

Uji Kinerja Tungku Biomassa Pot Tunggal yang Terbuat dari Tanah Liat

Faisal

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Malikussaleh

Corresponding Author: faisalmes96@gmail.com

Abstrak – Rumah tangga merupakan salah satu sektor yang banyak menggunakan energi di antaranya untuk memasak. Penggunaan biomassa untuk memasak masih banyak digunakan saat ini terutama di pedesaan. Berbagai model rancangan tungku biomassa saat ini terdapat di pasaran. Studi terhadap tungku biomassa tradisional yang banyak digunakan oleh masyarakat perlu dilakukan untuk melihat bagaimana kinerjanya. Hal ini akan bermanfaat untuk masyarakat dalam memilih jenis tungku biomassa yang akan digunakan dan juga sebagai data awal bagi perancangan dan pengembangan tungku biomassa yang lebih moderen. Pengujian secara eksperimental telah dilakukan terhadap suatu tungku biomassa pot tunggal yang terbuat dari tanah liat. Metode uji didih air merupakan metode standar yang digunakan. Pengujian yang dilakukan terdiri atas tiga kondisi operasi yaitu cold start, hot start dan simmer. Kinerja tungku dapat dilihat berdasarkan variabel waktu pendidihan, laju pembakaran, efisiensi termal, konsumsi bahan bakar spesifik, daya api dan turn down ratio. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa kinerja tungku terbaik terjadi pada kondisi operasi hot start dengan efisiensi 13 %. Copyright © 2015 Department of Mechanical Engineering. All rights reserved.

Keywords: energi, tungku, biomassa, kinerja

1. Pendahuluan

Rumah tangga merupakan salah satu sektor yang banyak menggunakan energi di samping sektor transportasi, industri dan komersial [1]. Kebutuhan energi untuk memasak adalah salah satu konsumsi energi terbanyak pada sektor rumah tangga. Jenis energi yang digunakan oleh masyarakat Indonesia untuk memasak pada umumnya adalah gas, minyak dan biomassa [2]. Sejak pelaksanaan program konversi minyak ke gas oleh pemerintah, maka banyak masyarakat Indonesia saat ini yang beralih menggunakan energi berbahan bakar gas untuk keperluan memasaknya.

Penggunaan energi biomassa untuk memasak di dapur merupakan salah satu jenis energi yang masih banyak digunakan saat ini terutama di pedesaan [3]. Alasan masyarakat masih menggunakan energi biomassa adalah karena mereka tidak sanggup membeli bahan bakar fosil walaupun sudah disubsidi dan tersedianya bahan bakar biomassa yang murah bahkan bisa diperoleh gratis [4]. Memasak dengan tungku yang menggunakan biomassa bagi sebagian keluarga bertujuan untuk menghemat pengeluaran biaya rumah tangga serta sudah menjadi tradisi yang lebih disukai [5]. Beberapa rumah tangga lebih memilih menggunakan tungku dengan energi biomassa dalam menjalankan usahanya karena lebih menguntungkan.

Jumlah masyarakat yang masih bertahan menggunakan energi biomassa yang tidak membebani subsidi dan keuangan Negara ini adalah masih cukup banyak. Mereka adalah pahlawan energi bagi bangsa ini, namun kenyataan tersebut kurang mendapat perhatian dari pemerintah. Beberapa dari mereka kemudian beralih ke energi fosil karena kondisi ekonominya yang sudah mampu serta pandangan masyarakat tentang perbedaan kelas sosial yang menggunakan tungku biomassa dibandingkan dengan alat masak modern [6]. Bila kemudian semakin banyak yang beralih ke energi fosil tentu akan semakin membebani anggaran pemerintah untuk subsidi. Hal ini juga bertentangan dengan program pemerintah untuk mendorong masyarakat menggunakan energi yang beragam sesuai dengan potensi yang ada sehingga mereka tidak tergantung pada satu jenis energi tertentu saja.

Studi terhadap tungku tradisional yang digunakan oleh masyarakat perlu dilakukan untuk melihat bagaimana prestasi tungku tersebut dan dapat dibandingkan dengan tungku lainnya [7]. Hasil pengujian berguna untuk melihat bagaimana pengaruh model rancangan tungku terhadap prestasinya. Hasil tersebut berguna bagi masyarakat dalam memilih tungku yang akan digunakan dan juga untuk para produsen tungku dalam mengembangkan tungku biomassa yang lebih moderen. Prestasi tungku dapat diukur dengan menggunakan

metode uji didih air yang khusus telah dikembangkan untuk tungku biomassa. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan. Prestasi tungku dapat dilihat berdasarkan efisiensi termal, laju pembakaran, lama pemanasan air dan temperatur bara untuk tiap jenis tungku.



Gambar 1.1 Tungku Biomassa *pot* tunggal yang terbuat dari tanah liat

Tungku biomassa terdapat banyak jenis dan modelnya. Tiap tempat tertentu mempunyai bentuk tungku tersendiri. Secara garis besar bentuk tungku dapat dibagi atas tungku yang terbuka tanpa dinding pelindung dan yang memiliki struktur dinding pelindung. Dinding tungku juga berfungsi sebagai struktur bangunan tungku untuk menahan beban dari *pot* sebagai wadah memasak dan isinya yaitu bahan yang dimasak. Jumlah *pot* dapat bervariasi dari *pot* tunggal maupun *multi pot* dengan jumlah sampai empat *pot* atau lebih [8]. Namun dalam artikel ini hanya akan dibahas salah satu jenis tungku yang terbuat dari tanah liat dengan *pot* tunggal yang banyak dipakai oleh masyarakat seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1.1.

2. Teori Dasar

Uji didih air terdiri atas daya tinggi dan daya rendah, daya tinggi terdiri atas *Cold Start* dan *Hot Start*, sedangkan daya rendah diistilahkan dengan *simmer*. Setiap tahapan melibatkan sejumlah pengukuran dan perhitungan [9]. Variable yang digunakan setiap tahapan uji yaitu nilai kalori tertinggi dari bahan bakar, nilai kalori terendah dari bahan bakar, kandungan uap air dalam bahan bakar, nilai kalori efektif, berat belanga, berat bejana untuk arang, serta temperatur didih air lokal.

Nilai kalori tertinggi dari bahan bakar (bb), dengan satuan MJ/kg atau *HHV* (High Heating Value) adalah jumlah energi maksimum secara teoritis yang dapat dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar [10]. Produk pembakaran bila didinginkan pada temperatur ruangan akan menghasilkan air dari reaksi bahan bakar yang mengikat hidrogen.

Nilai kalori terendah dari bahan bakar (bb), (MJ/kg) atau *LHV* (Lower Heating Value) adalah jumlah energi maksimum secara teoritis yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar jika pembakaran tersebut adalah pembakaran sempurna dan produk pembakaran didinginkan pada temperatur ruangan, tetapi air yang dihasilkan tersebut dalam fase gas. Untuk bahan bakar kayu biasanya *LHV* berbeda dari *HHV* yaitu sebesar 1,32 MJ/kg.

Kandungan uap air dalam bahan bakar (m) adalah persen uap air yang terkandung dalam bahan bakar berdasarkan berat basah yang didefinisikan oleh persamaan :

$$m = \frac{(massa\ bb\ keadaan\ basah) - (massa\ bb\ keadaan\ kering)}{(massa\ bb\ keadaan\ basah)} \quad (2.1)$$

ini dapat ditentukan dengan menimbang berat sample kayu basah, lalu sampel dikeringkan dan ditimbang kembali) atau melalui penggunaan alat ukur kelembaban kayu.

Nilai kalori efektif (C_{eff}), kJ/kg bahan bakar basah adalah nilai kalori efektif bahan bakar. Merupakan energi yang diperlukan untuk memanaskan dan menguapkan kandungan air dalam bahan bakar, ini dihitung berdasarkan persamaan,

$$C_{eff} = \frac{LHV \times (massa\ bb\ kering) - (massa\ air\ bb) \times (80 \times 4,186 + 2260)}{massa\ bb\ basah} \quad (2.2)$$

Berat belanga dalam keadaan kering, P (gram) adalah berat belanga dalam keadaan kosong tanpa air. Tungku dengan belanga banyak diikuti dengan bilangan indeks 1 – 3 (P1, P2 dan P3). Sedangkan berat bejana untuk arang dalam keadaan kosong, K (gram) adalah berat dari bejana arang yang digunakan untuk menempatkan arang ketika dipindahkan dari tungku untuk ditimbang.

Temperatur didih air lokal, T_b (°C) adalah temperatur air didih lokal yang harus ditentukan karena adanya perbedaan ketinggian (altitude).

2.1.1 Cold start

Cold start adalah pengujian tungku dalam kondisi dingin. Penoperasian tungku pada saat awal dimana tungku masih dalam keadaan dingin merupakan pengoperasian tungku dalam keadaan cold start. Tungku pada kondisi ini belum menyerap panas dari bahan bakar [11]. Terdapat sejumlah variabel yang menjadi parameter pengukuran untuk pengujian *cold start* ini.

Variabel massa kayu yang digunakan untuk mendidihkan air (f_{cm}), yang didapat dari perbedaan antara berat awal bundel kayu dengan jumlah kayu tertinggal pada akhir pengujian. f_{cm} merupakan jumlah massa kayu (gram) yang dikonsumsi untuk proses pembakaran (kondisi basah).

$$f_{cm} = f_{cf} - f_{ci} \quad (2.3)$$

Dimana f_{cf} adalah berat kayu setelah pengujian (gram) dan f_{ci} adalah berat bahan bakar sebelum uji (gram).

ΔC_c adalah massa arang (gram) yang terbentuk selama pengujian yang diperoleh dengan memindahkan arang dari tungku pada akhir pengujian karena dia sangat panas, arang akan ditempatkan pada suatu bejana yang kosong yang telah ditimbang sebelumnya dan memiliki massa k dan ditimbang bersama arang dan bejana, kemudian dikurangi kedua massa tersebut.

$$\Delta C_c = C_c - k \quad (2.4)$$

Jumlah massa (gram) kayu kering yang di konsumsi (f_{cd}) adalah perhitungan yang menyesuaikan jumlah kayu yang dibakar guna menentukan energi yang dibutuhkan dalam memindahkan uap air dari dalam kayu dan jumlah arang yang tidak terbakar. Perhitungannya dilakukan berdasarkan persamaan berikut:

$$f_{cd} = f_{cm} \times (1 - (1.12 \times m)) - 1.5 \times \Delta C_c \quad (2.5)$$

Faktor $(1 - 1.12 \times m)$ adalah massa kayu yang dibakar dengan jumlah kayu yang diperlukan untuk memanaskan dan menguapkan $m \times f_{cm}$ gram air. Kasarnya membutuhkan 2260 kJ untuk menguapkan 1 kg air atau sekitar 12 % dari nilai kalori dari kayu kering, ini jika kayu terdiri dari m % uap air, massa kayu yang dapat secara efektif memanaskan belanga dikurangi oleh $1 - 1.12 \times m$ karena air harus dididihkan terpisah.

Faktor $1.5 \times \Delta C_c$ adalah perhitungan untuk kayu yang diubah menjadi arang yang tidak terbakar. Kasarnya arang mempunyai 150% kandungan kalori dari kayu, inilah jumlah kayu pemanas belanga yang disetarakan dengan $1.5 \times \Delta C_c$ untuk menghitung arang yang tertinggal. kemungkinan tidak akan terdapat arang sebelum dan sesudah pengujian dengan kondisi *simmer*.

W_{cv} adalah air yang menguap (gram), ini adalah suatu pengukuran jumlah air hilang melalui penguapan selama pengujian. Ini dihitung dengan pengurangan sederhana dari berat awal dikurang berat akhir dari belanga dan air.

$$W_{cv} = P_{ci} - P_{cf} \quad (2.6)$$

Dimana P_{ci} merupakan berat belanga dan air sebelum pengujian (gram) dan P_{cf} adalah berat belanga dan air setelah pengujian (gram).

W_{cr} adalah air yang tertinggal pada akhir pengujian (gram), ini adalah suatu pengukuran jumlah air yang dipanaskan hingga mendidih. Ini dihitung dengan pengurangan sederhana dari berat akhir dari belanga dan air dikurang berat belanga saja.

$$W_{cr} = P_{cf} - P \quad (2.7)$$

Δt_c adalah waktu untuk mendidihkan air pada belanga 1 (min), ini adalah waktu yang diperlukan untuk melaksanakan pengujian.

$$\Delta t_c = t_{cf} - t_{ci} \quad (2.8)$$

Dimana t_{cf} merupakan waktu akhir uji (min) dan t_{ci} adalah waktu mulai uji (min).

Δt_c^T adalah waktu temperatur sebenarnya untuk mendidihkan air pada belanga 1, ini sama dengan persamaan (2.13), tetapi hasilnya disesuaikan terhadap perubahan temperatur standar 75 °C (dari 25 °C sampai 100 °C). Ini menstandarkan hasil dan memberikan suatu perbandingan

antara pengujian-pengujian yang menggunakan air dengan temperatur awal yang lebih tinggi atau lebih rendah.

$$\Delta t_c^T = (t_{cf} - t_{ci}) \times 75 / (T_{cf} - T_{ci}) \quad (2.9)$$

Efisiensi termal (h_c) adalah suatu perbandingan dari kerja yang dilakukan oleh pemanasan dan penguapan air terhadap energi yang dikonsumsi dengan membakar kayu [12]. Ini dihitung dengan cara berikut :

$$h_c = \frac{4.186 \times (P_{ci} - P) \times (T_{cf} - T_{ci}) + 2260 \times (W_{cv})}{f_{cd} \times LHV} \quad (2.10)$$

Kerja yang dilakukan oleh air yang dipanaskan ditentukan pertama oleh produk panas sensibel dari massa air di dalam belanga $(P_{ci} - P)$ dikali panas spesifik air (4.186 J/g.°C) dan perubahan temperatur air. Kedua produk panas laten yang dihitung berdasarkan jumlah air yang diuapkan dari belanga dan panas laten dari uap air (2260 J/g). Faktor pembagi ditentukan dengan mengambil produk dari kayu kering yang di konsumsi selama pengujian dan LHV.

laju pembakaran (r_{cb}) adalah suatu pengukuran laju konsumsi kayu untuk mendidihkan air (gram/min). Ini dihitung dengan membagi kayu kering yang di konsumsi dengan waktu pengujian yang diperlukan [13].

$$r_{cb} = \frac{f_{cd}}{t_{ci} - t_{cf}} \quad (2.11)$$

SC_c adalah konsumsi bahan bakar spesifik (gram kayu/ gram air), dapat ditentukan untuk proses memasak apa saja dan harus mempertimbangkan bahan bakar kayu yang diperlukan untuk menghasilkan suatu satuan *output*. Jumlah kayu yang diukur adalah jumlah kayu yang diperlukan untuk menghasilkan 1 liter (atau 1 kg) air mendidih dimulai dengan tungku dalam keadaan dingin untuk kondisi *cold start*. Ini dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$SC_c = \frac{f_{cd}}{P_{cf} - P} \quad (2.12)$$

SCT_c adalah konsumsi bahan bakar spesifik temperatur sebenarnya (gram kayu/ gram air). Konsumsi spesifik sebenarnya ini dihitung untuk temperatur air awal yang berbeda-beda. Ini memberikan perbandingan tungku yang diuji pada hari-hari yang berbeda atau dalam kondisi lingkungan yang berbeda-beda, faktor koreksi adalah suatu faktor sederhana yang menormalisasi perubahan temperatur yang diamati dalam kondisi pengujian ke suatu perubahan temperatur standar yaitu 75 °C (dari 25 °C hingga 100 °C). Dihitung sebagai berikut :

$$SCT_c^T = \frac{f_{cd}}{P_{cf} - P} \times \frac{75}{T_{cf} - T_{ci}} \quad (2.13)$$

maka

$$SCT_c^T = SC_c \times \frac{75}{T_{cf} - T_{ci}} \quad (2.14)$$

FP_c adalah daya api (Watt), merupakan perbandingan energi kayu yang di konsumsi oleh tungku per satuan waktu. Ini menyatakan rata-rata daya yang dihasilkan tungku (dalam watt) selama *high power test* berlangsung.

$$FP_c = \frac{f_{cd} * LHV}{60 * (t_{ci} - t_{cf})} \quad (2.15)$$

Penggunaan f_{cd} dalam perhitungan berarti telah memperhitungkan untuk keduanya, baik itu arang yang tertinggal maupun kandungan uap air dalam kayu.

2.1.2 Hot start

Pengukuran dan perhitungan dalam pengujian ini identik dengan yang dilakukan pada *cold start* kecuali mengenai arang yang tersisa, tidak dikeluarkan dan ditimbang. setiap variabel dilakukan perubahan subskrip c menjadi h. Arang yang tersisa diasumsikan sama dengan jumlah arang tersisa pada fase *cold start*.

Variabel yang dihitung meliputi f_{hm} yaitu massa kayu yang dikonsumsi untuk proses pembakaran, kondisi basah, (gram).

$$f_{hm} = f_{hf} - f_{hi} \quad (2.16)$$

Dimana f_{hi} adalah massa bahan bakar sebelum uji (gram) dan f_{hf} merupakan massa kayu setelah pengujian (gram).

ΔC_h yaitu massa arang (gram), diasumsikan sama dengan *cold start*.

$$\Delta C_h = C_c - k \quad (2.17)$$

Dimana C_h merupakan massa arang dan bejana setelah pengujian (gram).

f_{hd} adalah jumlah kayu kering yang di konsumsi (gram)

$$f_{hd} = f_{hm} * (1 - (1.12 * m)) - 1.5 * \Delta C_h \quad (2.18)$$

W_{hv} adalah massa air yang menguap (gram)

$$W_{hv} = P_{hi} - P_{hf} \quad (2.19)$$

Dimana P_{hi} adalah massa belanga dan air sebelum pengujian (gram) dan P_{hf} merupakan berat belanga dan air setelah pengujian(gram).

W_{hr} adalah massa air yang tertinggal pada akhir uji (gram).

$$W_{hr} = P_{hf} - P \quad (2.20)$$

Δt_h adalah waktu mendidih belanga 1 (min)

$$\Delta t_h = t_{hf} - t_{hi} \quad (2.21)$$

Δt_h^T adalah waktu temperatur sebenarnya untuk mendidihkan belanga 1, (min). Ini sama dengan persamaan (2.21), tetapi hasilnya disesuaikan terhadap perubahan temperatur standar 75 °C (dari 25 °C sampai 100 °C). Ini menstandarkan hasil dan memberikan suatu perbandingan antara pengujian-pengujian yang menggunakan air dengan temperatur awal yang lebih tinggi atau lebih rendah.

$$\Delta t_h^T = (t_{hf} - t_{hi}) * 75 / (T_{hf} - T_{hi}) \quad (2.22)$$

Efisiensi termal (h_h),

$$h_h = \frac{4.186 * (P_{hi} - P) * (T_{hf} - T_{hi}) + 2260 * (W_{hv})}{f_{hd} * LHV} \quad (2.23)$$

Dimana T_{hi} adalah temperatur air sebelum pengujian (°C) dan T_{hf} adalah temperatur air setelah pengujian (°C).

Laju pembakaran (r_{hb}) dalam satuan gram/min yang dirumuskan:

$$r_{hb} = \frac{f_{hd}}{t_{hi} - t_{hf}} \quad (2.24)$$

Dimana t_{hi} adalah waktu mulai pengujian (min) dan t_{hf} adalah waktu akhir pengujian (min).

SC_h merupakan konsumsi bahan bakar spesifik (gram kayu/gram air),

$$SC_h = \frac{f_{hd}}{P_{hf} - P} \quad (2.25)$$

SC_h^T merupakan temperatur konsumsi spesifik yang sebenarnya (gram kayu/gram air).

$$SC_h^T = \frac{f_{hd}}{P_{hf} - P} * \frac{75}{T_{hf} - T_{hi}} \quad (2.26)$$

FP_h adalah daya api (Watt)

$$FP_h = \frac{f_{hd} * LHV}{60 * (t_{hi} - t_{hf})} \quad (2.27)$$

2.1.3 Simmer

Pengukuran awal dalam uji ini adalah sama seperti pada *high power test*. namun tujuan dari uji ini adalah untuk menjaga air pada temperatur tinggi dengan penggunaan daya minimal dari tungku. Oleh karena tujuan yang berbeda interpretasi dari perhitungan juga berbeda dari *high power test*. Selain itu satu asumsi penting menggunakan data dari *high power test* (hot start) dan satu tambahan perhitungan yang tidak muncul dalam *high power test*.

Asumsi yang dibuat dalam pengujian ini didasarkan pada jumlah arang yang terbentuk ketika air mendidih pertama. Tahap *low power* dimulai dengan mengulangi tahapan *high power-hot start test*, namun ketika air mulai mendidih seharusnya secepat mungkin menimbang massa kayu tanpa arang lalu mempertahankan air tetap mendidih selama 45 menit dengan menggunakan arang yang tersisa dalam tungku

sebagai bahan bakar [14]. Memisahkan kayu dengan arang sangat tidak mungkin dilakukan karena dapat menyebabkan temperatur air turun terlalu jauh dari titik didih air, dengan demikian prosedur uji yang direkomendasikan dengan mengasumsikan bahwa arang yang terbentuk pada awal fase didih air (*simmer test*) sama dengan arang yang ditimbang setelah tahap *high power test - cold start* (ΔC_c). Meskipun hal ini tidak sepenuhnya akurat, ketidaksesuaian dari asumsi ini pastilah kecil, terutama jika pengujian mengikuti prosedur yang sama dalam menjadikan air mendidih.

Variabel yang dihitung meliputi f_{sm} yaitu massa kayu yang dikonsumsi untuk proses pembakaran, kondisi basah (gram).

$$f_{sm} = f_{sf} - f_{si} \quad (2.28)$$

f_{si} adalah berat bahan bakar yang tersisa ketika air mendidih pertama (gram) dan f_{sf} adalah berat kayu yang tidak terbakar yang tersisa setelah pengujian (gram).

ΔC_s adalah massa arang (gram),

$$\Delta C_s = C_c - k - \Delta C_c \quad (2.29)$$

Dimana C_s adalah berat arang dan bejana setelah pengujian (gram).

f_{sd} adalah jumlah kayu kering yang di konsumsi (gram),

$$f_{sd} = f_{sm} * (1 - (1.12 * m)) - 1.5 * \Delta C_s \quad (2.30)$$

W_{sv} adalah massa air yang menguap (gram),

$$W_{sv} = P_{si} - P_{sf} \quad (2.31)$$

P_{si} adalah berat belanga dengan air ketika air mendidih pertama (gram) dan P_{sf} adalah berat belanga dan air setelah pengujian (gram).

W_{sr} adalah massa air yang tertinggal pada akhir uji (gram),

$$W_{sr} = P_{sf} - P \quad (2.32)$$

Δt_s adalah lamanya pengujian (min)

$$\Delta t_s = t_{sf} - t_{si} \quad (2.33)$$

Dimana t_{si} adalah waktu pada saat uji fase *simmer test* dimulai (min) dan t_{sf} adalah waktu pada saat uji selesai (min).

Efisiensi Termal (h_s)

$$h_h = \frac{4.186 * (P_{si} - P) * (T_{sf} - T_{si}) + 2260 * (W_{sv})}{f_{sd} * LHV} \quad (2.34)$$

Dimana T_{si} adalah temperatur air saat mendidih ($^{\circ}C$) dan T_{sf} adalah temperatur air pada akhir uji ($^{\circ}C$).

Laju pembakaran (r_{sb}) dengan satuan gram/min,

$$r_{sb} = \frac{f_{sd}}{t_{si} - t_{sf}} \quad (2.35)$$

SC_s adalah konsumsi bahan bakar spesifik (gram kayu/gram air)

$$SC_s = \frac{f_{sd}}{P_{sf} - P} \quad (2.36)$$

FP_s adalah daya api (Watt)

$$FP_s = \frac{f_{sd} * LHV}{60 * (t_{si} - t_{sf})} \quad (2.37)$$

Turn down ratio (TDR),

$$TDR = \frac{FP_h}{FP_s} \quad (2.38)$$

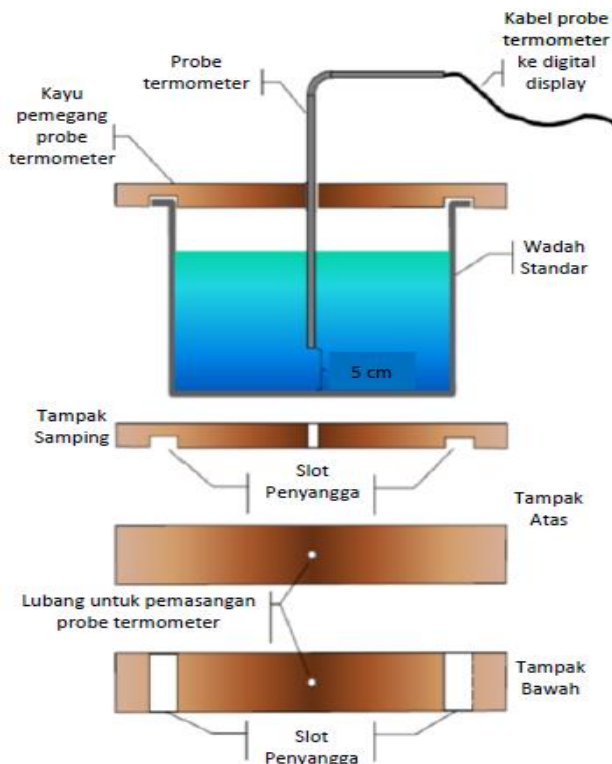
Tidak ada konsumsi spesifik temperatur sebenarnya dalam fase *simmer*, karena permulaan uji dilakukan pada T_b dan perubahan temperatur hanya beberapa derajat. Uji *simmer* ini adalah mempertahankan air pada suatu temperatur yang hanya sedikit di bawah temperatur didih. Konsumsi spesifik di dalam *high power test* (SC_c dan SC_h) mengindikasikan massa bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan 1 liter atau 1 kilogram air mendidih, konsumsi spesifik dalam fase *simmer* (SC_c) mengindikasikan massa kayu yang diperlukan untuk mempertahankan setiap liter atau kilogram air 3 derajat di bawah temperatur didih. Tidak ada perbandingan langsung tetapi merupakan dua perbedaan pengukuran prestasi tungku yang berbeda. Indikator – indikator lain adalah sama seperti laju pembakaran dan daya api.

3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan adalah meliputi studi pustaka, kaji eksperimental serta analisis data menggunakan metode analitik statistik. Uji didih air yang dilakukan terdiri atas tahapan persiapan, pengujian dan pengambilan data. Secara berurutan maka langkah-langkah yang dilakukan adalah dimulai dengan persiapan bahan bakar. Kayu sebagai bahan bakar dipilih yang sejenis dengan variasi diameter dan panjang yang sama. Kayu dijemur di bawah sinar matahari. Pengukuran kelembaban dilakukan untuk memastikan keseragaman kelembaban dari kayu yang digunakan sebagai bahan bakar dalam pengujian ini. Kayu ditimbang, diikat dan dibungkus untuk memastikan kelembabannya tidak berubah.

Digital thermometer (thermocouple) digunakan untuk mengukur temperatur air pada tiap *wadah* dan temperatur udara lingkungan. Timbangan digunakan untuk mengukur massa bahan bakar yang digunakan, massa bahan bakar sisa, massa arang dan massa air yang dipanaskan serta massa

wadah. *Stop watch* digunakan untuk mengetahui waktu yang diperlukan untuk memanaskan air pada tungku yang diuji. Air sebagai media uji yang telah disiapkan, dimasukkan ke dalam *pot* dan ditimbang. Kayu dimasukkan ke ruang bakar. Kerosen digunakan sebagai bahan pemicu pembakaran awal untuk menyalakan api dalam penelitian ini. *Stop watch* diaktifkan sebagai alat pencacah waktu. Ketika proses pengujian berlangsung, dilakukan pengambilan data temperatur dari alat ukur yang telah dipasang pada tungku. Gambar 3.1 memperlihatkan skematik posisi dari alat ukur temperatur dalam pot untuk uji didih air. Hasil pengukuran memberikan data kuantitatif sehingga dapat dianalisis secara statistik dengan menggunakan program *Microsoft excel*.



Gambar 3.1 Pemasangan alat ukur temperatur untuk uji didih air

Variabel yang diamati adalah waktu pendidihan, laju pembakaran, efisiensi termal, konsumsi bahan bakar spesifik, daya api dan *turn down ratio*. Variabel yang diamati tersebut merupakan variabel yang diperoleh berdasarkan hasil perhitungan terhadap data yang diperoleh dari hasil pengukuran.

Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menunjukkan prestasi tungku dengan masing-masing kondisi. Metode analisis akan dilakukan secara analitik statistik dengan menggunakan program Komputer *Microsoft Excel*. Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan tungku biomassa tradisional lainnya yang diperoleh dari hasil studi pustaka.

Walaupun demikian terdapat peubah yang tidak bisa dikendalikan yaitu kelembaban udara. Sehingga penelitian ini adalah model penelitian eksperimental kuasi. Peneliti tidak mungkin dapat mengendalikan variabel kelembaban udara

luar, yang berpengaruh terhadap proses pembakaran bahan bakar. Perubahan yang terjadi pada prestasi tungku yang ditunjukkan tidak sepenuhnya oleh pengaruh perlakuan variasi ketinggian cerobong.

Kesalahan bias yaitu kesalahan yang cenderung ke satu sisi dari nilai suatu variabel, dapat positif atau negatif yang dapat diperkecil dengan rancangan dan persiapan yang lebih mantap. Kesalahan acak terjadi pada dua sisi dari nilai suatu variabel baik lebih atau kurang akan dapat diperkecil dengan melakukan pengukuran lebih dari satu kali. Kondisi temperatur lingkungan dapat menjadi salah satu acuan yang dapat diamati untuk dapat mengontrol sehingga variabel kelembaban udara tidak menyimpang jauh dan dapat diabaikan. Sehingga data penelitian yang diperoleh tidak terlalu menyimpang dan dapat dibenarkan dalam hal ini.

4. Proses Pengujian

Pengukuran kadar air kayu bakar dilakukan berdasarkan persen berat basah. Sampel kayu yang sudah dikeringkan ditimbang dan kemudian dilakukan pemanasan dengan menggunakan oven pemanas dengan temperatur 109 °C. Massa sampel kayu bakar kemudian ditimbang tiap selang 45 menit sekali hingga tidak ada lagi penurunan massanya yang berarti. Gambar 4.1 memperlihatkan sampel dan proses pengukuran kadar air kayu bakar yang akan digunakan untuk uji didih air.



Gambar 4.1 (a) Sampel & (b) Proses pengukuran kadar air kayu bakar.

Penelitian uji didih air dilakukan di Lab Teknik Mesin Unimal pada tanggal 31 Agustus 2015 dengan temperatur lingkungan 31°C. Gambar 4.2 memperlihatkan proses pengujian terhadap tungku tanah liat.



Gambar 4.2 (a) & (b) Proses pengujian tungku biomassa tanah liat.

5. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Waktu yang diperlukan untuk mendidihkan air dalam pot saat pengujian dengan kondisi cold start adalah 14 menit.

Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil pengujian tungku pada kondisi *high power* (cold start).

High power Test (cold start)	Unit	Test 1	Test 2	Test 3	Average
Waktu Pot 1 mendidih	min	14	16	17	15,2
Waktu temperatur sebenarnya pot 1 mendidih	min	15	17	18	16,3
Laju pembakaran	g/min	39	30	28	32,2
Efisiensi Termal	%	9	11	11	10
Konsumsi bahan bakar Spesifik	g/L	297	255	255	269,2
Temperatur konsumsi spesifik sebenarnya	g/L	318	274	374	288,4
Daya api	Watt	13.430	10.102	9.508	11.013

Temperatur dan waktu yang diperlukan untuk mendidihkan air dalam *pot* sebelum dilakukan pengujian dengan kondisi *hot start* adalah 32°C dan 12 menit. Data hasil pengujian pada kondisi *hot start* seperti diperlihatkan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil pengujian tungku pada kondisi *high power* (hot start)

High power Test (hot start)	Unit	Test 1	Test 2	Test 3	Average
Waktu Pot 1 mendidih	min	12	13	15	13
Waktu temperatur Sebenarnya pot 1 mendidih	min	13	14	16	14,2
Laju pembakaran	g/min	48	27	20	31,7
Efisiensi Termal	%	9	15	17	13
Konsumsi bahan bakar Spesifik	g/L	309	190	166	221,5
Temperatur konsumsi spesifik sebenarnya	g/L	340	206	183	243,3
Daya api	Watt	16.288	9.247	7.010	10.848

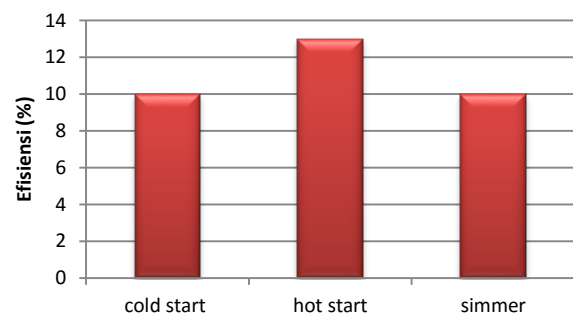
Pengujian tungku pada kondisi *simmer* dilakukan setelah air mendidih dan mempertahankan temperatur air dengan daya api yang rendah selama 45 menit. Data hasil pengujian *simmer* diperlihatkan pada Tabel 5.3

Tabel 5.3 Hasil pengujian tungku pada kondisi *low power* (*simmer*)

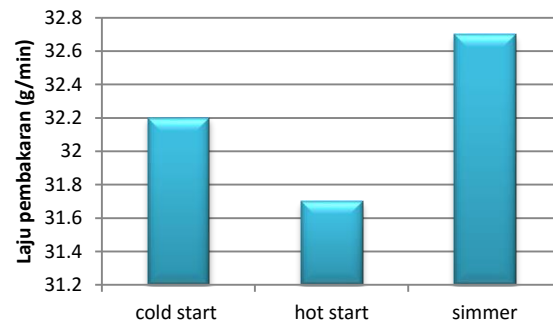
Low Power (simmer)	Unit	Test 1	Test 2	Test 3	Average
Laju pembakaran	g/min	31	33	34	32,7
efisiensi Termal	%	11	10	10	10
Konsumsi bahan bakar Spesifik	g/L	1.909	2.077	2.138	2.041,5
Daya api	Watt	10.446	11.366	11.701	11.171
Turn down ratio	-	1,29	0,89	0,81	1,00

Berdasarkan data hasil pengujian pada tungku tradisional dari tanah liat diperoleh rata-rata efisiensi termal tungku pada kondisi *cold start*, *hot start* dan *simmer* dapat dilihat pada Gambar 5.1. Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa nilai

efisiensi termal tungku untuk kondisi *hot start* lebih tinggi dari pada kondisi *cold start* dan *simmer*. Peningkatan efisiensi termal yang terjadi pada saat kondisi *hot start* disebabkan karena kondisi dinding tungku sudah menyerap panas, sehingga panas yang dihasilkan dari pembakaran langsung diserap ke *pot*. Sedangkan pada kondisi *cold start* panas awal dari pembakaran masih diserap oleh tungku, sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk mendidihkan air. Sedangkan pada kondisi *simmer* terjadinya penurunan efisiensi, disebabkan karena banyaknya bahan bakar yang dikonsumsi untuk mempertahankan temperatur air selama 45 menit.



Gambar 5.1 Grafik efisiensi tungku tradisional pada kondisi *cold start*, *hot start* dan *simmer*.

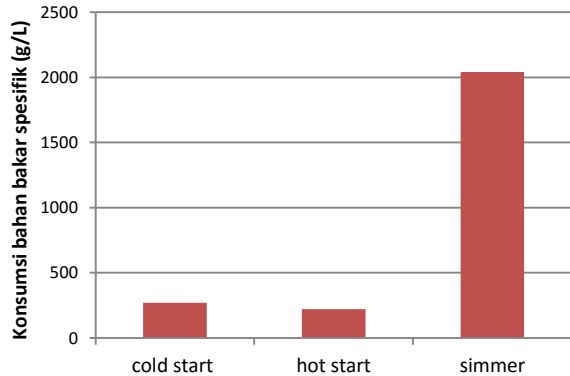


Gambar 5.2 Grafik laju pembakaran pada kondisi *cold start*, *hot start* dan *simmer*.

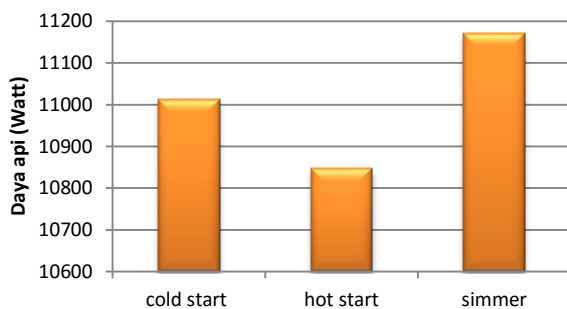
Gambar 5.2 memperlihatkan grafik laju pembakaran pada kondisi *cold start*, *hot start* dan *simmer*. Laju pembakaran adalah pengukuran laju konsumsi kayu untuk mendidihkan air. Terjadinya penurunan laju pembakaran pada kondisi *hot start* disebabkan karena sedikitnya bahan bakar yang dikonsumsi dan waktu yang diperlukan untuk mendidihkan air tidak terlalu lama dibandingkan pada kondisi *cold start*. Sedangkan pada kondisi *simmer* terjadinya peningkatan laju pembakaran lebih besar dibandingkan pada kondisi *cold start*, disebabkan karena banyaknya bahan bakar yang dikonsumsi dan lamanya waktu yang diperlukan untuk mempertahankan temperatur air.

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah jumlah kayu yang dibakar dan jumlah arang yang tidak terbakar untuk menguapkan air. Pada kondisi *cold start* dan *hot start* konsumsi bahan bakar spesifik tidak terlalu banyak terjadi penurunan. Rata-rata konsumsi bahan bakar spesifik pada

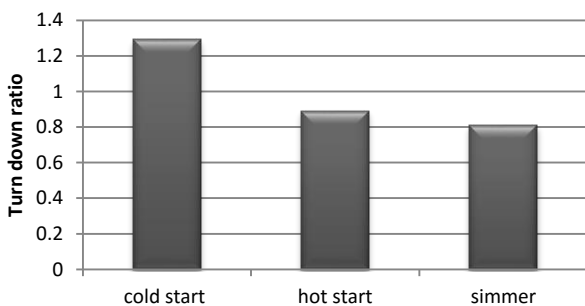
kondisi *simmer* lebih banyak dibandingkan konsumsi bahan bakar spesifik pada kondisi *cold start* dan *hot start*. Grafik konsumsi bahan bakar spesifik terhadap tungku tradisional dari tanah liat pada kondisi *cold start*, *hot start* dan *simmer* dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Grafik konsumsi bahan bakar spesifik pada kondisi *cold start*, *hot start* dan *simmer*.



Gambar 5.4 Grafik daya api pada kondisi *cold start*, *hot start* dan *simmer*.



Gambar 5.5 Grafik *turn down ratio* untuk masing-masing kondisi

Daya api merupakan perbandingan energi kayu yang dikonsumsi oleh tungku per satuan waktu. Ini menyatakan rata-rata daya yang dihasilkan tungku dalam Watt pada tiap kondisi. Gambar 5.4 memperlihatkan Grafik daya api tungku untuk kondisi *cold start*, *hot start* dan *simmer*. Daya api yang diperlukan pada kondisi *hot start* lebih rendah dibandingkan pada kondisi *cold start*, disebabkan karena jumlah bahan bakar yang dikonsumsi lebih sedikit dan waktu yang diperlukan untuk mendidihkan tidak terlalu lama dibandingkan pada kondisi *cold start*. Sedangkan pada kondisi

simmer daya api yang diperlukan lebih tinggi dibandingkan daya api pada kondisi *cold start*, disebabkan karena pada kondisi *simmer* banyaknya konsumsi bahan bakar dan waktu yang diperlukan untuk mempertahankan temperatur.

Grafik nilai rata-rata *turn down ratio* pada kondisi *simmer* adalah seperti terlihat pada Gambar 5.5. *Turn down ratio* adalah perbandingan antara daya api pada proses pengujian *high power* dan *simmer*. Semakin besar daya api yang dihasilkan pada kondisi *high power* dibandingkan pada kondisi *simmer*, maka semakin besar *turn down ratio*.

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian kinerja terhadap tungku biomassa pot tunggal yang terbuat dari tanah liat maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. kinerja tungku terbaik terjadi pada kondisi operasi *hot start* dengan efisiensi 13 %.
2. Laju pembakaran tertinggi terjadi pada kondisi operasi *simmer* sedangkan terendah pada kondisi *hot start*.
3. Konsumsi bahan bakar spesifik sangat tinggi terjadi pada kondisi operasi *simmer*.
4. Daya api yang tertinggi terjadi pada kondisi *simmer* sedangkan terendah pada kondisi *hot start*.
5. Nilai *turn down ratio* tertinggi terjadi pada kondisi operasi *cold start* dan terendah pada kondisi *simmer*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonym, 2013, "Outlook Energi Indonesia 2013 Pengembangan Energi dalam Mendukung Sektor Transportasi dan Industri Pengolahan Mineral", Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi.
- [2] Nuryanti, Scorpio, S., Herdinie, 2007, "Analisis Karakteristik Konsumsi Energi pada Sektor Rumah Tangga di Indonesia", Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, 21-22 November 2007 ISSN 1978-0176.
- [3] Rehfuess, E., and Nigel Bruce 2006, "Household energy for life", Boilling Point, No. 52, Health, Safety and Household Energy, GTZ.
- [4] Modi, V., S. Mc., Dade, D. Lallement, and J. Saghir, 2006. *Energy and the Millennium Development Goals*. New York: Energy Sector Management Assistance Programme, United Nations Development Programme, UN Millennium Project, and World Bank.
- [5] Ruiz-Mercado, I., Omar Masera, Hilda Zamora, Kirk R. Smith, 2011, "Adoption And Sustained Use of Improved Cookstoves", Energy Policy 39 (2011) 7557-7566.
- [6] Gifford, Mary Louise, 2010. *A Global Review of Cook stove Programs*. MS. Thesis Energy and Resources Group UC Berkeley, CA.
- [7] Anonym, 2013, "Kinerja tungku Biomassa", Badan Standar Nasional Indonesia, SNI 7926, Jakarta.

- [8] Bryden, Mark., 2010, "**Design Principles for Wood Burning Cookstoves**". Aprovecho Research Center -Advanced Studies in Appropriate Technology
<http://bioenergylists.org/stovesdoc/Pcia/.pdf>.
- [9] Bailis, R., Damon Ogle, Nordica Maccarty and Dean Still, 2007, "**The Water Boiling Test (WBT)**", for The Household Energy And Health Programme, Shell Foundation.
- [10] Baldwin, S.F., 1986, "**Biomass Stoves**", Engineering Design, Development, and Dissemination Center for Energy and Environmental Studies: Princeton, NJ. p. 287.
- [11] Joseph D., Z., 2010, "**Heat Transfer Efficiency Of Biomass Cookstoves**", Thesis Department Of Mechanical Engineering Colorado State University Fort Collins, Colorado.
- [12] Vaccari, M., Francesco Vitali, Angelo Mazzù, 2012, "**Improved cookstove as an appropriate technology for the Logone Valley (Chad – Cameroon): Analysis of fuel and cost saving**", Renewable Energy Volume 47, November 2012, Pages 45–54.
- [13] Anonym, 2006, "**Bahan Bakar & Pembakaran**", Pedoman Efisiensi Energi Untuk Industri di Asia – www.energyefficiencyasia.org, UNEP.
- [14] White, R.H., and Dietsberger, M.A. (2001). **Wood Products: Thermal Degradation and Fire**, The Encyclopedia of Materials: Science and Technology, Elsevier, Ltd., Amsterdam, the Netherlands, pp. 9712–9716, ISBN 978-008-0431-52-9.