

TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN TUNGKU BIOMASSA UNTUK PENDINGIN BIJI
KOPI TIPE ROTARY HYBRID**



**DJOKO UTOMO
19212014002**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS NAHDLATUL ULAMA AL GHAZALI CILACAP
CILACAP
2021**

PERNYATAAN ORISINILITAS TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : DJOKO UTOMO
NIM : 19212014002
Fakultas/Prodi : Fakultas Teknologi Industri/Teknik Mesin
Tahun : 2021
Judul Tugas Akhir : RANCANG BANGUN TUNGKU BIOMASSA
UNTUK PENGERING BIJI KOPI TIPE *ROTARY*
HYBRID

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini benar – benar orisinil/asli dibuat oleh saya sendiri, tidak ada pihak lain yang membuat tugas akhir ini, tidak ada unsur plagiat kecuali pada bagian – bagian yang disebutkan rujukannya. Jika suatu hari ditemukan adanya indikasi dibuat oleh pihak lain atau plagiat, maka saya bersedia menerima konsekuensi dari Institusi.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran tanpa ada paksaan.

Cilacap, 22 Desember 2021

Yang menyatakan



Djoko Utomo

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Sebagai Civitas Akademik Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap, saya yang

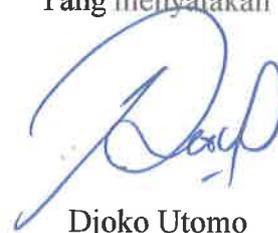
Nama : DJOKO UTOMO
NIM : 19212014002
Fakultas/Prodi : Fakultas Teknologi Industri/Teknik Mesin
Tahun : 2021
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali (UNUGHA) Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas tugas akhir saya yang berjudul: “RANCANG BANGUN TUNGKU BIOMASSA UNTUK PENERING BIJI KOPI TIPE *ROTARY HYBRID*” beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Adanya Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap (UNUGHA Cilacap) berhak menyimpan, mengelola dalam bentuk database, merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran tanpa ada paksaan.

Cilacap, 22 Desember 2021

Yang menyatakan



Djoko Utomo

PENGESAHAN

Tugas Akhir Saudara,

Nama : Djoko Utomo
NIM : 19212014002
Judul : Rancang Bangun tungku Biomassa untuk pengering Biji Kopi tipe Rotary Hybrid

Telah disidang Tugas Akhir oleh Dewan Penguji Fakultas Teknologi Industri Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali (UNUGHA) Cilacap pada hari / tanggal :

Rabu, 05 Januari 2022

Dan dapat diterima sebagai pemenuhan tugas akhir mahasiswa Program Strata 1 (S.1) Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri pada Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali (UNUGHA) Cilacap.

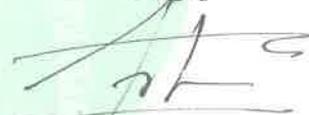
Mengetahui,

Penguji 1



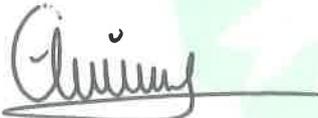
Frida Amriyati Azzizzah, M.Pd.
NIDN. 0607049101

Penguji 2



Fathurohman, ST., MT.
NIDN. 0609018102

Pembimbing 1/Ketua Sidang



Christian Soolany, S.TP., M.Si
NIDN. 0627128801

Pembimbing 2



Dhimas Oki Permata Aji, M.Pd.
NIDN. 0612109001

Cilacap, 27 Januari 2022

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknologi Industri



Christian Soolany, S.TP., M.Si.
NIDN. 0627128801

ABSTRAK

Kopi adalah salah satu komoditas unggulan di Indonesia yang tumbuh dengan subur. Salah satunya di Desa Cilumping Kecamatan Dayehluhur Kabupaten Cilacap. Kopi yang ditanam disana merupakan jenis kopi robusta. Salah satu permasalahan yaitu pada proses pengeringan biji kopi. Pengeringan yang dilakukan selama ini yaitu dengan pengeringan secara langsung dari matahari (*sun drying*). Metode ini mempunyai beberapa kelemahan yaitu membutuhkan lahan yang luas dan tergantung dari panas matahari, sehingga ketika musim penghujan membuat proses pengeringan menjadi lama dan tidak seluruh biji kopi kering merata. Pengeringan buatan sudah banyak dikembangkan diantaranya pengeringan model tipe rak dan tipe rotary. Penelitian ini lebih meneliti proses pengeringan secara rotary. Pada pengeringan tipe rotary salah satu faktor penentu adalah tungku pembakaran. Tujuan dari penelitian ini yaitu merancang tungku biomassa pada pengering biji kopi dengan kombinasi proses perpindahan panas (konduksi - koveksi) dari ruang pembakaran sampai dengan ruang pengering. Metodologi penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah perancang baku dengan terlebih dahulu melakukan indentifikasi karakteristik kopi, kemudian melakukan analisis pindah panas pada ruang pembakaran dan melakukan uji kinerja tungku pembakaran yaitu melakukan variasi dari jenis biomassa yang digunakan untuk bahan bakar. Biomassa yang digunakan adalah kayu bakar. Variabel analisis yang dikaji laju pembakaran, lamanya pembakaran, dan suhu yang dihasilkan pada ruang pembakaran. Tungku biomassa yang dirancang pada menghasilkan efisiensi tungku sebesar 20 % dengan konsumsi bahan bakar 2 kg/jam untuk proses pengering biji kopi selama 5 jam. Suhu yang terjadi diruang pembakaran diamati pada dua lokasi yaitu pada ruang pembakaran dan pipa *heat exchanger*. Suhu pada ruang pembakaran pada suhu asap masuk HE berkisar 120 °C – 245 °C. Suhu asap keluar HE berkisar 100 °C – 240 °C, suhu Pipa HE berkisar 70 °C – 101 °C, suhu udara bersih masuk HE berkisar 27 °C – 32 °C, suhu udara bersih keluar HE berkisar 40 °C – 57 °C

Djoko Utomo

Keyword : Biji Kopi, Pengeringan, Tungku Pembakaran

ABSTRACT

Coffee is one of the leading commodity in Indonesia that grows in the suburbs. One of them is in Cilumping Village, Dayehluhur District, Cilacap Regency. The coffee grown there is a type Robusta coffee. One of the problems is in the coffee bean drying process. Drying that has been done so far is by drying directly from the sun. This method has several disadvantages, namely it requires a large area and depends on the heat of the sun, so that during the rainy season the drying process takes a long time and not all coffee beans dry evenly. Artificial drying has been developed, including drying rack type and rotary type. This focused examines the rotary drying process. In rotary drying, one of the determining factors is the furnace. The purpose of this research is to design a biomass furnace in a coffee bean dryer with a combination of heat transfer processes (conduction – convection) from the combustion chamber to the drying chamber. The research methodology used in this study is a standard designer by first identifying the characteristics of coffee, then perform an analysis of heat transfer in the combustion chamber and perform a performance test of the furnace by varying the type of biomass used for fuel. The biomass used is firewood. The analytical variables studied were the rate of combustion, duration of combustion, and the resulting temperature in the combustion chamber. The biomass furnace designed to produce a furnace efficiency of 20% with fuel consumption of 2 kg/hour for the coffee bean drying process for 5 hours. The temperature that occurs in the combustion chamber is observed at two locations, namely in the combustion chamber and the heat exchanger pipe. The temperature in the combustion chamber at the HE intake smoke temperature ranges from 120 °C - 245 °C. The temperature of the smoke coming out of HE ranges from 100 °C - 240 °C, the temperature of the HE pipe ranges from 70 oC - 101 oC, the temperature of the clean air inlet of HE ranges from 27 °C - 32 °C, the temperature of the clean air exits the HE ranges from 40 °C - 57 °C

Djoko Utomo

Keyword : Biji Kopi, Pengerangan, Tungku Pembakaran.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT Yang Maha Mendengar lagi Maha Melihat dan atas segala limpahan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis yang berbentuk skripsi ini dengan judul “Rancang Bangun Tungku Biomassa Untuk Pengering Biji Kopi Tipe Rotary Hybrid”. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada baginda Nabi Besar Muhammad SAW beserta seluruh keluarga dan sahabatnya yang selalu eksis membantu perjuangan beliau dalam menegakkan Dinullah di muka bumi ini.

Penyusunan skripsi ini adalah merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Teknologi Industri Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap, Jawa Tengah

Tanpa segenap motivasi, kesabaran, kerja keras, dan do'a mustahil penulis sanggup untuk menjalani tahap demi tahap dalam kehidupan akademik penulis di Fakultas Teknologi Industri Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap .

Dengan segala kerendahan hati, ucapan terima kasih yang tak terhingga, wajib penulis berikan kepada:

1. Almarhum Ayahanda tercinta Bapak Tasmin dan almarhumah Ibunda tercinta Ibu Subiyanti yang sudah merawat, membesarkan dan selalu memberikan perhatian serta kasih sayangnya kepada penulis selama masa hidupnya.
2. Istri tercinta Hesty Puspitasari,S.IP yang selalu mendampingi dan memberikan supportnya sepanjang waktu dan untuk anak-anakku Shakila Aliyasari Utomo dan Fahreza Nareswara Utomo bercita-citalah setinggi langit dan wujudkanlah cita-citamu.
3. Bapak K.H. Nasrulloh Mukhson, M.H selaku Rektor Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap.
4. Bapak Christian Soolany, S.TP, M.Si selaku Pembimbing I dan Bapak Dhimas Oki Permata Aji, S.Pd, M.Pd selaku Pembimbing II, yang dengan ikhlas rela meluangkan waktu serta memberikan masukan dan arahan sampai penulisan skripsi ini selesai.

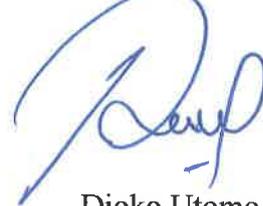
5. Rekan-rekan dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang sifatnya membangun dari berbagai pihak.

Semoga Allah SWT berkenan meridhoi segala apa yang telah kita lakukan dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat. Amin.

Cilacap, 22 Desember 2021

Penulis



Djoko Utomo

DAFTAR ISI

PERNYATAAN ORISINILITAS TUGAS AKHIR.....	ii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	iii
PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Penelitian.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Teori Perancangan.....	4
2.2. Tungku Biomassa.....	5
2.3. Teori Pembakaran Bahan Bakar Biomassa	10
2.5. Penukar Panas (<i>Heat Exchanger</i>).....	11
2.6. Analisis Perpindahan Panas.....	13
2.7. Efisiensi Tungku.....	16
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian.....	17
3.2. Alat dan Bahan.....	17
3.3. Prosedur Penelitian.....	18
3.4. Rancangan	19
3.5. Perhitungan Analisis Teknik.....	20
3.6. Parameter Pengukuran	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1. Tungku Biomassa.....	26
4.2. Uji Kinerja Tungku Biomassa	27

4.3. Profil Suhu hasil pengukuran	28
1. Profil Suhu Udara Pada Tungku	28
2. Profil Suhu Udara Pada <i>Heat Exchanger</i> (HE).....	29
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	31
5.1. Kesimpulan.....	31
5.2 .Saran	31
DAFTAR PUSTAKA.....	32
LAMPIRAN.....	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Alir Proses Perancangan	4
Gambar 2. Skema tungku briket	6
Gambar 3. Kestimbangan panas tungku.....	8
Gambar 4. Penukar Panas Arus Searah.....	11
Gambar 5. Penukar Panas Arus Berlawanan	12
Gambar 6. Penukar Panas Arus Bersilang	12
Gambar 7. Distribusi Suhu di dalam Penukar Panas Tipe Berlawanan	12
Gambar 8. Efektifitas Penukar Kalor Aliran Berlawanan Arah.....	16
Gambar 9. Prosedur Penelitian.....	19
Gambar 10. Rancangan Tungku Biomassa	20
Gambar 11. Tungku Biomassa Hasil Rancangan.....	26
Gambar 12. Kayu bakar untuk uji kinerja.....	28
Gambar 13. Suhu udara pada tungku biomassa	29
Gambar 14. Profil Suhu di HE.....	30

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Kopi adalah salah satu komoditas potensial yang menempati urutan ke lima dari segi ekspor andalan Indonesia dalam sektor perkebunan. Menurut data dari Asosiasi Eksportir Kopi, ekspor biji kopi (*green beans*) dengan kadar air 12.5 % mencapai 1.3 Juta ton/tahun (AEKI, 2014). Data juga menunjukkan bahwa Amerika Serikat, Jerman dan Jepang masih menjadi pasar tujuan utama bagi eksportir biji kopi Indonesia. Di dalam negeri, sebagian besar biji kopi di pasok untuk gerai-gerai penjualan minuman kopi (*coffee shop*). Kopi Robusta termasuk kopi yang sangat familiar ditanaman oleh petani kopi di Indonesia salah satunya ditanam di desa Cilumping Kecamatan Dayeuhluhur Kabupaten Cilacap.

Proses penanganan pasca panen kopi mempunyai pengaruh terhadap kualitas dari biji kopi yang dihasilkan. Salah satu tahapan dari proses pasca panen adalah pengeringan. Proses pengeringan merupakan salah satu tahapan dari proses pengolahan yang menentukan mutu kualitas dari biji kopi. Kelompok tani di desa Cilumping saat ini melakukan proses pengeringan secara konvensional, yaitu dengan menjemur biji kopi dibawah sinar matahari dengan menaruh biji kopi di lantai jemur dan para - para atau tampahan. Kendala dari metode penjemuran secara konvensional adalah waktu pengeringan yang lama, membutuhkan lokasi yang luas, dan selain itu profil cuaca tak menentu (mendung atau hujan) di dataran tinggi desa Cilumping. Hal ini dapat memperlambat proses pengeringan dan dapat menyebabkan kerusakan biji kopi akibat aktivitas mikroorganisme sehingga mutu biji kopi menjadi rendah.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan disain pengering dengan sistem pengaliran udara secara alami seperti metode efek cerobong. Kelebihan sistem ini adalah waktu pengeringan lebih cepat dan mudah diterapkan petani (Al-Naema MA, 2016). Prinsip aliran fluida alami dengan efek cerobong merupakan pengganti *blower* berfungsi untuk mensirkulasikan udara panas pada ruang pengering. (Mwithiga G, 2006) melakukan pengeringan biji kopi arabika menggunakan kolektor surya pelat datar dengan sistem *tracking* memanfaatkan

sumber panas dari energi surya. Sistem kerja pada pengering ini udara panas dari penyerapan iradiasi surya oleh kolektor surya dialirkan secara konveksi alami ke ruang pengering untuk mengeringkan biji kopi arabika dari kadar air 54.8 % bb hingga 13 % bb kisaran suhu pengeringan 37-70.4 °C dan waktu pengeringan selama 2 hari. Pengeringan mekanis membutuhkan waktu lebih singkat dari pada metode penjemuran membutuhkan waktu hingga 5-7 hari. Kendala dari sistem pengering ini adalah iradiasi surya berfluktuasi dan sangat bergantung pada waktu dan cuaca sehingga mempengaruhi penyerapan panas kolektor surya. Hal ini berdampak terhadap penurunan suhu ruang pengering dan mengakibatkan proses pengeringan bahan menjadi terhambat. Untuk itu mengatasi kendala pada pengering surya dapat diatasi dengan kombinasi pemanasan dari pembakaran biomassa menggunakan tungku. Selain itu sistem pengering kombinasi dapat dioperasikan tanpa mengkhawatirkan masalah perubahan cuaca dan dapat digunakan pada malam hari. Berdasarkan hal – hal tersebut, maka penelitian ini melakukan perancangan sistem pengering hybrid untuk biji kopi dengan fokus pada disain tungku biomassa. Dengan menfokus menghasilkan suhu panas yang tinggi untuk menghasilkan panas yang sesuai dengan target yang diharapkan pada pengeringan biji kopi.

1.2. Rumusan Masalah

Tungku biomassa memiliki peranan signifikan dalam proses pengering *hybrid* mesin pengering biji kopi. Kehilangan panas dari tungku biomassa kelingkungan dan ketercapaian suhu panas yang diinginkan menjadi permasalahan tersendiri dari pengembangan sistem pengering hybrid ini. Hal – hal yang perlu dijawab dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana merancang tungku biomassa yang memiliki efisiensi 20 % untuk mesin pengering *hybrid* biji kopi?
2. Bagaimana suhu panas yang dihasilkan untuk kedalam ruang pengering mampu mencapai suhu pengeringan yang diinginkan yaitu 40 – 50 °C?

1.3. Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah pada Penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini hanya akan fokus pada uji kinerja tungku biomassa pada proses pengeringan biji kopi.

2. Penelitian dilakukan dengan melakukan pengamatan pada kenaikan suhu dari setiap interval waktu selama 5 jam proses pengeringan.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menghasilkan rancang tungku biomassa yang memiliki efisiensi 20 % untuk mesin pengering *hybrid* biji kopi.
2. Mengetahui suhu yang terjadi diruang pembakaran ketika proses pengeringan biji kopi.

1.5. Manfaat Penelitian

1.5.1. Bagi Petani Kopi

- a. Memperoleh informasi penerapan teknologi tepat guna dalam proses pengeringan biji kopi.
- b. Memberikan gambaran untuk strategi proses pengeringan untuk tetap menjaga kualitas dari biji kopi yang dihasilkan.

1.5.2. Bagi Peneliti

- a. Mengetahui korelasi antara penerapan teknologi terhadap kebutuhan teknologi di petani kopi.
- b. Memberikan peningkatan keahlian profesi sehingga menumbuhkan rasa percaya diri.

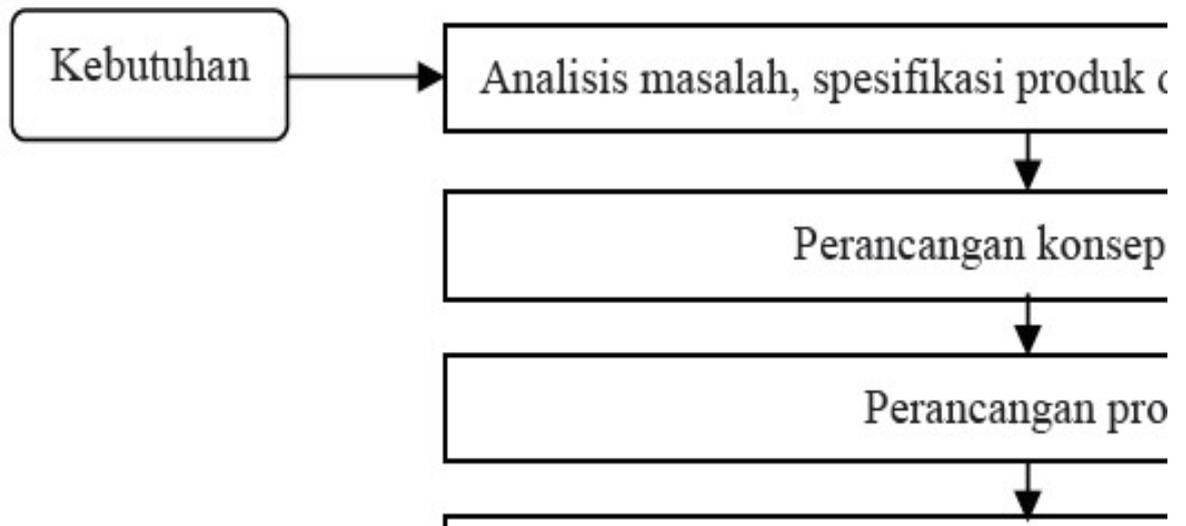
1.5.3. Bagi Institusi Pendidikan

- a. Sebagai salah satu alat evaluasi terhadap kurikulum yang berlaku.
- b. Sebagai salah satu acuan untuk melakukan penelitian berikutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teori Perancangan

Harsokusoemo (2000) berpendapat bahwa perancangan terdiri dari satu rangkaian kegiatan yang berurutan, oleh sebab itu perancangan di definisikan sebagai proses perancangan yang kegiatan seluruh proses yang terdapat dalam perancangan tersebut. Kegiatan-kegiatan yang terdapat pada proses perancangan disebut fase. Setiap fase itu terbentuk dari beberapa kegiatan, kegiatan ini yang dinamakan langkah-langkah dalam fase. Deskripsi proses perancangan dicontohkan dengan menyebutkan bahwa proses perancangan terdiri dari fase-fase berikut, yaitu : (1) identifikasi kebutuhan, (2) analisis produk, (3) perancangan konsep, (4) perancangan produk, (5) evaluasi produk hasil rancangan, (6) penyusunan dokumen berupa gambar produk hasil rancangan dan spesifikasi pembuatan produk. Fase-fase tersebut digambarkan pada Gambar 1(Harsokusoemo, 2000).



Gambar 1. Diagram Alir Proses Perancangan

2.2. Tungku Biomassa

Tungku merupakan alat yang digunakan untuk mengkonversi energi potensial biomassa menjadi energi panas. Tungku bagi masyarakat merupakan salah satu alat yang penting untuk memasak. Jenis tungku beraneka ragam sesuai dengan kebudayaan daerah setempat dan jenis bahan bakar yang digunakan. Penggunaan briket biomassa sebagai sumber energi alternatif pembakaran harus disertai dengan keberadaan kompor atau tungku yang menunjang kebutuhan pembakaran bahan bakar briket biomassa tersebut.

Pada prinsipnya, kompor atau tungku dibedakan menjadi dua macam, yaitu tungku portabel atau kompor, jenis ini pada umumnya memuat briket antara 1 - 8 kg serta dapat dipindah-pindahkan, jenis ini digunakan untuk keperluan rumah tangga atau rumah makan dan tungku permanen, memuat lebih dari 8 kg briket dibuat secara permanen, jenis ini dipergunakan untuk industri kecil atau menengah.

(Djarmiko, 1986)membedakan tungku atau kompor pembakaran biomassa atas beberapa jenis, yaitu:

- 1) Tungku biomassa, dimana bahan bakar biomassa langsung dibakar, misalnya tungku lorena, singer, dan lain-lain.
- 2) Tungku bioarang, menggunakan bahan bakar arang, misalnya anglo dan keren.
- 3) Tungku hibrida, menggunakan bahan bakar biomassa dan arang yang disusun sedemikian agar asap dapat terbakar sehingga menghasilkan energi lebih banyak.

Persyaratan kompor atau tungku briket biomassa harus memiliki antara lain ada ruang bakar untuk briket, adanya aliran udara (oksigen) dari lubang bawah menuju lubang atas dengan melewati ruang bakar briket yang terdiri dari aliran udara primer dan sekunder, dan ada ruang untuk menampung abu briket yang terletak di bawah ruang bakar briket. Skema kompor briket dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema tungku briket

Selain itu, tungku juga harus memenuhi beberapa kriteria agar produknya dapat digunakan oleh masyarakat, antara lain memiliki efisiensi yang tinggi, higienis, mudah dinyalakan, alat masak dapat diletakkan di atas lubang dapur setelah pembakaran awal, tidak menghasilkan asap dan debu yang berlebihan, bersih, ramah lingkungan, ekonomis, dan mudah digunakan.

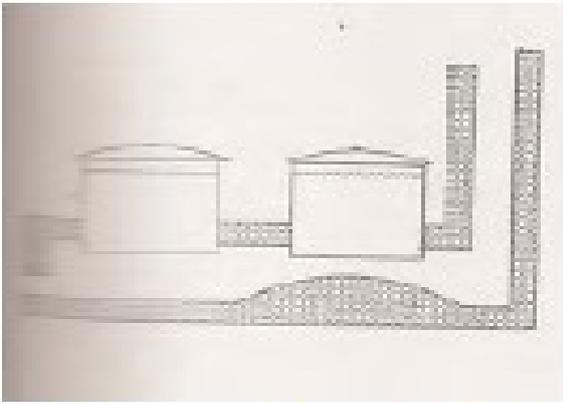
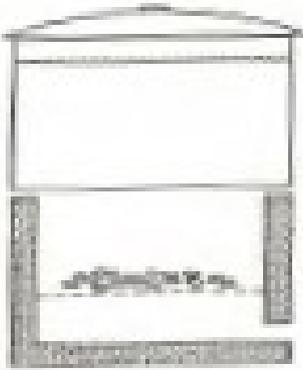
Beberapa kriteria dalam desain tungku atau kompor rumah tangga yang harus diperhatikan antara lain kriteria teknis, budaya, kesehatan, dan keamanan (Febriyantika, 1998). Kriteria teknis tungku atau kompor harus mencapai tiga sasaran, yaitu:

- 1) Mendapat produk yang dapat diproses dengan mudah dan dapat diandalkan. Untuk tujuan itu suhu dan siklus tungku atau kompor harus dikendalikan.
- 2) Harus menggunakan bahan bakar dan bahan bantuan seminimal mungkin. Penghematan bahan bakar menyangkut dua hal, yaitu:
 - a) Pemanfaatan kalor maksimum dengan cara alih kalor yang baik dan isolasi pada tempat-tempat tertentu.
 - b) Pemanfaatan kalor terbuang.
- 3) Mendapat hasil dengan modal awal dan pemeliharaan murah. Kapasitas dan kualitas tungku atau kompor menentukan sasaran yang ketiga ini. Kualitas tungku atau kompor tergantung pada desain sederhana dari penyediaan bahan lokal yang baik untuk konstruksi tungku atau kompor.

Dasar pemikiran dalam mendesain suatu tungku antara lain kebutuhan penggunaan sumber daya yang ada. Data teknis dan parameter social diperlukan untuk mendesain tungku yang tepat guna. Beberapa data yang dibutuhkan untuk mendesain suatu tungku menurut *project officer Cambodia Fuelwood Saving Project (CFSP)* antara lain:

- a. Fungsi tungku : dilihat dari keperluan penggunaan, seperti untuk merebus, menggoreng, mengukus, memanggang, mengasap, mendidihkan dalam waktu lama, dan lain-lain.
- b. Bahan-bahan tungku: material yang digunakan (aluminium, tembaga, kuningan, plat besi, besi tuang, *stainless stell*, keramik, tembikar), bentuk (datar atau dasarnya berbentuk bola), karakteristik penggunaan (pemberian tekanan atau tekanan normal), tipe penggunaan (merebus, menggoreng, dan lain-lain), ukuran (diameter, tinggi).
- c. Kebiasaan memasak: posisi memasak (duduk, berdiri, jongkok, menekuk kaki), tradisi dan kebiasaan-kebiasaan sosial.
- d. Tipe bahan bakar dan ukuran: tipe (balok, kayu, limbah pertanian, batubara, limbah biomassa, kayu keras), ukuran bahan bakar.
- e. Konstruksi tungku: bahan-bahan lokal yang tersedia, ukuran tungku, satu atau lebih lubang dapur .

Untuk memperoleh efisiensi pembakaran yang baik dari sebuah kompor atau tungku, desain teknis tungku atau kompor harus diperhatikan. Menurut(Djarmiko, 1986)perapian terbuka hanya menyadap tidak lebih dari 10 persen energi kayu sedangkan sebuah tungku yang ditingkatkan (tertutup) dapat memanfaatkan efisiensi 20 persen atau lebih. Rancangan tungku sangat menentukan sempurna atau tidaknya proses pembakaran berlangsung dan besarnya energi yang dapat dimanfaatkan oleh tungku atau kompor tersebut. Selain itu, rancangan tungku juga akan menentukan laju pembakaran atau jumlah bahan bakar terbakar per satuan waktu(Abdullah K., 2007). Gambar 3 memuat berbagai jenis tungku berbahan bakar biomassa dengan kesetimbangan panas yang terjadi pada tungku.

Jenis tungku	Kestimbangan
<p data-bbox="363 315 1002 353">Tungku tradisional perapian terbuka</p> 	<p data-bbox="1058 315 1321 398">Berguna: 8% Untuk pem</p> <p data-bbox="1058 443 1321 566">Losses: 10% hilang ter 82% hilang di l</p>
<p data-bbox="352 696 1018 775">Tungku permanen dengan dua lubang dapur dan sebuah cerobong</p> 	<p data-bbox="1058 696 1321 819">Berguna: 11.8% diserap 3.6% diserap o</p> <p data-bbox="1058 864 1321 1234">Losses: 29.2% diserap 1.9% hilang ok dari bada 39% hilang set aliran gas 2.7% hilang se sempurna 11.8% tidak ter</p>
<p data-bbox="352 1245 1018 1323">Tungku permanen dengan tiga lubang dapur dan sebuah cerobong</p>	<p data-bbox="1058 1245 1321 1323">Berguna: 6% untuk nems</p>
<p data-bbox="459 1350 922 1395">Tungku batubara Thailand</p> 	<p data-bbox="1058 1350 1321 1451">Berguna: 3.1 % diserap v</p> <p data-bbox="1058 1507 1321 1946">Losses: 4.6% hilang ter 0.2% hilang ka dari jaran dengan ai 13% diserap ol 1.3% hilang ka dari bada 2.1% hilang se</p>

Gambar 3. Kestimbanganpanastungku

Menurut (Djarmiko, 1986) untuk mengurangi kehilangan panas pada tungku atau kompor dapat dilakukan dengan memberi insulasi pada tungku atau kompor, mengatur lubang pemasukan udara dan penyempurnaan pembakaran, aliran udara dikonsentrasikan ke lubang dapur, desain pengeluaran (cerobong) yang sesuai untuk pengeluaran udara, pemakaian alat masak yang mengurangi kebocoran dan kehilangan panas.

Dalam membuat tungku dengan efisiensi tinggi, faktor yang harus diperhatikan adalah konservasi panas. Panas yang hilang pada tungku dapat terjadi karena pembakaran yang tidak sempurna (*incomplete combustion*), kehilangan panas akibat pemanasan tungku, kehilangan panas dari dinding tungku ke alat pemasak, penggunaan energi untuk menguapkan air yang berlebih pada bahan bakar kayu yang memiliki kadar air tinggi, tidak digunakannya penutup alat masak ketika memasak, dan penggunaan potongan-potongan bahan bakar kayu yang terlalu besar atau kecil (Utami, 2008).

Surtikasari menguji berbagai jenis tungku untuk mengetahui efisiensi termal. Jenis tungku yang diuji yaitu tiga jenis tungku khusus briket batubara dan tungku-tungku tradisional Indonesia, seperti tungku tanah liat, tungku semen, dan tungku seng. Bahan bakar yang digunakan Surtikasari adalah batubara. Hasil pengukuran beberapa jenis tungku pada penelitian Surtikasari, 1995 dalam (Utami, 2008) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian beberapa jenis tungku

	Tungku Tanah liat	Tungku Semen	Tungku seng	anglo
Q_{in} (kJ/kg)	6956.801	5515.355	5815.738	7992.04
Q_g (kJ/kg)	5008.917	3765.971	4090.192	7121.76
η_g (%)	72.88	68.277	70.392	88.949
Q_e (kJ/kg)	1906.703	1366.736	1837.219	183.04
η_t (%)	27.591	24.74	31.619	22.958
Q_{out} (kJ/kg)	1778.823	1238.36	1704.013	1754.51
η_p (%)	93.3	90.38	92.706	95.695
η_s (%)	25.74	22.243	29.322	21.969

2.3. Teori Pembakaran Bahan Bakar Biomassa

Pembakaran adalah reaksi suatu zat dengan oksigen (O_2). Pembakaran adalah salah satu konversi energi biomassa yang paling banyak dipakai karena menghasilkan energi panas langsung. Energi panas yang dihasilkan selain dapat dimanfaatkan langsung untuk proses panas, juga dapat diubah menjadi bentuk lain (listrik atau mekanis). Pembakaran membutuhkan bahan bakar dan udara. Bahan bakar umumnya adalah senyawa hidrokarbon. Biomassa juga dapat digunakan sebagai bahan bakar. Proses pembakaran akan menghasilkan energi, semakin besar energi yang dihasilkan oleh pembakaran maka semakin baik fungsinya sebagai bahan bakar. Besarnya energi yang dihasilkan oleh pembakaran suatu bahan bakar tergantung pada jumlah karbon yang dikandung dan bentuk senyawanya, sempurna atau tidaknya pembakaran tersebut, terjadinya pembakaran habis.

Menurut (Febriyantika, 1998), syarat-syarat bahan bakar yang dapat digunakan di sektor rumah tangga maupun industri adalah :

- a. Mudah dinyalakan
- b. Tidak mengeluarkan asap yang berlebihan dan tidak berbau
- c. Tidak mudah pecah dalam penanganan
- d. Kedap air dan tidak berjamur atau tidak mengalami degradasi jika disimpan dalam waktu yang relatif lama
- e. Kandungan abunya rendah (kurang dari 7% berat kering).
- f. Harga dapat bersaing dengan bahan bakar lain

Bahan bakar padat adalah bahan bakar yang berasal dari biomassa maupun hasil metamorfosa fosil-fosil tanaman masa lalu. Klasifikasi bahan bakar padat adalah sebagai berikut :

- a. Biomassa dan hasil-hasil olahannya. Contoh hasil biomassa adalah kayu, sedangkan contoh hasil olahan biomassa adalah arang kayu..
- b. Batubara dan hasil olahannya. Yang tergolong batubara adalah peat, lignit, antrasit, dan sebagainya. Contoh hasil olahan batubara adalah briket batubara.
- c. Kokas Bahan bakar padat mengandung unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), abu, dan air(Febriyantika, 1998).

Unsur-unsur tersebut membentuk ikatan kimia yang memiliki sifat khas untuk setiap jenis bahan bakar padat. Sifat-sifat bahan bakar padat berikut unsur-unsur yang terkandung di dalamnya dapat dilihat pada Tabel 2.

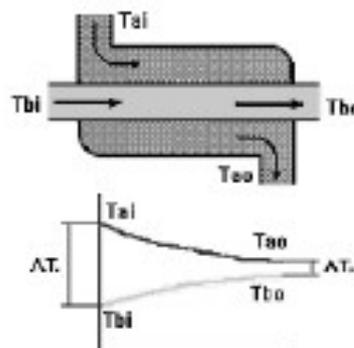
Tabel 2. Kandungan unsur dan sifat – sifat beberapa bahan bakar padat

Bahan Bakar	Komposisi Persen Berat						Nilai Kalor (kJ/kg)	Ternyalaan (°C)
	C	H	O+N	S	H ₂ O	Abu		
Antrasit	83-87	3.5-4.0	3.0-4.7	0.9	1-3	4-6	32500	300-550
Semi Antrasit	63-76	3.5-4.8	8-10	0.5-1.8	5-15	4-14	26700	-
Batubara Bituminous	46-56	3.5-5.0	9-16	0.2-3.0	18-32	2-10	17000	-
Lignit	37	7	13.5	0.5	37	5	16300	250-400
Peat	38-49	3.0-4.5	19-25	0.2-1.0	16-29	1-9	13800	225-300
Kokas	80-90	0.5-1.5	1.5-5.0	0.5-1.5	1-5	5-12	28000	600-700
Kayu Kemung	35-45	3.0-5.0	-	-	7-22	0.3-3.0	14400	200-300
Arang Kayu	85	1	-	-	12	3	29600	-

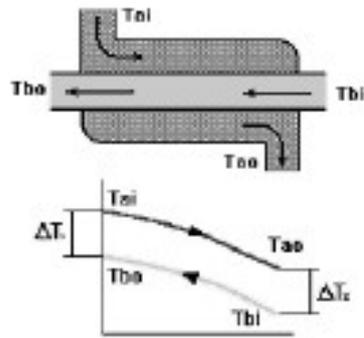
Sumber : Porges (1976) dan Djokoseyardjo (1993) dalam Febriyanti (1998)

2.5. Penukar Panas (*Heat Exchanger*)

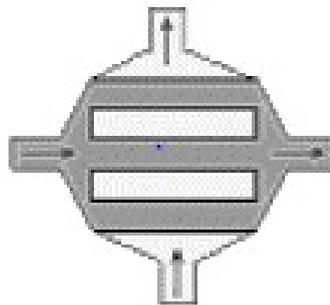
Penukar panas atau *heat exchanger* merupakan alat yang mempunyai fungsi untuk mempertukarkan panas dari satu fluida ke fluida lain. Fluida-fluida tersebut dicegah bercampur satu dengan lainnya oleh pembatas seperti dinding pipa. Contoh dari penukar panas antara lain evaporator refrigerasi, kondensor dan radiator. Penukar panas dibagi menjadi empat tipe yaitu : (1) penukar panas dengan salah satu fluidanya bersuhu konstan, (2) penukar panas arus berlawanan/*counter flow*, (3) penukar panas arus searah/*parallel flow*, (4) penukar panas arus bersilangan/*cross flow* (Henderson, 1976). Pada Gambar 4, 5, 6 dan 7 disajikan tipe-tipe penukar panas.



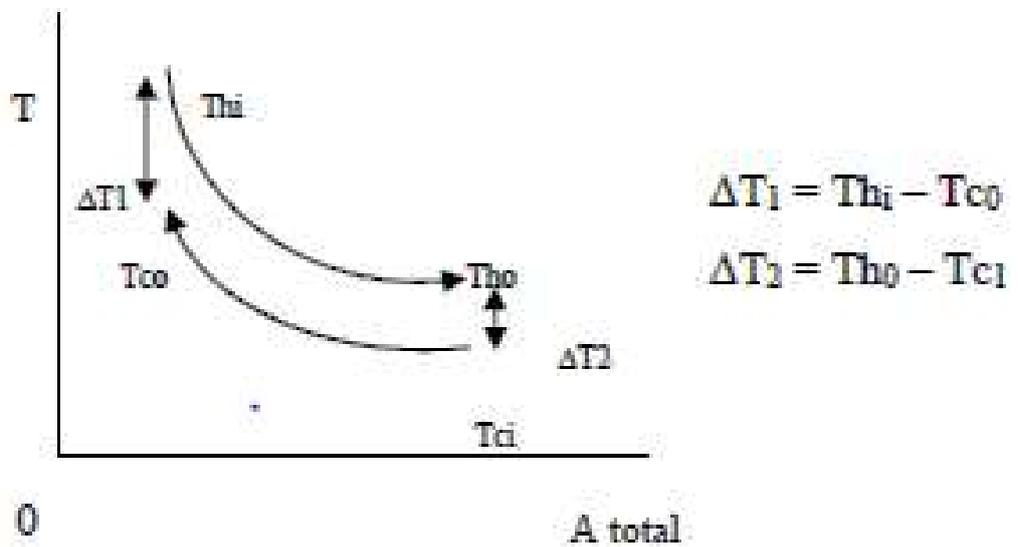
Gambar 4. Penukar Panas Arus Searah



Gambar 5. PenukarPanasArusBerlawanan



Gambar 6. PenukarPanasArusBersilang



Gambar 7. DistribusiSuhu di dalamPenukarPanasTipeBerlawanan

2.6. Analisis Perpindahan Panas

Perpindahan panas yang terjadi akibat pembakaran bahan bakar terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada keadaan mantap (*steady state*), kehilangan panas dari hasil pembakaran terjadi melalui permukaan dinding tungku dan melalui saluran udara dan gas hasil pembakaran. Sedangkan untuk gabungan aliran kalor konduksi dan konveksi dinyatakan dalam koefisien pindah panas menyeluruh (Febriyantika, 1998).

Perpindahan panas pada penukar panas terjadi secara :

1. Konduksi

Konduksi yaitu perpindahan panas melalui kontak langsung antara molekul zat yang berbeda suhu, dapat terjadi pada gas, cairan maupun padatan. Perpindahan panas konduksi tergantung pada konduktifitas bahan. Pada Tabel 3 disajikan konduktivitas panas beberapa bahan. Resistansi logam dihitung dengan persamaan berikut :

$$R_f = \frac{D_o - D_i}{2k} \times \frac{D_o}{D_i - D_o/2} \dots\dots\dots (1)$$

Tabel 3. Konduktivitas panas beberapa bahan

Bahan	Konduktifitas Panas (k), W/m °C					
	0°C	100°C	200°C	300°C	400°C	600°C
Aluminium	202	206	215	228	249	
Besi	73	67	62	55	48	40
Magnesium	171	168	163	157		
Nikel	93	83	73	64	59	
Perak	417	415	412			
Tembaga	386	379	374	369	363	353
Timah	65.9	59	56			

(Holman, 1986)

2. Konveksi

Konveksi yaitu perpindahan panas yang dihubungkan dengan pergerakan fluida. Konveksi paksa yaitu jika fluida bergerak karena adanya gaya gesek dari luar sedangkan konveksi alami yaitu pergerakan fluida yang terjadi karena perbedaan massa jenis yang disebabkan oleh perbedaan suhu. Pada penukar panas ini terjadi perpindahan panas konveksi paksa dan konveksi alami. Konveksi paksa terjadi karena adanya gaya tambahan dari luar. Konveksi paksa yang terjadi yaitu konveksi paksa dalam tabung aliran menyilang kumpulan pipa (*tube bank*).

Koefisien pindah panas kumpulan pipa dalam tabung dapat diketahui dengan menggunakan persamaan Holman.

$$Re_c = \frac{v_c \times \rho_c \times D_{eq}}{\mu_c} \dots\dots\dots 2)$$

$$D_{eq} = \frac{4(S_n S_p - \pi D_o^2 / 4)}{\pi D_o} \dots\dots\dots 3)$$

$$h_o = 0.278 \times \frac{k_c}{D_{in}} \times 0.92 \times Re_c^{0.62} \times Pr_c^{1/3} \dots\dots\dots 4)$$

Konveksi alami yang terjadi yaitu konveksi alami dalam pipa penukar panas yang dipengaruhi oleh bilangan *Grashof*. Perpindahan panas secara alami semakin efektif dengan semakin besarnya bilangan *Grashof*. Untuk pipa vertikal, panjang pipa lebih mempengaruhi bilangan *Grashof* dan *Nuselt* daripada diameter pipa (Welty, 1974). Koefisien 10 pindah panas dalam pipa dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Gr_h = \frac{g \times \beta_h \times \rho_h^2 \times L^3 \times (T_h - T_{ho})}{\mu_h^2} \dots\dots\dots 5)$$

$$Nu_h = 0.59 \times (Gr_h \times Pr_h)^{1/4} \dots\dots\dots 6)$$

$$h_i = \frac{Nu_h \times k_h}{D_i} \dots\dots\dots 7)$$

Persamaan umum untuk proses pindah panas yang terjadi pada penukarpanas tipe cangkang dan pipa secara sederhana dijelaskan berdasarkan hukumkekekalan energi. Fluida panas dalam hal ini adalah udara hasil pembakaranyang mengalir di dalam pipa, sedangkan fluida dingin adalah udara pengeringyang mengalir di luar pipa. Pada kondisi tunak, dengan mengabaikankehilangan panas disepanjang aliran yang dilaluinya, maka panas yangdipindahkan dari udara hasil pembakaran (Qh) sama dengan udara panas yangditerima oleh udara pengering (Qc).

Jumlah akumulasi panas sama dengan nol pada kondisi tunak, makajumlah panas masuk sama dengan jumlah panas keluar.

$$Q_h = Q_c = m \times C_{p_c} \times (T_{co} - T_{ci}) \dots\dots\dots 8)$$

Perpindahan panas untuk berbagai tipe penukar panas dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Q = U \times A \times \Delta T_{\log} \dots\dots\dots 9)$$

Dimana A adalah parameter konstan luas permukaan perpindahan panas (m^2), U adalah koefisien panas keseluruhan ($W/m^2.K$) ditentukan dengan persamaan berikut :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_c} + R_k + \frac{A_0}{h_h \times A_i}} \dots\dots\dots 10)$$

ΔT_{log} adalah beda suhu rata-rata logaritmik rata-rata antara udara hasil pembakaran dan udara pengeringan dalam penukar panas yang ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\Delta T_{\log} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{Ln \left(\frac{T_{hi} - T_{co}}{T_{ho} - T_{ci}} \right)} \dots\dots\dots 11)$$

Untuk menentukan laju perpindahan panas yang tidak menyangkut suhu keluar yang manapun digunakan nilai efektifitas penukar panas. Keefektifan penukar panas adalah perbandingan laju perpindahan panas yang sebenarnya dalam penukar panas terhadap laju pertukaran panas yang mungkin terjadi (Kreith, 1978).

$$\text{Efektifitas} = \varepsilon = \frac{\text{laju pindah panas sebenarnya}}{\text{laju pindah panas yang mungkin terjadi}} \dots\dots\dots 12)$$

$$\text{Laju pindah panas sebenarnya} = C_{\min} (T_{co} - T_{ci}) \dots\dots\dots 13)$$

$$\text{Laju pindah panas yang mungkin terjadi} = C_{\min} (T_{hi} - T_{ci}) \dots\dots\dots 14)$$

Nilai efektifitas penukar panas untuk aliran berlawanan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + C + (1 + C^2)^{1/2} \times \frac{(1 + \exp(-NTU(1 + C^2)^{1/2}))}{(1 - \exp(-NTU(1 + C^2)^{1/2}))} \right\}^{-1} \dots\dots\dots 15)$$

$$NTU = \frac{U \times A}{C_{\min}} \dots\dots\dots 16)$$

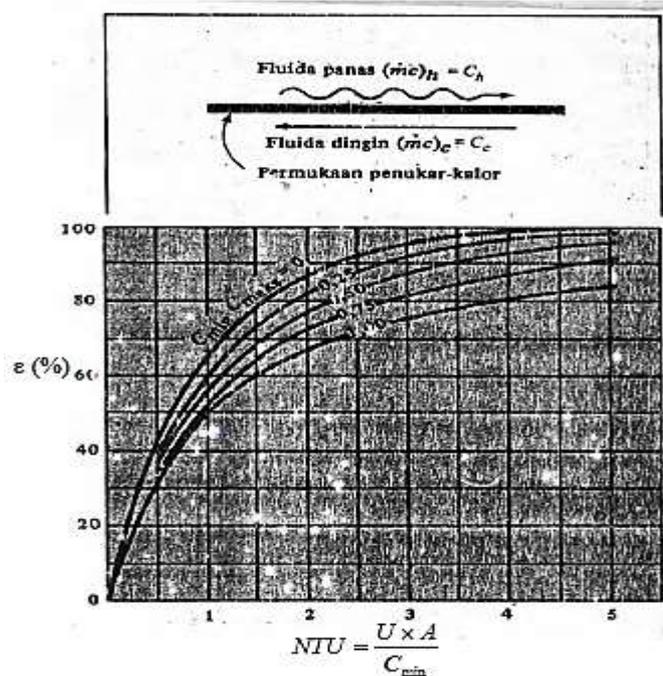
$$C = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} = \frac{(m \times Cp)_{\min}}{(m \times Cp)_{\max}} \dots\dots\dots 17)$$

NTU (*number of heat transfer units*) adalah jumlah satuan perpindahan panas yang merupakan tolak ukur perpindahan panas suatu penukar panas. Harga NTU semakin besar maka penukar panas mendekati batatermodinamikanya (Kreith, 1973). Bila keefektifan penukar panas telah

diketahui, maka kesetaraan lajupindah panas pada persamaan 15) dapat diekspresikan sebagai berikut (Kreith, 1978) :

$$Q = \varepsilon \times C_{\min} (T_H - T_C) \dots\dots\dots 18)$$

Perbandingan efektifitas untuk susunan penukar kalor berlawanan arahdisajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Efektifitas Penukar Kalor Aliran Berlawanan Arah

2.7.Efisiensi Tungku

Efisiensi pada analisis panas pembakaran untuk tungku dibedakan atas efisiensi pembakaran, efisiensi tungku, efisiensi pemasakan, dan efisiensi total sistem. Efisiensi sistem merupakan perbandingan jumlah panas yang untuk menaikkan suhu air dan untuk penguapan terhadap panas bahan bakar terpakai. Panas bahan bakar terpakai adalah selisih massa bahan bakar awal dengan massa bahan bakar sisa dikali dengan nilai kalornya.

$$\text{Efisiensi tungku } (\eta_t) = \frac{Q_{e1}}{Q_g} (\%) \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

Q_{e1} = Panas efektif (kcal)

Q_g = Panas pembakaran (kcal)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan dimulai dari Bulan Juli – Desember 2021. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi, Fakultas Teknologi Industri UNUGHA CILACAP. Adapun jadwal setiap kegiatan terlampir pada Lampiran 1.

3.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah peralatan perbengkelan untuk membuat disain tungku biomassa dijelaskan sebagai berikut :

- a) Las listrik,
- b) Gerinda tangan,
- c) Mesin bor tangan,
- d) Penggaris siku,
- e) Busur,
- f) Meteran,
- g) Gunting,
- h) Tang,
- i) Obeng

Adapun pengujian kinerja tungku biomassa dilapangan menggunakan peralatan sebagai berikut :

- a) *Cutting well*
- b) Timbangan digital
- c) Termokopel
- d) Stopwatch

Bahan yang digunakan pada perancangan tungku biomassa adalah sebagai berikut:

- a) Besi plat
- b) Besi siku
- c) elektroda

Bahan yang digunakan pada uji kinerja pada penelitian ini adalah kayu rambutan.

3.3. Prosedur Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahapan yaitu identifikasi masalah, perancangan konsep disain, pembuatan model tungku biomassa dan uji kinerja tungku biomassa dan pengolahan data hasil uji kinerja. Diagram alir prosedur penelitian ditunjukkan pada Gambar 9. Tahapan penelitian ini dijabarkan sebagai berikut :

1) Identifikasi masalah

Pada tahapan ini, melakukan identifikasi terhadap kendala-kendala yang dihadapi pada pengering *hybrid* yang telah ada dan dilakukan pengembangan.

2) Perancangan konsep disain

Pada tahapan ini, menentukan disain berupa konsep bentuk, ukuran dari tungku biomassa, dan fungsi dari setiap komponennya.

3) Pembuatan model tungku biomassa

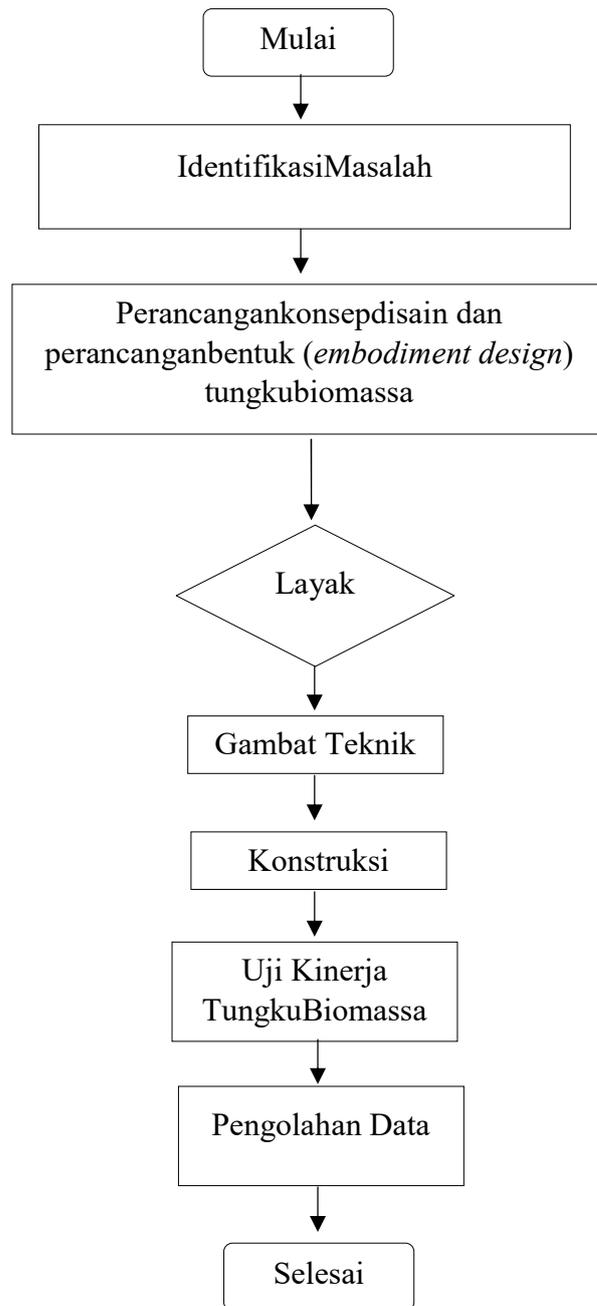
Tahapan ini yaitu membuat model tungku biomassa dengan skala percobaan didasari dari konsep ide rancangan.

4) Pengujian kinerja tungku biomassa

Tahapan ini melakukan pengujian dari efisiensi tungku dan melihat panas yang dihasilkan selama proses pengeringan.

5) Pengolahan data uji kinerja tungku biomassa

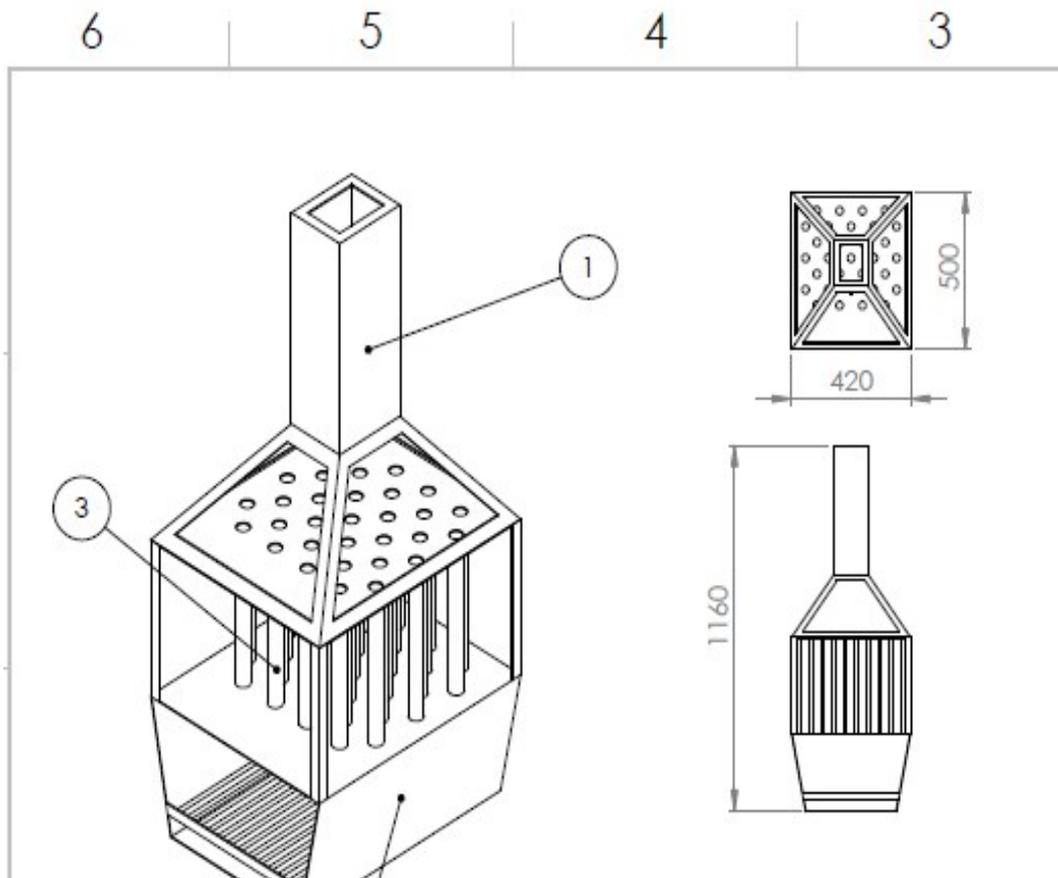
Tahapan ini yaitu melakukan penampilan data suhu dalam bentuk grafik untuk dilihat bagaimana fenomena selama proses pembakaran tungku biomassa berlangsung.



Gambar 9. Prosedur Penelitian

3.4. Rancangan

Rancangan tungku biomassa pada mesin pengering *hybrid* biji kopi terdiri dari unit ruang pembakaran dan pipa *heat exchanger*. Untuk gambar rancangan tungku biomassa ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Rancangan Tungku Biomassa

3.5. Perhitungan Analisis Teknik

Perhitungan analisis Teknik dimulai dari jumlah air yang harus diuapkan, kebutuhan panas, perhitungan dimensi tungku, dan jumlah *Heat Exchanger* (HE).

a. Jumlah air yang harus diuapkan

$$\frac{w_1}{w_0} = \frac{100 - m_0}{100 - m_1}$$

$$\frac{w_1}{5} = \frac{100 - 4}{100 - 10}$$

$$w_1 = 5 \times \frac{60}{90} = 3.3 \text{ kg}$$

Air yang harus diuapkan (w_v) = $5 - 3,3 = 1,7 \text{ kg}$

Laju penguapan (\dot{W}_v) = $1.7 / (5 \times 3600) = 0.00009 \text{ kg air/dtk} = 0.094 \text{ gr/dtk}$

Keterangan = Angka 5 merupakan lama pengeringan yang direncanakan yaitu 5 jam.

b. Kebutuhan Panas

Sifat udara pada suhu proses

Kondisi	T (°C)	T (K)	RH	H (kJ/kg)	V (m ³ /kg)	W (kg H ₂ O/kg Udara)
1- Awal	28	301	65	70.75	0.876	0.0167
2- Pengeringan	50	323	40	132.91	0.962	0.0319
3- Akhir	40	313	60	90.19	0.903	0.0284

$$\begin{aligned}
 - Q1 &= W_0 \times C_{pb} \times (T_2 - T_1) \times 10^{-3}; C_{pb}(\text{kJ/kg } ^\circ\text{C}) = 0.837 + (3.348 \times m_0) \\
 &= 5\text{kg} \times 3.01 \text{ kJ/kg K} \times (323 - 301)\text{K} \times 10^{-3} \\
 &= 0.33 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - Q2 &= m_v \times H_{fg} \times 10^{-3}; H_{fg} \text{ pada } 50 \text{ } ^\circ\text{C} = 2382.84 \text{ kJ/kg} \\
 &= 5\text{kg} \times 2382.84 \text{ kJ/kg} \times 10^{-3} \\
 &= 11,9 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - Q3 &= \dot{m}_v \times C_{pu} \times (T_2 - T_1) \times t \times 10^{-3} \\
 &= \frac{0.094 \text{ gr/detik}}{(28.4 - 16.7) \text{ gr/kg udara}} \times 1.006 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \times (323 - 301) \times t \times 10^{-3} \\
 &= (0.094 / (28.4 - 16.7)) \times 1.006 \times (323 - 301) \times (5 \text{ jam} \times 3600 \text{ dtk/jam}) \times 10^{-3} \\
 &= 3,2 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

$\dot{m}_v = \dot{W}_v / (W_3 - W_1)$; $W_3 - W_1$ merupakan kelembaban mutlak pada kondisi proses awal dan akhir pengeringan

$$- Q4 = U \times A_w \times (T_2 - T_1) \times t \times 10^{-6}$$

Ket : $U = 1.55 \text{ W/m}^2 \text{ K}$; A_w (Luas terkena panas) = 1 m^2

$$Q_4 = 1.55 \text{ W/m}^2 \text{ K} \times 1 \text{ m}^2 \times (323 - 301) \text{ K} \times (32 \text{ jam} \times 3600 \text{ dtk/jam}) \times 10^{-6}$$

$$= 0.61 \text{ MJ}$$

Total Panas yang Dibutuhkan adalah :

$$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$= 0.33 \text{ MJ} + 11.9 \text{ MJ} + 3.2 \text{ MJ} + 0.61 \text{ MJ}$$

$$= 16.04 \text{ MJ}$$

Panas yang tersedia (disuplai dari energi surya) jika diasumsikan total penyinaran matahari selama proses pengeringan adalah 20 jam adalah :

$$Q_S = I A_p \alpha \tau t$$

$$= 500 \text{ W/m}^2 \times 0,5 \text{ m}^2 \times 0.75 \times 5 \text{ jam} \times 3600 \text{ detik/jam} \times 10^{-6}$$

$$= 3,38 \text{ MJ}$$

Panas yang harus disuplai dari biomassa :

$$Q_B = Q_T - Q_S$$

$$= 16,04 \text{ MJ} - 3,38 \text{ MJ}$$

$$= 12,67 \text{ MJ}$$

c. Perhitungan Penentuan Dimensi Tungku

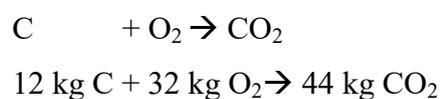
Kebutuhan Panas

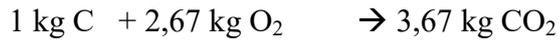
Kebutuhan panas yang diperlukan dari biomassa adalah 12.67 MJ. Jika diasumsikan efisiensi tungku 30% dan efektifitas HE adalah 0.4 dan kalor jenis kayu adalah 16351 kJ/kg dan tungku juga digunakan pada siang hari, maka diperlukan kayu bakar sebanyak :

$$\dot{m}_{bb} = \frac{Q}{\eta_{tungku} \times \eta_{HE} \times Q_{bb} \times t} = \frac{12.67 \times 1000}{0.3 \times 0.4 \times 16351 \times 5} = 1,3 \text{ kg/jam}$$

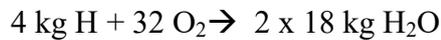
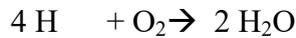
Massa kayu untuk pembakaran dibutuhkan 1.3 kg/jam, maka tungku dirancang untuk kapasitas 4 kg

Perhitungan Kebutuhan Oksigen Secara Umum





Untuk pembakaran sempurna 1 kg C memerlukan 2,67 kg O₂ yang menghasilkan 3,67 kg CO₂.



Untuk pembakaran sempurna 1 kg Hidrogen H₂ membutuhkan 8 kg Oksigen O₂, dan menghasilkan 9 kg H₂O

Kebutuhan Oksigen

→ 4 kg kayu bakar mengandung :

$$\text{Karbon (C)} = 0.43 * 4 \text{ kg} = 1.72 \text{ kg}$$

$$\text{Hidrogen (H)} = 0.05 * 4 \text{ kg} = 0.2 \text{ kg}$$

$$\text{Oksigen (O)} = 0.38 * 4 \text{ kg} = 1.52 \text{ kg}$$

Ket : Kandungan C, H, O didasarkan pada kandungan C, H, O kayu lamtoro agung.

→ Kebutuhan Oksigen

$$[(1.72 * 2.67) + (0.2 * 8)] - 1.52 = 4.67 \text{ kg O}_2$$

Excess Air = 100% (asumsi)

$$\begin{aligned} \text{Total Kebutuhan O}_2 &= 4.67 * 2 \\ &= 9.34 \text{ kg O}_2 \end{aligned}$$

Kebutuhan Udara

→ Jika komposisi O₂ dalam udara adalah 21% maka dalam 1 kg udara mengandung 210 gr O₂

→ Sehingga kebutuhan udara total adalah

$$= 9.34 \text{ O}_2 / 0.21 \text{ O}_2 / \text{kg udara}$$

$$= 44.79 \text{ kg udara} = 37.3 \text{ m}^3 / \text{proses} (\rho_{\text{udara}} = 1.2 \text{ kg/m}^3)$$

→ Jika setiap proses membutuhkan waktu pembakaran 5 jam maka kebutuhan udara adalah 0.002 m³/detik

Dimensi Inlet Udara

Luas Inlet Udara yang diperlukan Adalah

$$A = Q_{\text{udara}} / V$$

$$= 0.002 / 0.5$$

$$= 0.004 \text{ m}^2$$

Volume Tungku

- Massa kayu bakar setiap pengumpanan adalah 4 kg
- Massa jenis kayu bakar rata-rata diasumsikan 200 kg/m^3
- $V_{\text{tungku minimum}} = 4/200 = 0.02 \text{ m}^3$
- Karena pengumpanan tidak dilakukan sekaligus maka adaruang lebih yang harus disediakan, jika ruang lebih yang disediakan adalah 50% dari volume minimum maka :

$$\begin{aligned} V_{\text{tungku}} &= 0.02 + (0.5 \times 0.02) \\ &= 0.03 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

d. Perhitungan Penentuan Jumlah Pipa Heat Exchanger

Untuk menentukan jumlah pipa heat exchanger yang diperlukan maka dilakukan perhitungan sebagai berikut :

Asumsi :

$$T_1 = 28^\circ\text{C} \quad ; \quad T_2 = 60^\circ\text{C} \quad ; \quad t_1 = 170^\circ\text{C} \quad ; \quad t_2 = 140^\circ\text{C}$$

Panas yang dibutuhkan untuk pengeringan pada siang hari diasumsikan 100% dari total energi dari biomassa secara keseluruhan, maka panas yang harus disuplai dari penukar panas adalah sebesar jika malam hari diasumsikan selama 5 jam :

$$q = \frac{1 \times 16.04 \times 10^6}{5 \times 3600} = 891.11 \text{ W}$$

3.6. Parameter Pengukuran

Parameter pengukuran ini dilakukan langsung menggunakan beban, yaitu kayu bakar dari pohon rambutan. Pada tahapan ini pengujian dilakukan dengan memasukan kayu bakar setiap jam kedalam ruang pembakaran selama 5 jam (waktu yang dibutuhkan untuk proses pengeringan). Skema kerja dari tungku biomassa yaitu, bahan bakar berupa kayu bakar dimasukan kedalam ruang pembakaran sebanyak 1.3 kg, selanjutnya dilakukan pemantikan nyala api menggunakan minyak tanah. Asap panas yang hasil pembakaran keluar melalui cerobong udara. Sedangkan panas yang bersumber dari tungku biomassa masuk kedalam *heat exchanger*. Panas ini yang nantinya ditarik menggunakan blower

masuk kedalam ruang penering. Pengambilan data dilakukan secara dua kali dan disajikan dalam bentuk grafik. Parameter yang diukur pada penelitian ini adalah

1. Waktu (menit)
2. Suhu Asap masuk *Heat Exhanger* (HE) (°C)
3. Suhu Asap keluar *Heat Exhanger* (HE) (°C)
4. Suhu pipa *Heat Exhanger* (HE) (°C)
5. Suhu udara bersih masuk *Heat Exhanger* (HE) (°C)
6. Suhu udara bersih keluar *Heat Exhanger* (HE) (°C)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tungku Biomassa

Hasil rancangan tungku biomassa terdiri dari ruang pembakaran, pipa *heat exchanger*, cerobong keluaran asap, inlet untuk meletakkan biomassa yang berupa kayu bakar sebagai sumber panas. Untuk gambar dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Tungku Biomassa Hasil Rancangan

Tungku terbuat dari plat galvani dengan ketebalan 3 mm . Galvani merupakan plat baja yang tahan terhadap korosi yang bahan materialnya terbuat dari paduan (*alloy*) antara seng dan besi. Penentuan penggunaan material dari galvani pada rancangan tungku biomassa karena memiliki beberapa keunggulan yaitu :

- a. tahan terhadap karat
- b. tahan terhadap benturan
- c. mudah di las
- d. mudah dibentuk
- e. sebagai media penghantar panas yang baik
- f. tidak mudah pecah ketika di press
- g. mudah dicat

Tungku biomassa dibuat dengan dengan tebal 2 lapis dinding, hal ini dilakukan untuk mengurangi *heat losses* yang terjadi ketika proses pembakaran kayu bakar untuk menghasilkan panas akibat konveksi udara didalam ruang pembakaran. Lubang *heat exchanger* yang digunakan berjumlah 32 buah. Sesuai dengan perhitungan kebutuhan panas yang akan didistribusikan kedalam ruang pengering biji kopi. Asap yang keluar langsung diteruskan keluar melalui cerobong udara. Sehingga hanya panas yang dialirkan kedalam ruang pengering biji kopi. Cerobong asap yang dirancang sama seperti pada ruang pembakaran yaitu 2 lapis plat galvanis. Sehingga panas dari asap tidak keluar kelingkungan akibat proses pindah panas konveksi. Jarak keluarnya asap dari cerobong sudah diperhitungkan supaya tidak ikut masuk kedalam ruang pengering.

4.2. Uji Kinerja Tungku Biomassa

Prinsip kerja tungku yaitu membakar bahan bakar di dalam ruang pembakaran dengan bantuan suplai udara yang selanjutnya hasil panas dari proses tersebut dimanfaatkan ke unit pengguna. Salah satu contohnya adalah proses pemasakan. Berdasarkan hasil percobaan, proses pembakaran menggunakan biomassa kayu bakar dipengaruhi oleh beberapa faktor – faktor yang mempunyai keterkaitan yaitu kebutuhan udara actual untuk pembakaran bahan bakar, laju volumetrik udara masuk, dan laju pembakaran bahan bakar, tingginya suhu pembakaran yang dihasilkan dari bahan bakar, dan ukuran ruang pembakaran tungku.

Faktor – faktor ini yang mempengaruhi panas yang dihasilkan untuk ruang pengering biji kopi. Hal ini juga akan mempengaruhi nilai efisiensi tungku. Efisiensi tungku merupakan perbandingan antara kebutuhan panas yang dihasilkan dengan nilai massa kayu yang terbakar. Rancangan tungku menentukan sempurna tidaknya proses pembakaran berlangsung dan besarnya energi panas yang dapat dimanfaatkan atau dihasilkan oleh sistem tungku. Sempurna atau tidaknya pembakaran dipengaruhi oleh rancangan ruang pembakaran yang menentukan mudah tidaknya oksigen kontak dengan partikel karbon pada bahan bakar. Selain itu kelancaran proses pembakaran bahan bakar juga ditentukan oleh kelancaran pembuangan gas hasil pembakaran bahan bakar. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah bahan tungku dan kaitannya dengan proses pindah panas yang

terjadi selama pembakaran berlangsung didalam tungku. Makin besar pindah panas ke luar tungku, maka semakin besar energi panas yang terbuang yang bereaksi makin rendah efisiensi sistem tersebut (Abdullah K., 2007).

Proses pengeringan yang dilakukan selama 5 jam menggunakan massa kayu untuk pembakaran 2 kg/jam. Pengamatan yang dilakukan sedikit berbeda dengan data perhitungan. Data perhitungan diperoleh masa kayu untuk kebutuhan bahan bakar yaitu sebesar 1.3 kg/jam. Efisiensi tungku sebesar 20 %. Hasil ini berbeda dengan yang ditargetkan yaitu efisiensi tungku 30 %. Efektifitas HE 0.4 dan kalor jenis kayu sebesar 16351 kJ/kg. Perbedaan ini diduga penambahan kayu bakar kedalam tungku tidak merata dan sama serta adanya *heat losses* yang keluar ke lingkungan. Untuk kayu bakar yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Kayu bakar untuk uji kinerja

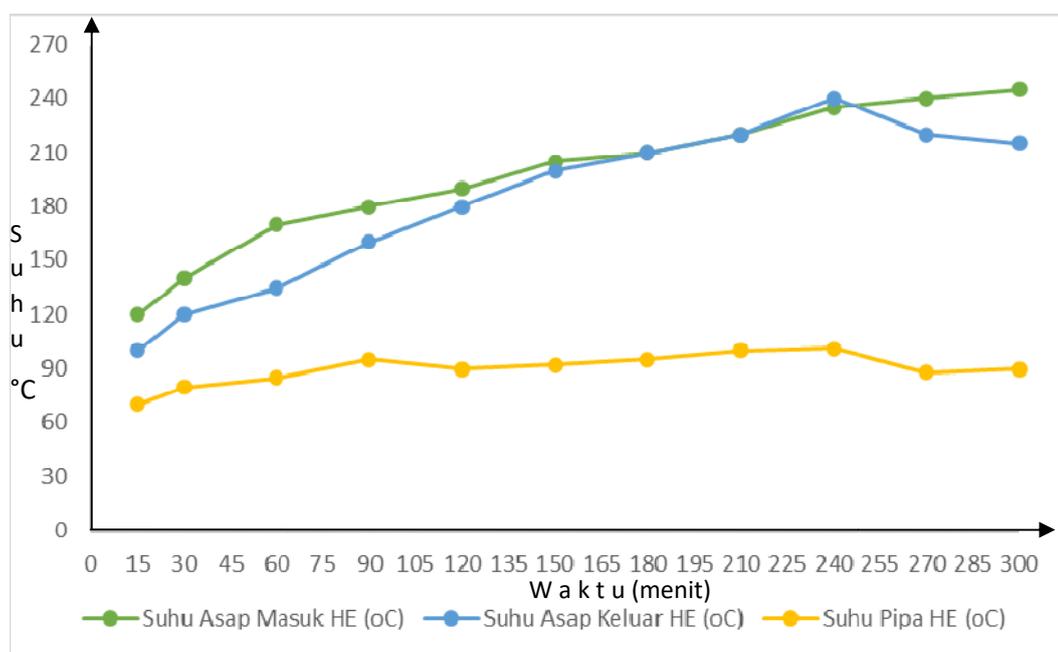
4.3. Profil Suhu hasil pengukuran

Suhu yang diamati pada penelitian ini yaitu pada bagian tungku dan pada bagian *heat exchanger* (HE). Untuk masing – masing sebaran suhu pada kedua bagian tersebut dijelaskan sebagai berikut ini :

1. Profil Suhu Udara Pada Tungku

Pengukuran suhu udara pada tungku biomassa dilakukan setiap 10 menit selama 5 jam. Profil suhu disajikan pada Gambar 13. Suhu udara yang terjadi di tungku biomassa pada menit awal belum terlalu tinggi dan fluktuatif, karena proses pembakaran masih baru berlangsung. Ketika sudah 60 menit menunjukkan tren kenaikan suhu udara yang stabil. Suhu udara berupa asap yang melewati HE

dari 120 °C – 245 °C. untuk suhu asap yang keluar dari HE berkisar 100 °C – 240 °C. faktor yang mempengaruhi suhu yaitu waktu proses pembakaran yang dilakukan selama 5 jam yang dimulai dari pukul 10.00 WIB – 15.00 WIB. Ada beberapa waktu yang menunjukkan suhu mengalami konstan melewati pukul 12.00 WIB karena suhu lingkungan yang tercatat mencapai 32 °C .



Gambar 13. Suhu udara pada tungku biomassa

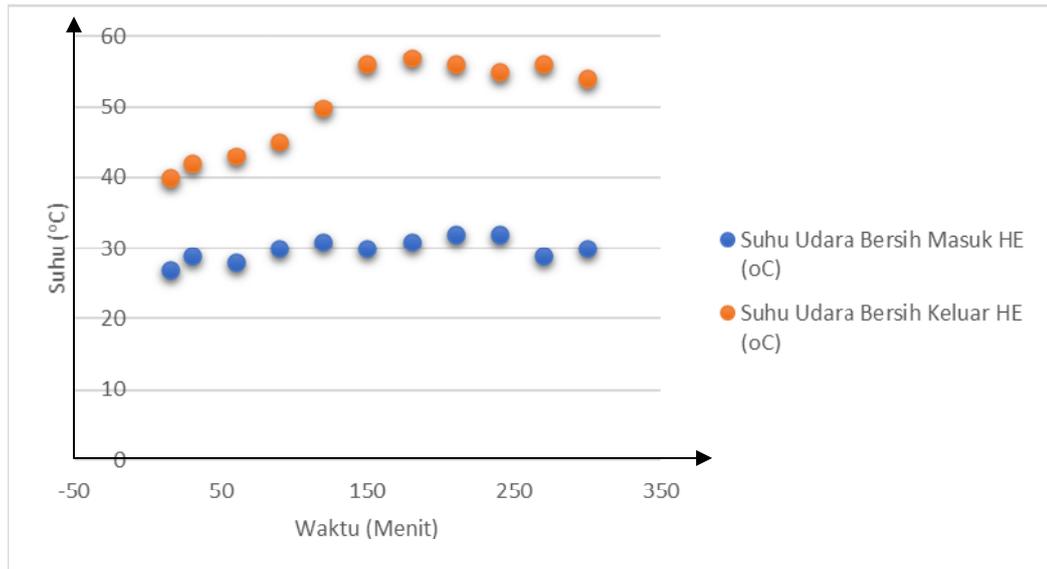
2. Profil Suhu Udara Pada *Heat Exchanger* (HE)

Pengukuran suhu udara pada HE dilakukan ketika suhu udara bersih masuk HE dan suhu udara bersih yang keluar dari HE. Suhu udara bersih yang masuk ke HE berkisar 27 °C – 32 °C. Suhu ini merupakan suhu lingkungan yang masuk menuju HE. Kenaikan suhu lingkungan berbanding lurus dengan waktu proses pengeringan. Ketika pada Pukul 12.00 WIB mencapai titik tertinggi yaitu 32 °C. sedangkan ketika sudah mendekati proses selesainya pengeringan sebesar 30 °C. untuk suhu awal ketika proses pengeringan yaitu sebesar 27 °C tercatat pada pukul 10.00 WIB. Suhu ini hampir sesuai dengan suhu rata – rata di Kabupaten Cilacap.

Pengukuran suhu udara bersih yang keluar dari HE berkisar 40 °C – 57 °C. pada menit 15 di pukul 10.15 WIB suhu udara bersih yang keluar dari HE menuju Ruang pengering sebesar 40 °C dan mulai mengalami peningkatan dari interval

waktu yang diamati. Titik suhu tertinggi yaitu saat proses pembakaran sudah mencapai 180 menit mencapai 57 °C dan cenderung stabil dikisaran suhu 55.5 °C.

Udara panas disekitar tungku memanaskan pipa-pipa penukar panas yang kemudian terjadi perpindahan panas secara konduksi melalui pipa-pipa penukar panas, kemudian terjadi pindah panas secara konveksi dari dinding pipa ke ruangan penukar panas sehingga udara di dalam ruang penukar panas menjadi naik suhunya. Untuk Gambar suhu udara bersih keluar dari HE ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Profil Suhu di HE

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini yang mengacu kepada tujuan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- a. Tungku biomassa yang dirancang menghasilkan efisiensi tungku sebesar 19,4 % dengan konsumsi bahan bakar 2 kg/jam untuk proses pengering biji kopi selama 5 jam.
- b. Suhu yang terjadi diruang pembakaran diamati pada dua lokasi yaitu pada ruang pembakaran dan pipa *heat exchanger*. Suhu pada ruang pembakaran pada suhu asap masuk HE berkisar 120 °C – 245 °C. Suhu asap keluar HE berkisar 100 °C – 240 °C, suhu Pipa HE berkisar 70 °C – 101 °C, suhu udara bersih masuk HE berkisar 27 °C – 32 °C, suhu udara bersih keluar HE berkisar 40 °C – 57 °C.

5.2 .Saran

Saran untuk pengembangan selanjutnya yaitu memanfaatkan asap dari proses pembakaran untuk dapat meningkatkan suhu udara ruang pengering, sehingga efisiensi tungku biomassa bisa bertambah.

DAFTAR PUSTAKA

- AEKI (Asosiasi Eksportir Kopi Indonesia). 2014. Laporan Pasar Kopi. Asosiasi Eksportir Kopi Indonesia, Jakarta.
- Abdullah K. (2007). *Acceleration of Rural Industrialization Using Renewable Energy Technology*. Dalam : Abdullah, K (ed). Teknologi Berbasis Sumber Energi Terbarukan Untuk Pertanian. Creaa-IPB.
- Al-Naema MA, F. I. (2016). *Modelling of a Modular Indirect Natural Convection Solar Dryer*. *Palma de Mallorca (ES)*, 11–14.
- Djatzmiko, Agoes Tri Wahyoe. (1986). Desain dan Uji Penampilan Tungku Bahan Bakar Arang dengan Pemberian Sekat Udara , 27-29.
- Febriyantika. (1998). Studi Kelayakan Kulit Kakao Sebagai Bahan Bakar Alternatif Pada Tungku Biomassa.
- Darmawan, Harsokusoemo. 2000. Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk). ITB Press, Bandung.
- Henderson, S. M. and R. L. (1976). *Agricultural Process Engineering*. The AVI Publishing Co. Inc., Wesport, Connecticut.
- Holman, J. P. (1986). *Heat Transfer 6th ed.* (E. Jasifi (ed.); 6th ed.). Erlangga.Jakarta.
- Kreith, F. D. J. F. K. (1978). *Principles Solar Engineering*. Mc Graw Hill Book Company. Mishawaka, IN, U.S.A
- Mwithiga G, K. S. (2006). *Performance of a solar dryer with limited sun tracking capability*. *J Food Eng*, 74, 247–252.

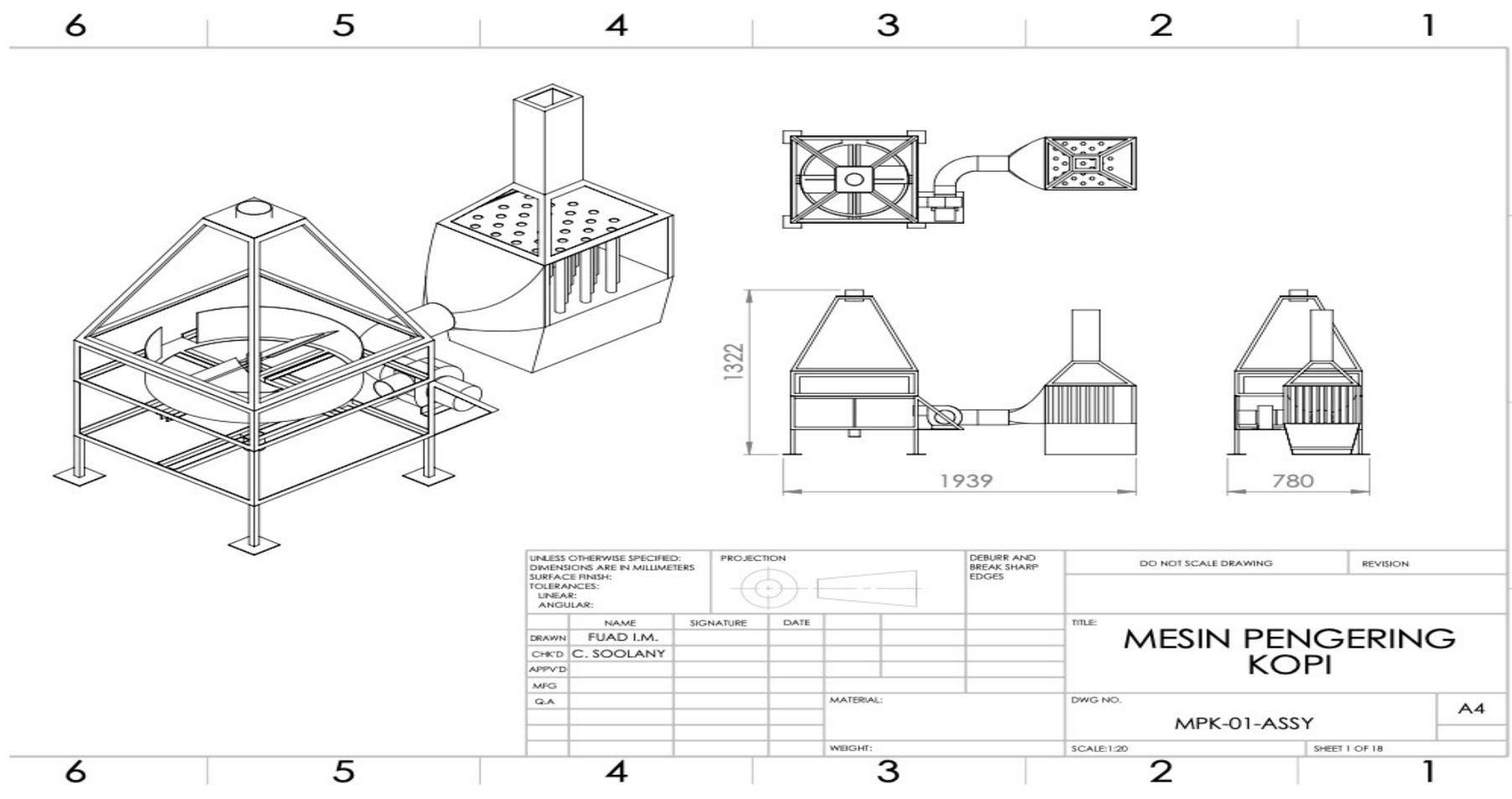
- Pangavhane DR, Sawhney RL, S. P. (2002). *Design, development and performance testing of a new natural convection solar dryer. Energy, 579–590.*
- Russon JK, Dunn ML, S. F. (2009). *Optimization of a Convective Air Flow Solar Food Dryer. Int J Food Eng, 5(1), 8.*
- Utami, Y. (2008). *Desain Dan Uji Unjuk Kerja Tungku Kerja Tungku Briket Biomassa.*
- Welty, J. R. (1974). *Engineering Heat Transfer. Departement of Mechanical Engineering. Oregon State University, USA*

LAMPIRAN

Lampiran 1. Jadwal Kegiatan

No.	Nama Kegiatan	Bulan ke-						Keterangan	
		6	7	8	9	10	11		12
1.	Studi Litelatur								UNUGHA
2.	Perancangan konsep tungku biomassa								Laboratorium Konversi Energi dan perancangan mesin FTI UNUGHA
3.	Analisis Teknik dan Gambar Teknik								Laboratorium Konversi Energi dan perancangan mesin FTI UNUGHA
4	Seminar proposal								FTI UNUGHA
4.	Kontruksi pembuatan tungku biomassa								Laboratorium Konversi Energi dan perancangan mesin FTI UNUGHA
5.	Uji kinerja tungku biomassa								Laboratorium Konversi Energi dan perancangan mesin FTI UNUGHA
6.	Seminar hasil penelitian								FTI UNUGHA
7.	Laporan Penelitian								FTI UNUGHA

Lampiran 2. Disain Mesin Pengering Kopi Tipe Rotary Hybrid



Lampiran 3. Foto Kegiatan Penelitian



