

# LAJU PENGERINGAN KAPULAGA MENGGUNAKAN ALAT PENGERING EFEK RUMAH KACA DENGAN BANTUAN TUNGKU BIOMASSA

Oleh :

**Syafrul Hadi**

*Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Padang  
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo Padang - 25143*

---

## Abstrak

*Pengolahan Kapulaga masih dilakukan secara tradisional. Pengerian secara tradisional memiliki beberapa kelemahan dan membutuhkan lahan terbuka luas dan terjadinya kontaminasi dengan debu, kotoran sehingga kapulaga kurang higienis dan bermutu rendah. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dirancanglah sebuah Alat Pengerian Efek Rumah Kaca, dengan bantuan Energi Biomassa (Pengerian Hybrid). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui laju pengerian Kapulaga dengan menggunakan alat pengerian Hybrid. Alat pengerian dengan memanfaatkan energi Matahari, Energi Biomassa dari pembakaran sekam padi. Pada penelitian ini, Kapulaga yang akan dikeringkan sebanyak 26 kg dengan kadar air awal 78%. Hasil penelitian diperoleh Laju pengerian Kapulaga dengan menggunakan alat pengerian Hybrid ini adalah sebesar 0.00062 kg/s. Proses pengerian menggunakan alat pengerian Efek Rumah Kaca dengan bantuan Tungku Biomassa ini mampu mengeringkan Kapulaga hingga kadar air 9.88% selama 12 jam (dua hari) pengerian.*

**Kata kunci :** Kapulaga, Pengerian Hybrid dan Laju Pengerian

---

## PENDAHULUAN

Matahari adalah sumber energi tak terbatas dan sangat diharapkan dapat menjadi sumber energi pengganti yang sangat berpotensi. Kebutuhan energi di Indonesia masih dipenuhi dengan energi berbahan bakar minyak bumi dan batubara yang bersifat polutif dan merupakan energi tidak dapat diperbaharui. Meningkatnya kebutuhan akan energi pada saat sekarang membuat ketidak seimbangan antara kebutuhan dengan ketersediaan sumber energi fosil, oleh karena itu pemenuhan kebutuhan akan energi harus sejalan dengan pengembangan pemanfaatan energi alternatif selain bahan bakar fosil. Potensi pengembangan sumber energi terbarukan mempunyai peluang besar dan bersifat strategis mengingat sumber energi terbarukan merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Kapulaga pada musim panen mengakibatkan terjadinya penumpukan terlalu lama dengan kandungan air di dalamnya menyebabkan rusaknya buah Kapulaga. Maka dari itu pengerian Kapulaga merupakan menjadi

salah satu permasalahan yang harus dapat di atasi. Metode pengerian dapat dilakukan yaitu pengerian alami dan pengerian buatan. Pengerian alami yaitu pengerian dengan memanfaatkan sinar matahari secara langsung, dan tak kala pentingnya dengan membuat Alat Pengerian Efek Rumah Kaca (ERK) merupakan tipe alat pengerian memanfaatkan energi matahari sebagai sumber panasnya. Alat ini tidak dapat beroperasi pada kondisi cuaca yang kurang mendukung seperti hujan atau pada saat malam hari. Namun proses pengerian akan dapat terus berlangsung dengan mengoperasikan tungku biomassa sebagai pemanas tambahan pada alat pengerian efek rumah kaca tersebut. Alat pengerian ini disebut dengan alat pengerian hybrid. Pemanfaatan energi matahari dan energi biomassa sebagai sumber panas merupakan suatu bentuk solusi penyediaan energi alternatif pada saat krisis energi seperti yang dihadapi oleh masyarakat kita saat ini.

Berkaitan dengan hal di atas penulis membuat suatu alat pengerian efek rumah kaca, dimana panas matahari digunakan sebagai sumber panasnya dan tungku pembakaran biomassa

yang akan digunakan sebagai pemanas tambahan yang akan dialirkan ke ruang pengering efek rumah kaca tersebut. Dengan menggunakan alat pengering efek rumah kaca dan tungku pembakaran biomassa sebagai pemanas tambahannya (*hybrid*), diharapkan mampu untuk mengurangi kadar air dari buah Kapulaga.

## Teori Dasar

### Pengetahuan Umum Tentang Kapulaga.

Kapulaga termasuk family jahe (*Zingiberaceae*) yang terdiri dari empat genus yaitu Amomum, Elettaria, Aframomum dan Zingiber (Indo, 1989). Pemanfaatan kapulaga sebagian untuk industri farmasi dan sebagian lagi sebagai bahan kuliner. Kapulaga mengandung minyak atsiri, sineol, terpineol, borneol, protein, gula, lemak, silikat, betakamfer, sebinena, mirkena, mirtenal, karvona, terpinil asetat, dan kersik. Dari kandungan tersebut kapulaga memiliki khasiat sebagai obat batuk. Kapulaga juga memiliki khasiat untuk mencegah keropos tulang.

Kapulaga memiliki aroma sedap sehingga orang Inggris menyanjungnya sebagai *grains of paradise*. Aroma sedap ini berasal dari kandungan minyak atsiri pada kapulaga. Minyak atsiri ini mengandung lima zat utama, yaitu borneol (suatu terpena) yang berbau kamper seperti yang tercium dalam getah pohon kamper. Beberapa pabrik bumbu juga mengekstrakkan minyak asiri dari biji kapulaga menjadi Cardamom oil yang kemudian dikemas dalam botol. Dalam bentuk minyak ini pula, kapulaga dipakai untuk menyedapkan *soft drink* dan es krim di pabrik Amerika.

## Pengeringan

Pengeringan adalah proses penurunan kadar air sampai tingkat kadar air tertentu. Secara spesifik pengeringan bertujuan untuk mengurangi kadar air bahan sampai batas dimana perkembangan mikro organisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan kerusakan (fisika/kimia) terhambat atau terhenti, sehingga bahan dapat mempunyai waktu simpan yang lebih lama. Menurut Hall (1980), pada proses pengeringan komoditas pertanian terjadi dua proses dasar yaitu pindah panas untuk menguapkan cairan bahan dan

pindah massa akibat adanya perbedaan tekanan uap. Dalam proses pengeringan, dikenal adanya suatu laju pengeringan yang dibedakan menjadi dua tahap utama, yaitu laju pengeringan konstan dan laju pengeringan menurun. Laju pengeringan konstan terjadi pada lapisan air bebas yang terdapat pada permukaan biji-bijian. Laju pengeringan ini terjadi sangat singkat selama proses pengeringan berlangsung, kecepatan penguapan air pada tahap ini dapat disamakan dengan kecepatan penguapan air bebas. Besarnya laju pengeringan ini tergantung dari:

1. Lapisan yang terbuka.
2. Perbedaan kelembaban antara aliran udara dan daerah basah.
3. Koefisien perpindahan massa.
4. Kecepatan aliran udara pengering.

## Proses Pengeringan

Proses pengeringan diperoleh dengan cara penguapan air. Cara tersebut dilakukan dengan menurunkan kelembaban absolut udara dengan mengalirkan udara panas di sekeliling bahan, sehingga tekanan uap air bahan lebih besar dari tekanan uap air di udara. Perbedaan tekanan itu menyebabkan terjadinya aliran uap air dari bahan ke udara. Faktor-faktor yang mempengaruhi penguapan adalah :

1. Laju pemanasan waktu energi panas dipindahkan pada bahan.
2. Jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air.
3. Temperatur maksimum pada bahan.
4. Tekanan pada saat terjadinya penguapan. Perubahan lain mungkin terjadi di dalam bahan selama proses penguapan berlangsung.

Peristiwa yang terjadi selama pengeringan meliputi dua proses, yaitu :

1. Proses perpindahan panas. yaitu proses menguapkan air dari dalam bahan atau proses perubahan bentuk cair ke bentuk gas.
2. Proses perpindahan massa. yaitu proses perpindahan massa uap air dari permukaan bahan ke udara.

Pada saat pengeringan dimulai, uap panas yang dialirkan meliputi permukaan bahan akan menaikkan tekanan uap air, terutama pada daerah permukaan sejalan dengan kenaikan

temperaturnya. Proses tersebut terjadi karena perpindahan massa panas dari bahan ke udara dalam bentuk uap air berlangsung atau terjadi pengeringan pada permukaan bahan. Setelah itu, tekanan uap air pada permukaan bahan akan menurun.

Jika kenaikan temperatur terjadi pada seluruh bagian bahan, maka terjadi pergerakan air secara difusi dari bahan ke permukaannya dan seterusnya, proses penguapan pada permukaan bahan diulang lagi. Akhirnya, setelah air bahan berkurang, tekanan uap air bahan akan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara disekitarnya. Proses pengeringan tidak dapat terjadi dalam satu waktu sekaligus. Jadi, dalam pengeringan diperlukan waktu istirahat (*tempering time*). Selama waktu tersebut seluruh air di dalam bahan akan mencapai keseimbangan.

#### 1. Metode basis basah

Kadar air basah didefinisikan sebagai perbandingan massa air di dalam bahan dengan massa bahan basah. Untuk menghitung kadar air basis basah, bisa menggunakan persamaan,

$$\% M_w = \frac{W_w}{(W_w + W_d)} \times 100\%$$

dimana:

$$\begin{aligned} \% M_w &= \text{kadar air basis basah (\%)} \\ W_w &= \text{massa air (kg)} \\ W_d &= \text{massa padatan (kg)} \end{aligned}$$

#### 2. Metode basis kering

Kadar air basah didefinisikan sebagai perbandingan massa air di dalam bahan dengan massa padatan. Untuk menghitung kadar air basis basah, bisa menggunakan persamaan :

$$\% M_d = \frac{W_w}{W_d} \times 100\%$$

dimana:

$$\begin{aligned} \% M_d &= \text{kadar air basis kering (\%)} \\ W_w &= \text{massa air (kg)} \\ W_d &= \text{massa padatan (kg)} \end{aligned}$$

### Aliran Udara Pengeringan

Pada proses pengeringan, udara berfungsi sebagai pendistribusi panas untuk menguapkan kandungan air dari biji-bijian dan mengeluarkan uap air tersebut. Menurut

Soemartono (1968), temperatur udara dan kecepatan aliran udara pengering berpengaruh penting terhadap proses pengeringan. Air yang dikeluarkan dalam bentuk uap harus segera dipindahkan dan dijauhkan dari biji-bijian sehingga tidak menyebabkan udara jenuh pada permukaan biji-bijian yang dapat memperlambat pengeluaran air selanjutnya.

Aliran udara yang cepat akan membawa uap air dari permukaan biji-bijian dan mencegah penjuanan udara disekitar permukaan biji-bijian. Volume udara yang lebih besar dapat menampung dan membawa uap air lebih banyak. Semakin kering udara maka akan semakin cepat pula proses pengeringan yang terjadi. Udara kering dapat menampung uap air lebih banyak dari pada udara lembab. Tekanan aliran udara pengering yang melalui tumpukan biji-bijian akan memiliki nilai yang berbeda pada saat udara pengering masuk dan keluar tumpukan biji-bijian. Perbedaan tekanan ini disebabkan oleh adanya gesekan antara udara pengering dengan biji-bijian dan pengaruh turbulensi aliran udara pengering.

Brooker et al. (1974) mengemukakan bahwa tekanan statik aliran udara pengering yang melalui tumpukan bebijian tergantung pada :

1. Kecepatan aliran udara pengering.
2. Karakteristik bentuk dan permukaan bebijian.
3. Jumlah, ukuran dan konfigurasi ruang antar bebijian.
4. Variasi ukuran bebijian.
5. Tebal tumpukan bebijian.

### Pengering Efek Rumah Kaca

Pengering efek rumah kaca (ERK) adalah alat pengering berenergi surya yang memanfaatkan efek rumah kaca yang terjadi karena adanya penutup transparan pada dinding bangunan serta plat absorber sebagai pengumpul panas untuk menaikkan temperatur udara ruang pengering (Kamaruddin, et al., 1994). Bahan dinding yang digunakan adalah kaca. Lapisan transparan ini memungkinkan radiasi gelombang pendek dari matahari masuk ke dalam dan mengenai elemen-elemen bangunan. Hal ini menyebabkan radiasi gelombang pendek yang terpantul berubah menjadi gelombang panjang dan terperangkap dalam bangunan karena tidak dapat menembus penutup transparan sehingga menyebabkan

temperatur menjadi tinggi. Proses inilah yang dinamakan efek rumah kaca. Jika matahari mengenai bahan tembus cahaya, maka sebagian sinar itu diteruskan selain diserap dan dipantulkan kembali (Huang, 1986). Oleh karena itu penutup transparan memerlukan bahan yang memiliki nilai transmisivitas yang tinggi dengan absorpsivitas dan reflektivitas yang rendah agar dapat menangkap gelombang pendek sebanyak mungkin (Kamaruddin, et al., 1996).

### Konsep Energi Surya

Radiasi yang dipancarkan oleh permukaan matahari  $E_s$ , adalah sama dengan hasil perkalian konstanta Stefan-Boltzman, pangkat empat temperatur permukaan absolut  $T_s^4$ , dan luas permukaan  $d_s^2$ .

$$E_s = d_s^2 T_s^4 \text{ (Watt)}$$

dimana  $d_s$  adalah diameter matahari dalam meter ( $1.39 \times 10^9$  m). Besarnya energi yang diradiasikan pada satu satuan luas dari permukaan bola matahari dinamakan radiasi atau konstanta matahari,  $G_{sc}$  yang besarnya adalah  $429 \text{ Btu}/(\text{jam ft}^2)$  atau ( $1353 \text{ W}/\text{m}^2$ ).

Namun radiasi matahari mencapai bumi dengan laju yang jauh lebih kecil daripada angka konstanta tersebut, hal ini disebabkan karena sebagian radiasi tersebut terserap dan terhambur sewaktu melintasi melalui lapisan udara, uap air dan karbon dioksida serta debu setebal 90 mil yang menyelubungi bumi. Kolektor surya adalah alat yang dapat mengumpulkan atau menyerap radiasi matahari dan mengkonversikannya ke dalam energi panas yang bermanfaat untuk sistem pengeringan. Besarnya energi panas yang dihasilkan dari kolektor yang dapat di manfaatkan oleh sistem ruang pengering, dapat ditentukan dengan persamaan :

$$Q_u = \dot{m} a C_p T$$

Untuk mencari  $\dot{m}$  bisa menggunakan persamaan :

$$\dot{m} a = \rho_a V A$$

Dimana:

$\dot{m} a$  = laju aliran massa fluida kerja ( $\text{kg}/\text{s}$ )

$C_p$  = panas spesifik fluida ( $\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$ )

$T$  = beda temperatur fluida kerja ( $^\circ\text{C}$ )

$a$  = Berat jenis udara ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$V$  = Kecepatan udara pengeringan ( $\text{m}/\text{s}$ )

$A$  = Luas penampang saluran udara masuk kolektor ( $\text{m}^2$ )

### Perpindahan Panas secara Radiasi (Pancaran).

Radiasi yaitu perpindahan panas yang berpindah melalui ruang dengan atau tanpa media. Gerakan panas radiasi didalam ruang mirip perambatan cahaya dan dapat diuraikan dengan teori gelombang. Menurut Stefan-Boltzmann radiasi sempurna terjadi pada benda hitam (*black body*) dengan laju perpindahan kalor radiasi:

$$q = \sigma A T^4$$

Dimana  $q$  merupakan laju perpindahan panas radiasi dalam watt (W), sedangkan  $\sigma$  adalah konstanta Stefan-Boltzmann dengan nilai  $5,669 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^4$ , dan  $A$  merupakan luas perpindahan panas dalam  $\text{m}^2$ . Untuk  $T$  ialah temperatur  $^\circ\text{K}$ . Bila benda hitam memancarkan/menyerap radiasi pada benda yang sama pada kondisi yang sama maka dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

$$q = \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

Dan bila benda hitam memancarkan radiasi terhadap benda bukan hitam/benda nyata (*real bodies*) maka :

$$q = \sigma A \epsilon (T_1^4 - T_2^4)$$

Dimana  $\epsilon$  adalah emisivitas permukaan benda nyata dengan perbandingan benda hitam. Kemampuan peyerapan energi radiasi matahari oleh plat penyerap yang akhirnya dirubah menjadi energi panas dipengaruhi oleh luas permukaan plat penyerap, sehingga besarnya panas yang dapat diserap dapat kita tentukan dengan persamaan :

$$Q_{in} = I_T \cdot A_c$$

### Laju aliran energi yang dapat digunakan

Besarnya panas yang dapat dimanfaatkan dari plat penyerap oleh udara dipengaruhi oleh laju aliran udara, peningkatan temperatur dan panas jenis dari udara, keadaan ini dinyatakan dalam persamaan :

$$Q_u = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{out} - T_{in})$$

Dimana:

$\dot{m}$  = laju aliran massa fluida kerja (kg/s)

$C_p$  = panas spesifik fluida (kJ/kg°C)

$T$  = beda temperatur fluida kerja (°C)

### Turbin Ventilator

Di dalam ruang pengering efek rumah kaca akan terjadi perpindahan panas dan perpindahan massa. Hal ini menyebabkan udara di ruang pengering menjadi lembab, maka diperlukannya sebuah alat yang mampu bekerja menghisap udara lembab yang ada di dalam ruang pengering, dan membuang udara lembab tersebut keluar dari ruangan pengering. Untuk hal inilah dipasangkan Turbin Ventilator pada alat pengering efek rumah kaca. Turbin Ventilator ini akan bisa bekerja secara maksimal dengan bantuan energi angin. Energi anginlah yang akan memutar sudu-sudu turbin ventilator. Dari putaran itulah yang bisa menghisap udara lembab yang ada dalam ruang pengering efek rumah kaca dan dibuang kelingkungan luar ruang pengering.



Gambar 2.7 Turbin Ventilator

### Tungku Biomassa

Alat pengering Efek Rumah Kaca dilengkapi dengan pemanas tambahan berupa sebuah tungku biomassa yang akan digunakan untuk meningkatkan temperatur ruang pengering. Penukar panas yang digunakan pada tungku biomassa ini adalah penukar panas dengan menggunakan media udara. Penukar panas ini terbuat dari beberapa pipa yang dipasang melewati tungku pembakaran. Dengan adanya tungku biomassa, diharapkan dapat mempercepat proses pengeringan untuk mencapai kadar air akhir dari bahan yang dikeringkan.

### Energi yang diterima ERK

Dari rangkaian alat pengering ERK dengan Tungku Biomassa tersebut maka energi yang masuk keruang pengering terdiri dari total perpindahan panas tungku biomassa, blower dan plat penyerap. Sehingga dapat ditulis dalam persamaan berikut :

$$Q_{in} = q_{tungku} + q_{plat} + q_{blower}$$

### Laju Pengeringan Efek Rumah Kaca

Laju pengeringan merupakan perbandingan antara selisih berat awal bahan dan berat akhir bahan yang dikeringkan dengan lamanya waktu pengeringan. Secara aktual dapat ditulis dalam persamaan berikut :

$$\dot{m} = \frac{W_0 - W_1}{t}$$

Dimana :

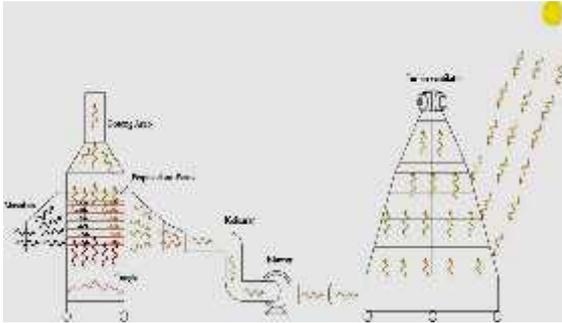
$\dot{m}$  = Laju pengeringan (kg/s)

$W_0$  = Berat bahan awal (kg)

$W_1$  = Berat bahan akhir (kg)

$t$  = Lamanya waktu pengeringan

## Skema Aliran Udara Panas pada Alat Pengering Efek Rumah Kaca



Pada tungku biomassa panas yang diperoleh dari pembakaran sekam padi, dimana udara lingkungan masuk melalui pipa, setelah blower dihidupkan maka udara panas akan dihantarkan ke alat pengering efek rumah kaca. Pada alat pengering efek rumah kaca juga terjadi radiasi gelombang pendek matahari masuk ke dalam bangunan alat pengering melalui penutup transparan/kaca pada dinding bangunan dan mengenai elemen-elemen bangunan. Sebagian dari gelombang pendek tersebut akan diserap dan dipantulkan kembali menjadi gelombang panjang, dimana gelombang panjang tersebut tidak dapat menembus penutup transparan/kaca sehingga menyebabkan temperatur di dalam ruang pengering menjadi meningkat.

Alat pengering efek rumah kaca akan terjadi perpindahan panas dan perpindahan massa, hal ini menyebabkan udara di ruang pengering menjadi lembab, dan udara lembab tersebut akan dihisap keluar karena adanya turbin ventilator yang terpasang di atas alat pengering efek rumah kaca. Dengan demikian proses pengeringan kapulaga akan berlangsung sampai dengan kadar air yang diinginkan.

### METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini akan didapatkan data-data dari hasil eksperimen pada sistem pengering efek rumah kaca untuk pengeringan kapulaga. Kemudian data-data dari hasil pengujian tersebut akan dianalisa untuk melihat laju pengeringan efek rumah kaca dengan tungku biomassa, yang ditampilkan dalam bentuk grafik hubungan intensitas sinar matahari terhadap waktu, Jumlah Panas pada tungku biomassa terhadap waktu. Jumlah Panas total masuk ERK dan pengurangan kadar air tiap

rak terhadap waktu pengeringan hari pertama, kedua dan ketiga dan Laju pengeringan dan jumlah panas total masuk ERK terhadap waktu dan penurunan kadar air terhadap waktu.

### Tempat dan Waktu Pengambilan Data

Penelitian ini terdiri dari tiga proses, yaitu: perancangan, pembuatan, dan uji coba. Proses perancangan dan pembuatan alat dilaksanakan di workshop mesin Institut Teknologi Padang. Proses uji coba dilakukan di lingkungan Institut Teknologi Padang. Waktu pengujian ini dilakukan dari jam 09.00 WIB s/d 16.00 WIB. Proses ini bertujuan untuk melihat kemampuan dari alat yang dibuat, dan laju pengeringan kapulaga dengan tungku biomassa dan pengambilan data parameter yang mempengaruhi kemampuan suatu alat pengering Efek Rumah Kaca untuk mengeringkan kapulaga.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengujian pengeringan Kapulaga dengan menggunakan alat pengering Efek Rumah Kaca dengan bantuan Tungku Biomassa dilakukan di lingkungan Institut Teknologi Padang. Pengering Efek Rumah Kaca terdiri dari empat tingkat rak pengering dimana alat ini memanfaatkan energi panas dari cahaya matahari sebagai sumber panasnya. Plat penyerap yang terdapat pada pengering Efek Rumah Kaca akan menyerap panas dari cahaya matahari yang kemudian akan dimanfaatkan untuk meningkatkan suhu dalam ruang pengering Efek Rumah Kaca tersebut.

Pengaruh cuaca kadang cahaya matahari tertutup awan sehingga suhu pada plat penyerap dapat berubah-ubah tungku biomassa diharapkan dapat membantu peningkatan suhu dalam ruang pengering Efek Rumah Kaca ini dalam eksperimen ini, sehingga suhu dalam dalam ruang pengering akan dapat dipertahankan dalam proses pengeringan Kapulaga. Tungku Biomassa pada alat pengering ini menggunakan bahan bakar sekam padi. Sekam padi dipilih karena merupakan salah satu limbah pertanian yang kurang termanfaatkan dan panas yang dihasilkan dari pembakaran sekam padi ini cukup stabil. Dengan menggunakan alat pengering efek rumah kaca dengan tungku biomassa mampu mempertahankan suhu ruang

pengering mampu mempercepat proses pengeringan kapulaga dengan kadar air yang relatif rendah sampai pada kondisi yang diinginkan. Adapun hasil yang diperoleh dari pengujian dilakukan berupa data ukur yang tercatat pada alat ukur seperti Intensitas Matahari yang diukur dengan menggunakan solarymeter. Temperatur panas dari pembakaran sekam padi, temperatur udara panas keluar menuju cerobong asap, temperatur permukaan pipa dan temperatur keluar dari pipa, temperatur udara masuk ruang pengering, temperatur pada plat penyerap, temperatur tiap tingkat rak pengering, temperatur udara keluar dari ruang pengering, diukur dengan menggunakan Thermometer. Dengan adanya hasil data ukur tersebut, maka selanjutnya akan dilakukan pengolahan data yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh variabel yang diukur terhadap laju pengeringan Kapulaga.



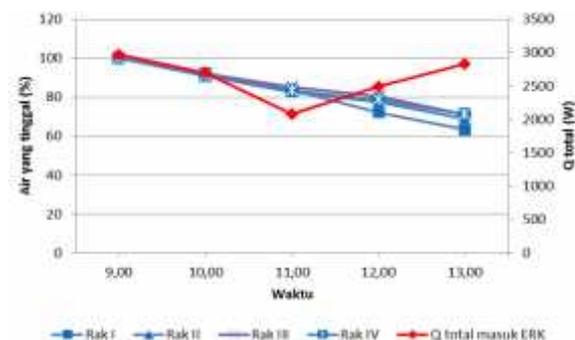
Grafik 4.1 Intensitas matahari terhadap waktu

Pada grafik 4.1 diperlihatkan intensitas matahari pada hari pertama berada di bawah  $800 \text{ W/m}^2$ , hal ini disebabkan karena kondisi cuaca pada saat itu yang kurang baik. Intensitas matahari tertinggi pada hari pertama adalah  $796.94 \text{ W/m}^2$ . Sedangkan pada hari kedua intensitas matahari tertinggi adalah  $985.68 \text{ W/m}^2$  yaitu pada jam 12.00 Wib. Pada hari ketiga Intensitas Matahari mulai relatif tinggi dengan kondisi cuaca yang cukup baik, dimana Intensitas matahari tertinggi yaitu pada jam 12.00 Wib sebesar  $1002.80 \text{ W/m}^2$ . Hal ini akan berpengaruh terhadap besarnya energi panas yang digunakan pada alat pengering efek Rumah Kaca dalam proses pengeringan Kapulaga.



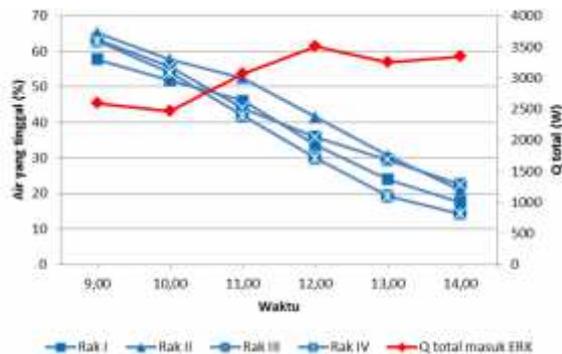
Grafik 4.2 Panas dari tungku biomassa terhadap waktu.

Pada grafik 4.2 diperlihatkan panas yang dihasilkan tungku biomassa pada hari pertama pengeringan tidak stabil, dimana pada jam 09.00 s/d jam 11.00 panas yang dihasilkan rendah karena sekam padi tidak terbakar sempurna. Namun dari jam 11.00 s/d jam 13.00 panas tungku mulai tinggi yaitu mencapai  $911.08 \text{ W}$ . Pada hari kedua pengeringan ini dapat dilihat bahwa panas yang dihasilkan tungku biomassa melalui pengolahan pembakaran sekam padi mulai stabil. Dimana panas tertinggi yang dihasilkan mencapai  $1026.82 \text{ W}$  yaitu pada jam 11.00 Wib. Sedikit ada penurunan panas disebabkan saat melakukan penambahan bahan sekam padi dilakukan dalam setiap jamnya. Pada hari ketiga pengeringan ini panas yang dihasilkan tungku biomassa, dimana panas yang dihasilkan berkisar dari  $889.56 \text{ W}$  sampai dengan  $1015.77 \text{ W}$ . Dengan demikian, disamping pemanfaatan energi panas matahari oleh pengering efek rumah kaca, energi panas dari tungku biomassa dapat dimanfaatkan untuk memberikan panas tambahan ke ruang pengering efek rumah kaca tersebut dalam proses pengeringan kapulaga.



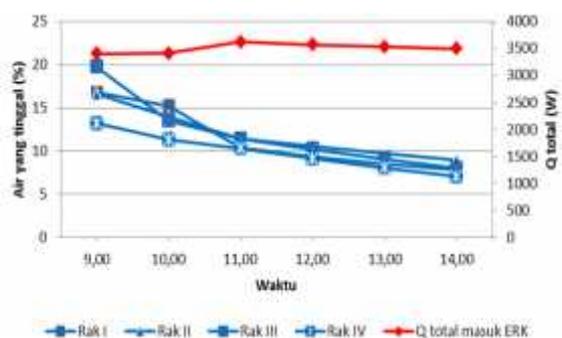
Grafik 4.3 Q total masuk ERK dan pengurangan kadar air tiap rak terhadap waktu pengeringan hari pertama.

Pada grafik 4.3 diperlihatkan pengeringan hari pertama ini dimulai dari jam 09.00 – jam 11.00 Wib pengurangan kadar air pada tiap rak hampir sama. Namun pada jam 12.00 – 13.00 wib rak 1 mengalami penurunan kadar air yang lebih cepat daripada rak lainnya. Hal ini dikarenakan panas yang masuk ke ruang pengering terlebih dahulu telah diserap oleh kapulaga di berada pada rak pertama, kemudian diteruskan pada kapulaga di rak II, kapulaga rak III dan kapulaga di rak IV.



Grafik 4.4 Q total masuk ERK dan pengurangan kadar air tiap rak terhadap waktu pengeringan hari kedua.

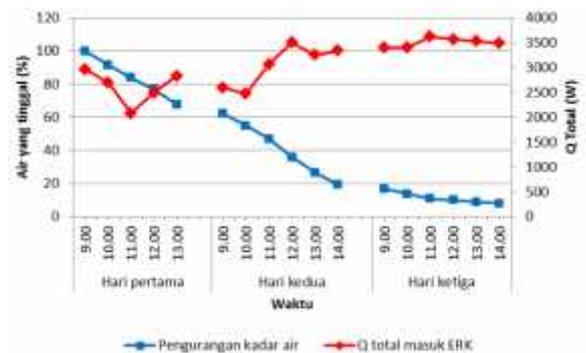
Pada grafik 4.4 diperlihatkan pengeringan hari kedua dapat dilihat bahwa pada rak I dan rak IV mengalami penurunan kadar air yang cepat. Hal ini disebabkan karena posisi dari rak I tersebut dekat dengan sumber panas. Sedangkan rak IV terletak pada posisi yang paling atas mendapat sinar langsung matahari.



Grafik 4.5 Q total masuk ERK dan pengurangan kadar air tiap rak terhadap waktu pengeringan hari ketiga.

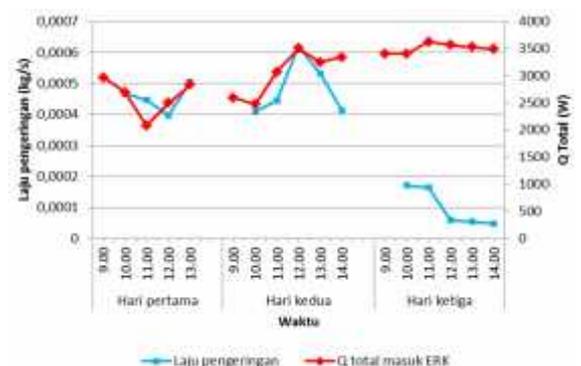
Pada grafik 4.5 diperlihatkan pengeringan kapulaga hari ketiga panas yang masuk ke ruang pengering lebih tinggi dibandingkan dengan pengeringan hari pertama dan

pengeringan hari kedua yaitu berkisar dari 3403,40 – 3621,94 Watt, hal ini disebabkan karena cuaca pada saat itu dalam kondisi cukup baik. Dengan adanya tambahan panas dari tungku biomassa, maka proses pengurangan kadar air pada kapulaga menjadi cepat. Dengan demikian proses pengeringan selama tiga hari dengan total 14 jam proses pengeringan diperoleh kadar air rata-rata yang tinggal dari kapulaga yaitu sebesar 8.09 %.



Grafik 4.6 Q total masuk ERK dan pengurangan kadar air total terhadap waktu.

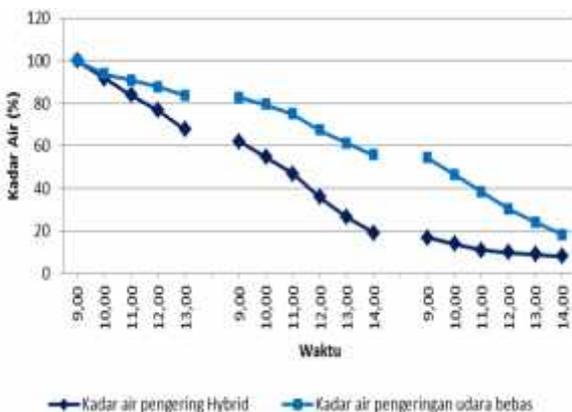
Pada grafik 4.6 diperlihatkan pengaruh panas yang masuk ke ruang pengering terhadap pengurangan kadar air kapulaga. Pada hari pertama pengeringan dilakukan selama 4 jam dengan menyisakan kadar air dari kapulaga sebesar 67.8%. Pada pengeringan hari kedua dengan selama 5 jam proses pengeringan kadar air kapulaga berkurang menjadi 19.2% dengan panas yang masuk ke ruang pengering berkisar dari 2593,78 – 3343,34 watt. Pada pengeringan hari ketiga, dengan rata-rata panas yang tinggi didapatkan kadar air akhir dari pengeringan yang dilakukan adalah sebesar 8.09% yaitu pada jam 14.00 Wib dimana panas yang masuk ruang pengering berkisar dari 3403,40 – 3621,94 watt.



Grafik 4.7 Laju pengeringan dan Q total masuk ERK terhadap waktu.

Pada grafik 4.7 diperlihatkan laju pengeringan dipengaruhi oleh panas yang masuk ke ruang pengering. Jika panas yang masuk ke ruang pengering tinggi, maka laju pengeringan kapulaga juga akan menjadi cepat. Dengan adanya tungku biomassa yang memberikan panas Pada grafik 4.7 diperlihatkan laju pengeringan dipengaruhi oleh panas yang masuk ke ruang pengering. Jika panas yang masuk ke ruang pengering tinggi, maka laju pengeringan kapulaga juga akan menjadi cepat. Dengan adanya tungku biomassa yang memberikan panas tambahan pada alat pengering efek rumah kaca maka laju pengeringan konstan tertinggi terjadi pada hari kedua jam 12.00 Wib yaitu 0.00062 kg/s dengan panas yang masuk ke ruang pengering mulai dari 2593,78 – 3504,87. Pada hari ketiga pengeringan, terjadi laju pengeringan menurun, ini disebabkan karena kadar air dalam bahan sudah semakin rendah dimana laju pengeringannya dimulai dari 0.00017 kg/s – 0.00004 kg/s.

Pada penelitian dilakukan dua pengamatan terhadap penurunan kadar air kapulaga yang dikeringkan dengan alat pengering Efek Rumah Kaca dengan bantuan Tungku Biomassa sebagai pemanas tambahannya dan pengeringan langsung di bawah sinar matahari. Hasil kadar Pada penelitian dilakukan dua pengamatan terhadap penurunan kadar air kapulaga yang dikeringkan dengan alat pengering Efek Rumah Kaca dengan bantuan Tungku Biomassa sebagai pemanas tambahannya dan pengeringan langsung di bawah sinar matahari. Hasil kadar air akhir dan laju pengeringan dapat dilihat pada grafik berikut :



Grafik 4.8 Perbandingan Penurunan kadar air terhadap waktu.

Pada grafik 4.8 diperlihatkan kadar air akhir yang didapatkan setelah melakukan pengeringan selama 14 jam adalah 8.09 %. Sedangkan kadar air akhir dengan melakukan pengeringan langsung selama 14 jam pengeringan adalah 18.1 %. Sesuai dengan tujuan penelitian, untuk mendapatkan kadar air 10-12 % telah dicapai pada 11 jam pengeringan yaitu pada hari ketiga menggunakan alat pengering Efek Rumah Kaca dengan bantuan Tungku Biomassa sebagai pemanas tambahannya dengan kadar air 10.93 %. Sedangkan untuk pengeringan udara bebas selama 11 jam pengeringan masih menyisakan kadar air sebesar 38.5 %.

## KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian ini, maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Laju pengeringan konstan tertinggi terjadi pada hari kedua pengeringan yaitu sebesar 0.00062 kg/s dengan intensitas matahari mulai dari 704.6 W/m<sup>2</sup> – 985.68 W/m<sup>2</sup>. Laju pengeringan menurun terjadi pada hari ketiga pengeringan yaitu dimulai dari 0.00017 kg/s – 0.00004 kg/s.
2. Untuk mendapatkan kadar air 10-12 % telah dicapai pada 11 jam pengeringan menggunakan alat pengering Efek Rumah Kaca dengan bantuan Tungku Biomassa sebagai pemanas tambahannya dengan kadar air 10.93 %.
3. Alat pengering Efek Rumah Kaca dengan bantuan Tungku Biomassa ini dapat dioperasikan pada cuaca yang selalu berubah-ubah.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hara Supratman, dkk. 1996. Refrigerasi dan Pengkondisian Udara. Jakarta: Erlangga.
- [2] Jensen, Ted J. 1995. Teknologi Rekayasa Surya. Terjemahan Oleh Wiranto Arismunandar, Cet 1. Jakarta: Pradnya Paramita.

- [3] Moran, Michael J, dkk. 2002. Termodinamika Teknik, Jilid II. Jakarta: Erlangga.
- [4] Situmpul, Tunggul M. 1993. Alat Penukar Panas. Jakarta Utara: Raja Grasindo Persada.
- [5] Nursuhud Djati. 2006. Mesin Konversi Energi Andi Yogyakarta.
- [6] Wahyudi. 2006. "Jurnal" Penelitian Nilai Kalor Biomassa : Perbandingan Antara Hasil Pengujian dengan Hasil Perhitungan. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- [7] M. White Frank. 1986. Mekanika Fluida Jakarta: Erlangga
- [8] <http://ciptatarunajaya.blogspot.com/2010/08/sejarah-kapulaga.html>
- [9] <http://www1.ceit.es/asignaturas/tecener1/HeatExchangersFormulas.pdf>
- [10] [http://www.me.iitb.ac.in/~kiyer/me210/lect\\_26\\_27.pdf](http://www.me.iitb.ac.in/~kiyer/me210/lect_26_27.pdf)
- [11] <http://wwwme.nchu.edu.tw/Enter/html/lab/lab516/Heat%20Transfer/chapter7.pdf>