

**LAPORAN PENELITIAN
HIBAH PENELITIAN KERJASAMA ANTAR PERGURUAN TINGGI
(HIBAH PEKERTI)**



**DESAIN DAN UJI SISTEM PENGERINGAN SERTA
KARAKTERISASI PENGERINGAN KOMODITAS UNGGULAN
DAERAH GORONTALO**

TIM:

PENGUSUL

MUH. TAHIR, S.TP, M.Si (0014107203)

AMIRUDDIN, S.P., M.Si (0920048206)

MITRA

Dr. LEOPOLD O. NELWAN, S.TP, M.Si (0008127004)

Dr. Ir. I DEWA MADE SUBRATA, M.Agr (0003086208)

**UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO
SEPTEMBER 2013**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Kegiatan : Desain dan uji sistem pengeringan serta karakterisasi pengeringan komoditas unggulan daerah Gorontalo

Peneliti / Pelaksana

Nama Lengkap : MUH. TAHIR S.TP, M.Si

NIDN : 0014107203

Jabatan Fungsional : Lektor

Program Studi : Teknologi Hasil Perkebunan

Nomor HP : 085240581391

Surel (e-mail) : muhtahirlaw@gmail.com

Anggota Peneliti (1)

Nama Lengkap : AMIRUDIN SP, MP

NIDN : 0920048206

Perguruan Tinggi : UNIVERSITAS ICHSAN GORONTALO

Institusi Mitra (jika ada)

Nama Institusi Mitra : INSTITUT PERTANIAN BOGOR

Alamat : Kampus IPB Darmaga Po Box 220, Bogor 16002

Penanggung Jawab : Dr. LEOPOLD OSCAR NELWAN, S.TP, M.Si

Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun

Biaya Tahun Berjalan : Rp. 70.000.000,00

Biaya Keseluruhan : Rp. 150.000.000,00

Mengetahui,
Dekan Fakultas Ilmu-Ilmu Pertanian

Gorontalo, 31 - 10 - 2013,
Ketua Peneliti,



(Prof. Dr. Ir. MAHLUDIN BARUWADI, MP)
NIP/NIK. 19650711 199103 1 003

(MUH. TAHIR, S.TP, M.Si)
NIP/NIK 197211142005011002

Menyetujui,
Ketua Lembaga Penelitian



(Dr. FITRYANE LIHAWA, M.Si)
NIP/NIK. 19691209 199303 2 001

DESAIN DAN UJI SISTEM PENGERINGAN SERTA KARAKTERISASI PENGERINGAN KOMODITAS UNGGULAN DAERAH GORONTALO

Kegiatan ini memiliki topik pengeringan komoditas unggulan daerah Gorontalo yang diawali oleh kegiatan desain alat pengeringnya. Metode yang digunakan dalam kegiatan ini adalah desain peralatan, rancang bangun dan instalasi peralatan, integrasi sistem pembangkit panas hasil desain kegiatan Hibah Bersaing 2011 dan 2012, uji fungsional dan uji performansi sistem pengeringan hasil desain yang berbentuk alat pengering serbaguna dengan mode pengeringan bak dan rak. Uji fungsional dan performansi sistem menghasilkan data pemanfaatan energi surya, biomassa dan listrik masing-masing sebesar 596.428 kJ, 1.140.500 kJ dan 596.428 kJ dengan persentase 13,9%, 70,4% dan 15,7%. Total penggunaan energi sistem sebesar 2.333.356 kJ dengan jumlah penggunaan energi untuk pengeringan sebesar 395.141 kJ, energi berguna sebesar 381.230 kJ dan energi pemanasan dan penguapan air bahan sebesar 13.911 kJ. Laju pengeringan sebesar 39,8 %bb/jam untuk mengeringkan kopra sebanyak 250 kg dari kadar air awal 42,65 %bb menjadi 18,41 %bb dalam waktu 6,5 jam. Pengeringan lanjutan secara alamiah dengan hanya memanfaatkan pemanasan efek rumah kaca selama 2 hari menghasilkan kadar air akhir rata-rata sebesar 6,4 %bb. Suhu udara ruang pengeringan rata-rata sebesar 65 °C dengan suhu titik tengah bahan yang menyerap panas sebesar 63 °C. Suhu hembusan udara pengering sebesar 70 °C yang disuplai dari suhu pembakaran tungku sebesar 289 °C. Laju pengumpanan bahan bakar untuk kondisi tersebut adalah 3,8 Kg/jam yang terdiri atas tongkol jagung dan tempurung kelapa. Efisiensi termal sistem pengering diperoleh sebesar 22% dengan konsumsi energi spesifik (KES) sebesar 31.417 kJ/kg.

Kata kunci : pengeringan, desain, pengering serbaguna, bak, rak.



KATA PENGANTAR

Dengan segala kerendahan hati, penulis memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan ini.

Laporan ini menyajikan kegiatan Penelitian Kerjasama Perguruan Tinggi (PEKERTI) yang dibiayai DP2M Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi tahun anggaran 2013 di Universitas Negeri Gorontalo. Kegiatan ini dimaksudkan untuk meningkatkan kapasitas penelitian dosen sehingga dapat menghasilkan inovasi yang berdaya guna bagi peningkatan produktivitas masyarakat.

Pelaksanaan kegiatan ini dilakukan di Bengkel Mesin dan Peralatan Pertanian Politeknik Gorontalo, Laboratorium TPHP Politeknik Gorontalo, Laboratorium Energi dan Listrik Pertanian IPB, Laboratorium Elektronika IPB dan unit pengeringan Desa Iluta Kecamatan Batudaa Kabupaten Gorontalo Provinsi Gorontalo. Kegiatan ini merupakan wujud penelitian yang berorientasi pada sistem produksi masyarakat Agropolitan Gorontalo sebagai bagian dari Tridharma Perguruan Tinggi. Tim pelaksana adalah dosen pada Fakultas Pertanian – UNG dan dosen Politeknik Gorontalo serta Tim Mitra dari IPB.

Demikian pengantar mengenai kegiatan penelitian ini semoga dapat bermanfaat bagi masyarakat luas yang melangsungkan proses pengeringan pada aspek pasca panen pertanian. Terima kasih diucapkan kepada semua pihak yang membantu terlaksananya kegiatan ini

Gorontalo, Nopember 2013

Wassalam

Penulis



DAFTAR ISI

<i>Teks</i>	<i>Halaman</i>
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR LAMPIRAN	v
I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	2
C. Keutamaan Penelitian.....	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	3
A. Sistem Pengeringan	3
B. Wadah Bahan Pengeringan	5
1. Wadah Rak	6
2. Wadah Bak	7
III. METODE PENELITIAN	8
A. Waktu dan Lokasi Penelitian	9
B. Metode yang digunakan dalam penelitian	9
1. Metode Desain	9
2. Metode Instalasi dan Kontruksi Sistem Pengeringan	9
3. Metode Uji Fungsional Sistem Pengeringan	9
4. Metode Uji Performansi Sistem Pengeringan	10
5. Metode Analisis dan Induksi	11
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	15
A. HASIL DESAIN SISTEM PENGERINGAN	15
1. Struktur Pengering Efek Rumah Kaca	15
2. Struktur Rak Pengeringan (Mode Rak)	16
3. Struktur Bak Pengeringan (Mode Bak)	16



B. INSTALASI SISTEM PENGERINGAN	18
C. UJI FUNGSIONAL HASIL DESAIN DAN INSTRUMENTASI	21
D. UJI PERFORMANSI SISTEM PENGERINGAN	24
E. PEMBAHASAN HASIL DESAIN	27
V. KESIMPULAN DAN SARAN	32
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN	36



DAFTAR GAMBAR

<i>Teks</i>	<i>Halaman</i>
Gambar 1. Bagan Alir Desain Sistem Pengering Serbaguna – 2013	8
Gambar 2. Pengerjaan Struktur Pengering ERK di Politeknik Gorontalo	15
Gambar 3. Struktur Kerangka dan Rak Pengeringan Bahan	16
Gambar 4. Model bak bergerak melalui landasan rel	17
Gambar 5. Model bak dengan lantai 2 susun	17
Gambar 6. Instalasi unit pembangkit panas	18
Gambar 7. Instalasi Struktur Pengering ERK	19
Gambar 8. Instalasi semua Unit Sistem Pengeringan	19
Gambar 9. Sistem Pengeringan Siap Uji	20
Gambar 10. Sistem Pengeringan tampak Samping	20
Gambar 11. Sistem Pengeringan Mode Rak Bersusun	21
Gambar 12. Sistem Pengeringan Mode Bak	21
Gambar 13. Desain Instrumen Ukur di Lab. Ergotronika IPB	22
Gambar 14. Kalibrasi Instrumen dengan Pyranometer	23
Gambar 15. Grafik kalibrasi instrumen ukur radiasi surya	23
Gambar 16. Sistem displai Instrumen dan Multiplexer	24
Gambar 17. Pengeringan pada mode bak bertingkat	24
Gambar 18. Pengeringan pada mode rak bertingkat	25
Gambar 19. Titik pengukuran pada daging kelapa	25
Gambar 20. Denah titik pengukuran temperatur udara	26
Gambar 21. Denah titik pengukuran kadar air	26
Gambar 22. Denah titik pengukuran temperatur udara	28
Gambar 23. Grafik suhu pengujian pengeringan	30



DAFTAR TABEL

<i>Teks</i>	<i>Halaman</i>
Tabel 1. Jenis dan nilai konsumsi energi	29



DAFTAR LAMPIRAN

<i>Teks</i>	<i>Halaman</i>
Lampiran 1. Hasil desain dan rancang bangun Hibah Bersaing 2011-2012.....	37
Lampiran 2. Hasil desain kegiatan PEKERTI tahun 2013	38
Lampiran 3. Naskah Publikasi kegiatan PEKERTI tahun 2013	43



BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Salah satu pengering tipe hybrid yang banyak di kembangkan adalah mekanisme efek rumah kaca dengan kombinasi sumber panas surya dan biomassa. Pengering jenis ini memiliki keuntungan dari segi biaya operasional pembangkitan panas yang rendah karena memanfaatkan ketersediaan energi surya dan biomassa yang melimpah di negara tropis. Penggunaan sumber energi panas dengan sistem kombinasi dimaksudkan untuk mengatasi kondisi ketersediaan sinar surya yang terpengaruh oleh cuaca. Cuaca mendung, hujan dan saat malam hari menyebabkan tidak tersedianya energi surya sehingga perlu digantikan oleh sumber energi lain seperti biomassa. Upaya meminimalkan penggunaan energi berbiaya mahal dan memaksimalkan penggunaan energi yang murah untuk proses pengeringan yang optimum adalah konsep yang akan diterapkan pada sistem pengeringan yang akan didesain.

Pemanfaatan peralatan pengering di daerah Gorontalo berlangsung seiring dengan upaya peningkatan pendapatan masyarakat pada sektor pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan. Komoditas pada sektor tersebut umumnya memerlukan proses pengeringan seperti gabah, jagung, kacang tanah, cengkeh, panili, kopi, kopra, kakao, silase dan wafer pakan ternak serta ikan, rumput laut. Proses pengeringan dalam hal ini diperlukan untuk memperoleh mutu komoditas sesuai tuntutan mutu perdagangan dan sekaligus menghindarkan komoditas dari kerusakan pasca panen. Pengusahaannya dapat berupa unit pengolahan skala kecil (*Small Processing Unit*) sejenis pabrik skala kecil yang mengolah hasil pertanian dan perikanan menjadi produk akhir yang siap dijual di supermarket (Kamaruddin, 2007).

Komoditas hasil pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan tersebut pada kenyataannya memiliki ragam karakteristik baik bentuk, ukuran dan sifat reologi bahan. Pemahaman terhadap sifat bahan tersebut selanjutnya diimplementasikan dalam bentuk desain sistem pengeringan dan wadah bahan. Sistem pengeringan akan mengintegrasikan faktor fisik dalam bentuk ketersediaan sumber energi yang dibutuhkan dan yang mampu disediakan oleh lingkungan secara kontinyu dan ekonomis. Sedangkan wadah bahan akan mengintegrasikan bentuk, ukuran dan sifat reologi yang mendukung proses pengeringan bahan secara optimal dalam sistem pengeringan yang didesain.

Kaji tindak karakterisasi komoditas unggulan memiliki arti dan makna eksplorasi terhadap komoditas pertanian yang ada secara mayoritas dan prioritas untuk diolah secara primer (dikeringkan) selanjutnya menunggu pengolahan sekunder (pangan) secara aman. Data-data sifat fisik, kimia dan reologi yang terkait dengan proses pengeringan yang berlaku secara spesifik untuk setiap bahan akan dikumpulkan sehingga menjadi database perencanaan pengolahan industrial. Sisi lain keberadaan hasil desain unit pengering



serbaguna ini adalah menjadi sarana kajian berkelanjutan baik dalam kerangka studi mahasiswa maupun pengembangan keilmuan oleh dosen terkait yang secara simultan akan menghasilkan data karakterisasi pengeringan komoditas tersebut.

Keterkaitan penelitian yang diusulkan dengan penelitian TPP yang sudah dihasilkan dan sedang berjalan memiliki makna kontinuitas dan integrasi yang kuat. Pada penelitian hibah 2011-2012 telah dihasilkan sistem pembangkit panas tungku biomassa dan penukar panas (heat exchanger) yang berkinerja baik dan sedang dilakukan penyempurnaan dengan penerapan teknik kendali logika fuzzy. Jika pada penelitian hibah bersaing tersebut hanya dihasilkan unit pembangkit panas maka pada penelitian yang diusulkan ini akan dihasilkan unit ruang pengering lengkap dengan wadah pengeringan bahan baik berupa mode rak maupun mode bak. Sedangkan keterkaitan dengan pihak TPM adalah dalam konteks sistem pengering efek rumah kaca (ERK) yang merupakan bidang kajian dan keahlian yang selama ini digeluti. Tim Peneliti Mitra (TPM) adalah dosen aktif pada laboratorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian serta Ergotronika - IPB sebagai tempat lahirnya paten atas Pengering Surya Efek Rumah Kaca (Usulan Paten ELC-05). HAKI No/P00200200788 dan Pengering Surya Efek Rumah Kaca (Usulan Paten EEK-DG06). Pelibatan TPM pada usulan penelitian ini adalah sebagai wujud penghormatan pengusul atas hak cipta pada pengering surya efek rumah kaca yang akan diwakili oleh TPM dan agar kode etik terkait HAKI tetap terjunjung tinggi. Demikian pula kajian karakterisasi pengeringan komoditas pertanian adalah bidang yang selama ini dikembangkan sehingga diharapkan menjadi transfer ilmu pengetahuan dan teknologi dari TPM ke TPP.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan khusus yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah desain unit pengering serbaguna yang akan menjadi sarana karakterisasi pengeringan komoditas unggulan daerah Gorontalo. Keberadaan hasil desain adalah sebagai sarana uji produk pembangkit panas tungku dan penukar panas (Heat Exchanger) yang akan diajukan untuk paten, juga menjadi sarana institusi dalam melangsungkan kegiatan akademis, pengembangan keilmuan dan dasar kebijakan pengembangan pengolahan industrial.

C. Keutamaan Penelitian

Keutamaan penelitian disusun berdasarkan item yang terkait satu dengan yang lain sebagai berikut:

1. Terlaksananya kajian menyeluruh sebuah sistem pengeringan yang dimulai dari sistem pembangkit panas hingga menjadi unit pengering utuh serbaguna.
2. Terbentuknya konfigurasi unit pengering yang berkinerja baik dan dapat diproduksi massal untuk dipergunakan mengamankan pasca panen komoditas pertanian.
3. Diperolehnya sistem pengeringan yang dikembangkan secara lokal bertumpu pada sumber daya alam terbarukan dan tersedia secara lokal yakni energi surya dan bahan



bakar dari produk samping hasil panen jagung dan kelapa berupa tongkol dan tempurung kelapa.

4. Menjadi sarana kaji tindak karakterisasi pengeringan komoditas spesifik lokal yang akan berlangsung kontinyu dalam kerangka studi mahasiswa dan pengembangan keilmuan dosen serta mendukung peletakan dasar pengembangan pengeringan industri daerah.
5. Meningkatkan pangsa pasar energi terbarukan dalam negeri sebagaimana peraturan dan perundang-undangan yang terkait dengan upaya promosi pemerintah seperti (Kamaruddin, 2007);
 - a. Kebijakan Energi Nasional-KEN, Sk Menteri No. 0983/K/16/MEM/2004 yang menargetkan keharusan penggunaan energi terbarukan mencapai minimal >5% dari total energi primer pada 2020.
 - b. Konsep energi hijau – SK Menteri No. 0002/2004; yang berisikan prioritas pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan, pemanfaatan energi bersih dan mempunyai efisiensi tinggi serta kegiatan konservasi energi.
 - c. UU Ratifikasi Kyoto Protokol No. 17/2004.
 - d. PP No. 3, 2005 tentang kewajiban menggunakan energi setempat terutama yang berasal dari sumber-sumber energi terbarukan.
6. Meningkatkan kemampuan meneliti bagi dosen Universitas Negeri Gorontalo mengantisipasi kerjasama dengan Ehime University – Japan dalam bentuk *joint research* yang telah disepakati.



BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Pengeringan

Pengeringan merupakan salah satu proses pasca panen yang umum dilakukan pada berbagai produk pertanian yang ditujukan untuk menurunkan kadar air sampai pada tingkat yang aman untuk penyimpanan atau proses lainnya. Hampir seluruh pengeringan pada produk pertanian dilakukan dengan proses termal dan dapat dikembangkan penerapan pengering surya efek rumah kaca dalam sebuah unit pengolahan kecil untuk berbagai komoditas pertanian dan perikanan (Kamaruddin, 2007).

Proses pengeringan termal umumnya dilakukan dengan cara pemanfaatan atau pembangkitan panas baik dari energi surya, energi fosil (minyak), energi biomassa dan energi lainnya melalui sebuah apparatus. Pemanfaatan energi tersebut juga dapat dilakukan dengan teknik kombinasi (hybrid) untuk memperoleh kinerja yang optimal dan efisien. Demikian pula sistem pengeringan yang akan didesain merupakan kombinasi dari energi biomassa, listrik dan energi surya.

Berbagai tipe pengering surya telah dikembangkan untuk pengeringan produk pertanian, akan tetapi secara umum pengering tersebut dapat dibedakan menjadi dua yakni tipe pengering dengan kolektor datar dan tipe pengering dengan kolektor efek rumah kaca. Pada tipe pertama, kolektor dan ruang pengering didesain secara terpisah, sehingga pengering ini umumnya merupakan pengering konvensional yang menggunakan radiasi surya sebagai sumber energinya. Kolektor datar menangkap radiasi surya dan mengubahnya menjadi panas yang dihasilkan secara konvektif dipindahkan ke ruang pengering. Pada jenis ini kolektor datar dan wadah pengeringan ditempatkan secara terpisah. Dengan demikian udara panas dari kolektor dialirkan melalui saluran menuju wadah pengeringan. Pada pembuatan kolektor, pemasangan bahan insulasi dan transparan dilakukan secara rapat sehingga kehilangan udara panas dapat diperkecil. Apabila terdapat kebocoran, udara panas dapat hilang yang akan mengurangi kualitas suhu (Kamaruddin, 2007).

Pada tipe kedua kolektor surya dan ruang pengering terintegrasi satu sama lain sehingga dikenal dengan pengering efek rumah kaca. Tipe ini dipilih sebagai model representatif pengering surya yang berbiaya rendah sebagaimana proses optimasi yang telah dilakukan dari pengering tipe pertama. Radiasi surya akan diteruskan oleh bahan transparan menuju ke pelat absorber yang dicat hitam. Penyerapan akan dilakukan oleh absorber, bergantung pada nilai absorptivitasnya, sehingga suhu absorber akan naik. Absorber ini sebagaimana sifat permukaan seluruh benda akan memancarkan radiasi (emisi) panas, akan tetapi karena sifat bahan transparan yang akan mengabsorpsi radiasi gelombang panjang, maka radiasi ini tidak keluar. Selain itu bahan transparan juga berfungsi untuk menghambat terjadinya konveksi dengan udara luar. Terjadinya



perbedaan suhu antara absorber dengan suhu udara di atasnya (dibawah bahan transparan) membuat pindah panas berlangsung ke udara tersebut. Untuk tipe pengering tanpa pelat, rantai digunakan sebagai absorber (Kamaruddin, 2007).

Daya serap radiasi (absorptivitas) dari suatu bahan bergantung pada jenis permukaannya. Akan tetapi, suatu permukaan yang mempunyai absorptivitas yang tinggi juga mempunyai nilai emisivitas (daya pancar radiasi) yang tinggi pula. Pada suatu keseimbangan termal keduanya mempunyai nilai yang sama, akan tetapi karena sumber penerimaan radiasi adalah matahari maka kedua nilai ini akan berbeda. Nilai absorptivitas ini dinamakan dengan absorptivitas surya (solar absorptivity) (Kamaruddin, 2007).

Pemilihan bahan transparan didasarkan pada nilai transmisivitas, keawetan (umur ekonomi), dan konduktivitas bahan. Transmisivitas (daya melewati radiasi) dari suatu bahan juga bergantung dari jenisnya. Semakin tinggi transmisivitas, semakin besar jumlah radiasi matahari yang dapat masuk ke dalam kolektor.

Bahan transparan merupakan bagian dari sistem pengering, karena bahan ini meneruskan radiasi yang masuk, tetapi menghambat radiasi gelombang panjang dari komponen-komponen di dalam ruang dan kehilangan panas lewat pergerakan udara langsung. Beberapa bahan yang digunakan misalnya polikarbonat, plastik UV Stabilizer, fiberglass (Kamaruddin, 1998).

Nelwan (2007) melaporkan konsumsi komponen energi surya pada jenis pengering efek rumah kaca dalam kasus pengeringan kakao dengan rak berputar mencapai 11 – 28%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai manfaat atas desain sistem pengeringan dengan efek rumah kaca memiliki kategori gratis energi karena keberadaan radiasi surya. Kombinasi sumber energi untuk hasil desain tungku biomassa dan penukar panas (Tahir, 2011), dengan energi surya dan listrik melalui desain efek rumah kaca akan berbanding 70 : 20 : 10. Perbandingan ini sangat menguntungkan bagi desain sistem pengeringan agar memiliki daya saing yang tinggi dibandingkan dengan desain sistem pengeringan lainnya. Dengan sistem ini juga akan menyebabkan keterterimaan (acceptability) desain menjadi tinggi di masyarakat pengguna nantinya.

B. Wadah Bahan Pengeringan

Wadah bahan adalah apparatus yang memiliki pengaruh kuat bagi berlangsungnya proses pengeringan. Pengeringan yang efektif sangat bergantung pada mode wadah sebagai tempat berlangsungnya penguapan air bahan yang dikeringkan. Mode wadah bahan sedikit banyaknya akan berpengaruh dalam derajat terciptanya pengeringan diantara model lapisan tipis dan model lapisan tebal atau tumpukan. Abdullah et al., (2001) mempelajari pengembangan sistem pengering surya efek rumahkaca dengan berbagai tipe wadah pengeringan seperti bak segiempat statis, rak bergetar, rak statis dan bak silinder berpengaduk.



Lapisan tipis sebagaimana Watson and Bhargava 1974, serta Bala 1983 telah menggunakan persamaan pengeringannya untuk gandum, gabah, barley, jagung pipilan dan malt sebagai berikut;

$$\frac{\bar{M} - M_e}{M_o - M_e} = \exp(-kt) \dots\dots\dots 1$$

Dimana, M : Rata-rata kadar air (%bk)
 Me : Kadar air kesetimbangan (%bk)
 Mo : Kadar air awal (%bk)
 k : Parameter pengeringan (1/detik)
 t : Waktu (detik).

Sedangkan rasio kadar air, variasi waktu dan dimensi ketebalan lapisan pengeringan yang dinotasikan dengan D (Depth variable) dinyatakan dengan persamaan-persamaan;

$$M_R = \frac{\bar{M} - M_e}{M_o - M_e} \dots\dots\dots 2$$

$$Y = kt$$

$$D = \frac{L_g k \rho_d (M_o - M_e)}{G_a C_{pa} (T_o - T_e)} \dots\dots\dots 3$$

Serta hubungan rasio kadar air dengan ketebalan dan waktu yang dikenal dengan solusi Hukill dan dinyatakan dengan:

$$M_R(D, Y) = \frac{e^D}{e^D + e^Y - 1} \dots\dots\dots 4$$

Dimana, M_R : Rasio kadar air (%)
 Y : Variasi waktu pengeringan
 L_g : Panas laten penguapan bahan (kJ/kg)
 ρ_d : Densitas kamba bahan (Kg/m³)
 G_a : Laju udara pengering (kg/menit.m²)
 C_a : Panas jenis bahan (kJ/kg.°C)
 T_{o,e} : Temperatur awal dan setimbang (°C).

1. Wadah Rak

Pengeringan dengan mode rak umumnya ditujukan untuk bahan yang berbentuk lempengan atau irisan. Lempengan atau irisan tersebut memiliki ketebalan tertentu sehingga perlu ditata sedemikian rupa agar penguapan kandungan airnya dapat berlangsung dengan cepat. Penumpukan dapat dilakukan hingga ketebalan yang dianggap maksimal. Mode wadah ini umumnya diperuntukkan bagi bahan seperti



irisian keripik, sale pisang, dendeng, ikan dan lain-lain. Hembusan udara pengering biasanya tidak terlalu kuat (secukupnya) agar bahan tidak berhamburan. Beberapa topik kajian yang sering diamati pada mode ini adalah sebaran laju udara pengering yang tidak merata pada setiap rak sehingga menyebabkan beda temperatur. Perbedaan temperatur udara pengeringan ini dapat berkisar antara 3 – 5 °C. Beberapa penelitian yang menggunakan mode rak seperti pengeringan biji kakao (Nelwan, 1997), pengeringan polong panili (Mursalim, 1995), pengeringan rumput laut (Sukarmanto, 1996), pengeringan sale pisang (Maulana, 1997) dan pengeringan manisan pepaya (Tahir, 1998). Karakteristik pengeringan buah kiwi (Mohammadi et al., 2008).

2. Wadah Bak

Pengeringan dengan mode bak umumnya ditujukan untuk bahan yang memiliki porositas rendah dalam tumpukan. Parameter lain yang digunakan adalah densitas kamba seperti bahan berupa biji-bijian. Produk yang memiliki porositas tumpukan tertentu seperti daging kelapa yang diolah menjadi kopra juga dapat menggunakan mode ini. Sebuah tuntutan kondisi lain bagi mode ini adalah hembusan udara panas yang memadai agar tumpukan bahan dapat ditembus untuk penguapan kandungan airnya. Permasalahan yang sering diamati pada mode tumpukan bak ini adalah perbedaan kadar air pada setiap ketebalan lapisan dimana setiap 12 cm dapat berkisar 2,5 %bb (Tahir, 2010). Solusi atas permasalahan ini biasanya dengan cara pengadukan yang sering dilakukan dengan cara manual. Pengadukan secara mekanis sering diaplikasikan untuk menghindari kondisi bahan yang panas bagi manusia yang bertindak sebagai operator. Kajian dalam mode ini antara lain pengeringan kopi (Dyah, 1997), pemodelan matematika dan numerik pengeringan biji lapisan tebal (Istadi and Sitompul, 2002), pengeringan jagung pipilan (Naibaho dan Agustina, 2011).

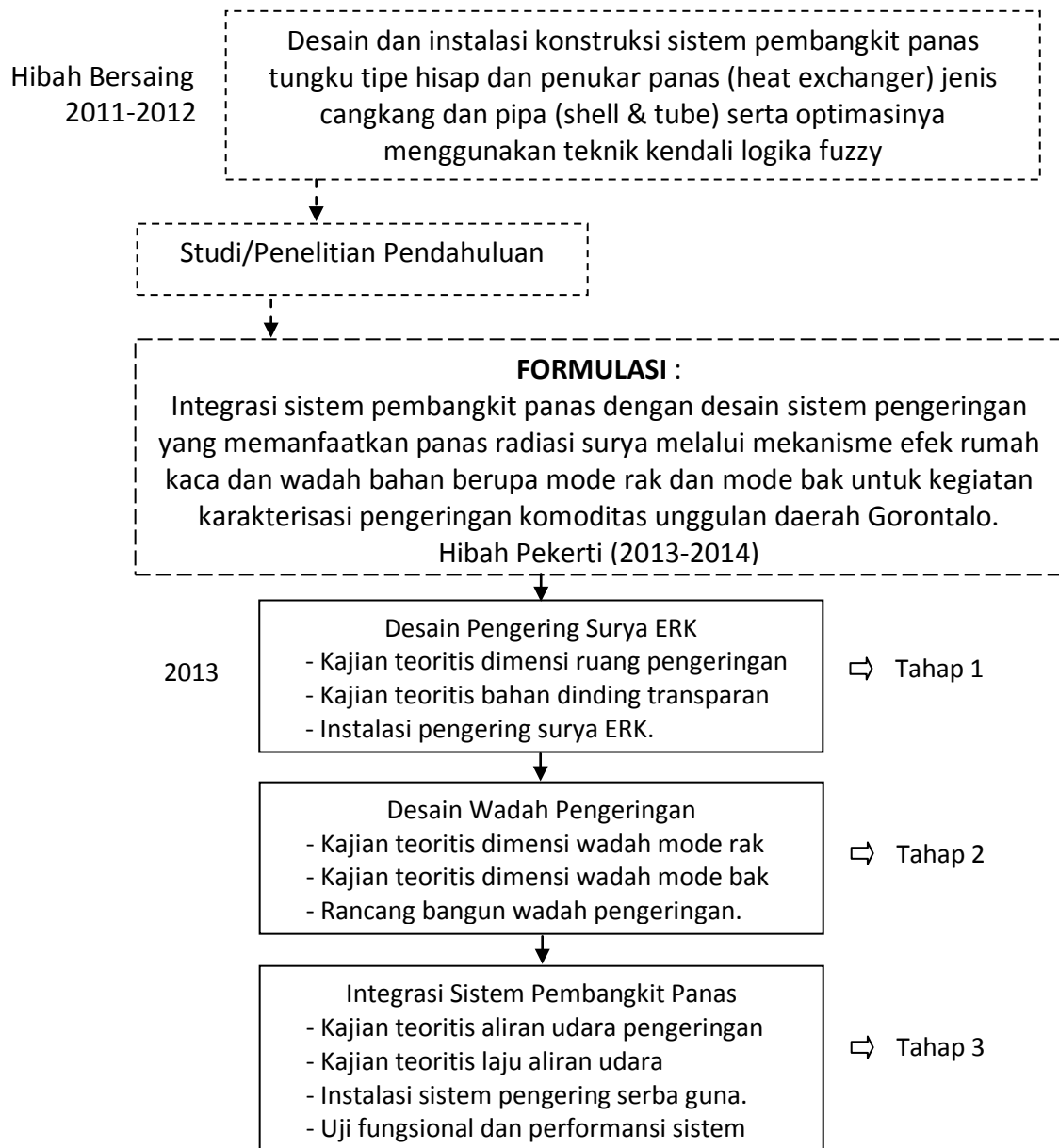


BAB III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dan bagan alir yang menggambarkan tahapan kegiatan adalah sebagai berikut:

1. Desain sistem meliputi ruang dan wadah pengeringan
2. Instalasi konstruksi sistem pengeringan
3. Uji fungsional hasil desain dan konstruksi
4. Uji Performansi sistem pengering dan karakterisasi pengeringan komoditas

Tahapan,



Gambar 1. Bagan Alir Desain Sistem Pengering Serbaguna – 2013



A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April – Oktober 2013 dengan lokasi bengkel dan laboratorium Politeknik Gorontalo, Laboratorium Energi dan Elektronika IPB serta Unit pengeringan Desa Iluta Kecamatan Batudaa Kabupaten Gorontalo Prov. Gorontalo.

B. Metode yang digunakan dalam penelitian mencakup :

1. Metode Desain

Metode desain meliputi gambar alat atau unit pengering secara keseluruhan yakni integrasi sistem pembangkit panas tungku dan penukar panas yang telah dihasilkan dengan ruang pengering yang digunakan untuk pengeringan komoditas hasil pertanian. Desain secara khusus mencakup unit pengering efek rumah kaca dan wadah pengeringan bahan berupa mode rak dan bak yang dapat bergerak dan berpindah. Termasuk didalamnya adalah pemilihan bahan yang tepat untuk packing, konstruksi rangka, bahan transparan untuk dinding dan material untuk wadah pengeringan bahan. Desain ruang dan wadah bahan harus bersifat kompak sehingga menunjang fleksibilitas pergerakan dan pemindahan bahan yang akan dan sudah dikeringkan. Desain juga memperhatikan arah dan aliran udara panas pengeringan serta letak instrumen yang akan diaplikasikan.

2. Metode Instalasi dan Kontruksi Sistem Pengeringan

Metode instalasi dan konstruksi sistem pengeringan mencakup seni pemasangan dan akurasi agar faktor kehilangan panas penngeringan dapat dihindari. Akurasi instalasi juga akan menentukan ketepatan pergerakan wadah bahan yang fleksibel dan aliran udara yang tepat mengenai bahan yang akan dikeringkan. Metode ini akan berkontribusi pada efisiensi sistem pengering yang dihasilkan sehingga penerapannya harus memperoleh perhatian dengan baik.

3. Metode Uji Fungsional Sistem Pengeringan

Metode ini dilakukan baik per komponen alat pengering yang dihasilkan maupun secara terintegrasi dalam satu sistem pengeringan. Metode ini dilakukan pada kondisi tanpa beban pengeringan agar setiap mekanisme sistem yang didesain berjalan lancar. Kepastian tidak adanya kemacetan pada saat pengeringan dengan komoditas sangat penting agar tidak menimbulkan bahan yang siap tidak terproses dengan semestinya.



4. Metode Uji Performansi Sistem Pengeringan

Metode uji performansi sistem dilakukan dengan beban pengeringan dan pemasangan instrumen terlebih dahulu agar data-data sistem pengeringan dapat dikumpulkan. Perangkat instrumen yang akan dipakai meliputi unit akuisisi data berupa komputer dan *device* sensor suhu dan kelembaban udara, instrumen radiasi surya, instrumen kelistrikan, instrumen udara pengeringan seperti alat ukur kecepatan udara, instrumen bahan yang dikeringkan seperti alat ukur kadar air dan timbangan serta software pemrosesan data. Prosedur pengumpulan data dapat bersifat kontinyu maupun diskontinyu. Sistem akuisisi data oleh komputer akan merekam data kontinyu sedangkan pengukuran parameter secara manual akan bersifat diskontinyu. Data dikontinyu seperti berat bahan yang diwakili sampel dapat diukur per 30 menit atau per jam. Demikian pula data seperti kecepatan udara pengering, daya listrik terpakai, radiasi surya akan bersifat diskontinyu.

Pengukuran parameter meliputi:

a. Suhu

Pengukuran suhu yang dilakukan pada beberapa titik pengukuran untuk melihat sebaran suhu. Adapun suhu yang diukur meliputi suhu lingkungan, suhu udara masuk, suhu ruang pengering, suhu bahan, dan suhu udara keluar diukur dengan sistem akuisisi data menggunakan sensor maupun termometer.

b. Kelembaban Relatif (RH)

Pengukuran RH meliputi RH lingkungan, RH udara masuk, RH ruang pengering, dan RH udara keluar. Kelembaban relatif diukur menggunakan sistem akuisisi data menggunakan sensor maupun dengan termometer bola basah dan bola kering serta psychometric chart.

c. Kadar Air Bahan

Pengukuran kadar air bahan menggunakan metode oven. Pengukuran kadar air bahan dengan metode oven melibatkan timbangan baik analitik maupun digital.

d. Radiasi Surya

Pengukuran radiasi surya menggunakan plat hitam sebagai penerima panas yang selanjutnya dijadikan acuan untuk kalibrasi dengan instrumen standar yakni piranometer. Struktur desain alat pengukur radiasi surya terdiri atas plat hitam yang dilengkapi dengan termokopel. Pembacaan suhu plat lewat termokopel dan radiasi



surya melalui piranometer dilakukan setiap 5 menit yang selanjutnya dicari hubungan antara suhu ($^{\circ}\text{C}$) dengan iradiasi (W/m^2).

Hubungan antara suhu yang diterima plat dengan radiasi surya dapat berupa grafik linier atau kuadratik melalui proses regresi. Model desain instrumen ini dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan instrumen ukur radiasi surya yang dapat dibawa dan digunakan ke tempat jauh atau terpencil.

e. Grade/Mutu Bahan

Mutu bahan hasil pengeringan akan dianalisa secara visual meliputi warna, tekstur, aroma dan dibandingkan dengan hasil pengeringan metode lain.

5. Metode Analisis dan Induksi

Metode analisis data menggunakan persamaan-persamaan berdasarkan tujuan penelitian seperti perhitungan berikut:

a. Laju pengeringan bahan

Laju pengeringan dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$\frac{dW}{dt} = \frac{W_i - W_t}{\Delta t} \dots\dots\dots 10$$

- (dW/dt) = laju pengeringan rata-rata
- W_i = kadar air awal (%)
- W_t = kadar air akhir (%)
- Δt = lama pengeringan

b. Energi Total Pengeringan

Energi total pengeringan merupakan energi yang digunakan dalam penguapan sejumlah massa air dari udara panas selama proses pengeringan.

$$Q_{TP} = \frac{q_u}{v} (h_3 - h_1) \times 3600t \dots\dots\dots 11$$

- Q_{TP} = energi total pengeringan (kJ)
- q_u = Debit udara (m/s)
- v = volume jenis udara (m^3/kg)
- h_3 = entalpi akhir (kJ/kg)
- h_1 = entalpi awal (kJ/kg)
- t = lama pengeringan (jam)

c. Energi Total Sistem



Energi yang dibutuhkan dalam sistem pengeringan merupakan penjumlahan dari energi biomassa (tongkol jagung), energi surya dan energi listrik dalam persamaan berikut ini:

$$Q_{TS} = Q_B + Q_S + Q_L \dots\dots\dots 12$$

- Q_{TS} = energi total sistem (kJ)
- Q_B = energi biomassa (kJ)
- Q_S = energi surya (kJ)
- Q_L = energi listrik (kJ)

d. Energi Biomassa (tongkol jagung)

Energi biomassa (Q_B) berupa tongkol jagung merupakan sumber panas utama bagi pengeringan jagung yang diperoleh melalui proses pembakaran pada unit tungku. Besarannya dihitung melalui jumlah massa yang terbakar dikali nilai kalor bahan.

$$Q_B = mb.Nkb \dots\dots\dots 13$$

- Mb = massa tongkol jagung yang digunakan selama pengeringan (kg)
- Nkb = Nilai kalor bahan (kJ/kg)

e. Energi Surya

Energi surya dihitung melalui iradiasi sesaat yang dikalikan dengan jumlah jam penyinaran selama proses pengeringan.

$$Q_S = 3.6I_h A_p (\sigma\alpha)t \dots\dots\dots 14$$

- I_h = total iradiasi surya harian (Wh/m²)
- A_p = Luas permukaan pengering (m²)
- $\sigma\alpha$ = transmisivitas dan absorpsivitas dinding transparan
- t = lamanya penyinaran surya (jam)

Total iradiasi surya harian (I_h) dihitung secara matematis dengan menggunakan metode Simpson (Purcell et al., 1990) didalam Mulyantara (2008).

$$I_h = \frac{\Delta t}{3} [I_i + 4 \sum I_{t_{gl}} + 2 \sum I_{t_{gp}} + I_f] \dots\dots\dots 15$$

- Δt = selang pengukuran (jam)
- I_{gl} = iradiasi selang pengukuran ganjil (W/m²)
- I_{gp} = iradiasi selang pengukuran genap (W/m²)
- I_i = iradiasi awal (W/m²)
- I_f = iradiasi akhir (W/m²)

f. Energi Listrik

Energi listrik merupakan sumber penggerak motor baik yang digunakan oleh blower penghembus udara.



$$Q_L = 3.6.V.i.t \dots\dots\dots 16$$

- V = tegangan terpakai alat (Volt)
- I = arus rata-rata nominal alat (Amp)
- T = lama penggunaan alat (jam)

g. Energi Berguna

Energi berguna merupakan energi atau panas yang terlibat langsung dalam memanaskan suhu bahan, menguapkan air bahan dan panas yang pindah ke udara pengering.

1. Panas yang diterima udara pengering

$$Q_{Ud} = \frac{q_u}{v_u} C_{pu} (T_r - T_l).3600t \dots\dots\dots 17$$

- Cpu = panas jenis udara (kJ/kg°C)
- Tr = Suhu udara ruang pengering (°C)
- Tl = Suhu udara lingkungan (°C)

2. Panas untuk menaikkan suhu bahan

$$Q_{Sp} = m_{oj} C_{pj} (T_r - T_j) \dots\dots\dots 18$$

- Moj = massa awal bahan (kg)
- Cpj = panas jenis bahan (kJ/kg°C)
- Tr = suhu udara ruang pengering (°C)
- Tj = suhu bahan (°C)

3. Panas untuk menguapkan air bahan

$$Q_{Uap} = Q_{TP} - (Q_{Sp} + Q_{Ud}) \dots\dots\dots 19$$

4. Panas untuk menaikkan dan menguapkan air bahan

$$Q_{SpUap} = Q_{Sp} + Q_{Uap} \dots\dots\dots 20$$

h. Efisiensi Penggunaan Energi

Efisiensi termal sistem pengering merupakan perbandingan antara energi panas yang masuk dalam sistem yang digunakan untuk memanaskan udara pengering (Nelwan, 1997).

$$\eta_T = \frac{Q_{TS}}{Q_S + Q_B} \times 100\% \dots\dots\dots 21$$

Parameter lain berupa Komsumsi Energi Spesifik (KES) merupakan jumlah energi yang diterima dibandingkan dengan satu satuan massa air bahan yang diuapkan.



$$KES = \frac{Q_{TS}}{m_{uap}} \dots\dots\dots 22$$

m_{uap} = massa air yang diuapkan selama pengeringan (kg).

Target yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebuah sistem pengering hybrid yang memanfaatkan sumber energi terbarukan yakni energi biomassa (tongkol jagung dan tempurung kelapa) dan energi surya yang tersedia secara melimpah untuk mengatasi kelangkaan bahan bakar minyak (BBM). Sistem pengering ini selanjutnya akan diintroduksi ke petani atau industri pengolahan hasil pertanian yang sudah ada atau menjadi sistem pengering yang diusulkan dalam proses industrialisasi pangan maupun non pangan. Sistem pengering yang dihasilkan tersebut wajib di *back up* oleh data pengujian baik skala laboratorium maupun skala lapangan untuk menghindari sikap apatis dari calon pengguna (user). Baik desain, sistem dan data-data pengujian performansi sistem serta database karakterisasi pengeringan komoditas akan dihasilkan melalui penelitian ini.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. HASIL DESAIN SISTEM PENGERINGAN

1. Struktur Pengereng Efek Rumah Kaca

Sistem pengeringan yang didesain pada kegiatan ini adalah pengering efek rumah kaca dimana pengerjaannya dilakukan di Laboratorium dan Bengkel Politeknik Gorontalo (Poligon). Pengerjaannya melibatkan mahasiswa semester IV yang dituntut memiliki kemampuan teknis pengerjaan sebuah desain. Kegiatan ini juga diramu dalam konteks kerjasama terbatas antara peneliti dengan Program Studi D3 Mesin dan Peralatan Pertanian (MPP) Poligon.



Gambar 2. Pengerjaan Struktur Pengereng ERK di Politeknik Gorontalo

Pengereng ERK dikonstruksi dari besi berbentuk kotak, besi siku dengan dinding dari bahan polikarbonat, plat seng dan pengencang mur baut serta paku keling (rivet). Dimensi tinggi struktur bangunan pengering ERK sebesar 2,2 meter, panjang dan lebar sebesar 2,1 meter. Pintu pada bagian muka dengan landasan rel tempat rak maupun bak keluar masuk ruang pengeringan. Pada bagian belakang dilengkapi dengan pengarah udara panas pengering yang terbuat dari seng plat. Udara panas ini berasal dari sistem pembangkit panas tungku biomassa.



2. Struktur Rak Pengeringan (Mode Rak)

Kerangka rak pengeringan yang di desain sebanyak 2 buah dan memiliki ukuran yang sesuai dengan ukuran ruang pengering ERK. Kerangka rak dikonstruksi dari besi UMP dan besi siku serta roda besi. Sedangkan rak bahan terbuat dari besi kotak dengan kawat rang. Dimensi panjang sebuah kerangka rak berukuran 2 meter, lebar 94 cm dan tinggi 2 meter. Sedangkan satu buah rak berukuran panjang 92 cm dan lebar 60 cm. Mode penngeringan rak ini ditujukan untuk bahan atau hasil pertanian dan perikanan yang berbentuk lempeng dan untaian. Contoh bahan yang dikeringkan dengan mode rak adalah daging kelapa, irisan buah pisang, irisan ubi jalar dan ubi kayu, irisan ikan dan rumput laut.



Gambar 3. Struktur Kerangka dan Rak Pengeringan Bahan

3. Struktur Bak Pengeringan (Mode Bak)

Bak pengeringan bahan dikonstruksi dari besi plat dengan kerangka besi siku dan dilengkapi dengan roda besi. Dimensi panjang dan lebar berukuran 2 meter sehingga dapat dikeluarkan-masukkan pada ruang pengeringan. Ruang dalam bak terdiri atas ruang plenum dan ruang bahan dengan lantai bersusun 2 dari plat berlubang (*perforated*). Jarak antar lantai plat berlubang 25 cm sehingga total kedalaman ruang tumpukan bahan 50 cm. Sistem 2 lantai ini dimaksudkan untuk mengatur kepadatan bahan yang dikeringkan agar mudah ditembus udara panas

pengeringan. Dengan demikian proses pengeringan dapat dilangsungkan secara efektif dan lama waktu dapat diperpendek. Contoh bahan yang dikeringkan dengan mode bak ini antara lain jagung tongkolan, kopra, kacang tanah.



Gambar 4. Model bak bergerak melalui landasan rel



Gambar 5. Model bak dengan lantai 2 susun

B. INSTALASI SISTEM PENGERINGAN

Instalasi sistem pengeringan terdiri atas unit pembangkit panas meliputi penukar panas, tungku biomassa dan penampung bahan bakar, unit pengering efek rumah kaca, unit rak dan bak dengan landasan rel. Sistem pembangkit panas memiliki rangka atap sendiri dengan jenis atap yang sama yakni polikarbonat.



Gambar 6. Instalasi unit pembangkit panas

Instalasi sistem pengeringan memiliki makna integrasi semua unit desain mulai dari unit penampung bahan bakar, tungku biomassa, penukar panas (heat exchanger), ruang pengering efek rumah kaca, mode pengeringan rak dan mode pengeringan bak. Semua unit terintegrasi membentuk sistem pengering serbaguna yang akan berfungsi sesuai dengan komoditas yang akan dikeringkan.

Pengerjaan instalasi ini juga melibatkan mahasiswa D3 Mekanisasi dan Peralatan Pertanian Politeknik Gorontalo. Hal ini ditujukan agar mahasiswa memiliki pengalaman teknis dalam penyelesaian suatu kegiatan baik bersifat penelitian ataupun pekerjaan

lainnya secara umum. Keahlian yang diperkenalkan adalah mewujudkan sebuah sistem mesin dan peralatan dengan fungsi yang berjalan sebagaimana mestinya.



Gambar 7. Instalasi Struktur Pengering ERK



Gambar 8. Instalasi semua Unit Sistem Pengeringan

Setelah pengerjaan kerangka seluruh unit pengeringan selesai, selanjutnya dilanjutkan dengan pemasangan dinding polikarbonat sehingga terbentuk sistem pengeringan yang siap diuji.



Gambar 9. Sistem Pengeringan Siap Uji



Gambar 10. Sistem Pengeringan tampak Samping



C. UJI FUNGSIONAL HASIL DESAIN DAN INSTRUMENTASI

1. Hasil Desain Sistem Pengeringan

Sistem pengeringan yang didesain terdiri atas mode rak dan mode bak dalam sebuah pengering efek rumah kaca. Pada gambar berikut ini ditampilkan foto pengeringan mode rak dimana terdapat 5 susun dengan luasan sekitar 4 m² tiap raknya.



Gambar 11. Sistem Pengeringan Mode Rak Bersusun



Gambar 12. Sistem Pengeringan Mode Bak

Sedangkan pada gambar 11 menampilkan foto pengeringan mode bak yang didesain berlantai dua. Ruang pada setiap lantai memiliki tinggi 25 cm dengan tujuan menghindari tumpukan yang terlalu padat dan tebal. Penggunaan kedua mode pengeringan ini dilakukan bergantian sesuai dengan jenis bahan atau komoditas yang akan dikeringkan.

2. Instrumentasi Sistem

Salah satu instrumen ukur yang didesain dalam kegiatan ini adalah alat ukur radiasi surya yang dibuat dari plat logam bercat hitam dot dengan sistem perata. Plat logam yang dihubungkan dengan ujung termokopel secara tertanam akan merekam suhu panas surya. Suhu yang terekam melalui *display authentic* merupakan representasi kondisi cuaca yang cerah dan mendung.

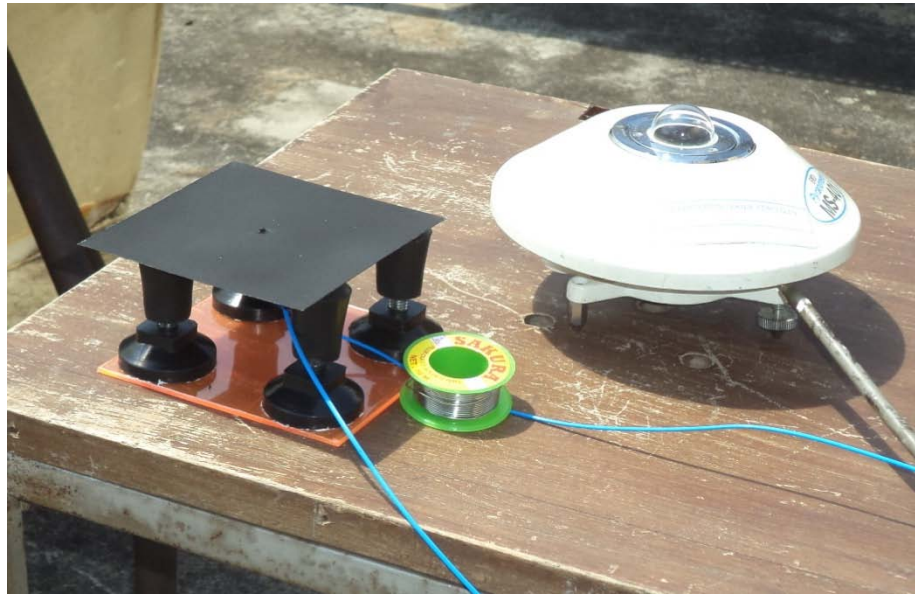


Gambar 13. Desain Instrumen Ukur di Lab. Ergotronika IPB

Instrumen lain yang didesain melalui laboratorium ergotronika adalah alat ukur suhu/temperatur dengan sistem multiplexer. Desain alat ini dimaksudkan untuk memperoleh jumlah titik pengukuran yang memadai. Dengan memanfaatkan sistem *display authentic* yang hanya menyediakan 5 titik pengukuran, sistem multiplexer memungkinkan hingga 12 titik pengukuran secara bergantian.

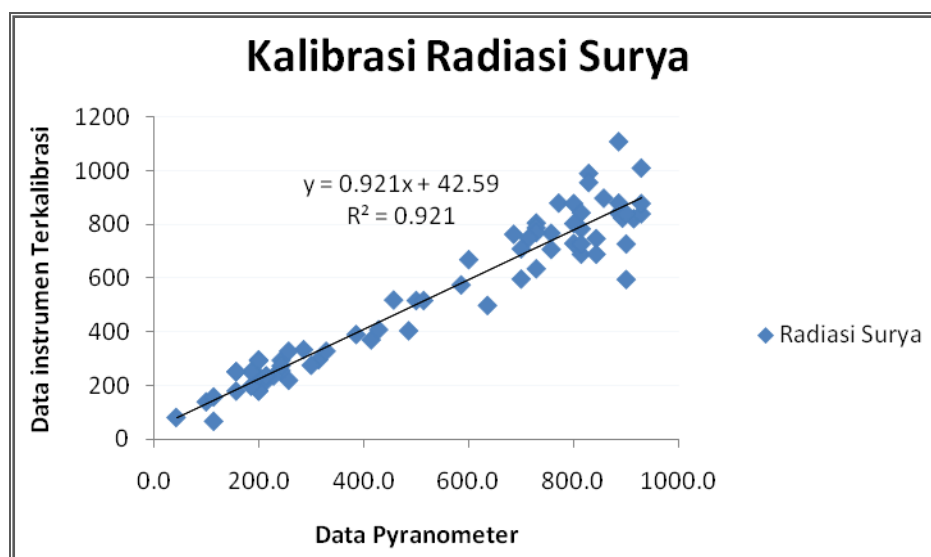
Desain multiplexer memanfaatkan IC HCF 4051 BE dengan beberapa resistor, saklar manual dan plat terminal serta tegangan sumber 5 Volt DC. Terminal-

8 channel menghubungkan termokopel tipe K ke display authonic sehingga dengan memanfaatkan 3 buah saklar kombinasi menghasilkan 8 kemungkinan "on".

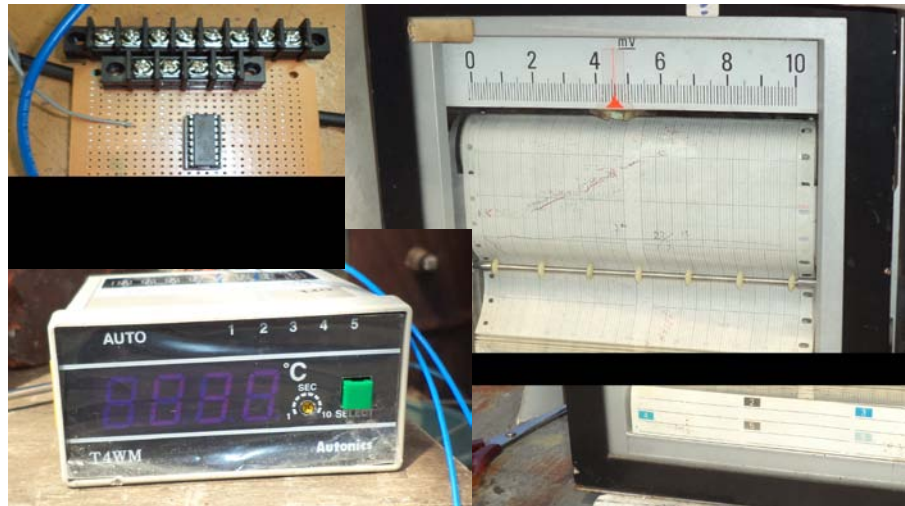


Gambar 14. Kalibrasi Instrumen dengan Pyranometer

Proses kalibrasi dilakukan dengan membuat hubungan linier data pyranometer yang terekam melalui hybrid recorder dengan data suhu plat hitam yang menerima radiasi surya melalui display authonic. Model persamaan iradiasi surya yang dihasilkan adalah $18,09T_p + 20,09(T_p - T_{lingk}) - 555,452$ dengan nilai R^2 sebesar 0,921 sehingga dipandang cukup memadai tingkat ketelitiannya.



Gambar 15. Grafik kalibrasi instrumen ukur radiasi surya



Gambar 16. Sistem displai Instrumen dan Multiplexer

D. UJI PERFORMANSI SISTEM PENGERINGAN

Uji performansi dilakukan dengan mengeringkan daging kelapa menjadi kopra kering. Buah kelapa yang telah dipanjat kemudian di cangkil dagingnya dan kemudian dikumpulkan. Pengeringan dilakukan dengan metode bak maupun rak dimana daging kelapa pada bak ditaruh pada dua lantai yang bertingkat sedangkan pada rak di sebar merata pada rak-rak pengeringan.



Gambar 17. Pengeringan pada mode bak bertingkat



Gambar 18. Pengeringan pada mode rak bertingkat

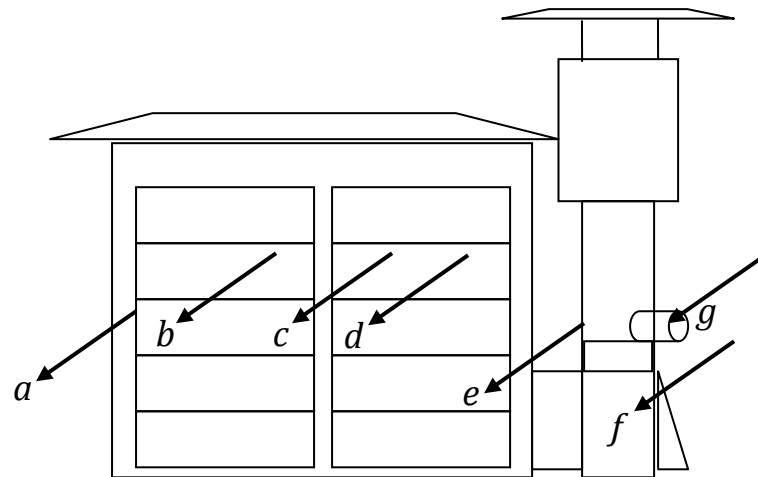
Pengujian dilakukan dengan memasang instrumen ukur seperti termokopel pada beberapa titik dalam ruang bangunan dan pada daging kelapa yang akan menyerap panas. Pada gambar berikut ini diperlihatkan cara pemasangan ujung termokopel pada daging kelapa. Hal ini bertujuan untuk memantau panas yang terserap hingga ke titik tengah daging kelapa tersebut.



Gambar 19. Titik pengukuran pada daging kelapa



Denah titik pengukuran pada sistem pengeringan kopra dapat digambarkan pada skema berikut ini.

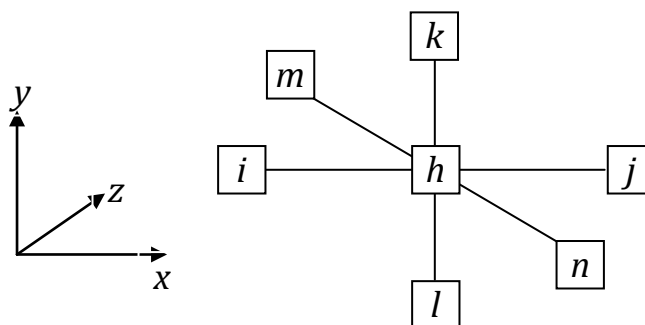


Keterangan:

- a. Udara lingkungan
- b. Udara depan (dekat pintu dan menjauh dari sumber panas)
- c. Bahan (kopra yang dikeringkan)
- d. Udara tengah ruangan
- e. Udara hembusan kuat (dekat sumber panas)
- f. Tungku pembakaran
- g. Asap buangan

Gambar 20. Denah titik pengukuran temperatur udara

Sedangkan pengukuran kadar air dilakukan pada sampel yang mewakili posisi ruangan yakni titik depan, titik tengah, titik belakang, titik atas, titik bawah, titik samping kanan dan titik samping kiri. Pengukuran ini dimaksudkan untuk melihat sebaran pengaruh panas pada ruangan tempat rak berada.



- Keterangan : h = titik tengah, i = titik depan, j = titik belakang
 K = titik atas, l = titik bawah, m,n = titik samping kiri dan kanan

Gambar 21. Denah titik pengukuran kadar air



E. PEMBAHASAN HASIL DESAIN

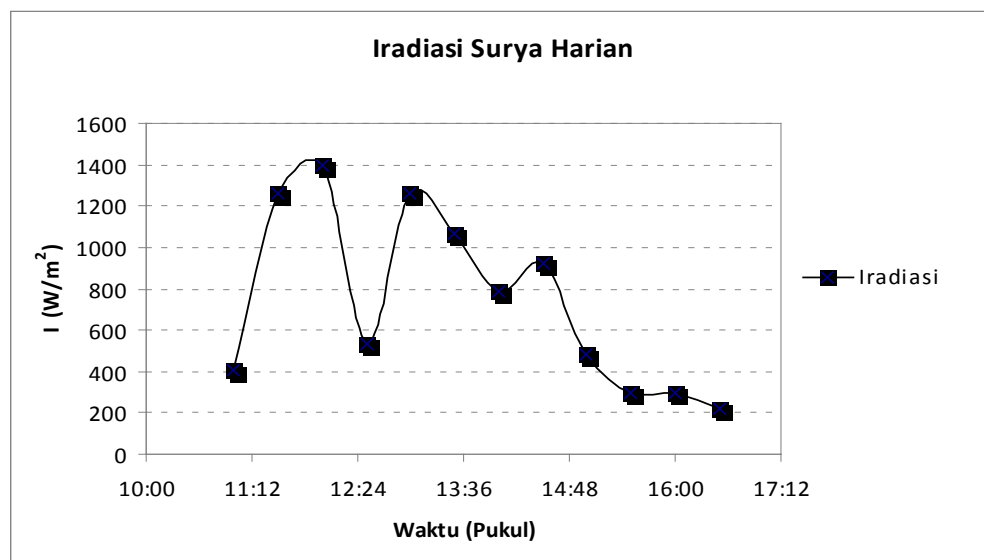
Hasil desain dari sisi fungsional memiliki kinerja yang baik dimana instalasi yang utuh antara sistem pembangkit panas biomassa, ruang pengering berstruktur dinding transparan memiliki efek panas rumah kaca dari radiasi surya dan mode pengeringan bak serta rak yang dapat ditarik di atas landasan rel. Fungsi ruang pengering yang terbuat dari dinding polikarbonat dapat memanaskan suhu ruangan sekitar 2-4 °C lebih tinggi dari suhu lingkungan. Sistem pembangkit panas tungku biomassa juga dapat menyalurkan panas udara pengeringannya ke ruang pengering melalui saluran pengarah. Sedangkan mode pengeringan bak dan rak dengan landasan rel memungkinkan pilihan yang tepat berdasarkan karakteristik bahan yang akan dikeringkan. Operator pengeringan yang dibutuhkan pada kedua mode pengeringan ini juga hanya sekitar dua orang dengan beban yang relatif ringan dan terpaan udara panas yang relatif terisolasi pada ruangan.

Penggunaan kedua mode pengeringan ini sangat penting dimana pilihan bak dengan lantai dua tingkat digunakan jika terdapat banyak bahan yang akan dikeringkan (± 2.000 Kg). Disamping itu mode pengeringan ini digunakan jika bahan bersifat *bulky* seperti biji-bijian. Sedangkan pengeringan dengan mode rak dilakukan jika bahan yang akan dikeringkan dalam jumlah yang tidak terlalu banyak (± 1.000 Kg) dengan sifat bahan berupa lempengan seperti irisan keripik. Pada pengujian dengan bahan kopra dimana bahan memiliki sifat khusus, penggunaan kedua mode pengeringan dapat dilakukan. Sedangkan serpihan kecil kopra hanya akan berdampak lolos jatuh pada lubang kawat rang tempat bahan diletakkan.

Pengamatan terhadap sumber panas pengeringan dilakukan baik komponen surya maupun tongkol jagung dan tempurung kelapa (biomassa). Pengaruh panas surya terjadi karena desain pengeringan yang menggunakan dinding tembus pandang (polikarbonat) sehingga memiliki efek pemanasan rumah kaca.

Data pengamatan surya dilakukan dari pukul 11.00 WITA hingga pukul 16.30 WITA dengan selang 30 menit. Pada kondisi cuaca cerah dengan suhu udara lingkungan rata-rata 33 °C, diperoleh nilai iradiasi surya sebesar 743 W/m². Surya kumulatif harian

dalam pengujian ini diperoleh sebesar 4618 Wh/m^2 atau $4,6 \text{ kWh/m}^2$. Sebagai bahan pertimbangan besarnya iradiasi surya kumulatif per hari di Indonesia adalah 4.5 kWh/m^2 (BAKOREN, 1991 di dalam Kamaruddin A., 1995). Dengan rata-rata luas penampang alat pengering yang menerima radiasi surya $17,64 \text{ m}^2$ maka energi surya yang bermanfaat bagi pengeringan diperoleh sebesar $25,488 \text{ kW}$. Besaran nilai ini dipengaruhi oleh sifat daya tembus panas dinding polikarbonat merek solarlite dengan nilai $48,29\%$ (Solarlite Table Diagram, 2013) dan sifat memantul bahan sekitar 3% .



Gambar 22. Grafik iradiasi surya harian

Penggunaan bahan bakar biomassa pada pengujian ini dilakukan untuk memperoleh tingkat suhu udara yang relatif panas sehingga dapat mempercepat proses pengeringan. Penggunaan bahan bakar selama pengujian berada pada kisaran $3,8 \text{ Kg/jam}$. Dengan kombinasi panas surya dan biomassa menghasilkan panas udara pengering sebesar $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Suhu pembakaran tungku memiliki kisaran $289 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan suhu udara buangan bercampur asap sebesar $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Hal ini jika dibandingkan dengan data pembangkit panas pada pengujian tahun 2011 dimana dengan laju pengumpanan bahan bakar sebesar $7,03 \text{ Kg/jam}$ menghasilkan suhu udara pengering rata-rata sebesar $84,7 \text{ }^\circ\text{C}$. Sedangkan suhu pembakaran tungku saat itu adalah sebesar $467,2 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan suhu udara buangan bercampur asap sebesar $49,0 \text{ }^\circ\text{C}$ (Tahir dkk, 2013). Dengan memperhatikan koefisien perbedaan besaran nilai bahan bakar dan suhu tungku pembakaran kedua pengujian maka nilainya berkisar separuh lebih ($0,58$), sedangkan



koefisien perbedaan suhu udara pengeringan relatif lebih tinggi dari koefisien tersebut (0,82). Perbedaan ini disebabkan oleh dua faktor yakni pemanfaatan panas surya yang dapat berkisar 10% lebih sebagaimana pengujian sistem pengering energi surya untuk pengeringan biji-bijian, (Tahir, 2009). Disamping itu adalah kombinasi penggunaan tempurung kelapa disamping tongkol jagung dengan rata-rata laju masing-masing 3,5 Kg/jam dan 5,0 Kg/jam. Tempurung kelapa memiliki koefisien nilai kalor yang lebih tinggi dari pada tongkol jagung sehingga meningkatkan pengaruh efisiensi dan efektifitas pembangkitan panas.

Energi panas yang dibangkitkan oleh kedua bahan bakar biomassa sebesar 129,10 kW dimana tongkol jagung menyuplai energi sebesar 41,05 kW dan tempurung kelapa menyuplai energi sebesar 88,05 kW. Nilai kalor kedua bahan bakar yang digunakan adalah tongkol jagung 17.500 kJ/Kg (Sonobe and Worasuwannarak, 2006) dan tempurung kelapa 31.700 kJ/Kg (Nelwan, 2005).

Selain kedua energi alamiah yang berperan tersebut juga terdapat energi listrik yang digunakan untuk memutar sistem sirkulasi udara melalui blower dengan konsumsi energi sebesar 28,702 kW. Berikut tabel penggunaan energi surya, biomassa dan listrik dalam pengujian sistem pengeringan ini.

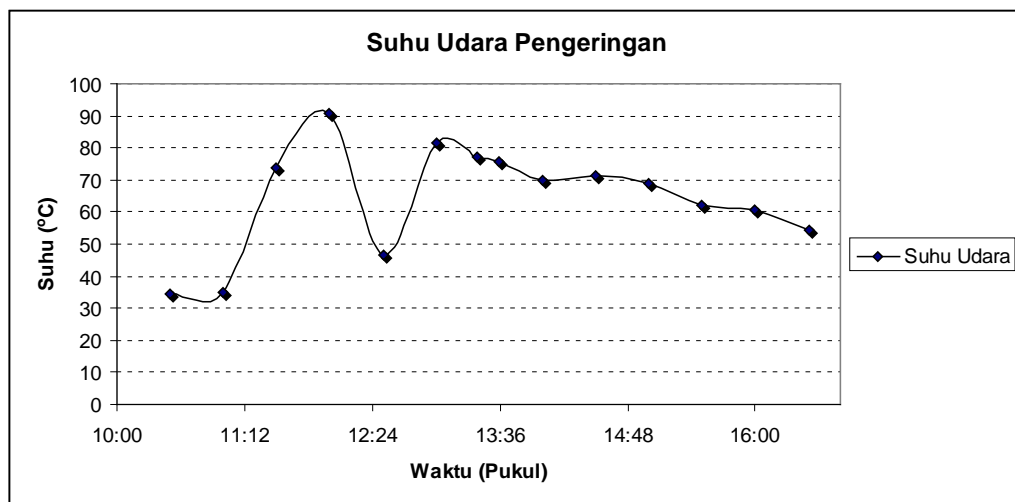
Tabel 1. Jenis dan nilai konsumsi energi

Jenis Energi	Nilai Konsumsi (kJ)	Nilai Konsumsi (kW)	Persentase (%)
Surya	596.428	25,488	13,9
Biomassa	1.140.500	129,105	70,4
Listrik	596.428	28,702	15,7
Total	2.333.356	183,295	100

Dengan demikian energi total sistem yang digunakan dalam pengujian tersebut adalah sebesar 183,295 kW atau setara dengan 2.333.356 kJ.

Dari suhu udara pengering rata-rata yang terhembus sebesar 70°C dan suhu rata-rata udara ruang pengeringan sebesar 65°C , suhu panas bahan yang terekam melalui termokopel besarnya adalah 63°C . Suhu bahan ini menunjukkan panas pada titik tengah bahan yang dikeringkan. Secara logis dapat dijelaskan bahwa kadar air bahan dan sifat material bahan memiliki sifat mendinginkan dan adanya tahanan ditembus panas. Dengan demikian terbentuk slope penurunan suhu dari ruangan pengering hingga ke lapisan dalam daging kelapa (kopra).

Grafik suhu pengujian pengeringan kopra dengan lama waktu 6,5 jam dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 23. Grafik suhu pengujian pengeringan

Sebaran suhu di dalam ruang pengering juga terbentuk melalui gambaran suhu udara terhembus sebesar 70°C dan rata-rata suhu ruang pengeringan sebesar 65°C . Hal ini dapat dijelaskan oleh adanya bahan yang menyerap panas sepanjang hembusan udara pengeringan dimana semakin jauh akan menyebabkan turunnya suhu. Sebaran penurunan suhu dapat disebut berurutan yakni suhu udara terhembus 70°C , suhu udara pada titik dekat sumber (belakang) $66,9^{\circ}\text{C}$, suhu udara pada titik tengah ruangan 65°C , dan suhu udara pada titik terjauh (depan) 62°C .

Perubahan kadar air bahan yang dikeringkan dari performansi alat yang diketahui dapat dijelaskan bahwa berat awal kopra basah sebesar 250 kg dengan kadar air awal 42,65 %basis basah. Setelah pengeringan diperoleh kadar air akhir kopra rata-rata sebesar 18,41 %basis basah. Berat akhir kopra yang telah dikeringkan seberat 175,73 kg



dengan berat kandungan air yang diuapkan adalah 74,27 kg. Adapun kisaran kadar air pada beberapa titik dalam ruang pengeringan berkisar 17,88 – 18,59 %basis basah. Sedangkan laju rata-rata pengeringan sebagai bentuk sifat bahan dalam proses pengeringan diperoleh sebesar 39,8 %bb/jam. Pengeringan lebih lanjut dilakukan dengan cara alami dengan meletakkan kopra tersebut tetap di dalam rak pada ruangan pengeringan. Setelah 1-2 hari kemudian diukur kadar airnya dan diperoleh rata-rata kadar air akhir sebesar 6,4 %basis basah.

Energi total pengeringan merupakan jumlah energi yang digunakan dalam penguapan sejumlah massa air dari udara pengering diperoleh sebesar 395.141 kJ. Energi berguna berupa panas yang diterima udara pengering diperoleh sebesar 381.230 kJ, panas untuk menaikkan suhu bahan sebesar 940 kJ dan panas untuk menguapkan air bahan sebesar 13.911 kJ.

Efisiensi termal sistem pengering yang merupakan perbandingan antara energi panas yang masuk dalam sistem yang digunakan untuk memanaskan udara pengering diperoleh sebesar 22%. Sedangkan konsumsi energi spesifik (KES) sebagai jumlah energi yang diterima dibandingkan dengan satu satuan massa air yang diuapkan adalah sebesar 31.417 kJ/kg.

Beberapa literatur yang mengkaji aspek efisiensi peralatan pengering dalam kaitannya dengan bahan antara lain dilaporkan oleh Anderson (2006) yang mengembangkan dan mengevaluasi alat pengering kopra jenis *tray dryer* dengan nilai 19,33%. Dengan rata-rata suhu udara pengering 65 °C berbahan bakar minyak tanah, kopra dari kadar air awal 53,18% hingga 6,84% dengan kapasitas 30 kg ditempuh dalam waktu 14 jam. Triyono dkk., (2008) menguji rancangan alat pengering kopra berbahan bakar biomassa (kayu dan tempurung kelapa) dengan kapasitas sekitar 160 kg dengan nilai efisiensi penggunaan energi 6,51% dalam waktu 16 – 18 jam per perioda. Sedangkan perbandingan konsumsi energi pada sistem pengering efek rumah kaca-hibrid dan *in-store dryer (ISD)* terintegrasi untuk jagung pipilan yang diuji oleh Nelwan dkk., (2008) adalah 10,4%, 72,8% dan 16,4% untuk jenis energi surya, biomassa dan listrik dengan nilai KES 5.96 dan 7,96 MJ/kg uap air. Hal ini berarti dengan komposisi



konsumsi energi yang relatif sama, sistem pengeringan yang diuji masih tinggi atau masih boros penggunaan energinya.

Perbandingan untuk pengeringan dengan energi surya murni melalui sistem pengumpul radiasi surya untuk pengeringan tandan kosong sawit buangan pengolahan minyak sawit oleh Sulaiman et al., 2013 adalah sekitar 66 jam tanpa henti (9 hari) dengan radiasi rata-rata berkisar $293 - 733 \text{ W/m}^2$ untuk menurunkan kadar air dari 79 - 4,18 % basis basah.

Beberapa permasalahan yang muncul dalam pengujian terjadi pada bagian penukar panas (*heat exchanger*) yang merupakan hasil desain Hibah Bersaing 2011. Kebocoran pipa penukar panas mulai terjadi karena materialnya mengalami korosi (lapuk). Faktor pertama penyebabnya adalah material pipa dari jenis pipa besi biasa sehingga tidak tahan terhadap proses korosi. Faktor kedua penyebabnya adalah setelah kegiatan desain alatnya di taruh di luar bangunan tanpa pelindung sehingga terkena sinar matahari bergantian dengan hujan yang menyebabkan udara lembab masuk ke pipa dan melapukkannya. Kebocoran ini menyebabkan munculnya asap pada ruang pengeringan dan mengkontaminasi bahan yang dikeringkan.



BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kegiatan desain sistem pengeringan dilakukan dengan mengintegrasikan sistem pembangkit panas tungku biomassa dan penukar panas (hasil desain HB 2011-2012) dengan unit pengering berstruktur transparan dan mode pengeringan bak dan rak. Hasil desain menghasilkan satu unit pengering serbaguna yang dapat digunakan untuk mengeringkan berbagai hasil pertanian, perkebunan, perikanan dan peternakan.

Struktur ruang pengering memiliki dimensi P x L x T dengan nilai (2,1 x 2,1 x 2,1) m. Dimensi ini memanfaatkan kaidah optimalisasi bahan dinding polikarbonat merek solarlite yang tersedia di pasaran. Ruang yang terbentuk memiliki efek pemanasan rumah kaca yang dapat menimbulkan selisih suhu 2-4 °C dengan suhu lingkungan secara alamiah. Untuk melangsungkan proses pengeringan di dalam ruang pengering yang terbentuk itu kemudian didesain mode pengeringan berupa bak dan rak. Dimensi bak pengeringan memiliki P x L x T dengan nilai (1,8 x 1,8 x 1,05) m. Pada bagian bawah bak terdapat ruang plenum dengan lantai bahan berporasi. Ruang pengeringan bak di desain berlantai 2 agar ketinggian bahan yang dikeringkan terbatas dengan tujuan mengurangi kepadatan sehingga daya tembus udara pengering tetap baik. Sedangkan dimensi rak memiliki P x L x T dengan nilai (2,0 x 2,0 x 1,8) m. Pada dimensi tersebut di desain sebanyak 2 unit rak dorong. Pada setiap rak dorong memiliki jarak antar rak setinggi 32 cm. Setiap kotak rak sebagai tempat menaruh bahan yang dikeringkan terbuat dari kawat rang dengan lobang berukuran (2,5 x 2,5) cm. Kedua mode pengeringan tersebut bergerak di atas landasan rel sehingga dapat ditarik keluar masuk dari ruang pengeringan untuk kegiatan pemuatan atau pembongkaran bahan.

Uji fungsional terhadap keseluruhan alat menunjukkan fungsi yang cukup baik dimana proses pemuatan dan pembongkaran bahan dapat dilakukan dengan mudah dan pengeringan dapat dilangsungkan secara memadai. Sedangkan uji performansi alat menghasilkan energi total pengeringan sebesar 399.324 kJ, energi berguna sebesar 380.408 kJ dan energi pemanasan dan penguapan air bahan sebesar 18.917 kJ. Laju pengeringan bahan sebesar 39,8 %bb/jam untuk mengeringkan bahan sebanyak 250 kg



dari kadar air awal 42,65 %basis basah menjadi kadar air akhir 18,41 %basis basah dalam waktu 6,5 jam. Pengeringan secara alamiah dengan tetap menaruh bahan di dalam ruangan tertutup selama 1-2 hari menyebabkan kadar air akhir yang diperoleh rata-rata sebesar 6,4 %basis basah.

Total penggunaan energi sistem sebesar 183,295 kW atau setara dengan 2.333.356 kJ yang terdiri atas energi surya, bahan bakar (biomassa) dan listrik. Persentase masing-masing komponen energi sebesar 13,9%, 70,4% dan 15,7%. Suhu udara ruang pengeringan rata-rata sebesar 65 °C dengan suhu titik tengah bahan yang menyerap panas sebesar 63 °C. Suhu hembusan udara pengering sebesar 70 °C yang disuplai dari suhu pembakaran tungku sebesar 289 °C. Laju pengumpanan bahan bakar untuk memperoleh suhu udara pengeringan tersebut adalah 3,8 Kg/jam yang terdiri atas tongkol jagung dan tempurung kelapa.

Efisiensi termal sistem pengering sebagai perbandingan energi panas yang masuk ke dalam sistem untuk memanaskan udara pengering sebesar 22%. Sedangkan konsumsi energi spesifik (KES) sebagai jumlah energi yang diterima dibandingkan dengan satu satuan massa air yang diuapkan adalah sebesar 31.417 kJ/kg.

Karena faktor material dan kondisi penyimpanan yang tidak terlindung sejak kegiatan desain Hibah Bersaing 2011, kebocoran pipa penukar panas pada unit pembangkit panas mulai terjadi sehingga muncul asap pada ruang pengeringan yang mengkontaminasi bahan yang dikeringkan. Perlunya kegiatan perbaikan ulang bagian penukar panas agar kegiatan lanjutan pada Penelitian Kerjasama Perguruan Tinggi tahun berikutnya dapat berlangsung dengan baik.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Abdullah K., D. Wulandani, L.O. Nelwan and L.P. Manalu. 2000. Recent Development of GHE Solar Drying in Indonesia. *Drying Technol. Int. J.*, 19 : 245-256, 2001.
- Anderson, S. (2006). Pengembangan dan evaluasi teknis alat pengering kopra jenis tray dryer. *Jurnal Teknik Mesin* 3:61-70.
- Bala, B.K. 1983. *Drying and Storage of Cereal Grains*, Oxford & IBH Publishing Co. PVT. LTD, New Delhi Calcutta.
- Barnwal P., and A. Tiwari. 2008. Design, Construction and Testing of Hybrid Photovoltaic Integrated Greenhouse Dryer. *Int. J. Agri. Res.*, 3 (2) : 110-120, 2008.
- Cakraverty A., & R.P. Singh. (2001). *Postharvest Technology; cereals, pulses, fruits and vegetables*. Science Publishers, Inc. New Hampshire.
- Energi dan Sumber Daya Mineral (2013). Pemanfaatan Energi Surya di Indonesia. <http://www.esdm.go.id/berita/56-artikel/3347-pemanfaatan-energi-surya-di-indonesia.html>. [17 Oktober 2013].
- Kamaruddin A., 1995. *Solar Energy Conversion Technology Training; Papers 31 Juli - 4 Agustus*. Bogor.
- Kamaruddin A., 2007. *Teknologi berbasis sumber energi terbarukan untuk pertanian*. IPB Press. Bogor.
- Mulyantara, FX. T., 2008. *Simulasi Proses Pengeringan Jagung Pipilan Dengan Mesin Pengering Surya Tipe Efek Rumah Kaca (Erk)-Hybrid Dengan Wadah Silinder*. Thesis. Program PS. IPB Bogor.
- Mohammadi A., S. Rafiee, A. Keyhani and Z. EmamDjomeh, 2008. Estimation of Thin-layer Drying Characteristics of Kiwifruit (cv. Hayward) with Use of Page's Model. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 3 (5): 802-805, 2008.
- Nelwan L.O. 1997. *Pengeringan Kakao dengan Energi Surya Menggunakan Rak Pengering dengan Kolektor Tipe Efek Rumah Kaca*, Thesis, Program PS. IPB Bogor.
- Nelwan, L. O., Wulandani D., Widodo T. W., dan Paramawati R. (2008). Konsumsi energi dan biaya pokok pengeringan sistem pengering efek rumah kaca dan in-store dryer (ISD) terintegrasi untuk jagung pipilan. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 – Yogyakarta*, 18-19 November 2008.
- Solarlite Table Diagram (2013). Polycarbonate Solarlite. <http://www.Ciptaprima-perkasa.com/produk-234-polycarbonate-solarlite.html>. [26 September 2013].
- Sonobe T. And Worasuwanarak N. 2006. Pyrolysis Characteristics of Blends of Agricultural Residues with Lignite. *Asian Journal on Energy and Environment* 2006, 7(03), 347-355.
- Sulaiman, F., Abdullah, N., dan Aliasak, Z. (2013). Solar Drying System for Drying Empty Fruit Bunches. *Journal of Physical Science* 24(1):75–93
- Tahir, M. 2008. Pengeringan jagung dengan mekanisme efek rumah kaca berenergi surya dan biomassa. *Jurnal Agrosains Tropis* Vol. 4 No: 1 Januari 2009, halaman 11-16.



- Tahir, M., Subrata, I.D.M., dan Purwanto Y.A. (2010). Desain kendali laju aliran udara dan sistem pengumpan bahan-bakar biomassa berbasis fuzzy pada pengering ERK-Hybrid. *Jurnal Enjiniring Pertanian VIII(2):95-104.*
- Tahir, M., Bait, Y., dan Kasim, R. (2013). Uji Performansi Desain Terintegrasi Tungku Biomassa dan Penukar Panas. *Jurnal Agritech 33(2):219 – 225.*
- Tahir M., Kasim R., dan Bait Y., 2013. Uji Performansi Desain Terintegrasi Tungku Biomassa dan Penukar Panas. *Jurnal Agritech Volume 33, No. 2, Mei 2013, halaman 219-225.*
- Triyono, S., Haryanto, A., dan Haryati, R.S. (2008). Rancang bangun dan uji kinerja alat pengering kopra tipe rak berbahan bakar biomassa. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 – Yogyakarta, 18-19 November 2008.*

Lampiran 1. Hasil desain dan rancang bangun Hibah Bersaing 2011-2012 yang akan diintegrasikan ke desain pengering ERK (2013-2014).



Gambar 1. Sistem Pembangkit Panas Kompak

DIMENSI :

Tinggi : 2,80 meter
Panjang : 2,35 meter
Lebar : 1,25 meter

Partisi :

- Sistem Pengumpan Bahan Bakar
- Tungku Biomassa
- Penukar Panas
- Sistem Blower.

Lampiran 2. Hasil desain kegiatan PEKERTI tahun 2013.



Gambar 2. Instalasi Sistem Pengeringan Serbaguna



Gambar 3. Sistem Pengeringan Tampak Samping



Gambar 4. Sistem Pengeringan Mode Bak



Gambar 5. Sistem Pengeringan Mode Rak



Gambar 6. Mode Rak di atas Rel



Gambar 7. Mode Rak di atas Rel



Gambar 8. Pengeringan Kopra pada Bak



Gambar 9. Pengeringan Kopra pada Rak



Gambar 10. (a),(b),(c) Pemasangan Kabel Termokopel Ukur



Lampiran 3. Naskah publikasi kegiatan PEKERTI tahun 2013.

DESAIN DAN UJI PERFORMANSI SISTEM PENGERINGAN MODEL RAK PADA PENGERING EFEK RUMAH KACA

(Design and Performance Test of The Drying System on Tray Model in The Green House
Effect Dryer)

Muhammad Tahir¹, Amiruddin², Leopold Oscar Nelwan³, I Dewa Made Subrata³
Email: muhtahirlaw@gmail.com

1. FAPERTA, Universitas Negeri Gorontalo, Jl. Jend. Sudirman No.6 Kota Gorontalo 96128
2. Kampus Politeknik Gorontalo, Jl. Sapta Marga Botupingge, Bone Bolango 96183
3. Teknik Mesin dan Biosistem–FATETA, Kampus IPB Dramaga PO.Box 220 Bogor 16002

ABSTRAK

Sistem pengeringan dalam penelitian ini sebagai sebuah integrasi dari model rak yang didesain berada dalam bangunan transparan dengan mekanisme efek rumah kaca telah melalui pengujian. Desain sistem pengeringan utuh diperoleh setelah melakukan instalasi ke tungku biomassa dan penukar panas sebagai sumber panas utama. Uji performansi pengeringan berlangsung di bawah pengaruh radiasi surya dan kebutuhan energi listrik untuk menghasilkan sirkulasi udara melalui kipas aksial. Proses pengeringan kopra sebanyak 250 kg dengan kadar air awal 42,65 – 18,41 % basis basah ditempuh dalam waktu 6,5 jam dan pengeringan alamiah (panas surya) selama 1-2 hari untuk memperoleh kopra kering dengan kadar air 6,4% basis basah. Rasio konsumsi energi surya, biomassa dan listrik masing-masing sebesar 14%, 70% dan 16% dengan efisiensi termal sistem pengeringan 22%. Konsumsi energi spesifik (KES) masih cukup tinggi; 31,42 MJ/kg sebagai rasio input energi terhadap satu satuan massa air yang diuapkan. Rata-rata suhu ruang pengeringan adalah 65 °C yang diperoleh dari laju pembakaran biomassa 3,8 kg/jam dan rata-rata iradiasi surya 743 W/m². Rata-rata perbedaan suhu antar titik pengukuran pada rak sebesar 2,5 °C sementara rata-rata perbedaan kadar airnya sebesar 0,4 % basis basah.

Kata kunci : Kopra, energi, desain terintegrasi, sistem pengeringan rak, mekanisme efek rumah kaca.

ABSTRACT

The drying system in this research as an integrated of tray models which designed in the transparent wall of green house effect mechanism had been tested. A completely design of the drying system was found after installed it to the biomass furnace and heat exchanger as the main source of heat. The performance test of the drying was conducted under solar heat radiation influenced and the need of electricity to created air circulation from axial fan. Drying process of 250 kg copra with initial water content of 42.65 - 18.41 % wet basis need a time of 6.5 hours and 1-2 days drying naturally as only solar heat radiation influence to 6.4 % wet basis of the dried copra. The ratio of energy consumption of solar heat radiation, biomass energy and electricity were 14%, 70% and 16% respectively with thermal efficiency of drying system was 22%. There were high enough of specific energy consumption (SEC); 31.42 MJ/kg as the ratio of energy input to the unit mass of water evaporated. The average temperature of the drying system was 65 °C, obtained from 3.8 kg/hour biomass rate burning and 743 W/m² of solar irradiation. The average temperature difference among the points of measurement on that tray was 2.5 °C while the average of water content difference between the same points of measurements was 0.4 % wet basis.

Key words: Copra, energy, integrated design, tray drying system, green house effect mechanism.

PENDAHULUAN

Salah satu pengering tipe hibrid yang banyak di kembangkan adalah mekanisme efek rumah kaca dengan kombinasi sumber panas surya dan biomassa. Pengering jenis ini memiliki keuntungan dari segi biaya operasional pembangkitan panas yang rendah karena memanfaatkan ketersediaan energi surya dan biomassa yang melimpah di negara tropis. Penggunaan sumber energi panas dengan sistem kombinasi dimaksudkan untuk mengatasi kondisi ketersediaan sinar surya yang terpengaruh oleh cuaca. Cuaca mendung, hujan dan saat malam hari menyebabkan tidak tersedianya energi surya sehingga perlu digantikan oleh sumber energi lain seperti biomassa. Upaya meminimalkan penggunaan energi berbiaya mahal dan memaksimalkan penggunaan energi yang murah untuk proses pengeringan yang optimum adalah konsep yang akan diterapkan pada sistem pengeringan yang akan didesain.

Pemanfaatan peralatan pengering di daerah Gorontalo berlangsung seiring dengan upaya peningkatan pendapatan masyarakat pada sektor pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan. Komoditas pada sektor tersebut umumnya memerlukan proses pengeringan seperti gabah, jagung, kacang tanah, cengkeh, panili, kopi, kopra, kakao, silase dan wafer pakan ternak serta ikan, rumput laut. Proses pengeringan dalam hal ini diperlukan untuk memperoleh mutu komoditas sesuai tuntutan mutu perdagangan dan sekaligus menghindarkan komoditas dari kerusakan pasca panen. Pengusahaannya dapat berupa unit pengolahan skala kecil (*Small Processing Unit*) sejenis pabrik skala kecil yang mengolah hasil pertanian dan perikanan menjadi produk akhir yang siap dijual di supermarket (Kamaruddin, 2007).

Komoditas hasil pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan tersebut pada kenyataannya memiliki ragam karakteristik baik bentuk, ukuran dan sifat reologi bahan. Pemahaman terhadap sifat bahan tersebut selanjutnya diimplementasikan dalam bentuk desain sistem pengeringan dan wadah bahan. Sistem pengeringan akan mengintegrasikan faktor fisik dalam bentuk ketersediaan sumber energi yang dibutuhkan dan yang mampu disediakan oleh

lingkungan secara kontinyu dan ekonomis. Sedangkan wadah bahan akan mengintegrasikan bentuk, ukuran dan sifat reologi yang mendukung proses pengeringan bahan secara optimal dalam sistem pengeringan yang didesain.

Sistem pengeringan kemudian diwujudkan dalam kegiatan ini untuk melangsungkan proses pengeringan komoditas yang berbeda-beda karakteristiknya. Pengeringan dengan model rak akan disesuaikan dengan karakteristik komoditas yang akan dikeringkan. Pada kegiatan ini juga dilakukan instalasi sistem pembangkit panas berupa tungku biomassa dan penukar panas (*heat exchanger*) terintegrasi yang merupakan hasil desain kegiatan sebelumnya (Tahir, 2013). Pengujian sistem pengeringan selanjutnya ditujukan untuk memperoleh gambaran performansi sistem secara utuh dalam mengeringkan berbagai komoditas hasil pertanian yang dalam pengujian tahap awal ini menggunakan kopra.

METODE PENELITIAN

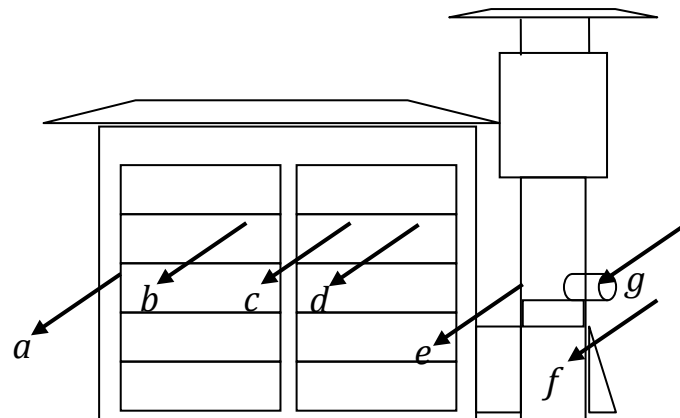
Metode yang digunakan dalam kegiatan ini adalah metode desain, instalasi dan konstruksi, metode uji fungsional serta metode uji performansi sistem pengeringan. Pada metode desain dilakukan perukaan unit yang belum tersedia menjadi suatu wujud yang dapat diintegrasikan ke unit pembangkit panas yang telah ada. Unit yang dimaksud meliputi bangunan pengering transparan, wadah pengeringan bahan model rak yang dapat bergerak dan berpindah.

Metode instalasi dan konstruksi serta uji fungsional mencakup seni pemasangan dan akurasi agar semua unit dapat berfungsi sebagai sebuah sistem pengeringan. Akurasi instalasi akan menentukan faktor kebocoran panas dan ketepatan pergerakan wadah bahan yang fleksibel serta aliran udara yang tepat mengenai bahan yang dikeringkan. Metode uji fungsional dilakukan pada kondisi tanpa beban pengeringan agar setiap mekanisme sistem yang didesain berjalan lancar. Kepastian tidak adanya kemacetan pada saat pengeringan

dengan komoditas sangat penting agar tidak menimbulkan bahan yang tersedia tidak terproses dengan semestinya.

Metode uji performansi sistem dilakukan dengan beban pengeringan dan perangkat instrumen untuk pengumpulan data. Pengukuran parameter meliputi iradiasi surya, suhu, kelembaban udara, kadar air bahan dan laju aliran udara.

Denah titik pengukuran pada sistem pengeringan kopra dapat digambarkan pada skema berikut ini.



Keterangan:

- a. Udara lingkungan
- b. Udara depan (dekat pintu dan menjauh dari sumber panas)
- c. Bahan (kopra yang dikeringkan)
- d. Udara tengah ruangan
- e. Udara hembusan kuat (dekat sumber panas)
- f. Tungku pembakaran
- g. Asap buangan

Gambar 1. Denah titik pengukuran temperatur udara

Metode analisis dan induksi meliputi perhitungan iradiasi surya, listrik, biomassa, laju pengeringan bahan, energi total pengeringan, energi total sistem, energi berguna dan efisiensi penggunaan energi.

- a. Energi Surya, kJ

$$Q_s = 3.6I_h A_p (\sigma\alpha)t \dots\dots\dots (1)$$

b. Energi Listrik, kJ

$$Q_L = 3.6.V.i.t \dots\dots\dots (2)$$

c. Energi Biomassa (tongkol jagung dan tempurung kelapa), kJ

$$Q_B = mb.Nkb \dots\dots\dots (3)$$

d. Laju pengeringan bahan, %basis basah/jam

$$\frac{dW}{dt} = \frac{W_i - W_t}{\Delta t} \dots\dots\dots (4)$$

e. Energi Total Pengeringan, kJ

$$Q_{TP} = \frac{q_u}{v} (h_3 - h_1) \times 3600t \dots\dots\dots (5)$$

f. Energi Total Sistem, kJ

$$Q_{TS} = Q_B + Q_S + Q_L \dots\dots\dots (6)$$

g. Energi Berguna, kJ

1. Panas yang diterima udara pengering

$$Q_{Ud} = \frac{q_u}{v_u} C_{pu} (T_r - T_l) \cdot 3600t \dots\dots\dots (7)$$

2. Panas untuk menaikkan suhu bahan

$$Q_{Sp} = m_{Oj} C_{pj} (T_r - T_j) \dots\dots\dots (8)$$

3. Panas untuk menguapkan air bahan

$$Q_{Uap} = Q_{TP} - (Q_{Sp} + Q_{Ud}) \dots\dots\dots (9)$$

4. Panas untuk menaikkan dan menguapkan air bahan

$$Q_{SpUap} = Q_{Sp} + Q_{Uap} \dots\dots\dots (10)$$

h. Efisiensi Penggunaan Energi, %

$$\eta_T = \frac{Q_{TS}}{Q_S + Q_B} \times 100\% \dots\dots\dots (11)$$

i. Komsumsi Energi Spesifik (KES), J/kg

$$KES = \frac{Q_{TS}}{m_{uap}} \dots\dots\dots (12)$$

Simbol : I_h = total iradiasi surya harian (Wh/m^2)
 A_p = luas permukaan pengering (m^2)
 $\sigma\alpha$ = transmisivitas dan absorpsivitas dinding transparan
 $t, \Delta t$ = lama waktu proses (jam)
 V = tegangan terpakai alat (Volt)
 i = arus rata-rata nominal alat (Amp)
 m_b = massa tongkol jagung yang digunakan selama pengeringan (kg)
 N_{kb} = nilai kalor bahan (kJ/kg)
 W_i = kadar air awal (%basis basah)
 W_t = kadar air akhir (%basis basah)
 q_u = debit udara (m/detik)
 v = volume jenis udara (m^3/kg)
 h_3 = entalpi akhir (kJ/kg)
 h_1 = entalpi awal (kJ/kg)
 C_{pu} = panas jenis udara (kJ/kg $^{\circ}C$)
 T_r = suhu udara ruang pengering ($^{\circ}C$)
 T_l = suhu udara lingkungan ($^{\circ}C$)
 T_j = suhu bahan ($^{\circ}C$)
 C_{pj} = panas jenis bahan (kJ/kg $^{\circ}C$)
 M_{oj} = massa awal bahan (kg)
 M_{uap} = massa air yang diuapkan selama pengeringan (kg).

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL DESAIN

Struktur Pengering Efek Rumah Kaca (ERK)

Sistem pengeringan yang didesain pada kegiatan ini adalah pengering efek rumah kaca. Pengering ERK dikonstruksi dari besi kotak, besi siku dengan dinding dari bahan polikarbonat, plat seng dan pengencang mur baut serta paku keling (*rivet*). Dimensi tinggi struktur bangunan pengering ERK sebesar 2,2 meter, panjang dan lebar sebesar 2,1 meter. Pintu pada bagian muka dengan landasan rel tempat rak keluar masuk ruang pengeringan. Pada bagian belakang dilengkapi pengarah udara panas pengering yang terbuat dari seng plat. Udara panas ini berasal dari sistem pembangkit panas tungku biomassa dan penukar panas (*heat exchanger*).



Gambar 2. Instalasi unit sistem pengeringan

Struktur Rak Pengeringan (Model Rak)

Kerangka rak pengeringan yang di desain sebanyak 2 buah dan memiliki ukuran yang sesuai dengan ukuran ruang pengering ERK. Kerangka rak dikonstruksi dari besi UMP dan besi siku serta roda besi. Sedangkan rak bahan terbuat dari besi kotak dengan kawat rang. Dimensi panjang sebuah kerangka rak berukuran 2 meter, lebar 94 cm dan tinggi 2 meter. Sedangkan satu buah rak berukuran panjang 92 cm dan lebar 60 cm. Model penngeringan rak ini ditujukan untuk bahan atau hasil pertanian dan perikanan yang berbentuk lempeng dan

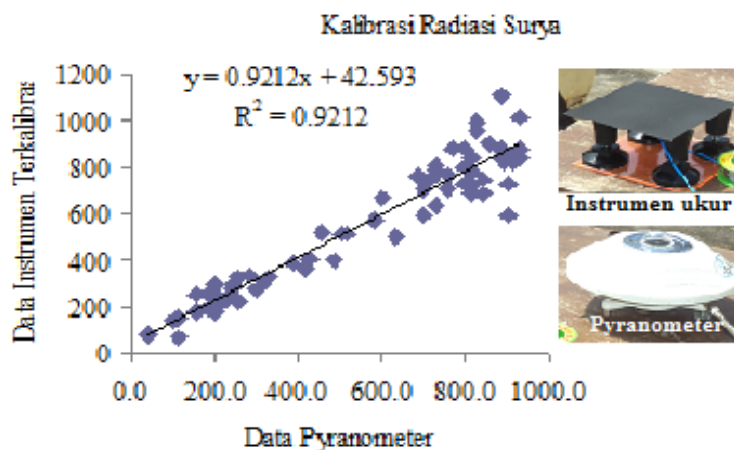
untaian. Contoh bahan yang dikeringkan dengan model rak adalah daging kelapa, irisan buah pisang, irisan ubi jalar dan ubi kayu, irisan ikan dan rumput laut.



Gambar 3. Struktur kerangka dan rak pengeringan bahan

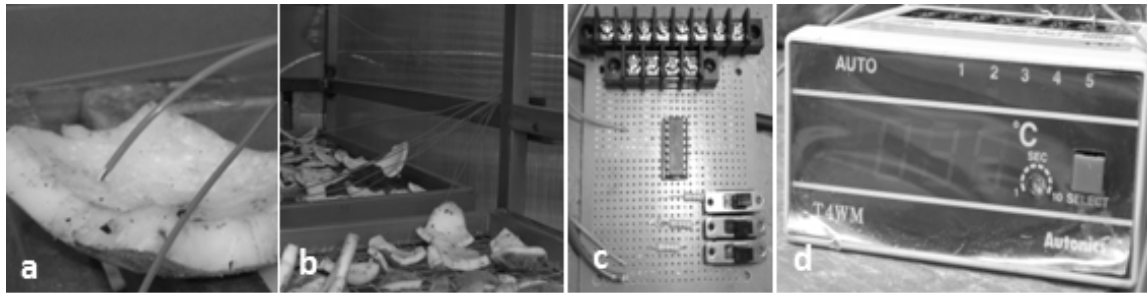
Instrumen Ukur Radiasi Surya dan Suhu Udara

Desain instrumen pengukur radiasi surya menggunakan model plat penyerap panas menghasilkan model regresi linier dengan nilai R^2 sebesar 0,921. Model ini menunjukkan hubungan antara besaran iradiasi surya harian yang terukur dengan suhu lingkungan dan suhu plat penyerap panas tersebut. Penggunaan desain model ini adalah untuk mengatasi keterbatasan prosedur izin penggunaan alat ukur pyranometer pada lokasi pengujian yang relatif terpencil. Model persamaan iradiasi surya yang dihasilkan adalah $18,09T_p + 20,09(T_p - T_{lingk}) - 555,452$. Gambar berikut menunjukkan proses kalibrasi antara alat ukur pyranometer dengan desain instrumen yang dihasilkan.



Gambar 4. Grafik kalibrasi instrumen ukur radiasi surya

Sedangkan desain alat ukur suhu udara berbasis termokopel dilakukan untuk memperoleh rekaman suhu secara digital dan *multichannel* untuk 5 titik pengukuran bersifat tertutup (lokasi sulit tercapai secara manual) dan pada pengukuran titik tengah bahan (daging kelapa). Sistem *display*nya menggunakan *Authonic* dengan perantara multiflekser untuk pengukuran lebih dari 5 titik.



Gambar 5. Pengukuran basis termokopel (a,b), multiflekser (c), dan *authonic display* (d)

Instalasi dan Pengujian Sistem Pengeringan

Instalasi sistem pengeringan meliputi unit pembangkit panas terdiri atas penukar panas, tungku biomassa dan penampung bahan bakar, unit pengering efek rumah kaca, unit rak dengan landasan rel. Instalasi ini mengintegrasikan semua unit desain mulai dari unit penampung bahan bakar, tungku biomassa, penukar panas (*heat exchanger*), ruang pengering efek rumah kaca dan model pengeringan rak. Semua unit terintegrasi membentuk sistem pengering serbaguna yang akan berfungsi sesuai dengan komoditas yang akan dikeringkan. Setelah pengerjaan kerangka seluruh unit pengeringan selesai, dilanjutkan dengan pemasangan dinding polikarbonat sehingga terbentuk sistem pengeringan yang siap diuji.



Gambar 6. Sistem pengeringan siap uji (a), Model rak dalam pengering (b).

PEMBAHASAN

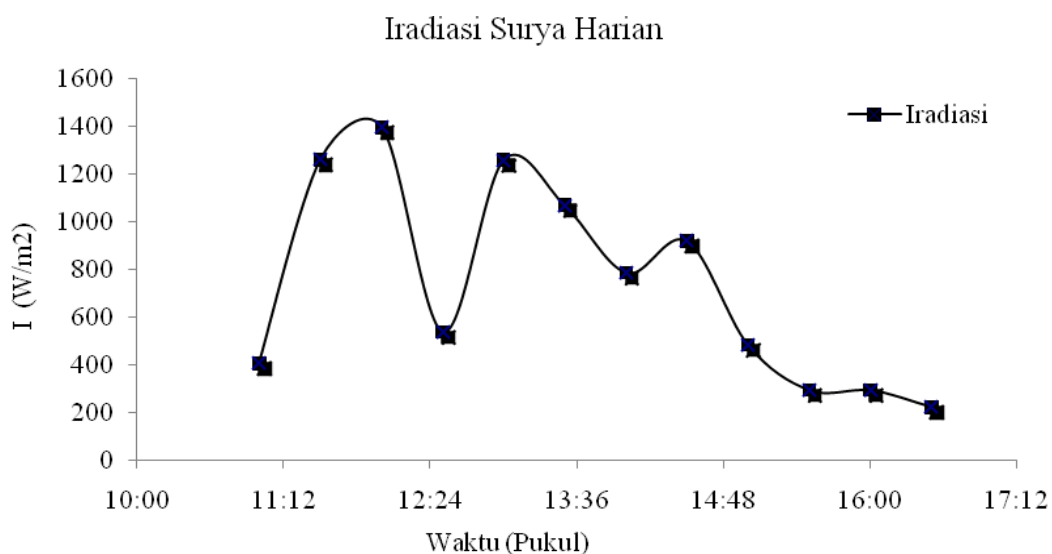
Kegiatan desain menghasilkan sistem pengeringan yang terdiri atas bangunan pengering transparan, model pengeringan rak yang dapat bergerak di atas landasan rel dengan kapasitas hingga 750 kg, sistem instrumentasi *multichannel* dengan termokopel, sensor SHT75 dan termometer alkohol serta instalasi terintegrasinya dengan sistem pembangkit panas tungku dan penukar panas.

Uji fungsi terhadap masing-masing unit pengering menunjukkan fungsional yang baik untuk melangsungkan proses pengeringan komoditas yang dicobakan yakni kopra. Pemilihan komoditas kopra mengingat bahan bakunya yang melimpah untuk dijadikan kopra kering dan produk sampingannya berupa sabuk dan tempurung kelapa sekaligus akan dijadikan bahan bakar jenis terbarukan. Komoditas ini juga memiliki karakteristik yang dapat diuji pada model pengeringan rak. Pengeringan model rak dilakukan dengan mengatur ketebalan secara terbatas mengikuti pola lapisan tipis pada luasan sekitar 4 m² dengan 5 tingkat susunan rak. Proses pemuatan dan pembongkaran bahan yang dikeringkan dilakukan diluar ruang pengering dengan cara menarik dan mendorong rak pengeringan tersebut di atas landasan rel. Desain ini dilakukan untuk menciptakan suasana yang nyaman bagi operator dari kegerahan pada saat ruangan sudah memiliki suhu udara yang panas.

Pemilihan pengeringan jenis bangunan berdinding transparan dengan mekanisme efek rumah kaca adalah untuk tetap mengakomodasi pengeringan alamiah yang memanfaatkan panas radiasi surya harian yang melimpah di negara tropis seperti Indonesia. Keunggulan sistem ini dari jenis pengeringan konvensional adalah pemanfaatan luasan lahan yang relatif sempit dan terhindar dari gangguan alam seperti hujan mendadak dan serangan burung. Selain itu dengan model ini terbentuk selisih suhu secara alamiah antara ruang pengeringan dengan lingkungan berkisar 2 - 4 °C. Instalasi sistem pengeringan secara terpadu dengan unit pembangkit panas tungku biomassa dan penukar panas merupakan upaya mengatasi kendala

alam seperti mendung dan hujan bahkan pengeringan tetap dapat dilangsungkan pada malam hari.

Pengamatan terhadap iradiasi surya dengan interval 30 menit pada hari pengujian dengan cuaca cerah dan suhu udara lingkungan rata-rata 33 °C diperoleh nilai sebesar 743 W/m². Iradiasi surya kumulatif harian dalam pengujian ini sebesar 4618 Wh/m² atau 4,6 kWh/m². Sebagai bahan pertimbangan besarnya iradiasi surya kumulatif per hari di Indonesia adalah 4,5 kWh/m² untuk kawasan barat Indonesia dan 5,1 kWh/m² untuk kawasan timur Indonesia (Energi dan Sumber Daya Mineral, 2013). Dengan rata-rata luas penampang alat pengering yang menerima radiasi surya 17,64 m² maka energi surya yang bermanfaat bagi pengeringan diperoleh sebesar 25,488 kW. Besaran nilai ini dipengaruhi oleh sifat daya tembus panas dinding polikarbonat merek solarlite dengan nilai 48,29% (*Solarlite Table Diagram, 2013*) dan sifat memantul bahan sekitar 3%.



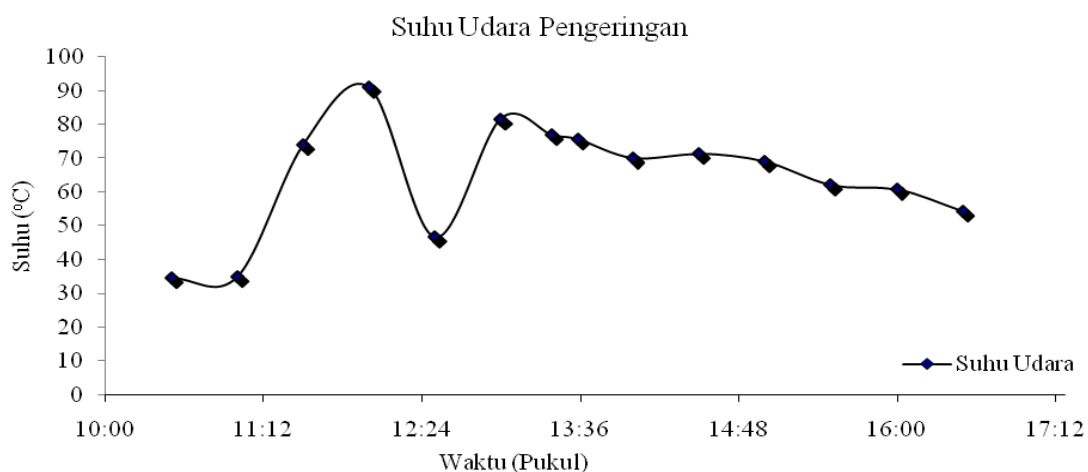
Gambar 7. Grafik iradiasi surya harian saat pengujian

Penggunaan energi surya, biomassa (berupa tongkol jagung dan tempurung kelapa) dan listrik sebagai input pada proses pengujian sistem pengeringan dengan komoditas kopra memiliki perbandingan masing-masing 14%, 70% dan 16%.

Tabel 1. Jenis, nilai dan persentase konsumsi energi

Jenis Energi	Nilai Konsumsi (kJ)	Nilai Konsumsi (kW)	Persentase (%)
Surya	596.428	25,488	13,9
Biomassa	1.140.500	129,105	70,4
Listrik	596.428	28,702	15,7
Total	2.333.356	183,295	100

Dari suhu udara lingkungan rata-rata sebesar 33 °C, suhu udara pengering rata-rata yang terhembus adalah 70 °C dan suhu rata-rata udara ruang pengeringan sebesar 65 °C, suhu panas bahan yang terekam melalui termokopel besarnya adalah 63 °C. Suhu bahan ini menunjukkan panas pada titik tengah yang secara logis dapat dijelaskan bahwa kadar air bahan dan sifat material bahan memiliki sifat mendinginkan dan adanya sifat tahanan tertembus panas. Dengan demikian terbentuk slop penurunan suhu dari udara pengering ke ruangan pengering hingga ke lapisan dalam daging kelapa (kopra). Sebaran suhu yang terbentuk di dalam ruang pengering adalah suhu udara terhembus 70 °C, suhu udara pada titik dekat sumber panas (belakang) 66,9 °C, suhu udara pada titik tengah ruangan 65 °C, dan suhu udara pada titik terjauh (depan) 62 °C.



Gambar 8. Grafik suhu pengujian sistem pengeringan

Perubahan kadar air bahan yang dikeringkan dari berat awal kopra 250 kg dengan kadar air 42,65 %basis basah hingga kadar air akhir rata-rata sebesar 18,41 %basis basah dalam waktu 6 jam 30 menit. Berat akhir kopra yang telah dikeringkan seberat 175,73 kg

dengan berat kandungan air yang diuapkan adalah 74,27 kg. Adapun kisaran kadar air pada beberapa titik dalam ruang pengeringan adalah 17,88 – 18,59 %basis basah. Sedangkan laju rata-rata pengeringan sebagai bentuk sifat bahan dalam proses pengeringan diperoleh sebesar 39,8 %bb/jam. Pengeringan lebih lanjut dilakukan dengan cara alami dengan meletakkan kopra tersebut tetap di dalam rak pada ruangan pengeringan. Kadar air akhir rata-rata setelah 1-2 hari pengeringan diperoleh sebesar 6,4 %basis basah.

Perhitungan energi total pengeringan menghasilkan nilai sebesar 395.141 kJ. Energi berguna berupa panas yang diterima udara pengering diperoleh sebesar 381.230 kJ, panas untuk menaikkan suhu bahan sebesar 940 kJ dan panas untuk menguapkan air bahan sebesar 13.911 kJ. Efisiensi termal sistem pengering diperoleh sebesar 22%. Sedangkan konsumsi energi spesifik (KES) sebagai jumlah energi yang diterima dibandingkan dengan satu satuan massa air yang diuapkan adalah sebesar 31.417 kJ/kg.

Beberapa literatur yang mengkaji aspek efisiensi peralatan pengering dalam kaitannya dengan bahan antara lain dilaporkan oleh Anderson (2006) yang mengembangkan dan mengevaluasi alat pengering kopra jenis *tray dryer* dengan nilai 19,33%. Dengan rata-rata suhu udara pengering 65 °C berbahan bakar minyak tanah, kopra dari kadar air awal 53,18% hingga 6,84% dengan kapasitas 30 kg ditempuh dalam waktu 14 jam. Triyono dkk. (2008) menguji rancangan alat pengering kopra berbahan bakar biomassa (kayu dan tempurung kelapa) dengan kapasitas sekitar 160 kg dengan nilai efisiensi penggunaan energi 6,51% dalam waktu 16 – 18 jam per perioda. Sedangkan perbandingan konsumsi energi pada sistem pengering efek rumah kaca-hibrid dan *in-store dryer (ISD)* terintegrasi untuk jagung pipilan yang diuji oleh Nelwan dkk. (2008) adalah 10,4%, 72,8% dan 16,4% untuk jenis energi surya, biomassa dan listrik dengan nilai KES 5,96 dan 7,96 MJ/kg uap air. Hal ini berarti dengan komposisi konsumsi energi yang relatif sama, sistem pengeringan yang diuji masih tinggi atau masih boros penggunaan energinya.

Perbandingan untuk pengeringan dengan energi surya murni melalui sistem pengumpul radiasi surya untuk pengeringan tandan kosong sawit buangan pengolahan minyak sawit oleh Sulaiman et al., 2013 adalah sekitar 66 jam tanpa henti (9 hari) dengan radiasi rata-rata berkisar $293 - 733 \text{ W/m}^2$ untuk menurunkan kadar air dari 79 - 4,18 % basis basah.

KESIMPULAN

Beberapa aspek penting yang menjadi kesimpulan dalam kegiatan ini adalah sistem pengeringan yang didesain antara lain model rak dengan kapasitas dapat mencapai 750 kg kopra basah. Pengujian yang dilakukan pada model rak dengan berat awal bahan sebesar 250 kg menjadi berat akhir 175,73 kg dengan 74,27 kg uap air. Pengujian dengan suhu udara pengeringan rata-rata $65 \text{ }^\circ\text{C}$ menurunkan kadar air dari 42,65 - 18,41 % basis basah dalam waktu 6 jam 30 menit. Pengeringan lanjutan secara alamiah untuk mencapai kadar air akhir yang dipersyaratkan untuk kopra sebesar 6,4 % basis basah memerlukan waktu sekitar 1-2 hari. Sebaran suhu antar titik pengukuran memiliki perbedaan rata-rata sebesar $2,5 \text{ }^\circ\text{C}$ dengan beda kadar air rata-rata antar titik yang sama sebesar 0,4% basis basah.

Konsumsi energi surya, biomassa dan listrik memiliki perbandingan 14%, 70% dan 16% dengan laju pembakaran 3,8 kg/jam dan rata-rata iradiasi surya 743 W/m^2 serta nilai efisiensi termal sistem pengering sebesar 22%. Sedangkan konsumsi energi spesifik (KES) sebagai jumlah energi yang diterima dibandingkan dengan satu satuan massa air yang diuapkan adalah sebesar 31.417 kJ/kg. Energi total pengeringan sebesar 395.141 kJ dengan energi berguna sebesar 381.230 kJ. Sedangkan energi untuk memanaskan bahan sebesar 940 kJ dan untuk menguapkan air bahan sebesar 13.911 kJ.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Direktur DP2M DIKTI atas dana hibah yang diberikan dalam kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, S. (2006). Pengembangan dan evaluasi teknis alat pengering kopra jenis tray dryer. *Jurnal Teknik Mesin* **3**:61-70.
- Energi dan Sumber Daya Mineral (2013). Pemanfaatan Energi Surya di Indonesia. <http://www.esdm.go.id/berita/56-artikel/3347-pemanfaatan-energi-surya-di-indonesia.html>. [17 Oktober 2013].
- Kamaruddin, A. (2007). *Teknologi berbasis sumber energi terbarukan untuk pertanian*. IPB Press, Bogor.
- Nelwan, L.O. (1997). *Pengeringan Kakao dengan Energi Surya Menggunakan Rak Pengering dengan Kolektor Tipe Efek Rumah Kaca*. Thesis. Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Nelwan, L. O., Wulandani D., Widodo T. W., dan Paramawati R. (2008). Konsumsi energi dan biaya pokok pengeringan sistem pengering efek rumah kaca dan in-store dryer (ISD) terintegrasi untuk jagung pipilan. Prosiding *Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 – Yogyakarta*, 18-19 November 2008.
- Sulaiman, F., Abdullah, N., dan Aliasak, Z. (2013). Solar Drying System for Drying Empty Fruit Bunches. *Journal of Physical Science* **24**(1):75–93
- Solarlite Table Diagram (2013). Polycarbonate Solarlite. [http://www. Ciptaprima-perkasa.com/produk-234-polycarbonate-solarlite.html](http://www.Ciptaprima-perkasa.com/produk-234-polycarbonate-solarlite.html). [26 September 2013].
- Tahir, M., Subrata, I.D.M., dan Purwanto Y.A. (2010). Desain kendali laju aliran udara dan sistem pengumpan bahan-bakar biomassa berbasis fuzzy pada pengering ERK-Hybrid. *Jurnal Enjiniring Pertanian* **VIII**(2):95-104.
- Tahir, M., Bait, Y., dan Kasim, R. (2013). Uji performansi desain terintegrasi tungku biomassa dan penukar panas. *Agritech* **33**(2):219 – 225.
- Triyono, S., Haryanto, A., dan Haryati, R.S. (2008). Rancang bangun dan uji kinerja alat pengering kopra tipe rak berbahan bakar biomassa. Prosiding *Seminar Nasional Teknik Pertanian 2008 – Yogyakarta*, 18-19 November 2008.