



**PENGARUH RAK BERPUTAR PADA KINERJA PENERING SURYA TIPE EFEK RUMAH KACA (ERK) – HYBRID UNTUK PENERINGAN KAPULAGA LOKAL (*Amomum cardamomum Wild*)<sup>1)</sup>**  
**(Influence of Rotating Rack on the Performance of Hybrid-Green House Effect (GHE) Solar Dryer for Local Cardamom (*Amomum cardamomum Wild*))**

Sigit Triwahyudi<sup>1)</sup>, Leopold O. Nelwan<sup>2)</sup>, Sri Endah Agustina<sup>2)</sup>, dan Dyah Wulandani<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian  
Situgadung, P.O. Box 2, Serpong 15310, Tangerang, Banten  
Telp./Fax : (021) 5376580,70936787; (021) 7093684

<sup>2)</sup>Staf Pengajar pada Departemen Teknik Institut Pertanian Bogor  
Kampus IPB Darmaga  
Jl. Raya Darmaga, Bogor 16680  
Telp. (0251) 8622642

#### ABSTRAK

Keseragaman kadar air pada proses pengeringan berbagai produk, termasuk produk pertanian biasanya sulit dicapai tanpa adanya proses pengadukan. Akan tetapi tidak semua jenis produk pertanian dapat dilakukan proses pengadukan selama pengeringan berlangsung. Untuk itu diperlukan bentuk modifikasi pengering, antara lain dengan rancangan rak pengering yang dapat diputar ke arah vertikal. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja dari pengering yang dirancang, terutama keseragaman kadar air, dan kebutuhan energi spesifik selama proses pengeringan. Dalam penelitian ini dikeringkan 10 kg kapulaga untuk setiap perlakuan. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter yang mencakup perubahan suhu, kelembaban dan kadar air selama pengeringan. Sebanyak empat perlakuan pemutaran posisi rak diterapkan yaitu: (1) tanpa pemutaran dan tanpa pergeseran posisi rak; (2) posisi rak diputar dan bergeser 180 °C dari posisi semula; (3) posisi rak diputar dan bergeser 90 °C dari posisi semula dan (4) posisi rak diputar dan bergeser 45° dari posisi semula. Interval waktu pengukuran setiap 60 menit. Pada setiap interval waktu pengukuran tersebut dilakukan pemutaran rak selama 20 menit (menit ke 0-10 dan menit ke 50-60) serta pergeseran posisi rak setiap 60 menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata suhu pengeringan selama pengeringan berlangsung berkisar antara 41,3-48,1 °C dan kelembaban relatif (RH) antara 32,1-44,1 %. Berdasarkan kondisi tersebut, untuk mengeringkan 9,5-10,0 kg kapulaga lokal dari kadar air awal 80,3-82,7 % (bb) sampai kadar air akhir 9,9-10,6 % (bb) dibutuhkan waktu pengeringan selama 30-47 jam, laju pengeringan 1.5-2.4 % (bb)/jam. Kebutuhan energi spesifik (KES) 21,1-29,6 MJ/kg. Input energi yang berasal dari iradiasi surya berkisar antara 18,1-27,6 %. Efisiensi total sistem berkisar antara 11,4-16,1 %. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa kinerja pengering efek rumah kaca (ERK) hibrid dengan rak berputar dipengaruhi oleh pergeseran posisi rak. Dengan pergeseran posisi rak menyebabkan sebaran suhu bahan lebih seragam, sehingga menghasilkan kadar air yang lebih seragam, konsumsi energi spesifik menurun dan efisiensi total sistem meningkat. Perlakuan IV (pergeseran posisi rak 45°C) menunjukkan keseragaman terbaik pada perlakuan ini, simpangan baku (SD) untuk distribusi suhu bahan adalah sebesar 1,2 %, keseragaman kadar air sebesar 1,1 %, total efisiensi sistem pengeringan sebesar 16,2 % dan kebutuhan energi spesifik (KES) sebesar 21,1 MJ/kg.

Kata kunci: pengering matahari, efek rumah kaca, rak berputar, kapulaga.

#### ABSTRACT

*Uniformity of moisture content is generally difficult to be reached without stirring the product during drying process. Some products could not mix (as conventional dryer use to be) due to their physical characteristic. A dryer with rotated rack is needed for this purpose. A study on performance of hybrid greenhouse effect (GHE) solar dryer with vertical rotating rack for local cardamom (*Amomum cardamomum Willd*) drying has been conducted in Darmaga*

IPB Campus, Bogor, West Java. The objectives of this research were to evaluate the performance of the dryer and to identify amount of energy consumption that used during the drying process. A weight of 10 kg sample for each experiment has been used to measure the parameters, such as temperature, humidity and moisture content. In this study, four rack positions were investigated as experimental set up, which are as follows: (1) without rotating and shifting rack position; (2) rack position was turned around and shifted 180 °C; (3) rack position was turned around and shifted 90 °C and; (4) rack position was turned around and shifted 45 °C. Measurement of those parameters was done in every 60 minutes; whereas within the interval, the rack was rotated for 20 minutes (minute 0-10 and minute 50-60) and shifted in the minute of 60. Result showed that the average drying air temperature of the solar dryer are 41.3-48.1 °C and the relative humidity are 32.1-44.1 %. Further more, drying with this condition shows that 9.5-10 kg of local cardamom with initial moisture content of 80.3-82.7 % (wb) were dried for 30-47 hours until the moisture content reached 9.9-10.6 % (wb). The drying rate was 1.5-2.4 % (wb)/hour. Energy input from solar irradiation ranges from 18.1- 27.6 %. Specific energy consumption was 21.1-29.6 MJ/kg and total efficiency system 11.4-16.1 %. Results also showed that the performance of GHE solar dryer with rack rotation depends on rotating and shifting of rack. Based on the experiments, the best result was achieve by experiment IV (best uniformity of moisture content and temperature), standard deviation (SD) for moisture content and temperature was 1.1 and 1.2 % respectively, total efficiency system was 16.2 % and specific energy consumption was 21.1 MJ/kg.

Keyword: Solar dryer, greenhouse effect, rotating rack, cardamom

## PENDAHULUAN

Kebutuhan kapulaga (*Amomum*) baik untuk pasar domestik maupun ekspor cukup besar. Untuk industri obat tradisional di Indonesia kebutuhannya sebesar 3000 ton/tahun. PT. Jamu Nyonya Meneer yang memproduksi 200 ton jamu bubuk dan 4 ton kapsul perbulan memerlukan kapulaga sekitar 10 – 15 ton/bulan, namun baru bisa dipenuhi oleh pemasok sekitar 5 ton/bulan. Untuk pemasaran luar negeri, dari kebutuhan Cina sejumlah 400 ton per bulan, Indonesia baru bisa memenuhi permintaan tersebut sebesar 40 ton atau hanya sekitar 10% nya (Anonim , 2007).

Pengolahan kapulaga di Indonesia masih dilakukan secara tradisional dan belum memperhatikan persyaratan mutu. Sebagian besar petani dan pedagang pengumpul biasanya mengeringkan buah kapulaga dengan cara menjemur secara langsung setelah buah dipanen tanpa terlebih dahulu melalui proses pembersihan dengan dicuci dan perlakuan lainnya. Pengeringan dengan cara konvensional ini memang murah dan praktis, namun memiliki beberapa kelemahan. Selain dibutuhkan lahan yang sangat luas, juga memungkinkan terjadinya kontaminasi produk oleh debu, kotoran dan polusi kendaraan pada produk yang dikeringkan di pinggir jalan, sehingga kurang higienis yang menyebabkan mutu menjadi rendah. Selain itu karena waktu pengeringan yang lama (7-10 hari) juga akan menghasilkan mutu yang jelek karena kulit banyak yang pecah, biji banyak yang keluar, warna kulit tidak bagus dan mudah terserang jamur dalam penyimpanannya (Majo, 1989).

Permasalahan tersebut di atas dapat diatasi dengan menerapkan pengeringan menggunakan mesin, diantaranya Pengereng Efek Rumah Kaca (ERK) sebagai pengganti metode penjemuran langsung dengan lamporan. Pengereng Efek Rumah Kaca (ERK) adalah bangunan berbentuk segi empat, silinder atau kerucut terpancung, berdinding transparan untuk mengeringkan produk-produk pertanian. Sumber energi pengeringan diperoleh dari surya dan biomassa. Dinding plastik transparan berfungsi untuk memerangkap gelombang panjang yang terjadi di dalamnya, sehingga terjadi akumulasi panas yang berguna untuk mengeringkan produk. Kipas berfungsi untuk mengeluarkan uap air hasil pengeringan dari ruang pengering dan tambahan energi biomassa digunakan untuk membantu pemanasan jika energi surya tidak mencukupi.

Kendala yang dijumpai pada pengering ERK tipe rak selama ini adalah masalah keseragaman kadar air akhir produk yang dikeringkan. Kadar air merupakan salah satu parameter mutu yang perlu diperhatikan dalam mengeringkan produk. Kadar air yang tinggi menjadi tempat tumbuh yang subur bagi mikroorganisme khususnya jamur. Jika hal ini terjadi maka mutu produk yang dihasilkan rendah, dan akhirnya harga produk pun jatuh. Salah satu penyebab beragamnya kadar air produk hasil pengeringan adalah distribusi aliran panas yang tidak merata di dalam ruang pengering selama proses pengeringan, khususnya tipe rak.

Hasil penelitian sebelumnya (Mursalim, 1995), mendapatkan perbedaan suhu sekitar 10°C antara rak bagian tengah dan bawah pada pengeringan panili. Hasil penelitian Ratnawati



(2003), pada pengeringan cengkeh dengan pengering ERK tipe rak statis didapatkan suhu rak 1 sebesar  $46,9^{\circ}\text{C}$ , rak 2 sebesar  $39,6^{\circ}\text{C}$  dan rak 3 sebesar  $38,5^{\circ}\text{C}$  atau perbedaan suhu antara rak 1 dengan rak 3 sebesar  $8,4^{\circ}\text{C}$ . Wulandani (2005), melaporkan pada pengering ERK dengan bangunan segi empat menunjukkan bahwa perbedaan suhu yang terjadi pada arah vertikal lebih besar dibandingkan dengan suhu pada arah horisontal. Oleh karena itu pengering efek rumah kaca harus dimodifikasi dengan tempat pengeringan yang memungkinkan produk mencapai suhu dan kadar air akhir yang seragam, yaitu dengan cara memutar produk dengan sistem pemutaran tempat/wadah dari produk. Hal tersebut seperti pernah dilakukan oleh Nelwan (2005), yaitu dengan rak berputar secara horisontal dan Mulyantara (2008), dengan wadah silinder yang diputar secara vertikal. Pemutaran secara horisontal masih memberikan ketidakseragaman yang cukup signifikan. Untuk itu dalam penelitian ini dirancang rak pengering yang dapat diputar kearah vertikal yang diharapkan dapat meminimalkan perbedaan suhu tersebut.

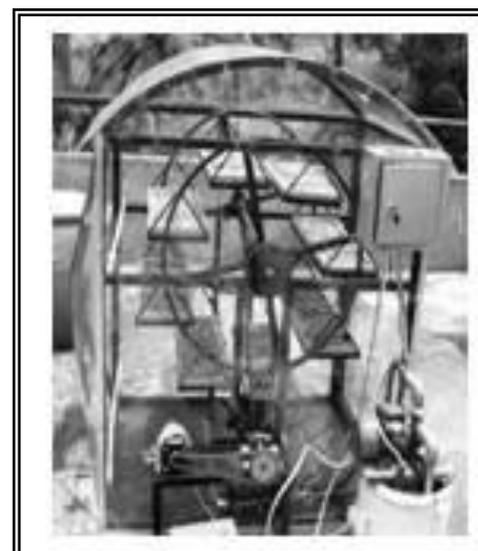
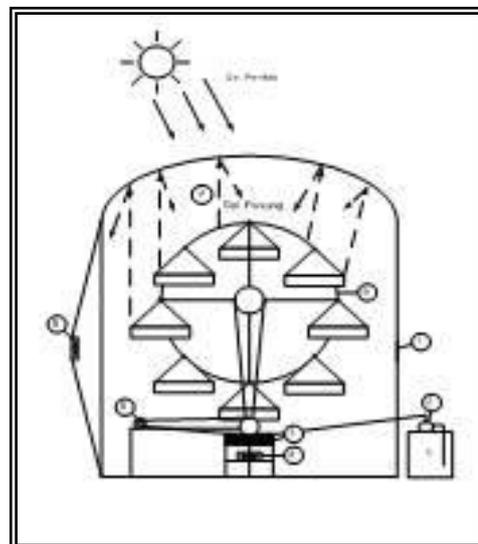
Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja pengering serta menentukan konsumsi energi dan efisiensi pengering ERK-*hybrid* dengan rak berputar secara vertikal untuk mengeringkan kapulaga lokal (*Amomum cardamomum Willd*).

## BAHAN DAN METODE

### Bahan dan Alat

Penelitian dilakukan di Laboratorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian, Departemen Teknik Pertanian, Fateta, IPB. Waktu penelitian dimulai dari bulan Desember 2008 sampai dengan bulan Februari 2009. Bahan yang dikeringkan dalam penelitian ini adalah kapulaga lokal hasil panen petani di daerah Sukabumi. Alat yang digunakan meliputi pengering ERK-*hybrid* tipe rak berputar (Gambar 1). Alat pengering tersebut terdiri dari tiga bagian utama yaitu, bangunan rumah dengan ukuran (pxlxt)  $1.100 \times 860 \times 1.300$  mm, silinder pengering dengan rak pengering sejumlah delapan buah rak ukuran  $60 \times 20$  mm berkapasitas 10 kg yang digerakkan dengan motor penggerak 40 W, dan bagian pemanas tambahan terdiri dari tangki air dengan elemen pemanas 1.000 W, pompa air untuk sirkulasi dan radiator untuk pembangkit panasnya.

Alat-alat ukur yang digunakan meliputi timbangan digital kapasitas 5 kg Model EK-1200 A, termokopel tipe T (C-C), pyranometer, oven pengering SS-204D, *hybrid recorder* HR-2500E, anemomaster Kanomax Model 6011.



Keterangan :

1. Tangki air + pemanas,
2. Pompa air,
3. Penukar panas (HE),
4. Kipas,
5. Motor penggerak,
6. Silinder berputar + rak pengering,
7. Inlet udara,
8. Kipas outlet,
9. Sistem pengering ERK

Gambar 1. Alat pengering ERK-Hybrid tipe rak berputar.

**Metodologi**

**Parameter Uji Unjuk Verja**

Parameter uji unjuk kerja alat pengering yang diamati meliputi: lama pengeringan, laju penurunan kadar air, suhu ruang (rata-rata dan maksimal), RH ruang (rata-rata dan maksimal), suhu bahan, efisiensi termal bangunan, efisiensi pengeringan oleh udara pengering, efisiensi total dan kebutuhan energi spesifik.

**Metode Pengujian**

Pada percobaan ini dikeringkan kapulaga lokal (*Amomum cardamomum Wild*), sebanyak

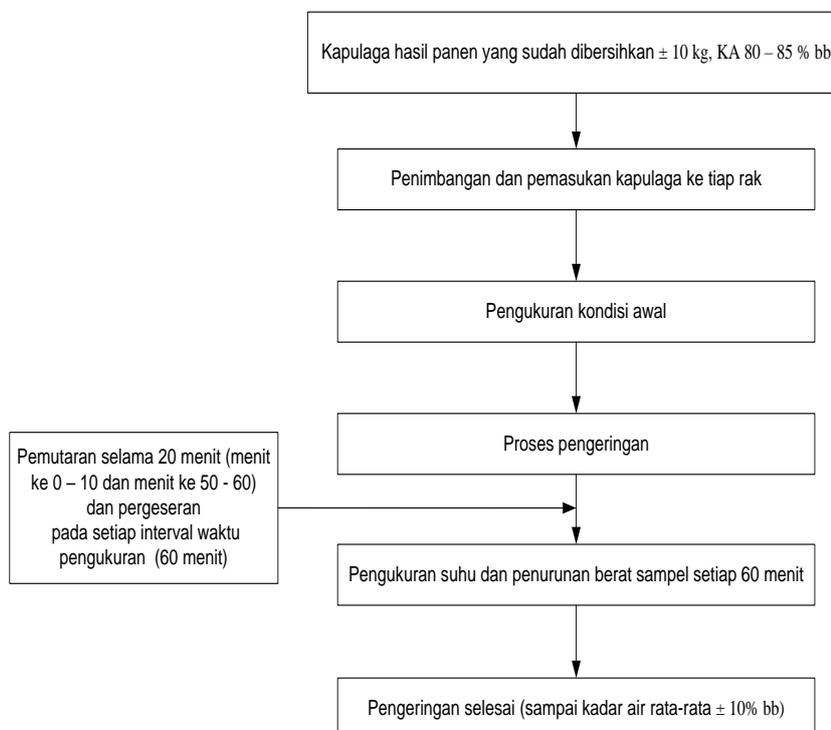
10 kg setiap perlakuan. Pengeringan dihentikan jika kadar air bahan mencapai 10% (bb). Diagram alir proses pengeringan kapulaga dengan pengering ERK-*hybrid* tipe rak berputar dapat dilihat pada Gambar 2.

**Percobaan Pemutaran dan Pergeseran Rak Pengering**

Dalam penelitian ini dilakukan empat percobaan pemutaran dan pergeseran posisi rak seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Percobaan pada pengujian unjuk kerja ERK-*Hybrid* tipe rak berputar.

Perlakuan	Deskripsi
I (kontrol)	Tanpa pemutaran dan tanpa pergeseran posisi rak pengering
II	Pemutaran selama 20 menit (menit ke 0-10 dan menit ke 50-60) serta pergeseran posisi rak 180° setiap 60 menit
II	Pemutaran selama 20 menit (menit ke 0-10 dan menit ke 50-60) serta pergeseran posisi rak 90° setiap 60 menit
IV	Pemutaran selama 20 menit (menit ke 0-10 dan menit ke 50-60) serta pergeseran posisi rak 45° setiap 60 menit



Gambar 2. Diagram alir proses pengeringan kapulaga



**Pengambilan Data**

Pada pengujian alat pengering ERK-Hybrid tipe rak berputar ini parameter yang diukur meliputi : (1) Massa dan kadar air; (2) Suhu meliputi suhu udara lingkungan, plat (lantai), *inlet, outlet*, ruang pengering, bahan, dan suhu air dalam tangki serta suhu air keluar penukar panas; (3) Kelembaban relatif (RH) dari lingkungan, RH ruang pengering dan RH udara keluar ruang pengering (out let); (4) Waktu pengoperasian alat; (5) Kebutuhan energi listrik; (6) Iradiasi surya (7) Kecepatan angin .

Rumus-rumus yang dipakai dalam percobaan ini adalah sebagai berikut; Menurut Nelwan (1997) efisiensi termal ruang pengering adalah :

$$\eta_T = \frac{m_u C_{p_u} (t_r - t_a)}{3.6 I A \tau \alpha \theta_t + 3.6 P_h \theta_t} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Efisiensi pengeringan ( $\eta_{up}$ ) adalah perbandingan energi yang digunakan untuk memanaskan bahan dengan energi yang diberikan udara pengering ke bahan.

$$\eta_{up} = \frac{m_p C_{p_p} (t_p - t_a) + m_v H f_g}{m_u C_{p_u} (t_r - t_a)} \times 100\% \dots\dots(2)$$

Efisiensi pengeringan total :

$$\eta_{SP} = \frac{m_p C_{p_p} (t_p - t_a) + m_v H f_g}{3.6 I A \tau \alpha \theta_t + 3.6 P_t \theta_t} \times 100\% \dots\dots(3)$$

Konsumsi energi spesifik :

$$E_s = \frac{3.6 I A \tau \alpha \theta_t + 3.6 P_t \theta_t}{m_v} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :

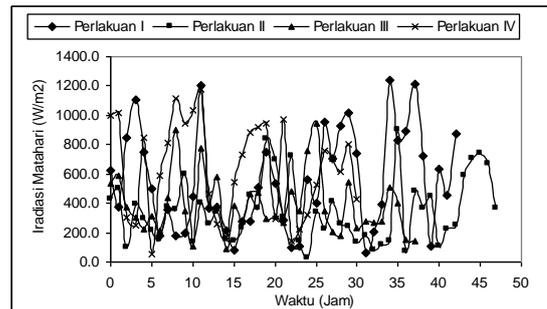
A	Luas (kontak) permukaan	m <sup>2</sup>
C <sub>p</sub>	Panas jenis	kJ/kg <sup>o</sup> K
h <sub>fg</sub>	Panas laten penguapan	kJ/kg
I	Iradiasi	kW/m <sup>2</sup>
m <sub>p</sub>	Massa produk	kg
m <sub>u</sub>	Massa udara	kg
m <sub>v</sub>	Laju massa air yang diuapkan	kg/det
M	Kadar air	%bk
P <sub>h</sub>	Daya listrik	W
P <sub>t</sub>	Daya listrik total	W
t <sub>a</sub>	Suhu lingkungan	°C
t <sub>p</sub>	Suhu bahan/produk	°C
t <sub>r</sub>	Suhu ruang pengering	°C
Q4	Energi yang masuk (dikonsumsi) oleh sistem, dengan radiasi	kJ
Q5	Energi yang masuk (dikonsumsi) oleh sistem, tanpa radiasi	kJ
α	Absorptivitas	-

τ	Transmisivitas	-
θ	Waktu	detik
η <sub>r</sub>	Efisiensi termal ruang pengering	%
η <sub>up</sub>	Efisiensi pengeringan oleh udara Pengering	%
η <sub>sp</sub>	Efisiensi total sistem pengering	%
η <sub>E</sub>	Kebutuhan energi spesifik	MJ/kg

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Iradiasi, Suhu dan RH Lingkungan**

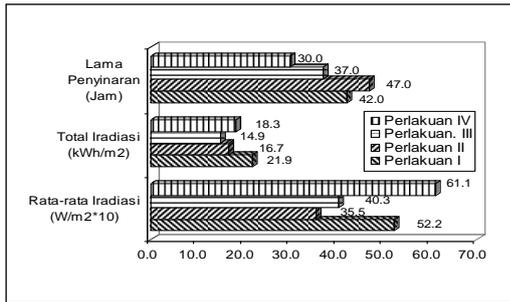
Percobaan dengan perlakuan pengeringan I (kontrol), II, III dan IV hanya dilakukan pada siang hari. Iradiasi matahari sesaat yang tercatat selama percobaan berlangsung (diukur pada saat alat pengering dioperasikan) disajikan pada Gambar 3. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa penerimaan iradiasi sangat berfluktuasi dapat ditunjukkan dengan dicapainya iradiasi maksimum perlakuan I, II, III dan IV masing-masing 1238,6; 902,9; 945,7 dan 1177,1 W/m<sup>2</sup>, dan iradiasi minimumnya 65,7; 28,6; 90,0 dan 55,7 W/m<sup>2</sup>.



Gambar 3. Iradiasi surya perlakuan I, II, III dan IV

Lama penyinaran yang diterima saat berlangsungnya pengeringan jelas sekali berpengaruh pada total iradiasi surya yang diterima (Gambar 4). Pada perlakuan I dengan lama penyinaran 42 jam, total iradiasi surya mencapai 21,9 kWh/m<sup>2</sup>, perlakuan II lama penyinaran 47 jam total iradiasi 16,7 kWh/m<sup>2</sup>, perlakuan III dengan lama penyinaran 37 jam, total iradiasi surya sebesar 14,9 kWh/m<sup>2</sup>, sedangkan pada perlakuan IV lama penyinaran selama 30 jam, total iradiasi surya mencapai 18,3 kWh/m<sup>2</sup>.

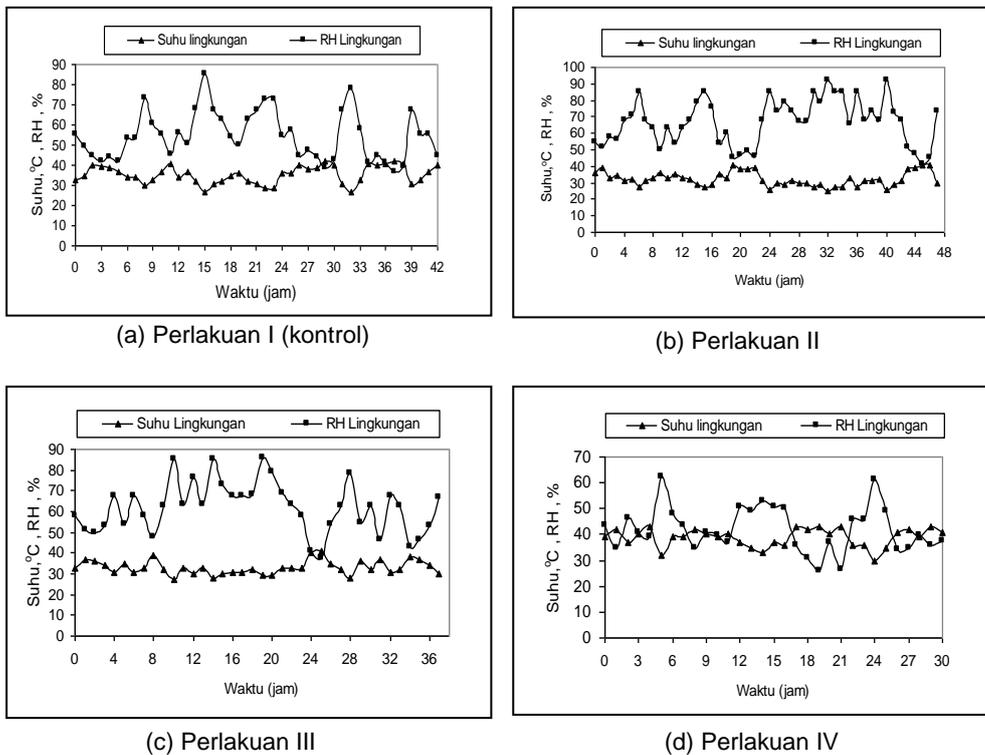
Iradiasi rata-rata yang diterima pada perlakuan I adalah 522,0 W/m<sup>2</sup>, perlakuan II sebesar 355,1 W/m<sup>2</sup>, perlakuan III sebesar 403,1 W/m<sup>2</sup> dan perlakuan IV sebesar 611,3 W/m<sup>2</sup>. Penerimaan iradiasi rata-rata untuk perlakuan IV lebih tinggi bila dibandingkan dengan rata-rata penerimaan iradiasi matahari di Indonesia 562,5 W/m<sup>2</sup> (Nelwan, 1997).



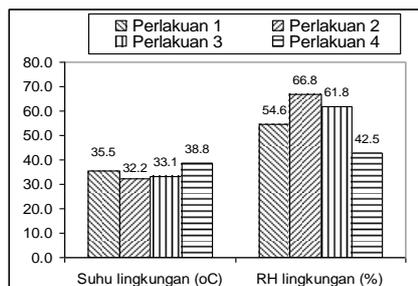
Gambar 4. Lama penyinaran, total dan rata-rata iradiasi selama pengeringan berlangsung untuk ke empat perlakuan.

Suhu lingkungan berfluktuasi mengikuti iradiasi matahari seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Kisaran suhu lingkungan pada

perlakuan I berlangsung antara 27,0 – 42,00C dengan rata-rata suhu yaitu 35,50C, pada perlakuan II antara 25,0– 41,0<sup>0</sup>C, dengan rata-rata suhu 32,2<sup>0</sup>C, perlakuan III antara 27,0 – 41,0<sup>0</sup>C, suhu rata-rata 33,1<sup>0</sup>C dan pada perlakuan IV berkisar antara 30 - 43<sup>0</sup>C dengan suhu rata-rata 38,8<sup>0</sup>C. RH lingkungan pada perlakuan I berkisar antara 36,7 – 85,2%, perlakuan II antara 41,5 – 92,3%, perlakuan III antara 37,7 – 85,7% dan perlakuan IV dengan kisaran 25,9 – 62,5% dengan rata-rata masing-masing berturut-turut adalah 54,6%, 66,8%, 61,2% dan 42,1%.



Gambar 5. Suhu dan RH lingkungan selama pengeringan berlangsung



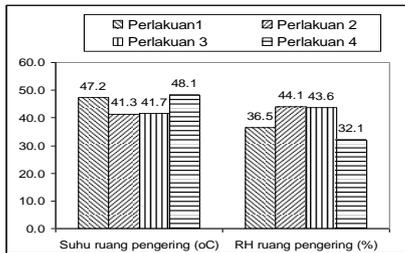
Gambar 6. Rata-rata suhu dan RH lingkungan selama pengeringan



**Performansi Alat Pengering ERK-Hybrid dengan Rak Berputar Secara Vertikal**

**Suhu dan RH Ruang**

Suhu ruang dan RH ruang juga berfluktuasi mengikuti iradiasi surya sebagaimana suhu dan RH lingkungan. Kisaran suhu ruang yang terjadi pada keempat perlakuan berturut-turut adalah 32,8 – 63,4<sup>o</sup>C, 29,7 – 52,6<sup>o</sup>C, 31,8 –51,2<sup>o</sup>C dan 32,9 - 54,4<sup>o</sup>C dengan nilai rata-rata 47,1<sup>o</sup>C, 41,3<sup>o</sup>C, 41,7<sup>o</sup>C dan 48,1<sup>o</sup>C , sedangkan RH berselang antara 16,3% - 64,1%, 26,8 – 68,6%, 29,4 – 69,2% dan 23,8% - 53,0% dengan nilai rata-rata 36,5%, 44,1%, 43,6% dan 32,1%. Suhu rata-rata tertinggi dan RH terendah terjadi pada perlakuan IV, hal ini sesuai dengan penerimaan iradiasi surya seperti pada Gambar 3. Rata-rata suhu ruang untuk perlakuan II dan III relatif rendah disebabkan oleh iradiasi rata-rata yang diterima juga relatif rendah. Pada kondisi tersebut panas ruangan sebagian besar disuplai dari pemanas tambahan. Gambar 7 memperlihatkan rata-rata suhu dan RH ruang selama proses pengeringan berlangsung.



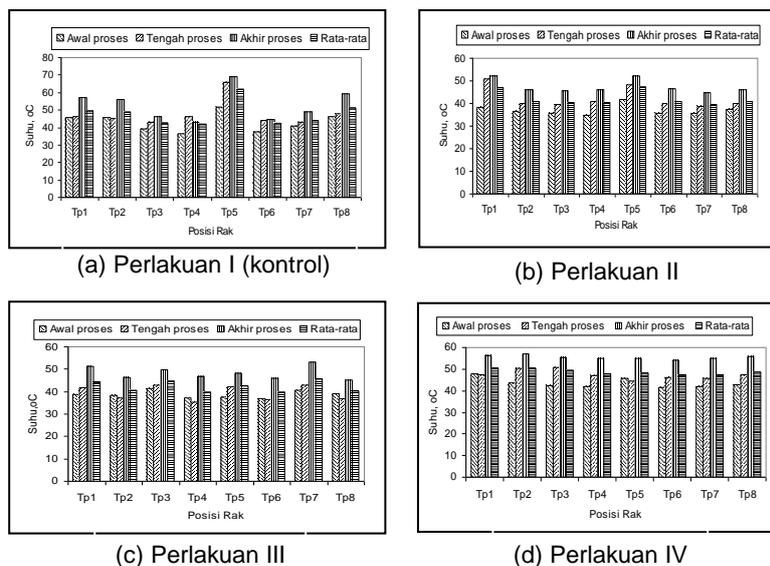
Gambar 7. Rata-rata suhu dan RH ruang selama pengeringan berlangsung

**Sebaran Suhu Bahan pada Tiap Rak Pengering**

Suhu bahan pada tiap rak pengering diukur dengan termokopel tipe T (C-C). Sebaran suhu rata-rata yang terjadi pada awal proses pengeringan, tengah proses dan akhir proses pengeringan pada perlakuan I, II, III dan IV dapat dilihat pada Gambar 8.

Dari Gambar tersebut terlihat bahwa pada awal proses pengeringan rata-rata suhu bahan masih cukup rendah kemudian mulai meningkat pada tengah proses dan pada akhir proses. Hal tersebut disebabkan pada awal proses kadar air bahan masih cukup tinggi, panas pada udara pengering digunakan lebih dominan untuk menguapkan air bahan juga dimanfaatkan untuk memanaskan bahan terlebih dahulu. Pada perlakuan I (kontrol) dimana tidak dilakukan pemutaran dan pergeseran rak, terlihat suhu bahan pada rak 5 mempunyai suhu yang paling tinggi, hal tersebut disebabkan posisi rak 5 berada di atas penakar panas (HE).

Pada perlakuan IV dengan posisi rak yang digeser 45<sup>o</sup> pada setiap jam terlihat jelas perbedaan suhu untuk setiap posisi rak pengering lebih seragam jika dibandingkan dengan perlakuan I, II dan III. Sebaran suhu rak yang cukup merata tersebut disebabkan karena setiap rak mendapatkan iradiasi surya maupun panas dari pemanas tambahan secara merata. Sebaran suhu tiap rak yang cukup merata pada perlakuan IV terlihat dari nilai ragam yang cukup kecil yaitu sebesar 1,2% jika dibandingkan nilai ragam pada perlakuan I (kontrol) sebesar 6,8%, perlakuan II sebesar 3,1% dan perlakuan III sebesar 2,3%.

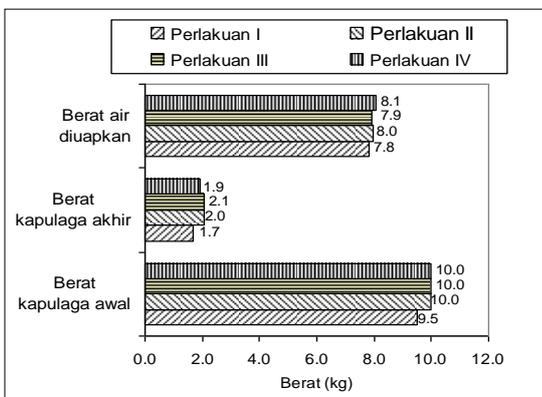


Gambar 8. Sebaran suhu bahan pada tiap rak pengering

### Penurunan Kadar Air Kapulaga

Jumlah kapulaga yang digunakan pada percobaan dengan perlakuan pengeringan I adalah 9,5 kg, perlakuan II, III dan perlakuan IV sebanyak 10,0 kg. Sampel kadar air diukur pada tiap rak diambil dengan interval waktu satu jam.

Jumlah air yang diuapkan dari biji pada perlakuan I sebesar 7,8 kg, perlakuan II sebesar 7,9 kg, perlakuan III sebesar 8,0 kg sedangkan perlakuan IV adalah 8,1 kg. Hal ini karena kadar air awal pengeringan I lebih kecil. Pada perlakuan I kadar air awal kapulaga adalah 80,3% (bb). dikeringkan sampai kadar air 10,3%(bb). membutuhkan waktu pengeringan 42 jam. Kadar air awal kapulaga perlakuan II adalah 81.2%(bb). dikeringkan sampai kadar air 10,1%(bb). dengan waktu pengeringan 47 jam. Kadar air awal kapulaga perlakuan III adalah 81,7%(bb). dikeringkan sampai kadar air 9,9%(bb). dengan waktu pengeringan 37 jam, sedangkan kadar air awal kapulaga perlakuan IV adalah 82,7%(bb). dikeringkan sampai kadar air 10,6%(bb) dengan waktu pengeringan 30 jam. Jumlah air yang diuapkan selama pengeringan dilukiskan pada Gambar 9.

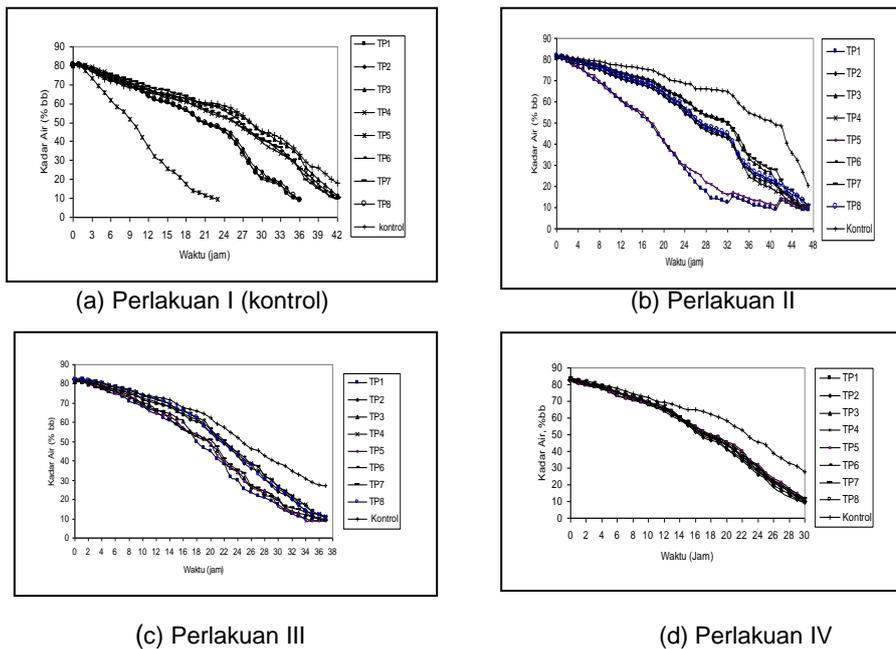


Gambar 9. Komposisi biji kapulaga dan air yang diuapkan.

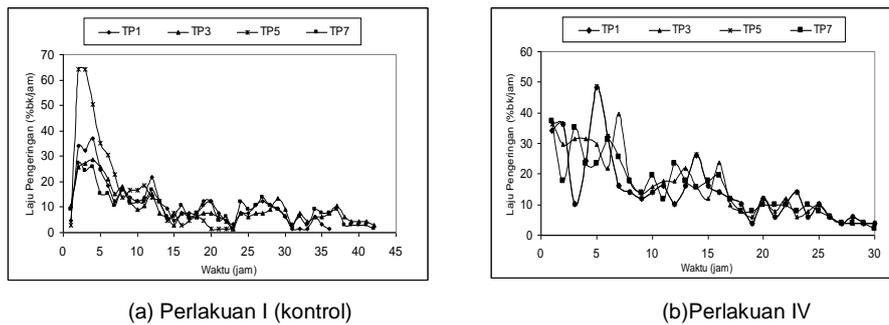
Sedangkan penurunan kadar air pada keempat perlakuan digambarkan pada Gambar 10. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada perlakuan I (kontrol) dan perlakuan II menunjukkan pola penurunan kadar air yang hampir sama, namun bila dilihat dari nilai ragaamnya perlakuan II mempunyai nilai ragam yang lebih kecil. Nilai ragam untuk perlakuan I sebesar 7,5% sedangkan perlakuan II nilai ragamnya 6,8%. Untuk perlakuan III menghasilkan penurunan kadar air yang lebih

seragam jika dibandingkan dengan perlakuan I dan perlakuan II, dengan nilai ragam kadar air sebesar 3.3%. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan pergeseran posisi rak mengakibatkan sebaran kadar air tiap rak lebih seragam. Dari Gambar tersebut juga terlihat untuk perlakuan IV menghasilkan penurunan kadar air yang paling seragam untuk tiap rak dengan nilai ragam 1,1%. Hal tersebut disebabkan oleh karena pada perlakuan IV tiap rak mendapatkan panas yang lebih merata seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8, perlakuan IV. Nilai ragam untuk percobaan pada perlakuan I, II, III dan IV dapat dilihat pada Gambar 12.

Untuk melihat laju penurunan kadar air (laju pengeringan), maka dilukiskan laju pengeringan terhadap waktu pengeringan seperti pada Gambar 11. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa pada perlakuan I (kontrol) laju penurunan untuk rak ke-5 (Tp5) lebih tinggi jika dibandingkan dengan rak-rak yang lain, diikuti dengan rak 1, 3 dan 7. Hal tersebut disebabkan karena pada perlakuan I (kontrol) tidak dilakukan pergeseran posisi rak, sehingga rak 5 posisinya selalu berada di atas penukar panas, rak 1 posisinya selalu berada pada posisi atas sehingga mendapatkan iradiasi secara langsung, sedangkan rak 3 dan 7 posisinya berada pada posisi tengah sehingga kurang mendapatkan panas seperti terlihat pada sebaran suhu pada Gambar 8. Sedangkan untuk perlakuan IV, pada awal pengeringan mempunyai laju pengeringan yang berfluktuasi akan tetapi setelah 10 jam laju pengeringan untuk setiap rak relatif lebih seragam. Hal tersebut disebabkan karena untuk perlakuan IV dilakukan pergeseran posisi rak sehingga rata-rata suhu untuk setiap rak relatif seragam seperti terlihat pada Gambar 8.



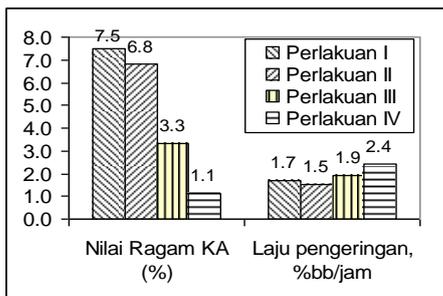
Gambar 10. Penurunan kadar air untuk ke empat perlakuan



Gambar 11. Kurva laju penurunan kadar air terhadap waktu

Laju penurunan kadar air rata-rata untuk perlakuan I (kontrol) adalah 1,7%(bb)/jam (9,4% (bk)/jam), pada perlakuan II sebesar 1,5% (bb)/jam (9,1% (bk)/jam), pada perlakuan III sebesar 1,9% (bb)/jam (11,8% (bk)/jam), sedangkan pada perlakuan IV sebesar 2,4% (bb)/jam (15,5% (bk)/jam) seperti terlihat pada Gambar 12.

Hasil penelitian Fahimah (1991), pada pengeringan kapulaga sabrang (*Eletaria cardamomum* Maton) dengan kapasitas 10 kg pada tebal tumpukan 5 cm dan suhu 50°C serta kecepatan aliran udara pengering 0,5 m/detik, laju pengeringan yang diperoleh sebesar 2,6% (bb)/jam dengan waktu pengeringan 27 jam. Hasil pengujian Dellia (2002), pada pengeringan kapulaga lokal (*Amomum cardamomum* Willd) dengan menggunakan microwave dengan suhu yang berfluktuasi dari 40 – 110°C, didapatkan laju pengeringan untuk 3 lapis sebesar 3,6% (bb)/jam dan lama pengeringan 19,4 jam.



Gambar 12. Nilai ragam kadar air dan laju pengeringan

### Kebutuhan Energi pada Alat Pengering

#### ERK-Hybrid dengan Rak Berputar

Penggunaan energi pada pengeringan bahan pertanian merupakan 60% dari seluruh energi yang dipergunakan untuk proses

produksi suatu bahan pertanian (Brooker *et al*, 1992). Konsumsi energi pada pengering ERK-*Hybrid* pada Perlakuan ini berasal dari iradiasi surya dan listrik. Energi listrik selain dipergunakan untuk pemanas tambahan juga dipergunakan untuk tenaga penggerak untuk memutar rak pengering, pompa serta kipas penghembus.

Besarnya penggunaan energi selama pengeringan berlangsung dapat dilihat pada Tabel 2. Persentase energi surya perlakuan I, II, III dan perlakuan IV berturut-turut adalah, 24,5%, 18,1% ,20,1% dan 27,6% persentase ini lebih tinggi bila dibandingkan dengan pengeringan kakao skala 133-228 kg dengan pengering ERK oleh Nelwan (1997), yaitu berkisar antara 10,7-16,4%. Persentase energi pemanas air berturut-turut untuk perlakuan I, II, III dan perlakuan IV adalah 66,0%, 71,6%, 69,9% dan 63,3%. Sedangkan energi listrik berturut-turut untuk perlakuan I, II, III dan perlakuan IV 9,5%, 10,3%, 10,0% dan 9,1%.

Tabel 2. Komposisi penggunaan energi untuk pengeringan kapulaga.

Sumber Energi	Percobaan I		Percobaan II		Percobaan III		Percobaan IV	
	MJ	%	MJ	%	MJ	%	MJ	%
Surya	56,6	24,5	42,7	18,1	38,2	20,1	47,0	27,6
Pemanas air*	151,0	66,0	169,0	71,6	133,0	69,9	107,9	63,3
Listrik**	21,6	9,5	24,2	10,3	19,1	10,0	15,5	9,1
Total	228,8	100,0	236,0	100,0	190,3	100,0	170,0	100,0

Keterangan :

\* Pemanas air dengan menggunakan elektrik **heater** 1.000 watt

\*\* Untuk menggerakkan kipas pada penukar panas, kipas **outlet** dan penukar silinder rak pengering

Besarnya masukan energi surya bergantung pada lama pengeringan dan kondisi cuaca selama pengeringan berlangsung. Pada perlakuan IV persentase energi surya menunjukkan nilai yang tertinggi, hal ini sesuai dengan besarnya iradiasi rata-rata seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Untuk penggunaan energi listrik terlihat bahwa kebutuhan terbesar baik untuk pemanas air dan untuk keperluan menggerakkan kipas, pompa dan pemutar silinder pengering, terlihat bahwa pada perlakuan II menggunakan energi paling besar, sedangkan penggunaan pada perlakuan IV adalah yang paling kecil. Hal ini disebabkan oleh waktu pengeringan pada perlakuan II adalah yang paling lama dan pada perlakuan IV adalah yang paling cepat.

## Efisiensi Penggunaan Energi pada Alat Pengering ERK-Hybrid dengan Rak Berputar

Untuk melihat efisiensi penggunaan energi oleh alat pengering ERK-*Hybrid* yang diuji pada proses pengeringan dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan-perhitungan efisiensi yang meliputi efisiensi termal bangunan, efisiensi pengeringan dan efisiensi total sistem.

Efisiensi termal bangunan ( $\eta_T$ ), yaitu perbandingan energi yang dipakai untuk memanaskan udara pengering dengan energi panas yang dihasilkan oleh pemanas air (*heater*) dan iradiasi matahari dihitung dengan menggunakan persamaan (1) Efisiensi pengeringan ( $\eta_{up}$ ) adalah perbandingan energi yang digunakan untuk memanaskan bahan dengan energi yang diberikan udara pengering ke bahan, dihitung dengan menggunakan persamaan (2). Sedangkan efisiensi total sistem pengeringan ( $\eta_{sp}$ ) adalah perbandingan besarnya energi yang dapat digunakan untuk memanaskan bahan dan menguapkan uap air dari bahan terhadap energi total yang tersedia untuk seluruh sistem pengeringan dihitung dengan menggunakan persamaan (3).

Kinerja, kebutuhan energi dan efisiensi pengering ERK-Hybrid tipe rak berputar yang diuji pada penelitian ini secara keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kinerja pengering ERK-*Hybrid* tipe rak berputar.

Parameter	Percobaan			
	I	II	III	IV
Berat bahan yang dikeringkan (kg)	9,5	10,0	10,0	10,0
Berat air yang diuapkan (kg H <sub>2</sub> O)	7,8	8,0	7,9	8,1
Lama pengeringan (jam)	42	47	37	30
Laju penguapan (% bb/jam)	2,0	1,5	1,9	2,4
Energi total sistem (MJ)	228,8	236,0	190,3	170,3
Kebutuhan energi spesifik (MJ/kg H <sub>2</sub> O)	29,3	29,6	24,0	21,1
Kebutuhan energi mekanik (MJ)	2,0	2,3	1,8	1,4
Efisiensi termal bangunan ( $\eta_T$ ), %	32,4	26,8	27,9	31,2
Efisiensi udara pengering ( $\eta_{up}$ ), %	39,5	47,8	56,5	56,8
Efisiensi total sistem dgn iradiasi ( $\eta_{sp}$ ), %	11,6	11,5	14,2	16,1
Efisiensi total sistem tanpa memasukkan iradiasi, %	15,4	14,0	17,7	22,2

Dari Tabel 3 tersebut terlihat bahwa untuk ke empat perlakuan, pemanfaatan energi untuk memanaskan udara dari suhu lingkungan ( $t_a$ ) ke suhu ruang ( $t_r$ ) pada perlakuan IV dan I yang berkisar antara 31,2 %-32,4%, lebih besar dari pada perlakuan II dan III yang hanya mencapai 26,8%-27,9%. Hal tersebut disebabkan pada perlakuan IV dan I rata-rata iradiasi matahari lebih besar dari pada rata-rata iradiasi pada perlakuan II dan III.

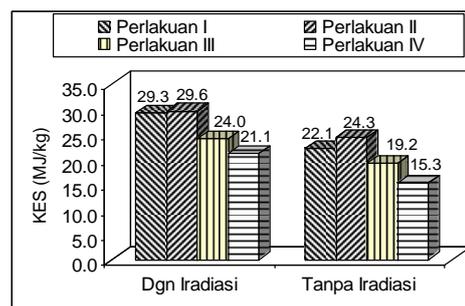


Untuk efisiensi pengeringan oleh udara pengering terlihat pada perlakuan I efisiensi sangat rendah (39,5%), jika dibandingkan pada perlakuan III dan IV dimana efisiensi pada kedua perlakuan ini hampir sama (berturut-turut 56,5 dan 56,8%).

Efisiensi total sistem paling tinggi dicapai pada perlakuan IV dan terendah pada perlakuan II. Kisaran efisiensi total sistem dengan iradiasi pada penelitian ini adalah 11,5-16,1%, sedangkan untuk efisiensi total sistem tanpa iradiasi adalah 14,0-22,2%. Nilai efisiensi total sistem dengan iradiasi pada penelitian ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan penelitian Ratnawati (2003) pada pengeringan cengkeh sebanyak 19,5 kg menggunakan model ERK dengan 3 buah rak statis dan tambahan pemanas heater 600 watt dimana efisiensi total sistem mencapai 14,79%. Faktor-faktor yang berkaitan dengan efisiensi alat pengering ini (baik dengan iradiasi dan tanpa iradiasi) antara lain kehilangan panas dari alat, jumlah bahan yang dikeringkan, kadar air awal, iradiasi surya, suhu dan RH lingkungan.

Efisiensi alat pengering juga dapat dilihat dari besarnya energi yang masuk dibandingkan dengan penguapan air 1 kg yang biasa disebut sebagai kebutuhan energi spesifik (KES). Gambar 13 memperlihatkan kebutuhan energi spesifik untuk setiap perlakuan dengan dan tanpa iradiasi surya. Dari Gambar tersebut terlihat untuk ke empat perlakuan tanpa memasukkan energi surya berkisar dari 15,4-22,2 MJ/kg, sedangkan dengan memasukkan energi surya berkisar antara 21,1-29,6 MJ/kg. Kebutuhan energi spesifik (KES) terkecil baik tanpa iradiasi surya maupun dengan iradiasi surya didapatkan pada perlakuan IV yaitu sebesar 15,4 MJ/kg dan sebesar 21,1 MJ/kg. Nelwan (2007) melaporkan pengeringan kakao dengan rak berputar membutuhkan konsumsi energi spesifik 7,9-9,9 MJ/kg. Kebutuhan energi spesifik pada penelitian ini masih cukup besar terutama disebabkan oleh penggunaan pemanas tambahan yang berupa pemanas air dengan daya 1000 watt. Hal tersebut bisa diperkecil apabila digunakan energi tambahan dari biomassa atau dapat dilakukan dengan sistem kendali suhu sesuai kebutuhan.

Dari Tabel 3 tersebut terlihat bahwa pengaruh pergeseran posisi rak selain mengakibatkan waktu pengeringan semakin cepat seperti ditunjukkan pada perlakuan II, III dan IV, juga mengakibatkan kebutuhan energi semakin kecil dan efisiensi total sistem semakin besar.



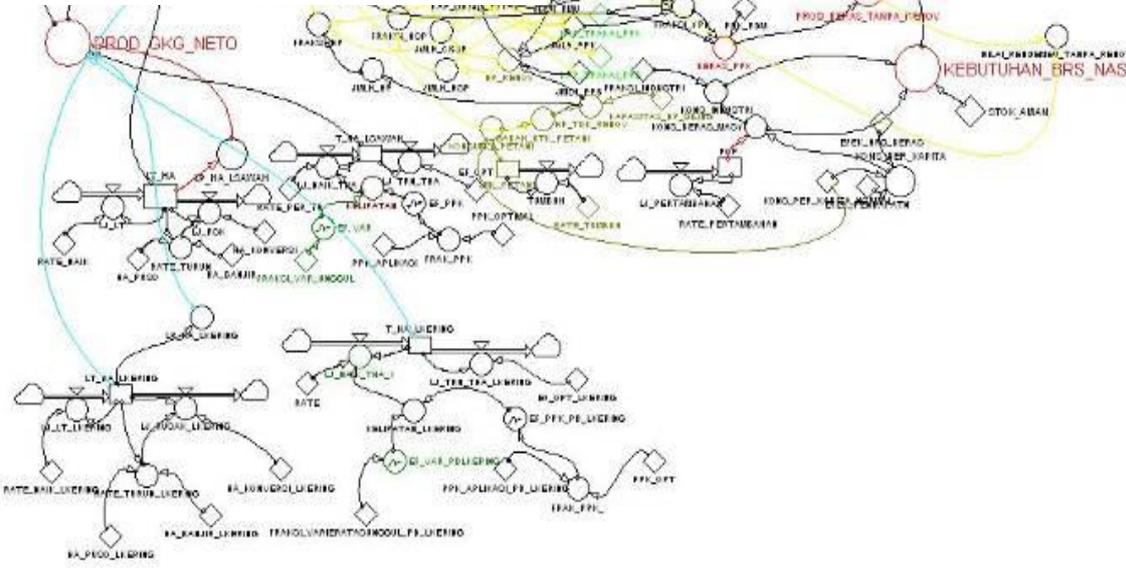
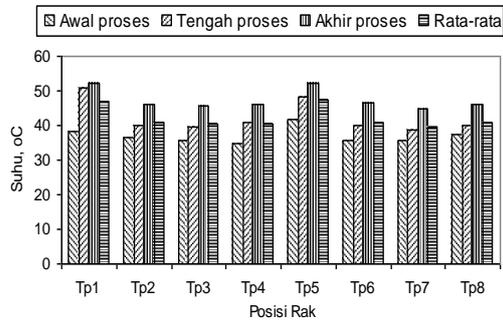
Gambar 13. Kebutuhan energi spesifik untuk setiap perlakuan dengan dan tanpa iradiasi.

Pemutaran rak pengering 1 rpm secara mekanis ditinjau dari penggunaan energi dapat dianjurkan karena konsumsi energi untuk pemutaran rata-rata hanya 0,90 % dari total energi untuk pengeringan. Mulyantara (2008), juga melakukan pemutaran silinder pengering 1,25 rpm selama 15 menit setiap jam dan menghasilkan pencampuran jagung pipilan yang merata, dengan konsumsi energi listrik untuk pengadukan rata-rata 2,23 %.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Pengering ERK-*hibrid* dengan rak berputar dapat dipergunakan untuk mengeringkan kapulaga lokal (*Amomum cardamomum Wild*). Dengan iradiasi rata-rata 355,1 – 611,3 W/m<sup>2</sup>, suhu ruang pengering rata-rata 41,3 – 48,1°C dapat mengeringkan kapulaga lokal dari kadar air awal 80,3 - 82,7% (bb) menjadi 9,9 - 10,6% (bb) dalam waktu 30 - 47 jam, laju penurunan kadar air 1,5 – 2,4% (bb)/jam. Kebutuhan energi spesifik (KES) 21,1 – 29,6 MJ/kg dan efisiensi total sistem berkisar antara 11,4 – 16,1%;
2. Pergeseran posisi rak menyebabkan sebaran suhu bahan lebih seragam sehingga menghasilkan kadar air yang lebih seragam, waktu pengeringan lebih cepat, kebutuhan energi spesifik menurun dan efisiensi total sistem meningkat. Pada pergeseran 45° memberikan hasil terbaik dengan nilai ragam untuk sebaran suhu sebesar 1,2%, nilai ragam untuk kadar air sebesar 1,1%, waktu pengeringan yang dibutuhkan 30 jam, kebutuhan energi spesifik 21,1 MJ/kg dan efisiensi total sistem 16,1%.



ed Dryer Beans. I, Bogor

unan, A. of Solar a Beans. Energi :REATA-

engering geringan . Skripsi, TA IPB.

uhu, RH y untuk Rumah asarjana,

(*Amomum cardamomum Wild*) dengan Microwave. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian, FATETA IPB. Bogor.

Fahimah. 1991. *Mempelajari Pengeringan Kapulaga Sabrang (Elettaria cardamomum Maton) dengan Alat Pengering Tipe Rak*, Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian, FATETA IPB. Bogor.

Madjo Indo, A.B.D. 1989. *Kapulaga: Budidaya, Pengolahan dan Pemasaran*, Penebar Swadaya, Jakarta.

Mulyantara, L.T. 2008. *Simulasi Proses Pengeringan Jagung Pipilan dengan Mesin Pengering Surya Tipe Efek Rumah Kaca (ERK)-Hybrid dengan Wadah Silinder*. Thesis, Program Pascasarjana, IPB. Bogor.

Mursalim. 1995. *Uji Performansi Sistem Pengeringan Energi Surya dan Tungku Batubara dengan Bangunan Tembus Cahaya sebagai Pembangkit Panas untuk Pengeringan Panili (Vanilla Planifolia)*, Skripsi, FATETA IPB.

Nelwan, L.O. 1997. *Pengeringan Kakao dengan Energi Surya Menggunakan Rak Pengering dengan Kolektor Tipe Efek Rumah Kaca*. Thesis, Program Pascasarjana, IPB.