

# KONSUMSI ENERGI DAN BIAYA POKOK PENGERINGAN SISTEM PENGERING EFEK RUMAH KACA (ERK)-HIBRID DAN *IN-STORE DRYER* (ISD) TERINTEGRASI UNTUK JAGUNG PIPILAN<sup>1</sup>

Leopold O. Nelwan<sup>2</sup>, Dyah Wulandani<sup>2</sup>, Teguh W. Widodo<sup>3</sup> dan Raffi Paramawati<sup>3</sup>

## ABSTRACT

The objectives of this research were to study the possibility of the system integration of the greenhouse effect solar-assisted dryer and the in-store dryer and to analyse the energy consumption and the drying cost of the system. In this system the drying process is performed in two stages i.e. the Greenhouse effect solar-assisted dryer dries the grain to a certain moisture content between 20% and 16% which is then followed by the in-storage drying process to a moisture content below 13%. By using this method it is expected that the energy consumption can be reduced while the quality of grains is still maintained. In addition, this system utilizes the renewable energy which is expected to be more economical in the becoming years as well as to support the energy diversification and conservation efforts.

The performance test was performed in two testing. The result showed that as much as 1294.1 and 1114.1 kg of shelled corn can be dried by this integrated system with drying time 8 hours in the first stage and 38 and 36 hours in the second stage from moisture content of 22.3 and 23.6% to a moisture content below 13%. The specific energy consumption of the integrated system was 5.98 and 7.96 MJ/kg water evaporated which was lower than the use of merely the solar-assisted (ERK-hibrid) i.e. 8.02 and 10.20 MJ/kg water evaporated. The drying cost of the system was still relatively expensive, i.e. Rp. 199.35 per kg. This drying cost consisted of fixed cost i.e. Rp. 123.16 and variable cost i.e. Rp. 76.19 per kg. The highest contribution of the variable cost was the labor cost which reached 61%. The drying cost can be reduced by perform the drying in the highest capacity or performing scaling-up of the system.

Key words: *Integrated drying system, greenhouse effect solar-assisted dryer, ISD, specific energy consumption, drying cost*

---

<sup>1</sup> Disampaikan dalam Gelar Teknologi dan Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 di Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian UGM, Yogyakarta 18-19 November 2008

<sup>2</sup> Departemen Teknik Pertanian Fateta IPB

<sup>3</sup> Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Balitbang Pertanian

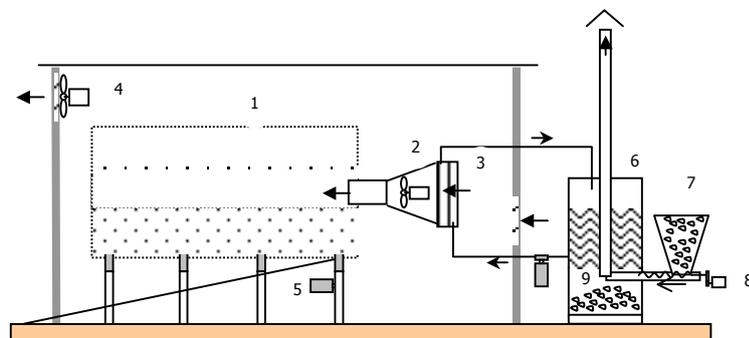
## **A. PENDAHULUAN**

### **1. Latar Belakang**

Tingginya biaya pengoperasian pada pengering buatan produk-produk pertanian terutama disebabkan oleh kebutuhan energi termal pada proses pengeringan. Energi termal menyumbang kira-kira 90-95% dari total kebutuhan energi (Manalu, 1999; Nelwan, 1997; Nelwan, 2005). Penggunaan sumber energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi termal pada pengeringan produk pertanian merupakan usaha yang dapat dilakukan dalam rangka menurunkan biaya energi selain mendapatkan kepastian keberadaan sumber energi dalam jangka panjang. Sumber energi surya dan biomassa merupakan sumber-sumber energi terbarukan yang sangat potensial untuk maksud tersebut. Salah satu tipe pengering berenergi surya yang telah dikembangkan adalah pengering tipe Efek Rumah Kaca (ERK) (Kamaruddin, 1993). Pengering ini merupakan struktur terintegrasi antara kolektor surya dengan wadah produk pengeringan. Penggunaan alat pengering surya tipe ERK pada skala penelitian dan lapangan telah dilakukan dan terus dikembangkan untuk berbagai produk pertanian (Kamaruddin, 1995, 1998, 1999; Nelwan, 1997 dan 2005; Dyah, 2005, Manalu, 1999). Suhu udara pengering rata-rata berkisar antara 39 – 50°C untuk berbagai lokasi, dengan waktu pengeringan berkisar antara 4 – 57 jam bergantung dari jenis produk yang dikeringkan. Untuk menjamin kontinuitas operasi, pengering ini juga mengandalkan energi biomassa sebagai sumber energi termal lainnya sehingga pengering ini dapat disebut sebagai pengering ERK-hybrid.

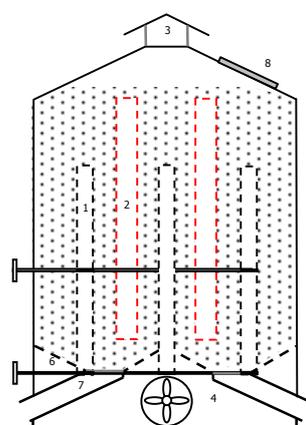
Selain usaha peralihan sumber energi, usaha konservasi energi dapat dilakukan dengan metode pengeringan dua tahap; yaitu pengeringan dilakukan dengan laju yang relatif tinggi kemudian diikuti dengan laju yang rendah. Kadar air yang tinggi masih sangat rentan terhadap pertumbuhan mikroba yang dapat menurunkan kualitas biji, sehingga harus diturunkan pada tingkat kadar air tertentu untuk kemudian dapat dilakukan tahap kedua yaitu pengeringan dengan laju yang relatif lebih rendah. Pada kadar air yang lebih rendah, kira-kira 18%, biji-bijian termasuk jagung pipil lebih aman untuk disimpan dalam jangka waktu yang relatif lebih lama pada suhu dan kelembaban yang umum ada di Indonesia – apabila menggunakan asumsi suhu biji-bijian 27°C umur simpan yang aman dapat lebih dari 20 hari, sedangkan pada kadar air yang lebih tinggi, misalnya 20% pada suhu yang sama umur aman simpan menjadi hanya kurang dari 10 hari (Brooker, *et al* 1993).

Dalam rangkaian kegiatan penelitian yang dilakukan ini telah didisain dan dikonstruksi pengering ERK-hybrid (**Gambar 1**) dan ISD (**Gambar 2**) untuk pengeringan jagung sebagai sistem pengering dengan basis metode pengeringan dua tahap. Pada pengering ERK-hybrid yang didisain metode bahan secara tumpukan dipilih dengan pertimbangan kapasitas yang lebih besar dan kemudahan dalam pengoperasian. Untuk menghindari kondisi *overdrying* pada pengeringan tumpukan serta mendapatkan kadar air yang lebih seragam maka dalam penelitian ini digunakan wadah drum silindris dimana pengadukan dilakukan dengan cara memutar drum sehingga pengoperasian dapat dilakukan dengan mudah selain pemutaran tersebut mempunyai efek pengadukan yang sangat efektif.



- |   |                          |   |                                    |
|---|--------------------------|---|------------------------------------|
| 1 | Silinder pengering       | 6 | Tangki air                         |
| 2 | Kipas                    | 7 | Hopper bahan bakar                 |
| 3 | Penukar panas            | 8 | Motor dan screw feeder bahan bakar |
| 4 | Kipas ekshaus            | 9 | Tungku pembakaran                  |
| 5 | Motor penggerak silinder |   |                                    |

Gambar 1. Pengering ERK-hybrid



- |   |                            |
|---|----------------------------|
| 1 | Saluran inlet              |
| 2 | Saluran outlet             |
| 3 | Outlet udara ISD           |
| 4 | Kipas ISD                  |
| 5 | Katup penutup              |
| 6 | Lantai pengering berlubang |
| 7 | Saluran outlet biji-bijian |
| 8 | Pintu kontrol              |

Gambar 2. Skema Pengering ISD

Pada penelitian ini, metode pengeringan dua tahap dilakukan dengan cara sebagai berikut: tahap pertama produk dikeringkan pada pengering ERK-hybrid setelah itu dipindahkan dan dilanjutkan dengan tahap kedua yaitu produk dikeringkan di pengering ISD yang menggunakan udara lingkungan sebagai udara pengering dengan harapan penggunaan pemanas yang membutuhkan perawatan serta biaya operasi yang lebih tinggi dapat dieliminasi. Namun demikian, jika pengaliran udara dilakukan secara kontinyu pada pengering tersebut dapat menimbulkan beberapa kerugian. Pengaliran udara ketika udara dalam kondisi kelembaban tinggi dapat menyebabkan berlangsungnya readsorpsi (penambahan kembali kadar air) pada produk yang dikeringkan. Pemborosan energi untuk aliran udara terjadi ketika energi dikonsumsi secara kontinyu bahkan pada saat-saat aliran udara tidak dibutuhkan yang selanjutnya memberikan tingginya biaya operasional pengeringan. Untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan mengaplikasikan sistem kendali dengan mengatur jadwal pengaliran udara, dimana saat udara lingkungan mempunyai suhu relatif tinggi dan RH rendah, udara dapat dialirkan. Sedangkan pada kondisi yang tidak baik (RH tinggi dan suhu rendah) aliran udara dihentikan. Sensor untuk pengukuran suhu dan RH udara adalah SHT 315 dan pengendalian dilakukan dengan menggunakan program komputer. Potensi diukur dari kadar air yang dapat dicapai oleh udara lingkungan dengan menggunakan persamaan sorpsi isotermis pada suhu dan kelembaban lingkungan. Ketika hasil potensi kadar airnya lebih rendah dibandingkan dengan kadar air pada ISD maka udara dialirkan dengan menyalakan kipas sedangkan ketika potensi kadar airnya lebih tinggi maka udara tidak dialirkan dengan cara mematikan kipas.

Makalah ini membahas kemungkinan aplikasi sistem pengeringan dua tahap pengering ERK-hybrid dan ISD yang terintegrasi serta melakukan kajian konsumsi energi dan biaya pokok pengoperasian dari sistem pengering tersebut. Dengan memisahkan konsumsi energi dan biaya pokok ke dalam komponen-komponennya usaha perbaikan dapat diarahkan pada komponen yang menyumbang konsumsi energi dan biaya yang besar.

## **2. Tujuan**

Tujuan dari kajian ini adalah

- a. Menguji kinerja sistem pengering pengering Efek Rumah Kaca (ERK)-hybrid untuk jagung pipilan yang diintegrasikan dengan sistem pengering dalam penyimpan (*in-store dryer*)

- b. Menganalisis konsumsi energi dan menentukan biaya pokok sistem pengering ERK-hybrid dan ISD terintegrasi.

## **B. METODOLOGI**

### **1. Tempat dan Waktu**

- a. Tempat: Lab Energi dan Elektrifikasi Pertanian, Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- b. Waktu: Maret 2008 – Agustus 2008

### **2. Bahan dan Alat**

Bahan-bahan yang diperlukan mencakup:

- a. Bahan-bahan konstruksi alat pengering ERK-hybrid dan *in-store dryer*
- b. Bahan-bahan untuk aplikasi sistem pengendalian
- c. Bahan uji: jagung pipilan digunakan sebagai biji-bijian yang akan diuji

Alat-alat ukur yang digunakan mencakup: timbangan, oven thermocouples (Type T, diameter of 0.3 mm), pyranometer, hybrid recorder HR-2500E, anemometer Kanomax Model 6011, digital balance EK-1200A (AND), chino recorder, drying oven SS-204D, Voltmeter, Amperemeter.

### **3. Prosedur**

#### **a. Instalasi sistem terintegrasi**

Pengering ERK-hybrid yang dirancang memiliki kapasitas 1500 kg dengan kapasitas ISD 7500 kg. Layout dari kedua pengering diatur sedemikian rupa sehingga pemindahan bahan dapat dilakukan dengan mudah. Untuk pemindahan biji dari pengering ERK-hybrid ke pengering ISD digunakan bucket elevator.

#### **b. Uji kinerja**

Pengujian kinerja dilakukan pada beban pengeringan 1294.1 dan 1114.1 kg untuk pengujian I dan II. Parameter yang diukur pada pengering ERK-hybrid mencakup suhu udara masuk ke dalam drum silindris pengering, suhu outlet dari ruang pengering ERK-hybrid, dan penurunan kadar air rata-rata. Sedangkan pada pengering ISD parameter yang diukur mencakup suhu dan RH di dalam ISD.

Untuk kedua sistem, pengukuran dilakukan pada suhu dan RH lingkungan. Pada sistem pemindahan bahan pengukuran dilakukan pada laju pemindahan biji oleh *bucket elevator*. Pengujian pada kajian ini dilakukan sebanyak dua kali.

**c. Penentuan efisiensi energi**

Konsumsi energi spesifik digunakan sebagai parameter untuk mengukur efisiensi penggunaan energi. Nilai ini dihitung menggunakan

$$KES = \frac{Q_u}{m_v} \quad (1)$$

Untuk melihat efisiensi penggunaan energi termal dan mekanis, digunakan dua parameter yaitu konsumsi energi termal spesifik dan konsumsi energi mekanik spesifik. Kedua parameter ini didefinisikan sebagai:

$$KETS = \frac{Q_T}{m_v} \quad (2)$$

$$KEMS = \frac{Q_M}{m_v} \quad (3)$$

$Q_u$  merupakan total kebutuhan energi baik termal maupun mekanis (yang diperoleh dari energi listrik) yang digunakan dalam proses pengeringan, sedangkan  $m_v$  merupakan jumlah air yang diuapkan yang dihitung berdasarkan kadar air awal dan akhir serta massa produk yang dikeringkan.  $Q_T$  adalah konsumsi energi termal yang berasal dari radiasi surya yang diterima oleh sistem pengering ERK dan bahan bakar yang digunakan. Energi termal dari surya dihitung dari radiasi surya yang diukur menggunakan piranometer dan luas proyeksi dari bangunan pengering untuk penerimaan radiasi surya.  $Q_M$  merupakan konsumsi energi mekanik untuk menggerakkan motor pengaduk, kipas pada pengering ERK dan pada ISD pompa air serta motor untuk menggerakkan *bucket elevator*. Listrik digunakan untuk menggerakkan peralatan-peralatan di atas, dan ditentukan berdasarkan tegangan dan kuat arus yang diukur.

#### d. Penentuan biaya pokok

Biaya pokok pengeringan terdiri dari biaya tetap dan biaya tak tetap pada pengeringan. Biaya tetap mencakup biaya penyusutan, biaya bunga modal sedangkan biaya tak tetap mencakup biaya bahan bakar, biaya listrik dan biaya tenaga kerja.

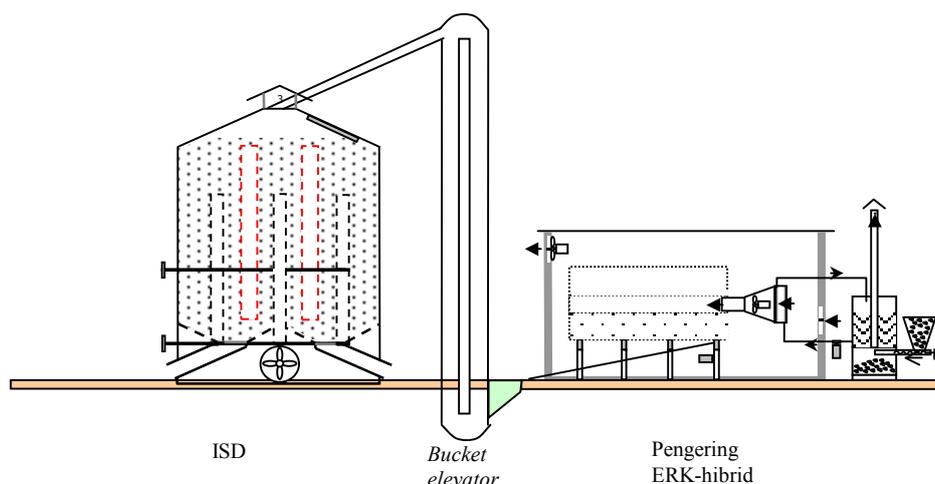
### C. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Sistem Pengering Terintegrasi

Foto pengering sistem terintegrasi dapat dilihat pada **Gambar 3** sedangkan bagian-bagian utamanya dapat dilihat pada **Gambar 4**. Sistem ini akan digunakan untuk pengeringan dua tahap yakni tahap pertama pada pengeringan dengan pengering ERK-hibrid sampai pada kadar air di kira-kira 16 %, dan tahap kedua dilanjutkan menggunakan pengering ISD sampai kadar air mencapai 13%b.b. Untuk memindahkan biji jagung dari pengering ERK-Hibrid ke ISD digunakan *bucket elevator*. Untuk penampungan, lubang di samping pengering ERK dibuat, sehingga biji jagung dapat dengan mudah ditampung dan diisi ke inlet *bucket elevator*.



Gambar 3. Sistem Pengering ERK-Hybrid dan ISD terintegrasi



Gambar 4. Skema Sistem Pengering ERK-Hybrid dan ISD terintegrasi

## 2. Sistem loading dan unloading

Disain sistem pengering ini memerlukan pemindahan biji dari pengering ERK-hybrid ke *In-store dryer* (ISD). Struktur ISD dapat menampung 7500 kg biji dengan tinggi tumpukan mencapai 3 m. Pemindahan secara manual sangat sulit untuk dilakukan, oleh karena itu dibutuhkan sistem pemindahan biji yang cukup efektif. *Bucket elevator* dipilih sebagai alat pemindah dari pengering ERK-hybrid ke ISD sehubungan dengan kepraktisan dan kebutuhan energinya yang relatif rendah. Kemiringan dari keluaran bucket elevator didasarkan pada *angle of repose*. *Angle of repose* merupakan sudut antara bidang horizontal dengan permukaan dari tumpukan material. Parameter ini penting untuk diketahui terutama untuk pemindahan biji jagung. *Angle of repose* dari biji jagung yang diperoleh pada kadar air 14% adalah 25°, serta 31° dan 36° pada kadar air 21% dan 28%. Sehubungan dengan hal tersebut, perbaikan perlu dilakukan pada sistem unloading dari drum silindris pengering ERK-hybrid ke lubang penampungan dimana kemiringan yang ada belum memadai agar biji jagung dapat mengalir dengan gaya gravitasi.

Motor listrik berfungsi sebagai penghasil daya mekanik untuk menggerakkan bucket dari bawah ke atas pada proses pengangkutan bahan. *Gear box* berfungsi sebagai pengecil putaran yang dihasilkan motor listrik. Penyalur daya dari motor listrik ke *gear box* dan dari *gear box* ke poros pemutar digunakan sabuk puli yang tertambat pada puli. Hasil percobaan menunjukkan bahwa dengan menggunakan daya 345 W, bucket elevator dapat memindahkan

biji jagung ke dalam ISD dengan kapasitas 1000 kg/jam pada kadar air 14% dan 630 kg/jam pada kadar air 18%.

### 3. Kinerja Sistem Pengering

**Tabel 1** memperlihatkan parameter-parameter pengeringan untuk pengujian I dan pengujian II baik untuk pengeringan di pengering ERK-hybrid maupun di ISD. Terlihat bahwa rata-rata suhu inlet pengering adalah 59.4 dan 60°C ketika rata-rata suhu udara lingkungan 34.7 dan 34.9°C. Suhu udara inlet tersebut dihasilkan oleh pemanasan yang berasal dari energi surya dan energi biomassa (tongkol jagung). Dengan suhu yang demikian, laju pengeringan di pengering ERK-hybrid mencapai 1.18 dan 1.11%b.k./jam. Dengan menggunakan media udara lingkungan dengan rata-rata suhu 32.8 dan 31.2°C, pengeringan di ISD berlangsung dengan laju kira-kira 1/10 dari laju pengeringan ERK-hybrid yaitu 0.12 dan 0.11 %b.k./jam. Suhu udara pengering yang rendah menyebabkan laju pengeringan yang rendah. Tentu saja laju pengeringan yang sangat rendah tersebut hanya diijinkan ketika kadar air awalnya telah rendah. Pada penelitian ini kadar air awal yang masuk ke ISD adalah 16.2 dan 15.4 %b.b. dan dikeringkan sampai kadar air di bawah 13% b.b dengan waktu pengeringan 38 dan 36 jam. Secara umum, walaupun waktu pengeringan yang dibutuhkan relatif lama sistem pengering terintegrasi ini telah mampu mengeringkan jagung pipilan dengan baik.

Tabel 1. Parameter pengeringan

No	Parameter	Pengujian I	Pengujian II
1.	Suhu udara inlet pengering ERK-hybrid rata-rata (°C)	59.4	60
2.	Suhu udara lingkungan rata-rata (saat pengoperasian pengering ERK-Hybrid)	34.7	34.9
3.	Suhu udara lingkungan rata-rata (saat pengoperasian pengering ISD)	32.8	31.2
4.	RH udara lingkungan rata-rata (saat pengoperasian pengering ERK-Hybrid)	76.1	69.7
5.	RH udara lingkungan rata-rata (saat pengoperasian pengering ISD)	53.3	53.7
6.	Kadar air masuk pengering ERK-hybrid (% b.b)	22.3	23.6
7.	Kadar air masuk ISD (% b.b)	16.2	15.4
8.	Kadar air akhir (% b.b)	12.4	12.5
9.	Waktu pengeringan tahap pertama (jam)	8.0	8.0
10.	Waktu pengeringan tahap pertama (jam)	38.0	36.0
11.	Laju pengeringan ERK-hybrid (%b.k./jam)	1.18	1.11
12.	Laju pengeringan ISD(%b.k./jam)	0.12	0.11

#### 4. Konsumsi Energi

**Tabel 2** memperlihatkan konsumsi energi yang dilakukan baik untuk pengujian I dan II. Dapat dilihat bahwa energi biomassa merupakan sumber energi yang paling dominan untuk kedua pengujian yang mencapai 70.2% dan 72.8% dari konsumsi energi total. Pengeringan tahap pertama perlu dilakukan dengan laju pengeringan yang relatif tinggi, sehingga kebutuhan energi per satuan waktu cukup besar. Dengan ukuran bangunan pengering ERK-hibrid pada penelitian ini, konsumsi energi surya tidak dapat memenuhi laju pengeringan yang tinggi. Untuk itu, diperlukan laju pembakaran tongkol jagung yang memadai. Konsumsi energi hasil pembakaran yang dominan juga diperoleh pada penelitian-penelitian pengeringan lainnya yang menggunakan pengering ERK (Nelwan, 1997; Manalu, 1998; Nelwan, 2005).

Tabel 2. Konsumsi energi

No	Parameter	Pengujian I		Pengujian II	
		MJ	%	MJ	%
1.	Energi Surya	102.47	12.2	92.00	10.4
2.	Energi Biomassa	590.30	70.2	643.00	72.8
3.	Energi Listrik				
	a. ERK-hibrid	56.86	6.8	58.86	6.4
	b. ISD	91.80	10.8	91.80	10.4
4.	Total Energi	841.43		883.66	
		MJ/kg air diuapkan			
5.	KES ERK-Hybrid	8.02		10.20	
6.	KES Sistem Terintegrasi				
	a. KETS	4.92		6.62	
	b. KEMS	1.06		1.34	
	c. Total (KES)	5.98		7.96	

Tabel ini juga memperlihatkan konsumsi energi listrik total (ERK-hibrid dan ISD) yang juga melebihi konsumsi energi surya. Hal ini disebabkan oleh pada pengeringan ISD energi listrik untuk menggerakkan kipas merupakan satu-satunya jenis energi yang dikonsumsi. Waktu pengeringan yang lama pada tahap pengeringan ini menyebabkan jumlah konsumsi energinya cukup signifikan. Walaupun demikian, pada tahap ini konsumsi energinya relatif rendah yakni berkisar 10% dari konsumsi energi total; padahal, jumlah air yang diuapkan pada tahap ini cukup signifikan yaitu untuk pengujian I dan II secara berturut-turut adalah 33.3 dan 23.8% dari total air yang diuapkan. Hal ini juga dapat dilihat dari menurunnya konsumsi energi spesifik pada penggunaan sistem terintegrasi dibandingkan dengan hanya menggunakan pengering ERK-hibrid, dari 8.02 menjadi 5.98 MJ/kg air yang diuapkan pada

pengujian I dan 10.2 menjadi 7.96 MJ/kg air yang diuapkan pada pengujian II. Dengan demikian integrasi sistem pengering dengan ISD memberikan keuntungan dari aspek energi. Konsumsi energi listrik yang sama antara pengujian I dan II disebabkan oleh penggunaan sistem kendali dimana waktu menyalanya kipas dari kedua pengujian adalah sama yakni 34 jam.

Seperti pada umumnya pengering artifisial pada umumnya, konsumsi energi termal spesifik secara signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan konsumsi energi mekanik. Akan tetapi, pada sistem pengering terintegrasi ini konsumsi energi mekanik spesifik relatif tinggi yakni mencapai 1.06 dan 1.38 MJ/kg air yang diuapkan. Hal ini terutama disebabkan oleh penggunaan pengering ISD yang menggunakan kipas dalam waktu pengeringan yang relatif lama.

Rendahnya konsumsi energi spesifik pada pengujian II disebabkan oleh beban pada pengujian tersebut lebih rendah yakni 1114.1 kg dibandingkan dengan pada pengujian I yakni 1294.1 kg. Jumlah panas yang dihasilkan akan digunakan secara lebih efisien pada beban pengeringan yang lebih besar.

## **5. Biaya pokok sistem pengering**

Penentuan biaya pokok sistem pengering dilakukan dengan asumsi proses pengeringan dilakukan sebanyak 120 batch dalam satu tahun. Pengering ERK-hybrid beroperasi pada kondisi seperti pada pengujian I yaitu selama 8 jam untuk menurunkan kadar air dari 22.3 % b.b. sampai 16 % b.b. sedangkan pengering ISD beroperasi selama 34 jam untuk penurunan kadar air dari 16 % b.b. ke 13 % b.b. Biaya pokok total pengeringan mencapai Rp. 199.35 per kg

Dengan biaya depresiasi sistem pengering sebesar Rp. 15.300,000.- per tahun dan biaya perawatan Rp. 3,825,000.- per tahun maka dapat dilihat bahwa biaya tetap dari sistem pengeringan ini masih relatif tinggi yaitu Rp. 123.16 per kg. Peningkatan jumlah bahan yang dikeringkan sampai pada kapasitas maksimum akan menurunkan biaya yang dibutuhkan. Selain itu, untuk meningkatkan kelayakan ekonomi dari sistem pengering ini dapat dilakukan dengan cara menscale-up kapasitas pengering ini. Peningkatan biaya scaling up dari pengering umumnya tidak setajam peningkatan kapasitas produk yang dapat ditangani.

Biaya variabel sistem pengeringan ini mencapai Rp. 76.19 per kg. **Tabel 3** memperlihatkan komponen biaya variabel pengeringan yang terdiri dari biaya listrik, tenaga

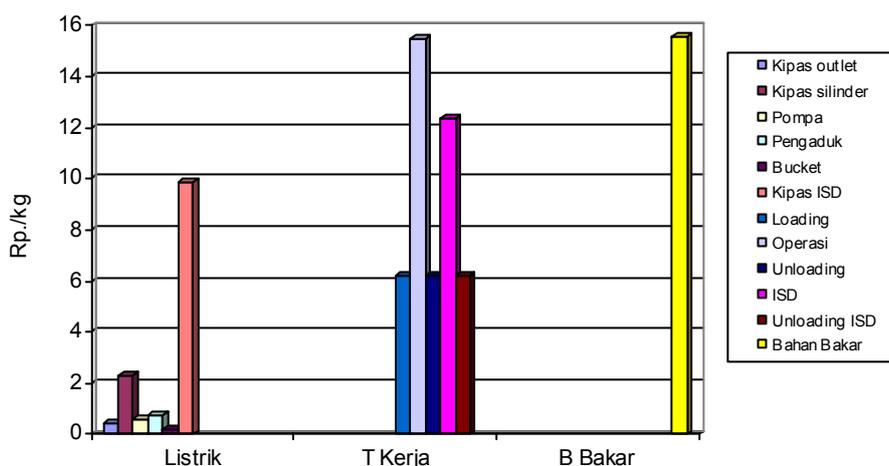
kerja dan bahan bakar. Dapat dilihat bahwa komponen utama dari biaya pengeringan adalah biaya tenaga kerja yang mencapai Rp. 46.37 per kg biji basah. Sedangkan biaya listrik dan bahan bakar hampir sama. Rendahnya biaya bahan bakar yang dibutuhkan disebabkan oleh penggunaan tongkol jagung yang merupakan limbah dari pembuatan jagung pipilan. Namun pada studi ini biaya tongkol jagung tetap dihitung yakni Rp. 400 per kg. Dengan demikian, biaya pengeringan dapat lebih rendah lagi apabila tongkol jagung diasumsikan tidak memiliki nilai ekonomis.

Tabel 3. Biaya variabel pengeringan

No	Komponen biaya	Rp/kg
1	Listrik	14.24
2	Tenaga kerja	46.37
3	Bahan bakar	15.58

**Gambar 5** merinci perbandingan komponen-komponen biaya *variable* per kg produk yang dikeringkan. Biaya tenaga kerja untuk pengoperasian pengering ERK-hybrid merupakan komponen biaya tertinggi. Untuk itu dalam pengembangan selanjutnya penggunaan sistem kendali seperti pada pengumpanan bahan atau pengadukan dapat menghemat kebutuhan biaya tersebut.

Dapat dilihat juga bahwa pada energi listrik, biaya yang dibutuhkan tidak terlalu besar kecuali untuk kipas di ISD. Sistem kendali telah diterapkan pada tahapan pengeringan ini, yaitu dengan mematikan kipas ketika potensi pengeringan telah menurun (kadar air produk lebih rendah dibandingkan dengan kadar air yang dapat dihasilkan dengan menggunakan udara lingkungan). Untuk itu strategi pengoperasian sistem pengering yang tepat sangat penting dalam usaha penghematan kebutuhan listrik untuk kipas di ISD. Misalnya ketika beda kadar air antara produk dengan kadar air yang dapat dihasilkan tidak terlalu besar maka kipas dihentikan. Atau metode lain adalah dengan penggunaan pemanas tambahan seperti kolektor surya kecil sehingga waktu proses pengeringan dapat dipersingkat.



Gambar 5. Rincian Komponen biaya variabel dari sistem pengering

#### D. KESIMPULAN

Secara teknis, sistem pengering ERK-Hybrid dan pengering ISD terintegrasi dapat mengeringkan jagung pipilan. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa pengeringan menggunakan sistem pengering ERK-hybrid dapat mengeringkan jagung pipilan untuk pengujian I dan II secara berturut-turut adalah sebanyak 1294 kg dan 1114.1 kg dengan waktu pengeringan 8 jam pada tahap pertama dan 38 dan 36 jam pada tahap kedua dari kadar air awal 22.3 dan 23.6 % b.b. sampai di bawah 13% b.b. Pengeringan dilakukan dengan menggunakan kadar air pemindahan bahan sekitar 16%.

Dari sisi penggunaan energi, sistem terintegrasi dapat menurunkan konsumsi energi spesifik. Ketika pengeringan yang dilakukan dengan menggunakan sistem pengering ERK-hybrid memberikan konsumsi energi spesifik sebesar 8.02 dan 10.20 MJ per kg air yang diuapkan, dengan menggunakan sistem terintegrasi konsumsi energi spesifik menjadi 5.98 dan 7.96 MJ per kg air yang diuapkan.

Biaya pokok pengeringan dari sistem terintegrasi masih relatif mahal yakni mencapai Rp. 199.35 per kg, yang terdiri dari biaya tetap sebesar Rp. 123.16 per kg dan biaya variabel sebesar Rp. 76.19 per kg. Komponen biaya variabel yang tertinggi adalah biaya tenaga kerja yaitu Rp. 46.37 per kg atau 61% dari biaya variabel. Usaha penurunan biaya pengeringan dapat dilakukan dengan menggunakan sistem pengering pada kapasitas maksimumnya atau melakukan scale up pada sistem.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis memberikan apresiasi yang tinggi kepada KKP3T yang telah mendanai penelitian ini. Terima kasih kepada Lilik T.M., Deni H., Tamaria P., dan Diswandi yang telah melakukan pengambilan dan pengolahan data. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Sri Endah A., Wawan H. dan I Dewa Made S. yang telah memberikan masukan-masukan yang berharga dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema, and C.W. Hall.1993. *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*
- Dyah W. 2005. *Kajian distribusi suhu, RH dan aliran udara di dalam ruang pengering pada pengering efek rumah kaca. Desertasi. Program Pascasarjana IPB. Bogor*
- Kamaruddin A. 1993. *Optimization of Solar Drying System*. Proc. of the 5th International Energy Conference. Seoul, October 18-22, 1993.
- Kamaruddin A. 1995 (Ketua). *Optimasi Dalam Perencanaan Alat Pengering Hasil Pertanian Dengan Energi Surya*. Laporan Akhir Penelitian Hibah Bersaing.Direktorat Pembinaan Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi. Kontrak No. 039/P4M/DPPM/PHB/95
- Kamaruddin A. 1998. *Greenhouse Effect Solar Dryer for Coffee and Cocoa beans*. Final Report. University Research for Graduate Education. Contract No.032/HPPP-II/URGE/1996. Directorate General of Higher Education, Indonesia
- Manalu, L.P. 1999. Tesis Magister. Institut Pertanian Bogor. IPB
- Nelwan L. O., Kamaruddin, A. H. Suhardiyanto dan M.I. Alhamid. 1997. *Performansi Pengeringan Kakao dengan Alat Pengering Tipe Efek Rumah Kaca*. Seminar PERTETA di Bandung tanggal 7-8 Juli 1997.
- Nelwan, L.O. 2005. *Study on Solar Assisted Dryer with Rotating Rack for Cocoa Beans*. Disertasi Doktor. IPB, 2005.