

## Kinerja Mini Boiler Tipe Pipa Api 3 Pass Berbahan Bakar Biomassa Pelet Kayu dan Tempurung Kelapa

Performance of The Mini Boiler Type of Fire Tube 3 Phase using Wood Pellet and Coconut Shells as Fuels

Umi Hanifah\*, Novita Dwi Susanti, Moeso Andrianto

Pusat Penelitian Teknologi Tepat Guna Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia  
Jl. K.S. Tubun No. 5 Subang, Indonesia  
\*Email: umihanifah81@gmail.com

Tanggal submisi: 22 Maret 2019; Tanggal penerimaan: 2 Juni 2019

### ABSTRAK

Penggunaan mini *boiler* pada Usaha Kecil dan Menengah (UKM) merupakan salah satu strategi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi. Hal ini berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, yaitu pemanfaatan mini *boiler* pipa api 3 pass di UKM tahu dengan bahan bakar gas atau pelet kayu dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi bahan bakar untuk pemasakan sekitar 14,03%–25,58% dan menghemat waktu sekitar 50%–53%, serta menghemat biaya bahan bakar pemasakan sebesar 44%–45% dibandingkan dengan pemasakan tahu menggunakan tungku gas. Penelitian ini bertujuan melakukan analisis kinerja mini *boiler* pipa api 3 pass menggunakan bahan bakar pelet kayu dan tempurung kelapa. Pengujian kinerja mini *boiler* meliputi kapasitas/ jumlah dan kualitas uap yang dihasilkan, efisiensi energi mini *boiler*, dan biaya bahan bakar spesifik produksi uap (Rp bahan bakar/kJ uap yang dihasilkan) pada masing masing jenis bahan bakar. Hasil penelitian menunjukkan mini *boiler* ini memiliki kapasitas produksi uap, suhu dan tekanan uap, efisiensi energi serta biaya spesifik produksi uap lebih tinggi menggunakan bahan bakar pelet kayu dibandingkan bahan bakar tempurung. Artinya penggunaan bahan bakar tempurung biayanya lebih murah namun memberikan kinerja yang lebih rendah.

**Kata kunci:** Biomassa; efisiensi energi; mini *boiler*

### ABSTRACT

The use of mini boilers in SMEs is one strategy to improve the efficiency of energy use. This is based on the results of previous work. The use of 3-phase fire tube mini boiler type in tofu SMEs with gas fuel or wood pellets can increase the efficiency of fuel energy use for cooking to about 14.03%–25.58%, save time to about 50%–53%, and save fuel costs for cooking by 44%–45%, compared to cooking tofu using a gas stove. This study was conducted to analyze the performance of 3-phase fire tube mini boiler type with wood pellets or coconut shells as fuel. The testing of mini boilers was conducted related to the capacity/ quantity and quality of steam produced, the energy efficiency of the mini boiler, and the specific costs of steam production (IDR fuel / kJ steam produced) in each type of fuel. The results showed that this mini boiler had a higher value of steam production capacity, steam temperature, steam pressure, and energy efficiency, and specific costs of steam production by using wood pellets as fuel. It also means that using coconut shells as fuel was cheaper, but it gave a lower performance.

**Keywords:** Biomass; energy efficiency; mini boiler

## PENDAHULUAN

Beberapa jenis usaha kecil menengah (UKM) membutuhkan sumber panas dalam operasional produksinya, misalnya pada UKM kerupuk untuk memasak adonan, UKM tahu untuk pemasakan bubur kedelai, UKM kue untuk pengukusan, UKM budidaya jamur untuk sterilisasi log jamur, dan UKM sejenis lainnya. Penggunaan mini *boiler* pada UKM merupakan salah satu strategi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi.

*Boiler* berfungsi sebagai pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi kimia (potensial) dari bahan bakar menjadi energi panas. *Boiler* adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan uap air untuk sumber tenaga atau untuk proses pemanasan (Chattopadhyay, 2000). *Boiler* atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan *steam*. *Steam* diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar (Yohana dan Askhabulyamin, 2012). *Boiler* terdiri dari 2 komponen utama, yaitu: a) dapur (ruang bakar) sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas, dan b) Alat penguap (evaporator) yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial uap (energi panas).

*Boiler* pada dasarnya terdiri dari bungkusan (drum) yang tertutup pada ujung pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa, maka *boiler* diklasifikasikan menjadi *boiler* pipa api (*fire tube boiler*) dan *boiler* pipa air (*water tube boiler*). *Boiler* pipa api pada bagian *tubanya* dialiri dengan gas pembakaran dan bagian lainnya yaitu *shell* dialiri air yang akan diuapkan. *Tube-tube*-nya langsung didinginkan oleh air yang melindunginya. Jumlah pass dari *boiler* tergantung dari jumlah laluan horizontal dari gas pembakaran diantara furnace dan pipa-pipa api. Laluan gas pembakaran pada furnace dihitung sebagai pass pertama. *Boiler* jenis ini banyak dipakai untuk industri pengolahan mulai skala kecil sampai skala menengah (Raharjo dan Karnowo, 2008).

*Boiler* pipa air banyak dipakai untuk kebutuhan uap skala besar. Prinsip kerja dari *boiler* pipa air berkebalikan dengan pipa api, gas pembakaran dari furnace dilewatkan ke pipa-pipa yang berisi air yang akan diuapkan (Raharjo dan Karnowo, 2008).

Menurut poros tutup drum (*shell*), *boiler* diklasifikasikan menjadi: *boiler* tegak (*vertical steam boiler*) dan *boiler* mendatar (*horizontal steam boiler*). Pada penelitian ini, mini *boiler* yang digunakan adalah *boiler* tipe pipa api horizontal (*horizontal fire tube boiler*). Jenis mini *boiler* ini berbeda dengan mini *boiler* yang

telah dikembangkan oleh Effendy dkk. (2013) maupun Akbar dkk. (2019) the problem is the sterilization process from baglog itself is not good, so the quality of the oyster mushroom will decrease or worse is the crop failure. Therefore an appropriate boiler is needed that it can increase the yield and quality of a baglog oyster mushroom industry. Boilers that are designed will follow the existing standards, which are in accordance with the ASME (American Society of Mechanical Engineers yang merupakan mini *boiler* tipe pipa api vertikal (*vertical fire tube boiler*).

Peluang pemanfaatan biomassa untuk bahan bakar *boiler* salah satunya telah diteliti oleh Saputra (2010). Saputra melakukan studi pemanfaatan biomassa ampas tebu (dan perbandingan dengan batu bara) sebagai bahan bakar *boiler* pada pembangkit listrik tenaga uap di Asembagus, Kabupaten Situbondo (studi kasus pabrik gula asembagus). Mahidin dkk. (2014) melakukan penelitian mengenai karakteristik pembakaran beberapa jenis biomassa dalam fluidized bed *boiler*. Hasilnya pembakaran tiga jenis biomassa: serpihan kayu ketam, kulit pinang dan ranting kayu kering, memperlihatkan bahwa masing-masing jenis biomassa memiliki karakteristik pembakaran tersendiri. Adapun penelitian pemanfaatan cangkang sawit sebagai bahan bakar *boiler* pada industri karet salah satunya telah dilakukan oleh Bahrin dkk. (2011).

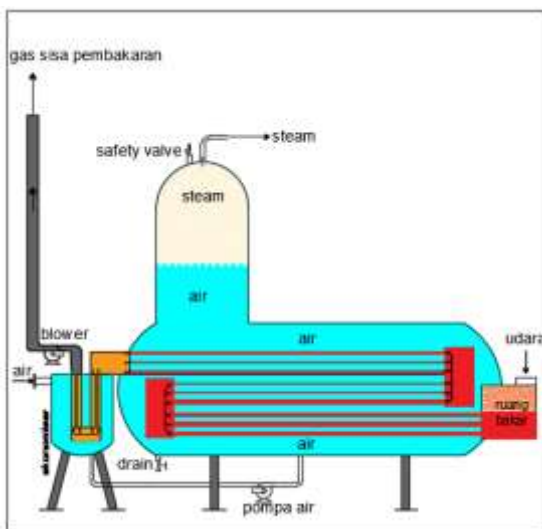
Berdasarkan Hanifah & Andrianto (2018) pemanfaatan mini *boiler* pipa api 3 pass di UKM tahu dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi bahan bakar untuk pemasakan sekitar 14,03%–25,58% dan menghemat waktu sekitar 50%–53%, serta menghemat biaya bahan bakar pemasakan sebesar 44%–45% dibandingkan dengan pemasakan tahu menggunakan tungku gas. Hal ini menunjukkan peluang untuk pemanfaatan mini *boiler* ini di UKM secara lebih luas. Pada penelitian sebelumnya, mini *boiler* pipa api 3 pass dioperasikan dengan menggunakan bahan bakar gas elpiji atau menggunakan bahan bakar pelet kayu. Efisiensi bahan bakar mini *boiler* adalah sebesar 71,17% dengan bahan bakar gas elpiji dan 52,68% dengan bahan bakar pelet kayu. Biaya bahan bakar dengan menggunakan gas elpiji bersubsidi sedikit lebih hemat dibandingkan dengan menggunakan pelet kayu. Namun, dengan adanya rencana kenaikan harga gas bersubsidi maka penggunaan bahan bakar gas menjadi kurang menguntungkan. Disisi lain, ketersediaan pelet kayu di pasaran masih kurang. Oleh karena itu, diperlukan strategi untuk mengurangi konsumsi gas, yaitu dengan mengkombinasikan atau mengganti dengan sumber bahan bakar yang lebih murah dan cukup mudah didapatkan.

Biaya operasional mini boiler terdiri dari biaya bahan bakar dan biaya listrik untuk sistem kontrol dan penyalan pompa dan blower. Biaya terbesar operasional terbesar adalah biaya bahan bakar. Oleh karena itu, untuk menurunkan biaya operasional mini boiler dapat dilakukan dengan menurunkan biaya bahan bakar, yaitu dengan memanfaatkan bahan yang tersedia secara gratis atau berharga relatif murah yang tersedia di sekitar UKM pengguna mini boiler. Sebagai negara agraris, bahan bakar yang potensial dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar adalah limbah pertanian, misalnya ranting kayu/kayu bakar, sekam, tempurung kelapa, arang.

Pada penelitian ini dilakukan analisis kinerja mini boiler pipa api 3 pass dengan menggunakan bahan bakar pelet kayu dan bahan bakar tempurung kelapa. Selain itu juga dilakukan pengujian kinerja mini boiler menggunakan arang tempurung kelapa dan sekam padi. Pengujian kinerja mini boiler meliputi kapasitas/jumlah dan kualitas uap yang dihasilkan, efisiensi energi mini boiler, dan biaya bahan bakar spesifik produksi uap (Rp bahan bakar/kJ uap yang dihasilkan) pada masing masing jenis biomassa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan dasar untuk penerapan mini boiler di UKM secara lebih luas dengan pemilihan jenis bahan bakar yang tersedia.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen (*experimental study*). Data yang dikumpulkan adalah data primer hasil eksperimen didukung dengan data sekunder. Mini boiler yang



Gambar 1. Diagram skematik mini boiler tipe pipa api horizontal 3 pass

digunakan adalah mini boiler tipe pipa api horizontal dengan tiga laluan (*three phase*). Tipe pembakaran bahan bakar pada mini boiler ini adalah tipe *down draft*, yaitu api dihisap ke bawah tumpukan bahan bakar. Mini boiler ini juga dilengkapi dengan unit ekonomiser. Diagram skematik mini boiler yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.

Data primer yang dikumpulkan adalah data pengujian mini boiler dan bahan bakar. Data pengujian boiler mencakup kapasitas produksi uap (kg/jam) dan kualitas uap (tekanan dan suhu) yang dihasilkan, konsumsi bahan bakar, serta efisien energi. Biomassa yang digunakan adalah pelet kayu dan tempurung kelapa. Selain itu juga digunakan biomassa arang tempurung kelapa, dan sekam padi untuk melihat peluang pemanfaatannya. Data bahan bakar biomassa mencakup pengukuran kandungan kalori dan kadar air. Data sekunder yang dikumpulkan terkait properti bahan bakar, air, dan uap. Data sekunder didapatkan dengan cara studi literatur.

Penelitian dilakukan di Pusat Penelitian Teknologi Tepat Guna (P2TTG), unit produksi tahu SMKN 2 Subang, dan sekitarnya. Analisis yang dilakukan difokuskan untuk mengetahui kinerja dan efisiensi energi dari teknologi mini boiler. Ketel uap lebih banyak menggunakan energi dalam bentuk energi termal, sehingga analisis yang dilakukan juga lebih banyak terkait efisiensi termal. Efisiensi dihitung berdasarkan data hasil pengukuran/eksperimen.

Kapasitas mini boiler adalah kemampuan mini boiler untuk menghasilkan uap per satuan waktu, (kg uap/jam). Kapasitas mini boiler dianalisis berdasarkan hasil pengukuran jumlah masukan air ke boiler, dengan menggunakan prinsip kekekalan massa (Persamaan 1).

$$\dot{m}_{\text{air-masuk}} = \dot{m}_{\text{uap-keluar}} \quad (1)$$

dimana:

$\dot{m}_{\text{air-masuk}}$  = laju massa air masuk ke boiler, kg/jam

$\dot{m}_{\text{uap-keluar}}$  = laju uap keluar dari boiler, kg/jam.

Efisiensi boiler adalah sebuah besaran yang menunjukkan hubungan antara supply energi masuk ke dalam boiler dengan energi keluaran yang dihasilkan oleh boiler. Pada penelitian ini yang akan dianalisis adalah efisiensi bahan bakar-uap air (*fuel-to-steam*).

Satu cara yang dianggap paling efektif untuk mengetahui performa boiler secara lebih presisi adalah dengan menghitung efisiensi *fuel-to-steam*-nya (biasa pula disebut dengan efisiensi bahan bakar). Selain memperhatikan efektifitas boiler sebagai *heat exchanger* (efisiensi termal), perhitungan efisiensi

bahan bakar boiler juga memperhatikan adanya losses (kerugian) akibat adanya perpindahan panas radiasi dan konveksi. Efisiensi bahan bakar boiler memperhatikan dengan sangat teliti jumlah konsumsi bahan bakar yang digunakan, sehingga sangat tepat digunakan sebagai bahan analisis ekonomis boiler.

Untuk mengukur efisiensi *fuel-to-steam* dilakukan dengan metode langsung. Metode langsung, atau dikenal juga sebagai metode input-output, dilakukan dengan jalan membandingkan secara langsung energi panas yang diserap oleh air sehingga berubah fase menjadi uap air (energi output), dengan energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar boiler (energi input). Rumusan sederhana dari perhitungan metode langsung (Persamaan 2).

$$\eta_{\text{bahanbakar}} = \frac{Q_{\text{steam}}}{Q_{\text{bahanbakar}}} \times 100\% \quad (2)$$

$$= \frac{\dot{m}_{\text{steam}} (h_g - h_f)}{\dot{m}_{\text{bahan bakar}} GCV} \times 100\%$$

dimana,

- $\eta_{\text{bahanbakar}}$  : Efisiensi bahan bakar boiler (%)
- $Q_{\text{steam}}$  : Energi panas total yang diserap uap air (kalori; Joule)
- $\dot{m}_{\text{steam}}$  : laju massa uap air keluar boiler (kg/jam)
- $h_g$  : Entalpi uap keluar boiler (kJ/kg)
- $h_f$  : Entalpi air masuk boiler (kJ/kg)
- $Q_{\text{bahanbakar}}$  : Energi panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar (kalori; Joule)
- $\dot{m}_{\text{bahan bakar}}$  : laju massa kebutuhan bahan bakar (kg/jam)

GCV : *Gross Calorific Value* atau nilai kalor spesifik bahan bakar (kkal/kg)

Biaya bahan bakar spesifik produksi uap adalah biaya bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan setiap satuan energi yang terkandung dalam uap (Rp bahan bakar/kJ uap yang dihasilkan). Analisis biaya bahan bakar spesifik produksi uap digunakan untuk mengetahui perbandingan antar bahan bakar dari sisi ekonomi (Persamaan 3).

$$BBS = \frac{\text{harga}_{\text{bhnbakr}} \dot{m}_{\text{bhnbakr}}}{\dot{m}_{\text{steam}} (h_g - h_f)} \quad (3)$$

Dimana:

- BBS : biaya bahan bakar spesifik produksi uap, Rp/kJ uap
- harga<sub>bhnbakr</sub> : harga bahan bakar, Rp/kg
- $\dot{m}_{\text{bhnbakr}}$  : konsumsi bahan bakar, kg/jam
- $\dot{m}_{\text{steam}}$  : laju massa uap air keluar boiler (kg/jam)
- $h_g$  : Entalpi uap keluar boiler (kJ/kg)
- $h_f$  : Entalpi air masuk boiler (kJ/kg)

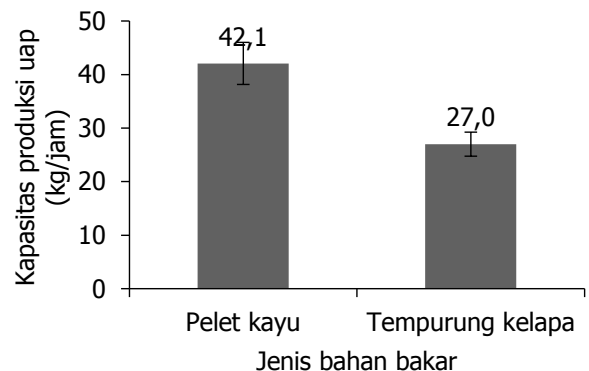
Prosedur pengambilan data pengujian mini boiler antara lain mini boiler diisi dengan air sampai pada batas maksimum pengisian, kemudian disiapkan bahan bakar biomassa yang akan digunakan dengan massa tertentu yang diperkirakan mencukupi untuk pengoperasian mini boiler selama kurang lebih 2 jam. Bahan bakar biomassa dimasukkan secara bertahap ke dalam ruang pembakaran mini boiler dan agar terjadi proses pemanasan, katup pengeluaran uap masih ditutup. Sistem pengisian air diatur otomatis, sehingga pompa pengisian air ke dalam boiler menyala otomatis apabila level air di dalam mini boiler mencapai titik minimum. Tahapan ini disebut *start-up* penyalaan mini boiler sampai uap yang yang dihasilkan mencapai tekanan 2 bar gauge untuk siap digunakan pada proses pemasakan di UKM. Waktu yang diperlukan untuk *start up* dicatat.

Setelah tekanan uap mencapai 2 bar gauge, katup pengeluaran uap dibuka, dan dicatat sebagai awal pengukuran suhu dan tekanan uap. Pencatatan suhu dan tekanan uap yang dihasilkan dilakukan setiap 5 menit sampai total pengukuran selama 60 menit. Total bahan bakar yang digunakan diukur dengan menimbang sisa bahan bakar yang tersisa. Jumlah uap yang dihasilkan diukur dari jumlah pengisian air ke dalam mini boiler. Jumlah pengisian air ke dalam mini boiler dibaca dari perubahan tinggi kolom air di mini boiler. Semua tahapan dilakukan untuk setiap jenis bahan bakar.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kapasitas Produksi Uap

Perbandingan kapasitas produksi uap mini boiler dengan menggunakan pelet kayu dan tempurung kelapa kelapa ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Kapasitas produksi uap mini boiler dengan menggunakan bahan bakar pelet kayu dan tempurung kelapa

Pengoperasian menggunakan pelet kayu memerlukan waktu *start up* (pemanasan awal) 21 menit, jumlah bahan bakar 3,87 kg. Konsumsi bahan bakar rata-rata 10,85 kg/jam dengan kandungan kalor pellet kayu sebesar 4.111 kkal/kg. Kapasitas produksi uap 42 kg/jam. Pengoperasian menggunakan tempurung kelapa memerlukan waktu *start up* (pemanasan awal) 31,5 menit, jumlah bahan bakar 3,6 kg. Konsumsi bahan bakar rata-rata 6,93 kg/jam dengan kandungan kalor tempurung sebesar 4194 kkal/kg. Kapasitas produksi uap 27 kg/jam.

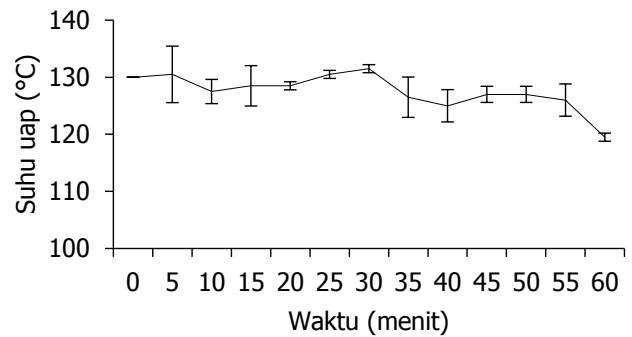
Dari hasil eksperimen dapat terlihat bahwa kapasitas produksi uap *boiler* berbanding lurus dengan laju input energi bahan bakar. Hal ini sesuai dengan eksperimen yang dilakukan oleh Firdaus & Sirait (2015) bahwa kapasitas produksi uap *boiler* berbanding lurus dengan laju konsumsi bahan bakar untuk pemakaian jenis bahan bakar yang sama.

Pengujian penggunaan bahan bakar arang tempurung dan sekam padi juga dilakukan, tetapi memberikan hasil kurang bagus. Pengoperasian menggunakan arang tempurung kelapa memerlukan waktu *start up* (pemanasan awal) 47,8 menit, jumlah bahan bakar 2,8 kg. Konsumsi bahan bakar rata-rata 3,6 kg/jam dengan kandungan kalor arang tempurung kelapa sebesar 6333 kkal/kg. Kapasitas produksi uap 18,3 kg/jam. Pengujian penggunaan bahan bakar sekam padi dilakukan dengan memberi sarangan berupa plat besi berlubang, dengan maksud agar sekam padi tidak terjatuh dari tempat bahan bakar sebelum terbakar. Pengoperasian mini *boiler* dengan sekam padi memberikan hasil yang tidak memenuhi kebutuhan uap pada UKM. Laju pembakaran sekam pada mini *boiler* ini lambat, hanya 1,5 kg /jam dengan kandungan kalori sebesar 3300 kkal/kg, sehingga kenaikan suhu air dan uap juga lambat. Pada pemanasan awal selama 40 menit, suhu air hanya meningkat dari 35 °C ke 49 °C, dan tekanan uap belum terbaca di indikator tekanan (*pressure gauge*) sehingga pengujian tidak dilanjutkan.

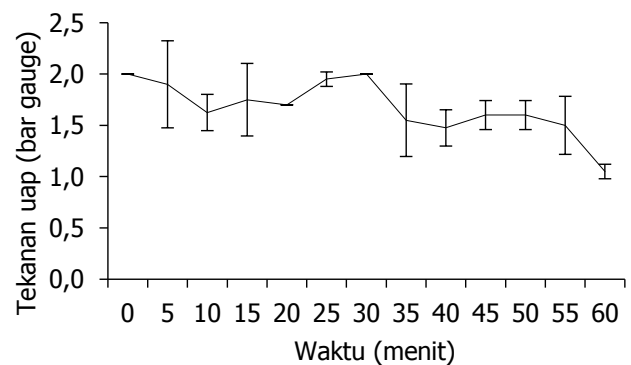
### Suhu dan Tekanan Uap yang Dihasilkan

Uap yang dihasilkan oleh mini *boiler* ini adalah uap jenuh. Suhu dan tekanan uap yang dihasilkan mini *boiler* menggunakan bahan bakar pelet kayu di tunjukkan pada gambar 3 dan 4. Suhu dan tekanan uap yang dihasilkan relatif stabil yaitu pada kisaran suhu 120 °C–130 °C dengan tekanan uap 1,1–2,0 bar gauge.

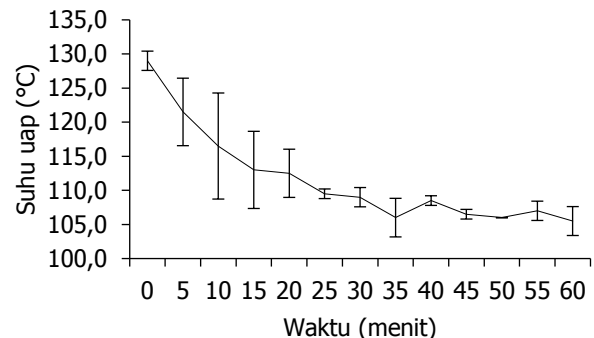
Suhu dan tekanan uap yang dihasilkan mini *boiler* menggunakan bahan bakar tempurung kelapa di tunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Suhu dan tekanan uap yang dihasilkan kurang stabil. Setelah pemanasan awal dan suhu mencapai 129 °C, ketika beban uap



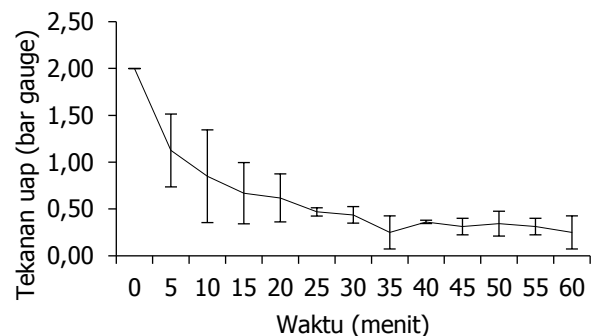
Gambar 3. Suhu uap yang dihasilkan selama 1 jam oleh mini *boiler* dengan bahan bakar pelet kayu



Gambar 4. Tekanan uap yang dihasilkan selama 1 jam oleh *boiler* dengan bahan bakar pelet kayu



Gambar 5. Suhu uap yang dihasilkan selama 1 jam oleh mini *boiler* dengan bahan bakar tempurung kelapa



Gambar 6. Tekanan uap yang dihasilkan selama 1 jam oleh mini *boiler* dengan bahan bakar tempurung kelapa

dibuka suhu turun sampai 104 °C. Tekanan uap juga mengalami penurunan dari 2,0–0,1 bar-gauge.

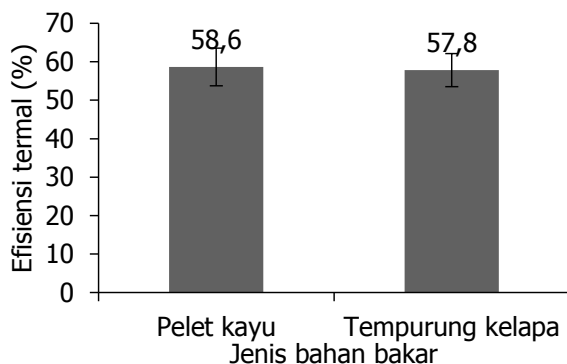
Pengoperasian menggunakan tempurung kelapa diperoleh hasil yang kurang bagus hal ini disebabkan pembakaran tempurung kelapa mengalami perlambatan pada ruang bakar setelah terdapat cukup banyak arang sisa pembakaran yang menumpuk.

Suhu dan tekanan uap yang dihasilkan mini boiler menggunakan bahan bakar arang tempurung kelapa kurang stabil. Setelah pemanasan awal dan suhu mencapai 130 °C, ketika beban uap dibuka suhu turun sampai 103 °C. Tekanan uap juga mengalami penurunan dari 2,0–0,06 bar-gauge.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa suhu dan tekanan uap yang dihasilkan boiler berbanding lurus dengan laju input energi bahan bakar. Hal ini sesuai dengan eksperimen yang dilakukan oleh Qamaruddin & Sikki (2016) bahwa suhu dan tekanan uap yang dihasilkan boiler berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar untuk jenis bahan bakar yang sama.

### Efisiensi Energi

Perhitungan efisiensi energi yang dilakukan adalah efisiensi bahan bakar - uap air (*fuel-to-Steam*). Regulagadda dkk. (2010) dalam Barma dkk. (2017) menyatakan besaran efisiensi energi boiler berkisar antara 20% sampai 92% tergantung pada tipe bahan bakar dan peruntukan dari boiler. Efisiensi bahan bakar mini boiler pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 7. Penggunaan bahan bakar tempurung memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan dengan pelet kayu karena pada saat tempurung terbakar, api menyala menyembur ke atas, tidak tersedot semuanya ke dalam boiler. Dari ruang bakar banyak terjadi losses panas yang lebih banyak ke lingkungan melalui pintu ruang pembakaran. Selain itu tempurung tidak terbakar sempurna menjadi abu, menyisakan tumpukan arang di ruang bakar.

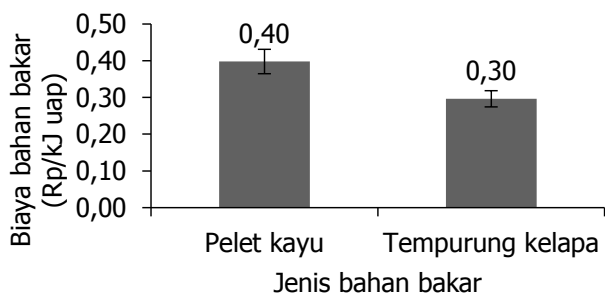


Gambar 7. Efisiensi termal mini boiler dengan menggunakan bahan bakar pelet kayu dan tempurung kelapa

Penggunaan arang tempurung kelapa juga menunjukkan efisiensi bahan bakar yang lebih rendah yaitu 49,76%. Walaupun nyala arang tempurung relatif hanya berupa bara dengan api kecil, tidak seperti pada pembakaran tempurung, tumpukan serpihan arang tempurung yang relatif rapat dan padat menyebabkan udara pembakaran lebih susah dihisap ke dalam boiler. Panas hasil pembakaran justru banyak losses ke lingkungan melalui pintu ruang pembakaran. Selain itu, menurut Gupta dkk. (2011) dalam Barma dkk. (2017) adanya sisa karbon yang tidak terbakar di ruang bakar berakibat langsung terhadap penurunan efisiensi energi boiler. Walaupun memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelet kayu karakteristik pembakaran tempurung dan adanya tumpukan arang sisa pembakaran tak sempurna menyebabkan hasil kinerja kurang bagus pada mini boiler ini yang menggunakan sistem pembakaran unggun ke bawah (*downdraft*). Jika akan tetap menggunakan kedua bahan bakar ini maka perlu dilakukan modifikasi ruang bakar. Hasil ini juga senada dengan pernyataan Noviasri (2012) bahwa boiler dengan bahan bakar campuran tempurung dan arang tempurung pada penelitiannya memiliki efektivitas penyerapan kalor kecil, sehingga kinerja boiler rendah.

### Biaya Bahan Bakar Spesifik Produksi Uap

Biaya bahan bakar spesifik produksi uap adalah salah satu bagian penting dari total biaya spesifik produksi uap selain komponen biaya lainnya yaitu biaya investasi dan biaya perawatan (Lian dkk., 2010). Biaya bahan bakar spesifik produksi uap dengan bahan bakar tempurung lebih murah yaitu Rp0,3/kJ dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar pelet kayu, yaitu Rp0,4/kJ. Sedangkan biaya bahan bakar spesifik produksi uap menggunakan arang tempurung lebih mahal, yaitu Rp0,61/kJ. Perhitungan ini berdasarkan harga pasaran pada akhir tahun 2018, yaitu Rp4.000/kg, Rp3.000/kg, dan Rp8.000/kg secara berturut turut untuk pelet kayu, tempurung dan arang tempurung. Pemakaian tempurung kelapa paling murah, akan tetapi pemakaiannya hanya direkomendasikan untuk UKM dengan kebutuhan uap yang kecil, karena suhu dan tekanan yang dihasilkan relatif rendah. Untuk contoh kasus UKM tahu dengan pemasakan per batch 10 kg kedelai, pemakai mini boiler ini dengan bahan bakar tempurung tidak bisa mencukupi kebutuhan. Biaya bahan bakar spesifik pada penelitian ini secara umum masih jauh lebih mahal dari biaya spesifik produksi uap tekanan rendah yang disampaikan oleh Lian dkk. (2010), yaitu hanya sebesar 0,0150 \$/kWh atau setara dengan Rp 0,06/kJ (asumsi kurs dollar Rp 14.300).



Gambar 8. Biaya bahan bakar spesifik produksi uap dengan bahan bakar pelet kayu dan tempurung kelapa

## KESIMPULAN

Mini boiler tipe pipa api 3 pass pada penelitian ini memiliki kinerja dan biaya bahan bakar yang lebih tinggi pada penggunaan bahan bakar pelet kayu dibandingkan pada penggunaan bahan bakar tempurung kelapa. Mini boiler dengan menggunakan bahan bakar pelet kayu memiliki kapasitas produksi uap 42 kg/jam, suhu uap 120 °C–130 °C dengan tekanan uap 1,1–2,0 bar-gauge, efisiensi energi 58,67% dan biaya bahan bakar spesifik produksi uap Rp0,4/kJ. Sedangkan penggunaan bahan bakar tempurung kelapa pada mini boiler ini menghasilkan kapasitas produksi uap 27 kg/jam, suhu uap 104 °C–129 °C dengan tekanan uap 0,1–2,0 bar-gauge, efisiensi energi 57,29% dan biaya bahan bakar spesifik produksi uap Rp0,3/kJ. Kinerja mini boiler lebih rendah bukan karena nilai kalor tempurung yang lebih rendah tapi lebih karena sifat fisik dan karakteristik pembakaran tempurung yang berbeda dengan pelet kayu.

## KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa artikel ini asli hasil penelitian para penulis, hanya dipublikasikan pada jurnal ini, dan tidak ada konflik kepentingan.

## DAFTAR PUSTAKA

Akbar, R., Sukandi, A., & Rasyid, M. K. (2019). Perancangan Boiler untuk Proses Sterilisasi pada Baglog Jamur Tiram. *Jurnal Teknik Mesin ITI*, 3(1), 23–28. <https://doi.org/10.31543/jtm.v3i1.245>

Bahrin, D., Nukman, & Dariansyah, Y. (2011). Biomassa: Bahan Bakar Bersih untuk Industri Karet di Sumatera Selatan. In *Seminar Nasional AVoER ke-3* (pp. 110–115).

Barma, M. C., Saidur, R., Rahman, S. M. A., Allouhi, A., Akash, B. A., & Sait, S. M. (2017). A review on boilers energy use

, energy savings , and emissions reductions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79(March 2016), 970–983. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.187>

topadhyay, P. (2000). *Boiler Operation Engineering Questions and Answer* (second). New Delhi: Tata McGraw-Hill.

ndy, D. A., Sunyoto, & Masugino. (2013). Rancang Bangun Boiler pada Industri Tahu untuk Proses Pemanasan Sistem Uap dengan Menggunakan CATIA V5. *Journal of Mechanical Engineering Learning*, 2(2).

aus, A., & Sirait, E. (2015). Analisa Pengaruh Variasi Kapasitas Uap Terhadap Efisiensi Ketel Uap Di Pt . Sinar Sosro Banyuasin-Sumatera Selatan. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 8(2), 133–140.

Gupta, R. D., Ghai, S., & Jain, A. (2011). Energy Efficiency Improvement Strategies for Industrial Boilers: a Case Study. *J Eng Technol*, 1(1), 52.

Hanifah, U., & Andrianto, M. (2018). Experimental Study on Fuel Consumption and Energy Efficiency at Soymilk Cooking Using a Mini Boiler and Using a Gas Stove. In *2018 4th International Conference on Science and Technology (ICST)* (pp. 4–8). <https://doi.org/10.1109/ICSTC.2018.8528681>

Lian, Z. T., Chua, K. J., & Chou, S. K. (2010). A thermoeconomic analysis of biomass energy for trigeneration. *Applied Energy*, 87(1), 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.07.003>

Mahidin, Hamdani, Muhtadin, Faisal, M., & Mahyuddin. (2014). Karakteristik Pembakaran Beberapa Jenis Biomassa dalam Fluidized Bed Boiler. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*, 10(1), 7–14. <https://doi.org/10.23955/rkl.v10i1.2167>

Noviasri, P. (2012). Studi Eksperimental Proses Pembakaran pada Boiler Mini Power Plant Berbahan Bakar Biomassa. Yogyakarta: Jurusan Teknik Mesin Universitas Gajah Mada.

Qamaruddin, & Sikki, M. I. (2016). Analisis kebutuhan bahan bakar terhadap perubahan tekanan uap. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2), 67–74.

Raharjo, W. D., & Karnowo. (2008). *Mesin Konversi Energi. Raharjo*. Semarang: Universitas Negeri Semarang Press.

Regulagadda, P., Dincer, I., & Naterer, G. (2010). Exergy analysis of a thermal power plant with measured boiler and turbine losses. *Applied Thermal Engineering*, 30(8).

Saputra, P. P. S. (2010). Studi Pemanfaatan Biomassa Ampas Tebu (dan Perbandingan dengan Batu Bara) sebagai Bahan Bakar Pembangkit Listrik Tenaga Uap 1x3MW di Asembagus. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro-FTI Institut Teknologi Sepuluh November.

Yohana, E., & Askhabulyamin. (2012). Perhitungan Efisiensi dan Konversi dari Bahan Bakar Solar ke Gas pada Boiler EBARA HKL 1800 KA. *Rotasi*, 14(2), 7–10. <https://doi.org/10.14710/ROTASI.14.2.7-10>