

Kaji Eksperimental Prestasi Tungku Garam Semi Modern dengan Metode Uji Didih Air

Faisal

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Malikussaleh

Corresponding Author: faisalmes96@gmail.com

Abstrak – Tungku pemanas yang selama ini digunakan oleh petani garam untuk merebus air pentirisan merupakan tungku tradisional berbahan bakar kayu yang sangat sederhana dan sangat tidak efisien. Peneliti telah melakukan beberapa modifikasi terhadap unit tungku dengan konfigurasi multi belanga yang dapat memanfaatkan panas buang gas asap guna meningkatkan efisiensinya. Potensi panas buang gas asap dapat digunakan sebagai pemanas awal bahan baku. Uji didih air dilakukan untuk mendapatkan prestasi dari tungku tersebut untuk kondisi operasi cold start, hot start dan simmer masing-masing sebanyak tiga kali pengulangan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis secara analitik statistik dengan menggunakan program Komputer Microsoft Excel. Hasil menunjukkan bahwa proses pembakaran yang terjadi dari kondisi cold start, hot start dan simmer semakin meningkat, namun efisiensi termal semakin menurun. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pembakaran yang semakin meningkat belum mampu dimanfaatkan panasnya secara maksimal. Nilai efisiensi termal pada tungku dipengaruhi oleh besarnya nilai efisiensi pembakaran dan efisiensi perpindahan panas. Walaupun demikian efisiensi tungku semi modern adalah lebih baik daripada dua jenis tungku sebelumnya. Efisiensi termal tungku semi moderen meningkat jauh lebih besar 124,8 % bila dibandingkan dengan tungku tradisional dan 46,8 % bila dibandingkan dengan tungku Gahegi. Copyright © 2014 Department of Mechanical Engineering. All rights reserved.

Keywords: Tungku, Multi Belanga, Efisiensi

1. Pendahuluan

Tungku pemanas yang selama ini digunakan oleh petani garam untuk merebus air pentirisan merupakan tungku tradisional berbahan bakar kayu yang sangat sederhana. Tungku ini hanya memiliki satu lubang yang dimaksudkan untuk memasukan bahan bakar ke ruang bakar. Tungku ini sangat tidak efisien dan mengeluarkan asap yang cukup banyak ketika dioperasikan, hal ini diperkirakan karena tidak terjadinya proses pembakaran yang baik akibat tidak adanya suplai udara yang cukup ke ruang bakar [1, 2].

Penghematan energi dapat dilakukan dengan memperbaiki efisiensi terhadap tungku. Bahan bakar akan menurun jika efisiensi meningkat [3]. Beberapa upaya dapat dilakukan adalah dengan meningkatkan efisiensi perpindahan panas ke belanga dan juga efisiensi terhadap proses pembakaran bahan bakarnya di dalam ruang bakar [4].

Beberapa peneliti telah menggunakan sistem multi

pot (banyak belanga) untuk memanfaatkan potensi gas buang pada tungku berbahan bakar biomassa. Berdasarkan pertimbangan tersebut peneliti telah melakukan beberapa modifikasi terhadap unit tungku dengan konfigurasi multi pot yang dapat memanfaatkan panas buang gas asap. Potensi panas buang gas asap dapat digunakan sebagai pemanas awal bahan baku.

Kinerja tungku dapat diukur berdasarkan kondisi operasinya. Saat awal pengoperasiannya, tungku masih dalam keadaan dingin dimana temperaturnya sesuai dengan temperatur lingkungannya. Kondisi ini diistilahkan dengan *Cold Start*. Setelah terjadi penyalaan terhadap bahan bakar energi panas yang dihasilkan akan lebih banyak diserap oleh dinding tungku dan peralatan masak. Biasanya ditandai dengan penyerapan energi sensible oleh masakan sebagai energi yang berguna selain itu adalah sebagai kerugian energi. Bila air yang dimasak maka dapat diindikasikan bahwa *Cold Start* adalah dimulai dari awal penyalaan bahan bakar hingga

air mulai mendidih.

Setelah bagian-bagian tungku menyerap panas dengan kapasitas tertentu dan temperaturnya tinggi barulah kemudian energi hasil pembakaran sebagian besar berpindah ke air atau bahan yang dimasak dalam wadah. Kondisi ini diistilahkan dengan *Hot Start*. Bila air yang dimasak maka energi yang berguna adalah energi laten yang diperlukan untuk merubah fasa air tersebut menjadi uap hingga waktu tertentu. Selain energi yang berguna tersebut adalah dianggap sebagai kerugian energi.

Kebiasaan masyarakat memasak kemudian adalah mempertahankan temperatur dengan api yang kecil untuk menyempurnakan proses pada saat akhir. Kondisi ini biasanya diistilahkan dengan *Simmer*. Energi berguna yang diserap pada kondisi ini umumnya juga energi laten selama kondisi *simmer*. Selain energi yang berguna tersebut adalah dianggap sebagai kerugian energi.

Uji didih air telah dikembangkan untuk mengukur performansi dari tungku biomassa dan tungku lainnya dengan tiga kondisi tersebut [5].

2. Metode Penelitian

Kajian Metode yang digunakan adalah melalui kaji eksperimental yaitu menggunakan metode uji didih air. Uji didih air dilakukan untuk kondisi operasi *cold start*, *hot start* dan *simmer*. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan untuk masing-masing kondisi.

Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menunjukkan prestasi tungku dengan masing-masing kondisi. Metode analisis dilakukan secara analitik statistik dengan menggunakan program Komputer Microsoft Excel. Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan prestasi tungku tradisional.

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukukan di Desa Bluka Tebai yang berada dalam wilayah Aceh Utara dan merupakan wilayah dimana masyarakatnya masih banyak menggunakan tungku biomassa untuk memproduksi garam.

2.2 Peubah yang Diamati

Peubah atau 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.

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.

Variable-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, temperatur didih air lokal.

Nilai kalori tertinggi dari bahan bakar (*bb*), (MJ/kg) atau HHV (High Heating Value) adalah jumlah energi maksimum secara teoritis yang dapat dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar jika pembakaran tersebut adalah pembakaran sempurna dan produk pembakaran didinginkan pada temperatur ruangan sehingga menghasilkan air dari reaksi bahan bakar mengikat hidrogen yang terkondensasi menjadi fase cair.

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 [6].

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

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

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 (*Ceff*) kJ/kg bahan bakar basah adalah nilai kalori efektif bahan bakar dengan ikut dihitungnya energi yang diperlukan untuk memanaskan dan menguapkan kandungan air yang ada, ini dihitung berdasarkan persamaan:

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

Berat belanga dalam keadaan kering, *P* (gram) adalah berat belanga dalam keadaan kosong tanpa air. Tungku dengan belanga banyak diikuti dengan bilangan indek 1 – 3 (*P1*, *P2* dan *P3*).

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

2.2.1 Cold start

Variable yang diukur langsung

- f_{ci} = Berat bahan bakar sebelum uji (gram)
 P_{ci} = Berat belanga dan air sebelum pengujian (gram)
 T_{ci} = Temperatur air sebelum pengujian ($^{\circ}\text{C}$)
 t_{ci} = Waktu mulai uji (min)
 f_{cf} = Berat kayu setelah pengujian (gram)
 C_c = Berat arang dan bejana setelah pengujian (gram)
 P_{cf} = Berat belanga dan air setelah pengujian (gram)
 T_{cf} = Temperatur air setelah pengujian ($^{\circ}\text{C}$)
 t_{cf} = Waktu akhir uji (min)

Variabel yang dihitung

- f_{cm} = Kayu yang dikonsumsi untuk proses pembakaran (kondisi basah) (gram)
 ΔC_c = Massa arang (gram)
 f_{cd} = Jumlah kayu kering yang di konsumsi (gram)
 W_{cv} = Massa air yang menguap (grams)
 W_{cr} = Massa air yang tertinggal pada akhir uji (gram)
 Δt_c = Lamanya pengujian (min)
 h_c = Efisiensi termal
 r_{cb} = Laju pembakaran (grams/min)
 SC_c = Konsumsi bahan bakar spesifik (gram kayu/gram air)
 SC_h^T = Temperatur konsumsi spesifik yang sebenarnya (gram kayu/gram air)
 FP_c = Daya api (Watt)

f_{cm} Adalah massa kayu yang digunakan untuk mendidihkan air, yang didapat dari perbedaan antara berat awal bundel kayu dengan jumlah kayu tertinggal pada akhir pengujian.

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

ΔC_c adalah massa arang 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.

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

f_{cd} adalah suatu perhitungan yang menyesuaikan jumlah kayu yang dibakar untuk menghitung dua faktor. Pertama energi yang dibutuhkan untuk memindahkan uap air dari dalam kayu, kedua 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 $m \times f_{cm}$ grams 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. Dalam *simmer* kemungkinan tidak akan terdapat arang sebelum dan sesudah pengujian.

W_{cv} adalah air yang menguap, 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.

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

W_{cr} adalah air yang tertinggal pada akhir pengujian, 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, ini adalah waktu yang diperlukan untuk melaksanakan pengujian.

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

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. Ini dihitung dengan cara berikut :

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

Dalam perhitungan ini kerja yang dilakukan oleh air yang dipanaskan ditentukan dengan menambahkan dua besaran, pertama produk dari massa air di dalam belanga $(P_{ci} - P)$ panas

spesifik air (4.186 J/g.°C) dan perubahan temperatur dalam air. Kedua produk dari 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. Ini dihitung dengan membagi kayu kering yang di konsumsi dengan waktu pengujian yang diperlukan.

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

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

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

SC_c^T adalah konsumsi bahan bakar spesifik temperatur sebenarnya. 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 :

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

maka

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

FP_c adalah daya api, 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.

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

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

2.2.2 Hot start

Dalam pengujian ini, pengukuran dan perhitungan 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 diukur langsung

f_{hi} = Berat bahan bakar sebelum uji (gram)

P_{hi} = Berat belanga dan air sebelum pengujian (gram)

T_{hi} = Temperatur air sebelum pengujian (°C)

t_{hi} = Waktu mulai uji (min)

f_{hf} = Berat kayu setelah pengujian (gram)

C_h = Berat arang dan bejana setelah pengujian (gram)

P_{hf} = Berat belanga dan air setelah pengujian (gram)

T_{hf} = Temperatur air setelah pengujian (°C)

t_{hf} = Waktu akhir uji (min)

Variabel yang dihitung,

f_{hm} = Kayu yang dikonsumsi untuk proses pembakaran, kondisi basah, (gram).

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

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

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

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

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

W_{hw} = massa air yang menguap (gram)

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

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

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

Δt_h = 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.

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

h_h = Efisiensi termal

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

r_{hb} = Laju pembakaran (gram/min)

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

SC_h = Konsumsi bahan bakar spesifik (gram kayu/gram air)

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

SC_h^T = Temperatur konsumsi spesifik yang sebenarnya (gram kayu/gram air)

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

FP_h = Daya api (Watt)

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

2.2.3 Simmer

Dalam uji ini, pengukuran awal 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* dan akan dijelaskan berikut ini.

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. 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 diukur langsung

f_{si} = Berat bahan bakar yang tersisa ketika air mendidih pertama (gram)

P_{si} = Berat belanga dengan air ketika air mendidih pertama (gram)

T_{si} = Temperatur air saat mendidih ($^{\circ}C$)

t_{si} = Waktu pada saat uji fase *simmer test* dimulai (min)

f_{sf} = Berat kayu tidak terbakar yang tersisa setelah pengujian (gram)

C_s = Berat arang dan bejana setelah pengujian (gram)

P_{sf} = Berat belanga dan air setelah pengujian (gram)

T_{sf} = Temperatur air pada akhir uji ($^{\circ}C$)

t_{sf} = Waktu pada saat uji selesai (min)

Variabel yang dihitung

f_{sm} = Kayu yang dikonsumsi untuk proses pembakaran, kondisi basah (gram)

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

ΔC_s = Massa arang (gram)

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

f_{sd} = Jumlah kayu kering yang di konsumsi (gram)

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

W_{sv} = Massa air yang menguap (gram)

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

W_{sr} = Massa air yang tertinggal pada akhir uji (gram)

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

Δt_s = Lamanya pengujian (min)

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

h_s = Efisiensi Termal

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

r_{sb} = Laju pembakaran (gram/min)

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

SC_s = Konsumsi bahan bakar spesifik (gram kayu/ gram air)

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

FP_s = Daya api (W)

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

$TDR = \text{Turn down ratio}$

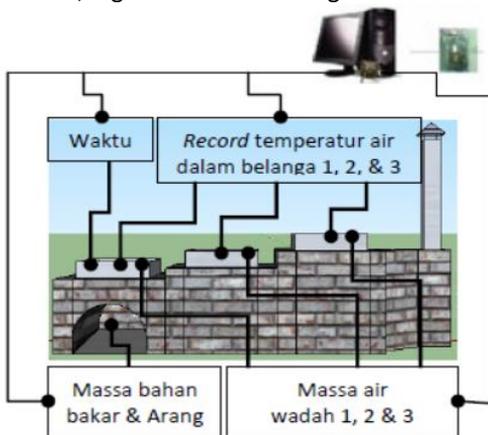
$$TDR = \frac{FP_h}{FP_s} \quad (2.38)$$

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_s) 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.

Peralatan yang digunakan untuk mendapatkan data dalam uji didih air ini adalah:

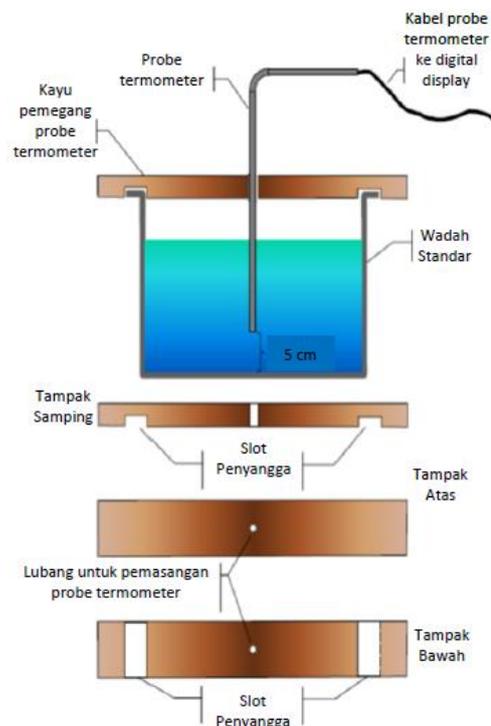
1. Timbangan yang digunakan untuk mengukur massa bahan bakar yang digunakan pada setiap proses pembakaran, massa bahan bakar sisa, massa arang, massa air yang dipanaskan & massa wadah.
2. Alat ukur kelembaban, digunakan untuk memastikan keseragaman kelembaban dari kayu yang digunakan sebagai bahan bakar dalam pengujian ini.
3. *Digital Thermometer (thermocouple)*, digunakan untuk mengukur temperatur air pada tiap wadah dan temperatur udara lingkungan.
4. Alat Pencacah Waktu (Stop Watch), digunakan untuk mengetahui lama waktu yang diperlukan untuk memanaskan air pada tungku yang diuji.
5. Gelas ukur, digunakan untuk mengukur volume air



Gambar 2.1 Skematik pengukuran untuk pengambilan data pada tungku

Uji didih air yang dilakukan terdiri atas tahapan persiapan, pengujian dan pengambilan data. Secara berurutan maka langkah-langkah yang akan dilakukan tersebut adalah sebagai berikut.

1. Persiapan bahan bakar (kayu)
 - a. Kayu sebagai bahan bakar dipilih yang sejenis dengan variasi diameter dan panjang yang hampir sama.
 - b. Kayu dijemur di bawah sinar matahari dan dipastikan kelembabannya mendekati seragam
 - c. Kayu ditimbang, diikat dan dibungkus untuk memastikan kelembabannya tidak banyak berubah.
2. Persiapan bahan pembakaran awal (pemicu) untuk membuat api (kerosene dan daun kelapa kering)
3. Persiapan air
4. Pemasangan alat - alat ukur pada tungku pemanas yang dibangun untuk diuji
5. Air yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam belanga.
6. Kayu dimasukkan ke ruang bakar serta api dinyalakan.
7. *Stop Watch* diaktifkan sebagai alat pencatat waktu pengujian.
8. Ketika proses pengujian berlangsung, dilakukan pengabihan data temperatur dari alat ukur yang telah dipasang pada tungku pemanas tersebut seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.2.
9. Jumlah kayu yang digunakan selama pemasakan air ditimbang.
10. Setelah pengujian selesai, waktu yang diperlukan untuk proses pemasakan dicatat.
11. Semua data diisi dalam Tabel data pengujian. Data hasil pengukuran kemudian dianalisis dengan menggunakan program *Microsoft excel*.



Gambar 2.2 Pemasangan alat ukur temperatur untuk uji didih air

3. Hasil dan Kesimpulan

Tabel 3.1 memperlihatkan hasil pengujian prestasi tungku dengan metode uji didih air untuk kondisi *Cold Start*, *Hot start* dan *Simmer*.

Terlihat bahwa pada kondisi *cold start* waktu untuk mendidihkan wadah 1 membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan *hot start*. Laju pembakaran tertinggi ditunjukkan pada kondisi *simmer*, *hot start* dan terendah pada kondisi *cold start*. Begitu juga dengan konsumsi bahan bakar dan daya api.

Sedangkan efisiensi termal tertinggi terjadi pada kondisi *cold start* sedangkan pada *hot start* dan *simmer* relatif lebih rendah.

Fenomena yang ditunjukkan tersebut mengindikasikan bahwa proses pembakaran yang terjadi dari kondisi *cold start*, *hot start* dan *simmer* semakin meningkat, namun efisiensi termal semakin menurun. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pembakaran yang semakin meningkat tersebut belum mampu dimanfaatkan panasnya secara optimal.

Tabel 3.1 Hasil pengujian uji didih air untuk kondisi Cold Start

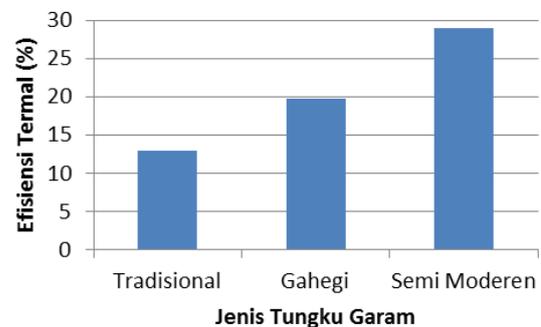
COLD START	Satu an	Test 1	Test 2	Test 3	Rera ta	St Dev
Waktu untuk mendidihkan wadah 1	min	37	44	56	45,7	9,9
Waktu – temperatur didih wadah 1 sebenarnya	min	48	58	75	60,3	13,7
Laju Pembakaran	g/min	28	17	29	24,8	7,0
Efisiensi Termal	%	42%	38%	21%	34%	11%
Konsumsi bahan bakar spesifik	g/liter	194	109	221	174,6	58,6
Konsumsi spesifik pada temp sebenarnya	g/liter	251	144	294	229,7	77,0
Daya Api	Watt	9.226	5.443	9.499	8.056	2.266,9
HOT START	Satu an	Test 1	Test 2	Test 3	Rera ta	St Dev
Waktu untuk mendidihkan wadah 1	min	18	21	33	24,3	7,7
Waktu – temperatur didih wadah 1 sebenarnya	min	35	48	59	47,4	12,0
Laju Pembakaran	g/min	42	33	33	36,1	5,4
Efisiensi Termal	%	14%	34%	33%	27%	12%
Konsumsi bahan bakar spesifik	g/liter	102	96	170	122,9	41,1
Konsumsi spesifik pada temp sebenarnya	g/liter	194	216	304	238,1	58,1
Daya Api	Watt	13.766	10.798	10.637	11.734	1.762,2

SIMMER	Satu an	Test 1	Test 2	Test 3	Rera ta	St Dev
Laju Pembakaran	g/min	53	60	39	50,4	10,3
Efisiensi Termal	%	29%	9%	40%	26%	15%
Konsumsi bahan bakar spesifik	g/liter	2.032	547	1.668	1415,7	773,8
Daya Api	Watt	17.069	19.352	12.739	16.387	3.359,0
Turn down ratio	--	0,54	0,28	0,75	0,52	0,2

Nilai efisiensi termal pada tungku dipengaruhi oleh besarnya nilai efisiensi pembakaran dan efisiensi perpindahan panas. Walaupun demikian efisiensi tungku semi modern adalah lebih baik daripada dua jenis tungku sebelumnya yaitu tungku tradisional maupun tungku Gahegi seperti yang diperlihatkan pada tabel 3.2 dan juga Gambar 3.1. data efisiensi tungku Tradisional dan Gahegi diperoleh dari referensi [2].

Tabel 3.2 Perbandingan efisiensi terhadap jenis tungku garam

Jenis Tungku	Tradisional	Gahegi	Semi Moderen
Satuan	%	%	%
Efisiensi Termal	12,9	19,75	29



Gambar 3.1 Grafik hubungan jenis tungku dan efisiensi termalnya

Terlihat bahwa efisiensi termal tungku Semi moderen meningkat jauh lebih besar dari jenis tungku sebelumnya yaitu 124,8 % bila dibandingkan dengan Tradisional dan 46,8 % bila dibandingkan dengan tungku Gahegi.

Referensi

- [1] Anonym, 2006, "Bahan Bakar & Pembakaran", Pedoman Efisiensi Energi Untuk Industri di Asia – www. Energyefficiencyasia.Org, UNEP.
- [2] Setiawan, A., dkk., 2010 "Optimasi Proses Pembakaran dan Perpindahan Panas pada Alat Produksi Garam Hemat Energi", A Proceeding on The 5th Regional Seminar on MAESTRUCK, USU, Medan.

- [3] 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.
- [4] Joseph D., Z., 2010, "*Heat Transfer Efficiency Of Biomass Cookstoves*", Thesis Department Of Mechanical Engineering Colorado State University Fort Collins, Colorado.
- [5] Smith, Kirk, R., and Ajay Pillarisetti, (2012) *A Short History of Woodsmoke and Implications for Chile*, University of California, Berkeley Estudios Públicos, 126 (otoño): 163-179.
- [6] Baldwin, SF., 1987, "*Biomass Stoves: Engineering Design, Development and Dissemination*", Arlington, VA: Volunteers in Technical Assistance.