

PENGEMBANGAN DAN PENGUJIAN KINERJA TERMAL PENGERING LORONG HIBRID ENERGI SURYA-BIOMASSA TERPADU

Hadi Surachman, Diding Fachrudin, Sutopo, M. Sumarsono
B2TE, BPPT, Puspiptek-Serpong, Tangerang 15314

Abstract

Traditional methods of drying of agricultural products in Indonesian are commonly done by farmers or smallholders. The product has poor quality because of insect infestation, contamination from dirt and filth. A prototype of integrated solar-biomass hybrid tunnel drier was installed and tested at Serpong, Tangerang. In this investigation was used 44 kg tilapia mossambica fish, meanwhile the full capacity of the drier was 150 kg. The fish was initially treated with brine salt and stacked for about 12 hours before drying. The salt treated fish was dried to average moisture contents 13.34% – 14.38% w.b. from 70% w.b. in 29 hours. The fish was completely protected from rain, insects and dust. The combination of solar energy and biomass stove at low solar irradiation was able to increase the drying air 8 °C above ambient temperature.

Kata Kunci: pengering lorong, energi surya, serbuk gergaji, tungku biomassa

1. PENDAHULUAN

Salah satu tahapan dalam penanganan pasca-panen adalah pengeringan. Pengeringan adalah proses pengeluaran air dari suatu hasil pertanian/perikanan sampai kadar air setimbang dengan keadaan udara sekelilingnya atau sampai tingkat kadar air yang akan mengakibatkan kualitas hasil pertanian, perkebunan atau perikanan dapat dipertahankan dari serangan jamur dan aktivitas serangga (Henderson, 1955). Jadi, pengeringan mutlak diperlukan dalam suatu rangkaian proses produksi hasil pertanian, perkebunan atau perikanan dan dari pengeringan ini akan ditentukan kualitas bahan yang dikeringkan untuk diperdagangkan.

Pada tingkat petani/rakyat, cara lazim untuk mengeringkan hasil pertanian, perkebunan atau perikanan adalah dengan menjemur di bawah sinar matahari. Cara penjemuran ini merupakan metoda yang sangat mudah dengan menggunakan peralatan yang sederhana, namun tidak cukup mampu untuk menghasilkan produk dengan kualitas tinggi. Kontaminasi oleh material-material asing, kerusakan oleh serangga/lalat, dan pengeringan yang tidak merata merupakan ciri utama penjemuran. Untuk memecahkan masalah pengeringan produk pertanian, perkebunan atau perikanan, sekaligus memperbaiki kualitas dan memperkecil kehilangan produk selama pengeringan, telah diperkenalkan berbagai teknologi alat pengering mekanis.

Permasalahan yang dihadapi pada alat pengering mekanis adalah makin langkanya suplai minyak tanah dan dicabutnya subsidi minyak tanah. Sehingga perlu dicari alternatif sumber energi lain yang lebih murah. Sedangkan permasalahan pada alat pengering surya adalah kemampuan alat pengering untuk mengeringkan produk sangat dibatasi oleh fluktuasi radiasi surya. Selain itu jika menggunakan pengering surya tipe lorong diperlukan tanah yang luas untuk kapasitas pengeringan yang besar.

Berdasarkan alasan tersebut di atas pada penelitian ini telah dibuat prototipe alat pengering lorong yang memadukan energi surya dan biomassa sebagai langkah diversifikasi sumber energi serta meningkatkan kapasitas pengeringan tetapi luas tanah yang diperlukan lebih kecil. Prototipe ini disebut dengan istilah Pengering Lorong Hibrid Energi Surya – Biomassa Terpadu. Konsep alat pengering ini adalah memanfaatkan secara integral unit pemanas tambahan berbahan bakar biomassa, energi surya dan efek rumah kaca. Pemilihan biomassa sebagai pengganti minyak tanah didasarkan pada potensi energi biomassa di Indonesia yang cukup besar. Di sisi lain konsep pengering energi surya tetap digunakan mengingat potensi energi surya di Indonesia yang relatif baik. Radiasi surya harian rata-rata Indonesia adalah 4,825 kWh/m² (Anonim, 1998). Selanjutnya, pada makalah ini akan disampaikan hasil pengujian pengering lorong tersebut dengan produk yang dikeringkan adalah

ikan mujair. Pemilihan ikan sebagai beban pengeringan adalah karena ikan mempunyai sifat sangat mudah rusak bila terlambat dikeringkan, didinginkan atau diolah.

2. BAHAN DAN METODE

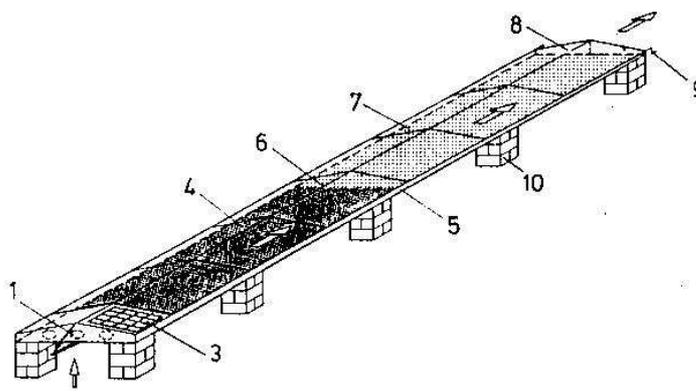
2.1. Pengering Lorong (*Tunnel Dryer*)

Beberapa pengujian di berbagai lokasi dengan berbagai kondisi iklim yang berbeda menunjukkan bahwa buah-buahan, sayuran, biji-bijian bahkan ikan dapat dikeringkan dengan baik oleh pengering surya tipe lorong (Muhlbauer, 1993), (Sumarsono, 1995).

Pengeringan ikan sebanyak 150 kg dengan menggunakan pengering surya bentuk lorong (*solar tunnel dryer*) tipe seri, Gambar 1, dengan ukuran kolektor $2\text{m} \times 12\text{m}$ dan ruang pengering $2\text{m} \times 12\text{m}$ yang dipasang seri menghasilkan ikan kering dengan kadar air 16,7% dalam waktu 5 hari,

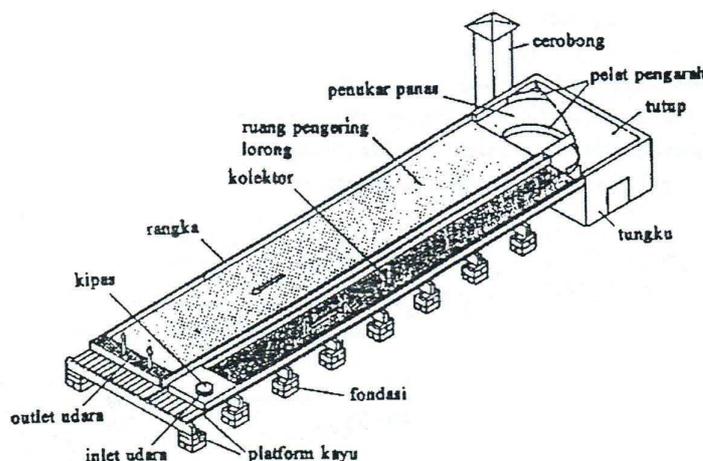
sedangkan pengeringan dengan menjemur di bawah terik matahari menghasilkan ikan kering dengan kadar air 32,84% pada waktu yang sama. Kadar air awal ikan 67% w.b. (*wet base / basis basah*). Suhu keluaran kolektor berkisar antara $35,1^{\circ}\text{C}$ - $52,2^{\circ}\text{C}$ pada radiasi surya 180 W/m^2 - 660 W/m^2 (Bala, 1999). Alat pengering sejenis tetapi dengan konfigurasi yang berbeda diberikan seperti Gambar 2, disebut pengering surya bentuk lorong tipe paralel karena letak ruang pengering dan kolektor surya berdampingan paralel. Pengering ini mempunyai ukuran kolektor $1\text{m} \times 20\text{m}$ dan ruang pengering $2\text{m} \times 20\text{m}$ (Sumarsono, 1995).

Dibandingkan dengan cara pengeringan mekanis, waktu pengeringan menggunakan cara pengeringan energi surya lebih panjang. Hal ini terjadi karena energi surya sangat bergantung pada kondisi cuaca. Sedangkan pada cara mekanis, pengeringan dapat dilakukan secara kontinyu dan suhu pengeringan yang dihasilkan konstan (Muhlbauer, 1993).



Gambar 1. Alat pengering surya bentuk lorong tipe seri (Muhlbauer, 1993)

(1.Kipas; 2. Udara masuk; 3. Modul surya; 4. Kolektor; 5. Rangka besi; 6. Udara keluar kolektor; 7. Ruang pengering; 8. Udara keluar ruang pengering; 9. Penggulung plastik; 10. Beton penyangga)



Gambar 2. Alat pengering surya bentuk lorong tipe paralel (Sumarsono, 1995)

2.2. Perhitungan Efisiensi Energi

Efisiensi yang dihitung adalah efisiensi termal bangunan, efisiensi pengeringan oleh udara pengering dan efisiensi total. Efisiensi termal bangunan adalah perbandingan energi yang masuk ke dalam sistem pengering terhadap penggunaannya untuk memanaskan udara pengering. Sedangkan efisiensi pengeringan oleh udara pengering didefinisikan sebagai perbandingan antara energi yang digunakan untuk pengeringan produk terhadap energi untuk memanaskan udara pengering. Efisiensi total sistem adalah nisbah antara energi yang masuk ke dalam sistem pengering dengan energi yang digunakan untuk mengeringkan produk. Untuk menghitung efisiensi tersebut menggunakan persamaan sebagai berikut (Kamaruddin, 1993):

Efisiensi termal bangunan:

$$\eta_t = \frac{Q_3}{IA\alpha\tau + m_b C_v} \times 100\% \quad (1)$$

Efisiensi pengeringan oleh udara pengering:

$$\eta_{up} = \frac{Q_1 + Q_2}{Q_3} \times 100\% \quad (2)$$

Efisiensi total sistem:

$$\eta_{TOT} = \frac{Q_1 + Q_2}{P_w \theta_t + IA\alpha\tau + m_b C_v} \times 100\% \quad (3)$$

Efisiensi tungku:

$$\eta_{tk} = \frac{Q_{he}}{Q_b} \times 100\% \quad (4)$$

dengan:

- Q_1 : Energi pemanasan bahan, (J)
- Q_2 : Energi penguapan air bahan, (J)
- Q_3 : Energi pemanasan udara, (J)
- Q_b : Energi pembakaran biomassa, (J)
- Q_{he} : Energi penukar kalor, (J)
- $IA\alpha\tau$: Energi surya yang diterima, (J)
- $m_b C_v$: Energi biomassa yang dibakar, (J)
- I : Radiasi surya, (W/m^2)
- A : Luas kolektor, (m^2)
- m_b : Jumlah biomassa total, (kg)
- C_v : Nilai kalor biomassa, (kJ/kg)
- P_w : Daya kipas, (W)
- τ : Transmisivitas tutup kolektor (-)
- α : Absorpsivitas pelat kolektor (-)
- θ_t : Waktu penggunaan kipas, (det)

2.3. Penentuan Kadar Air

Kadar air ikan ditentukan dengan metode *oven* berdasarkan ASTM-D 3137, *Standard Test Method for Moisture in The Analysis Sample* (Anonymous, 1988). Ikan yang sudah dicacah sebanyak 10 gram dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C sampai tidak terjadi perbedaan berat. Dalam penelitian ini lama pengovenan 19 jam. Kadar air basis kering untuk setiap waktu dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut

$$M_j = \frac{W_j - W_d}{W_d} \times 100 \quad (5)$$

dengan:

- M_j : Kadar air waktu ke - j
- W_j : Berat bahan ke - j
- W_d : Berat kering bahan

2.4. Bahan yang Dikeringkan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam pengujian ini adalah ikan jenis mujair (*tilapia mossambica fish*) yang telah direndam selama 12 jam dalam air garam dengan kadar garam 30%. Alat yang digunakan terdiri atas: Pengering lorong hibrid energi surya-biomassa dengan bahan bakar serbuk gergaji sebagai pemanas tambahan. Alat-alat ukur meliputi: piranometer tipe MS-42, KIPP & ZONEN; termokopel tipe T (C-C), Pt100; oven pengering Ikeda Rika Model SS-204 DD; timbangan digital AND model EK-1200A; data logger MAC 19 (data scanning per 2 detik); anemometer SATO, SK27V.

Alat pengering ini menggunakan matahari sebagai sumber energi panas serta dilengkapi dengan tungku pemanas sebagai sumber panas-tambahan jika diperlukan. Komponen utama dalam alat pengering ini adalah kolektor surya pemanas udara, ruang pengering, kipas, penukar kalor dan tungku pemanas.

- 1) Ruang pemanas udara (kolektor)
Kolektor terdiri atas lembaran *zincalum* berukuran 1m x 7m yang dicat hitam (*absorber*) dan atasnya ditutup dengan plastik transparan tahan sinar UV (*UV resistance transparent plastic*). Tinggi celah antara tutup plastik dan *absorber* 100 mm. Seng dicat hitam berfungsi untuk menyerap energi radiasi surya dan mengubahnya menjadi energi panas. Sedangkan tutup plastik transparan berfungsi untuk meneruskan cahaya matahari, menghambat radiasi balik dari *absorber* serta

menghambat pindah panas konveksi dari udara dalam ke udara luar.

2) Kipas

Kipas jenis aksial (220 watt) berfungsi untuk menghisap udara panas dari kolektor dan menghembuskannya ke ruang pengering. Udara panas inilah yang akan mengeringkan ikan dalam ruang pengering.

3) Penukar kalor

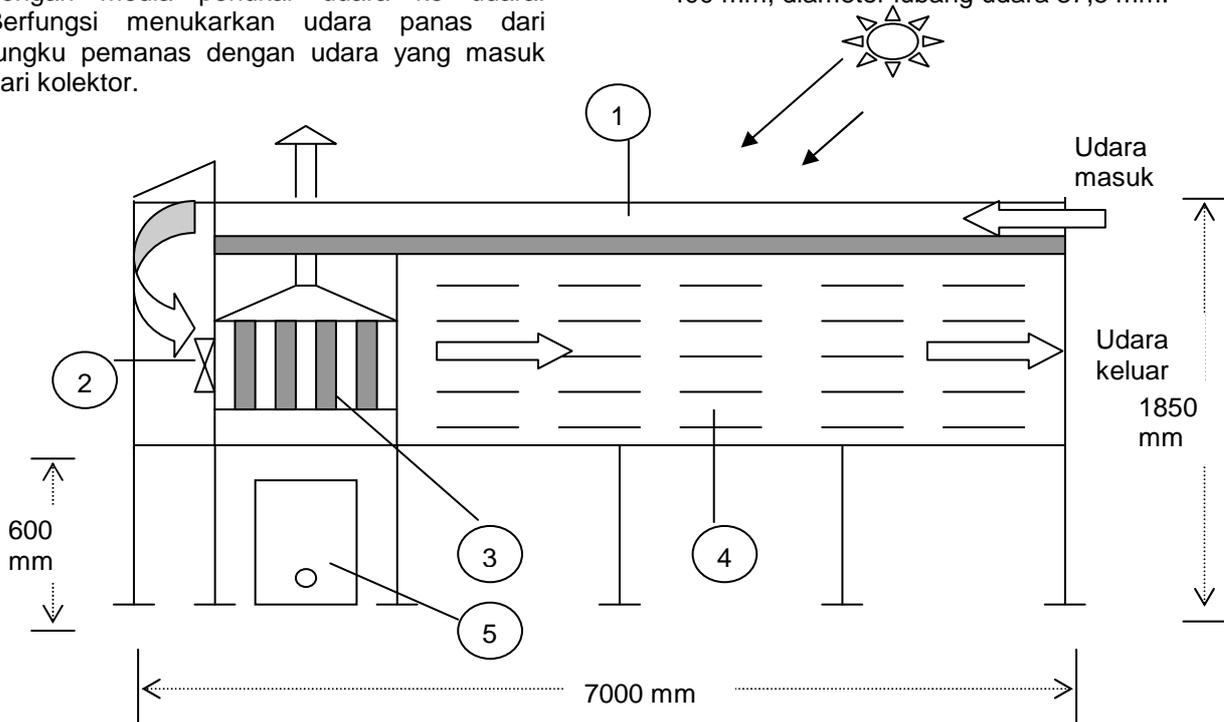
Penukar kalor terdiri atas rangkuman pipa (36 pipa) dengan diameter 50 mm dan tinggi 700 mm, atau luas pindah panas total 4,0 m², dengan media penukar udara ke udara. Berfungsi menukarkan udara panas dari tungku pemanas dengan udara yang masuk dari kolektor.

4) Ruang pengering

Ruang pengering terdiri atas 5 tingkat rak. Tiap rak berisi para-para dari jaring plastik berukuran 1m x 0,9m tempat meletakkan ikan yang akan dikeringkan. Jumlah total 25 rak. Dinding ruang pengering terbuat dari plastik transparan untuk menambah jumlah energi surya yang masuk.

5) Tungku pemanas

Berfungsi memberikan panas tambahan jika panas dari kolektor tidak mencukupi. Tungku ini terbuat dari drum diameter 300 mm, tinggi 400 mm, diameter lubang udara 37,5 mm.



Gambar 3. Skema pengering lorong hibrid energi surya-biomassa terpadu (1.Kolektor ; 2. Kipas ; 3. Penukar kalor ; 4. Ruang pengering ; 5.Tungku pemanas)



Gambar 4. Pengering lorong hibrid energi surya-biomassa terpadu

Tabel 1. Spesifikasi teknis

Komponen	Spesifikasi
Absorber kolektor	Zincalum di cat hitam
Tungku biomassa: Bahan bakar Bentuk	Serbuk gergaji Drum Ø 0,3 m x 0,4 m 4 buah
Kipas	Aksial, 220 watt
Ruang pengering	Kap. 150 kg ikan segar 5 tingkat rak @ 5 rak
Penukar kalor	Target output = 45 °C

2.5. Tempat dan Prosedur Pengujian

Tempat pengujian/penelitian di Laboratorium Balai Besar Teknologi Energi (B2TE), Puspiptek-Serpong.

Prosedur pengujian dijabarkan sebagai berikut: Ikan yang akan dikeringkan dibersihkan sisiknya, dibelah dan isi perutnya dibuang kemudian direndam dalam air garam dengan kadar garam 30% selama 12 jam. Setelah itu ikan dicuci kembali, ditiriskan dan di letakkan di rak-rak ruang pengering. Pengeringan ikan dimulai jam 08:00.

Data yang dicatat meliputi iradiasi surya, suhu ruang pengering, suhu lingkungan, suhu pelat kolektor, suhu ruang pemanas, suhu pipa penukar kalor, kecepatan udara, massa bahan bakar (serbuk gergaji) dan waktu pengeringan.

Jumlah ikan yang dikeringkan 44 kg dengan kadar air awal sekitar 70%. Panas tambahan diberikan jika cuaca mendung atau hujan. Pengeringan dihentikan jika kadar air ikan mencapai kurang lebih 15% w.b (*wet base* / basis basah), kemudian dilakukan uji mutu ikan kering.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Penurunan Kadar Air

Pada Tabel 2 tampak bahwa penurunan kadar air berlangsung secara cepat dan konstan selama 6 jam pertama. Hal ini terjadi karena air pada permukaan ikan masih banyak. Sesudah itu

penurunan kadar air berlangsung lambat sampai akhir proses pengeringan.

Kadar air akhir yang tercapai 14,04% w.b. di rak bagian depan (Rd), 13,34% w.b. di rak bagian tengah (Rt) dan 14,38% w.b. di rak bagian belakang (Rb). Ini dapat disimpulkan bahwa dalam kondisi rak ruang pengering terisi penuh, distribusi suhu pada proses pengeringan berlangsung secara merata. Sedangkan kadar air akhir ikan hasil penjemuran sebesar 26,92% selama 29 jam.

3.2. Kondisi Pengeringan

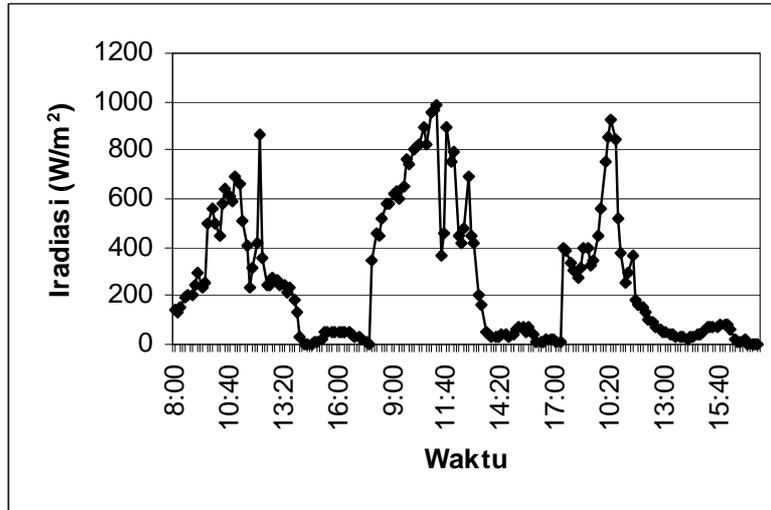
Radiasi surya pada percobaan ini rata-rata 459,63 W/m² dengan total radiasi yang diterima selama 29 jam sebesar 8,42 kWh/m² seperti disajikan dalam Gambar 5. Nilai kelembaban relatif (RH) udara lingkungan berkisar antara 65% – 100% sedangkan RH udara di ruang pengering berkisar antara 33% – 89%.

Suhu udara di ruang pengering rata-rata 36°C seperti disajikan dalam Gambar 6. Panas tambahan diberikan pada jam 14.00 saat cuaca mendung atau radiasi matahari rendah. Tujuannya adalah untuk mempersingkat waktu pengeringan dan mendapatkan hasil akhir yang memenuhi standar mutu. Panas tambahan diperoleh dari pembakaran biomassa (serbuk gergaji) menggunakan tungku biomassa model drum dengan diameter 300 mm dan tinggi 400 mm. Empat buah tungku diletakkan dalam ruang pembakaran dengan berat masing-masing tungku 7 kg serbuk gergaji. Jumlah total serbuk gergaji yang digunakan 84 kg.

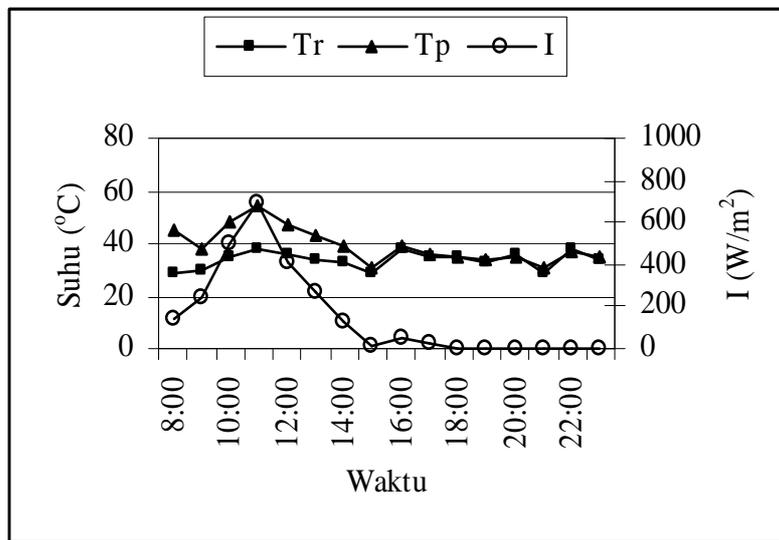
Tabel 2. Penurunan kadar air ikan dalam pengeringan

Lama Pengeringan (jam)	Kadar air ikan, % w.b. (<i>wet base</i>)			
	Rd	Rt	Rb	Jemur
1	70,86	71,18	72,52	72,77
3	63,74	65,28	67,90	66,56
5	52,62	56,02	60,21	55,90
7	40,47	43,76	49,27	45,74
9	34,67	37,06	43,28	44,94
11	30,86	32,42	38,96	43,46
16	28,40	28,01	31,87	40,96
19	21,94	22,92	26,70	39,54
22	17,86	16,82	19,46	33,55
25	15,53	13,69	14,85	31,62
27	14,99	13,43	14,54	28,80
29	14,04	13,34	14,38	26,92

Keterangan: Rd = Rak depan ; Rt = Rak tengah; Rb = Rak belakang



Gambar 5. Radiasi surya yang diterima selama percobaan



Gambar 6. Plot sebaran suhu ruang pengering dan kolektor selama percobaan (Tr = suhu ruang pengering; Tp = suhu kolektor; I = Irradiasi surya)

Hasil perhitungan kebutuhan energi panas untuk pengeringan dan efisiensi diberikan pada Tabel 3. Rendahnya efisiensi pengeringan ini berkaitan dengan jumlah ikan yang dikeringkan sebanyak 30% dari kapasitas total 150 kg. Selain itu untuk meningkatkan efisiensi total perlu dilakukan optimasi terhadap jumlah serbuk gergaji yang dibakar.

3.3. Mutu Hasil Pengeringan

Hasil uji mutu ikan kering menunjukkan bahwa parameter mutu yang dipenuhi adalah organoleptik

terukur normal (menurut standar mutu ikan kering Indonesia, organoleptik: 6,5), kandungan bakteri *E. Coli* terdeteksi tidak ada (standar mutu: negatif), kadar air 13-14% bobot (standar mutu, maksimum: 35-45% bobot). Pada ikan kering masih dijumpai kapang sebanyak 40 koloni/gram (standar mutu: negatif). Kapang ini disebabkan oleh jamur jenis *Dun Spoilage* yang hanya hidup di permukaan daging ikan dan membentuk pigmen berwarna keabu-abuan. Gejala ini memang dapat terjadi pada ikan asin yang mempunyai kadar air kurang dari 17% (Irawan, 1995).

Tabel 3. Kebutuhan energi panas untuk pengeringan dan efisiensi

No	Parameter	Simbol	Satuan	Nilai
1	Jumlah biomassa total	m_b	kg	84
2	Nilai kalor biomassa	C_v	kJ/kg	18.495
3	Energi biomassa di tungku (Q_b)	$m_b \times C_v$	kJ	1.553.580
4	Jumlah radiasi surya	I	kJ	212.212,8
5	Transmisivitas tutup kolektor	τ	-	0,9
6	Absorpsivitas plat kolektor	α	-	0,9
7	Energi surya	$I \times \tau \times \alpha$	kJ	171.892,37
8	Berat ikan sebelum dikeringkan	W_{ii}	kg	44
9	Berat ikan setelah dikeringkan	W_{if}	kg	13,1
10	Berat uap air	$W_v = W_{ii} - W_{if}$	kg	30,9
11	Panas laten ikan	h_{fg}	kJ/kg	2.558,73
12	Energi menguapkan air ikan (Q_2)	$W_v \times h_{fg}$	kJ	79.064,76
13	Panas jenis ikan	C_{pi}	kJ/kg.K	3,387
14	Suhu ruang pengering	T_r	$^{\circ}\text{C}$	35,22
15	Suhu lingkungan	T_a	$^{\circ}\text{C}$	27,18
16	Energi memanaskan ikan (Q_1)	$W_{ii} \times C_{pi} \times (T_r - T_a)$	kJ	1.198,19
17	Laju massa udara di ruang pengering	m_a	kg/s	0,45
18	Lama pengeringan	θ_t	s (det)	104.400
19	Panas jenis udara	C_{pa}	kJ/kg.K	1,006
20	Energi memanaskan udara (Q_3)	$m_a \times \theta_t \times C_{pa} \times (T_r - T_a)$	kJ	379.985,5
21	Daya kipas	P_w	W	220
22	Energi listrik	$P_w \times \theta_t$	kJ	229.68
23	Efisiensi termal bangunan	Pers. (1)	%	22,02
24	Efisiensi pengeringan	Pers. (2)	%	21,12
25	Efisiensi total	Pers. (3)	%	4,59
26	Massa udara di dalam tungku	m_{ud}	kg	26.832
27	Panas jenis udara	C_{pud}	kJ/kg.K	1,006
28	Suhu udara masuk	T_1	$^{\circ}\text{C}$	27,18
29	Suhu udara keluar	T_2	$^{\circ}\text{C}$	37,20
30	Energi Penukar Kalor (Q_{he})	$m_{ud} \times C_{pud} \times (T_1 - T_2)$	kJ	133.474
31	Efisiensi tungku	Pers. (4)	%	17,41

4. KESIMPULAN

- Prototipe pengering lorong hibrid energi surya-biomassa terpadu mampu mengeringkan 44 kg ikan hingga kadar air akhir 13% -16% w.b. dalam waktu 29 jam pada kondisi relatif kurang cerah.
- Perlu dilakukan pengeringan dengan beban penuh dan juga dilakukan langkah-langkah optimasi untuk peningkatan kinerja alat pengering di antaranya adalah optimasi jumlah biomassa yang dibakar untuk meningkatkan efisiensi sistem pengeringan.
- Mutu ikan kering hasil pengeringan telah memenuhi standar mutu ikan kering Indonesia.

- Perlu dilakukan pengujian pengeringan menggunakan produk/komoditi pertanian atau perkebunan yang lain misal, biji kakao, kopi, tanaman obat/jamu (kunyit, lengkuas, dan temu lawak).

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1998. Kebijakan Umum Bidang Energi, Bakoren – Badan Koordinasi Energi Nasional.
- Anonymous, 1988. ASTM - American Society for Testing and Materials.
- Bala B.K. and M.R.A. Mondol, 1999. Experimental Investigation on Solar Drying of Fish Using solar Tunnel Drier, Proc. of First Asian-Australian Drying Conference, Bali.

Henderson, S.M. & Perry, R.L., 1955. Process Engineering, John Wiley & Sons, Inc. New York.

Irawan A., HSR., 1995. Pengawetan Ikan & Hasil Pertanian, C.V. ANEKA, Solo.

Kamaruddin A., 1993. Optimization of Solar Drying System, Proc. of the 5 th International Energy Conference, Seoul, October 18-22.

Muhlbauer W., Esper A. and Muller J., 1993. Solar Energy in Agriculture, ISES Solar World Congress, Budapest, August 23-27.

Sumarsono, M., 1995. Pengembangan Alat Pengereng Lorong Tenaga Panas Matahari untuk Pengerengan Kakao dan Tinjauan Ekonominya, Prosiding Dialog Teknologi dan Industri '95, BPPT, 675-684.