

KONSUMSI ENERGI PADA ALAT PENGERING SURYA DAN TIPE BAK UNTUK PENGERINGAN BIJI KAKAO

ENERGY CONSUMPTION OF SOLAR DRYER AND BIN-TYPE DRYER FOR COCOA BEAN DRYING

Lamhot P. Manalu

Pusat Teknologi Agroindustri - BPPT
Gedung II Lt. 15 – BPPT Jl. MH. Thamrin 8, Jakarta 10340
Email : lpmanalu@yahoo.com

Diterima (received) : 07-09-2015, Direvisi (reviewed) : 15-09-2015

Disetujui (accepted) : 27-10-2015

Abstrak

Proses pengeringan memerlukan banyak energi sehubungan dengan banyaknya air yang harus diuapkan dari bahan yang dikeringkan. Pengeringan dapat dilakukan dengan menggunakan pengering mekanis berbahan bakar fosil atau dengan menempatkan produk di bawah matahari terbuka. Metode pertama adalah mahal dan memiliki dampak negatif pada lingkungan, sedangkan metode kedua sangat tergantung pada cuaca. Diperkirakan bahwa 12% dari total energi yang dipergunakan oleh industri pangan dan pertanian diserap untuk proses ini. Mengingat semakin terbatasnya sumber energi bahan bakar minyak maka usaha diversifikasi dan optimasi energi untuk pengeringan perlu terus diteliti dan dikembangkan. Salah satunya adalah pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penggunaan energi untuk pengeringan kakao dengan memakai pengering energi surya dan pengering tipe bak, serta untuk mengetahui efisiensi pengeringan dari masing-masing tipe pengering. Hasil kajian menunjukkan bahwa efisiensi total sistem pengeringan alat pengering surya berkisar antara 36% dan 46%, sedangkan pengering tipe bak antara 21.7% dan 33.1%. Kebutuhan energi spesifik alat pengering surya berkisar antara 6.17-7.87 MJ/kg, sedangkan alat pengering tipe bak 8.58-13.63 MJ/kg. Efisiensi alat pengering dipengaruhi oleh tingkat iradiasi surya dan jumlah beban pengeringan, semakin tinggi iradiasi yang diterima pengering serta semakin banyak biji kakao yang dikeringkan, maka efisiensi pengeringan juga semakin tinggi dan kebutuhan energi spesifik semakin turun.

Kata kunci : energi, efisiensi, kakao, pengering surya, tipe bak

Abstract

Crop drying is essential for preservation in agricultural applications. It is performed either using fossil fuels in an artificial mechanical drying process or by placing the crop under the open sun. The first method is costly and has a negative impact on the environment, while the second method is totally dependent on the weather. The drying process requires a lot of energy in relation to the amount of water that must be evaporated from the product. It is estimated that 12% of the total energy used by the food industries and agriculture absorbed in this process. Due to the limitation of energy resources, it is important to keep researching and developing of diversification and optimization of energy. This study aims to assess the use of energy for cocoa drying using solar energy dryer and bin-type dryer, as well as to determine the drying efficiency of each type of dryer. The results showed that the efficiency of the solar dryer drying system ranges between 36% to 46%, while the tub-type dryers between 21.7% to 33.1%. The specific energy of solar dryer ranged from 6.17-7.87 MJ / kg, while the tub-type dryers 8.58-13.63 MJ / kg. Dryer efficiency is influenced by the level of solar irradiation and the amount of drying load, the higher the irradiation received and more cocoa beans are dried, the drying efficiency is also higher and the specific energy further down.

Keyword : energy, efficiency, cocoa, solar dryer, bin-type dryer.

1 PENDAHULUAN

Pengeringan merupakan proses pengeluaran air dari dalam bahan secara termal untuk menghasilkan produk kering. Pengeringan sudah dikenal sejak dulu sebagai salah satu metode pengawetan produk hasil pertanian (Mustayena et al, 2014). Proses ini dipengaruhi oleh kondisi eksternal yaitu suhu, kelembaban, kecepatan dan tekanan udara pengering serta kondisi internal seperti kadar air, bentuk/geometri, luas permukaan dan keadaan fisik bahan. Setiap kondisi yang berpengaruh di atas dapat menjadi faktor pembatas laju pengeringan (Curcio & Aversa, 2014; Brooker et al. 1991). Pengeringan merupakan proses yang kompleks terutama disebabkan oleh adanya perubahan yang tidak diinginkan terhadap kualitas produk keringnya. Tujuan utama pengeringan produk pertanian adalah untuk mengurangi kadar air dalam bahan sampai ke tingkat tertentu di mana kerusakan akibat reaksi kimia dan aktivitas mikroba dapat diminimalisasi (Nascimento et al., 2013; Rizvi 2005), sehingga kualitas produk keringnya dapat dipertahankan.

Pengeringan memerlukan banyak energi sehubungan dengan banyaknya air yang harus diuapkan dari bahan. Diperkirakan energi yang diserap untuk proses ini mencapai 12% dari total energi yang dipergunakan pada industri pangan dan pertanian (Napp *et al.*, 2014). Mengingat tingginya energi yang dikonsumsi dalam proses ini dan semakin terbatasnya sumber bahan bakar minyak maka usaha diversifikasi dan optimasi energi untuk pengeringan perlu terus diteliti dan dikembangkan.

Salah satu bentuk diversifikasi energi adalah pemanfaatan pengering energi surya. Sumber energi terbarukan ini mempunyai keuntungan antara lain tidak menimbulkan polusi seperti yang terjadi pada sistem yang menggunakan bahan bakar fosil. Disamping itu potensi energi surya di Indonesia cukup melimpah namun mempunyai kelemahan yaitu sifatnya yang tidak kontinyu dan intensitasnya yang bervariasi menurut lokasi (letak lintang) dan waktu (Mustayena et al, 2014). Sedangkan pengering tipe bak yang banyak dipakai petani di Indonesia menggunakan bahan bakar fosil seperti minyak tanah (Mulato et al, 2010),

Kakao (*Theobroma cacao L.*) adalah salah satu komoditas yang memerlukan proses pengeringan yang baik dalam rangkaian pengolahan pasca panennya. Secara tradisional biji kakao dikeringkan dengan cara dijemur langsung. Cara ini mempunyai beberapa kelemahan antara lain kurang terjamin kebersihannya, resiko terkena hujan dan sulit mencapai kadar air akhir (kadar air aman simpan) 7% (BSN, 2008). Pengering mekanis tipe bak banyak dipakai oleh petani/UKM kakao di Indonesia. Pengering ini umumnya digunakan pada saat cuaca tidak mendukung seperti pada sat musim

hujan. Selain itu dipakai juga sebagai pengeringan lanjutan untuk mengeringkan biji kakao agar dapat mencapai kadar air aman simpan (Manalu, 2002).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penggunaan energi untuk pengeringan kakao dengan memakai pengering energi surya dan pengering tipe bak, serta untuk mengetahui efisiensi pengeringan dari masing-masing tipe pengering.

2 METODOLOGI

2.1 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah biji kakao (*Theobroma cacao L.*) dari jenis UAH (*Upper Amazone Hybrid*) yang sudah difermentasi.

Alat-alat ukur meliputi : piranometer tipe MS-42, multimeter digital merek Yokogawa tipe 755, hybrid recorder merek HR-2500E, termokopel tipe T (C-C) dan termometer alkohol, anemomaster merek Kanomax Model 6141, timbangan digital merek AND Model EK-1200A, oven pengering merek Ikeda Rika Model SS-204D, manometer tipe GN-300.

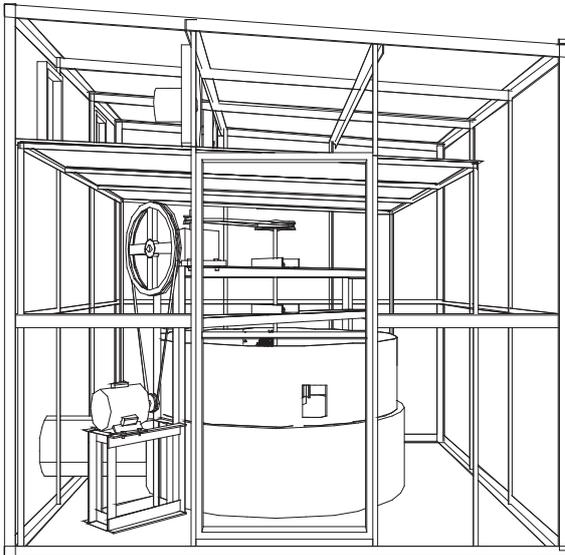
2.2 Alat Pengering Surya

Alat pengering energi surya (Gambar 1) terdiri dari konstruksi rumah kaca dan bak pengering dengan pengaduk. Bangunan rumah kaca berfungsi sebagai pengumpul panas sedangkan bak pengering yang berbentuk silinder tegak (*circular*) dipakai sebagai tempat meletakkan biji kakao yang akan dikeringkan. Bangunan rumah kaca yang berfungsi sebagai kolektor panas terdiri dari plat hitam dan lantai (*absorber*) serta atap dan dinding transparan.

Energi surya berupa gelombang pendek yang ditransmisikan lewat atap dan dinding diserap oleh absorber dan sebagian dipantulkan. Pantulan dalam bentuk gelombang panjang akan terperangkap di dalam ruangan sehingga terjadi akumulasi panas yang menyebabkan peningkatan suhu di dalam rumah kaca (Tyagi et al., 2012; Duffie & Beckman, 1980). Energi panas ini dengan bantuan kipas dipakai untuk mengeringkan kakao yang ada dalam bak pengering. Pada saat cuaca tidak mendukung pengeringan tetap dapat dilakukan dengan memberikan pemanasan tambahan. Pada percobaan ini panas tambahan diberikan untuk mempertahankan suhu ruang pengering pada kisaran suhu 50 °C.

Matahari memancarkan radiasi energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Pada kondisi optimum energi surya yang mencapai permukaan bumi besarnya 6 - 8 kWhm²/hari untuk daerah di sekitar katulistiwa. Sedangkan pada kondisi berawan diperkirakan hanya 10-20% dari kondisi sebelumnya. Dari jumlah energi yang tersedia,

diperkirakan bahwa potensi yang jatuh di wilayah Indonesia besarnya 0.9×10^{18} kJ/tahun. Iradiasi surya rata-rata di Indonesia adalah sebesar $4.5 \text{ kWh/m}^2/8$ jam atau 562.5 W/m^2 (Chan et al., 2015).



Gambar 1. Alat Pengerih Energi Surya.

2.3 Pengerih Tipe Bak

Alat pengerih tipe bak yang digunakan berkapasitas 1500 kg/batch terdiri atas beberapa komponen yaitu (a) bak pengerih berukuran $6 \times 2 \times 1$ (m) dengan lantai alumunium berlubang-lubang yang memisahkan ruang pengerih dengan ruang penyebaran udara panas (plenum chamber). (b) kipas (2 HP) untuk mendorong udara pengerih dari sumbernya ke plenum chamber dan melewati tumpukan bahan di atasnya dan (c) komponen pemanas dengan bahan bakar minyak untuk memanaskan dan menurunkan kelembaban nisbi udara pengerih.



Gambar 2. Mesin Pengerih Biji Kakao Tipe Bak.

Pengerih tipe bak (Gambar 2) umum digunakan untuk mengeringkan kakao dengan cara

menguapkan air dalam biji kakao pasca fermentasi yang semula berkisar 50 – 55 % menjadi 7 % agar biji kakao aman disimpan sebelum dipasarkan atau diolah di pabrik (Wahyudi et al., 2008).

2.4 Prosedur Percobaan

Biji kakao yang akan dikeringkan diletakkan dalam bak pengerih dan heater dihidupkan (tipe bak). Pada pengerih surya, pengeringan dilakukan pada siang hari (secara *intermittent*). Pada pengerih tipe bak pengeringan biji kakao dilakukan dua cara yaitu langsung tanpa penjemuran dan dengan menjemur biji kakao terlebih dahulu. Pengeringan dihentikan setelah kadar air biji kakao sudah tidak lebih dari 7%.

2.5 Efisiensi Pengeringan

Efisiensi yang dihitung adalah efisiensi termal alat pengerih, efisiensi pengeringan dan efisiensi total. Efisiensi termal bangunan adalah perbandingan energi yang masuk ke dalam sistem pengerih terhadap penggunaannya untuk memanaskan udara (menghasilkan udara pengerih).

Efisiensi pengeringan adalah nisbah energi yang digunakan untuk penguapan terhadap energi yang digunakan untuk pemanasan udara pengerih. Sedangkan efisiensi total sistem pengeringan adalah nisbah antara energi yang digunakan untuk memanaskan dan mengeringkan produk terhadap energi yang masuk ke dalam sistem pengeringan (bahan bakar, iradiasi surya dan listrik).

Besaran kebutuhan energi spesifik dihitung berdasarkan jumlah energi yang masuk ke dalam sistem pengeringan dibagi dengan jumlah massa air yang diuapkan (Chan et al., 2015; Brooker et al., 1991).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

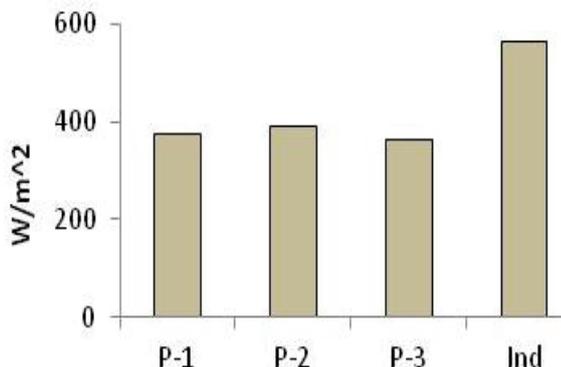
3.1 Pengerih Surya

3.1.1 Profil Kondisi Percobaan

Data iradiasi surya yang tercatat pada saat percobaan sangat berfluktuasi dengan nilai rata-rata untuk percobaan 1, 2 dan 3 berturut-turut adalah 374.3 , 388.6 dan 364.3 W/m^2 (Gambar 3). Angka ini jauh lebih rendah dari iradiasi rata-rata Indonesia sebesar 562.5 W/m^2 . Iradiasi maksimum yang dicapai 760 , 810 dan 760 W/m^2 , sedangkan lama penyinaran (4 hari) adalah 27, 25 dan 24 jam sehingga total iradiasi yang diterima adalah 10.2 , 9.6 dan 8.8 kWh/m^2 .

Suhu dan RH lingkungan juga berfluktuasi dengan kisaran suhu lingkungan sebesar 24.5 - 36.9 , 23.5 - 37.2 dan 22.6 - $35.5 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan nilai rata-rata

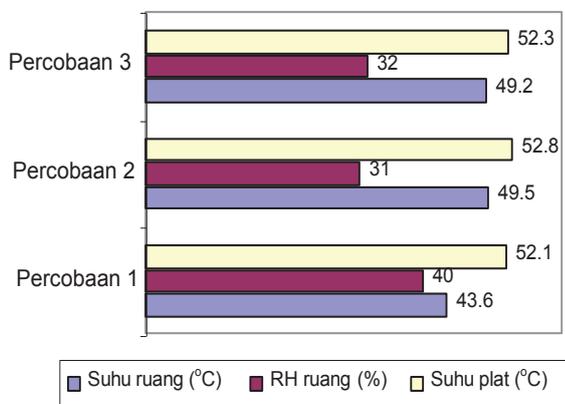
30.1, 30.4 dan 29.0 °C, sedangkan kisaran RH lingkungan 47-100%, 49-100% dan 51-100% dengan RH rata-rata 70%, 68% dan 74%.



Gambar 3. Iradiasi Surya Rata-Rata selama Percobaan (P-1,2,3) dan rata-rata Indonesia.

3.1.2 Profil Suhu dan RH Ruang Pengering

Suhu dan RH ruang juga berfluktuasi sebagaimana suhu dan RH lingkungan. Kisaran suhu ruang yang terjadi pada ketiga percobaan berturut-turut adalah 30.3-56.3 °C, 29.1-61.6 °C dan 27.0-60.5 °C dengan nilai rata-rata 43.6 °C, 49.5 °C dan 49.2 °C, sedangkan selang RH adalah 25-74%, 21-96% dan 23-81% dengan rata-rata 40%, 31% dan 32% (Gambar 4).



Gambar 4. Suhu dan RH Ruang serta Suhu Plat rata-rata selama Percobaan.

3.1.3 Energi Tambahan

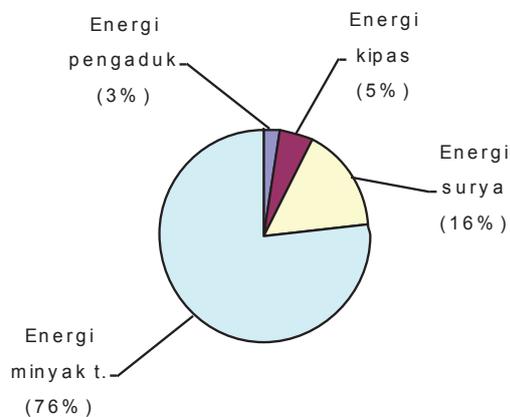
Untuk mempertahankan suhu pengeringan dan mempercepat waktu pengeringan maka pada ketiga percobaan diberikan energi atau panas tambahan terutama pada saat awal pengeringan dan saat cuaca mendung atau hujan dimana iradiasi surya kecil sekali bahkan tidak ada sama sekali. Panas tambahan diperoleh dari pembakaran minyak tanah

memakai kompor bertekanan (*pressure burner*). Laju penggunaan minyak tanah selama percobaan berkisar 0.9 -1.0 liter/jam.

3.1.4 Konsumsi Energi dan Efisiensi

Sumber energi yang dipasok ke alat pengering berasal dari surya (iradiasi), minyak tanah (panas dari *burner*) dan listrik (untuk kipas dan pengaduk). Besarnya pasokan tersebut tertera pada Tabel 1, dari tabel tersebut terlihat bahwa energi listrik untuk kipas pada ketiga percobaan relatif sama karena jumlah dan daya kipas yang dipakai selama percobaan sama. Perbedaan yang terjadi hanya karena waktu pengeringan yang lebih singkat. Demikian juga halnya dengan energi listrik untuk pengaduk, perbedaan disebabkan oleh variasi pola pengadukan, walaupun demikian secara keseluruhan tidak terlalu berpengaruh terhadap total konsumsi energi.

Sebagian besar (>90%) pasokan energi yang berasal dari surya dan minyak tanah dimanfaatkan langsung untuk pemanasan udara dan penguapan air (Tabel 2). Pada ketiga percobaan porsi energi surya masih kecil yaitu sekitar 16-18% (Gambar 5), angka ini masih dapat ditingkatkan dengan melakukan pengeringan hanya pada saat ada panas/sinar matahari (tidak hujan atau mendung). Konsekuensinya waktu pengeringan akan bertambah panjang.



Gambar 5. Porsi Energi pada Percobaan 3.

Efisiensi termal alat pengering surya yang dihitung untuk ketiga percobaan berturut-turut adalah 53%, 79% dan 80%, sedangkan efisiensi pengeringan oleh udara pengering adalah 78%, 49% dan 62%. Efisiensi total sistem pengeringannya adalah 38%, 36% dan 46% (Gambar 6).

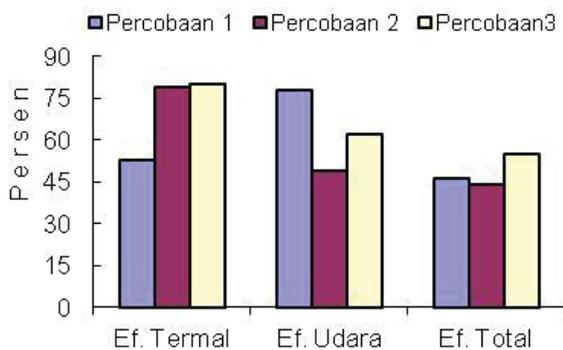
Kebutuhan energi spesifik yaitu energi total yang digunakan per kilogram massa air yang diuapkan untuk ketiga percobaan berturut-turut adalah 7.41, 7.87 dan 6.17 MJ/kg. Brooker et al. (1991) menyatakan kebutuhan energi spesifik untuk pengeringan biji-bijian berkisar antara 3-10 MJ/kg.

Tabel 1. Komposisi Pasokan Energi dalam Alat Pengering Surya

Sumber energi	Percobaan 1		Percobaan 2		Percobaan 3	
	(kJ)	(%)	(kJ)	(%)	(kJ)	(%)
Surya	238 550	17.5	224 991	17.6	206 613	15.9
Minyak tanah (<i>burner</i>)	1 022 345	75.0	960 385	75.3	991 365	76.4
Litrik (kipas & pengaduk)	102 246	7.5	90 765	7.1	100 251	7.7
T o t a l	1 363 141	100	1 276 141	100	1 298 229	100

Tabel 2. Pemanfaatan Energi untuk Pengeringan Kakao

No	Pemanfaatan/konsumsi energi	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
1	Untuk Pemanasan Udara (Kj)	662 161	936 835	960 765
2	Untuk Pemanasan Bahan (Kj)	7 039	11 836	14 043
3	Untuk Penguapan (Kj)	510 304	450 089	584 116



Gambar 6. Efisiensi Termal, Efisiensi Pengeringan dan Efisiensi Total.

Berdasarkan perhitungan nilai efisiensi dan kebutuhan energi spesifik diketahui bahwa efisiensi alat pengering surya dipengaruhi oleh tingkat iradiasi dan jumlah beban pengeringan, semakin tinggi iradiasi yang diterima bangunan pengering surya serta semakin banyak biji kakao yang dikeringkan, maka efisiensi pengeringan juga semakin tinggi.

3.2 Pengering Tipe Bak

3.2.1 Profil Kondisi Percobaan

Dari percobaan yang dilakukan diperoleh bahwa suhu pengeringan bervariasi antara 55-60 °C. Dengan beban pengeringan sebanyak 1 ton biji kakao dengan kadar air awal 56%, diperlukan waktu selama 36 jam untuk mencapai kadar air akhir 7%. Minyak tanah yang terpakai sebanyak 112 liter atau rata-rata 3.1 liter/jam.

Untuk menghemat pemakaian bahan bakar minyak biji kakao basah (kadar air 56%) sebanyak 1 ton dijemur terlebih dahulu selama 2 hari hingga kadar airnya turun menjadi sekitar 25%. Pengeringan kakao lanjutan sebanyak 588 kg biji kakao memerlukan waktu sekitar 12 jam lagi untuk mencapai kadar air 7%. Bahan bakar yang dikonsumsi sebanyak 38.5 liter atau rata-rata 3.2

liter untuk tiap jam pengeringan. Pada Tabel 3 disajikan perbandingan pengeringan kakao dengan pengering tipe bak dengan penjemuran lebih dahulu dan tanpa penjemuran.

3.2.2 Konsumsi Energi dan Efisiensi

Energi yang digunakan oleh alat pengering tipe bak berasal dari dua sumber yaitu energi listrik untuk kipas dan bahan bakar minyak untuk pemanas (*heater*). Kipas yang digunakan memiliki daya sebesar 2 hp atau sekitar 1500 Watt. Besarnya pasokan energi selama pengujian tersebut tertera pada Tabel 4, dari tabel tersebut terlihat bahwa energi listrik dan bahan bakar minyak pada dua percobaan cukup berbeda karena pengujian kedua waktu pengeringannya lebih singkat.

Tabel 5 menampilkan perhitungan pemanfaatan energi untuk proses pengeringan biji kakao yang mencakup pemanfaatan untuk pemanasan udara pengering, pemanasan bahan (biji kakao) dan untuk penguapan air dari dalam biji (tumpukan) kakao.

Hasil perhitungan efisiensi termal alat pengering tipe bak untuk dua percobaan yang dilakukan berturut-turut adalah 58.0% dan 59.3%. Angka ini tidak terlalu berbeda karena pengering tipe bak tidak dipengaruhi oleh pasokan energi yang fluktuatif seperti iradiasi matahari pada pengering surya. Efisiensi pengeringan untuk percobaan pertama (tanpa penjemuran) dan percobaan kedua (dengan penjemuran) masing-masing adalah 58.2% dan 35.8%, sedangkan efisiensi total sistem pengeringannya adalah 33.1% dan 21.7%.

Efisiensi percobaan kedua lebih kecil dari percobaan pertama karena walaupun jumlah air yang diuapkan pada percobaan 2 lebih sedikit daripada percobaan 1, tetapi konsumsi pemakaian bahan bakarnya tidak berkurang secara proporsional. Hal ini disebabkan karena laju pengeringan akan semakin melambat pada kadar air yang lebih rendah.

Tabel 3. Kondisi Percobaan

No.	Hasil Pengukuran & Perhitungan	Tanpa Penjemuran	Dengan Penjemuran
1	Beban pengeringan (kg)	1000	588
2	Kadar air awal (% bb.)	55.9	25
3	Kadar air akhir (% bb.)	7	7
4	Waktu pengeringan (jam)	36	12
5	Air yang diuapkan (kg)	525.8	113.8
6	Minyak tanah (liter)	112	38.4
7	Suhu pengeringan rata-rata (°C)	55	56
8	Suhu lingkungan rata-rata (°C)	29	29
9	RH pengeringan rata-rata (%)	24	24
10	RH lingkungan rata-rata (%)	75	75

Tabel 4. Komposisi Pasokan Energi pada Pengering Tipe Bak

Sumber Energi	Tanpa Penjemuran		Dengan Penjemuran	
	(kJ)	(%)	(kJ)	(%)
Minyak Tanah (<i>heater</i>)	4 318 920	95.7	1 550 880	95.8
Listrik (kipas)	194 400	4.3	64 800	4.2
T o t a l	4 513 320	100.0	1 550 880	100.0

Tabel 5. Pemanfaatan Energi pada Pengering Tipe Bak

No	Pemanfaatan/Konsumsi Energi	Tanpa Penjemuran	Dengan Penjemuran
1	Untuk pemanasan udara (kJ)	2 505 833	881 556
2	Untuk pemanasan bahan (kJ)	35 108	20 643
3	Untuk penguapan (kJ)	1 459 059	315 801

Kebutuhan energi spesifik yaitu energi total yang digunakan per kilogram massa air yang diuapkan untuk kedua percobaan berturut-turut adalah 8.58 dan 13.63 MJ/kg. Berdasarkan nilai tersebut terlihat bahwa perlakuan penjemuran memang dapat mengurangi pemakaian bahan bakar (lebih ekonomis) tetapi dari sisi efisiensi pengeringan dan kebutuhan energi spesifik malah menurun.

4 KESIMPULAN

Sumber energi pengering surya berasal dari tiga sumber yaitu iradiasi matahari, bahan bakar minyak dan listrik. Dari percobaan yang dilakukan porsi energi surya masih kecil yaitu sekitar 16-18%, angka ini masih dapat meningkat apabila proses pengeringan dilakukan hanya pada saat ada panas/sinar matahari.

Energi yang dipasok untuk mengeringkan 300-400 kg biji kakao dengan pengering surya adalah sebesar 1276-1363 MJ. Sedangkan pada pengering tipe bak dengan beban pengeringan sebanyak 1000 kg diperlukan energi sebesar 4513 MJ.

Efisiensi termal alat pengering surya bervariasi antara 53-80% (tergantung kondisi iradiasi surya) dan pengering tipe bak sekitar 58-59%. Sedangkan efisiensi total sistem pengeringan alat pengering surya adalah 38%, 36% dan 46%, sedangkan pengering tipe bak 33.1% dan 21.7%. Efisiensi alat

pengering surya dipengaruhi oleh tingkat iradiasi dan jumlah beban pengeringan, semakin tinggi iradiasi yang diterima bangunan pengering surya serta makin banyak biji kakao yang dikeringkan, maka efisiensi pengeringan juga semakin tinggi. Sedangkan kebutuhan energi spesifik semakin turun.

Kebutuhan energi spesifik (energi untuk menguapkan 1 kg air) alat pengering surya berkisar antara 6.17-7.87 MJ/kg, sedangkan alat pengering tipe bak 8.58-13.63 MJ/kg.

Adapun saran yang dapat disampaikan adalah dilakukannya penjemuran sebelum mengeringkan produk pada pengering tipe bak dapat mengurangi konsumsi pemakaian bahan bakar (secara ekonomis lebih hemat), tetapi efisiensi pengeringannya menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema and C.W. Hall. 1991. *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- BSN [Badan Standarisasi Nasional] Indonesia. 2008. "Biji Kakao, Rancangan Standar Nasional Indonesia". Jakarta: SNI 01-2323-2008.
- Chan, Y., N. Dyah, K. Abdullah. 2015. Performance of a recirculation type integrated collector drying chamber (ICDC) solar dryer. *In Press*. *Energy Procedia*, 68, 53–59.

- Curcio, S., M. Aversa. 2014. Influence of shrinkage on convective drying of fresh vegetables: A theoretical model
- Duffie, J.A. and W.A. Beckman. 1980. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley & Sons, New York.
- Manalu, L.P. 2002. Pengering Kakao Tipe Silinder Tegak. Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia BPPT, 4(3).
- Mulato, S. et al. 2010. Pengolahan produk primer dan sekunder kakao, Edisi-4. Puslit Kopi dan Kakao Indonesia, Jember.
- Mustayena, A.G.M.B., S. Mekhilefa, R. Saidur. 2014. Performance study of different solar dryers: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 34 (June), 463–470.
- Napp. T.A., A. Gambhir, T.P. Hills, N. Florin, P.S Fennell. 2014. A review of the technologies, economics and policy instruments for decarbonising energy-intensive manufacturing industries. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 30 (February), 616-640.
- Nascimento, M.S., P.O. Pena, D.M. Brum, F. T. Imazaki, M.L.S. Tucci, P. Efraim. 2013. Behavior of Salmonella during fermentation, drying and storage of cocoa beans. International Journal of Food Microbiology, 167(3), 363-368.
- Rizvi, S.S.H. 2005. Thermodynamic properties of foods in dehydration. *Di dalam*: Rao, M.A., S.S.H. Rizvi, A.K. Datta (editor). Engineering Properties of Foods. Ed ke-3. CRC Press, Singapore.
- Tyagi, V.V., N.L. Panwar, N.A. Rahim, Richa Kothari. 2012. Review on solar air heating system with and without thermal energy storage system. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(4), 2289-2303.
- Wahyudi, T., Pujiyanto, dan T. R. Panggabean, 2008. Panduan Lengkap Kakao. Penebar Swadaya, Jakarta.

*HALAMAN INI SENGAJA
DIKOSONGKAN*