

ANALISA EFISIENSI TERMAL TUNGKU BIOMASSA MENGUNAKAN BAHAN BAKAR KAYU BAKAR

Atim Abdul Aji¹, F. A. Widiarsa², Moch. Ma'ruf³

Abstraksi

Penggunaan energi terbarukan sebagai energi alternatif merupakan keharusan karena cadangan minyak bumi di Indonesia semakin menipis. Terutama penggunaan energi dari biomassa bisa menjadi energi alternatif dalam kebutuhan masak sehari-hari terutama di wilayah pedesaan. Akan tetapi penggunaan tungku biomassa konvensional pada masyarakat umumnya masih memiliki permasalahan dengan emisi gas buang hasil pembakaran dan efisiensi. Pada penelitian ini dirancang tungku biomassa yang bisa mengurangi emisi gas buang dan meningkatkan efisiensi dari tungku tersebut.

Metode penelitian yang digunakan berupa pengujian pengaruh kecepatan udara yang dialirkan ke dalam ruang pembakaran tungku dengan variasi kecepatan udara 0,5 m/s, 1,0 m/s dan 1,5 m/s. Dengan ketiga variasi pengujian di atas dapat kita ketahui seberapa besar pengaruh variasi kecepatan udara terhadap proses pembakaran di dalam tungku serta lama waktu pengujian berlangsung.

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi kecepatan udara yang dialirkan sangat berpengaruh pada energi yang dihasilkan oleh bahan bakar kayu, lama waktu pendidihan air dan efisiensi tungku. Dimana energi yang dihasilkan bahan bakar kayu terbesar didapat pada kecepatan udara 1,0 m/s sebesar 612 kJ, waktu pendidihan air tercepat pada kecepatan udara 1,5 m/s dengan waktu 300 detik dan nilai efisiensi termal tungku terbaik adalah 58% pada pengujian tungku dengan penambahan aliran udara dengan kecepatan 1,5 m/s.

Kata Kunci : Tungku Biomassa, Pembakaran, Variasi Kecepatan Udara, Efisiensi

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia semakin lama semakin meningkat, hal ini bebanding terbalik dengan ketersediaan dan produksi energi itu sendiri. Pokok permasalahannya adalah semakin menipisnya ketersediaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama selama ini. Untuk mengantisipasi terjadinya kelangkaan energi di Indonesia, maka perlunya digalakkan penggunaan energi baru dan terbarukan (EBT) yang potensinya sangat melimpah di Indonesia, tetapi penggunaannya belum optimal.

Upaya yang telah dilakukan pemerintah untuk mengatasi kelangkaan energi ini antara lain, melakukan konversi energi dari minyak tanah ke gas. Namun

masyarakat yang belum siap menerima kebijakan ini khususnya masyarakat pedesaan, masih tetap menggunakan kayu atau arang untuk memenuhi kebutuhan memasak sehari-hari. dan mengandalkan biomassa tradisional terutama kayu sebagai bahan bakar masak utama. Masih banyaknya penggunaan biomassa untuk keperluan memasak oleh rumah tangga di Indonesia khususnya di wilayah pedesaan, dipandang perlu adanya penggunaan tungku yang lebih efisien dan menghasilkan polutan yang lebih rendah. dengan nilai efisiensi cukup tinggi, hemat energi, sehingga berdampak pada konsumsi kayu bakar yang yang relatif rendah.

Dengan solusi penggunaan tungku sehat dan hemat energi ini bisa membantu

¹ Alumni Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

² Dosen Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

³ Dosen Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang

masyarakat yang memasak menggunakan tungku tradisional beralih menggunakan tungku sehat hemat energi. Serta dapat menghemat kebutuhan biomassa terutama kayu.

Seberapa besar energi yang dipakai untuk mendidihkan air serta efisiensi termal yang diperoleh dengan menggunakan kompor biomassa hasil rancangan dengan variasi kecepatan aliran udara.

Untuk menghindari permasalahan yang kompleks dalam penelitian ini, maka diberikan batasan-batasan masalah sebagai berikut :

- Tidak menganalisa proses reaksi kimia yang terjadi dalam proses pembakaran.
- Kondisi temperatur udara sekitar dianggap seragam
- Tidak menganalisa proses perpindahan panas yang terjadi dari dalam tungku ke lingkungan sekitar.

Tujuan dari penelitian adalah untuk menganalisa seberapa besar nilai energi dan efisiensi thermal yang diperoleh dengan menggunakan tungku biomassa yang telah dirancang dengan menggunakan variasi kecepatan. Selanjutnya hasil penelitian ini akan memberikan kontribusi ke masyarakat dalam hal penggunaan tungku yang lebih sehat dan hemat energi (efisien) dan sedikit membantu mengatasi krisis energi yang terjadi saat ini.

Tungku Biomassa

Tungku merupakan sebuah perangkat yang digunakan untuk menghasilkan panas yang biasanya digunakan untuk memasak

atau bisa disebut juga kompor. Biasanya tungku dapat ditemukan di dapur dan bahan bakarnya dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu cair, padat, dan gas.

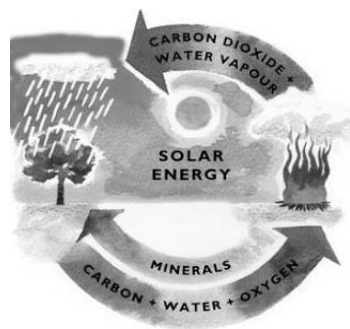
Menurut pengertian diatas dapat dikatakan bahwa tungku biomassa merupakan perangkat tungku yang memanfaatkan kalor hasil pembakaran biomassa di dalam ruang pembakarannya. (BSN, 2013)

Persyaratan kompor/tungku harus memiliki :

1. Ruang bakar untuk bahan bakar.
2. Aliran udara dari lubang bawah menuju lubang atas dengan melewati ruang bakar yang terdiri dari aliran udara primer dan sekunder.
3. Ruang untuk menampung abu dari bahan bakar biomassa yang terletak di bawah ruang bakar.

Biomassa

Energi biomassa adalah sumber energi terbarukan yang dihasilkan dari benda-benda di sekitar kita seperti kayu, limbah pertanian, kotoran hewan dan tanaman hidup. Biomassa digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan bentuk-bentuk energi lainnya. Bahan bakar ini bisa dalam bentuk gas, cair atau padat. Penggunaan energi biomassa memiliki berbagai manfaat yaitu manfaat lingkungan dan ekonomi. Energi biomassa telah menjadi energi alternatif bagi bahan bakar fosil yang saat ini umum dipakai untuk memproduksi energi.



Gambar 1. Siklus Energi Biomassa

Potensi biomassa di Indonesia cukup tinggi. Dengan hutan tropis Indonesia yang sangat luas, setiap tahun diperkirakan terdapat limbah kayu sebanyak 25 juta ton yang terbuang dan belum dimanfaatkan. Jumlah energi yang terkandung dalam kayu itu sangat besar, yaitu 100 milyar kkal setahun.

Tabel 1. Potensi Biomassa di Indonesia

| Sumber Energi | Produksi 10 ⁶ ton/thn | Energi 10 ⁹ kkal/thn |
|------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| Kayu | 25.00 | 100.0 |
| Sekam padi | 7.55 | 27.0 |
| Tongkol jagung | 1.52 | 6.8 |
| Tempurung kelapa | 1.25 | 5.1 |
| Potensi Total | 35.32 | 138.9 |

Sumber : *The Potential Of Biomass Residues As Energy Sources In Indonesia* dalam Dewi dan Siagian (1992).

Berikut beberapa keuntungan dari penggunaan biomassa, yaitu :

1. Mengurangi Jejak Karbon

Biomassa menghasilkan emisi karbon lebih sedikit dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Hal ini karena tanaman yang dipakai untuk biomassa baru tumbuh dan menggantikan yang lama yang digunakan untuk menghasilkan energi biomassa sebelumnya. Penggunaan bahan bakar fosil akan berkurang ketika sejumlah besar energi biomassa digunakan dan ini berarti akan menurunkan tingkat karbon dioksida di atmosfer.

2. Mengurangi Jumlah Metana di Atmosfer

Dengan menggunakan biomassa, jumlah metana di atmosfer dapat dikurangi. Metana bertanggung jawab atas efek rumah kaca dan dengan produksi serta pemakaian energi biomassa, tingkat gas metana diturunkan. Metana biasanya dihasilkan ketika bahan organik terurai, oleh karena itu dengan berkurangnya proses ini (pembusukan), efek rumah kaca dapat berkurang juga.

3. Mencegah Kebakaran Hutan

Kayu adalah salah satu bahan baku biomassa yang digunakan untuk menghasilkan energi biomassa biasanya diperoleh dari hutan. Pemanenan pohon dari hutan dapat membantu untuk mencegah melebarnya titik api karena pertumbuhan pohon yang padat. Jika terlalu banyak pohon di hutan, ada resiko tinggi akan terjadi kebakaran hutan.

4. Peningkatan Kualitas Udara

Saat biomassa menggantikan bahan bakar fosil, hal ini berarti membantu untuk meningkatkan kualitas udara karena akan ada lebih sedikit polusi. Penggunaan bahan bakar fosil telah lama dipermasalahkan karena menyebabkan hujan asam. Biomassa tidak menghasilkan emisi sulfur ketika dibakar dan ini akan mengurangi risiko hujan asam. Hal ini akan memberikan sebuah manfaat besar bagi peradaban manusia, karena berkurangnya polusi di udara.

5. Daur Ulang

Beberapa sumber energi biomassa meliputi limbah industri, hal ini merupakan

sebuah keuntungan besar karena ini berarti tidak ada keluaran industri yang sia-sia. Semua produk limbah dari industri dapat digunakan untuk menghasilkan energi biomassa.

Proses Pembakaran

Pembakaran sempurna adalah proses pembakaran dimana gas buang yang dihasilkan terdiri dari gas CO₂ dan Air. Gas hasil pembakaran disamping dua gas tersebut, terdapat juga gas-gas lain hasil dari pembakaran tidak sempurna, seperti gas CO, HC, NO_x dan partikel padat.

Untuk pembakaran bahan bakar padat, partikel padat umumnya dalam bentuk abu, seperti halnya hasil sisa pembakaran batu bara dan kayu bakar. Pembakaran sempurna bahan bakar kayu akan terjadi jika memenuhi beberapa persyaratan berikut (Peter Scott, 2005) :

1. Suhu ruang bakar dan kayu bakar tinggi, kurang lebih 650°C

Suhu ruang bakar dan suhu kayu bakar tinggi diperlukan untuk melepaskan uap air dan gas-gas yang bisa menguap dari kayu, sehingga mempermudah pembakaran dapat berlangsung sempurna.

2. Ukuran kayu dibuat kecil dan kering.

Dimaksudkan untuk memperluas permukaan kayu, sehingga kontak dengan udara dapat berlangsung baik. Hal ini dapat meningkatkan rasio jumlah udara bahan bakar (AFR) dan proses pencampuran udara bahan bakar berlangsung lebih sempurna. Kecukupan udara untuk proses pembakaran perlu diciptakan sehingga pembakaran kayu

bakar berlangsung dengan baik. Ketidakcukupan udara akan berakibat banyaknya bahan bakar yang tidak terbakar. Untuk menciptakan sirkulasi udara yang sesuai dengan kebutuhan proses pembakaran perlu didisain dimensi dan tinggi ruang bakar yang memungkinkan tarikan udara alami dalam ruang bakar dapat berlangsung baik.

4. Kandungan air (kelembaban) kayu

Kandungan air dalam kayu akan berpengaruh terhadap nilai kalor kayu, yang selanjutnya akan mempengaruhi proses pembakaran. Kayu kering mempunyai nilai kalor tinggi dan sebaliknya kayu basah mempunyai nilai kalor rendah.

Kalor

Kalor adalah suatu bentuk energi yang diterima oleh suatu benda yang menyebabkan benda tersebut berubah suhu atau wujud bentuknya. Kalor merupakan suatu kuantitas atau jumlah panas baik yang diserap maupun dilepaskan oleh suatu benda. Untuk mendeteksi adanya kalor yang dimiliki oleh suatu benda dengan mengukur suhu benda tersebut. Jika suhunya tinggi maka kalor yang dikandung oleh benda sangat besar, begitu juga sebaliknya. Dari hasil percobaan yang sering dilakukan besar kecilnya kalor yang dibutuhkan suatu benda (zat) bergantung pada 3 faktor yaitu :

1. massa zat,
2. jenis zat (kalor jenis),
3. perubahan suhu.

Sehingga secara matematis dapat dirumuskan :

$$Q = m.c.\Delta T \tag{1}$$

Kapasitas kalor (*C*) adalah jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan temperatur dari suatu sampel bahan sebesar 1°C. Dimana secara matematis untuk mencari kapasitas kalor dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \tag{2}$$

Atau

$$C = \frac{m.c.\Delta T}{\Delta T} \tag{3}$$

Atau

$$C = m.c \tag{4}$$

Dimana :

C : Kapasitas kalor (J/°C)

Q : Kalor yang diterima suatu zat (J)

m : Massa zat (kg)

c : Kalor jenis (J/kg.°C)

ΔT : Perubahan temperatur (°C)

Untuk mengetahui nilai kalor jenis suatu zat dapat dilihat seperti tabel di bawah ini :

Tabel 2. Nilai Kalor Jenis

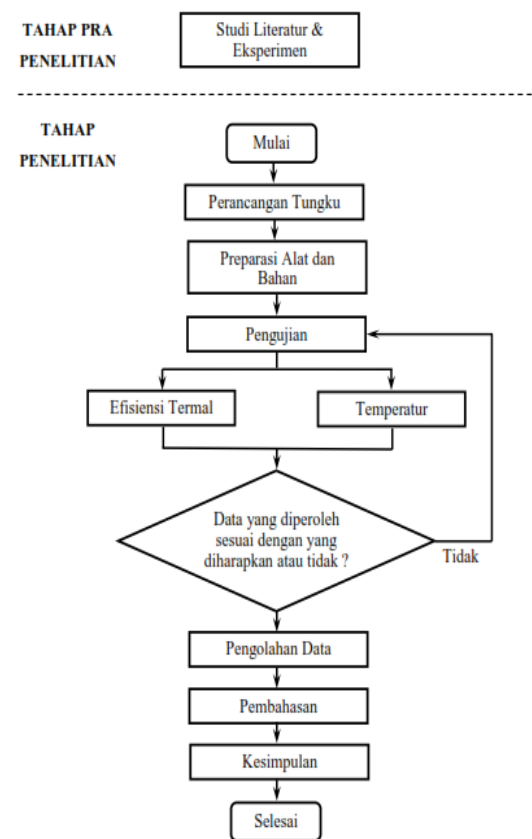
| Jenis Benda | Kalor Jenis (C) | |
|-----------------|-------------------|------------|
| | J/kg.°C | Kkal/kg.°C |
| Air | 4180 | 1,00 |
| Alkohol (Ethyl) | 2400 | 0,57 |
| Es | 2100 | 0,50 |
| Kayu | 1700 | 0,40 |
| Aluminium | 900 | 0,22 |
| Marmer | 860 | 0,20 |
| Kaca | 840 | 0,20 |
| Besi/Baja | 450 | 0,11 |
| Tembaga | 390 | 0,093 |
| Perak | 230 | 0,056 |
| Raksa | 140 | 0,034 |
| Timah Hitam | 130 | 0,031 |
| Emas | 126 | 0,030 |

METODOLOGI

Metode yang dipergunakan dalam melakukan penelitian ini adalah uji

eksperimental. Setelah mendapat gambar rencana dan dimensi tungku, selanjutnya persiapan pembuatan tungku seperti desain yang kita rancang, kemudian melakukan eksperimen (pengujian) tungku dengan variasi kecepatan udara yang dialirkan ke dalam ruang pembakaran tungku, sehingga kita dapat memperoleh besarnya nilai energy dan efisiensi dari tungku biomassa yang telah dirancang. Pengujian yang dilakukan menggunakan metode WBT (*Water Boiling Test*) yaitu metode pendidihan air.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Variabel Penelitian

Variabel yang terdapat dalam penelitian ini dibagi menjadi tiga jenis :

- a. Variabel bebas, antara lain :
 - Kecepatan aliran udara
 - Waktu bakar.
- b. Variabel terikat, antara lain :
 - Temperatur tungku
 - Temperatur air
 - Efisiensi termal
- c. Variabel kontrol, yakni massa air sebesar 1 kg.

Fasilitas Penelitian

A. Bahan Penelitian

1. Kayu Bakar



Gambar 3. Kayu Bakar

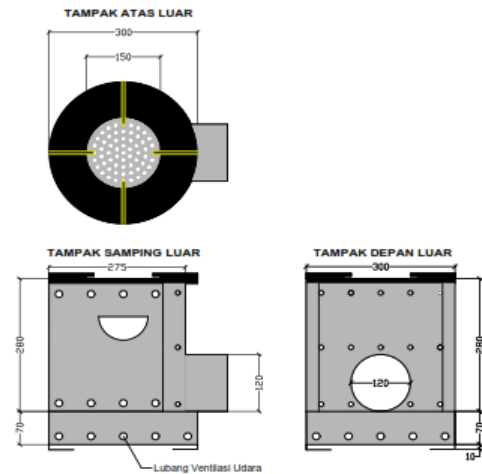
B. Alat Penelitian

1. Tungku Biomassa

Tungku biomassa yang digunakan merupakan hasil perancangan dari tungku sebelumnya yang sudah diteliti dengan adanya penambahan tinggi tungku biomassa yang awalnya 30 cm menjadi 35 cm. Hal ini dikarenakan untuk menambah volume ruang pembakaran. Dan penambahan lubang ventilasi bagian samping atas tungku untuk menambah aliran udara yang masuk dari samping tungku. Berikut gambar 4 desain tungku biomassa yang akan digunakan.

2. *Blower*
3. Anemometer Digital
4. Termokopel
5. Timbangan
6. *Stopwatch*

7. Gelas Ukur



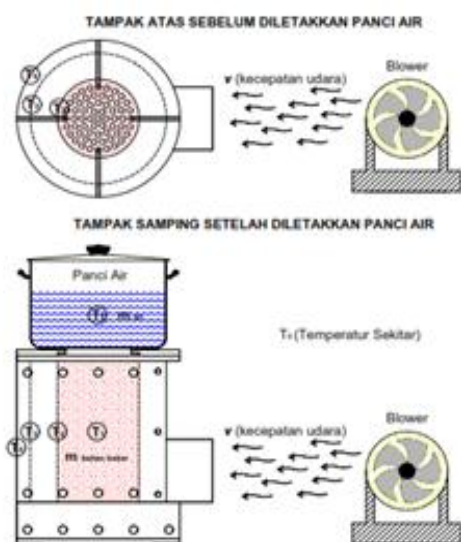
Gambar 4. Desain Tungku Biomassa

Prosedur Penelitian

Langkah-langkah untuk melaksanakan pengambilan data pada Tungku Biomassa, antara lain :

1. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan untuk tahap pengujian.
2. Menyiapkan dan menimbang air sebanyak 1 liter atau setara 1 kg air.
3. Menyiapkan 5 buah termokopel dengan rincian : 1 dipasang untuk mengukur temperatur bahan bakar (T_1), 3 dipasang untuk mengukur temperatur pada dinding tungku (T_2 s/d T_4), dan 1 lagi dipasang untuk mengukur temperatur air.
4. Menyiapkan tungku pada suhu ruang
5. Menimbang dan memasukkan bahan bakar berupa kayu bakar ke ruang pembakaran tungku.
6. Menyalakan api pada bahan bakar kayu yang telah disiapkan
7. Menyiapkan dan menjalankan alat waktu pengukur (*stopwatch*) pada skala 00:00 untuk menghitung waktu *start*, dimana alat pengukur waktu tersebut dimatikan

- pada saat air sudah mendidih (temperatur mencapai 100°C).
8. Mengatur dan mengukur kecepatan udara yang dialirkan ke ruang pembakaran dengan *blower*, pengukuran kecepatan udara menggunakan anemometer digital.
 9. Melakukan proses pencatatan hasil pengukuran selama pengujian.
 10. Mengulangi prosedur di atas dengan mendinginkan tungku hingga kembali pada temperatur ruang untuk melakukan pengujian dengan kecepatan udara yang berbeda.



Gambar 5. Skema Alat Pengujian

Rumus-Rumus yang Digunakan

Dalam pengujian ini, yang dihitung adalah nilai kalor yang dihasilkan bahan bakar dan kalor dibutuhkan untuk menaikkan temperatur air mencapai 100°C (sampai mendidih). Adapun rumus-rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Menghitung Kalor yang Dihasilkan Bahan Bakar adalah sebagai berikut :

$$Q = NK_{bb} \cdot m_{bb} \quad (5)$$

- Menghitung Kalor yang Digunakan untuk Mendidihkan Air adalah sebagai berikut :

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (6)$$

Dimana :

NK_{bb} : Nilai Kalor bahan bakar (kJ/kg)

Q : Kalor yang diperlukan (J)

m : Massa air (kg)

c : Kalor jenis air (J/kg.°C)

ΔT : Perubahan temperatur (°C)

- Menghitung Efisiensi Thermal adalah sebagai berikut :

$$\eta_{th} = \frac{\text{kalor yang diperlukan}}{\text{kalor yang dihasilkan bahan bakar}} \times 100\% \quad (7)$$

- Mengukur Massa Bahan Bakar Yang Digunakan (m_{bb})

Dilakukan dengan cara melakukan penimbangan bahan bakar pada awal dan akhir pengujian. Sehingga didapatkan selisih dari berat yang digunakan sebagai acuan berat bahan bakar yang digunakan (dalam satuan kg).

HASIL DAN PEMBAHASAN

- Hasil Pengujian I

Hasil pengujian pertama ini menggunakan variasi kecepatan udara 0,5 m/s. Data hasil pengujian ini dapat dilihat seperti tabel dibawah ini :

Tabel 3. Tabel Hasil Perhitungan Pengujian I

TABEL HASIL PERHITUNGAN PENGUJIAN KE I

| | |
|--|---------------|
| Kecepatan Aliran Udara | 1.0 m/s |
| Massa Awal Bahan Bakar | 0.90 kg |
| Massa Akhir Bahan Bakar | 0.20 kg |
| Massa Bahan Bakar yang Berguna | 0.70 kg |
| Massa Bahan Bakar yang Hilang per Satuan Waktu | 0.00130 kg/s |
| Massa Air | 1 kg |
| Temperatur Udara Sekitar | 28 °C |
| c_p air | 4180 J/(kg°C) |
| c_p kayu bakar | 1700 J/(kg°C) |
| Waktu untuk memasak air hingga mendidih | 540 detik |

| No. | Waktu (s) | Temperatur Pembakaran (°C) | Temperatur Air (°C) | Q Air (J) | Q Bahan Bakar (J) | Efisiensi (η) |
|-----|-----------|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|---------------|
| 1 | 0 | 40 | 28.6 | | | |
| 2 | 120 | 62 | 29 | 1672 | 5817.8 | 29% |
| 3 | 180 | 162 | 31 | 10032 | 48393.3 | 21% |
| 4 | 240 | 308 | 37.5 | 37202 | 141742.2 | 26% |
| 5 | 360 | 336 | 55 | 110352 | 234826.7 | 47% |
| 6 | 420 | 366 | 68.8 | 168036 | 301731.1 | 56% |
| 7 | 480 | 372 | 86 | 239932 | 351182.2 | 68% |
| 8 | 540 | 408 | 100 | 298452 | 437920.0 | 68% |

- Hasil Pengujian II

Hasil pengujian kedua menggunakan variasi kecepatan udara 1,0 m/s. Data hasil pengujian ini dapat dilihat seperti tabel dibawah ini:

Tabel 4. Tabel Hasil Perhitungan Pengujian II

TABEL HASIL PERHITUNGAN PENGUJIAN KE II

| | |
|--|---------------|
| Kecepatan Aliran Udara | 1.0 m/s |
| Massa Awal Bahan Bakar | 0.90 kg |
| Massa Akhir Bahan Bakar | 0.15 kg |
| Massa Bahan Bakar yang Berguna | 0.75 kg |
| Massa Bahan Bakar yang Hilang per Satuan Waktu | 0.00139 kg/s |
| Massa Air | 1 kg |
| Temperatur Udara Sekitar | 28 °C |
| c_p air | 4180 J/(kg°C) |
| c_p kayu bakar | 1700 J/(kg°C) |
| Waktu untuk memasak air hingga mendidih | 540 detik |

| No. | Waktu (s) | Temperatur Pembakaran (°C) | Temperatur Air (°C) | Q Air (J) | Q Bahan Bakar (J) | Efisiensi (η) |
|-----|-----------|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|---------------|
| 1 | 0 | 55 | 29 | | | |
| 2 | 120 | 167 | 32 | 12540 | 31733.3 | 40% |
| 3 | 180 | 328 | 36 | 29260 | 116025.0 | 25% |
| 4 | 240 | 440 | 45 | 66880 | 218166.7 | 31% |
| 5 | 300 | 448 | 57 | 117040 | 278375.0 | 42% |
| 6 | 420 | 500 | 86 | 238260 | 441291.7 | 54% |
| 7 | 480 | 526 | 99 | 292600 | 533800.0 | 55% |
| 8 | 540 | 535 | 100 | 296780 | 612000.0 | 48% |

- Hasil Pengujian III

Hasil pengujian menggunakan variasi kecepatan udara 1,0 m/s. Data hasil pengujian ini dapat dilihat seperti tabel dibawah ini:

Tabel 5. Tabel Hasil Perhitungan Pengujian III

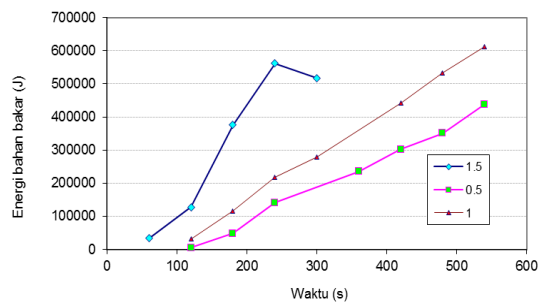
TABEL HASIL PERHITUNGAN PENGUJIAN KE III

| | |
|--|---------------|
| Kecepatan Aliran Udara | 1.0 m/s |
| Massa Awal Bahan Bakar | 0.90 kg |
| Massa Akhir Bahan Bakar | 0.15 kg |
| Massa Bahan Bakar yang Berguna | 0.75 kg |
| Massa Bahan Bakar yang Hilang per Satuan Waktu | 0.00250 kg/s |
| Massa Air | 1 kg |
| Temperatur Udara Sekitar | 28 °C |
| c_p air | 4180 J/(kg°C) |
| c_p kayu bakar | 1700 J/(kg°C) |
| Waktu untuk memasak air hingga mendidih | 300 detik |

| No. | Waktu (s) | Temperatur Pembakaran (°C) | Temperatur Air (°C) | Q Air (J) | Q Bahan Bakar (J) | Efisiensi (η) |
|-----|-----------|----------------------------|---------------------|-----------|-------------------|---------------|
| 1 | 0 | 49 | 29 | | | |
| 2 | 60 | 182 | 31 | 8360 | 33915.0 | 25% |
| 3 | 120 | 295 | 56 | 112860 | 125460.0 | 90% |
| 4 | 180 | 540 | 90 | 254980 | 375615.0 | 68% |
| 5 | 240 | 600 | 96 | 280060 | 562020.0 | 50% |
| 6 | 300 | 455 | 100 | 296780 | 517650.0 | 57% |

- Energi yang Dihasilkan Bahan Bakar

Energi yang dihasilkan bahan bakar dalam penelitian ini dapat dilihat seperti pada grafik dibawah ini :



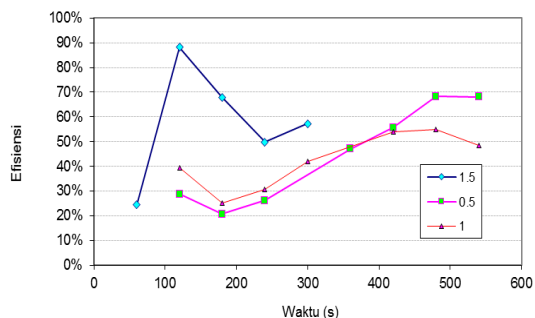
Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Energi Bahan Bakar Terhadap Waktu

Dari grafik hubungan energi bahan bakar terhadap waktu dapat kita ketahui bahwa energi yang dihasilkan bahan bakar pada pengujian dengan menggunakan variasi kecepatan 0,5 m/s, 10 m/s dan 1,5 m/s kenaikan energinya relatif stabil. Sedangkan pada pengujian kedua dengan menggunakan variasi kecepatan 1,0 m/s. Energi yang dihasilkan lebih besar dibandingkan pada pengujian pertama. Hal ini terjadi karena pengaruh kecepatan aliran udara ke dalam ruang pembakaran ditambah. Pada pengujian

ketiga pengaruh besarnya kecepatan udara juga akan mempercepat kenaikan energi panasnya.

- Efisiensi Tungku

Energi yang diperlukan untuk mendidihkan air dalam penelitian ini dapat dilihat seperti pada grafik dibawah ini :



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Efisiensi Terhadap Waktu

Dari grafik hubungan antara efisiensi terhadap waktu dapat kita ketahui bahwa pada pengujian dengan variasi kecepatan udara 0,5 m/s. dan 1,0 m/s kecenderungan efisiensi semakin naik. Hal ini disebabkan kesempurnaan pembakaran dipengaruhi oleh kecepatan udara dan waktu bakar.

Namun pada pengujian ketiga dengan variasi kecepatan udara 1,5 m/s. Nilai efisiensi pada kondisi air mendidih mengalami kenaikan dibanding pengujian ke satu dan ke dua. Efisiensi terbesar terjadi pada waktu 120 detik mencapai 90%. Efisiensi ini merupakan efisiensi sesaat dikarenakan hanya pada waktu tersebut perbandingan energi yang dihasilkan bahan bakar dan yang digunakan air hampir seimbang. Dari data hasil data keseluruhan diperoleh efisiensi rata-rata tungku antara 42-58%. Nilai efisiensi dari tungku ini lebih

baik dari efisiensi tungku yang diteliti sebelumnya sebesar 38-42%.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian di atas didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya :

1. Dari grafik dapat diketahui bahwa energi terbesar yang dihasilkan oleh bahan bakar kayu terjadi saat pengujian kedua dengan variasi kecepatan udara yang dialirkan ke ruang pembakaran tungku 1,0 m/s. Besar energi yang dihasilkan mencapai 612000 J (612 kJ). Sedangkan energi terkecil yang dihasilkan bahan bakar kayu terjadi pada pengujian pertama dengan variasi kecepatan udara 0,5 m/s. Energi yang dihasilkan bahan bakar sebesar 5817.8 J (5,8 kJ).
2. Dari grafik juga diketahui energi yang diperlukan air untuk mendidih (mencapai temperatur 100°C). Energi terkecil yang diperlukan air terjadi pada pengujian pertama dengan variasi kecepatan udara 0,5 m/s sebesar 1672 J (1,67 kJ) pada waktu 120 detik dan terbesar mencapai 298452 J (298 kJ) pada waktu 540 detik atau saat kondisi air mendidih.
3. Dari pengujian diperoleh nilai efisiensi termal rata-rata tungku antara 42-58%, nilai efisiensi ini lebih baik dari efisiensi tungku sebelumnya sebesar 38-42%.

DAFTAR PUSTAKA

- Holman, JP., 1991, **Perpindahan Kalor**. Edisi keenam, Cetakan kedua. Erlangga, Jakarta.
- Incropera, F. P., 1981, *Fundamentals Of Heat Transfer*, John Wiley & Sons, Inc. United States of America.
- Indrawanto, R., 2007, **Kayu Bakar, Biomassa, dan Program Gagal Konversi Energi**, Majalah Kehutanan Indonesia. Edisi XI : 17 – 19.
- Nurhuda, Muhammad, 2010, **Tungku Biomassa**, <http://inotek.org>.
- Majalah Asap**, 2000-2009, Edisi pertama – keenambelas. Sekretariat JKTI. Yogyakarta.
- Putro, Sartono dan Sumarwan, 2013, **Pengembangan Teknologi Tungku Pembakaran Dengan Air Heater Tanpa Sirip**, Jurnal Media Mesin, Vol 14, No 2 hal 73-84. Universitas Muhamadiyah. Surakarta.
- Yunianto, Bambang, dkk., 2014, **Pengembangan Disain Tungku Bahan Bakar Kayu Renda Polusi Dengan Menggunakan Dinding Beton Semen**, Jurnal Rotasi, Vol 16, No 1 hal 28-33. Universitas Diponegoro, Semarang