

RANCANG BANGUN TUNGKU BIOMASSA HEMAT ENERGI DAN RAMAH LINGKUNGAN PADA TUNGKU TRADISIONAL MASYARAKAT BERBAHAN BAKAR KAYU

Abrar Ridwan

Universitas Muhammadiyah Riau

Email: ridwanabrar@yahoo.com

ABSTRAK

Teknologi tungku pembakaran telah lama berkembang pesat dimasyarakat dan masih digunakan khususnya propinsi Riau yang kaya akan sumber daya biomassa. Telah dilakukan perancangan dan pembuatan tungku hemat energi dan ramah lingkungan dengan sistem *downdraft-gasification*, tungku berdimensi 1 x 1 x 1,2 m dengan tabung 13 lobang udara primer dan 21 lobang udara sekunder dengan tinggi 40 cm dan diameter 35 cm. Pengujian dilakukan dengan 6 liter air yang mendidih pada menit ke-18,73 pada temperatur 99 °C untuk tungku modifikasi dan temperatur air tertinggi 83,75 °C pada menit 45,83 untuk tungku tradisional masyarakat dengan menggunakan 3 kg kayu bakar, kecepatan aliran udara primer 0,59 (g/s) dan 0,0034 (m³/s) udara sekunder. Efisiensi termal pada tungku modifikasi 14,7 % dan efisiensi termal pada tungku tradisional masyarakat 4,2 %. Proses *semi-gasification* pada pembakaran memberi dampak berkurangnya asap hasil pembakaran dan isolator dengan serbuk gergaji memberi akumulasi panas yang bersifat *adiabatis*.

Kata kunci Tungku, efisiensi energi, *downdraft-gasification*, udara primer dan sekunder

1. PENDAHULUAN

Provinsi Riau merupakan daerah yang kaya akan sumber daya biomassa sebut saja kabupaten Indragiri Hilir yang merupakan kabupaten penghasil buah kelapa terbesar. Cangkang kelapa yang menjadi limbah rumah tangga sangat prospektif untuk menjadi bahan bakar tungku biomassa dengan nilai kalori 23012 kJ/kg. Kabupaten Kampar juga terkenal dengan luas areal hutan 8.598.757 Ha berpotensi untuk bahan bakar biomassa kayu dan kabupaten Rokan Hulu yang merupakan penghasil terbesar kelapa sawit di provinsi Riau yaitu 380.281 Ha. (Badan Pusat Statistik Provinsi Riau “ Riau dalam angka 2010). Dengan banyaknya Bahan bakar biomassa yang ada di provinsi Riau, masyarakat Riau juga banyak yang menggunakan tungku tradisional seperti UKM produksi tahu, rumah makan dan restoran Padang serta produk makanan lainnya yang merupakan aset terfavorit di Provinsi Riau. Selain itu masyarakat yang berada di daerah terisolir masih sulit untuk mendapatkan bahan bakar fosil dan gas LPG

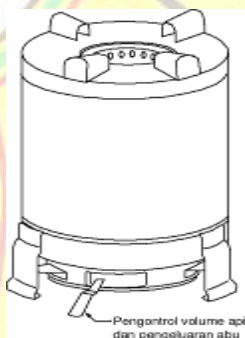
yang semakin hari semakin mahal sehingga harus memasak dengan bahan bakar biomassa (kayu, cangkang kelapa, ranting), dimana asap yang dihasilkan dari pembakaran dapat berdampak terhadap kesehatan dan emisi gas metana yang lebih berbahaya 21 kali lipat dibandingkan CO₂. Melihat fenomena diatas perlu dilakukan alternatif tungku biomassa tradisional masyarakat yang hemat energi dan ramah lingkungan.

Disamping itu, penggunaan bahan bakar biomass pada dapur tradisional menimbulkan asap yang sangat banyak. Asap tersebut, bila terhirup dalam jumlah berlebih berpotensi menimbulkan gangguan fungsi pernafasan. Publikasi PBB menunjukkan bahwa tiap tahun lebih dari 1 juta orang di dunia yang meninggal karena infeksi akut pernafasan yang disebabkan karena menghirup udara berasap di dapur. Dengan demikian penting sekali mendesain satu jenis kompor biomass yang efisien dan ramah lingkungan.



Gambar 1: Tipikal dapur tradisional yang ada di pedesaan di Indonesia.

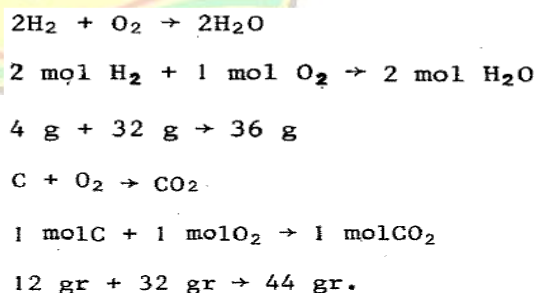
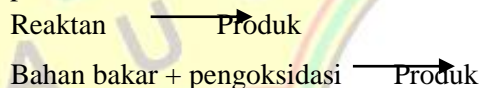
Proses masak dengan bahan bakar kayu sangat efektif pada rumah makan yang ada di Provinsi Riau selain murah cita rasa masakan jauh lebih nikmat. Tungku biomasa tradisional yang akan diterapkan merupakan kompor berbahan bakar biomasa padat. (M.Nurhuda, 2009)



Gambar 2: Kompor biomass UB-03.

Biomasa terbakar oleh proses pirolisis dan gasifikasi yang menghasilkan asap. Secara kimia, asap pembakaran tersusun atas gas-gas diantaranya adalah H₂, CO, CH₄, CO₂, SO_x, NO_x dan uap air. Sebagian gas-gas tersebut, yaitu hydrogen (H₂), karbonmonoksida (CO), dan metana (CH₄) adalah gas-gas yang dapat terbakar, sehingga dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar. Dengan demikian, untuk meningkatkan efisiensi penggunaan biomass sebagai bahan bakar, maka asap yang dihasilkan pada proses pengarangan harus dibakar lagi untuk kedua kali dan menghasilkan api yang mempunyai nyala yang lebih bersih. Ketika terjadi pembakaran kimia, ikatan-ikatan di dalam molekul-molekul dari reaktan-reaktan menjadi terputus, dan atom-atom dan elektron-elektron tersusun ulang menjadi produk-produk. Di dalam reaksi pembakaran, elemen-elemen

bahan bakar yang mudah terbakar mengalami oksidasi yang cepat sehingga menghasilkan pelepasan energi bersamaan dengan terbentuknya produk hasil pembakaran. Tiga elemen kimia utama yang mudah terbakar di dalam bahan bakar yang paling umum ditemukan adalah karbon, hidrogen, dan sulfur. Sulfur biasanya merupakan kontributor yang relatif tidak penting dalam pelepasan energi, tapi dapat menjadi signifikan karena permasalahannya dengan polusi dan korosi yang disebabkan. Pembakaran dituntaskan ketika semua karbon yang terkandung di dalam bahan bakar telah habis terbakar menjadi karbon dioksida, semua hidrogen telah habis terbakar menjadi air, dan semua sulfur telah habis terbakar menjadi sulfur dioksida, dan semua elemen-elemen yang mudah terbakar lainnya telah teroksidasi. Jika kondisi-kondisi seperti ini tidak terpenuhi, pembakaran menjadi tidak sempurna. Reaksi-reaksi pembakaran dapat dinyatakan melalui persamaan kimia:



(Bryden, M., Still, D., Scott, P., Hoffa, G., Ogle, D., Bailis, R., and Goyer, K., 2005)

Rasio udara – bahan bakar merupakan dua parameter yang sering dipakai untuk

memberikan kuantifikasi jumlah bahan bakar dan udara di dalam sebuah proses pembakaran. Rasio udara – bahan bakar singkatnya adalah rasio jumlah udara di dalam sebuah reaksi terhadap jumlah bahan bakar. Rasio ini dapat dituliskan dengan basis molar (mol udara dibagi

$$\frac{\text{massa udara}}{\text{massa bahan bakar}} = \frac{\text{mol udara} \times M_{\text{udara}}}{\text{mol bahan bakar} \times M_{\text{bahan bakar}}}$$

$$= \frac{\text{mol udara}}{\text{mol bahan bakar}} \left(\frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}} \right)$$

$$AF = \overline{AF} \left(\frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}} \right) \quad \text{(Baldwin F., 2005)}$$

Dimana \overline{AF} adalah rasio udara-bahan bakar dengan basis molar dan AF adalah rasio dengan basis massa. Jumlah minimum udara yang memberikan oksigen yang cukup untuk pembakaran sempurna terhadap semua karbon, hidrogen, dan sulfur yang terkandung di dalam bahan bakar disebut jumlah udara teoritis. Untuk pembakaran sempurna dengan jumlah udara teoritis, produk udara yang dihasilkan terdiri dari karbon dioksida, air, sulfur dioksida, nitrogen yang menyertai oksigen di dalam air, dan setiap nitrogen yang terkandung di dalam bahan bakar. Oksigen bebas tidak akan muncul sebagai salah satu produk pembakaran [6]. Rasio udara terhadap bahan bakar sangat dibutuhkan bertujuan untuk menentukan berapa luas atau lobang aliran udara yang masuk ke ruang pembakaran (udara primer) dan untuk membakar gas volatil (udara sekunder). Untuk menentukan efisiensi perpindahan panas agar kalor yang keluar hanya sedikit maka diperlukan isolator, dalam mendisain ketebalan isolator yang diinginkan hendaknya ditentukan dahulu berapa panjang jari-jari dari pusat ruang pembakaran, dalam hal ini isolator yang digunakan *sekam padi* karena nilai konduktivitas thermalnya yang rendah. Referensi ilustrasi persamaan perpindahan panas resistansi pada tabung silindris ditampilkan pada gambar 3.

Kekurangan cadangan bahan bakar fosil dan rusaknya atmosfer di bumi tidak bisa ditolerir sehingga perlu adanya inovasi teknologi yang mendukung keberlanjutan energi. Ruang lingkup teknik pembakaran pada tungku biomasa sangat menjanjikan dimana kegiatan masak-memasak

dengan mol bahan bakar) atau dengan basis massa (massa udara dibagi dengan massa bahan bakar). Konversi di antara kedua nilai ini dilakukan dengan menggunakan berat molekuler dari udara, M_{udara} dan bahan bakar $M_{\text{bahan bakar}}$

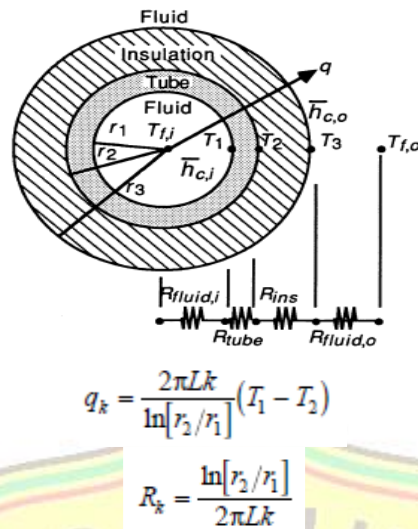
adalah kegiatan rutin manusia dan sebaliknya akan berdampak merugikan bagi makhluk hidup apabila benar-benar tidak diperhatikan aspek keamanan, kenyamanan dan efisiensi. Maka daripada itu perlu dilakukan perancangan dan pembuatan tungku biomassa tradisional yang heat energi dikarenakan proses pembakaran ulang gas yang mudah terbakar dan isolasi ruang pembakaran dari udara lingkungan penelitian mengenai tungku biomasa tradisional yang hemat energi, ramah lingkungan dan mudah dalam penggunaan dan perawatannya. Agar dapat mengetahui tingkat performansi tungku perlu dihitung nilai efisiensi termal tungku.

$$\eta = \frac{m_w * C(T_b - T_i) + m_v * R}{m_f * B} * 100\%$$

Dimana:

- η = Efisiensi termal
- m_w = Berat awal air (kg)
- m_f = Berat bahan bakar kayu (kg)
- C = Panas spesifik air (Kj/kg °C)
- T_b = Temperatur titik didih air (°C)
- T_i = Temperatur awal air (°C)
- m_v = Berat air terevaporasi selama pengujian (kg)
- R = Nilai panas penguapan air pada tekanan atmosfer
- B = Nilai kalor bahan bakar kayu (kj/kg 0C)

(K.Krishna Prasad, 1981)

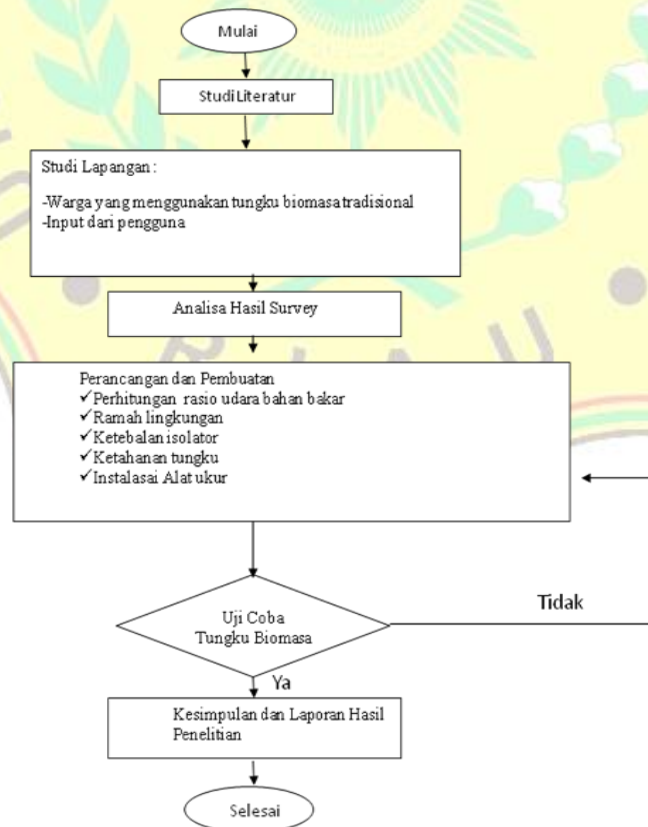


Gambar 3. Referensi ilustrasi persamaan perpindahan panas resistansi pada tabung silindris (Michael J. Moran dan Howard N. Shapiro 2004, (2005))

2. METODOLOGI PENELITIAN

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah Advantech DAQ 4718 sebagai konverter akuisisi data temperatur dengan sensor termokopel tipe K yang total panjangnya 20 m. Sebagai penampilan data digunakan laptop tipe Asus. Timbangan dengan digit dua angka dibelakang koma untuk mengukur masing-

masing kayu bakar yang akan digunakan. Bomb kalorimeter digunakan untuk mengukur nilai kalori bahan bakar, sedangkan mengukur laju aliran udara ke dalam ruang pembakaran digunakan hot wire – anemometer. Berikut adalah flow chart penelitian yang dilakukan.



Gambar 3. Flowchart metode penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perancangan yang telah dilakukan didapat beberapa tabel yang akan menjadi acuan untuk membuat tungku yang hemat energi dan ramah lingkungan. Konstanta dan nilai entalpi

bahan bakar diuji dengan *bomb calorimetry*. Laju aliran massa tungku dapat dihitung dengan berat bahan bakar terhadap lama waktu pembakaran, sehingga di dapat hasil tabel dibawah ini.

Tabel 1. Keterangan nilai kalori, massa, dan waktu pembakaran

Deskripsi	Nilai Perhitungan	Keterangan
Nilai Kalori Kayu Cemara (Kj/Kg)	18.730	Dengan moisture content 15 %
Berat Kayu Bakar (Kg)	3	
Waktu Pembakaran (s)	5000	Diambil waktu terlama pd tungku tradisional masyarakat
Daya Tungku (kw)	11,24	
Laju Aliran Massa Tungku (g/sec)	1,1	
Laju Aliran Massa Arang(g/sec)	0,22	
Laju Aliran Massa gas Volatil (g/sec)	0,89	

Untuk mendapatkan hasil pembakaran sempurna rasio udara terhadap bahan bakar (AFR) akan menjadi peranan terpenting agar semua bahan bakar habis terbakar. Pada penelitian dan perancangan ini terdapat dua aliran udara yaitu *primer* dan *sekunder*. Pada

udara sekunder adalah untuk suplai pembakaran awal dengan luas udara primer $0,00424 \text{ m}^2$ yang terletak dibawah tabung, sedangkan luas udara sekunder $0,0067 \text{ m}^2$ yang terletak di sekeliling tabung pembakaran.

Tabel 2. Laju udara primer dengan satuan yang berbeda

Udara Primer		
Laju Aliran Udara Primer (g/sec)	0,59	
Laju Aliran Udara Primer (l/sec)	0,445	
Laju Aliran Udara Primer (l/sec)	2,12	Jika oksigen di udara 21 %
Laju Aliran Udara Primer (m3/sec)	0,00212	

Tabel.3.Laju udara sekunder dengan komposisi gas volatilitas

Udara Sekunder		
Laju Aliran Massa Karbon (g/sec)	0,34	
Laju Aliran Massa Hidrogen (g/sec)	0,065	
Laju Aliran Massa Oksigen (g/sec)	0,48	
Total Aliran massa oksigen yang dibutuhkan karbon (g/sec)	0,942	
Aliran udara sekunder (m3/sec)	0,0034	
Kecepatan udara masuk lubang (m3/sec)	0,5	
Laju aliran udara sekunder (m3/sec)	0,0034	

Tabel 4. Jumlah lobang udara primer dan sekunder yang dibutuhkan

Jumlah lobang udara yang dibutuhkan		
Luas udara primer (m2)	0,00424	
Luas udara sekunder (m2)	0,0067	
Diameter lobang (mm)	10	
Jumlah lobang udara primer (buah)	13	Lobang berada di bawah tabung bakar
Jumlah lobang udara sekunder (buah)	21	Lobang berada di sekeliling tabung
Keliling lingkaran ruang bakar (mm)	2919	

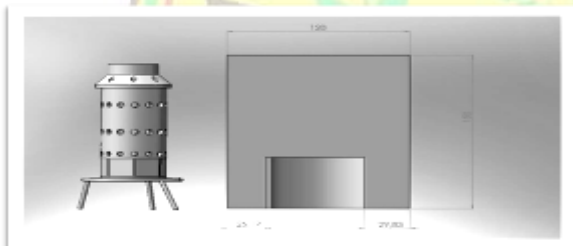
Selain itu untuk meningkatkan efisiensi panas agar tidak terbuang perlu dilakukan perhitungan ketebalan isolator. Yang berarti

sistem ruang pembakaran harus adiabatik dan terjadi rugi kalor panas ke lingkungan.

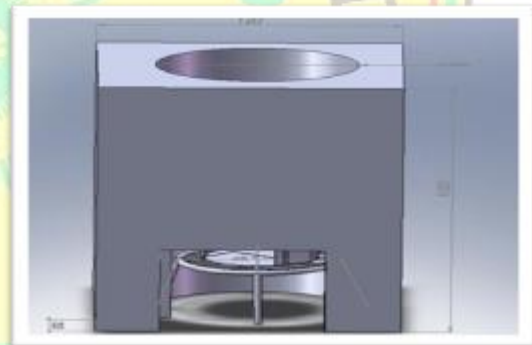
Tabel 5. Tabel perhitungan isolator tungku pembakaran.

Deskripsi	Nilai Perhitungan	Keterangan
Temperatur pusat ruang bakar ($^{\circ}\text{C}$)	680	
Temperatur akhir dinding tungku ($^{\circ}\text{C}$)	40	
Tinggi ruang bakar (m)	1,2	
Nilai konduktivitas thermal dan koefisien konveksi		
Sekam padi ($\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$)	0,036	
Glasswool ($\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$)	0,04	
Rockwool ($\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$)		
Udara pada 850 ($\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)	60	
Dimensi dan jari-jari tungku		
R1 (m)	0,053	
R2 (m)	0,00042	
R3 (m)	0,018	
R4 (m)	0,215	Selisih adalah tebal isolator = 600 mm
R5 (m)	0,815	
R6 (m)	0,24	

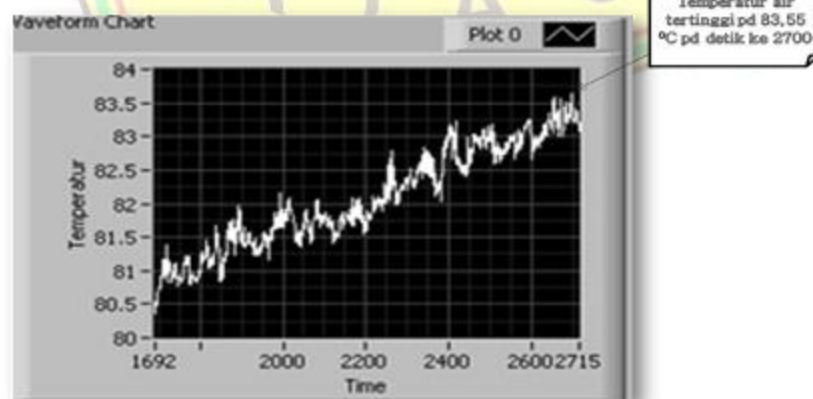
Maka dari data diatas didapat bentuk tungku seperti gambar dibawah ini:



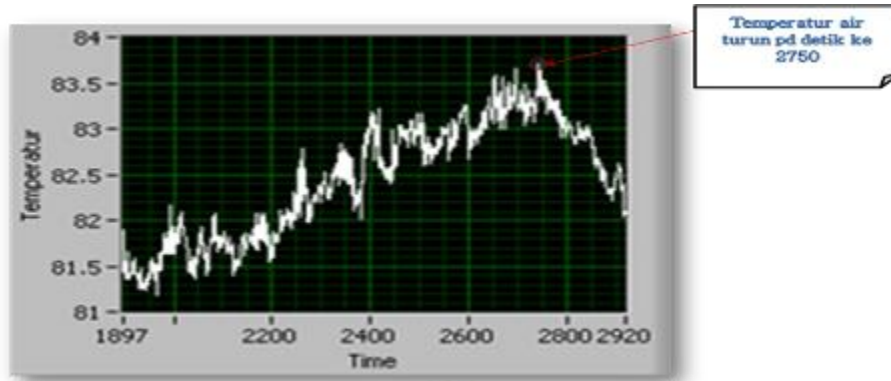
Gambar 4. Tungku hemat energi dan tabung udara primer dan sekunder



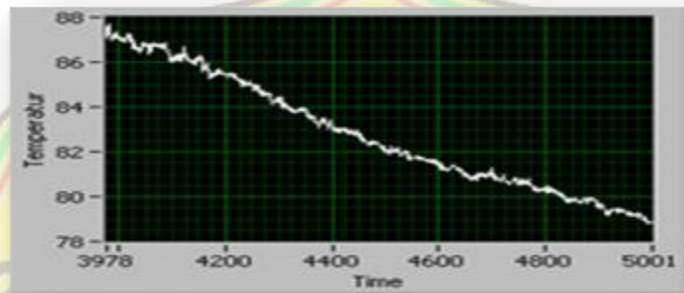
Gambar 5. Tungku dalam ruang pembakaran



Gambar 6. Temperatur air tertinggi pada detik ke 2700



Gambar 7. Temperatur air turun pada detik ke 2750



Gambar 8. Temperatur dan waktu terakhir pembakaran pada tungku tradisional

Dari ketiga grafik diatas temperatur air tertinggi yaitu 83,75 °C pada detik 2700s, dan temperatur tersebut cenderung turun pada detik ke 2750s, hal tersebut dikarenakan bara api yang tidak tinggi dan stabil di karenakan tumpukan bahan bakar tidak mendapatkan suplai udara primer dari

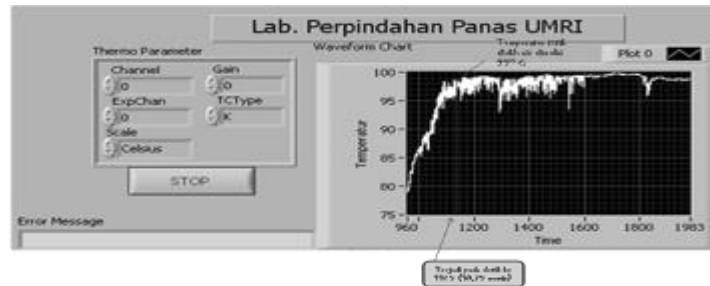
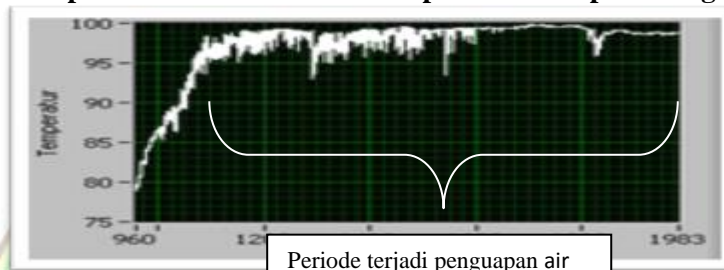
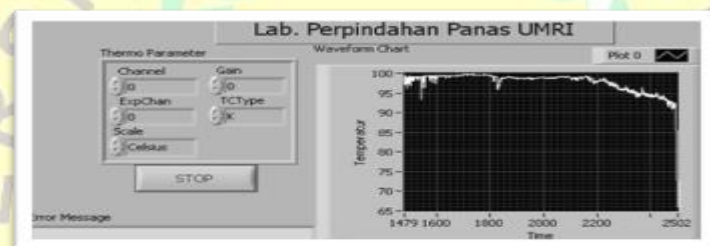
bawah. Jarak tinggi bahan bakar dengan panci adalah 75 cm yang mana sama dengan percobaan yang dilakukan pada tungku modifikasi. Kurangnya suplai udara pada bahan bakar kayu menyebabkan asap yang tebal seperti tampak pada gambar dibawah ini:



Gambar 9. Asap dan jelaga api pembakaran pada tungku tradisional dan modifikasi

Jelaga api yang besar selain dari suplai udara primer dari bawah bahan bakar kayu, juga diakibatkan oleh sistem *semi downdraft gasifikasi* yang ada dimana produksi asap dari bawah dibakar ulang oleh

jelaga api yang ada pada lubang samping tabung. Pada proses ini uap yang dihasilkan hanya 0,42 kg lebih kecil dibandingkan dengan pembakaran tungku modifikasi sebesar 2,9 kg.

Grafik Hasil pengukuran pada tungku modifikasi**Gambar 10. Temperatur dan waktu terakhir pembakaran pada tungku tradisional****Gambar 11. Periode terjadi penguapan air****Gambar 12. Waktu terjadi penurunan air di detik 2250**

Dari grafik diatas terjadi penurunan temperatur pada detik ke 2250 s. Sehingga periode penguapan yang terjadi pada tungku modifikasi dari detik 1125 ke 2250 dengan

sisa berat air setelah pembakaran 3,1 kg dengan 2,9 kg air yang menguap. Berikut adalah tabel hasil pengujian tungku modifikasi dan tungku tradisional.

Tabel 6 Data hasil pembakaran tungku tradisional dan modifikasi

No	Parameter	Tungku tradisional	Tungku Modifikasi
1	Massa bahan bakar terpakai pengujian m_1 (kg)	3	3
2	Nilai kalor bahan bakar C_1 (kkal/kg)	17,7	17,7
3	Massa air panci W_1 (kg)	6	6
4	Berat air sisa W_2 (kg)	5,58	3,1
5	Temperatur awal air T_1 ($^{\circ}$ C)	28	28
6	Temperatur air mendidih T_2 ($^{\circ}$ C)	98	99
7	Waktu awal penyalaan (menit)	0,083	0,083
8	Waktu awal air mendidih (menit)	45,83	18,73
9	Waktu akhir pembakaran (menit)	70,83	43,3
10	Berat bahan bakar (arang) sisa m_2 (kg)	0,32	0,22
	Efisiensi thermal	4,2 %	14,7 %

Dilihat dari tabel data hasil pembakaran, nilai efisiensi termal tungku modifikasi lebih besar yaitu 14,7 % dibandingkan tradisional dengan nilai 4,2 % dengan selisih hampir seperempat dalam artian jika menggunakan bahan 100 gr pada tungku tradisional maka hanya dibutuhkan 75 gr bahan bakar pada tungku modifikasi yang berarti akumulasi panas pembakaran lebih efisien dan besar pada tungku modifikasi dengan sistem *gasifikasi*. Pada uji eksperimental proses pendidihan air terjadi pada menit ke 18,73 pada temperatur 99 °C untuk tungku modifikasi dan panas tertinggi 83,75 °C pada menit ke 45 untuk tungku tradisional. Sistem gasifikasi mengakibatkan pada asap tersebut ditambahkan pasokan udara/oksigen berlebih, maka asap akan terbakar dengan sempurna sehingga menghasilkan api yang jauh lebih bersih dibandingkan pembakaran langsung. Udara yang dialirkan untuk membakar asap tersebut disebut dengan *secondary air*. Tungku yang bekerja dengan sistem ini disebut sebagai tungku gasifikasi. Api yang jernih terjadi bila perbandingan jumlah asap dan udara untuk membakar asap memadai, umumnya pada rasio 1:3 sampai dengan 1:6. Untuk membuktikan bahwa api adalah asap yang terbakar dapat dilakukan secara sederhana. Apabila api yang menyala tiba-tiba kita padamkan secara paksa, maka akan keluar banyak sekali asap. Namun kompor gasifikasi konvensional selalu bermasalah, terutama menjelang api padam. Agar asap dapat terbakar, dibutuhkan jumlah minimum tertentu. Bila asap yang dihasilkan pada proses gasifikasi sangat banyak, maka api yang dihasilkan sangat rendah kualitasnya, nyala merah dan berjelaga. Sebaliknya, bila asap yang dihasilkan pada proses gasifikasi terlalu sedikit, maka asap tersebut tidak memenuhi jumlah minimum yang memungkinkan asap terbakar. Akibatnya, asap yang tidak terbakar lolos dari kompor dan memenuhi ruangan. Kondisi demikian umumnya terjadi pada saat menjelang api padam, terutama pada kompor gasifikasi konvensional. Untuk mengatasi masalah tersebut, dikembangkan sistem pre-heating dan pembakaran model semi gasifikasi. Sistem pre-heating adalah mekanisme dimana udara yang

digunakan untuk proses gasifikasi (*primary air*) atau pembakaran asap (*secondary air*) mengalami pemanasan pendahuluan. Panas untuk memanaskan udara tersebut diambil dari panas radiant, yaitu panas tabung bakar yang mengarah ke samping. Harusnya panas ini terbuang. Dengan digunakannya panas radiant untuk memanaskan udara, maka terjadi proses isolasi secara tidak langsung, sehingga tabung bakar paling luar tidak menjadi sangat panas. Disamping itu, efisiensi juga akan naik, karena panas yang seharusnya terbuang ke aras samping tabung bakar, dikembalikan lagi ke tabung bakar melalui udara yang terpanaskan tadi. Proses pre-heating juga mencegah api padam yang mengeluarkan banyak asap, karena suhu dalam ruangan bakar menjadi lebih tinggi, akibat panas yang diumpankan kembali ke tabung bakar.

Pada kompor gasifikasi murni, terjadi pemisahan yang jelas antara ruangan gasifikasi dengan ruangan pembakaran asap. Pada model semi gasifikasi, tidak terjadi pemisahan yang jelas. Bagian ruangan tabung yang kadang-kadang berfungsi sebagai ruang gasifikasi dapat juga berfungsi sebagai ruang pembakaran asap. Sistem counterflow adalah sistem yang memungkinkan udara pembakar asap (*secondary air*) dan asap bercampur secara turbulen. Hal ini mungkin bila arah udara untuk membakar (*secondary air*) asap berlawanan dengan arah asap (yang cenderung ke atas). Dengan bantuan struktur geometri kompor dengan bentuk tabung bakar menyerupai gentong (bagian bawah lebih besar dari leher di bagian atas), maka aliran udara sekunder (*secondary air*), akan dibelokkan ke bawah, oleh permukaan meja kompor. Akibatnya, terjadi percampuran asap dan *secondary air* secara turbulen, yang ujung-ujungnya adalah pembakaran yang lebih baik dan lebih bersih.

Sistem pembakaran secara diffused (baur) merupakan sistem pembakaran dimana api muncul dari bintik-bintik kecil sepanjang tabung bakar, seperti kompor minyak tanah. Ini berbeda dengan sistem pembakaran mengarah (*concentrated*), dimana api terkonsentrasi pada satu arah dari satu posisi tertentu. Sistem pembakaran diffuse sangat bagus untuk kompor

dengan aliran udara alami, sedangkan sistem non-diffuse bagus bila ada aliran udara terpaksa, misalkan yang menggunakan blower. Air flow regulation merupakan sistem yang mengatur laju aliran udara, baik untuk gasifikasi (*primary air*) maupun untuk pembakaran asap (*secondary air*), agar api yang dihasilkan bagus. Pada kompor biomass dengan bahan bakar cangkang, hal ini ditunjukkan dengan dua panel pengatur aliran udara di bagian bawah dan bagian atas.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan perancangan, pembuatan dan pengujian terhadap tungku tradisional dan modifikasi. Pada tungku modifikasi terdapat aliran udara primer dengan 13 lobang dan sekunder 21 lobang dengan diameter 10 mm dengan menggunakan sistem *semi downdraft gasifikasi*. Diameter tungku pembakaran 35 cm, tinggi bahan bakar kayu dengan panci 20 cm dan tinggi bahan bakar kayu terhadap tanah 35 cm dengan perlakuan yang sama terhadap tungku tradisional. Hasil yang didapatkan efisiensi termal tungku tradisional 4,2 % dengan temperatur tertinggi air 86,3 °C. Sedangkan pada tungku modifikasi efisiensi termal 14,7 % dengan temperatur didih air 99 °C pada menit 18,73 asap hanya sedikit dibandingkan dengan pembakaran tungku tradisional.

5. DAFTAR PUSTAKA

- M. Nurhuda Dr.Rer.nat. “ *kompor biomass UB mendukung terwujudnya target penurunan emisi 26 % dan kemandirian energi* “ Universitas Brawijaya Malang 2009. Buku: Michael J. Moran dan Howard N. Shapiro 2004, (2005), “ *Termodinamika Teknik Jilid 2*”, Jakarta: Erlangga, 2004.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Riau “ *Riau dalam angka 2010*” Badan Pusat Statistik 2010
- Mark Bryden Dr, Dean Still, Peter Scott, Geoff Hoffa, Damon Ogle, Rob Bailis, Ken Goyer “ *Design principles for world burning stove*” Aprovecho Research Center Shell Foundation Partnership For Clean Indoor Air.
- K.Krihsna Prasad, “ *Some studies on open fires, shielded fires and heavy stoves*” A report from the woodburning stove group departments of applied physics and mechanical engineering Eindhoven university technology, 1981
- Baldwin F., 2005 Samuel Biomass stove : engineering design VITA 1600 Wilson Boulevard, Suite 500 Arlington, Virginia 22209 USA.
- Bryden, M., Still, D., Scott, P., Hoffa, G., Ogle, D., Bailis, R., and Goyer, K., 2005. *Design Principles for Wood Burning Cook Stoves*, Aprovecho Research Center/Shell Foundation/Partnership for Clean Indoor Air, USEPA EPA-402-K-05_004.
- CDM, *Simplified Project Design Documents for small scale project activities*, CDM Cookstove project Kupang 1, Indonesia, 2006
- Intergovernmental Panel on Climate Change, “ *2006 IPCC Guidelines for National greenhouse Inventories*”, Vol 2, 2006.
- GREET Transportation Fuel Cycle Analysis Model, GREET 1.8b, developed by Argonne National Laboratory, Argonne, IL, released May 8, 2008.
- <http://www.transportation.anl.gov/software/GREET/index.html>.
- Biomass: Energi Data Book, http://cta.ornl.gov/bedb/appendix_b.shtml