

RANCANG BANGUN SOLAR DRYER UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS REFUSE DERIVED FUELS (RDF) SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF DI KILN BURNER INDUSTRI SEMEN

Q A M O Arifianti¹, M R Abidin², E F Nugrahani³, K K Ummatin⁴

^{1,2,3,4}Universitas Internasional Semen Indonesia, Kompleks PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk.
Jl. Veteran, Gresik Jawa Timur, 61122
(031) 3985482
qurrotin.arifianti@uisi.ac.id

Abstract

To utilize the municipal solid waste (MSW), PT Semen Indonesia has a program to convert waste into three useful products. One of the product is named Refuse Derived Fuel (RDF). The RDF has claimed that it had a caloric value about 5178 kcal/kg. However, currently, RDF could not be used for the combustion process in the cement kiln since RDF has higher moisture content and lower caloric value. In this research, a solar dryer with greenhouse type is designed to reduce the moisture content. The performance is tested using two variations and compared to the conventional method. The variations are a solar dryer with one fan and with no fan. The general results show that variation with one fan has the highest drying rate among all. There is a significant reduction of moisture content after drying process using a solar dryer. The moisture content could be reduced to 16.25 % and 17 % using one fan and no fan, respectively. Furthermore, variation with 1 fan has higher solar dryer efficiency than that of one fan.

Keywords: a solar dryer, greenhouse type, Refuse Derived Fuel (RDF)

PENDAHULUAN

PT Semen Indonesia (Persero) Tbk merupakan perusahaan BUMN yang memiliki sebuah program pengolahan sampah bersama dengan Pemerintah Kabupaten Gresik, yang bernama program Waste to Zero (WTZ) di TPA Ngipik. Pengolahan sampah kota tersebut dilakukan dengan mengolah sampah menjadi tiga produk, yaitu sampah organik, bahan bakar alternatif/ Refuse Derived Fuel (RDF), dan batu-batuan. Bahan bakar alternatif yang dihasilkan dalam plant pengolahan sampah tersebut akan dimanfaatkan menjadi bahan bakar substitusi batu bara di kiln burner PT Semen Indonesia. Nilai kalor yang dimiliki RDF tersebut sebesar 5178 kcal/ kg [1].

Program pengolahan sampah yang dilakukan oleh PT Semen Indonesia dianggap sangat menguntungkan bagi lingkungan karena dapat mengurangi jumlah sampah dan juga dapat mengurangi emisi gas CO₂. Program tersebut diharapkan dapat terus berjalan sesuai dengan rencana untuk jangka panjang. Namun, terdapat permasalahan pada salah satu produk pengolahan sampah, yaitu rendahnya kualitas

RDF. Kadar air yang seharusnya terkandung dalam RDF tersebut adalah sekitar 10%, tetapi pada kenyataannya, kadar air RDF mencapai 30-40%. Padahal RDF tersebut akan mensubstitusi ± 10% dari total batu bara pada kiln.

Menurut hasil observasi dari pihak Biro Pengelolaan Lingkungan, terdapat beberapa kendala yang mempengaruhi kualitas dan kuantitas RDF tersebut yaitu bahan baku RDF mengandung kadar air tinggi, mesin tidak sesuai dengan rancangan atau tidak sesuai kapasitas awal, dan kadar air yang terkandung pada RDF tinggi. Untuk meningkatkan kualitas RDF, dibutuhkan sebuah alat pengering yang digunakan untuk mengurangi kadar air.

Dengan mempertimbangkan area tempat pengolahan sampah yang cukup besar dan radiasi matahari yang cukup tinggi di kota Gresik, maka sistem pengering RDF yang diusulkan akan berbasis energi surya. Terdapat dua metode pengeringan dengan sinar matahari, yaitu pengeringan alami dan mekanis. Metode pertama hanya mengandalkan radiasi sinar matahari, seperti

pengeringan terbuka. Metode tersebut merupakan metode yang sudah lama dimanfaatkan untuk mengeringkan bahan pangan, seperti ikan dan hasil pertanian dan tidak membutuhkan banyak biaya. Namun, hal yang perlu dipertimbangkan, pengeringan ini rentan akan bakteri dan sangat tergantung dengan cuaca. Untuk meminimalisir kekurangan tersebut, metode konvensional ini dapat dikombinasikan dengan penambahan atap dan dinding penutup.

F.K. Forson dkk [2] merancang alat pengering singkong dengan mengadopsi prinsip mixed-mode natural convection di dalam struktur tertutup. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air singkong dapat berkurang dari 67% sampai 17% dengan efisiensi pengeringan sebesar 12.5%. S. Maiti dkk [3] menambahkan reflektor pada alat pengering skala kecil yang telah dirancang, sehingga meningkatkan efisiensi pengeringan dari 40% ke 58.5%. J. Banout dkk [4] membandingkan dua jenis pengeringan (langsung dan tidak langsung) terhadap komposisi minyak yang terkandung dalam tumbuhan Sacha Culantro. Mereka menemukan jenis pengeringan secara tidak langsung merupakan teknik yang cocok untuk tanaman tersebut karena mendekati komposisi kimia yang diinginkan.

Sedangkan metode kedua, system pengeringan tidak hanya mengandalkan panas matahari, tetapi terdapat penambahan alat untuk meningkatkan laju pengeringan. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem pengering energi surya mekanis telah banyak diaplikasikan untuk mengurangi kadar air suatu material serta memiliki nilai ekonomis yang tinggi. N.S. Rathore dan N.L. Panwar [5] menggunakan pengering tipe solar tunnel dengan bentuk hemi silinder untuk mengeringkan kapas bedah. Alat pengering tersebut dilengkapi dengan kipas yang digunakan untuk mengalirkan udara dan mempercepat penguapan kadar air. Hasil evaluasi menunjukkan terjadi pengurangan kadar kelembaban yang signifikan dari 40% sampai 5% dengan waktu pengeringan 7-8 jam.

S. Janjai [6] mengembangkan alat pengering tipe *greenhouse* skala kecil untuk

industri makanan. Untuk mensirkulasikan udara, sembilan kipas dengan daya 15 W digunakan. Hasil penelitian menunjukkan waktu pengeringan lebih cepat 2-3 hari dari pengeringan konvensional. M. M. Morad [7] membandingkan dua mode operasi kipas pada alat pengering dengan sistem *greenhouse*, yaitu secara kontinyu dan periodik. Mode periodik dapat meningkatkan laju pengeringan sebesar 22.78%

Penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas RDF dilakukan dengan menggunakan alat pengering mekanis bertenaga matahari. Pengering tersebut berbentuk semi-silinder dengan tipe *greenhouse*, memiliki tempat pengering dengan tipe *batch*. Atap pengering terbuat dari fiberplastik tembus cahaya yang berfungsi untuk mentransferkan cahaya matahari masuk ke dalam sebuah ruang pengering sehingga dapat meningkatkan suhu pengeringan. Selain itu, alat pengering dilengkapi dengan *fan*. Penelitian ini dilakukan di Biro Pengelolaan Lingkungan, yang bertempat di TPA Ngipik Gresik. Pada penelitian ini, kadar air yang diturunkan akan disesuaikan dengan standar yang telah dikeluarkan oleh PT. Semen Indonesia (Persero) Tbk. yaitu sebesar 10-20%.

TINJAUAN PUSTAKA

Laju Pengeringan RDF

Laju pengeringan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{w_t - w_{t+1}}{t} \times 100\% \quad (1)$$

keterangan:

$\frac{dW}{dt}$: laju pengeringan (%/jam)

w_t : berat benda yang mengandung air ditimbang pada waktu ke t (kg)

w_{t+1} : berat benda yang mengandung air ditimbang pada waktu ke t+1 (kg)

t : waktu pengeringan (jam)

Kandungan Air (*moisture content*)

Besarnya kandungan air dalam suatu material dapat diekspresikan dalam basis kering dan

basah. Berikut adalah perhitungan kandungan air pada basis kering [8]:

$$M_{wb} = \frac{W_o - W_d}{W_o} \quad (2)$$

$$\% M_{wb} = M_{wb} \times 100 \quad (3)$$

Sedangkan perhitungan pada basis basah dapat dilihat pada persamaan berikut [9]:

$$M_{db} = \frac{W_o - W_d}{W_d} \quad (4)$$

$$\% M_{db} = M_{db} \times 100 \quad (5)$$

Keterangan:

W_o : berat awal dari produk yang belum dikeringkan

W_d : berat produk kering

Analisa Energi pada Solar Dryer

Alat pengering surya menerima radiasi matahari dan mengubah radiasi tersebut menjadi panas yang berguna untuk menguapkan kadar air suatu material. Rumus keseimbangan energi yang digunakan untuk mengevaluasi performansi termal pada sistem alat pengering adalah sebagai berikut [9] [10] [11]:

$$Q = Q_c + Q_{ev} + Q_{loss} \quad (6)$$

Energi surya yang diserap oleh alat pengering (Q) dapat dihitung dengan menggunakan parameter radiasi matahari yang masuk melewati cover alat pengering dan luasan permukaan alat pengering. Persamaannya dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$Q = R \cdot A_d \quad (7)$$

Selanjutnya, panas berguna yang dihasilkan oleh pengering dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_c = m_u \cdot C_p \cdot (T_{ui} - T_{uo}) \quad (8)$$

$$m_u = V \cdot A \cdot \rho \quad (9)$$

Total energi termal yang terdapat dalam sistem meliputi penjumlahan panas sensibel yang digunakan untuk menaikkan temperatur bahan dan panas laten yang digunakan untuk menguapkan kandungan air di dalam bahan, sehingga persamaan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_{ev} = q_{laten} + q_{sensibel} \quad (10)$$

$$Q_{ev} = \frac{[L_h \cdot m_w + m_i \cdot C_{pm} \cdot (T_{ui} - T_m)]}{3.6} \quad (11)$$

$$m_w = \frac{m_i(M_i - M_f)}{100 - M_f} \quad (12)$$

Rugi-rugi termal dari bagian dalam alat pengering ke luar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{ev} = U_o \cdot A_c \cdot (T_{ai} - T_{ao}) \quad (13)$$

Persamaan di atas dapat digunakan sebagai dasar untuk menghitung efisiensi sistem pengering yang digunakan untuk mengukur keseluruhan efektivitas dari sistem pengeringan. Efisiensi alat pengering dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$\eta_d = \frac{m_w L + Q_{ev}}{R \cdot A_d + P_f} \quad (14)$$

Desain Pengering Sebelumnya

Untuk memberikan gambaran tentang desain alat pengering RDF, berikut adalah ringkasan rancangan yang pernah dihasilkan oleh peneliti sebelumnya.

1. Tipe penutup parabola dan tambahan permukaan panel surya

K. Jitjack dkk [12] membandingkan dua jenis alat pengering *greenhouse*, yaitu dengan bentuk parabola (PG) seperti pada gambar 1a dan bentuk parabola dengan tambahan luasan panel (PGEP) seperti pada gambar 1b. Alat pengering tersebut digunakan untuk mengeringkan lembaran karet. Dimensi prototipe PG adalah $2 \times 3.5 \times 1.5 \text{ m}^3$ (LxPxT), sedangkan PGEP sebesar $3 \times 3.5 \times 1.5 \text{ m}^3$ (LxPxT). Penutup *greenhouse* terbuat dari lembaran polikarbonat. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa temperatur ruangan PGEP lebih tinggi 5° dibandingkan dengan PG

m_u	laju alir udara (kg/s)	A	luas penampang jendela alat pengering (m^2)
m_w	massa air yang menguap selama proses dehidrasi (kg)	A_d	total luas permukaan alat pengering (m^2)
m_i	massa material di dalam alat pengering (kg)	A_c	luas permukaan cover fiber plastik (m^2)
M_i	kadar air awal material, % basis basah	V	kecepatan udara (m/s)
M_f	kadar air akhir material, % basis basah	ρ	massa jenis air (kg/m^3)
C_p	kalor spesifik udara ($J/kg^\circ C$)	L_h	kalor laten penguapan air dalam material (kJ/kg)
C_{pm}	kalor spesifik material ($J/kg^\circ C$)	L	kalor laten penguapan air pada temperatur udara luar (kJ/kg)
T_m	temperatur material ($^\circ C$)	U_o	koefisien total perpindahan panas ($W/m^2^\circ C$)
T_{ui}	temperatur udara di dalam alat pengering ($^\circ C$)	P_f	Daya fan (W)
T_{uo}	temperatur ambien di luar alat pengering ($^\circ C$)	R	total flux radiasi matahari (W/m^2)



(a)



(b)

Gambar 1. Alat Pengering (a) *Parabolic Greenhouse* (PG) (b) *Parabolic Greenhouse* dengan tambahan luasan panel

2. Tipe alat pengering dengan mengadopsi sistem *greenhouse* dan penambahan fan



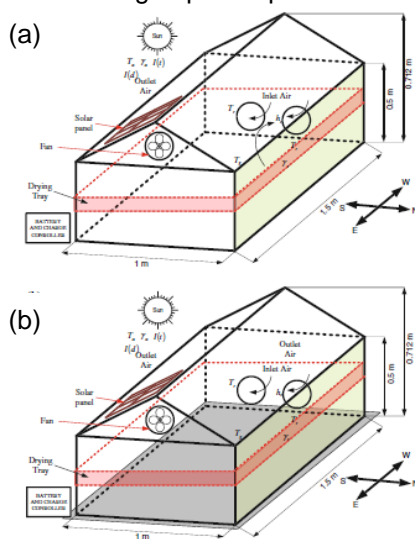
Gambar 2. Pengering Tenaga Surya dengan Sistem Terowongan

M. M Morad dkk [6] merancang alat pengering untuk mengeringkan daun *peppermint* dengan tambahan dua fan seperti yang terlihat pada Gambar 2. Dengan laju alir udara yang dihasilkan oleh fan sebesar $2.10 m^3/min$, waktu pengeringan dapat berkurang menjadi 9 jam. Dimensi *solar dryer* yang dirancang adalah $2000 mm \times 1000 mm \times 800 mm$ (P x L x T). Bahan penutup terbuat dari lembaran plastik dengan ketebalan $200 \mu m$. Fan digerakkan dengan motor 0.5 hp (0.37 kW pada 3000 rpm).

3. Tipe alat pengering *greenhouse* dengan warna permukaan utara buram.

O. Prakash dan A. Kumar [13] merancang alat pengering *greenhouse* dengan skala laboratorium dan dinding utara berwarna

buram. Selama percobaan, alat pengering menghadap ke arah timur-barat untuk mendapatkan radiasi matahari maksimum. Atap alat pengering memiliki kemiringan sebesar 23°. Terdapat dua modifikasi lantai alat pengering, modifikasi pertama yaitu lantai tanpa penutup, sedangkan modifikasi kedua menggunakan penutup. Gambar 3 menunjukkan hasil rancangan alat pengering. Hasil percobaan menunjukkan terdapat kenaikan temperatur ruangan yang signifikan dan penurunan kelembapan relatif pada *greenhouse* dengan penutup.



Gambar 3. Diagram Skema Alat Pengering *Greenhouse* yang Dimodifikasi (a) Lantai tanpa Cover (b) Lantai dengan Cover

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan merupakan bagian dari upaya peningkatan kualitas salah satu produk olahan sampah di kota Gresik, yaitu *Refuse Derived Fuel* (RDF). Penelitian diawali dari identifikasi masalah yang muncul di dalam pengolahan RDF, yaitu kadar air yang mencapai 30%. Dari permasalahan tersebut, solusi ilmiah akan dicari berdasarkan hasil studi literatur yang dilakukan dan disesuaikan dengan potensi yang ada di sekitar tempat produksi RDF.

Tempat produksi RDF berada di lahan yang luas dan disinari oleh matahari dengan intensitas yang tinggi. Berdasarkan hasil studi literatur awal yang dilakukan, solusi yang

sangat memungkinkan untuk diterapkan adalah dengan menggunakan *solar dryer*. Selanjutnya, tahap fabrikasi *solar dryer* akan dilakukan. Pada tahapan ini, dilakukan pembelian dan pemasangan komponen-komponen penyusun *solar dryer*. Kemudian percobaan mulai dilaksanakan dengan menggunakan bahan baku RDF sebanyak 20 kg dan variasi mode operasi kipas. Hasil dari percobaan dianalisa, terutama dari hasil kandungan air.

Metode Pengumpulan Data

Terdapat dua metode pengumpulan data dalam penelitian ini, studi dokumen dan observasi. Studi dokumen yang dilakukan berkaitan dengan laporan hasil laboratorium kondisi RDF (nilai kalor dan kandungan air) milik PT Semen Indonesia. Sedangkan, untuk metode observasi, pengusul akan mengamati fenomena yang terjadi secara langsung dengan melakukan serangkaian tahapan percobaan. Percobaan akan dilakukan di area tempat penampungan akhir (TPA) sampah di kota Gresik. Variasi yang ada di dalam percobaan adalah variasi penggunaan fan (1 fan beroperasi, 2 fan beroperasi, dan tanpa fan). Untuk setiap variasi, dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali.

Desain Eksperimen

Tabel 1 menunjukkan desain eksperimen yang berisi informasi data input dan output. Data input terdiri dari variable tetap dan bebas. Variabel tetap pada percobaan solar dryer RDF adalah desain solar dryer dan bahan baku RDF. Massa bahan baku RDF yang digunakan adalah sebesar 20 kg. Sedangkan variabel bebasnya adalah variasi mode operasi fan, yaitu 1 fan beroperasi dan fan tidak beroperasi.

Untuk data output, data terbagi menjadi dua bagian, data yang diukur dan data yang dihitung. Data yang diukur meliputi temperatur udara di dalam dan di luar alat pengering, temperatur RDF, massa RDF, kadar air awal dan akhir RDF, iradiasi, kecepatan angin, kecepatan udara, dan daya fan. Sedangkan data yang dihitung adalah luasan permukaan alat pengering dan jendela, laju alir udara (persamaan 9), kalor spesifik udara dan

material (dihitung berdasarkan temperatur), laju pengering (persamaan 14), parameter pengeringan (persamaan 1), efisiensi sistem selanjutnya dapat dilihat di Tabel 1.

Tabel 1. Desain Eksperimen

Input Data		Ouput Data	
Variabel Tetap	Variabel Bebas	Data yang Diukur	Data yang Dihitung
<ul style="list-style-type: none"> - Desain <i>solar dryer</i> - Bahan baku RDF 	<ul style="list-style-type: none"> - Penggunaan variasi <i>exhaust fan</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatur udara di dalam dan di luar alat pengering - Temperatur RDF di dalam alat pengering - Massa RDF - Kadar air awal dan akhir RDF - Iradiasi - Kecepatan angin - Kecepatan udara - Daya <i>fan</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Luasan permukaan alat pengering, jendela - Laju alir udara - Kalor spesifik udara dan material - Massa jenis udara - Kalor laten penguapan air pada RDF dan temperatur udara luar - Laju Pengeringan - Koefisien total perpindahan panas - Efisiensi sistem pengering



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Proses Pengeringan RDF (a) Alat Solar Dryer (b) Konvensional (c) Alas Pengering selama 6 jam

Desain alat pengering ini berbentuk semi-silinder dimana memiliki ruang pengeringan di dalamnya dan memiliki 1 buah fan berdaya sebesar 0,6 Ampere yang terletak di sisi belakang *greenhouse* tersebut. Atap dan dinding yang menyelimuti *solar dryer* tersebut terbuat dari *fiber glass* plastik yang memiliki transmisivitas panas sampai 95% dan memberikan kemudahan dalam pemasangan karena memiliki sifat lentur.

Alat pengering tenaga surya memiliki alas pengeringan berupa plat alumunium dengan ketebalan $w = 0.005$ m, $p = 1,8$ m dan $l = 1$ m, Plat dengan bahan alumunium dipilih karena bahan alas pengering tersebut tahan terhadap korosi dan alumunium merupakan penyerap panas terbaik dibandingkan dengan material logam lainnya. Untuk alas dari *greenhouse* terbuat dari seng. Pintu dari *greenhouse* ini berbentuk persegi panjang untuk mempermudah keluar-masuk material yang akan dikeringkan.

Gambar 4a menunjukkan hasil pembuatan alat pengering tenaga surya. Pengeringan dengan metode konvensional dilakukan dengan meletakkan RDF di permukaan seng berwarna hitam seperti pada Gambar 4b. Untuk memudahkan proses peletakkan dan pengambilan RDF, maka alas pengering di dalam alat pengering menggunakan sistem laci seperti pada Gambar 4c.

Iradiasi Matahari yang dipancarkan

Sumber energi yang paling utama dalam proses pengeringan adalah sinar matahari. Sinar matahari menghasilkan radiasi inframerah yang ditangkap oleh permukaan pengering. Panas radiasi yang dihasilkan terjebak di dalam alat pengering sehingga suhu di dalam ruangan meningkat. Untuk mengetahui seberapa besar iradiasi yang dipancarkan dengan bantuan alat berupa multimeter 5 in 1 yang terdapat sensor pengukuran cahaya. Output dari alat bantu adalah luxmeter dan dikonversikan ke W/m^2 dengan dibagi sebesar 683. Hasil perhitungan konversi luxmeter ke W/m^2 seperti dibawah ini. Cahaya matahari variasi tanpa *fan*

pukul 09.00 : 54188,537 lux

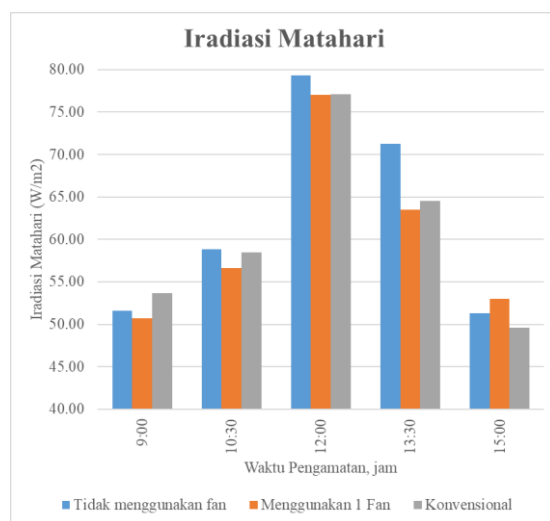
$$683 \text{ lux} = 1 \text{ W/m}^2$$

Konversi : lux/683

$$= 54188,537 \text{ lux}/683$$

$$= 79,34 \text{ W/m}^2$$

Hasil pengukuran yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 5. Pada percobaan tanpa menggunakan fan, iradiasi matahari yang dihasilkan tertinggi pukul 12.00 sebesar $79,34 \text{ W/m}^2$ dan terendah pada pukul 15.00 sebesar $51,30 \text{ W/m}^2$. Pada percobaan menggunakan variasi 1 *fan*, nilai iradiasi matahari tertinggi pada pukul 12.00 sebesar $77,02 \text{ W/m}^2$, terendah pada pukul 09.00 yaitu 50.68 W/m^2 . Pada percobaan dengan pengeringan konvensional, nilai iradiasi matahari tertinggi sebesar 77.08 W/m^2 pada pukul 12.00, dan terendah pada pukul 15.00 sebesar 49.57 W/m^2 . Dari hasil yang didapatkan nilai rata-rata iradiasi tertinggi pada percobaan tanpa menggunakan *fan* dan terendah pada percobaan memakai 1 *fan*.

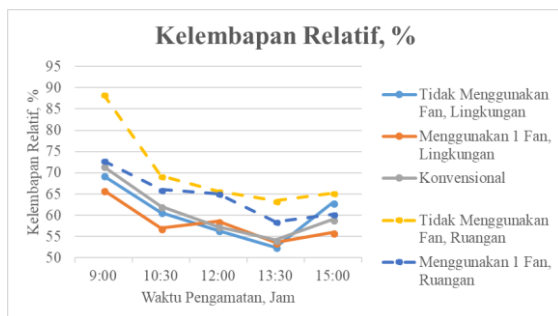


Gambar 5. Grafik Iradiasi Matahari Setiap Variasi

Kelembapan Udara/RH Lingkungan dan Ruang Pengering

Nilai RH dalam penelitian diukur dengan menggunakan alat berupa digital environment multimeter 5 in 1. Hasil pengukuran yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 4.5. Pada percobaan tanpa menggunakan *fan* RH

lingkungan tertinggi pukul 09.00 sebesar 69,35% dan rata-ratanya 60,41%. Untuk variasi dengan menggunakan 1 fan, nilai RH lingkungan tertinggi pada pukul 09.00 sebesar 65,9 % dan rata-ratanya 58,21%. Sementara itu, pengeringan dengan menggunakan cara konvensional menghasilkan nilai RH tertinggi sebesar 71,56 % pada pukul 09.00, terendah pada pukul 13.30 sebesar 54,23 %, dan rata-rata yang dihasilkan dalam pengeringan sebesar 60,87 %.



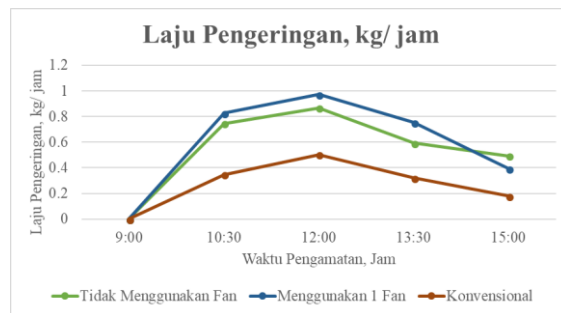
Gambar 6. Grafik Kelembapan Relatif (Relative Humidity/ RH) Setiap Variasi

Gambar 6 menunjukkan hasil pengukuran kelembapan relatif (RH). RH lingkungan setiap harinya selama percobaan memiliki nilai tertinggi pada pukul 09.00. Hal ini dikarenakan masih belum banyak sinar matahari yang dipancarkan. Kelembapan tersebut akan menurun dan meningkat kembali pada saat pukul 15.00. Sedangkan hasil pengukuran kelembapan/RH pada ruang pengering menunjukkan bahwa RH ruangan pada percobaan tanpa fan memiliki nilai tertinggi dibandingkan dari percobaan lainnya. Hal ini dikarenakan tidak terdapat proses secara paksa untuk membantu keluarnya udara dan uap air dari pengeringan tersebut.

Laju Pengeringan

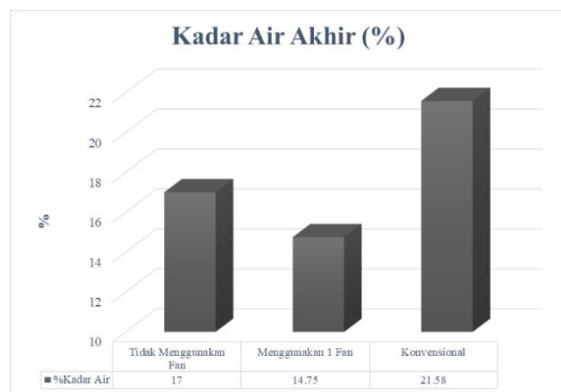
Laju pengeringan merupakan perbandingan antara jumlah air yang dapat diuapkan (kg) dalam selang waktu tertentu. Berdasarkan hasil perhitungan yang dapat dilihat pada Gambar 7, percobaan tanpa fan menghasilkan laju pengeringan tertinggi pada pukul 12.00 sebesar 0,86 kg/jam, terendah pada pukul 15.00 sebesar 0,49 kg/jam, dan rata-ratanya dalam

sehari sebesar 0,67 kg/jam. Percobaan dengan menggunakan 1 fan memiliki laju pengeringan tertinggi pukul 12.00 sebesar 0,97 kg/jam, terendah pada pukul 15.00 sebesar 0,39 kg/jam, dan rata-rata dalam sehari sebesar 0,73 kg/jam. Sedangkan pada percobaan konvensional, laju pengeringan tertinggi pukul 12.00 sebesar 0,5 kg/jam, terendah pada pukul 15.00 sebesar 0,18, dan rata-rata dalam pengeringan 0,033 kg/jam. Percobaan dengan 1 fan mempunyai nilai laju pengeringan tertinggi dibandingkan lainnya. Hal ini disebabkan karena fan membantu mensirkulasikan udara panas di dalam greenhouse, sehingga RDF lebih cepat menguapkan kandungan air.



Gambar 7. Grafik Laju Pengeringan RDF Setiap Variasi

Kadar Air Pada RDF Setelah Dikeringkan Dalam Solar Dryer

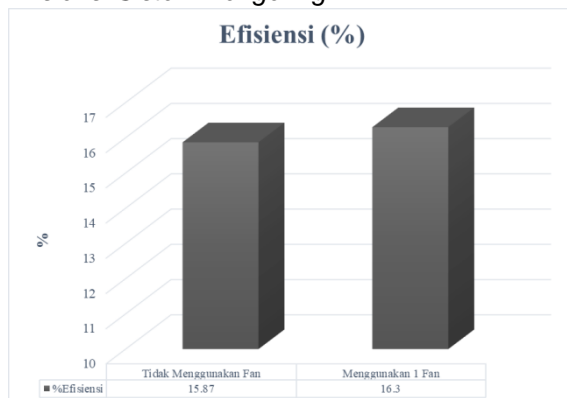


Gambar 8. Grafik Kadar Air Akhir RDF Setiap Variasi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada percobaan tidak menggunakan fan, kadar air RDF setelah dikeringkan adalah 17%. Pada

percobaan dengan variasi memakai 1 *fan* RDF, kandungan air akhir menunjukkan nilai 14,75%. Sedangkan hasil akhir kadar air dengan pengeringan secara konvensional sebesar 21,58%. Kadar air yang didapatkan dari semua percobaan, pengeringan dengan menggunakan *solar dryer* ini sudah mencapai standar yang diberikan untuk WTZ yaitu sebesar 10-20%. Percobaan dengan variasi 1 *fan* menghasilkan kadar air terendah. Hal ini disebabkan karena proses pengeringan dibantu oleh adanya *fan* yang dapat mensirkulasikan udara panas di dalam *greenhouse*.

Efisiensi Sistem Pengering



Gambar 9. Nilai Efisiensi Sistem Pengering untuk Variasi Tidak Menggunakan *Fan* dan Menggunakan *Fan*

Berdasarkan nilai efisiensi pada Gambar 9, percobaan tanpa menggunakan *fan* memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan variasi menggunakan *fan*, yaitu sebesar 15,87 %. Pada percobaan dengan memakai 1 *fan* menghasilkan nilai 16,3 %.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian alat pengering RDF dengan sistem *greenhouse* adalah:

1. Laju pengeringan tertinggi dihasilkan oleh system pengering dengan variasi 1 *fan*, yaitu sebesar 0.73 kg/ jam. Variasi tanpa *fan* menunjukkan penurunan laju pengeringan sebesar 0.67 kg/ jam. Sedangkan metode konvensional memiliki laju pengeringan sebesar 0.033 kg/ jam.

2. Pengeringan dengan menggunakan solar dryer dapat menghasilkan kadar air sebesar 17 % untuk variasi tanpa *fan* dan 16,25% untuk variasi 1 *fan*. Sedangkan pengeringan dengan cara konvensional menghasilkan nilai kadar air sebesar 21,58%.
3. Alat pengering yang dilengkapi dengan 1 buah *fan* memiliki efisiensi sistem pengering lebih tinggi dibandingkan dengan alat pengering tanpa *fan*.
4. Perancangan desain yang cocok untuk mengeringkan RDF adalah solar dryer berbentuk *greenhouse* tipe tunnel atau trowongan dengan menggunakan variasi percobaan pemakaian 1 *fan*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini telah didanai dan didukung oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi dalam skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) yang berjudul Rancang Bangun Solar Dryer untuk Meningkatkan Kualitas *Refuse Derived Fuels* (RDF) sebagai Bahan Bakar Alternatif di Kiln Burner Industri Semen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ummatin, KK, Yakin, DA dan Ayunina, D. "Analisa Manfaat Biaya Proyek Pembaharuan Unit Pengolahan Sampah Kota Gresik Dengan Teknologi Hydrothermal". Jurnal Industrial Series, Vol. 3, No. 1, pp. 234-239. 2017.
- [2] Forson, FK, Nazha, MAA, Akuffo, FO dan Rajakaruna, H, "Design of mixed-mode natural convection solar crop dryers: Application of principles and rules of thumb," *Renewable Energy*, vol. 32, no. 14, pp. 2306-2319, 2007.
- [3] Maiti, Subarna and Patel, Pankaj and Vyas, Kairavi and Eswaran, Kruthika and Ghosh, Pushpito K, "Performance evaluation of a small scale indirect solar dryer with static reflectors during non-summer months in the Saurashtra region

- of western India," *Solar Energy*, vol. 85, no. 11, pp. 2686-2696, 2011.
- [4] Banout, JAN and Havlik, Jaroslav and Kulik, Michal and Kloucek, Pavel and Lojka, Bohdan and Valterova, Irena, "Effect of solar drying on the composition of essential oil of sacha culantro (*Eryngium foetidum* L.) grown in the peruvian amazon," *Journal of food process engineering*, vol. 33, no. 1, pp. 83-103, 2010.
- [5] NS Rathore and NL Panwar, "Design and development of energy efficient solar tunnel dryer for industrial drying," *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 13, no. 1, pp. 125-132, 2011.
- [6] S. Janjai, "A *greenhouse* type solar dryer for small-scale dried food industries: development and dissemination," *International journal of energy and environment*, vol. 3, no. 3, pp. 383-398, 2012.
- [7] Morad, MM and El-Shazly, MA and Wasfy, KI and El-Maghawry, Hend AM, "Thermal analysis and performance evaluation of a solar tunnel *greenhouse* dryer for drying peppermint plants," *Renewable Energy*, vol. 101, pp. 992-1004, 2017.
- [8] O. Ekechukwu, "Review of solar-energy drying systems I: an overview of drying principles and theory," *Energy Conversion and Management*, vol. 40, no. 6, pp. 593-613, 1999.
- [9] J. A. Duffie, W. A. Beckman, solar engineering of thermal processes, New York: John Wiley and Sons, 1991.
- [10] Bargach, MN and Tadili, R and Dahman, AS and Boukallouch, M, "Survey of thermal performances of a solar system used for the heating of agricultural *greenhouses* in Morocco," *Renewable energy*, vol. 20, no. 4, pp. 415-433, 2000.
- [11] ASHRAE, Handbook of Fundamentals "American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, New York, 2005.
- [12] Jitjack, K and Thepa, S and Sudaprasert, K and Namprakai, P, "Improvement of a rubber drying *greenhouse* with a parabolic cover and enhanced panels," *Energy and Buildings*, vol. 124, pp. 178-193, 2016.
- [13] Prakash, Om and Kumar, Anil, "Performance evaluation of *greenhouse* dryer with opaque north wall," *Heat and Mass Transfer*, vol. 50, no. 4, pp. 493-500, 2014.