

Studi Eksperimental Sistem Pengering Tenaga Surya Menggunakan Tipe *Greenhouse* dengan Kotak Kaca

Indriyati Fanani Putri, Ridho Hantoro, dan Doty Dewi Risanti

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: d.d.risanti@gmail.com

Abstrak—Hasil panen padi (gabah padi) memiliki nilai jual yang berbeda - beda. Hal tersebut ditentukan dari kualitas gabahnya, salah satunya adalah kadar air dimana kandungannya tidak melebihi nilai yang telah ditentukan. Sedangkan cuaca saat ini tidak bisa diprediksi, sehingga menghambat proses penjemuran gabah padi yang sudah umum dilakukan para petani. Penelitian ini dilakukan sebagai alternatif petani untuk meningkatkan kualitas hasil panennya. Dalam penelitian ini digunakan alat pengering rumah kaca dengan kotak kaca dengan tiga variasi bukaan, yakni bukaan 20%, bukaan 10%, dan bukaan 0%, dimana setiap variasi memiliki sampel uji gabah padi seberat satu kg. Pada variasi kotak kaca bukaan 20% diperoleh laju penguapan sebesar $8,64 \cdot 10^{-4}$ kg/s dengan kadar air akhir 19,80%. Sedangkan untuk variasi kotak kaca bukaan 10% didapatkan laju penguapan $6,11 \cdot 10^{-5}$ kg/s dengan kadar air akhir 20,02%. Dan pada variasi kotak kaca bukaan 10% diperoleh laju penguapan $8,85 \cdot 10^{-5}$ kg/s dan kadar air akhirnya 21,79%.

Kata Kunci—Gabah padi, intensitas matahari, laju penguapan, pengering rumah kaca.

I. PENDAHULUAN

MAYORITAS, petani Indonesia mengeringkan gabah padi yang kurang kering saat musim panen dengan cara dijemur. Gabah padi yang dijemur tidak bisa kering dalam waktu tiga hari seperti biasanya dikarenakan hujan bisa tiba - tiba terjadi. Hal tersebut cukup mengkhawatirkan bagi petani karena hasil panen mereka tidak bisa dijual cepat atau mungkin tidak bisa dijual sama sekali. Cuaca yang tidak bisa diprediksi dikarenakan oleh tiga faktor berikut, yaitu: anomali SST (*Sea Surface Temperature*) di wilayah Indonesia hangat sehingga menyebabkan peluang majunya musim hujan pada sebagian besar wilayah Indonesia, SST dingin di Ekuator Pasifik Tengah (Nino 3, 4) mengindikasikan terjadinya La Nina, dan indeks *Dipole Mode*, diprediksi dalam kondisi negatif – normal, sehingga berpotensi menambah curah hujan [1]. Oleh karena itu, diperlukan suatu alat yang bisa menjadi alternatif para petani dalam mengeringkan hasil panennya. Dalam penelitian ini dibuat pengering dengan tenaga surya menggunakan tipe *greenhouse* dengan kotak kaca. Diharapkan pengering ini mampu menjadi alternatif petani untuk meningkatkan kualitas hasil panennya. Dan tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa perpindahan panas dan laju penguapan dari proses pengeringan tenaga surya menggunakan tipe *greenhouse* dengan kotak kaca.

II. METODE PENELITIAN

Pada bab metode ini, dibahas tentang rancangan penelitian yang telah dilakukan. Sebelum memulai perancangan dan perhitungan, berikut ini adalah gambar diagram algoritma penggeraan tugas akhir. Agar tujuan yang maka diperlukan sebuah metodotelah ditentukan bisa tercapai, maka diperlukan sebuah metodologi penelitian yang merupakan tahapan penyelesaian dari tugas akhir ini. Adapun tahapan-tahapan tersebut ditunjukkan dalam Gambar 1.

A. Geometri Alat Pengering

Adapun desain geometri alat pengering ditunjukkan oleh Gambar 2 sampai dengan Gambar 4.

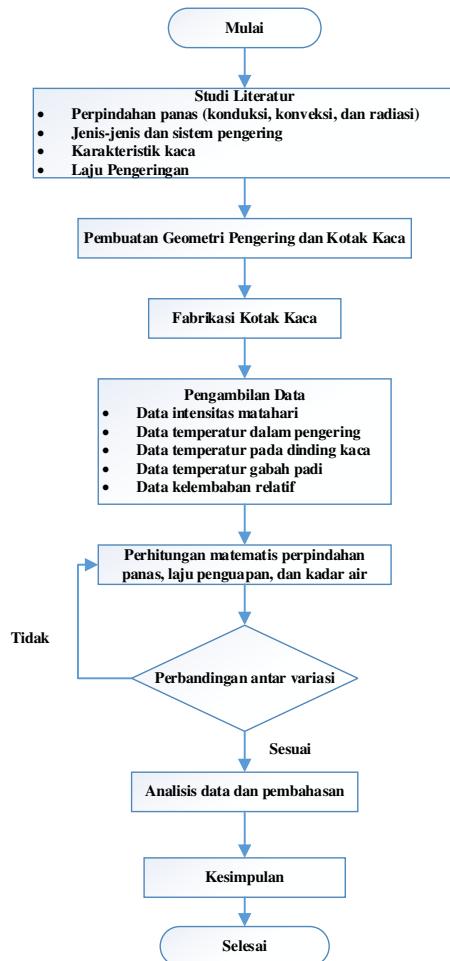
Pengering ini dibentuk seperti rumah kaca pada umumnya berdimensi panjang 1 m, lebar 0,5 m, dan tinggi 0,25 m pada baknya. Untuk atap berdimensi panjang 1 m, lebar 0,5 m, dan tinggi 0,45 m. Sedangkan untuk kotak kacanya berdimensi panjang 0,8 m, lebar 0,4 m, dan tinggi 0,2 m dengan bukaan sebesar 20%. Untuk ketebalan kaca yang digunakan sebesar 0,005 m dengan konduktivitas termal sebesar 0,8 W/m.K

B. Pengambilan Data

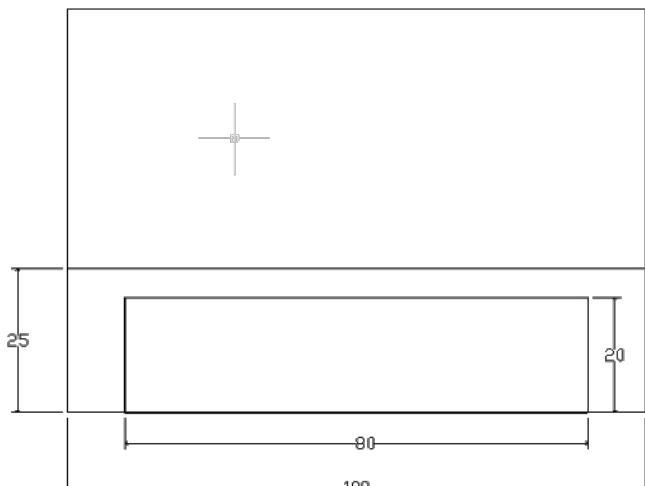
Pengambilan data dilakukan menggunakan metode pengukuran langsung karena pengukuran dilakukan di tempat pengukuran tersebut dengan menggunakan alat ukur dalam waktu 4 hari dimulai pukul 07.00 - 20.00 WIB. Berikut ini adalah prosedur pengukuran yang dilakukan:

1. Mengukur intensitas matahari menggunakan *handy pyranometer*.
2. Mengukur temperatur lingkungan beserta dengan kelembabannya menggunakan *humidity and temperature hygrometer*.
3. Mengukur temperatur pada dinding atap, bak, dan kotak kaca menggunakan termometer inframerah tembak.
4. Mengukur temperatur permukaan gabah padi menggunakan alat ukur yang digunakan pada poin tiga.
5. Mengukur temperatur dan kelembaban di dalam pengering menggunakan alat ukur yang sama pada poin dua.

Variasi yang digunakan dalam penelitian ini ada dalam Tabel 1.



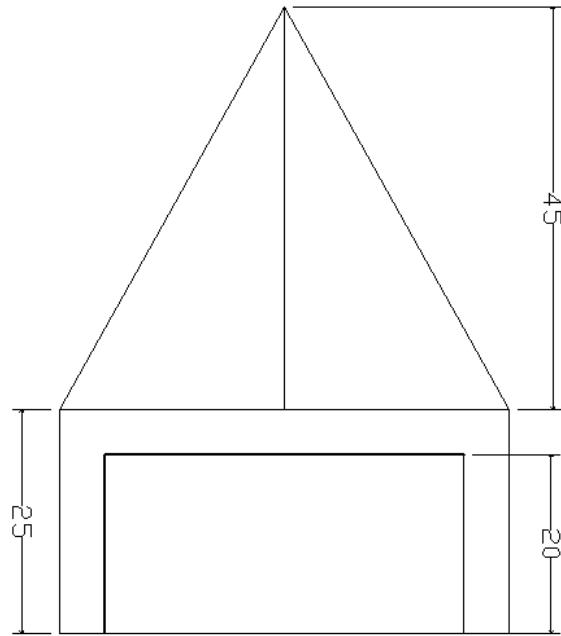
Gambar. 1. Diagram alur penelitian.



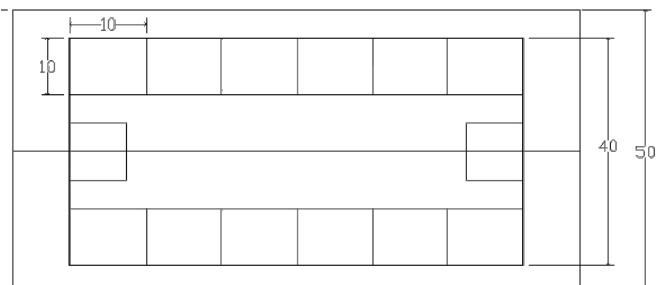
Gambar 2 Pengering rumah kaca dengan kotak kaca tampak depan.

C. Pengolahan Data

Data – data yang telah diukur tersebut diolah menggunakan perhitungan – perhitungan di bawah ini untuk memperoleh besarnya perpindahan panas, laju penguapan, dan kadar airnya.



Gambar 3 Pengering rumah kaca dengan kotak kaca tampak samping.



Gambar 4 Pengering rumah kaca dengan kotak kaca tampak atas.

Tabel 1.
Variasi yang digunakan pada alat pengering

Variasi	Bukaan	Massa bahan uji (gram)
Pengeringan Tradisional	Terbuka	1000
Tanpa Kotak Kaca	100%	1000
Dengan Kotak Kaca	0%	1000
	10%	1000
	20%	1000

1. Perpindahan Panas

Perpindahan panas yang terjadi dalam pengering meliputi konduksi, konveksi, dan radiasi. Untuk perpindahan panas konduksi secara umum dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Dengan:

- Dengan:

 - q = Laju perpindahan panas (Watt)
 - k = Konduktivitas termal ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)
 - A = Luas Penampang yang terletak pada aliran panas (m^2)
 - ΔT = Perbedaan temperatur diantara dua permukaan (K)
 - Δx = Tebal permukaan (m)

Tabel 1.
Koefisien perpindahan panas konveksi [2]

No.	Proses	h (Watt/m ² .K)
1	Konveksi Alami <ul style="list-style-type: none"> • Gas • Cairan 	2 - 25 50 - 1000
2	Konveksi Paksa <ul style="list-style-type: none"> • Gas • Cairan 	25 - 250 100 - 20.000
3	Konveksi dengan perubahan fasa (mendidih dan mengembun)	2500 - 100.000

Perpindahan panas secara konveksi bergantung pada nilai koefisien konveksi fluidanya. Berikut ini adalah tabel koefisien konveksi udara berdasarkan jenis konveksinya.

Perpindahan panas secara konveksi dirumuskan sebagai berikut ini.

$$q = HA(T_w - T_\infty) \quad (2)$$

Dimana:

H = Koefisien perpindahan kalor konveksi (W/m².°C)

A = Luas permukaan (m²)

T_w = Temperatur dinding (°C)

T_∞ = Temperatur fluida (°C)

q = Laju perpindahan panas konveksi (Watt)

Sedangkan perindahan panas secara radiasi bisa dirumuskan sebagai berikut:

$$q_{rad} = \sigma\epsilon(T_1^4 - T_2^4) \quad (3)$$

Dimana σ adalah konstanta Stefan-Boltzman dengan nilai $5,669 \times 10^{-8}$ W/m², ϵ adalah nilai emisivitas benda, dan T adalah temperatur benda. Radiasi pada dua permukaan benda dan kotak kaca tergantung pada *view factor* benda tersebut. Di bawah ini adalah perumusan untuk *view factor* dua permukaan benda sejajar ditunjukkan oleh rumus (4) dan untuk *view factor* bidang tiga dimensi (kubus) ditunjukkan oleh rumus 5a sampai dengan 5e.

$$F_{ij} = [(W_i + W_j)^2 + 4]^{1/2} - [(W_j - W_i)^2 + 4]^{1/2} \quad (4)$$

$$a = \left(\frac{(1 + \bar{X}^2)(1 + \bar{Y}^2)}{1 + \bar{X}^2 + \bar{Y}^2} \right)^{1/2} \quad (5a)$$

$$b = \bar{X}(1 + \bar{Y}^2)^{1/2} \tan^{-1} \frac{\bar{X}}{(1 + \bar{Y}^2)^{1/2}} \quad (5b)$$

$$d = \bar{X} \tan^{-1} \bar{X} - \bar{Y} \tan^{-1} \bar{Y} \quad (5c)$$

$$F_{ij} = \frac{2}{\pi \bar{X} \bar{Y}} \{ \ln[a + b + c - d] \} \quad (5e)$$

Hubungan *view factor* dengan perpindahan panas secara radiasi dapat dituliskan menjadi (Incropera dan Dewitt, 1996).

$$F_{ij} = \frac{q_{ij}}{A_i J_i} \quad (6)$$

Sehingga nilai kesetimbangan energinya didapatkan dengan memasukkan nilai – nilai hasil perhitungan perpindahan panas

ke Persamaan (7), dimana Persamaan (7) ditulis sebagai berikut:

$$Q_{in} = Q_{out} + \dot{m}_e + \dot{h}_e \quad (7)$$

Jika nilai perpindahan panas pengering rumah kaca yang didapat dimasukkan ke Persamaan (7), maka dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q_{rad} = Q_{konduksi} + Q_{konveksi} + \dot{m}_e + \dot{h}_e \quad (8)$$

Sedangkan untuk kesetimbangan energi pada pengering tradisional tidak ada perpindahan panas secara konduksi, sehingga persamaannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Q_{rad} = Q_{konveksi} + \dot{m}_e + \dot{h}_e \quad (9)$$

Dengan nilai \dot{h}_e yang digunakan adalah nilai h_{fg} udara yang disesuaikan dengan nilai temperatur ruangnya.

2. Kadar Air

Untuk mencari pengurangan kadar air dari suatu bahan dapat dilakukan dengan menggunakan dua cara yaitu menggunakan basis basah atau menggunakan basis kering (Ekechukwe, 2007). Pengurangan air dengan menggunakan basis basah dapat dituliskan pada persamaan

$$M_{wb} = \frac{w_0 - w_d}{w_0} \times 100\% \quad (10)$$

Atau bisa dicari menggunakan persamaan berikut:

$$M_{wb} = \frac{w_0 - w_d}{w_d} \times 100\% \quad (11)$$

Dengan M_{wb} adalah kadar air basis basah (%), w₀ adalah massa awal bahan (kg), w_d adalah massa akhir bahan (kg), dan M_d adalah kadar air basis kering (%).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Uji Lapangan

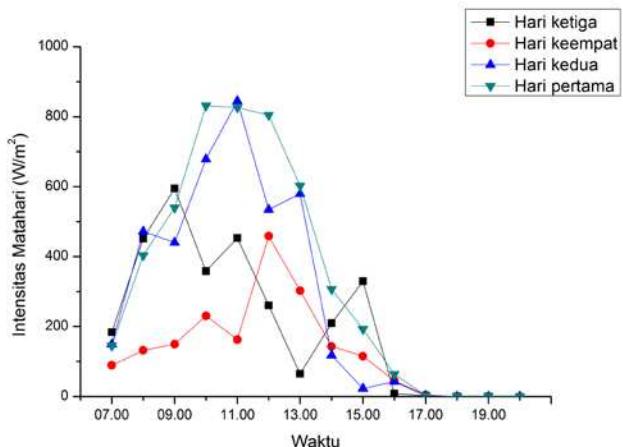
Berikut ini adalah grafik – grafik hasil pengukuran yang telah dilakukan selama empat hari. Untuk pengukuran suhu dan kelembaban relatif pada hari ketiga dilakukan sampai jam 19.00 WIB dikarenakan hujan sehingga untuk pengukuran yang terakhir tidak bisa dilaksanakan.

1. Intensitas Matahari

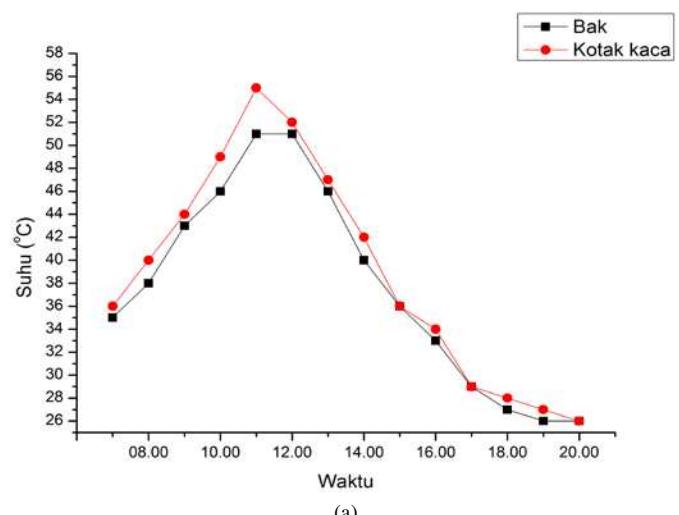
Nilai – nilai intensitas matahari yang berubah - ubah pada pengukuran hari ketiga dan keempat di jam – jam tertentu sangat mempengaruhi kenaikan nilai kelembaban relatif di dalam pengering dan mempengaruhi penurunan nilai suhu – suhu yang diukur di dalam pengering. Jadi, semakin tinggi nilai intensitas matahari maka semakin tinggi nilai suhu di dalam pengering dan semakin rendah nilai kelembaban relatifnya di dalam pengering.

2. Suhu Gabah Padi

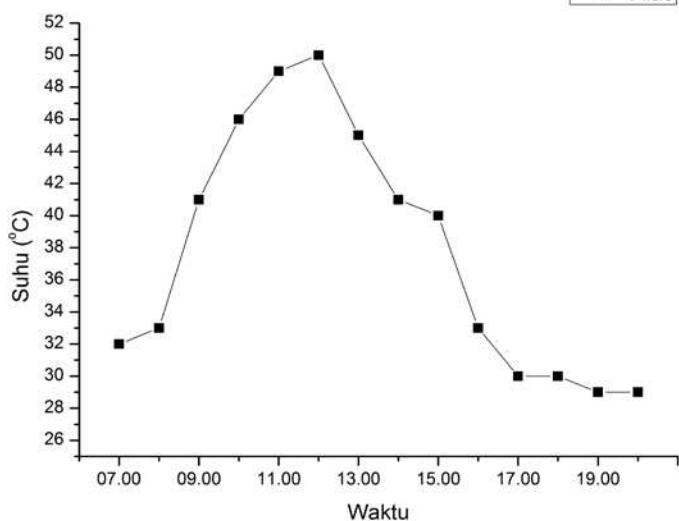
Suhu gabah padi pada semua variasi jenis pengeringan mengikuti pola intensitas matahari, hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 sampai dengan Gambar 8.



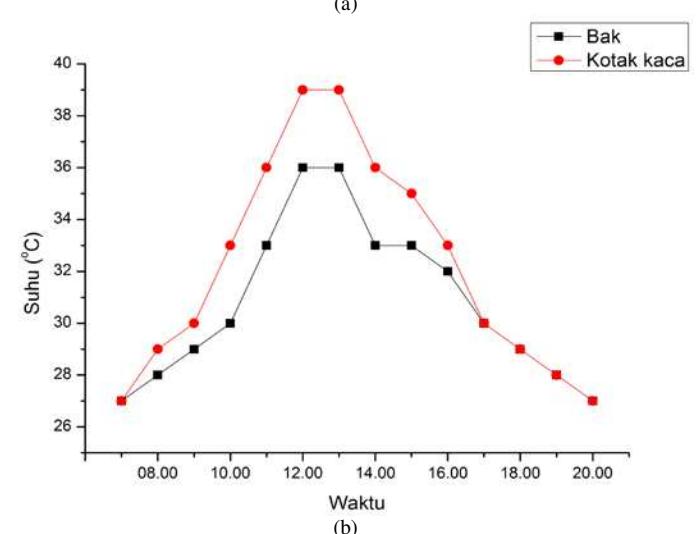
Gambar. 5. Intensitas matahari pada empat hari pengukuran.



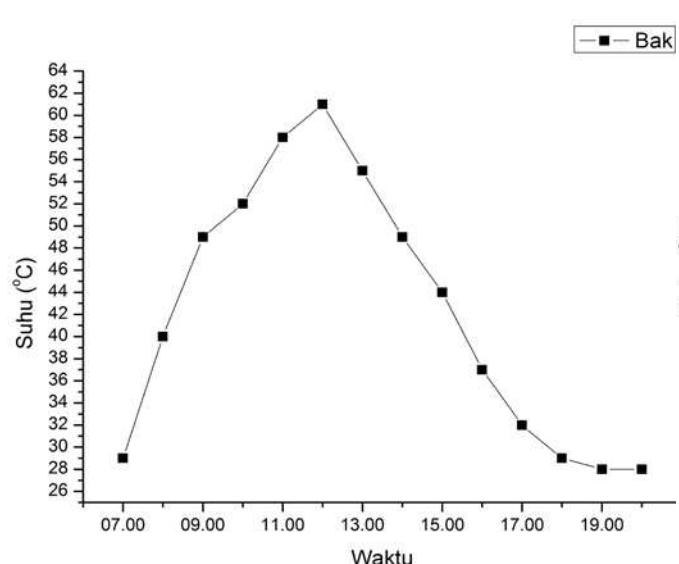
(a)



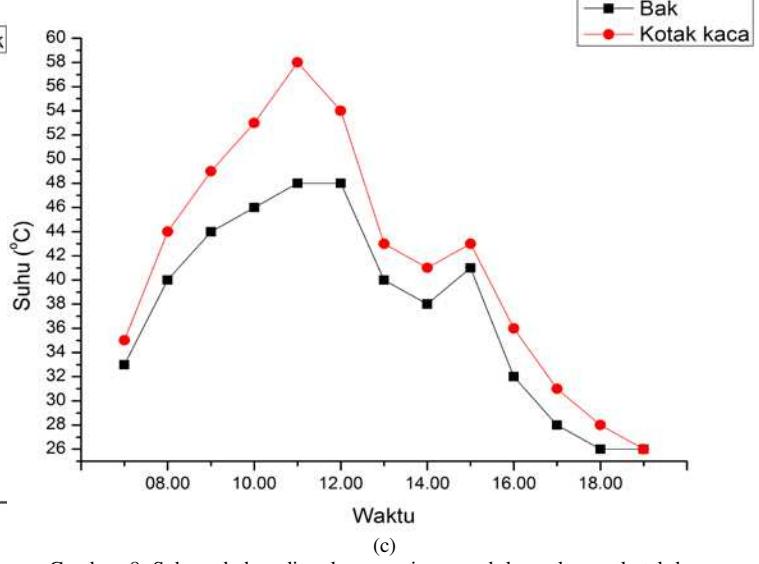
Gambar. 6. Suhu gabah padi pada pengeringan tradisional.



(b)



Gambar. 7. Suhu gabah padi pada pengering rumah kaca tanpa kotak kaca.



(c)

Gambar. 8. Suhu gabah padi pada pengering rumah kaca dengan kotak kaca;
(a) Bukaan 20%; (b) Bukaan 10%; dan (c) Bukaan 0% .

Suhu gabah padi tertinggi pengeringan tradisional (Gambar 6) adalah sebesar 50 °C dan suhu gabah padi tertinggi dalam pengering rumah kaca tanpa kotak kaca (Gambar 7) adalah sebesar 62 °C, keduanya berada pada jam 12.00 WIB dimana nilai intensitas matahari sedang berada pada nilai – nilai tertingginya. Dari kedua gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa gabah padi yang ditempatkan di dalam pengering rumah kaca dapat memiliki suhu lebih tinggi dibandingkan dengan pengeringan yang dilakukan secara tradisional meskipun pengukuran dilakukan pada hari yang sama, hal tersebut dikarenakan intensitas matahari yang masuk ke dalam pengering rumah kaca ditransmisikan 88,5% lebih besar dari intensitas matahari di luar pengering rumah kaca dengan kondisi cuaca cerah pada saat pengukuran dilakukan sehingga nilai intensitas yang ditransmisikan ke dalam pengering rumah kaca juga bernilai besar.

Sedangkan pada Gambar 8 dapat dilihat perbedaan nilai suhu gabah padinya seperti pada Gambar 8 (a) memiliki suhu gabah padi tertinggi pada kotak kaca dengan nilai 55 °C saat jam 11.00 WIB dan suhu gabah padi yang berada dalam bak pengering bernilai 51 °C saat jam 11.00 – 12.00 WIB. Pada Gambar 8(b), suhu gabah padinya merupakan suhu gabah padi yang nilainya terkecil bila dibandingkan dengan Gambar 8(a) dan Gambar 8(c), hal ini dikarenakan intensitas matahari yang ditransmisikan ke dalam pengering rumah kaca sangat kecil.

B. Perpindahan Panas

Perpindahan panas untuk pengering rumah kaca dengan kotak kaca yang menggunakan variasi bukaan 0%, 10%, dan 20% ditunjukkan oleh Gambar 9. Untuk jumlah perpindahan panas yang terjadi dalam pengering ditunjukkan pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

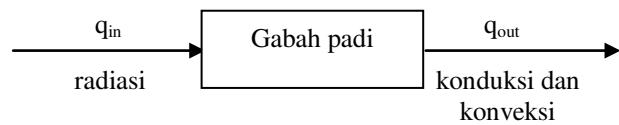
Sehingga panas yang tersisa di dalam pengering dapat dihitung menggunakan persamaan sebelumnya dan hasilnya disajikan dalam Tabel 5 berikut ini.

C. Laju Penguapan

Berdasarkan hasil perhitungan dari kesetimbangan energi sebelumnya, diperoleh nilai rata – rata laju penguapan diberikan dalam Tabel 6. Setelah diketahui perpindahan panas yang terjadi pada setiap metode pengeringan, selanjutnya dicari besar laju penguapannya. Dari Tabel 6, dapat dikatakan bahwa rata – rata laju penguapan yang paling besar adalah pengering rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 20%.

Efek rumah kaca yang terjadi di dalam pengering rumah kaca dengan kotak kaca lebih efektif menggunakan variasi bukaan 20% karena panas yang ada di dalam pengering bertambah dengan adanya kotak kaca, uap dapat keluar dari pengering dengan lancar, dan intensitas matahari yang tersedia pada saat itu banyak sekali.

Untuk pengering rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 10% terlihat sangat kecil sekali dan kotak kaca bukaan 0% justru tidak terlihat sama sekali. Sebenarnya kotak kaca bukaan 10% dan 0% lebih baik dalam penerimaan dan penyimpanan panasnya, hanya saja cuaca pada saat itu mendung dan penguapan yang ada di dalam kotak kaca tidak bisa keluar karena terhambat oleh penutup bukaan sehingga gabah padi yang semestinya sudah kering menjadi basah lagi karena uap yang menjadi embun dan massa gabah padi berkurang tidak maksimal.



Gambar. 9. Neraca energi pengering rumah kaca dengan kotak kaca.

Tabel 2.
Konduksi pada pengering rumah kaca dengan kotak kaca pada setiap variasi bukaan

No.	Variasi bukaan	Tempat	q konduksi (W)
1.	20%	Atap (Dalam – Luar)	25024,5
		Bak (Dalam – Luar)	13245
		Bak (Atas – Bawah)	41080
		Kotak Kaca (Dalam – Luar)	-
2.	10%	Atap (Dalam – Luar)	1792,8
		Bak (Dalam – Luar)	1080
		Bak (Atas – Bawah)	800
		Kotak Kaca (Dalam – Luar)	448
3.	0%	Atap (Dalam – Luar)	2888,4
		Bak (Dalam – Luar)	1620
		Bak (Atas – Bawah)	360
		Kotak Kaca (Dalam – Luar)	1088

Tabel 3.
Konveksi pada pengering rumah kaca dengan kotak kaca pada setiap variasi bukaan

No.	Variasi bukaan	Tempat	q konveksi (W)
1.	20%	Bak pengering	81,34
		Kotak kaca	54,17
2.	10%	Bak pengering	5,58
		Kotak kaca	12,69
3.	0%	Bak pengering	87,00
		Kotak kaca	94,00

Tabel 4.
Radiasi matahari pada pengering dengan kotak kaca pada setiap variasi bukaan.

No.	Variasi bukaan	q radiasi (W)
1.	20%	13087,01
2.	10%	5714,23
3.	0%	8660,92

Tabel 5.
Kesetimbangan energi yang terjadi di dalam pengering rumah kaca pada setiap variasi bukaan kotak kaca

No.	Variasi bukaan	q radiasi (W)	q konveksi (W)	q konduksi (W)	q sisa (W)
1.	20%	13087,01	135,50	9363,5	3586,5
2.	10%	5714,23	18,27	4119	1575,16
3.	0%	8660,92	181,00	5954,5	2523,5

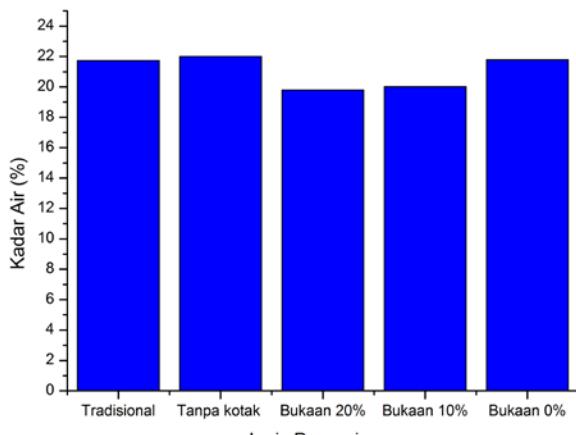
Tabel 6.
Rata-rata laju penguapan pada setiap jenis pengeringan

No.	Jenis pengeringan	Intensitas Matahari (W/m²)	Laju pengeringan (kg/s)
1.	Pengeringan tradisional (dijemur)	4646,3	$6,25 \cdot 10^{-5}$
2.	Pengering rumah kaca tanpa kotak kaca	4646,3	$5,12 \cdot 10^{-5}$
3.	Pengering rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 20%	3808,75	$8,64 \cdot 10^{-4}$
4.	Pengering rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 10%	1789,35	$6,11 \cdot 10^{-5}$
5.	Pengering rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 0%	2825	$8,85 \cdot 10^{-5}$

Tabel 7.
Kadar air gabah sebelum dan sesudah pengeringan

No.	Jenis pengeringan	Kadar air (%)	
		Sebelum	Sesudah
1.	Pengeringan tradisional (dijemur)	24,71	21,74
2.	Pengering rumah kaca tanpa kotak kaca	24,71	22,00
3.	Pengering rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 20%	24,71	19,80
4.	Pengering rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 10%	24,71	20,02
5.	Pengering rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 0%	24,71	21,79

Kadar Air



Gambar. 9. Diagram kadar air setelah pengeringan.

D. Kadar Air

Kadar air awal yang ada dalam gabah padi ketika sebelum pengeringan adalah sebesar 24,71%. Setelah dilakukan pengeringan dengan berbagai jenis pengeringan, maka kadar air akhir yang didapatkan setelah dilakukan pengeringan ada dalam Tabel 7.

Nilai kadar air gabah padi yang setelah dikeringkan berbanding terbalik dengan besarnya nilai laju penguapan yang terjadi saat pengeringan berlangsung. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 10 mengenai kadar air akhir gabah padi pada setiap jenis pengeringan yang telah dilakukan. Pengurangan kadar air yang terbesar dimiliki oleh pengeringan rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 20%. Sedangkan untuk pengurangan kadar air yang paling sedikit adalah pengeringan rumah kaca tanpa kotak kaca.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini berdasarkan data-data yang telah diolah adalah:

- Rata-rata laju penguapan yang bisa dihasilkan pengeringan tradisional sebesar $6,25 \cdot 10^{-5}$ kg/s, pengering rumah kaca tanpa kotak kaca $5,12 \cdot 10^{-5}$ kg/s, pengering rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 20% sebesar $8,64 \cdot 10^{-4}$ kg/s, pengering rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 10% sebesar $6,11 \cdot 10^{-5}$ kg/s, dan pengering rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 0% sebesar $8,85 \cdot 10^{-5}$ kg/s. Dimana laju pengeringan terbesar dihasilkan oleh pengering rumah kaca bukaan 20%.
- Kadar air akhir yang dihasilkan untuk pengeringan tradisional 21,74%, 22% untuk pengering rumah kaca tanpa kotak kaca, 19,80% untuk pengering rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 20%, 20,02% untuk pengering rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 10%, dan 21,79% untuk pengering rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 0%. Sehingga kadar air akhir terbaik juga dihasilkan dari pengeringan rumah kaca dengan kotak kaca bukaan 20%.
- Variasi bukaan kotak kaca mempengaruhi banyaknya kadar air dalam gabah padi karena semakin sedikit bukaan Rh di dalam pengering semakin besar sehingga semakin sulit terjadi penguapan di dalam pengering.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). 2010. *Pemanasan global dan dampaknya terhadap cuaca - iklim di wilayah indonesia*. Artikel. Diakses tanggal 13 Juni 2013 pukul 18.00 WIB. <http://bmkg.go.id>
- Ekechukwu, O.V. 1997. *Review of solar-energy drying systems I: an overview of drying principles and theory*. Energy Conversion and Management.
- Hasibuan, R. 2005. *Proses Pengeringan*. Fakultas Teknik Kimia. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Incropera, Frank P. dan Dewitt, David P. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. United States: John Wiley & Sons. 1996.
- Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI). 2013. <http://kbbi.kemendiknas.go.id>