

**LAPORAN AKHIR
IPTEKS BAGI MASYARAKAT (IbM)**



**IbM Peningkatan Produktifitas Kakao Melalui
Rancang Bangun Tungku
Biomassa Hemat Bahan Bakar**

Oleh :

**Ketua Tim/Anggota Tim Pengusul
Mohammad Badaruddin, Ph.D/0011127202
A. Yudi Eka Risano, ST., M.Eng /0215077601
Ahmad Suudi, M.T/0016087403**

**UNIVERSITAS LAMPUNG
November 2016**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : IbM Peningkatan Produktifitas Kakao Melalui Rancang Bangun Tungku Biomassa Hemat Bahan Bakar

Peneliti/Pelaksana

Nama Lengkap : MOHAMMAD BADARUDDIN P.hD.
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung
NIDN : 0011127202
Jabatan Fungsional : Lektor
Program Studi : Teknik Mesin
Nomor HP : 081333122411
Alamat surel (e-mail) : mbruddin@eng.unila.ac.id

Anggota (1)

Nama Lengkap : A YUDI EKA RISANO M.Eng.
NIDN : 0215077601
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung

Anggota (2)

Nama Lengkap : AHMAD SUUDI S.T., M.T.
NIDN : 0016087403
Perguruan Tinggi : Universitas Lampung
Institusi Mitra (jika ada) :
Nama Institusi Mitra : Wawan Ariyadi
Alamat : Desa Kebagusan, Gedong Tataan, Pesawaran, Lampung
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 1 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 48.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp 48.000.000,00

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik



(Prof. Dr. Suharno, M.Sc)
NIP/NIK 19750928 200112 1002



Bandar Lampung, 14 - 11 - 2016
Ketua,

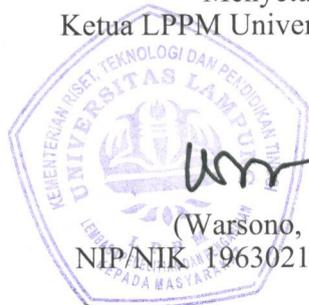


(MOHAMMAD BADARUDDIN P.hD.)
NIP/NIK 197212111998031002

Menyetujui,
Ketua LPPM Universitas Lampung



(Warsono, Ph.D)
NIP/NIK 196302161987031003



RINGKASAN

Sekitar 820 KK penduduk desa Wiyono kab. Pesawaran terdiri dari dusun Waylinti 450 KK dan 370 KK dusun Waylayap sebagian besar memiliki lahan dengan pohon kakao 20 batang. Secara keseluruhan Kabupaten Pesawaran memiliki potensi unggulan di bidang Perkebunan Tanaman Kakao dengan luas 9,023 Ha, yang memberikan hasil kakao sejumlah 2,969 Ton per tahun. Sejumlah petani kakao di desa Wiyono, mengembangkan sistem pengeringan dengan menggunakan tungku pengering bahan bakar kayu, untuk meningkatkan produksi kakao dari hasil perkebunan mereka. Harga jual biji kakao dengan kadar air sekitar 10-12% adalah Rp, 20,000/kg. Namun apabila kadar air biji kakao sekitar 7-8%, harga jualnya lebih tinggi sekitar Rp. 3,000-5,000/kg. Pengeringan melalui tungku buatan sendiri lebih menguntungkan daripada pengeringan melalui penjemuran matahari, biji kakao lebih tahan terhadap pembusukan dan tidak tergantung oleh cuaca. Alat pengering kakao para petani rata-rata menghabiskan kayu bakar sekitar 100 kg untuk menghasilkan berat kotor biji kakao 0.3 ton dalam setiap kali proses pengeringan selama 25-36 jam/minggu.

Hasil pengujian unjuk kerja tungku konvensional menunjukkan bahwa desain sistem pembakaran dan transfer panas ke ruang pemanasan (oven) belum optimal karena banyak panas yang keluar melalui ruang pembakaran. Usia pakai drum baja hanya bertahan 1–1.5 tahun karena mengalami kebocoran/kerusakan akibat korosi temperatur tinggi. Selain itu juga desain ruang pemanasan (oven) yang tidak tepat dalam pemilihan bahan isolator panas, menyebabkan panas dalam ruangan diserap oleh material pada dinding ruangan, sehingga temperatur ruangan yang diinginkan berkisar antara 70–80 °C tidak tercapai. Sebuah tungku pengering kakao baru dirancang dan dibangun untuk kapasitas pengeringan kakao 0.5 ton/hari dilengkapi dengan ruang bakar dan penampungan abu. Efisiensi termal tungku pengering modifikasi meningkatkan sebesar 23.78% dibanding tungku lama. Penurunan emisi gas buang CO₂ sebesar 2.94 ton pertahun. Sedangkan biaya modal pengembalian pembuatan tungku modifikasi diperoleh setelah 3.5 tahun pemakaian tungku dengan usia pakai tungku selama 10 tahun.

Kata-kata kunci: tungku pengering kakao, bahan bakar biomassa, ceramic paper isolator, bata api SK 32, efisiensi termal, emisi gas CO₂.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil alamin penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan ridho-NYA penulis dapat menyelesaikan program PkM IbM 2016, yang dibiayai oleh Kemenristekdikti dengan biaya sebesar 48.000,000,00. PkM ini berjudul: **IbM Peningkatan Produktifitas Kakao Melalui Rancang Bangun Tungku Biomassa Hemat Bahan Bakar.** Pada program PkM ini, penulis bersyukur dapat menyelesaikan tepat waktu dengan capaian 100% telah diperoleh. Telah banyak hal diperoleh dalam program PkM ini.

Hasil yang sudah diperoleh dari program PkM ini adalah rancang bangun tungku modifikasi dengan kapasitas pengeringan 0.5 ton dengan efisiensi termal meningkat sebesar 23.78%, dan penurunan laju emisi gas CO₂ 2.94 ton pertahun. Biaya pengembalian modal tungku selama 3.5 tahun dengan usia pakai tungku 10 tahun. Satu artikel ilmiah yang akan dipublikasi pada Jurnal Nasional Terakreditasi.

Keberhasilan program PkM ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari semua pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada Ketua Lembaga Penelitian Universitas Lampung, Bapak Warsono, Ph.D yang telah banyak membantu mulai pengajuan proposal sampai realisasi pelaksanaan PkM ini. Penulis juga tak lupa mengucapkan terima kasih kepada semua staff karyawan di LPPM UNILA yang telah membantu dalam urusan administrasi. Kepada Bapak Ahmad Suudi, M.T dan Bapak Yudi Eka Risano, M.Eng, penulis merasa bangga menjadi rekan dalam PkM ini. Kepada rekan-rekan mahasiswa yang membantu semua pelaksanaan pekerjaan PkM IbM ini, yaitu: Purnadi, Aldi, dan Cristian penulis mengucapkan terima kasih banyak atas semua bantuan tenaga dan pikiran yang telah kalian lakukan untuk keberhasilan program PkM IbM tahun 2016 di Desa Wiyono-Kab. Pesawaran, Prov. Lampung.

Akhir kata, penulis mengucapkan semoga laporan PkM IbM ini dapat dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk meningkatkan produktivitas kakao petani di desa Wiyono, sehingga meningkatkan penghasilan petani kakao dan kesejahteraan hidup petani kakao di desa Wiyono.

Penulis,
Mohammad Badaruddin, Ph.D

DAFTAR ISI

	Hal
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB 1. PENDAHULUAN	2
1.1 Analisis Situasi	2
1.2 Permasalahan Mitra	3
BAB 2. TARGET DAN LUARAN	5
2.1 Target Kegiatan	5
2.2 Luaran	5
BAB 3. METODE PELAKSANAAN	6
3.1 Pemilihan Teknologi Proses Produksi Yang Akan Diimplementasikan	6
3.2 Teknologi Yang Akan Diterapkan/Diperkenalkan	6
3.3 Skala Produksi Yang Akan Dihasilkan	9
3.4 Peran Pendamping atau Instansi Pendukung	9
3.5 Kesesuaian Kegiatan dengan Pengalaman dan Bidang Calon Mitra/Binaan	10
3.6 KIAT dan Mekanisme Kerja Sama	10
3.7 Daya Saing (Competitiveness) Produk	10
3.8 Dampak Sosial Ekonomi Kegiatan	10
BAB 4. KELAYAKAN PERGURUAN TINGGI	12
BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	14
BAB 6. ANALISIS UNJUK KERJA TUNGKU PENERING BIJI KAKAO	17
6.1 Analisis Efisiensi Termal Tungku Pengering Kakao	17
6.2 Analisis Ekonomi	23
6.3. Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca	24
6.4. Analisa Kadar Air Biji Kakao Setelah Proses Pengeringan	24
BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	35

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Perbandingan tungku konvensional dengan tungku modifikasi	16
Tabel 2. Parameter yang diukur untuk analisis unjuk kerja kedua tungku	21
Tabel 3. Analisis energi dan kehilangan panas pada oven pengeringan biji kakao	22
Tabel 4. Nilai difusitas efektif biji kakao dengan pengeringan oven.....	27
Tabel 5. Hasil pengeringan biji kakao kondisi steady state	37
Tabel 6. Hasil pengeringan biji kakao selama kondisi transien	38
Tabel 7. Pengeringan biji kakao dengan matahari selama 3 jam	39

DAFTAR GAMBAR

Gambarl 1. (a) Tungku pengering kakao Bapak Wawan dan (b) Tungku pengering kakao Bapak Sudarmono desa Wiyono Kab. Pesawaran, Prov. Lampung	2
Gambarl 2. Ruang pengeringan kakao yang dibuat oleh petani Kakao dusun Waylinti dan Waylayap	3
Gambarl 3. Skematik proses produksi kakao	7
Gambarl 4. Analisa foto makroskopik kondisi real tungku pengering kakao konvensional	14
Gambarl 5. Desain dan ukuran tungku pengering kakao konvensional	15
Gambarl 6. Desain dan ukuran tungku pengering kakao modifikasi	16
Gambarl 7. Pengaruh temperatur dan waktu pengeringan terhadap kadar air biji kakao kondisi steady state	25
Gambarl 8. Kurva laju pengeringan biji kakao pada variasi temperatur berbeda	26
Gambarl 9. Kurva proses pengeringan biji kakao basah kondisi transien.....	29
Gambarl 10. Foto evolusi biji kakao selama proses pengeringan dalam tungku modifikasi...	30
Gambarl 11. Foto biji kakao yang ditumbuhi jamur setelah proses pengeringan selama 1-9 jam pada $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	30
Gambarl 12. Foto biji kakao sebelum dan setelah pengeringan matahari	31
Gambarl 13. (a-d) Foto-foto proses pembuatan ruang suplai udara panas dan zona pengeringan kakao, dan (e-f) foto-foto proses pembuatan ruang pembakaran kayu dan abu .	35
Gambarl 14. Foto-foto (a) gambar tungku konvensional, (b) tungku modifikasi, (c) rak dan ruang pengering tungku modifikasi, (d) kondisi pengukuran temperatur transien, (e) pengukuran temperatur ruang bakar ($\sim 380\text{ }^{\circ}\text{C}$) pada kondisi transien, dan (f) Kondisi pengukuran temperatur pada ruang udara panas (<i>oven</i>) kondisi steady state	36

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Analisis Situasi

Desa Wiyono dan Desa Kebagusan kecamatan Gedongtatan Kabupaten Pesawaran-Propinsi Lampung terletak 50 m di atas permukaan laut dan masing-masing berjarak sekitar ± 55 km dari Universitas Lampung [**Anonim 1, 2015**]. Untuk menempuh kedua desa tersebut dapat dilakukan dengan kendaraan melalui jalan raya Bandar Lampung-Gedongtatan (berjarak ± 48 km dari Universitas Lampung), kemudian menelusuri jalan desa berjarak ± 7 km dari Gedongtatan. Sekitar 450 KK di dusun Waylinti dan 370 KK di dusun Waylayap, penduduk di dua dusun tersebut sebagian besar memiliki lahan dengan pohon kakao 20 batang [**Anonim 2, 2013**]. Sehingga, secara keseluruhan Kabupaten Pesawaran memiliki potensi unggulan di bidang Perkebunan dengan komoditi unggulan yang sangat potensial yaitu Tanaman Kakao dengan luas 9,023 Ha, yang memberikan hasil perkebunan kakao di Kabupaten Pesawaran sejumlah 2,969 Ton per tahun [**Dirjen Perkebunan, 2014**].

Sejumlah petani kakao di dusun Waylinti dan Waylayap, saat ini mulai mengembangkan sistem pengeringan dengan menggunakan tungku pengering berbahan bakar kayu, hal ini dilakukan karena besarnya permintaan biji kakao untuk ekspor ke Thailand dan Malaysia melalui UD. Lampung yang terletak di Kabupaten Pringsewu-Lampung. Harga jual biji kakao dengan kadar air sekitar 10-12% adalah Rp, 20,000/kg [**Anonim 3, 2015**]. Namun apabila kadar air biji kakao sekitar 7-8%, harga jualnya akan lebih tinggi sekitar Rp. 3,000-5,000/kg. Jadi para petani melakukan pengeringan melalui tungku buatan sendiri dinilai lebih menguntungkan daripada dengan pengeringan biji kakao melalui penjemuran matahari. Disamping itu, biji kakao lebih tahan terhadap pembusukan dan tidak tergantung oleh cuaca. Kalau seandainya cuaca mendung atau hujan, maka kakao yang sudah dijemur sebentar lalu disimpan akan cepat membusuk, dan harga biji kakao dengan kadar air yang tinggi jelas lebih rendah harganya. Seperti dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2, tungku dan oven pengering yang saat ini dikembangkan oleh Bapak Wawan dan Bapak Sudarmono, pengering kakao mereka masih jauh dari sentuhan teknologi dalam pemanfaatan panas dan penghematan bahan bakar kayu. Para petani rata-rata menghabiskan kayu bakar sekitar 1/4 kubik (100 kg) untuk menghasilkan berat kotor biji kakao 75 kg dalam setiap kali proses pengeringan dengan lama pengeringan selama 3 hari/minggu.



Gambar 1. (a) Tungku pengering kakao Bapak Wawan dan (b) Tungku pengering kakao Bapak Sudarmono desa Wiyono Kab. Pesawaran, Prov. Lampung

1.2 Permasalahan Mitra

Permintaan standar kadar air kakao dari UD Lampung di Kab. Pringsewu (sebagai penampung produsen Kakao) adalah sekitar 7-8% dengan harga beli kakao Rp.23,000-25,000.-/kg. Jadi sekitar Rp. 3,000- 5000,-/kg keuntungan yang bisa ditingkatkan oleh produsen kakao dengan menurunkan kadar air kakao dari 10-12 % menjadi 7-8%. Produksi 75 kg kakao dapat dihasilkan dari sekitar 77-78 kg Kakao dalam satu kali proses selama 3 hari dalam ruang pengering konvensional ukuran $1,20 \times 2,40$ m dengan jumlah rak 1 tingkat (Gambar. 2), dan dalam satu kali produksi membutuhkan bahan bakar kayu adalah $\frac{1}{4}$ kubik (~100 kg) bahan bakar kayu@Rp. 200,000.-). Dalam satu minggu hanya satu kali proses, produksi kakao yang mampu dihasilkan adalah sekitar 75 kg kakao. Jadi dalam satu bulan hanya mampu memproduksi kakao sekitar 300 kg dengan menggunakan sistem penghasil panas tradisional dan disain oven sederhana, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Salah satu tahap penanganan pasca panen yang sangat mempengaruhi mutu Kakao adalah proses pengeringan untuk mencapai tingkat kadar air yang diinginkan. Pengeringan merupakan salah satu jalur kritis pada proses penanganan pasca panen hasil pertanian.



Gambar 2. Ruang pengeringan kakao yang dibuat oleh petani Kakao dusun Waylinti dan Waylayap

Pengeringan Kakao selama ini banyak dilakukan oleh petani skala kecil adalah dengan cara menjemur. Pengeringan dengan cara penjemuran menghasilkan Kakao yang banyak ditumbuhi jamur dan kadar air masih sekitar 12%, itupun proses pengeringan matahari tergantung pada keadaan cuaca. Produksi kakao dengan pemanasan paksa (dalam oven) menjadi pilihan utama karena proses produksinya pendek sehingga cepat mendatangkan uang dan banyaknya pembeli/penampung kakao yang datang sampai ke pelosok desa. Disamping itu juga, produksi kakao dapat ditingkatkan meskipun panen kakao bersamaan datangnya musin penghujan.

Disain ruang pembakaran untuk pengering Kakao (sistem heat-transfer drum baja tebal 1.0 mm ukuran diameter 60 cm) (Gambar. 1) yang dibuat oleh Bapak Wawan dan Bapak Sudarmono tahun 2013 telah mengalami tiga kali pergantian ruang pembakaran dari drum bekas, hal ini disebabkan drum baja kropos karena terkorosi. Hasil observasi dan pengujian menunjukkan bahwa desain sistem pembakaran dan transfer panas ke ruang pemanasan (oven) belum optimal karena banyak panas yang keluar melalui ruang pembakaran. Usia pakai drum baja hanya bertahan 1–1.5 tahun karena mengalami kebocoran/kerusakan akibat korosi temperatur tinggi. Selain itu juga desain ruang pemanasan (oven) yang tidak tepat dalam pemilihan bahan isolator panas, menyebabkan panas dalam ruangan diserap oleh material pada dinding ruangan, sehingga temperatur ruangan yang diinginkan berkisar antara 70–80 °C tidak tercapai. Dari hasil pengukuran awal temperatur ruang pemanas Kakao

hanya berkisar ~ 60 °C. Masalah pendistribusian panasnya secara alamiah dari heat transfer drum baja yang menyebabkan diperlukannya tindakan rotasi dan reposisi butir Kakao paling kurang dua kali/proses produksi, sehingga maksimal proses produksi hanya tercapai satu kali dalam satu minggu.

BAB 2. TARGET DAN LUARAN

2.1 Target

Maksud dari kegiatan ini adalah untuk meningkatkan hasil produksi kakao dengan standar kadar air 7-8% dan menjadi produk agroindustri unggulan di propinsi Lampung. Sedangkan tujuan kegiatan ini adalah:

1. Mendukung program pemerintah dalam pengentasan kemiskinan yaitu melalui pemberdayaan MITRA yang telah terbukti memiliki daya tahan yang relatif kuat dalam menghadapi krisis ekonomi yang lalu. Peran penting MITRA itu sendiri dapat ditinjau dari beberapa aspek, yaitu jumlah unit usaha yang terbentuk, penyerapan tenaga kerja, perannya dalam PAD daerah serta pengembangan IPTEK untuk peningkatan produktivitas kerja industri kecil.
2. Meningkatkan produktifitas kakao sesuai Standar Nasional Indonesia Kakao mutu SNI 2323-2008.
3. Meningkatkan produksi melalui pengenalan dan aplikasi teknologi produksi kakao yang memenuhi standar ekspor. Meningkatkan produktifitas dan kualitas produk kakao sehingga dari segi ekonomi dapat memperbesar pangsa pasar dan akhirnya akan dapat meningkatkan pendapatan industri kecil produksi kakao serta dapat memperbesar kesempatan kerja bagi masyarakat sekitarnya
4. Membangun sinergitas *link and match* antara Institusi perguruan tinggi, industri dan pemerintah daerah.

Sasaran kegiatan ini adalah kelompok usaha bersama kakao di dusun Waylinti Desa Wiyono dan dusun Waylayap Desa Kebagusan Kecamatan Gedongtatan Kab. Pesawaran Propinsi Lampung.

2.1 Luaran

Luaran yang diharapkan dari kegiatan ini adalah:

- a. Desain dan rancang bangun tungku biomassa hemat bahan bakar
- b. Meningkatnya produksi biji kakao kualitas air 8-9% para petani di desa Kebagusan dan desa Wiyono, sehingga mampu meningkatkan kesejahteraan masyarakat.
- c. Dapat memberikan informasi perkembangan teknologi terbaru mempercepat pengeringan biji kakao dan tahan serangan jamur.
- d. Meningkatkan pendapatan petani kakao

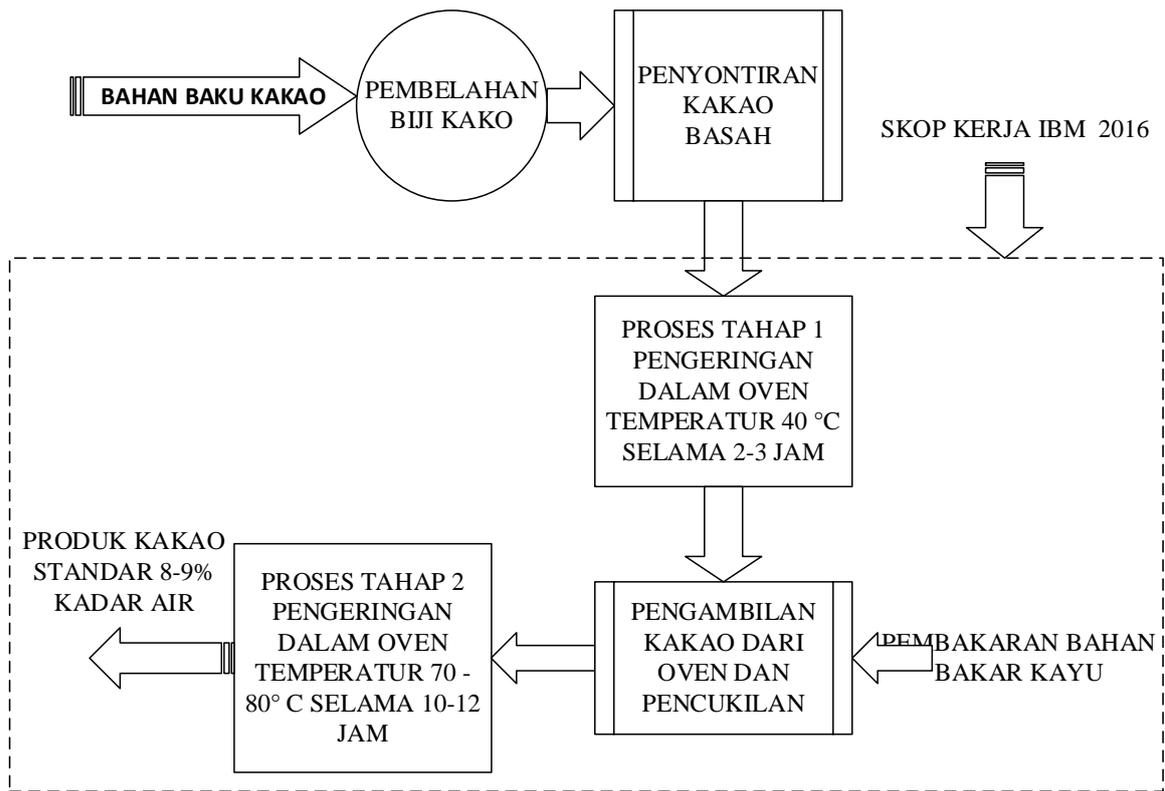
BAB 3. METODE PELAKSANAAN

3.1 Pemilihan Teknologi Proses Produksi Yang Akan Diimplementasikan

Berbagai program pembangunan daerah dari Pemerintah sebagai usaha untuk merangsang dan memacu percepatan pertumbuhan kegiatan social ekonomi masyarakat. Adapun pengembangan teknologi ditempuh melalui pemilihan dan penerapan teknologi tepat guna, penyediaan peralatan, mesin, sarana dan prasarana produksi, penyusunan prosedur operasional standar (SOP), penyediaan perangkat pembukuan usaha, kelengkapan administrasi organisasi. Peran aktif dan inisiatif mitra dalam tahap ini lebih diutamakan sehingga MITRA merasa bahwa kegiatan ini milik mereka sedang peran perguruan tinggi dalam hal ini adalah pendampingan.

3.2 Teknologi Yang Akan Diterapkan/Diperkenalkan

Teknik pengolahan Kakao ada empat macam, yaitu pengeringan dengan sinar matahari (sun drying); pengeringan dengan pengarangan atau pengasapan di atas api (smoke curing or drying); pengeringan dengan pemanasan tidak langsung (indirect drying); pengeringan menggunakan *solar system* (tenaga panas matahari). Namun teknologi yang lebih murah dan efisien adalah sistem *indirect drying*. Teknologi yang akan dikembangkan pada kelompok usaha bersama kakao adalah meliputi teknologi desain ruang bakar dan ruang pemanasan Kakao (oven), perbaikan sistem ruang bakar yang hemat bahan bakar kayu dalam setiap produksi dan ruang pemanasan Kakao yang kedap panas dan higienis dengan menggunakan bahan stainless steel. Desain ruang bakar hemat bahan bakar dengan menggunakan dinding bata tahan api telah terbukti dapat menurunkan konsumsi bahan bakar kayu sampai 30% dan memperpendek waktu pembuatan gula merah dari 6 jam menjadi 4 jam, di Desa Purworejo, Kecamatan Negerikaton Kab. Pesawaran [**Herry Wardono dkk, 2013 dan Herry Wardono dkk, 2014**].



Gambar 3. Skematik proses produksi kakao

Penjelasan tahapan proses seperti ditampilkan pada Gambar 3 adalah:

1. Pengeringan Kakao Tahap 1

Pembuatan Kakao menjadi sangat menentukan dalam menentukan kualitas Kakao, karena kualitas hasil Kakao akan berpengaruh terhadap harga, maka pengetahuan cara atau teknik pembuatan Kakao, mutlak diperhatikan oleh para petani pembuat Kakao. Biji kakao yang basah dihampar diatas wadah berukuran 1.2×2.4 m dalam ruang oven pada temperatur ruangan $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 2–3 jam, kemudian Kakao dikeluarkan lagi untuk diambil lagi dalam kondisi setengah kering.

2. Pengeringan Kakao Tahap 2

Meskipun proses pengolahan Kakao hanya pengeringan, namun ternyata ada beberapa cara pengeringan Kakao, yang nantinya dapat berpengaruh terhadap hasil Kakao. Teknik pengeringan yang akan diperkenalkan pada kelompok usaha bersama “kakao sonia” dapat dilihat pada Gambar 4. Ruang pengeringan/pemanasan (oven) dengan ukuran 1.2×2.4 m dilengkapi dengan rak-rak dari pipa baja tahan karat (stainless steel) yang langsung dialiri udara panas berasal dari tungku (ruang pembakaran) dengan jumlah rak 6 tingkat. Dinding-dinding ruangan pengering terbuat dari stainless steel yang diisolator dengan keramik wool kemudian ditutup dengan kayu

lapis tebal 5 mm. Di dalam oven pengering, setiap rak dapat diisi 12 tatakan Kakao dengan ukuran $40 \times 90 \times 15$ cm terbuat dari bahan kawat jala stainless steel.

Kakao yang sudah dicungkil (proses 1) kemudian diletakan kembali di atas tatakan dan langsung dimasukan kembali ke dalam oven. Udara panas yang berasal dari pipa-pipa heat exchanger (penukar kalor) akan keluar dengan temperatur 70–80 °C. Besarnya pengaturan temperatur ini dilakukan melalui 4 unit sensor temperatur oleh termokopel. Sensor temperatur ini akan bekerja bila temperatur ruangan oven lebih dari 80 °C dan siklon exhaust fan akan bekerja. Sedangkan pengaturan aliran panas yang berasal dari ruang pembakaran (tungku) akan diatur dengan termokopel yang dilapisi keramik anti oksidasi temperatur tinggi. Panas dihasilkan dari pembakaran kayu (biomassa) yang menghasilkan asap dan panas, kemudian dialirkan oleh blower melalui pipa baja yang dilapisi keramik wool menuju ruangan oven pengering Kakao (lihat Gambar 4).

Salah satu cara yang efisien untuk memproduksi kakao adalah dengan pengovenan Kakao dan banyak keuntungan yang diperoleh dengan cara pengovenan, antara lain :

1. Waktu pembuatan Kakao lebih cepat dibanding dengan cara pangasapan dan penjemuran. Waktu yang dibutuhkan saat pengovenan adalah 10–12 jam.
2. Kualitas Kakao lebih bersih, tidak berjamur sehingga layak disebut sebagai kakao.
3. Kakao yang dihasilkan mempunyai sekitar 8-9% kadar air.
4. Harga kakao lebih tinggi dibanding dengan kakao dari hasil pengovenan tradisional dan manual.
5. Tidak bergantung dengan cuaca, apakah hujan atau kemarau tetap bisa berproduksi.
6. Memperoleh kualitas batok dari hasil oven jauh lebih baik dengan pengovenan tradisional.

Adanya oven pengering banyak memberikan efek ganda, yang paling terasa adalah pada musim penghujan. Biasanya harga Kakao pada musim tersebut melonjak tajam, hal ini disebabkan karena proses produksi kakao susah, jumlah Kakao lebih sedikit dan seterusnya, nah dengan adanya penerapan teknologi ruang pembakaran dan ruang pengeringan (oven) Kakao, proses produksi tidak terkendala, jalan terus. Sehingga petani dapat memungut keuntungan yang berlipat. Proses pengoperasian pengovenan sederhana, hanya dengan memasukan Kakao ke dalam lemari oven kemudian diatur suhunya antara 70–80 °C, lamanya pengovenan pun tidak berhari-hari, membuat oven

Kakao adalah solusi membuat Kakao menjadi lebih baik dan produktifitas kakao dapat ditingkatkan dalam setiap produksi.

3. Pengepakan dan Penyimpanan

Setelah pengeringan selama 10–12 jam kurang lebih satu setengah hari, maka kakao diambil dari oven tersebut, ditata agar supaya kakao tetap utuh keadaannya. Untuk menjamin kualitas, dilakukan pemeriksaan kakao. Kakao kualitas biasa dipisahkan dengan kualitas super. Kakao yang baik kemudian dimasukkan dalam karung jala plastik dan ditimbang sampai berat 1 kuintal/karung dan kemudian diikat dengan tali plastik. Kemudian kakao diletakkan di tempat penyimpanan dan kakao siap dijual. Kerusakan yang terjadi pada Kakao pada umumnya disebabkan oleh serangan bakteri dan serangan cendawan. Serangan tersebut mudah terjadi jika kadar air dalam Kakao tinggi, kelembaban udara mencapai 80% atau lebih dan suhu atmosfer mencapai 30 °C.

3.3 Skala Produksi Yang Akan Dihasilkan

Berdasarkan perhitungan kelayakan usaha (laba rugi) dengan mempertimbangkan jumlah investasi peralatan, bahan baku, bahan bakar dan biaya *over head* yang lain, maka jumlah ekonomis kakao yang harus diproduksi adalah minimal 300 kg kakao tiap minggu. Jumlah minimal kakao yang akan diproduksi itu dapat dipenuhi dengan kemampuan desain ruang pembakaran (tungku) hemat bahan bakar dan ruang pengeringan/pemanasan (oven) dengan sistem pengaturan temperatur terintegrasi dan terkontrol. Kemampuan mesin oven yang diperkenalkan tersebut, dapat memproduksi minimal 300 kg Kakao tiap minggu.

3.4 Peran Pendamping atau Instansi Pendukung

Tim Pelaksana Universitas Lampung akan mendampingi mitra dalam kegiatan ini. Selain itu Perangkat Desa juga dilibatkan dalam kegiatan ini karena manfaat kegiatan ini pada akhirnya adalah untuk daerah setempat. Koordinator, pelaksana dan praktisi teknik telah berpengalaman dalam mengelola produksi dan penjaminan mutu.

Peran pendamping dalam kegiatan ini adalah:

1. Melatih mitra menjadi terampil menggunakan dan merawat peralatan alih teknologi dengan demikian program alih teknologi berjalan.
2. Melakukan pengawasan penggunaan alat secara kontinyu. Pengawasan dilakukan untuk menjamin pelaksanaan produksi dan mutu kakao.
3. Tim pelaksana akan mengevaluasi apakah alih teknologi yang dilaksanakan memberikan kontribusi yang positif bagi usaha kakao antara lain meningkatkan hasil produksi kakao, meningkatkan mutu kakao, meningkatkan kesejahteraan mitra dan memberikan solusi produksi yang berdaya saing.

3.5 Kesesuaian Kegiatan dengan Pengalaman dan Bidang Calon Mitra/Binaan

Kelompok usaha ini sudah beroperasi dari tahun 2005 yang pada awalnya dibina oleh Dinas Perindustrian Propinsi Lampung dalam program IDT dan sampai sekarang usaha ini tetap berjalan. Dengan melihat analisis kebutuhan mitra, cara produksi yang masih menggunakan sistem pembakaran dan pengeringan manual dalam produksi dan masih tingginya kadar air kakao (~12%), maka usaha ini perlu inovasi teknologi agar tetap bertahan dan kompetitif. Hal ini sejalan juga dengan bertambahnya usia pengrajin dan adanya migrasi generasi penerus, usaha kerajinan kakao mulai mengalami kesulitan tenaga kerja. Oleh sebab itu perlu peremajaan teknologi produksi yang mampu membantu pekerja namun lebih produktif.

3.6 KIAT dan Mekanisme Kerja Sama

Kelembagaan Intermediasi Alih Teknologi (KIAT) yang akan didirikan melibatkan tim dosen Universitas Lampung yang berbeda keahlian (peer group minat), mahasiswa tingkat akhir. Dalam program ini tim pelaksana berperan sebagai penyalur dana dan konsultan teknik kepada MITRA binaan. Mekanisme kerjasama sebagai berikut:

- 1) Tim pelaksana akan mengadakan sosialisasi dan pelatihan pemanfaatan teknologi. Selain itu tim pelaksana akan mengadakan pelatihan manajemen teknik perawatan dan mutu kepada MITRA binaan.
- 2) Tim pelaksana akan mengawasi instalasi alat dan memantau setiap bulan kondisi pemakaian dan perawatannya.

3.7 Daya Saing (Competitiveness) Produk

Secara ekonomi daya saing ditunjukkan oleh biaya produksi jauh di bawah harga produk, volume dan nilai penjualan semakin meningkat atau pangsa pasar yang dikuasai semakin besar. Dengan introduksi teknologi ini diperkirakan volume produksi semakin meningkat lebih nyata, waktu produksi lebih singkat, mutu meningkat sehingga mampu mengkompensasi biaya produksi.

Peningkatan daya saing ditunjukkan dengan pembukaan pasar-pasar baru di wilayah lain di luar Lampung seperti Bengkulu, Sumatera Selatan dan Banten. Selain itu juga ditunjukkan dengan jumlah MITRA yang mempromosikan produknya dalam kegiatan pameran MITRA dan media elektronik atau dunia maya.

3.8 Dampak Sosial Ekonomi Kegiatan

Dampak sosial ekonomi yang akan dirasakan adalah

1. Meningkatkan daya saing MITRA. Dengan meningkatnya produktifitas dan mutu produk MITRA maka akan meningkatkan daya saing. Peningkatan daya saing akan menambah memperluas kesempatan pengembangan pasar melalui produk yang berkualitas dan murah. Dengan semakin banyak volume pesanan kepada petani penghasil kakao berarti pendapatan/pemasukan bertambah.
2. Dengan semakin banyak kelompok usaha yang tertarik dengan alih teknologi ini maka wilayah/kawasan tersebut akan semakin berkembang. Pada akhirnya pemerintah daerah akan terbantu dengan adanya kawasan yang berkembang.
3. Membantu masyarakat untuk “belajar” dengan teknologi baru dengan demikian sumber daya manusia akan berkembang dan meningkat.
4. Membantu penghematan energi melalui perbaikan sistem pemanasan kakao yang lebih hemat bahan bakar.

BAB 4. KELAYAKAN PERGURUAN TINGGI

Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Lampung (LPPM Unila) merupakan salah satu unsur pelaksana akademik yang melaksanakan tugas pokok dibidang pengabdian kepada masyarakat. Sejak didirikan pada Tahun 1978 hingga 2015 Lembaga Pengabdian kepada Masyarakat di bawah naungan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Lampung.

Program Unggulan LPPM antara lain:

1. Penerapan ipteks untuk peningkatan keberdayaan dan kesejahteraan masyarakat.
2. Pemberdayaan masyarakat melalui penguatan kelembagaan, pengembangan skema pembiayaan usaha, pengembangan usaha ekonomi produktif, dll.
3. Pengembangan kewirausahaan dan bisnis, serta usaha kecil dan menengah.
4. Perencanaan dan evaluasi program pembangunan, baik di tingkat nasional maupun daerah (provinsi/kabupaten/kota).
5. Perencanaan dan evaluasi program pengembangan wilayah dan kawasan pertumbuhanekonomi.
6. Pendampingan dalam rangka mengawal dan memperefektif pelaksanaan program pembangunan.
7. Perencanaan dan evaluasi kelayakan bisnis dan investasi.
8. Perencanaan dan evaluasi kelayakan pekerjaan civil work.
9. Pendidikan dan pelatihan (diklat) untuk instansi pemerintah, swasta, dan masyarakat.

Perguruan tinggi sebagai sumber ilmu pengetahuan dan teknologi sudah sepatutnya peduli terhadap beragam permasalahan yang ada dilapisan masyarakat, khususnya masyarakat dilingkungan (propinsi) dimana Perguruan Tinggi tersebut berlokasi. Sebagai contoh, permasalahan yang dihadapi oleh para petani Kakao di Desa Kebagusan dan Wiyono Kabupaten Pesawaran Propinsi Lampung diantaranya permasalahan tungku untuk oven pengeringan kakao dan kualitas produksi dan pemasaran produk. Untuk itu diperlukan tenaga ahli yang terampil yang mampu menyelesaikan permasalahan yang telah disebutkan sebelumnya, yaitu tenaga ahli pada bidang energi dan rekayasanya untuk mengatasi borosnya konsumsi bahan bakar dan tingginya polusi, tenaga ahli pada bidang kewirausahaan untuk mengatasi permasalahan harga jual produk yang rendah, pemasaran dan pendirian Kelompok Usaha Bersama atau Koperasi, dan tenaga ahli terkait material alat pemasakan yang baik menghantar panas dan sulit terjadi korosi (karat) sehingga akan merusak kulit kakao yang dihasilkan.

Ketua pengusul mempunyai pengalaman dalam IbM 2013 dan pengabdian DIPA BLU Universitas dalam skim Lektor Kepala, pembuatan tungku hemat bahan bakar untuk memasak nira kelapa menjadi gula merah. Sebagai tenaga ahli di bidang material teknik, korosi dan proteksi terhadap korosi, yang sangat membantu dalam pemilihan material peralatan tungku, material ruang pengering, dan pengemasan produk untuk dipasarkan. Pemilihan material (bahan) peralatan yang dimaksud adalah yang kuat, mampu menghantar panas baik (cepat), tidak mudah korosi (berkarat), dan harga yang terjangkau, serta kualitas kakao yang dihasilkan mampu bersaing dan mempunyai nilai jual yang cukup tinggi.

Anggota pengusul I mempunyai keahlian dibidang konstruksi dan perancangan, terbukti pada tahun 2011 dan 2014 pernah mendapat hibah IbM pada tahun tersebut. Anggota pengusul I sudah terbiasa bergelut dibidang desain dan pembuatan alat-alat teknik untuk memudahkan para petani bekerja dengan produktifitas yang tinggi. Hal ini terlihat dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan dan hibah-hibah penelitian tingkat Nasional dan Daerah dari tahun 2009-2014.

Anggota pengusul II juga sudah terbiasa bergelut di bidang pemanfaatan energi alternatif dan manajemen energi, serta kewirausahaan. Hal ini terlihat dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan termasuk hibah-hibah penelitian tingkat Nasional dan Daerah yang telah diraih Anggota Pengusul II yaitu proyeksi kebutuhan dan penyediaan energi di Lampung, pemanfaatan sampah rumah tangga sebagai energi alternatif, dan manajemen energi. Disamping itu, Anggota Pengusul II juga pernah meraih hibah Pengabdian Nasional IbK 2010 (Kewirausahaan/sebagai anggota) yang tentunya sangat tepat untuk mengatasi permasalahan rendahnya harga kakao, pengemasan produk, dan membantu terbentuknya Kelompok Usaha Bersama atau Koperasi industri kecil kakao.

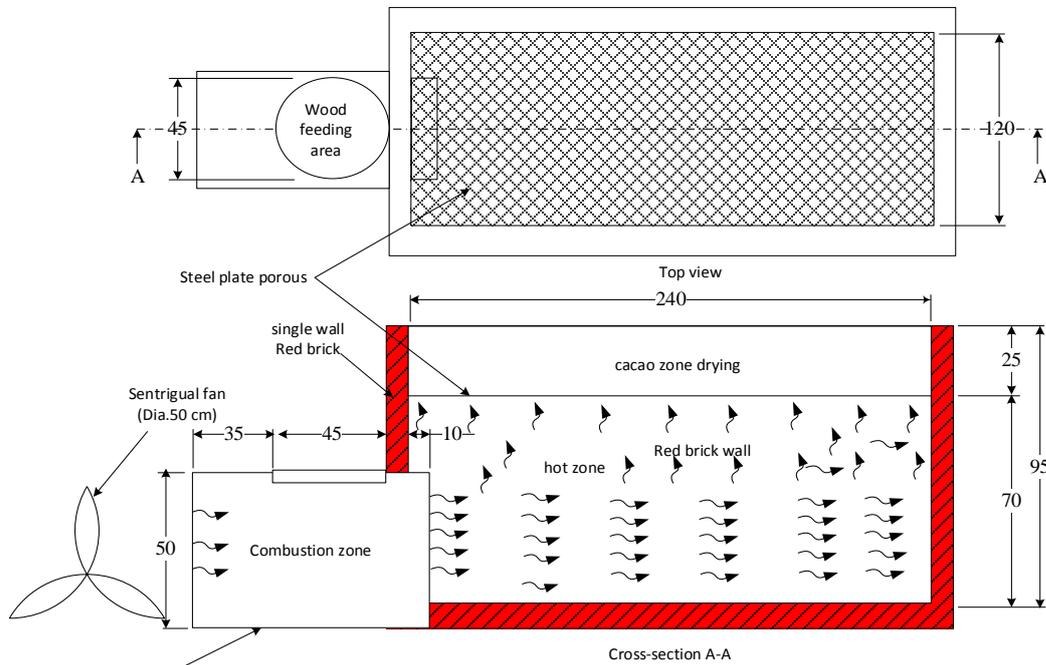
BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

Tungku konvensional yang sudah dibuat oleh para petani kakao dibuat dari batu bata dengan dinding persegi panjang memiliki dimensi 1,20 m × 2,40 m × 0,95 m (W × L × H), tanpa cerobong asap atau lobang kontrol udara panas. Ruang pembakaran terbuat dari pelat baja ukuran diameter (50 cm) dengan tebal sekitar 1.5 mm (Gambar 4 dan Gambar 5). Tidak ada tempat pembuangan abu sisa pembakaran kayu. Selama proses pengeringan, udara panas dari ruang pembakaran dialirkan secara paksa menggunakan fan (kipas angin listrik) ukuran diameter 50 cm.



Gambar 4. Analisa foto makroskopis kondisi real tungku pengering kakao konvensional

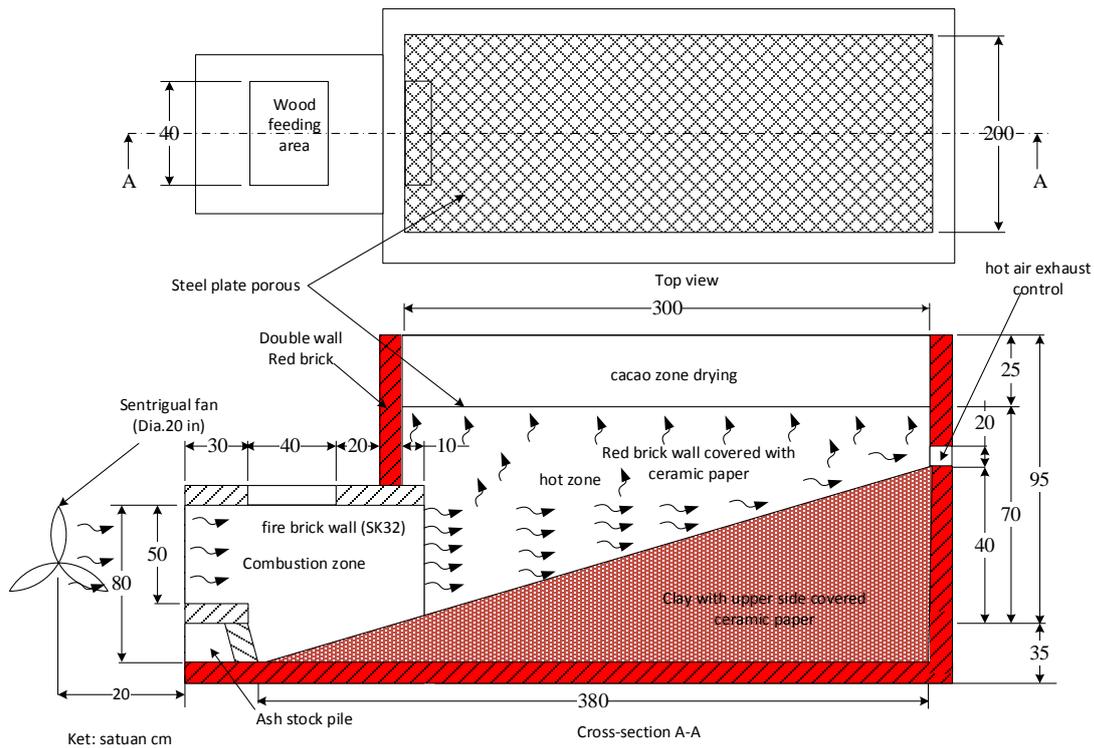
**TUNGKU LAMA PENGERING KAKAO KAPASITAS 0.2 TON
DI DESA WAYLINTI KAB. PESAWARAN**



Gambar 5. Desain dan ukuran tungku pengering kakao konvensional

Tungku baru dirancang bertujuan untuk meningkatkan transfer panas dari ruang pembakaran ke ruang pengering. Untuk mengurangi volume udara panas dalam ruang pengering, volume ruangnya diperkecil melalui pembuatan sudut masuk udara panas sekitar 45° dari mulut ruang bakar ke ujung dinding. Desain tungku baru secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 6. Selain itu, untuk mengurangi kehilangan panas dari dinding dan merata mendistribusikan panas. Pertama, gas buang disimpan dalam tungku untuk mendapatkan transfer panas yang lebih baik dengan tanjakan posisi dasar ruang pengering (udara panas). Lobang kontrol keluar udara panas dibuat dengan ukuran diameter 20 cm dengan tujuan supaya udara panas dalam ruangan sesuai dengan yang diinginkan sekitar 70° C. Detail sejumlah perbaikan yang dilakukan terhadap tungku konvensional lama. Pertama, diameter cerobong berkurang 0,20 m untuk memperpanjang gas buang di tungku. Sebuah katup flapper juga ditambahkan ke cerobong asap dengan tujuan untuk mengontrol laju aliran gas buang. Kedua, ruang bakar dibuat menjadi ukuran standar $0,55 \text{ m}^3$. Terakhir, ruang bakar agak menjorok kedalam dengan ukuran $0,5 \text{ m} \times 0,8 \text{ m}$ (W \times L) dipasang untuk membantu pembuangan abu, yang membiarkan tungku beroperasi terus menerus (Tabel 1).

**PENGEMBANGAN DESAIN TUNGU PENGERING KAKAO
KAPASITAS 0.5 TON DI DESA WAYLINTI KAB. PESAWARAN**



Gambar 6. Desain dan ukuran tungku pengering kakao modifikasi

Tabel 1. Perbandingan tungku konvensional dengan tungku modifikasi

Kriteria	Tungku konvensional	Tungku modifikasi
Dimensi ruang udara panas (m) (W×L×H)	1.2 × 2.4 × 0.70	2.0 × 3.0 × 0.70
Dimensi ruang bakar (m) (W×L×H)	0.9 × 0.5 × 0.5 × 3.14	0.5 × 0.6 × 0.5
Kontrol udara panas	Tidak ada	ada
Mulut ruang bakar	Ada/kecil luasnya	Ada/lebar luasnya
Tempat pembuangan abu	Tidak ada	Ada
Proses pengeringan	Sekitar 9-25 jam	Terus menerus
Dinding ruang bakar	Pelat baja tebal 1.5 mm, Nilai K tinggi	Bata api SK32 + ceramik wool K = 0.155 W/mK
Dinding ruang oven	Bata merah plestes semen K = 1.2 W/mK	Bata merah ganda bagian dalam dilapisi ceramik wool K= 0.09 W/mK

Proses pembangunan tungku dan oven pengering kakao modifikasi dapat dilihat pada Lampiran 1. Pengambilan data temperature pada ruang oven dan tungku pembakaran dapat dilihat pada Lampiran 2.

BAB 6. ANALISIS UNJUK KERJA TUNGKU PENERING BIJI KAKAO

6.1 Analisis Efisiensi Termal Tungku Pengering Biji Kakao

Analisis efisiensi termal dan keseimbangan energi dilakukan pada tahap proses pengeringan kakao dengan menggunakan tungku konvensional dan tungku modifikasi. Perhitungan efisiensi kedua tungku pengering menggunakan persamaan (1) [Cengel, 2003]:

$$\eta = \frac{(m_c C_{p,c} \Delta T) + (m_e L_w)}{m_f \times LHV} \quad (1)$$

Dimana:

η : Efisiensi tungku pengering (%)

LHV : Nilai rendah kalor kayu (biomassa) (kJ/kg)

$C_{p,c}$: konstanta kapasitas panas biji kakao (diasumsikan sama dengan air 4.18 kJ/kg °K)

ΔT : Perbedaan temperatur dari temperatur awal biji kakao ke temperatur kering (°C)

Bahan bakar kayu yang digunakan sebagai sumber panas biomassa adalah jenis kayu karet yang sudah dikeringkan. Kayu karet memiliki HHV sekitar 17,098 kJ/kg [Kurniawan, 2012]. Kemudian LHV dihitung menggunakan hubungan berikut [ICFPA, 2006]:

$$LHV = HHV - 9\lambda H \quad (\text{kJ/kg})$$

Dimana:

HHV : Nilai tinggi bruto bahan bakar kering (kadar air nol)

λ : Nilai panas laten penguapan air (2.31 MJ/kg pada 25 °C)

H : Persentase hidrogen dalam kayu (~6%)

Oleh karena itu, LHV ditentukan dari:

$$LHV = 17,098 - 9 \times (2.31 \text{ MJ/kg}) \times (0.06) = 15,851 \text{ kJ/kg}$$

Analisis keseimbangan energi dari kedua tungku konvensional dan modifikasi dirancang dilakukan. Persamaan untuk panas masuk dan keluar dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut:

Panas masuk [Phusrmuang dan Wongwuttanasatian, 2016]:

$$Q_1 = m_f \times LHV \quad (2)$$

Panas yang ditransferkan ke biji kakao [Chengel, 2003]:

$$Q_2 = (m_c C_{p,c} \Delta T) + (m_e L_w) \quad (3)$$

Dimana:

m_f : Massa kayu bakar yang digunakan dalam satu kali proses pengeringan (kg)

m_c : Massa air dalam biji kakao (prosentasi kadar air dalam berat basah biji kakao sebelum dikeringkan adalah 54.34%)

m_e : Massa evaporasi uap air (kg)

$C_{p,c}$: Nilai panas spesifik air (4.18 kJ/kg °C) [Chenggel, 2003]

L_w : Nilai kalor laten uap air (kJ/kg °C) [Chenggel, 2003]

Berat biji kakao sebelum dan sesudah pengeringan diukur untuk menemukan kehilangan berat air.

Panas masuk dari ruang (tungku) pembakaran ke dalam ruang oven

$$Q_3 = \rho \times A_s \times V_f \times C_p \times (T_g - T_a) \quad (4)$$

Dimana:

A_s = Luas permukaan ruang pembakaran [m²] (tungku konvensional $A_{sk} = (3.14 \times 0.5^2)/4 = 0.2 \text{ m}^2$ dan tungku modifikasi $A_{sm} = 0.5 \times 0.5 = 0.25 \text{ m}^2$)

ρ = Densitas udara panas pada temperatur T dan tekanan atmosfer 1 atm (1.01325 bar)

V_f = Kecepatan udara panas masuk ke ruang pemanas (m/s)

C_p = Kapasitas udara panas (kJ/kg°K)

T_a = Temperatur ambang (°C)

T_g = Temperatur udara panas dalam tungku (°C)

Densitas udara panas pada temperatur tertentu dihitung dengan persamaan (5) [Peace software, 2016]:

$$\rho = 12.701 \left(\frac{273}{T_g} \right) \times \left(\frac{10363+2.6}{10363} \right) \quad (5)$$

Kehilangan panas melalui konveksi dari setiap dinding ruang udara panas dapat didekati dengan menggunakan persamaan (6), (7) dan (8) [Chenggel, 2003]:

$$Q_4 = h_{aw} \times A_w \times (T_w - T_a) \quad (6)$$

$$h_{aw} = \left[0.28 \times \left(\frac{\Delta T_w}{L} \right)^{0.25} \right] \times 5.678 \quad (7)$$

Dimana:

h_{aw} = Koefisien transfer panas konveksi udara pada sisi dinding tungku [$\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$]

A_w = Luas permukaan dinding tungku (m^2)

L = Tinggi dinding tungku (m)

T_w = Temperatur dinding ($^\circ\text{C}$)

Kehilangan panas melalui radiasi dihitung dengan menggunakan persamaan 8 [Chengel, 2003]:

Persamaan (8)

$$Q_5 = \sigma \times \varepsilon \times A_w (T_w^4 - T_a^4) \quad (8)$$

Dimana:

σ : Konstanta Stefan–Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \text{ K}^4$) [Chengel, 2003]

ε : Emisivitas dinding oven, bata merah 0.93 dan bata api 0.75 [Chengel, 2003]

Kehilangan panas Karena karbon tidak terbakar dihitung dengan persamaan (9) [Phusrmuang dan Wongwuttanasatian, 2016]:

$$Q_6 = (33,826 \times m_r) \times C_r \quad (9)$$

Jumlah karbon tidak terbakar ditentukan dengan sisa kayu yang tersisa setelah abu dihilangkan pada kayu dan kemudian ditimbang.

m_r : Massa kayu bakar yang tersisa setelah proses pengeringan (kg)

C_r : Jumlah karbon dalam kayu (~ 0.153) [Kurniawan, 2012]

Kehilangan panas akibat kelembaban kayu dihitung menggunakan persamaan (10) [Phusrmuang dan Wongwuttanasatian, 2016]:

$$Q_7 = (m_f \times (\%mois_{fuel})) \times (2450 + (1.91 \times (T_g - T_a))) \quad (10)$$

di mana $\% mois_{fuel}$ adalah kadar air dari kayu karet (10.24%) [Kurniawan, 2012]

Total kehilangan panas secara keseluruhan (Q_7) dinyatakan dalam persamaan (11):

$$Q_8 = \text{Panas dilepaskan dari bahan bakar} - \Sigma(\text{Panas yang digunakan} + \text{kehilangan panas})$$

$$Q_8 = Q_1 - (Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7) \quad (11)$$

Kendala yang dihadapi dalam pengujian unjuk kerja tungku modifikasi setelah dirancang dan dibangun adalah belum dilakukannya pengujian langsung untuk mengeringkan biji kakao sebanyak 0.5 ton. Hal ini disebabkan oleh musim panen kakao sudah berakhir, sehingga jumlah biji kakao yang dibutuhkan tidak bisa disediakan oleh para petani kakao di desa Wiyono.

Pengujian karakteristik unjuk kerja tungku modifikasi hanya dilakukan dengan melakukan simulasi pembakaran kayu karet dalam ruang bakar. Prosedur proses percobaan tungku sama dengan prosedur proses pengeringan biji kakao dalam oven pengering. Data-data awal penggunaan kayu bakar dari batang karet diperoleh dari wawancara petani kakao yang sering melakukan proses pengeringan biji kakao dengan tungku konvensional. Umumnya jumlah kayu bakar yang dihabiskan adalah sekitar 100 kg kayu karet untuk satu kali proses pengeringan sebanyak ~0.3 ton biji kakao basah. Biasanya para petani setelah panen mengeluarkan biji kakao dari buahnya dan dihampar menggunakan terpal plastik, kemudian dikeringkan terlebih dahulu dengan panas matahari selama lebih kurang 3 jam. Proses awal pengeringan ini dilakukan saat cuaca panas (terik) untuk memperpendek proses pengeringan dengan oven, selanjutnya pengeringan dilakukan menggunakan oven konvensional (Gambar 4). Umumnya setelah proses ini, kadar air terakhir kakao sekitar 8-9% berat kering dengan lama proses pengovenan (pengeringan) selama 16-25 jam. Setelah itu biji kakao dijual ke pengepul dengan harga sekitar 20,000.-/kg.

Pengambilan data-data yang diperlukan untuk analisis efisiensi termal unjuk kerja tungku modifikasi meliputi: pengukuran temperature dalam ruang bakar, dinding dalam oven, temperature sekitar ruang bakar (temperature ambang), kecepatan angin dari fan ukuran diameter impeller 50 cm dengan alat anemometer. Untuk melengkapi data-data yang dibutuhkan dari biji kakao, beberapa buah kakao kondisi matang yang masih tersisa di kebun petani diambil untuk simulasi proses pengeringan biji kakao. Biji kakao yang masih segar ditimbang dan dilakukan uji kadar air di laboratorium Material Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung berdasarkan standar SNI 232-2008 [SNI 232, 2008]. Beberapa sampel biji kakao ditimbang dengan timbangan analitik dengan presisi 0.1 mg. Setelah penimbangan berat awal biji kakao, kemudian sampel diletakan di atas rak dalam oven pengering dengan lokasi yang berbeda.

Berdasarkan hasil pengukuran temperature pada lokasi yang berbeda diperoleh lokasi temperature tertinggi sekitar 70-80 °C pada daerah tengah. Sedangkan temperature 50-60 °C terukur pada daerah depan dekat ruang pembakaran. Perbedaan temperature pada lokasi yang berbeda ini disebabkan oleh hembusan angin yang berasal dari blower (fan) dari mulut

tungku dan kontinuitas proses pembakaran kayu dalam ruang bakar. Biasanya ini terjadi selama 1-6 jam. Untuk mengatasi masalah ini biasanya operator pengering melakukan pengadukan.

Tabel 2. Parameter yang diukur untuk analisis unjuk kerja kedua tungku

Parameter	tungku konvensional	tungku modifikasi
Temperatur dinding dlm kiri, T_{wi} (°C)	45.66	36.0
Temperatur dinding dlm kanan, T_{wn} (°C)	48.12	35.8
Temperatur dinding dlm belakang, T_{wb} (°C)	55.17	38.9
Temperatur udara dlm tungku, T_g (°C)	270.7	380.5
Temperatur ambang, T_a (°C)	37.3	35.2
Temperature biji kakao steady state, (°C)	60	70
Kec. Gas buang, V (m/s)	10.0	8.10
Luas penampang tungku, (m ²)	0.2	0.25
Lama pengeringan biji kakao, (jam)	16	16
Massa biji kakao basah, m_k (kg)	272.32	544.64
Kadar air akhir setelah pengeringan, (%)	10	7
Massa air dalam biji kakao basah, m_c (kg)	124.34	295.96
Massa evaporasi uap air dalam biji kakao, m_e (kg)	134.16	277.24
Nilai panas latent uap air, L_w (kJ/kg)	2648.62	2617.65
Massa jenis gas buang, ρ (m ³ /kg)	1.0606	1.0291
Kapasitas udara panas, C_p (kJ/kg K)	1.0327	1.0562
Massa kayu bakar yang tersisa (kg)	5.8	1.3
Biaya pembuatan oven, (Rp)	5,000,000.00	15,000,000.00

Pengaturan temperature yang diinginkan dalam oven 50 °C, 60 °C, 70 °C, dan 80 °C dapat dilakukan dengan mengurangi jumlah kayu yang dibakar dan mengatur kecepatan aliran udara dari blower masuk ke ruang oven. Selain itu pada tungku modifikasi lobang kecil ukuran diameter 20 cm dibuat pada dinding belakang dengan tujuan untuk mengatur sirkulasi temperature bila temperature dalam tungku lebih dari 450 °C dan temperature dalam ruang oven melebihi temperature pengeringan yang diperlukan. Tingginya temperature dalam ruang bakar karena bahan dinding tungku dibuat dari bata api SK34 dan bagian luar dilapisi *ceramic wool* dan kemudian dilapisi bata merah. Oleh karena itu, panas yang diserap oleh dinding tungku sangat rendah. Selain itu temperature dalam ruang oven juga tidak banyak mengalami penurunan akibat konveksi dan radiasi panas yang diserap oleh dinding ruang oven. Hal ini dikarena dinding oven dilapisi oleh ceramic paper dengan nilai emisifitas 0.75. Pengaturan temperature dalam ruang oven dapat dilakukan dengan membuka dan menutup lobang control temperature. Selain itu, operator pengering (petani) biasanya menambahkan kayu bakar ke dalam tungku secara rutin setiap ~15-30 menit, untuk menjaga api dan bara dalam tungku tidak terlalu besar dan cepat habis karena terbakar. Pada

kondisi ini biasanya temperature dalam ruangan oven biasanya sudah berada dalam kondisi steady state. Bila kondisi ini sudah tercapai, operator pengeringan hanya melakukan pengadukan beberapa kali dalam satu jam.

Sampel-sampel biji kakao sebanyak 15-20 biji yang sudah ditimbang berat awalnya, lalu diletak di atas rak baja yang berlobang pada temperature masing-masing 50°C, 60 °C, 70 °C, dan 80 °C . Kemudian setelah 1 jam, 4 jam, 9 jam, 16 jam, dan 25 jam pengeringan, sampel diambil masing-masing 3 biji kakao di atas rak pengering untuk ditimbang berat akhirnya. Secara lengkap data-data yang diperoleh selama simulasi pengujian unjuk kerja tungku konvensional dan modifikasi ditampilkan pada Tabel. 2. Hasil lengkap simulasi proses pengeringan dengan tungku modifikasi dapat dilihat pada Lampiran 3. Pengukuran temperatur dinding dan ruang bakar pada tungku konvensional dilakukan dalam kondisi tanpa beban (rak dalam oven dalam keadaan kosong). Proses pengambilan data biji kakao hanya dilakukan untuk tungku modifikasi.

Hasil perhitungan kesetimbangan termodinamika kondisi tungku konvensional dan tungku modifikasi menggunakan persamaan (1) sampai persamaan (11) ditampilkan pada Tabel. 3.

Tabel 3. Analisis energi dan kehilangan panas pada oven pengeringan biji kakao

Parameter	oven konvensional	oven modifikasi
Konsumsi bahan bakar, (kg)	100	75
Panas masuk, (kJ)	1,585,100	1,188,825
Panas yang ditransferkan ke biji kakao, (kJ)	376,996	726,653
Panas yang ditransfer ke ruang oven, (kJ)	682.99	716.06
Panas hilang oleh dinding, (kJ)	32916.30	1464.41
Panas hilang krn karbon tdk terbakar, (kJ)	30.02	6.73
Panas hilang krn kelembaban kayu, (kJ)	29,653	23,872
Kehilangan panas faktor lain, (kJ)	1,144,822	436,112
Efisiensi termal tungku pengering, (%)	23.78%	61.12%

Hasil menunjukkan bahwa konsumsi penggunaan tungku modifikasi untuk mengeringkan sekitar 0.5 ton biji basah kakao menurun sampai 25 kg atau menurun ~25%. Nilai kalor (panas) yang dibutuhkan untuk mengeringkan biji kakao dengan kadar air 7 % berat kering lebih besar ~349,657 kJ. Hal ini disebabkan peningkatan kapasitas produksi pengeringan kakao sebesar 0. 2 ton biji kakao basah. Jumlah kalor yang masuk ke ruang oven juga lebih besar ~33.07 kJ. Penurunan kehilangan panas karena absorpsi dinding oven sebesar ~31,452 kJ. Penurunan kalor karena proses konveksi dan radiasi dinding dalam oven yang dibuat dengan bahan isolator (bahan kerami bentuk lembaran). Pembuatan ruang

penampungan abu kayu bakar memberikan pengaruh yang besar pada penurunan karbon yang tidak terbakar pada ruang bakar (tungku). Oleh karena itu, kerugian karbon yang tidak terbakar menurun sebesar ~23.29 kJ atau turun sebesar 77.59%.

Sebagai hasil konsumsi kayu bakar yang lebih rendah, kerugian kalor akibat kelembaban kayu bakar turun sebesar ~5,781kJ atau sebesar ~19.49%, sebagaimana ditabulasikan pada Tabel 3. Disamping itu, kerugian panas akibat factor lain mengalami kenaikan sebesar 5,781 kJ (19.49%), seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Hal ini mungkin disebabkan oleh panas yang diserap oleh penyangga rak yang terbuat dari baja siku dan pelat baja berlobang dalam oven. Jumlah penyangga rak pada tungku lebih banyak 10 batang, dan luas permukaan bentangan rak baja lebih luas ~0.05 m² dibandingkan jumlah penyangga dan luas bentangan rak baja pada tungku konvensional.

Secara keseluruhan efisiensi termal tungku modifikasi lebih tinggi ~61.12% dibandingkan tungku konvensional 23.78%. Efisiensi tungku pengering kakao modifikasi meningkat ~37.34%.

6.2. Analisis Ekonomi

Tungku modifikasi dirancang menghabiskan biaya pembangunan sekitar Rp. 15,000,000.00 sedangkan tungku konvensional dibangun dengan biaya hanya Rp. 5,000,000.00. Satu kali proses pengeringan kakao 0.3 ton menggunakan tungku konvensional menghabiskan 100 kg kayu bakar. Jika harga kayu bakar (karet) per kg adalah Rp. 2,000.00. Maka biaya bahan bakar setiap kali proses pengeringan Rp. 200,000.00. Sebaliknya konsumsi kayu bakar diperlukan untuk satu kali proses pengeringan kakao menggunakan tungku modifikasi dengan kapasitas 0.5 ton, diharapkan hanya menghabiskan 70%–75% kayu bakar dibandingkan total kayu bakar yang dihabiskan menggunakan tungku konvensional. Jadi perkiraan penghematan penggunaan kayu bakar sekitar Rp. 50,000.00/satu kali proses pengeringan. Jika masa panen kakao sekitar bulan Januari sampai Mei (5 bulan) dan proses pengeringan dilakukan seminggu tiga kali pengeringan, maka penghematan kayu bakar dapat diperoleh sekitar Rp. 1,800,000.00.

Peningkatan produksi sebanyak 0.2 ton berat basah biji kakao kadar air 54.34% menjadi kadar air 7-8% menghasilkan berat akhir total biji kakao sekitar 50% dari berat awal sebelum pengeringan. Bila harga jual biji kakao dengan kadar air 7-8% adalah Rp. 25,000.00/kg. Maka keuntungan yang diperoleh petani sekitar Rp. 2,500,000.00. Periode pengembalian modal pembangunan tungku modifikasi dapat dihitung menggunakan persamaan (12):

$$\begin{aligned}
 & \text{Periode masa pengembalian modal} = \\
 & \frac{\text{Selisi biaya pembuatan tungku}}{\text{Penghematan kayu bakar} + \text{Keuntungan peningkatan produksi kakao}} \quad (12)
 \end{aligned}$$

Sehingga biaya pengembalian modal pembangunan tungku modifikasi pengering kakao yang sudah dibuat adalah sekitar 3.5 tahun. Usia pakai tungku modifikasi diperkirakan adalah 10 tahun. Jadi para petani kakao akan mendapatkan tambahan penghasilan yang besar setelah tahun ke-empat sampai tahun ke-sepuluh.

6.3. Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca

Pengurangan emisi gas rumah kaca dianalisis berdasarkan pengurangan konsumsi bahan bakar. Karena performansi termal dari tungku pengering kakao ditingkatkan, maka penurunan konsumsi bahan bakar dan pengurangan emisi gas rumah kaca dapat dilakukan. Gas CO₂ dihasilkan dari pembakaran bahan bakar biomassa menimbulkan efek rumah kaca yang berdampak pada pemanasan global. Perhitungan emisi didasarkan pada fakta bahwa pembakaran kayu (biomassa) menyebabkan emisi gas rumah kaca setara dengan 104×10^3 kg CO₂ per TJ HHV [ICFPA, 2006]. Ini dapat dinyatakan dengan persamaan (13):

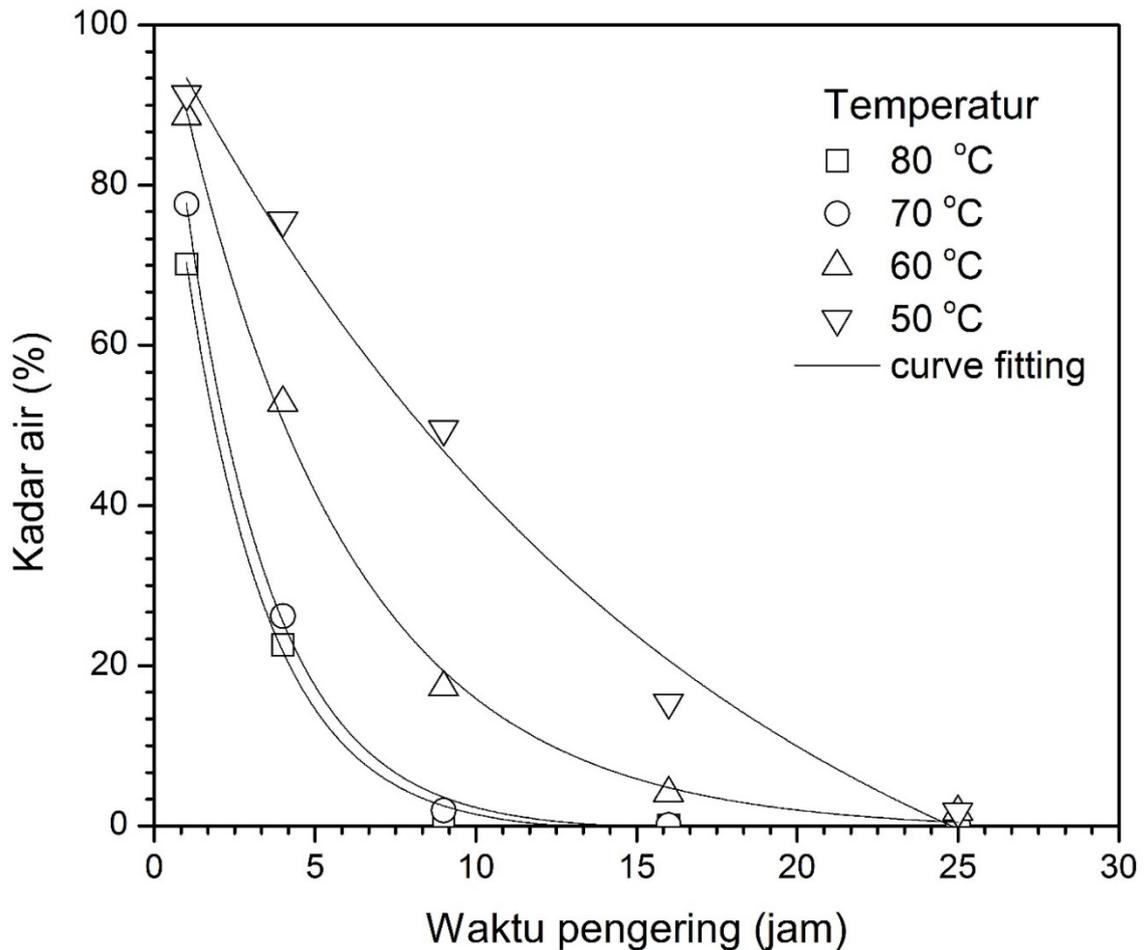
$$\text{Emisi gas rumah kaca} = (114.64 \text{ ton CO}_2/\text{TJ HHV}) \times m_{\text{kayu}} \times \text{HHV (TJ)} \quad (13)$$

Jika massa kayu bakar dapat dihemat sekitar ~25 kg satu kali proses pengeringan biji kakao dengan menggunakan tungku modifikasi dan tungku pengering hanya beroperasi selama musim panen kakao (5 bulan), maka total penghematan kayu bakar = $60 \times 25 \text{ kg} = 1500 \text{ kg}$. Sehingga penurunan emisi gas CO₂ ke atmosfer dapat dihemat sebesar = $(114.65 \text{ ton CO}_2/\text{TJ HHV}) \times 1500 \text{ kg} \times 17,098 \text{ kJ/kg} = (114.65 \text{ ton CO}_2) \times 0.025647 = 2.94 \text{ ton CO}_2$.

6.4. Analisa Kadar Air Biji Kakao Setelah Proses Pengeringan

Pengeringan biji kakao adalah proses pasca panen terakhir, yang menggunakan pemanas untuk mengurangi kadar air dalam biji kakao menjadi ~7.0% (w/w) [SNI, 2008]. Banyak penelitian dan metode pengeringan yang digunakan untuk menemukan kondisi optimal pengeringan biji kakao. Oleh karena itu, kondisi pengeringan, temperature, dan durasi pengeringan biji kakao banyak dilakukan [MacManus dkk., 2010, Hayati dkk., 2012, Dina dkk., 2015]. Hasil pengujian kadar air sampel biji kakao basah dilakukan menurut SNI 232-2008 [SNI 232, 2008]. Kadar air awal biji kakao diperoleh sekitar 54.34%. Kadar air ini merupakan banyaknya air yang terkandung dalam biji-bijian. Selain itu kadar air merupakan karakteristik dari bahan biji-bijian yang dapat mempengaruhi sifat dan komposisi. Kadar air sampel biji kakao yang dikeringkan menggunakan tungku modifikasi

pada temperature 50-80 C° selama 1–25 jam ditampilkan pada Gambar 7. Kandungan air dalam biji kakao basah menurun seiring lama waktu pengeringan dan temperatur. Gambar 7 menunjukkan kurva karakteristik khas penurunan kandungan air dalam biji kakao setelah proses pengeringan.

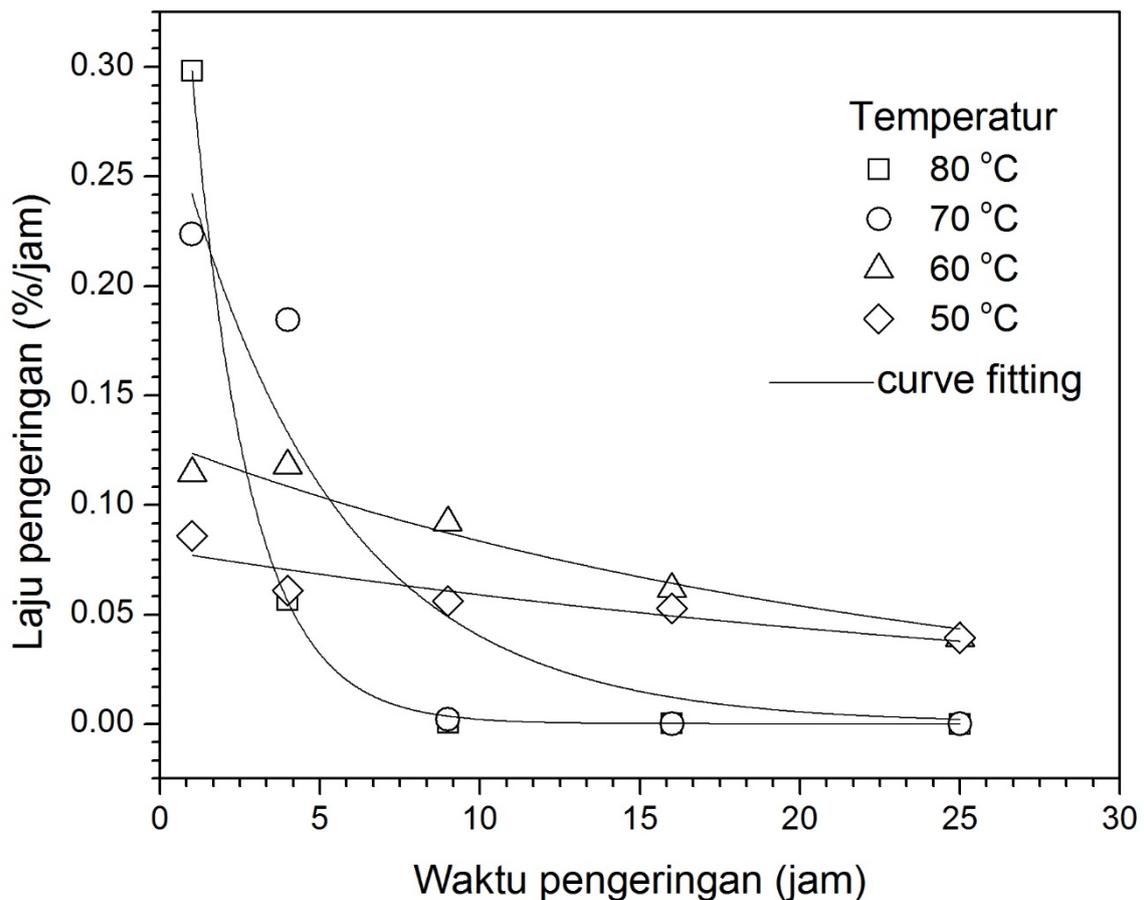


Gambar 7. Pengaruh temperatur dan waktu pengeringan terhadap kadar air biji kakao kondisi steady state

Proses pengeringan yang kontinyu memainkan peranan penting dalam komposisi biji kakao kering. Kandungan polifenol dalam biji kakao sangat sensitif terhadap waktu dan temperatur pengeringan [Alean dkk., 2016]. Pengeringan terlalu cepat mempengaruhi produksi berlebihan asam, termasuk asam asetat, yang merusak ke cita rasa, sementara hasil pengeringan terlalu lambat menghasilkan pH yang lebih rendah pada biji kakao [García-Alamillaa dkk., 2007, Guehi dkk., 2010]. Proses pengeringan tidak boleh terlalu cepat untuk menjaga kandungan asam yang dapat mengurangi cita rasa biji kakao setelah pengeringan [Rodriguez-Campos dkk., 2012]. Pengeringan cepat pada biji kakao

menyebabkan jumlah kadar air menurun drastis yang berdampak pada kandungan asam asetat tidak dapat bermigrasi keluar dari dalam biji kakao [Rodriguez-Campos, dkk., 2011]. Oleh karena itu terjadi penumpukan kandungan asam asetat pada biji kakao. Di sisi lain, laju pengeringan terlalu lambat akan menghasilkan keasaman rendah, warna biji kakao yang coklat pudar.

Gambar 7 menunjukkan penurunan kadar air yang cepat bila temperatur pengeringan berkisar antara 70-80 °C. Sedangkan pada temperatur 60 °C, penurunan kadar air menunjukkan tingkat yang sedang. Penurunan kadar air yang lambat dapat diamati pada biji kakao bila temperatur pengeringan 50 °C. Pengeringan biji kakao basah dengan panas matahari juga dilakukan untuk mengetahui tingkat laju pengeringan. Sampel 10 biji kakao yang sudah ditimbang, kemudian disebar diatas terpal plastik dan dijemur dengan panas matahari terik. Pengukuran suhu pertama sekitar jam 9.30 WIB, temperatur panas matahari sekitar 36.3 °C, setelah tiga jam kemudian suhu matahari diukur sekitar 49,3 °C. Kadar air biji kakao setelah penjemuran matahari sekitar 25.20% dengan laju pengeringan 411.93 mg/jam (8.4%/jam).



Gambar 8. Kurva laju pengeringan biji kakao pada variasi temperatur berbeda

Laju pengeringan merupakan faktor yang sangat penting terhadap kualitas akhir biji kakao. Gambar 8 menunjukkan kurva laju pengeringan dalam %/jam. Laju pengeringan yang cepat dapat dilihat untuk pengeringan biji kakao pada temperature 70-80 °C, yaitu saat pengeringan 4 jam pada temperatur 80 °C dan saat 9 jam pada temperature 70 °C.

Kurva pengeringan biji kakao basah pada kondisi kadar air awal 54.34% sampai ~7-12% bb dengan proses pengeringan kontinu selama 1- 25 jam ditunjukkan pada Gambar 7. Selain itu laju pengeringan ditampilkan pada Gambar 8. Kadar air dan laju pengeringan mengalami penurunan terus menerus terhadap waktu pengeringan. Selama periode waktu proses pengeringan berjalan 9-25 jam pada temperatur 70-80 °C, laju pengeringan berjalan sedikit konstan. Hal ini menunjukkan pengurangan kadar air dalam biji kakao sudah mencapai 7% atau lebih. Sedangkan laju pengeringan pada temperatur 50-60 °C, penurunan laju pengeringan berjalan lambat sampai periode pengeringan 25 jam.

Prosedur pengeringan kontinyu pada interval waktu tertentu sampai kelembaban kadar air yang diinginkan tercapai, maka tingkat pengeringan ditentukan oleh difusi uap air dari dalam biji kakao ke lapisan permukaan terluar. Proses difusi uap air selama proses pengeringan biji kakao dapat dinyatakan dengan hukum kedua Fick. Diasumsikan bahwa biji kakao dengan bentuk lonjong (bulat telur) dengan radius 0.00664 m [Dina dkk., 2015]. Pada tingkat temperatur dan waktu pengeringan yang berbeda, difusi air dan molekul uap air pada biji kakao dapat ditentukan melalui difusitas efektif (D_e) uap air [Hii dkk., 2009a,] Dengan asumsi kadar air awal seragam dan radius ekuivalen biji kakao sekitar 0.00664 [Dina dkk., 2015]. Melalui plot hubungan linier kurva $\ln MR$ (moisture ratio) terhadap waktu pengeringan (s), maka difusivitas efektif dapat ditentukan [MacManus dkk., 2010]. Slope kurva $\ln MR$ versus waktu pengeringan (s) (K_1) diperoleh selanjutnya digunakan untuk menentukan difusitas efektif (D_e) menggunakan persamaan (14):

$$K_1 = \frac{\pi^2 D_e}{r^2} \tag{14}$$

Tabel 4. Nilai difusitas efektif biji kakao dengan pengeringan oven

Efektif Difusitas	Temperature pengeringan (°C)			
	80	70	60	50
D_e (m ² /s)	4.55×10^{-10}	3.46×10^{-10}	2.31×10^{-10}	2.03×10^{-10}

Hasil perhitungan nilai difusivitas efektif biji kakao dari proses pengeringan oven berkisar 2.03×10^{-10} sampai 4.55×10^{-10} m²/s. Nilai difusitas efektif pada proses pengeringan biji kakao dalam range remperatur 50-80 °C hampir sama dengan yang dilaporkan oleh

MacManus dkk., [2010]. Perbedaan sedikit nilai difusitas efektif mungkin disebabkan oleh perbedaan sedikit temperatur pengeringan (55-81 °C). Sedangkan nilai difusitas efektif yang dilaporkan oleh **Hii dkk.**, [2009b] berkisar pada nilai 7.46×10^{-11} sampai 1.87×10^{-10} m²/s dari hasil pengeringan biji kakao pada temperatur 60-80 °C dalam oven, sedikit lebih rendah seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Ketergantungan temperatur terhadap koefisien difusitas (D) dianggap penting bahwa difusivitas efektif bervariasi terhadap temperatur menurut Fungsi Arrhenius [**Callister dan Rethwisch, 2009**] dalam bentuk persamaan (15):

$$D_e = D \exp\left(-\frac{E}{R(T+273)}\right) \quad (15)$$

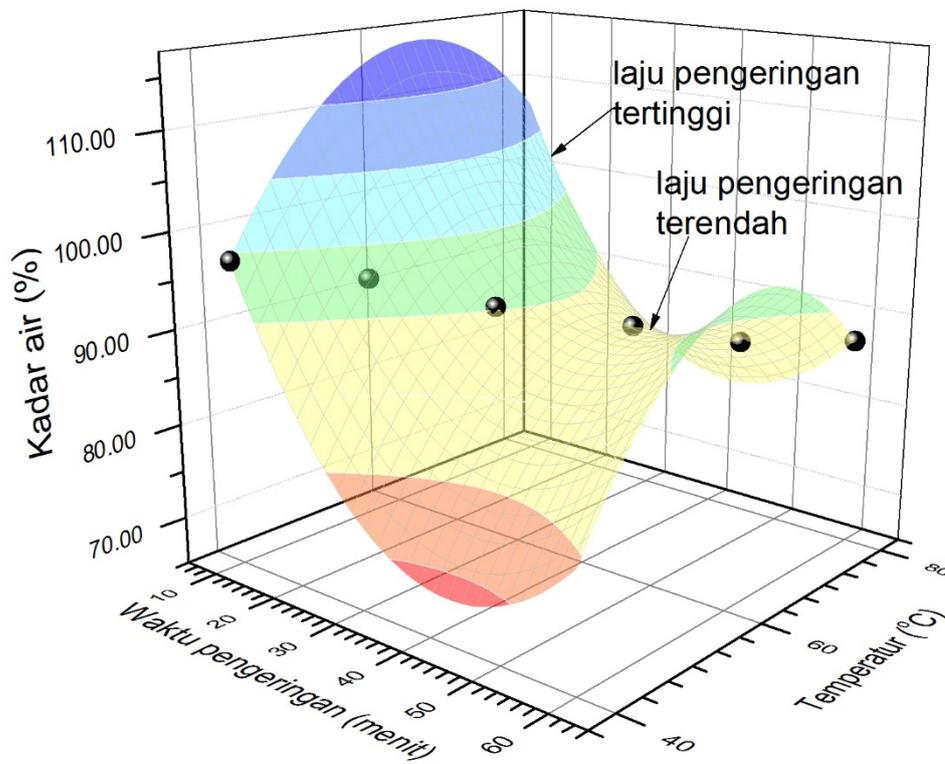
di mana D adalah koefisien difusivitas tergantung pada temperature pengeringan, E adalah energi aktivasi untuk kelembaban difusi air dan uap air selama pengeringan, R adalah konstanta gas ($R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) dan T adalah temperatur pengeringan (°C). Plot $\ln D_e$ terhadap $1/T$ akan menghasilkan garis lurus (slope). Kemiringan kurva $\ln D_e$ versus $1/T$ dapat digunakan untuk memprediksi koefisien difusivitas (Arrhenius konstan) dan energi aktivasi dengan mengalikan nilai 8.314 J mol^{-1} dengan koefisien eksponensial. Temperatur mempunyai pengaruh paling besar pada efektif difusitas dan tingkat difusi air dalam biji kakao. Energi aktivasi dapat dianggap sebagai energi yang dibutuhkan untuk mengeluarkan 1 mol air dalam biji kakao melalui proses difusi. Maka persamaan Arrhenius untuk proses pengeringan biji kakao pada range temperatur 50-80 °C dengan pengeringan oven, dapat dinyatakan dengan persamaan (16):

$$D_e = 3.49 \times 10^{-13} \exp\left(-\frac{E}{26055.8T}\right) \quad (16)$$

Pengaruh temperatur dan lama proses pengeringan biji kakao pada kondisi transien tidak bisa diabaikan. Jelas dari persamaan (3) kalor yang dibutuhkan untuk mengurangi kadar air dari temperatur awal (~25 °C) sampai temperatur ~70 °C pada kondisi transien cukup besar, ~87.00 kJ (dengan pengeringan oven modifikasi). Kurva pengeringan biji kakao pada kondisi transien ditampilkan pada Gambar 9. Untuk menentukan pengaruh variabel temperatur dan waktu pengeringan, optimisasi variabel temperatur dan waktu dilakukan menggunakan polinomial kuadratik. Hasil kurva optimisasi ditampilkan bersama kurva pengeringan transien (Gambar. 9). Persamaan hasil optimisasi dijabarkan dalam persamaan (17):

$$z = -0.035 - 0.022x + 0.044y + 2.54 \times 10^{-4}x^2 - 3.43 \times 10^{-4}y^2 \quad (17)$$

Persamaan (17) dapat digunakan untuk mengetahui perubahan kadar air biji kakao terhadap temperatur dan waktu pengeringan dalam kondisi transien.



Gambar 9. Kurva proses pengeringan biji kakao basah kondisi transien

Sebagaimana sudah dijelaskan sebelumnya, pengeringan biji kakao terlalu lambat dan waktu proses pengeringan yang tidak tepat, maka akan berdampak pada jumlah kandungan air yang masih tinggi pada biji kakao. Gambar 10 menunjukkan evolusi perubahan warna dan kandungan air pada biji kakao yang mengalami proses pengeringan terhadap temperature dan waktu pengeringan. Waktu pengeringan yang pendek sekitar 1- 4 jam, untuk semua temperature pengeringan dari 50-80 °C, menunjukkan kadar air yang masih tinggi. Bila ini terjadi selama proses pengeringan maka kandungan air yang masih tersisa akan menjadi pemicu bakteri tumbuh pada biji kakao. Gambar 11 menunjukkan biji kakao yang ditumbuhi jamur setelah proses pengeringan pada temperature 50 °C dengan lama pengeringan 1-9 jam. Pengaruh temperature dan lama pengeringan terhadap tekstur biji kakao, seperti ditunjukkan pada Gambar 10, idealnya dapat diperoleh tekstur yang baik hanya pada temperature pengeringan 60-70 °C dan lama pengeringan 16-25 jam. Sedangkan bila temperature pengeringan 80 °C dan lama pengeringan 16-25 jam, menyebabkan laju pengeringan yang cepat dan berkontribusi pecahnya kulit biji kakao (Gambar 10).



Gambar 10. Foto evolusi biji kakao selama proses pengeringan dalam tungku modifikasi



Gambar 11. Foto biji kakao yang ditumbuhi jamur setelah proses pengeringan selama 1-9 jam pada $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$



Gambar 12. Foto biji kakao sebelum dan setelah pengeringan matahari

Umumnya petani kakao di desa Wiyono Kab. Pesawaran Provinsi Lampung, sebelum biji kakao dikeringkan dalam tungku konvensional. Biji kakao yang sudah dikeluarkan dari buahnya terlebih dahulu dikeringkan dengan panas matahari, jika kondisi cuaca panas terik. Hal ini dilakukan untuk memperpendek proses pengeringan saat pengeringan menggunakan tungku konvensional. Namun bila kondisi cuaca hujan atau mendung, pengeringan tetap dilakukan dengan menggunakan tungku konvensional. Namun lama waktu pengeringan menjadi lebih lama sekitar 25-36 jam pada kondisi temperature pengeringan sekitar 60 °C. Gambar 12 menunjukkan biji kakao basah sebelum dan sesudah pengeringan matahari. Perbedaan perubahan tekstur biji kakao sebelum dan sesudah pengeringan matahari selama 3 jam cukup signifikan, seperti ditampilkan pada Gambar 12. Pengeringan alami (matahari) menunjukkan tekstur yang khas untuk biji kakao produk export. Namun problem yang besar muncul pada saat panen dan pengeringan matahari adalah berbarengan dengan musim hujan di Lampung. Sehingga kendala produksi biji kakao banyak mengalami hambatan. Selain itu setelah panen, buah kakao tidak bisa disimpan dalam beberapa hari karena cepat busuk. Melalui Kemenristekdikti dalam kegiatan PkM IbM tahun 2016, khususnya di kab. Pesawaran desa Wiyono, Tim dosen Teknik Mesin Universitas Lampung telah membantu masyarakat petani kakao dengan mendesain ulang dan membangun tungku untuk kapasitas produksi yang lebih besar (0.5 ton) dalam satu kali proses pengeringan. Tungku modifikasi yang sudah dibuat dapat digunakan untuk pengeringan kakao yang kontinyu, karena bahan bangunan tungku dibuat dari bata api yang mampu bertahan selama 10 tahun.

BAB 7. KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Tungku pengering kakao kapasitas 0.5 ton dengan bahan bakar biomassa (kayu sengon) telah dirancang dan dibangun untuk meningkatkan kapasitas pengering kakao para petani di kakao di Desa Wiyono-Kab. Pesawaran-Propinsi Lampung. Efisiensi termal tungku dan kerugian panas yang terbuang dihitung berdasarkan kesetimbangan termodinamika. Konsumsi bahan bakar diharapkan menghasilkan penghematan meskipun ruang pengeringan tungku modifikasi telah diperbesar sekitar 50%. Penggunaan isolator keramik paper dan bata api SK32 ditujukan untuk mengurangi panas yang diserap oleh dinding ruang bakar maupun dinding ruang udara panas. Katup udara buang dibuat untuk mengatur sirkulasi temperatur udara panas dalam ruang sehingga temperatur pemanasan biji kakao dapat dikontrol. Tungku konvensional tidak dapat bertahan lama, usia pakai hanya sekitar 1.5 tahun dan harus diganti atau dibuat ulang dengan biaya hampir sama dengan membuat tungku yang baru. Desain yang optimal dari tungku pengering modifikasi dibuat sesuai dengan aplikasi untuk usia pakai sekitar 10 tahun. Kerugian panas melalui dinding tungku dan dinding udara panas, dan gas buang adalah poin kunci dari desain. Selain itu, penurunan konsumsi bahan bakar mengarah ke penurunan emisi gas rumah kaca lebih besar per tahun. Meskipun pembuatan tungku modifikasi mengeluarkan biaya modal investasi yang lebih tinggi, tetapi penghematan biaya energi konsumsi kayu bakar dan peningkatan produksi kakao kering dipersingkat, sehingga memberikan periode pengembalian modal lebih pendek sekitar 3.5 tahun.

7.2 Saran

Perlu dilakukan proses pengeringan biji kakao hybrid dengan memanfaatkan sinar matahari dan tungku biomassa. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi bila kebutuhan kayu bakar kering sulit diperoleh, karena umumnya proses pengeringan biji kakao dilakukan saat musim panen kakao (bulan Januari-Mei) yang berbarengan dengan musim hujan.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim 1, <http://pesawarankab.go.id/profil/letak-demografis/>, diakses pada tanggal 15 April 2015.

Anonim 2, Data statistik kecamatan Gedongtatan, diakses pada tanggal 15 April 2015.

Anonim 3, <http://ditjenbun.pertanian.go.id/pascapanen/berita-144-harga-jual-kakao-fermentasi-lebih-menguntungkan-.html>, diakses pada tanggal 15 April 2015.

Dirjen Perkebunan, 2014, Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kakao 2013 - 2015, Kementerian Pertanian.

The International Council of Forest and Paper Associations (ICFPA), 2006, Calculation Tools for Estimating Greenhouse Gas Emissions from Wood Product Facilities, National Council for Air and Stream Improvement, Inc. (NCASI) Research Triangle Park, NC, USA. (http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools/Wood_Products.pdf), diakses tanggal 10 oktober 2016.

Kurniawan, 2012, Karakteristik konvensional updraft gasifier dengan menggunakan bahan bakar kayu karet melalui pengujian variasi flow rate udara, Skripsi S, Fakultas Teknik, Departemen Teknik Mesin-Universitas Indonesia. (<http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20292765-S1480-Karakteristik%20konvensional.pdf>) (diakses tanggal 10 Oktober 2016).

Y. A. Cengel, 2003, *Heat Transfer: A Practical Approach*, 2nd ed., McGraw-Hill, ISBN 0072458933

J. Phusrimuang, T. Wongwuttanasatian, 2016, Improvements on thermal efficiency of a biomass stove for a steaming process in Thailand, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 98, pp. 196–202/

Standar Nasional Indonesia (SNI) SNI 2323, 2008, Biji Kakao, Badan Standardisasi Nasional (BSN).

Peace software, http://www.peacesoftware.de/einigewerte/luft_e.html, diakses tanggal 15 November 2016.

Herry Wardono, Harmen, dan M. Badaruddin, 2013, Laporan IbM Pembuat Gula Merah Desa Purworejo, Kecamatan Negerikaton, Kab. Pesawaran, Propinsi Lampung (dibiayai oleh Dirjen DIKTI – melalui Hibah IbM T.A. 2013).

Herry Wardono, Harmen, M. Badaruddin dan Br Simparmin Ginting, 2014, Pembuatan Tungku Hemat Bahan Bakar Triple Burner Untuk Usaha Kelompok Gula Merah Masyarakat Desa Tegal Sari, Kecamatan Gadingreio, Kabupaten Pringsewu, Laporan Pengabdian Kepada Masyarakat skim Lektor Kepala (dibiayai oleh DIPA BLU Universitas Lampung T.A. 2014).

- R. Hayati, Yusmanizar, Mustafri, H. Fauzi, 2012**, Kajian Fermentasi dan Suhu Pengeringan pada Mutu Kakao (*Theobroma cacao* L.), *Jurnal Keteknik Pertanian (JTEP)*, Vol. 46, pp. 129-135.
- N. C. MacManus, A.S. Ogunlowo, O.J. Olukunle, 2010**, Cocoa bean (*Theobroma cacao* L.) drying kinetics, *Chilean Journal of Agricultural Research*, Vol. 70, pp. 633-639.
- J. Alean, F. Chejne, B. Rojano, 2016**, Degradation of polyphenols during the cocoa drying process, *Journal of Food Engineering*, Vol. 189, pp. 99-105.
- S. F. Dina, H. Ambarita, F. H. Napitupulu, H. Kawai, 2015**, Study on effectiveness of continuous solar dryer integrated with desiccant thermal storage for drying cocoa beans, *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 5, pp. 32-40.
- C.L. Hii, C.L. Law, M. Cloke, 2009a**, Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa, *Journal of Food Engineering*, Vol. 90, pp.191-198.
- C.L. Hii, C.L. Law, M. Cloke, 2009b**. Determination of Effective Diffusivity of Cocoa Beans using Variable Diffusivity Model. *Journal of Applied Sciences*, Vol. 9, pp. 3116-3120.
- J. Rodriguez-Campos, H.B. Escalona-Buendía, I. Orozco-Avila, E. Lugo-Cervantes, M.F. Jaramillo-Flores, 2011**. Dynamics of volatile and non-volatile compounds in cocoa (*Theobroma cacao* L.) during fermentation and drying processes using principal components analysis, *Food Research International*, Vol. 44, pp. 250-258.
- J. Rodriguez-Campos, H.B. Escalona-Buendía, S.M. Contreras-Ramos, I. Orozco-Avila, 2012**. Effect of fermentation time and drying temperature on volatile compounds in cocoa, *Food Chemistry*, Vol.132, pp. 277-288.
- P. García-Alamillaa, M.A. Salgado-Cervantes, M. Barel, G. Berthomieu, G.C. Rodríguez-Jimenes, M.A. García-Alvarado, 2007**, Moisture, acidity and temperature evolution during cacao drying, *Journal of Food Engineering*, Vol.79, pp. 1159-1165.
- W. D. Callister, Jr., D.G. Rethwisch, 2009**, *Materials science and engineering: an introduction*.8th ed., John Wiley & Sons, Inc, USA (p. 133).
- T.S. Guehi, I.B. Zahouli, L.B. Koffi, M.A. Fae1, J.G. Nemlin, 2010**, Performance of different drying methods and their effects on the chemical quality attributes of raw cocoa material, *International Journal of Food Science and Technology*, Vol. 45, pp. 1564-1571.

LAMPIRAN 1



Gambar 13. (a-d) Foto-foto proses pembuatan ruang suplai udara panas dan zona pengeringan kakao, dan (e-f) foto-foto proses pembuatan ruang pembakaran kayu dan abu

LAMPIRAN 2



Gambar 14. Foto-foto (a) gambar tungku konvensional, (b) tungku modifikasi, (c) rak dan ruang pengering tungku modifikasi, (d) kondisi pengukuran temperatur transien, (e) pengukuran temperatur ruang bakar (~ 380 °C) pada kondisi transien, dan (f) Kondisi pengukuran temperatur pada ruang udara panas (oven) kondisi steady state

LAMPIRAN 3

Tabel 5. Hasil pengeringan biji kakao kondisi steady state

Temperatur (°C)	Lama pengeringan (jam)	Berat Awal (mg)			Berat air (mg)			Berat Akhir (mg)			Pengurangan Berat (mg)			Prosentase kehilangan air (%)		
		Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
80	1	3197.80	2823.90	2783.90	1460.12	1289.39	1271.13	2679.50	2456.50	2374.80	518.30	367.40	409.10	83.79%	86.99%	85.30%
	4	2709.90	3144.20	3341.00	1237.34	1435.64	1525.50	1569.60	1691.70	1789.80	1140.30	1452.50	1551.20	57.92%	53.80%	53.57%
	9	3115.60	3127.20	3515.30	1422.58	1427.88	1605.09	1367.50	1357.50	1473.60	1748.10	1769.70	2041.70	43.89%	43.41%	41.92%
	16	2528.40	3310.80	3032.90	1154.47	1511.71	1384.82	1052.80	1236.30	1257.90	1475.60	2074.50	1775.00	41.64%	37.34%	41.48%
	25	2968.80	3016.00	3526.00	1355.55	1377.11	1609.97	1158.70	1231.60	1257.50	1810.10	1784.40	2268.50	39.03%	40.84%	35.66%
70	1	2629.00	2559.00	3054.40	1200.40	1168.44	1394.64	2215.50	2247.80	2652.70	413.50	311.20	401.70	84.27%	87.84%	86.85%
	4	2524.20	2700.00	1819.70	1152.55	1232.82	830.88	1486.60	1616.60	901.10	1037.60	1083.40	918.60	58.89%	59.87%	49.52%
	9	2981.80	2990.20	2954.70	1361.49	1365.33	1349.12	1359.80	1396.40	1369.90	1622.00	1593.80	1584.80	45.60%	46.70%	46.36%
	16	2874.60	2295.20	2832.30	1312.54	1047.99	1293.23	1224.00	889.80	1158.80	1650.60	1405.40	1673.50	42.58%	38.77%	40.91%
	25	3354.30	2506.60	2890.90	1531.57	1144.51	1319.98	1299.90	935.60	1232.40	2054.40	1571.00	1658.50	38.75%	37.33%	42.63%
60	1	3218.70	2952.10	3318.80	1469.66	1347.93	1515.36	2984.20	2768.50	3090.50	234.50	183.60	228.30	92.71%	93.78%	93.12%
	4	2444.10	3662.80	3014.00	1115.98	1672.43	1376.19	1905.90	2723.40	2325.90	538.20	939.40	688.10	77.98%	74.35%	77.17%
	9	3266.60	3561.70	3316.20	1491.53	1626.27	1514.18	1798.00	2153.30	1962.70	1468.60	1408.40	1353.50	55.04%	60.46%	59.19%
	16	3246.60	3870.10	3336.90	1482.40	1767.09	1523.63	1873.90	1682.20	1545.60	1372.70	2187.90	1791.30	57.72%	43.47%	46.32%
	25	4085.00	3475.70	3768.90	1865.21	1587.00	1720.88	1474.60	1763.60	1354.10	2610.40	1712.10	2414.80	36.10%	50.74%	35.93%
50	1	3471.10	3256.80	3767.00	1584.90	1487.05	1720.01	3309.00	3066.90	3506.10	162.10	189.90	260.90	95.33%	94.17%	93.07%
	4	3233.40	3745.40	3406.80	1476.37	1710.15	1555.54	2683.70	3248.90	3047.70	549.70	496.50	359.10	83.00%	86.74%	89.46%
	9	4485.70	4312.70	3739.30	2048.17	1969.18	1707.36	3480.40	3131.00	2868.10	1005.30	1181.70	871.20	77.59%	72.60%	76.70%
	16	3464.10	3461.30	3624.40	1581.71	1580.43	1654.90	2041.80	1920.90	1958.90	1422.30	1540.40	1665.50	58.94%	55.50%	54.05%
	25	3158.90	3488.70	3885.90	1442.35	1592.94	1774.30	1715.90	1546.80	1812.40	1443.00	1941.90	2073.50	54.32%	44.34%	46.64%

LAMPIRAN 4

Tabel 6. Hasil pengeringan biji kakao selama kondisi transien

Temp. (C)	Berat awal (mg)			Berat Kakao kering (mg)			Berat air kering (mg)		
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
40	3696.9	2753.3	2579.9	1688	1257.16	1177.98	2008.9	1496.14	1401.92
49	2090	3184.7	2493	954.294	1454.13	1138.3	1135.71	1730.57	1354.7
57	3383.8	2758.6	2754	1545.04	1259.58	1257.48	1838.76	1499.02	1496.52
67	2478.9	2501.3	2744.2	1131.87	1142.09	1253	1347.03	1359.21	1491.2
73	3022.6	2482.4	2554.8	1380.12	1133.46	1166.52	1642.48	1348.94	1388.28
80	2260.8	2593.2	2685.5	1032.28	1184.06	1226.2	1228.52	1409.14	1459.3

Tabel 6. Lanjutan

Berat akhir (mg)			Pengurangan berat (mg)			Persen Pengurangan berat (%)		
Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
3551.7	2710	2455.4	1863.7	1452.84	1277.42	92.77%	97.11%	91.12%
1932.3	3093.2	2422	978.006	1639.07	1283.7	86.11%	94.71%	94.76%
3228.3	2676.5	2642.3	1683.26	1416.92	1384.82	91.54%	94.52%	92.54%
2326.3	2293	2708	1194.43	1150.91	1455	88.67%	84.67%	97.57%
2846.2	2308.8	2460.5	1466.08	1175.34	1293.98	89.26%	87.13%	93.21%
2108.5	2412	2428.2	1076.22	1227.94	1202	87.60%	87.14%	82.37%

LAMPIRAN 5

Tabel 7. Pengeringan biji kakao dengan matahari selama 3 jam

Kode Sampel	Temp. awal (C)	Berat Awal (mg)	Berat akhir (mg)	Temp. akhir (C)	Pengurangan Berat (mg)	Berat air (mg)	Berat biji kering	Pengurangan berat air (mg)	Pengeringan Kadar air sisa (%)
Sampel 1	36.8	2955.9	1785.2	49.30	1170.7	1606.24	1349.66	435.54	27.1%
Sampel 2		3010.4	1803.4		1207	1635.85	1374.55	428.85	26.2%
Sampel 3		3161.8	1916.2		1245.6	1718.12	1443.68	472.52	27.5%
Sampel 4		2863.7	1682.6		1181.1	1556.13	1307.57	375.03	24.1%
Sampel 5		2943.1	1684.1		1259	1599.28	1343.82	340.28	21.3%
Sampel 6		3314.3	1954.9		1359.4	1800.99	1513.31	441.59	24.5%
Sampel 7		3396.2	2100		1296.2	1845.50	1550.70	549.30	29.8%
Sampel 8		3304.7	1938		1366.7	1795.77	1508.93	429.07	23.9%
Sampel 9		3295.4	1860		1435.4	1790.72	1504.68	355.32	19.8%
Sampel 10		3392.1	2060.1		1332	1843.27	1548.83	511.27	27.7%



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT (LPPM)
Gedung Rektorat Lantai 5, Jalan Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145
Telepon/Fax (0721) 705173, Fax : (0721) 773798, e-mail : lppm@kpa.unila.ac.id

SURAT TUGAS

Nomor : 430.18 /UN26/8/DT/2016

Berdasarkan Surat Penugasan Pengabdian Hibah Ipteks bagi Masyarakat Tahun Anggaran 2016. Nomor : 391/UN26/8/LPPM/2016, Tanggal 6 Juni 2016 dengan ini Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Lampung memberikan tugas kepada :

Ketua Tim : Muhammad Badaruddin, Ph.D., M.Sc.
NIDN : 0011127202
Anggota : Ahmad Su'udi., M.T.
NIDN : 0016087403
Anggota : A. Yudi Eka Risano, S.T., M.Eng.
NIDN : 0215077601

untuk melaksanakan kegiatan pengabdian kepada masyarakat dengan judul : “ **IbM Peningkatan Produktifitas Kakao melalui Rancang Bangun Tungku Biomassa Hemat Bahan Bakar** “.

Demikian surat tugas ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 8 Juni 2016
Ketua LPPM,



Warsono, Ph.D.
NIP 196302161987031003

Tembusan :
Dekan FT Unila

PENINGKATAN EFISIENSI TERMAL TUNGKU BIOMASA UNTUK PROSES PENGERINGAN BIJI KAKAO DI DESA WIYONO KABUPATEN PESAWARAN PROVINSI LAMPUNG

Mohammad Badaruddin¹, Ahmad Yudi Eka Risano¹, Ahmad Suudi¹

¹Jurusan Teknik Mesin-Fakultas Teknik, Universitas Lampung

mbruddin@eng.unila.ac.id

yudi.eka@eng.unila.ac.id

ahmad.suudi@eng.unila.ac.id

Abstrak

Tungku modifikasi dirancang dan dibuat untuk mengeringkan biji kakao dengan bahan bakar biomasa. Tujuan pembuatan tungku modifikasi adalah untuk meningkatkan produksi 0.5 ton biji kakao. Efisiensi termal tungku ditentukan dan dibandingkan dengan tungku konvensional menggunakan bahan bakar kayu karet. Bahan dinding ruang bakar dan ruang suplai udara panas (oven) masing-masing dibuat dari bata api SK32 dan ceramic paper, dan lapisan dinding luar dibuat dari bata merah plester semen. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi tungku modifikasi meningkat sebesar 23.78% dibandingkan tungku konvensional. Konsumsi bahan bakar diturunkan sebesar 25% (25 kg) dengan biaya penghematan sebesar 1.8 juta/tahun. Selain itu, biaya modal pengembalian pembuatan tungku dapat dicapai setelah periode 3.5 tahun dengan usia pakai tungku selama 10 tahun. Data rasio kadar air biji kakao terhadap lama pengeringan diperoleh untuk memprediksi laju difusi uap air (difusitas efektif, D_e) keluar dari biji kakao. Nilai D_e yang diperoleh berkisar 2.03×10^{-10} sampai $4.55 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ untuk kisaran temperatur pengeringan 50-80 °C.

Kata kunci: tungku biomasa, biji kakao, termal efisiensi, difusitas efektif

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Pesawaran memiliki perkebunan kakao dengan luas 9,023 Ha dengan produksi kakao sebesar 2,969 ton per tahun [1]. Sejumlah petani kakao mengembangkan sistem pengeringan menggunakan tungku pengering berbahan bakar kayu, karena lebih menguntungkan daripada dengan pengeringan matahari. Pengeringan biji kakao dengan sinar matahari membutuhkan waktu yang lama (sekitar 7 hari) dengan kadar air akhir hanya ~12% dan tergantung pada keadaan cuaca. Pengeringan biji kakao adalah proses pasca panen terakhir, yang menggunakan pemanas udara untuk mengurangi kadar air dalam biji kakao menjadi ~7.0% (w/w) [2].

Produksi kakao melalui pengeringan paksa dalam oven [3] menjadi pilihan utama karena proses produksinya lebih cepat. Pengeringan dengan memanfaatkan tenaga surya (solar dryer) [4], dan pengeringan dengan menggunakan batch dryer [5] sudah banyak dikembangkan. Namun kapasitas produksi biji kakao yang dihasilkan dari kedua metode tersebut masih rendah. Pengeringan udara paksa dilakukan untuk meningkatkan produksi biji kakao saat panen kakao bersamaan datangnya musin hujan.

Saat ini tungku konvensional banyak digunakan oleh petani kakao di desa Wiyono Kab. Pesawaran (Gambar 1). Tungku tersebut dipakai untuk meningkatkan produksi biji kakao meskipun saat musim hujan (Bulan Januari-Mei). Hasil observasi pada tungku konvensional menunjukkan bahwa disain sistem pembakaran dan transfer panas ke ruang suplai udara panas (oven) belum optimal karena banyak panas yang keluar melalui ruang bakar (tungku) dari drum baja. Usia pakai tungku konvensional hanya bertahan 1–1.5 tahun karena mengalami kebocoran/kerusakan akibat korosi temperatur tinggi dan dinding oven mudah retak dan pecah, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Disain ruang oven yang dibuat dari bata merah menyebabkan kehilangan panas yang tinggi akibat absorpsi dinding ruangan. Oleh karena itu, temperatur ruang oven yang diinginkan (70 °C) tidak tercapai. Kehilangan panas yang terjadi pada tungku konvensional berkontribusi rendahnya efisiensi termal tungku. Phusrimuang dan Wongwuttanasatian [6] telah meningkatkan efisiensi tungku konvensional untuk proses memasak beras merah di Thailand dengan menggunakan dinding ganda yang diisi dengan sekam padi. Berrueta dkk., [7] mempelajari tungku biomasa tradisional menggunakan bata dan semen untuk

dinding tungku di Meksiko. Efisiensi termal tungku yang diuji menggunakan standar air mendidih menunjukkan efisiensi termal sekitar 30%.



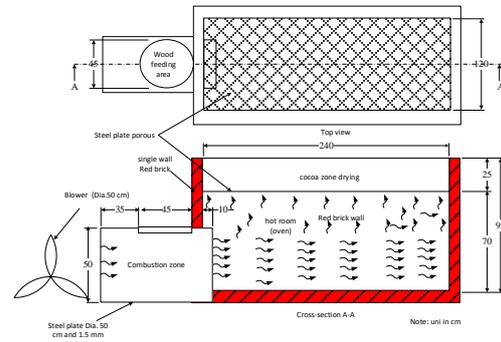
Gambar 1. Foto makroskopis kondisi real tungku pengering kakao konvensional

Sekarang ini pengembangan tungku berdasarkan fitur dan desain yang lebih baik meliputi isolasi dinding, aliran udara paksa dan material yang tahan lama untuk menghasilkan pembakaran yang lebih bersih, rendah emisi, tahan lama, efisien, aman dan biaya pembuatan murah [8]. Oleh karena itu, tungku pengering biji kakao dirancang dan dibangun untuk meningkatkan produktivitas biji kakao, penghematan biaya produksi, efisiensi termal tungku, dan menurunkan emisi gas buang.

2. METODE PENELITIAN

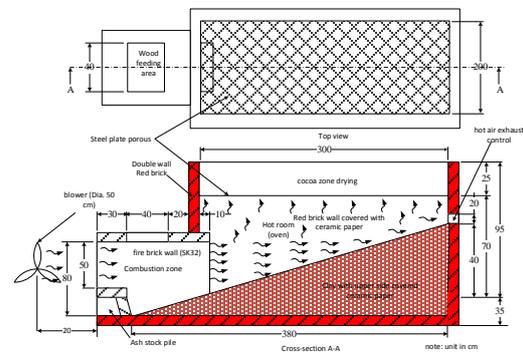
Desain tungku konvensional yang dibuat oleh petani kakao dari bata plester semen dengan dinding persegi panjang memiliki dimensi 1.20 m × 2.40 m × 0.95 m (W × L × H) (Gambar 2.), tanpa cerobong asap atau lobang kontrol udara panas. Ruang bakar terbuat dari drum baja diameter 50 cm dan tebal sekitar 1.5 mm (Gambar 1). Tidak ada tempat pembuangan

abu sisa pembakaran kayu. Selama proses pengeringan, udara panas dari ruang pembakaran dialirkan secara paksa menggunakan blower diameter 50 cm.



Gambar 2. Desain dan ukuran tungku pengering kakao konvensional

Tungku baru dirancang bertujuan untuk meningkatkan transfer panas dari ruang bakar ke ruang oven. Agar udara panas cepat keluar dari oven melalui rak, volume oven diperkecil melalui pembuatan lantai oven yang dimiringkan 45° mulai dari ruang tungku sampai ujung dinding belakang (Gambar 3). Desain tungku baru secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 3, dan hasil pembangunan tungku modifikasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Desain dan ukuran tungku pengering modifikasi

Beberapa modifikasi dilakukan pada tungku konvensional lama, yaitu: (1) diameter lobang control pada dinding belakang (0.2 m) dengan tujuan untuk mengontrol laju aliran gas buang dalam oven, (2) ruang bakar dibuat dengan volume 0.55 m³, dan (3) ruang bakar agak menjorok kedalam dengan ukuran 0.5 m × 0.8 m (W × L) dan ruang pembuangan abu dibuat agar tungku dapat beroperasi secara kontinu. Secara lengkap perbandingan kedua tungku dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan tungku konvensional dengan tungku modifikasi

Kriteria	Tungku konvensional	Tungku modifikasi
Dimensi ruang udara panas (m) (W×L×H)	1.1 × 2.4 × 0.70	2.0 × 3.0 × 0.70
Dimensi ruang bakar (m) (W×L×H)	0.9 × 0.5 × 0.5 × 3.14	0.5 × 0.6 × 0.5
Kontrol udara panas	Tidak ada	ada
Mulut ruang bakar	Ada/kecil luasnya	Ada/lebar luasnya
Tempat pembuangan abu	Tidak ada	Ada
Proses pengeringan	Sekitar 9-25 jam	Terus menerus
Dinding ruang bakar	Pelat baja tebal 1.5 mm, Nilai K tinggi	Bata api SK32 + ceramik wool K = 0.155 W/mK
Dinding ruang oven	Bata merah plester semen, K = 1.2 W/mK	Bata merah ganda bagian dalam dilapisi ceramik wool K= 0.09 W/mK



Gambar 4. Tungku pengering biji kakao modifikasi

Pengambilan data untuk analisis efisiensi termal tungku modifikasi meliputi: pengukuran temperatur dalam ruang bakar, dinding dalam oven, temperatur sekitar ruang bakar (temperatur ambang), kecepatan angin dari blower dengan alat anemometer. Proses pengeringan biji kakao dilakukan untuk mengukur perubahan rasio kadar air berat basah (%) terhadap variasi temperatur 50-80 °C dan lama pengeringan 1-25 jam. Secara lengkap data-data yang diperoleh selama simulasi pengujian tungku konvensional dan modifikasi ditampilkan pada Tabel. 2.

Beberapa buah kakao kondisi matang diambil bijinya untuk simulasi proses pengeringan. Biji kakao yang masih segar ditimbang dan dilakukan uji kadar air sesuai standar SNI 232-2008 [2]. Sampel biji kakao ditimbang dengan timbangan analitik dengan presisi 0.1 mg. Setelah penimbangan berat awal biji kakao, kemudian sampel diletakan di atas rak ruang pengering pada lokasi yang berbeda. Proses pengeringan dilakukan dalam kondisi steady state (temperatur dalam ruang oven konstan: 50, 60, 70 dan 80 °C), dan kondisi transien dilakukan pada saat awal pengeringan (~25 °C) sampai temperatur mencapai 80 °C selama 1 jam. Plot data rasio kadar air terhadap

waktu pengeringan pada temperatur yang berbeda, digunakan untuk menentukan difusitas efektif biji kakao.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Efisiensi Termal Tungku Pengering Biji Kakao

Analisis efisiensi termal dan keseimbangan energi dilakukan pada tahap proses pengeringan kakao dengan menggunakan tungku konvensional dan tungku modifikasi. Perhitungan efisiensi kedua tungku pengering menggunakan persamaan (1) [9]:

$$\eta = \frac{(m_c C_{p,c} \Delta T) + (m_e L_w)}{m_f \times LHV} \quad (1)$$

Bahan bakar kayu yang digunakan sebagai sumber panas biomasa adalah jenis kayu karet yang sudah dikeringkan. Kayu karet memiliki HHV sekitar 17,098 kJ/kg [10]. Kemudian LHV dihitung menggunakan hubungan berikut [11]:

$$LHV = HHV - 9\lambda H \quad (\text{kJ/kg})$$

Dimana, HHV adalah nilai kalor tinggi bahan bakar kering (kadar air nol), λ adalah Nilai panas laten penguapan air (2.31 MJ/kg pada 25 °C), dan H adalah prosentase hidrogen dalam kayu (~6%) [6].

Oleh karena itu, LHV ditentukan dari:

$$LHV = 17,098 - 9 \times (2.31 \text{ MJ/kg}) \times (0.06) = 15,851 \text{ kJ/kg}$$

Persamaan untuk panas masuk dan keluar dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut: Panas masuk dihitung menggunakan persamaan (2) [9]:

$$Q_1 = m_f \times LHV \quad (2)$$

Tabel 2. Parameter yang diukur untuk analisis unjuk kerja kedua tungku

Parameter	tungku konvensional	tungku modifikasi
Temperatur dinding dlm kiri, T_{wi} (°C)	45.66	36.0
Temperatur dinding dlm kanan, T_{wn} (°C)	48.12	35.8
Temperatur dinding dlm belakang, T_{wb} (°C)	55.17	38.9
Temperatur udara dlm tungku, T_g (°C)	270.7	380.5
Temperatur ambang, T_a (°C)	37.3	35.2
Temperatur biji kakao steady state, (°C)	60	70
Kec. Gas buang, V_f (m/s)	10.0	8.10
Luas penampang tungku, (m ²)	0.2	0.25
Lama pengeringan biji kakao, (jam)	16	16
Massa biji kakao basah, m_k (kg)	272.32	544.64
Kadar air akhir setelah pengeringan, (%)	10	7
Massa air dalam biji kakao basah, m_c (kg)	124.34	295.96
Massa evaporasi uap air dalam biji kakao, m_e (kg)	134.16	277.24
Nilai panas laten uap air, L_w (kJ/kg)	2648.62	2617.65
Massa jenis gas buang, ρ (m ³ /kg)	1.0606	1.0291
Kapasitas udara panas, C_p (kJ/kg K)	1.0327	1.0562
Massa kayu bakar yang tersisa (kg)	5.8	1.3
Biaya pembuatan oven, (Rp)	5,000,000.00	15,000,000.00

Panas yang ditransfer ke biji kakao dapat ditentukan dengan persamaan (3) [9]:

$$Q_2 = (m_c C_{p,c} \Delta T) + (m_e L_w) \quad (3)$$

Berat biji kakao sebelum dan sesudah pengeringan diukur untuk menentukan kehilangan berat air. Panas masuk dari ruang bakar ke dalam oven ditentukan dengan persamaan (4)

$$Q_3 = \rho \times A_s \times V_f \times C_p \times (T_g - T_a) \quad (4)$$

Densitas udara panas pada temperatur tertentu dihitung dengan persamaan (5) [12]:

$$\rho = 12.701 \left(\frac{273}{T_g} \right) \times \left(\frac{10363+2.6}{10363} \right) \quad (5)$$

Kehilangan panas melalui konveksi dari setiap dinding ruang oven dapat didekati dengan menggunakan persamaan (6), (7) dan (8) [9]:

$$Q_4 = h_{aw} \times A_w \times (T_w - T_a) \quad (6)$$

$$h_{aw} = \left[0.28 \times \left(\frac{\Delta T_w}{L} \right)^{0.25} \right] \times 5.678 \quad (7)$$

Kehilangan panas melalui radiasi dihitung dengan menggunakan persamaan (8) [9]:

$$Q_5 = \sigma \times \varepsilon \times A_w (T_w^4 - T_a^4) \quad (8)$$

Kehilangan panas karena karbon tidak terbakar dihitung dengan persamaan (9) [6]:

$$Q_6 = (33,826 \times m_r) \times C_r \quad (9)$$

Jumlah karbon tidak terbakar ditentukan berdasarkan jumlah kayu yang tidak terbakar setelah dibersihkan dari abunya, dan kemudian ditimbang. Dimana m_r adalah massa kayu bakar yang tersisa setelah proses pengeringan (kg) dan C_r adalah jumlah karbon dalam kayu (~0.153) [10]. Kehilangan panas akibat kelembaban kayu dihitung menggunakan persamaan (10) [6]:

$$Q_7 = (m_f \times (\% \text{mois}_{\text{fuel}})) \times \left(2450 + (1.91 \times (T_g - T_a)) \right) \quad (10)$$

di mana % $\text{mois}_{\text{fuel}}$ adalah kadar air dari kayu karet (10.24%) [10].

Total kehilangan panas secara keseluruhan (Q_7) dinyatakan dalam persamaan (11):

$$Q_8 = \text{Panas dilepaskan dari bahan bakar} - \Sigma(\text{Panas yang digunakan} + \text{kehilangan panas})$$

$$Q_8 = Q_1 - (Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7) \quad (11)$$

Pengujian karakteristik perfromansi tungku modifikasi dilakukan dengan melakukan simulasi pembakaran kayu karet dalam ruang bakar. Prosedur proses percobaan tungku sama dengan prosedur proses pengeringan biji kakao.

Tabel 3. Analisis energi dan kerugian kalor pada tungku pengering biji kakao

Parameter	oven konvensional	oven modifikasi
Konsumsi bahan bakar, (kg)	100	75
Panas masuk, (kJ)	1,585,100	1,188,825
Panas yang ditransferkan ke biji kakao, (kJ)	376,996	726,653
Panas yang ditransfer ke ruang oven, (kJ)	682.99	716.06
Panas hilang oleh dinding, (kJ)	32916.30	1464.41
Panas hilang krn karbon tdk terbakar, (kJ)	30.02	6.73
Panas hilang krn kelembaban kayu, (kJ)	29,653	23,872
Kehilangan panas faktor lain, (kJ)	1,144,822	436,112
Efisiensi termal tungku pengering, (%)	23.78%	61.12%

Jumlah kayu bakar yang dihabiskan untuk mengeringkan biji kakao sebanyak ~0.3 ton adalah sekitar 100 kg kayu karet untuk satu kali proses pengeringan. Biasanya para petani setelah panen, langsung mengeluarkan biji kakao dari buahnya dan dihampar menggunakan terpal plastik, kemudian dikeringkan terlebih dahulu dengan panas matahari selama lebih kurang 3 jam. Proses pengeringan awal ini dilakukan saat cuaca panas (terik) untuk memperpendek proses pengeringan dengan tungku, selanjutnya pengeringan dilakukan menggunakan tungku konvensional (Gambar 1). Umumnya setelah proses ini, kadar air terakhir kakao sekitar 8-9% dengan lama proses pengeringan selama 24-36 jam. Setelah itu biji kakao dijual ke pengepul dengan harga sekitgar 20,000.-/kg.

Berdasarkan hasil pengukuran temperatur pada lokasi yang berbeda, diperoleh temperatur tertinggi 70-80 °C pada lokasi daerah tengah. Sedangkan temperatur 50-60 °C terukur pada daerah depan dekat ruang bakar. Perbedaan temperatur pada lokasi yang berbeda ini disebabkan oleh hembusan angin yang berasal dari blower dari mulut tungku dan kontinuitas proses pembakaran kayu dalam ruang bakar. Biasanya ini terjadi selama 1-6 jam. Untuk mengatasi masalah ini biasanya operator pengering melakukan pengadukan.

Pengaturan temperatur yang diinginkan dalam oven 50 °C, 60 °C, 70 °C, dan 80 °C dapat dilakukan dengan mengurangi jumlah kayu yang dibakar dan mengatur kecepatan aliran udara dari blower masuk ke ruang oven.

Selain itu pada tungku modifikasi lobang kecil ukuran diameter 0.2 m dibuat pada dinding belakang dengan tujuan untuk mengatur sirkulasi temperatur bila temperatur dalam tungku lebih dari 350 °C dan temperatur dalam oven melebihi temperatur pengeringan yang diperlukan. Tingginya temperatur dalam

ruang bakar karena bahan dinding tungku dibuat dari bata api SK34 dan bagian luar dilapisi *ceramic wool* dan kemudian dilapisi bata merah plester semen. Oleh karena itu, panas yang diserap oleh dinding tungku sangat rendah. Selain itu, temperatur dalam oven juga tidak banyak mengalami penurunan akibat konveksi dan radiasi panas yang diserap oleh dinding oven. Hal ini karena dinding oven dilapisi oleh ceramic paper dengan nilai emisifitas 0.75. Pengaturan temperatur dalam oven dapat dilakukan dengan membuka dan menutup lobang control temperatur. Selain itu, operator pengering (petani) biasanya menambahkan kayu bakar ke dalam tungku secara rutin setiap 15-30 menit, untuk menjaga api dan bara dalam tungku tidak terlalu besar dan cepat habis karena terbakar. Pada kondisi ini biasanya temperatur dalam oven sudah mencapai kondisi steady state. Bila kondisi ini sudah tercapai, operator pengeringan hanya melakukan pengadukan beberapa kali dalam satu jam.

Hasil perhitungan kesetimbangan termodinamika tungku konvensional dan tungku modifikasi menggunakan persamaan (1) sampai persamaan (11) ditampilkan pada Tabel. 3. Hasil menunjukkan bahwa konsumsi penggunaan tungku modifikasi untuk mengeringkan sekitar 0.5 ton biji basah kakao menurun sampai 25 kg atau menurun 25%. Nilai kalor yang dibutuhkan untuk mengeringkan biji kakao dengan kadar air 7 % berat kering lebih besar ~349,657 kJ. Hal ini disebabkan peningkatan kapasitas produksi pengeringan kakao sebesar 0.2 ton biji kakao basah. Jumlah kalor yang masuk ke oven juga lebih besar ~33.07 kJ. Penurunan kehilangan panas karena absorpsi dinding oven sebesar ~31,452 kJ. Penurunan kalor karena proses konveksi dan radiasi dinding dalam oven yang dibuat dari bahan keramik insulasi. Pembuatan

ruang penampungan abu kayu bakar memberikan pengaruh yang besar pada penurunan karbon yang tidak terbakar pada ruang bakar. Oleh karena itu, kerugian karbon yang tidak terbakar menurun sebesar ~23.29 kJ atau turun sebesar 77.59%.

Hasil konsumsi kayu bakar yang lebih rendah berkontribusi terhadap kerugian kalor akibat kelembaban kayu bakar turun sebesar ~5,781kJ atau sebesar 19.49%, sebagaimana ditabulasikan pada Tabel 3. Disamping itu, kerugian panas akibat faktor lain mengalami kenaikan sebesar ~5,781 kJ (19.49%), seperti ditampilkan pada Tabel 3. Hal ini disebabkan oleh panas yang diserap rak penyangga dari baja siku dan rak pelat baja berlobang dalam oven. Jumlah penyangga rak pada tungku lebih banyak 10 batang, dan luas permukaan bentangan rak baja lebih luas 0.05 m² dibandingkan jumlah penyangga dan luas bentangan rak baja pada tungku konvensional.

Secara keseluruhan efisiensi termal tungku modifikasi lebih tinggi (~61.12%) dibandingkan tungku konvensional (~23.78%). Secara keseluruhan efisiensi tungku pengering kakao modifikasi meningkat 37.34%.

3.2. Analisis Ekonomi

Tungku modifikasi dirancang menghabiskan biaya pembangunan sekitar Rp. 15,000,000.00 sedangkan tungku konvensional dibangun dengan biaya hanya Rp. 5,000,000.00. Satu kali proses pengeringan kakao 0.3 ton menggunakan tungku konvensional menghabiskan 100 kg kayu bakar. Jika harga kayu bakar karet per kg adalah Rp. 2,000.00. Maka biaya bahan bakar setiap kali proses pengeringan Rp. 200,000.00. Sebaliknya konsumsi kayu bakar diperlukan untuk satu kali proses pengeringan kakao menggunakan tungku modifikasi dengan kapasitas 0.5 ton, diharapkan hanya menghabiskan 70%–75% kayu bakar dibandingkan total kayu bakar yang dihabiskan menggunakan tungku konvensional. Jadi perkiraan penghematan penggunaan kayu bakar sekitar Rp. 50,000.00/satu kali proses pengeringan. Jika masa panen kakao sekitar bulan Januari sampai Mei (5 bulan) dan proses pengeringan dilakukan seminggu tiga kali, maka penghematan kayu bakar (*pkb*) dapat diperoleh sekitar Rp. 1,800,000.00.

Peningkatan produksi sebanyak 0.2 ton berat basah biji kakao kadar air 54.62% menjadi kadar air 7-8% menghasilkan berat akhir total

biji kakao sekitar 50% dari berat awal sebelum pengeringan. Bila harga jual biji kakao dengan kadar air 7-8% adalah Rp. 25,000.00/kg. Maka keuntungan peningkatan produksi biji kakao (*kppbk*) yang diperoleh petani sekitar Rp. 2,500,000.00. Periode pengembalian modal (*PM*) pembangunan tungku modifikasi dapat dihitung menggunakan persamaan (12) [6]:

$$PM = \frac{\text{Selisi biaya pembuatan tungku}}{pkb+kppbk} \quad (12)$$

Sehingga biaya pengembalian modal pembangunan tungku modifikasi pengering kakao adalah sekitar 3.5 tahun. Usia pakai tungku modifikasi diperkirakan adalah 10 tahun. Jadi para petani kakao akan mendapatkan tambahan penghasilan yang besar setelah tahun ke-empat sampai tahun ke-sepuluh.

3.3. Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca

Pengurangan emisi gas rumah kaca dianalisis berdasarkan pengurangan konsumsi bahan bakar. Karena performansi termal dari tungku pengering kakao ditingkatkan, maka penurunan konsumsi bahan bakar dan pengurangan emisi gas rumah kaca dapat dilakukan. Gas CO₂ dihasilkan dari pembakaran bahan bakar biomasa menimbulkan efek rumah kaca yang berdampak pada pemanasan global. Perhitungan emisi didasarkan pada fakta bahwa pembakaran kayu karet (biomasa) menyebabkan emisi gas rumah kaca setara dengan 104 × 10³ kg CO₂ per TJ HHV [11]. Ini dapat dinyatakan dengan persamaan (13):

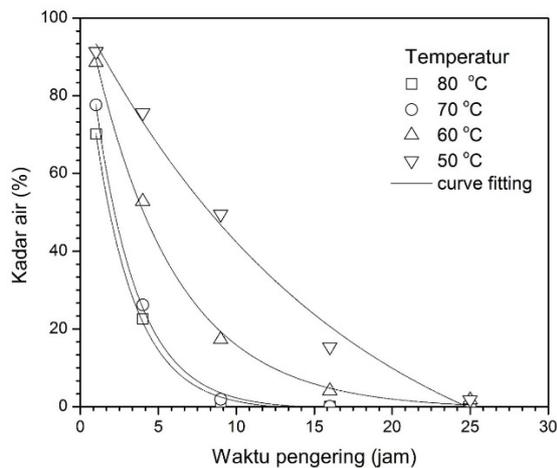
$$\text{Emisi gas rumah kaca} = (114.64 \text{ ton CO}_2/\text{TJ HHV}) \times m_{\text{kayu}} \times \text{HHV (TJ)} \quad (13)$$

Jika massa kayu bakar dapat dihemat sekitar 25 kg satu kali proses pengeringan biji kakao dengan menggunakan tungku modifikasi, yang hanya beroperasi selama musim panen kakao (5 bulan), maka total penghematan kayu bakar = 60 × 25 kg = 1500 kg. Sehingga penurunan emisi gas CO₂ ke atmosfer dapat dihemat sebesar = (114.65 ton CO₂/TJ HHV) × 1500 kg × 17,098 kJ/kg = (114.65 ton CO₂) × 0.025647 = 2.94 ton CO₂.

3.4. Analisa Kadar Air Biji Kakao Setelah Proses Pengeringan

Hasil pengujian kadar air sampel biji kakao basah dilakukan menurut SNI 232-2008 [2]. Kadar air awal biji kakao diperoleh sekitar 54.62%. Kadar air ini merupakan banyaknya air

yang terkandung dalam biji-bijian. Selain itu kadar air merupakan karakteristik dari biji-bijian yang dapat mempengaruhi sifat dan komposisi biji. Kadar air sampel biji kakao yang dikeringkan menggunakan tungku modifikasi pada temperatur 50-80 °C selama 1–25 jam ditampilkan pada Gambar 5. Kandungan air dalam biji kakao basah menurun seiring lama waktu pengeringan dan temperatur. Gambar 5 menunjukkan kurva karakteristik khas penurunan kandungan air dalam biji kakao setelah proses pengeringan.

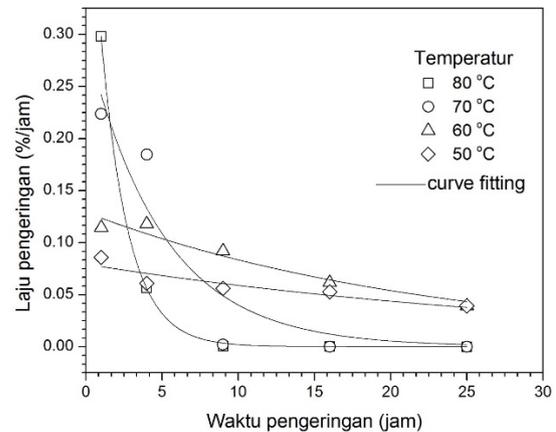


Gambar 5. Pengaruh temperatur dan waktu pengeringan terhadap rasio kadar air biji kakao kondisi steady state

Proses pengeringan yang kontinyu memainkan peranan penting dalam komposisi biji kakao kering. Kandungan polifenol dalam biji kakao sangat sensitif terhadap waktu dan temperatur pengeringan [13]. Pengeringan terlalu cepat berpengaruh terhadap produksi berlebihan asam, termasuk asam asetat yang merusak ke cita rasa, sementara hasil pengeringan terlalu lambat menghasilkan pH yang lebih rendah pada biji kakao [14,15]. Proses pengeringan tidak boleh terlalu cepat untuk menjaga kandungan asam yang dapat mengurangi cita rasa biji kakao setelah pengeringan [16]. Pengeringan cepat pada biji kakao menyebabkan jumlah kadar air menurun drastis yang berdampak pada kandungan asam asetat tidak dapat bermigrasi keluar dari dalam biji kakao [17]. Oleh karena itu terjadi penumpukan kandungan asam asetat pada kulit biji kakao. Di sisi lain, laju pengeringan terlalu lambat akan menghasilkan keasaman rendah, warna biji kakao yang coklat pudar.

Gambar 5 menunjukkan penurunan rasio kadar air yang cepat bila temperatur pengeringan berkisar antara 70-80 °C.

Sedangkan pada temperatur 60 °C, penurunan rasio kadar air menunjukan tingkat yang sedang. Penurunan rasio kadar air yang lambat dapat diamati pada biji kakao bila temperatur pengeringan 50 °C.



Gambar 6. Kurva laju pengeringan biji kakao pada variasi temperatur berbeda

Pengeringan biji kakao basah dengan panas matahari juga dilakukan untuk mengetahui tingkat laju pengeringan. Sampel 10 biji kakao yang sudah ditimbang, kemudian disebar diatas terpal plastik dan dijemur dengan panas matahari terik. Pengukuran temperatur biji kakao saat awal penjemuran pertama pada jam 9.30 WIB, adalah sekitar 36.3 °C. Setelah tiga jam kemudian temperatur biji kakao diukur sekitar 49.3 °C. Kadar air biji kakao setelah dijemur selama tiga jam sekitar 25.20% dengan laju pengeringan 411.93 mg/jam (8.4%/jam).

Laju pengeringan merupakan faktor yang sangat penting terhadap kualitas akhir biji kakao. Kurva pengeringan biji kakao basah pada kondisi kadar air awal 54.62% sampai ~7-12% dengan proses pengeringan kontinyu selama 1- 25 jam ditunjukkan pada Gambar 6. Gambar 6 menunjukkan kurva laju pengeringan dalam %/jam. Laju pengeringan yang cepat dapat dilihat untuk pengeringan biji kakao pada temperatur 70-80 °C, yaitu saat pengeringan 4 jam pada temperatur 80 °C dan saat 9 jam pada temperatur 70 °C. Selama periode waktu pengeringan berjalan 9-25 jam pada temperatur 70-80 °C, laju pengeringan berjalan sedikit konstan. Hal ini menunjukkan pengurangan kadar air dalam biji kakao sudah mencapai 7% atau lebih. Sedangkan laju pengeringan pada temperatur 50-60 °C, penurunan laju pengeringan berjalan lambat sampai periode pengeringan 25 jam.

Prosedur pengeringan kontinu pada interval waktu tertentu sampai rasio kelembaban kadar air yang diinginkan tercapai, maka tingkat pengeringan ditentukan oleh difusi uap air dari dalam biji kakao ke lapisan permukaan terluar. Proses difusi uap air selama proses pengeringan biji kakao dapat dinyatakan dengan hukum kedua Fick. Diasumsikan bahwa biji kakao dengan bentuk lonjong (bulat telur) dengan radius ekuivalen 0.00664 m [4]. Pada tingkat temperatur dan waktu pengeringan yang berbeda, difusi air dan molekul uap air pada biji kakao dapat ditentukan melalui difusitas efektif (D_e) uap air [18]. Melalui plot hubungan linier kurva $\ln MR$ (moisture ratio) terhadap waktu pengeringan (s), maka difusivitas efektif dapat ditentukan [5]. Slope kurva $\ln MR$ versus waktu pengeringan (s) (K_1) diperoleh, selanjutnya digunakan untuk menentukan difusitas efektif (D_e) menggunakan persamaan (14) [5]:

$$K_1 = \frac{\pi^2 D_e}{r^2} \quad (14)$$

Hasil perhitungan nilai difusivitas efektif biji kakao dari proses pengeringan oven berkisar 2.03×10^{-10} sampai $4.55 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Nilai difusitas efektif pada proses pengeringan biji kakao dalam kisaran temperatur 50-80 °C hampir sama dengan yang dilaporkan oleh MacManus dkk., [5]. Perbedaan sedikit nilai difusitas efektif mungkin disebabkan oleh perbedaan temperatur pengeringan (55-81 °C). Sedangkan nilai difusitas efektif yang dilaporkan oleh Hii dkk., [19] berkisar pada nilai 7.46×10^{-11} sampai $1.87 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ dari hasil pengeringan biji kakao pada temperatur 60-80 °C dalam oven sedikit lebih rendah, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai difusitas efektif biji kakao dengan pengeringan tungku modifikasi

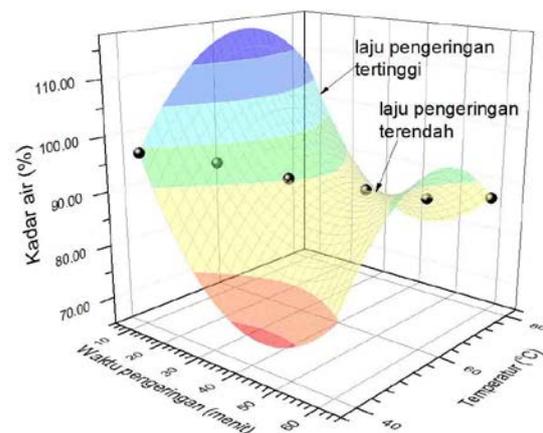
Efektif Difusitas	Temperatur pengeringan (°C)			
	80	70	60	50
$D_e \text{ (m}^2/\text{s)}$	4.55×10^{-10}	3.46×10^{-10}	2.31×10^{-10}	2.03×10^{-10}

Ketgantungan temperatur terhadap koefisien difusitas (D) dianggap penting bahwa difusivitas efektif bervariasi terhadap temperatur menurut Fungsi Arrhenius [20] dalam bentuk persamaan (15):

$$D_e = D \exp\left(-\frac{E}{R(T+273)}\right) \quad (15)$$

di mana D adalah koefisien difusivitas tergantung pada temperatur pengeringan, E adalah energi aktivasi untuk kelembaban difusi air dan uap air selama pengeringan, R adalah konstanta gas ($R = 8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$) dan T adalah temperatur pengeringan (°C). Plot $\ln D_e$ terhadap $1/T$ akan menghasilkan garis lurus (slope). Kemiringan kurva $\ln D_e$ versus $1/T$ dapat digunakan untuk memprediksi koefisien difusivitas dan energi aktivasi (E) dengan mengalikan nilai 8.314 J mol^{-1} dengan koefisien eksponensial. Temperatur mempunyai pengaruh paling besar pada difusitas efektif dan tingkat difusi air dalam biji kakao. Energi aktivasi dapat dianggap sebagai energi yang dibutuhkan untuk mengeluarkan 1 mol air dalam biji kakao melalui proses difusi. Maka persamaan Arrhenius untuk proses pengeringan biji kakao pada kisaran temperatur 50-80 °C, dapat dinyatakan dengan persamaan (16):

$$D_e = 3.49 \times 10^{-13} \exp\left(-\frac{E}{26055.8T}\right) \quad (16)$$



Gambar 7. Kurva proses pengeringan biji kakao basah kondisi transien

Pengaruh temperatur dan lama proses pengeringan biji kakao pada kondisi transien tidak bisa diabaikan. Jelas dari persamaan (3) kalor yang dibutuhkan untuk mengurangi kadar air dari temperatur awal (~25 °C) sampai temperatur ~70 °C pada kondisi transien cukup besar, ~87.00 kJ (dengan pengeringan tungku modifikasi). Kurva pengeringan biji kakao pada kondisi transien ditampilkan pada Gambar 7. Untuk menentukan pengaruh variabel temperatur dan waktu pengeringan, optimisasi variabel temperatur dan waktu dilakukan menggunakan polinomial kuadratik. Hasil kurva optimisasi ditampilkan bersama kurva pengeringan transien (Gambar. 7). Persamaan hasil optimisasi dijabarkan dalam persamaan (17):

$$z = -0.035 - 0.022x + 0.044y + 2.54 \times 10^{-4}x^2 - 3.43 \times 10^{-4}y^2 \quad (17)$$

Dimana z adalah kadar air (%) dalam biji kakao, x dan y masing-masing adalah variabel waktu dan temperatur pengeringan. Persamaan (17) dapat digunakan untuk mengetahui perubahan kadar air biji kakao terhadap temperatur dan waktu pengeringan dalam kondisi transien.

4. KESIMPULAN

Tungku konvensional pengering biji kakao kapasitas 0.3 ton hanya dapat dioperasikan selama 1.5 tahun. Disain dan bangunan dinding tungku modifikasi dibuat dari bahan-bahan keramik insulasi (SK32 dan ceramic paper), yang sesuai untuk aplikasi selama 10 tahun dengan kapasitas pengeringan biji kakao 0.5 ton. Kerugian kalor melalui dinding tungku dan dinding oven adalah poin kunci dari disain. Meskipun biaya modal pembuatan tungku modifikasi lebih mahal dibandingkan biaya pembuatan tungku konvensional. Namun periode pengembalian modal hanya butuh waktu selama 3.5 tahun. Selain itu, efisiensi termal tungku modifikasi ditingkatkan sebesar 37.34% dan penurunan emisi gas buang CO₂ sebesar 2.94 ton per tahun.

Hasil investigasi terhadap pengurangan rasio kadar air (%) dalam biji kakao selama proses pengeringan dengan variasi temperatur 50-80 °C selama 1-25 jam, berpengaruh terhadap difusitas efektif (D_e m²/s). Nilai D_e meningkat terhadap temperatur pengeringan dari 2.03×10^{-10} sampai 4.55×10^{-10} m²/s. Nilai D_e yang diperoleh dapat digunakan untuk mengontrol tingkat keasaman rendah dan kualitas rasa yang baik pada biji kakao selama proses pengeringan dengan udara panas paksa.

Nomenklatur

η	Efisiensi termal tungku (%)
LHV	Nilai rendah kalor kayu (biomasa) (kJ/kg)
$C_{p,c}$	konstanta kapasitas panas biji kakao (diasumsikan sama dengan air 4.18 kJ/kg °K)
ΔT	Perbedaan temperatur dari temperatur awal biji kakao ke temperatur kering (°C)
m_f	Massa kayu bakar yang digunakan dalam satu kali proses pengeringan (kg)
m_c	Massa air dalam biji kakao (prosentasi kadar air dalam berat basah biji kakao sebelum dikeringkan adalah 54.62%)
m_e	Massa evaporasi uap air (kg)
$C_{p,c}$	Nilai panas spesifik air (4.18 kJ/kg °C) [9]
L_w	Nilai kalor laten uap air (kJ/kg °C) [9]
A_s	Luas permukaan ruang pembakaran [m ²] (tungku konvensional $A_{sk} = (3.14 \times 0.5^2)/4 =$

$$0.2 \text{ m}^2 \text{ dan tungku modifikasi } A_{sm} = 0.5 \times 0.5 = 0.25 \text{ m}^2)$$

ρ	Densitas udara panas pada temperatur T dan tekanan atmosfer 1 atm (1.01325 bar)
V_f	Kecepatan udara panas masuk ke ruang oven (m/s)
C_p	Kapasitas udara panas (kJ/kg °K)
T_a	Temperatur ambang (°C)
T_g	Temperatur udara panas dalam tungku (°C)
h_{aw}	Koefisien transfer panas konveksi udara pada sisi dinding tungku [W/m ² °C]
A_w	Luas permukaan dinding tungku (m ²)
L	Tinggi dinding tungku (m)
T_w	Temperatur dinding (°C)
σ	Konstanta Stefan-Boltzmann (5.67×10^{-8} W/m ² K ⁴) [9]
ε	Emisivitas dinding oven, bata merah 0.93 dan bata api 0.75 [9]

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kemenristekdikti atas bantuan dana melalui program hibah PkM IBM 2016, dengan No. kontrak: 391/UN26/8/LPPM/2016.

5. REFERENSI

- [1] Dirjen Perkebunan, 2014, Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kakao 2013 - 2015, Kementerian Pertanian.
- [2] Standar Nasional Indonesia (SNI) 2323-2008, Biji Kakao, Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- [3] R. Hayati, Yusmanizar, Mustafiril, H. Fauzi, 2012, Kajian Fermentasi dan Suhu Pengeringan pada Mutu Kakao (*Theobroma cacao* L.), *Jurnal Keteknik Pertanian (JTEP)*, Vol. 46, pp. 129-135.
- [4] S. F. Dina, H. Ambarita, F. H. Napitupulu, H. Kawai, 2015, Study on effectiveness of continuous solar dryer integrated with desiccant thermal storage for drying cocoa beans, *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 5, pp. 32-40.
- [5] N. C. MacManus, A.S. Ogunlowo, O.J. Olukunle, 2010, Cocoa bean (*Theobroma cacao* L.) drying kinetics, *Chilean Journal of Agricultural Research*, Vol. 70, pp. 633-639.
- [6] J. Phusrimuang, T. Wongwuttanasatian, 2016, Improvements on thermal efficiency of a biomass stove for a steaming process in Thailand, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 98, pp. 196-202.
- [7] V.M. Berrueta, R.D. Edwards, O.R. Masera, 2008, Energy performance of

- wood-burning cookstoves in Michoacan, Mexico, *Renewable Energy*, Vol.33, pp.859-870.
- [8] M. Kumar, S. Kumar, S.K. Tyagi, 2013, Design, development and technological advancement in the biomass cookstoves: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 26, pp. 265-285.
- [9] Y. A. Cengel, 2003, Heat Transfer: A Practical Approach, 2nd ed., McGraw-Hill, ISBN 0072458933.
- [10] Kurniawan, 2012, Karakteristik konvensional updraft gasifier dengan menggunakan bahan bakar kayu karet melalui pengujian variasi flow rate udara, Skripsi S1, Fakultas Teknik, Departemen Teknik Mesin-Universitas Indonesia (<http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20292765-S1480-Karakteristik%20konvensional.pdf>) (diakses tanggal 10 Oktober 2016).
- [11] The International Council of Forest and Paper Associations (ICFPA), 2006, Calculation Tools for Estimating Greenhouse Gas Emissions from Wood Product Facilities, National Council for Air and Stream Improvement, Inc. (NCASI) Research Triangle Park, NC, USA. (http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/tools/Wood_Products.pdf), diakses tanggal 10 oktober 2016.
- [12] Peace software, http://www.peacesoftware.de/einigewerte/luft_e.html, diakses tanggal 15 November 2016.
- [13] J. Alean, F. Chejne, B. Rojano, 2016, Degradation of polyphenols during the cocoa drying process, *Journal of Food Engineering*, Vol. 189, pp. 99-105.
- [14] P. García-Alamillaa, M.A. Salgado-Cervantes, M. Barel, G. Berthomieu, G.C. Rodríguez-Jimenesa, M.A. García-Alvarado, 2007, Moisture, acidity and temperature evolution during cacao drying, *Journal of Food Engineering*, Vol.79, pp. 1159–1165.
- [15] T.S. Guehi, I.B. Zahouli, L.B. Koffi, M.A. Fae1, J.G. Nemlin, 2010, Performance of different drying methods and their effects on the chemical quality attributes of raw cocoa material, *International Journal of Food Science and Technology*, Vol. 45, pp. 1564–1571.
- [16] J. Rodriguez-Campos, H.B. Escalona-Buendía, S.M. Contreras-Ramos, I. Orozco-Avila, 2012. Effect of fermentation time and drying temperature on volatile compounds in cocoa, *Food Chemistry*, Vol.132, pp. 277-288.
- [17] J. Rodriguez-Campos, H.B. Escalona-Buendía, I. Orozco-Avila, E. Lugo-Cervantes, M.F. Jaramillo-Flores, 2011. Dynamics of volatile and non-volatile compounds in cocoa (*Theobroma cacao* L.) during fermentation and drying processes using principal components analysis, *Food Research International*, Vol. 44, pp. 250-258.
- [18] C.L. Hii, C.L. Law, M. Cloke, 2009a, Modeling using a new thin layer drying model and product quality of cocoa, *Journal of Food Engineering*, Vol. 90, pp.191-198.C.L.
- [19] C.L. Hii, C.L. Law, M. Cloke, 2009b. Determination of Effective Diffusivity of Cocoa Beans using Variable Diffusivity Model. *Journal of Applied Sciences*, Vol. 9, pp. 3116-3120.
- [20] W. D. Callister, Jr., D.G. Rethwisch, 2009, Materials science and engineering: an introduction. 8th ed., John Wiley & Sons, Inc, USA (p. 133).

Dr. M. Badaruddin (0011127202), Ahmad Yudi Eka Risano, M.Eng (0215077601), Ahamd Suudi, M.T/0016087403
Jurusan Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Lampung
Jalan Prof. S. Brojongoro, No. 1 Bandar Lampung-35145

ABSTRAK

Tungku modifikasi dirancang dan dibuat untuk mengeringkan biji kakao dengan bahan bakar biomassa. Tujuan pembuatan tungku modifikasi adalah untuk meningkatkan produksi 0.5 ton biji kakao. Efisiensi termal tungku ditentukan dan dibandingkan dengan tungku konvensional menggunakan bahan bakar kayu karet. Bahan dinding ruang bakar dan ruang suplai udara panas (oven) masing-masing dibuat dengan bata api SK32 dan ceramic paper, dan lapisan dinding luar dibuat dari bata merah plester semen. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi tungku modifikasi meningkat sebesar 23.78% dibandingkan tungku konvensional. Konsumsi bahan bakar diturunkan sebesar 25% (25 kg) dengan biaya penghematan sebesar 1.8 juta/tahun. Selain itu, biaya modal pengembalian pembuatan tungku dapat dicapai setelah periode 3.5 tahun dengan usia pakai tungku selama 10 tahun. Data rasio kadar air biji kakao terhadap lama pengeringan diperoleh untuk memprediksi laju difusi uap air (difusitas efektif, D_e) keluar dari biji kakao. Nilai D_e yang diperoleh berkisar 2.03×10^{-10} sampai $4.55 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ untuk kisaran temperatur pengeringan 50-80 °C.

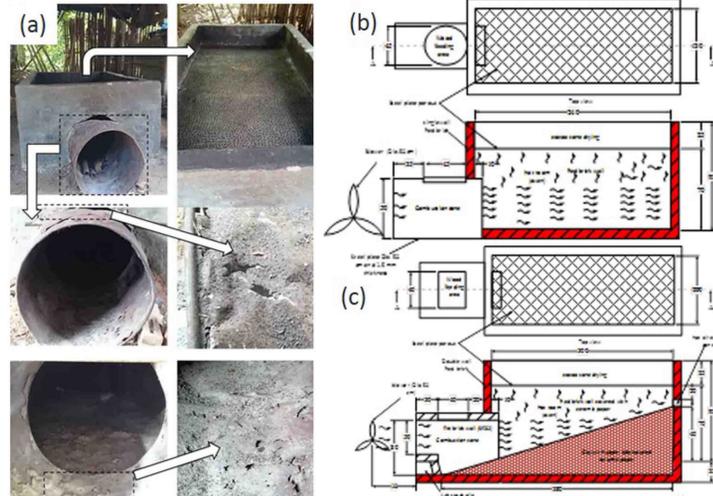
PENDAHULUAN

- Kabupaten Pesawaran menghasilkan produksi kakao sebesar 2,969 ton per tahun.
- Sejumlah petani kakao mengembangkan sistem pengeringan menggunakan tungku pengering berbahan bakar kayu, karena lebih menguntungkan daripada dengan pengeringan matahari.
- Produksi biji kakao melalui pengeringan paksa dalam oven, tenaga surya, dan batch dryer banyak dikembangkan. Namun kapasitas produksi biji kakao masih rendah.
- Saat ini tungku konvensional banyak digunakan petani kakao di desa Wiyono Kab. Pesawaran hanya bertahan 1-1.5 tahun karena mengalami kebocoran/kerusakan akibat korosi temperatur tinggi dan dinding oven mudah retak dan pecah, seperti ditunjukkan pada Gambar 1a.
- Sekarang ini pengembangan tungku berdasarkan fitur dan disain yang lebih baik meliputi isolasi dinding, aliran udara paksa dan material yang tahan lama untuk menghasilkan pembakaran yang lebih bersih, rendah emisi, tahan lama, efisien, aman dan biaya pembuatan murah. Oleh karena itu, tungku pengering biji kakao dirancang dan dibangun untuk meningkatkan produktivitas biji kakao, penghematan biaya produksi, efisien termal tungku, dan menurunkan emisi gas buang.

METODE

- Disain tungku konvensional yang dibuat dari bata plester semen dengan dimensi 1.20 m × 2.40 m × 0.95 m (Gambar 1b.), tanpa cerobong asap atau lobang kontrol udara panas. Ruang bakar terbuat dari drum baja diameter 50 cm dan tebal sekitar 1.5 mm (Gambar 1b). Tidak ada tempat pembuangan abu sisa pembakaran kayu.
- Tungku baru dirancang untuk meningkatkan transfer panas dari ruang bakar ke ruang oven. Agar udara panas cepat keluar dari oven melalui rak, volume oven diperkecil melalui pembuatan lantai oven yang dimiringkan 45° mulai dari ruang tungku sampai ujung dinding belakang (Gambar 1c). Disain tungku baru secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 1c, dan hasil pembangunan tungku modifikasi dapat dilihat pada Gambar 2a.
- Pengambilan data meliputi: pengukuran temperatur dalam ruang bakar, dinding dalam oven, temperatur sekitar ruang bakar (temperatur ambang), kecepatan angin dari blower dengan alat anemometer (Gambar 2b-d).
- Proses pengeringan biji kakao dilakukan untuk mengukur perubahan rasio kadar air berat basah (%) terhadap variasi temperatur 50-80 °C dan lama pengeringan 1-25 jam. Secara lengkap data-data yang diperoleh selama simulasi pengujian tungku konvensional dan modifikasi ditampilkan pada Tabel. 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 1. (a) Tungku konvensional, (b) desain tungku konvensional, dan (c) desain tungku modifikasi



Gambar 2. (a) Tungku modifikasi, (b) ruang dan rak pengering, (c) proses simulasi pengambilan data ruang bakar, dan (d) pengukuran temperature dalam oven

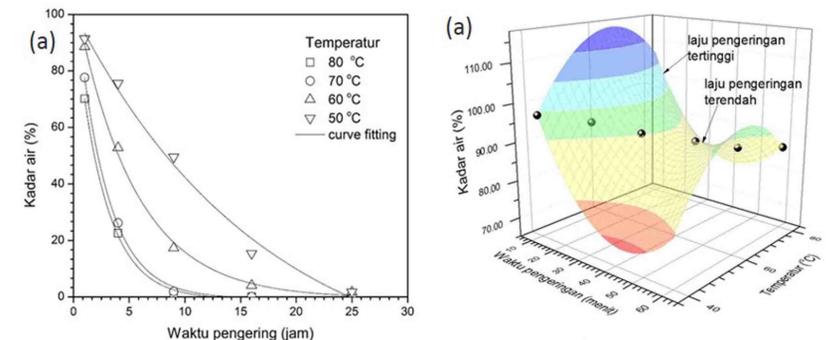
Tabel 1. Parameter yang diukur untuk analisis unjuk kerja kedua tungku

Parameter	tungku konvensional	tungku modifikasi
Temperatur dinding dlm kiri, T_{wi} (°C)	45.66	36.0
Temperatur dinding dlm kanan, T_{wn} (°C)	48.12	35.8
Temperatur dinding dlm belakang, T_{wb} (°C)	55.17	38.9
Temperatur udara dlm tungku, T_g (°C)	270.7	380.5
Temperatur ambang, T_a (°C)	37.3	35.2
Temperatur biji kakao steady state, (°C)	60	70
Kec. Gas buang, V_f (m/s)	10.0	8.10
Luas penampang tungku, (m ²)	0.2	0.25
Lama pengeringan biji kakao, (jam)	16	16
Massa biji kakao basah, m_k (kg)	272.32	544.64
Kadar air akhir setelah pengeringan, (%)	10	7
Massa air dalam biji kakao basah, m_c (kg)	124.34	295.96
Massa evaporasi uap air, m_e (kg)	134.16	277.24
Nilai panas laten uap air, L_w (kJ/kg)	2648.62	2617.65
Massa jenis gas buang, ρ (m ³ /kg)	1.0606	1.0291
Kapasitas udara panas, C_p (kJ/kg K)	1.0327	1.0562
Massa kayu bakar yang tersisa (kg)	5.8	1.3
Biaya pembuatan oven, (Rp)	5,000,000.	15,000,000

Hasil perhitungan kesetimbangan termodinamika tungku konvensional dan tungku modifikasi ditampilkan pada Tabel. 2.

Tabel 2. Analisis energi dan kerugian kalor pada tungku pengering biji kakao

Parameter	oven konvensional	oven modifikasi
Konsumsi bahan bakar, (kg)	100	75
Panas masuk, (MJ)	1,58	1,19
Panas yang ditransferkan ke biji kakao, (kJ)	377.0	726,7
Panas yang ditransfer ke ruang oven, (kJ)	682.99	716.06
Panas hilang oleh dinding, (kJ)	32916.30	1464.41
Panas hilang krn karbon tdk terbakar, (kJ)	30.02	6.73
Panas hilang krn kelembaban kayu, (kJ)	29,653	23,872
Kehilangan panas faktor lain, (kJ)	1,144,822	436,112
Efisiensi termal tungku, (%)	23.78%	61.12%



Gambar 3. (a) Pengaruh temperature dan waktu pengerinan terhadap rasio kadar air biji kakao basah (kondisi steady state), (b) kondisi transien

- Efisiensi termal tungku modifikasi lebih tinggi meningkat 37.34%.
- Periode biaya pengembalian modal pembangunan tungku modifikasi sekitar 3.5 tahun dengan usia pakai tungku modifikasi 10 tahun.
- Penurunan emisi gas CO₂ ke atmosfer dapat dihemat sebesar 2.94 ton CO₂/tahun.
- Hasil perhitungan nilai difusivitas efektif biji kakao dari proses pengeringan berkisar 2.03×10^{-10} sampai $4.55 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ untuk range temperature 50-80 °C, berdasarkan analisis dari Gambar 3a.
- Pengeringan biji kakao dengan panas matahari selama 3 jam menghasilkan rasio kadar air sekitar 25.20% dengan laju pengeringan 411.93 mg/jam (8.4%/jam).
- Hasil kurva optimisasi dan persamaan hasil optimisasi dari analisis pengukur kadar air pada kondisi transien (Gambar 3b) adalah:
$$z = -0.035 - 0.022x + 0.044y + 2.54 \times 10^{-4}x^2 - 3.43 \times 10^{-4}y^2$$

KESIMPULAN

Tungku konvensional pengering biji kakao kapasitas 0.3 ton hanya dapat dioperasikan selama 1.5 tahun. Disain dan bangunan dinding tungku modifikasi dibuat dari bahan-bahan keramik insulasi (SK32 dan ceramic paper) untuk aplikasi selama 10 tahun dengan kapasitas pengeringan biji kakao 0.5 ton. Kerugian kalor melalui dinding tungku dan dinding oven adalah poin kunci dari disain. Meskipun biaya modal pembuatan tungku modifikasi lebih mahal. Namun periode pengembalian modal hanya butuh waktu selama 3.5 tahun. Efisiensi termal tungku modifikasi ditingkatkan sebesar 37.34% dan penurunan emisi gas buang CO₂ sebesar 2.94 ton per tahun.

Pengurangan rasio kadar air (%) dalam biji kakao selama proses pengeringan dengan variasi temperatur 50-80 °C selama 1-25 jam, berpengaruh terhadap difusitas efektif ($D_e \text{ m}^2/\text{s}$). Nilai D_e meningkat terhadap temperatur pengeringan dari 2.03×10^{-10} sampai $4.55 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Nilai D_e yang diperoleh dapat digunakan untuk mengontrol tingkat keasaman rendah dan kualitas rasa yang baik pada biji kakao selama proses pengeringan dengan udara panas paksa.

**IbM Peningkatan Produktifitas Kakao Melalui Rancang Bangun Tungku
Biomassa Hemat Bahan Bakar****Peneliti****MOHAMMAD BADARUDDIN**

Jurusan Teknik Mesin/Fakultas Teknik,
Universitas Lampung
mbruddin@eng.unila.ac.id

AHMAD YUDI EKA RISANO

Jurusan Teknik Mesin/Fakultas Teknik,
Universitas Lampung
yudi.eka@eng.unila.ac.id

AHMAD SUUDI

Jurusan Teknik Mesin/Fakultas Teknik,
Universitas Lampung
ahmad.suudi @eng.unila.ac.id

**Ringkasan Eksekutif**

Tungku modifikasi dirancang dan dibuat untuk mengeringkan biji kakao dengan bahan bakar biomasa. Tujuan pembuatan tungku modifikasi adalah untuk meningkatkan produksi 0.5 ton biji kakao. Efisiensi termal tungku ditentukan dan dibandingkan dengan tungku konvensional menggunakan bahan bakar kayu karet. Bahan dinding ruang bakar dan ruang suplai udara panas (oven) masing-masing dibuat dari bata api SK32 dan ceramic paper, dan lapisan dinding luar dibuat dari bata merah plester semen. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi tungku modifikasi meningkat sebesar 23.78% dibandingkan tungku konvensional. Konsumsi bahan bakar diturunkan sebesar 25% (25 kg) dengan biaya penghematan sebesar 1.8 juta/tahun. Selain itu, biaya modal pengembalian pembuatan tungku dapat dicapai setelah periode 3.5 tahun dengan usia pakai tungku selama 10 tahun.

Kata kunci: tungku biomasa, biji kakao, termal efisiensi, difusitas efektif

**TTG dan Publikasi**

1. Mohammad Badaruddin, Ahmad Yudi Eka Risano, Ahmad Suudi, Peningkatan efisiensi termal tungku biomasa untuk pengeringan biji kakao di desa Wiyono Kabupaten Pesawaran Provinsi Lampung, diajukan ke Jurnal Teknik Pertanian Lampung (terakreditasi DIKTI)
2. Tungku pengering biji kakao kapasitas 0.5 ton



Latar Belakang

Saat ini tungku konvensional banyak digunakan oleh petani kakao di desa Wiyono Kab. Pesawaran. Tungku tersebut dipakai untuk meningkatkan produksi biji kakao meskipun saat musim hujan (Bulan Januari-Mei). Hasil observasi pada tungku konvensional menunjukkan bahwa disain sistem pembakaran dan transfer panas ke ruang suplai udara panas (oven) belum optimal karena banyak panas yang keluar melalui ruang bakar (tungku) dari drum baja. Usia pakai tungku konvensional hanya bertahan 1–1.5 tahun karena mengalami kebocoran/kerusakan akibat korosi temperatur tinggi dan dinding oven mudah retak dan pecah, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Disain ruang oven yang dibuat dari bata merah menyebabkan kehilangan panas yang tinggi akibat absorpsi dinding ruangan. Oleh karena itu, temperatur ruang oven yang diinginkan ($70\text{ }^{\circ}\text{C}$) tidak tercapai. Kehilangan panas yang terjadi pada tungku konvensional berkontribusi rendahnya efisiensi termal tungku.



Metode

Disain tungku konvensional yang dibuat oleh petani kakao dari bata plester semen dengan dinding persegi panjang memiliki dimensi $1.20\text{ m} \times 2.40\text{ m} \times 0.95\text{ m}$ ($W \times L \times H$) tanpa cerobong asap atau lobang kontrol udara panas. Ruang bakar terbuat dari drum baja diameter 50 cm dan tebal sekitar 1.5 mm (Gambar 1a). Tidak ada tempat pembuangan abu sisa pembakaran kayu. Selama proses pengeringan, udara panas dari ruang pembakaran dialirkan secara paksa menggunakan blower diameter 50 cm.

Beberapa modifikasi dilakukan pada tungku konvensional lama, yaitu: (1) diameter lobang control pada dinding belakang (0.2 m) dengan tujuan untuk mengontrol laju aliran gas buang dalam oven, (2) ruang bakar dibuat dengan volume 0.55 m^3 , (3) ruang bakar agak menjorok kedalam dengan ukuran $0.5\text{ m} \times 0.8\text{ m}$ ($W \times L$) dan ruang pembuangan abu dibuat agar tungku dapat beroperasi secara kontinyu, dan (4) bahan dinding tungku dibuat dari bata api SK34 dan bagian luar dilapisi *ceramic wool* dan kemudian dilapisi bata merah plester semen. Bangunan tungku hasil dapat dilihat pada Gambar 1b.



Hasil dan Manfaat

Tungku konvensional pengering biji kakao kapasitas 0.3 ton hanya dapat dioperasikan selama 1.5 tahun. Disain dan bangunan dinding tungku modifikasi dibuat dari bahan-bahan keramik insulasi (SK32 dan ceramic paper), yang sesuai untuk aplikasi selama 10 tahun dengan kapasitas pengeringan biji kakao 0.5 ton.

Kerugian kalor melalui dinding tungku dan dinding oven adalah poin kunci dari disain. Biaya modal pembuatan tungku modifikasi lebih mahal dibandingkan biaya pembuatan tungku konvensional. Namun periode pengembalian modal hanya butuh waktu selama 3.5 tahun. Selain itu, efisiensi termal tungku modifikasi ditingkatkan sebesar 37.34% dan penurunan emisi gas buang CO_2 sebesar 2.94 ton per tahun.



Gambar 1. (a) Tungku konvensional kapasitas 0.3 ton, dan (b) tungku modifikasi kapasitas 0.5 ton

