksimal yang dicapai semakin kecil.

Besarnya energi yang diserap dan dilepaskan *heat storage* dihitung dengan metode Simpson, sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 3. Energi yang diserap dan dilepaskan *heat storage*.

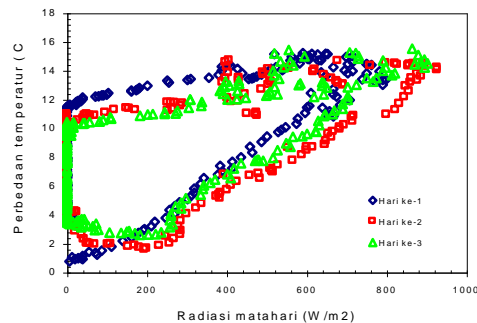
Lebar celah (cm)	Energi diserap (MJoule)	Energi dilepas (MJoule)
2	8,8360	5,7638
2	9,2859	5,0489
2	9,2298	5,2232
4	8,1842	5,4921
4	8,5226	6,0854
4	8,6483	5,5601
6	8,1304	8,5776
6	6,7459	6,7864
6	7,0982	6,7444

Dari tabel 3 terlihat bahwa semakin besar lebar celah maka energi yang diserap atau dilepas semakin besar. Akan tetapi terjadi beberapa penyimpangan. Hal ini disebabkan temperatur udara sebelum *heat storage* sering mengalami penurunan akibat fluktuasi radiasi matahari.

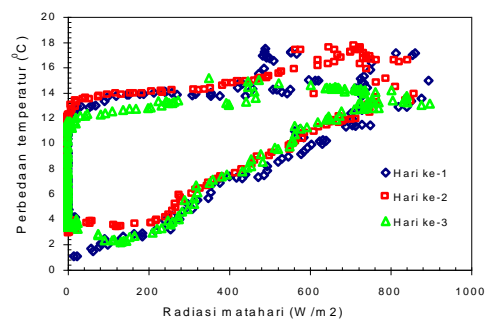


Gambar 18. Grafik perbedaan temperatur udara masuk rak pengering dan temperatur lingkungan terhadap radiasi matahari sebelum penggunaan *heat storage*.

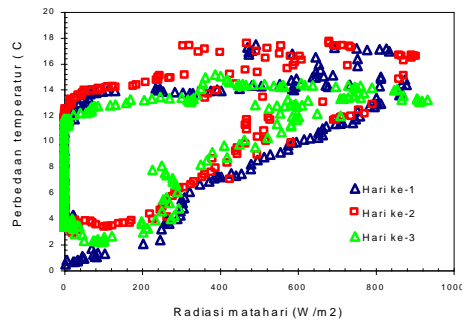
Pada gambar di atas terlihat bahwa sebelum penggunaan *heat storage* terjadi perbedaan temperatur yang meningkat seiring meningkatnya intensitas radiasi matahari. Setelah intensitas radiasi mencapai puncaknya dan mulai menunjukkan penurunan, perbedaan temperatur juga mengalami penurunan sampai pada posisi seperti awalnya. Pola yang sama juga terjadi untuk hari ke-2 dan hari ke-3. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan temperatur yang terjadi antara udara masuk rak pengering dengan temperatur lingkungan sebelum penggunaan *heat storage* mengikuti pola intensitas radiasi yang terjadi.



Gambar 19 Grafik perbedaan temperatur udara masuk rak pengering dan temperatur lingkungan terhadap radiasi matahari untuk lebar celah *heat storage* 2 cm.



Gambar 20. Grafik perbedaan temperatur udara masuk rak pengering dan temperatur lingkungan terhadap radiasi matahari untuk lebar celah *heat storage* 4 cm.



Gambar 21 Grafik perbedaan temperatur udara masuk rak pengering dan temperatur lingkungan terhadap radiasi matahari untuk lebar celah *heat storage* 6 cm.

Pada gambar 19 sampai 21 terlihat bahwa setelah penggunaan *heat storage* perbedaan temperatur udara panas mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan tanpa penggunaan *heat storage*. Perbedaan temperatur yang cukup kecil terjadi pada hari ke-1. Hal ini disebabkan karena *heat storage* belum sempat menyimpan panas sebelumnya karena baru dipasang. Kemudian perbedaan temperatur meningkat seiring dengan meningkatnya radiasi matahari, sehingga terjadi perbedaan temperatur yang cukup besar. Ketika intensitas radiasi matahari mulai berkurang, temperatur udara panas cenderung tetap, sehingga perbedaan temperatur juga cenderung tetap. Memasuki hari ke-2, perbedaan temperatur diawali dengan nilai yang lebih besar dibanding hari ke-1. Hal ini disebabkan *heat storage* telah mengalami pemanasan pada hari pertama dan sisa energi panas masih ada ketika memasuki hari ke-2. Selanjutnya pola yang sama berlaku untuk hari ke-3.

Dari hasil tersebut diperoleh bahwa setelah penggunaan *heat storage* pada alat pengering, terjadi perbedaan temperatur yang cukup besar antara temperatur udara setelah *heat storage* (temperatur masuk rak pengering) dengan temperatur lingkungan, meskipun intensitas radiasi matahari mengalami penurunan pada malam hari.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Penggunaan *heat storage* mampu mempertahankan temperatur aliran udara meskipun terjadi fluktuasi intensitas radiasi

matahari. Sedangkan pada saat sebelum penggunaan *heat storage*, temperatur aliran udara berubah mengikuti perubahan intensitas radiasi matahari.

2. Penggunaan *heat storage* mampu menurunkan temperatur maksimum udara panas ketika memasuki rak pengering sebesar 10 °C – 17 °C, dan berhasil mempertahankan temperatur udara yang masuk rak pengering diatas 30 °C sampai pukul 23:00.
3. Semakin besar lebar celah *haet storage*, maka temperatur maksimal yang dicapai semakin kecil, dan energi yang diserap juga semakin kecil.
4. Pengujian dengan menutup pintu masuk menuju *heat storage* pada malam hari memperlihatkan penurunan temperatur lebih lambat pada udara yang memasuki rak pengering.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dincer, I., 2002. On Thermal Energy Storage Systems and Applications in Buildings. *Energy and Buildings* 34 (2002) 377-388, Elsevier Science B. V.
- [2] Jensen, S.O. and Bosanac, M., 2002. *Connectable solar air collector*. Solar Energy Centre Denmark, Danish Technological Institute. ISBN 87-7756-656-4.
- [3] Jensen, S.O., 2002. *Solar drying in Ghana – Final report*. Solar Energy Centre Denmark, Danish Technological Institute. ISBN 87-7756-659-9.
- [4] Jensen, S.O., Kristensen, E.F. and Forman, T., 2001. *Test of a solar crop dryer*. Solar Energy Centre Denmark, Danish Technological Institute and Department of Agricultural Engineering, Danish Institute of Agricultural Sciences and Aidt Miljo A/S. ISBN 87-7756-583-5.
- [5] Kirst Thomas, Ginting Dines, 1993, *Dasar-dasar Pneumatik*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [6] Kreyszig, Erwin, 1988. *Advanced Engineering Mathematics*. 6th Edition, John Willey & Sons, Inc., Canada.
- [7] Sarkar, M.A.R. and Saleh, T., 2002. Performance Study of A PV Operated Forced Convection Solar Energy Dryer. *The 8th International Symposium for Renewable Energy Education*, Orlando University of Florida, August 4-8, 2002.