

ANALISA PEMAKAIAN BAHAN BAKAR AMPAS TEBU DAN TEMPURUNG KELAPA DENGAN MENGUJI VARIASI RASIO YANG PALING EFISIEN TERHADAP KETEL UAP SEBAGAI BAHAN BAKAR ALTERNATIF

Christiany N. S.¹, Tekad Sitepu², Farel H. Napitupulu³, Mahadi⁴, Taufiq B. N.⁵

^{1,2,3,4,5}Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

Jalan Almamater kampus USU Medan 20155

Email : christianysinaga@gmail.com

Abstrak

Bahan bakar merupakan segala sesuatu yang dapat dibakar dan menghasilkan panas. Bahan bakar yang terdapat di alam dapat berupa padat, cair, dan gas. Ketel uap sangat berhubungan erat dengan bahan bakar yang digunakannya. Berdasarkan pengalaman dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, bahan bakar biomassa dari limbah tanaman dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif yang ketersediannya dapat terus dijaga dan menghasilkan nilai kalor yang tidak kalah tinggi serta biaya yang cukup terjangkau. Salah satu pabrik yang mengaplikasikannya adalah Pabrik Gula Sei Semayang yang menggunakan ampas tebu dan fiber (cangkang dan serabut sawit) sebagai bahan bakarnya dan menghasilkan efisiensi sebesar 66%. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan nilai efisiensi tertinggi dan terendah serta mendapatkan variasi rasio yang paling efisien digunakan. Penulis melakukan pengujian dan menganalisa campuran ampas tebu (AT) terhadap tempurung kelapa (TK) dengan berbagai variasi rasio menggunakan cara metode tidak langsung, yakni 90% AT : 10% TK, 80% AT : 20% TK, 70% AT : 30% TK, 60% AT : 40% TK, dan 50% AT : 50% TK. Dari hasil pengujian, direkomendasikan rasio bahan bakar yang paling efisien digunakan pada ketel uap merk Yoshieme Japan, dengan suhu uap 325°C, kapasitas uap 60 T/jam, dan tekanan 29 kg/cm² adalah 90% AT : 10% TK dengan efisiensi sebesar 78,75%.

Kata kunci : ketel uap, biomassa, rasio bahan bakar, Efisien

1. PENDAHULUAN

Ketel uap adalah pesawat untuk memproduksi uap pada suatu jumlah tertentu pada setiap jamnya dengan suatu tekanan dan suhu yang telah ditentukan [1]. Proses pendidihan memerlukan energi panas yang diperoleh dari sumber panas misalnya dari pembakaran bahan bakar berupa bahan bakar padat, cair dan gas. Sumber energi tak terbarukan khususnya fosil (minyak dan gas) mempunyai peran penting dalam kehidupan manusia sehari-hari. Salah satu energi terbarukan yang perlu mendapatkan perhatian untuk dikembangkan adalah energi biomassa. Energi biomassa adalah jenis bahan bakar yang dibuat dengan mengkonversi bahan biologis seperti tanaman. Dari berbagai macam tanaman, ada beberapa tanaman yang memiliki kandungan biomassa tersebut, antara lain seperti tanaman sawit, jagung, kelapa, jerami, tebu, dan masih banyak lagi. Pada penulisan skripsi ini, tanaman yang akan diuji adalah tebu dan kelapa. Penggunaan energi biomassa diperoleh dari limbah tanaman itu sendiri. Limbah yang akan diuji berupa ampas tebu dan tempurung kelapa. Adapun yang menjadi alasan penulis mengangkat judul ini karena semakin sulitnya mendapatkan bahan bakar fosil yang semakin hari semakin kecil kesempatan untuk mendapatkannya, dibandingkan dengan bahan ampas tebu dan tempurung kelapa yang bisa terus menerus dihasilkan dan mudah mendapatkannya dengan harga yang terjangkau/murah. Salah satu perusahaan yang menggunakan ketel uap sebagai pembangkitnya adalah Pabrik Gula Sei Semayang di KM 12,5 Serdang Bedagai.. Pabrik ini menggunakan bahan bakar berupa Ampas Tebu dan dicampur dengan beberapa bahan bakar padat lainnya yaitu cangkang dan

serabut kelapa sawit ditambah dengan minyak residu. Melihat potensi yang dikandung oleh kedua bahan bakar di atas, maka penulis termotivasi untuk melakukan analisa perbandingan variasi rasio bahan bakar alternatif tersebut sebagai sumber energi alternative terhadap ketel uap [2]

2. TINJAUAN PUSTAKA

Boiler/ketel uap merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau *steam* berupa energi kerja. Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan *steam* yang akan digunakan. Sistem boiler terdiri dari sistem air umpan, sistem *steam*, dan sistem bahan bakar. Pada bagian ini, yang akan dibahas lebih lanjut adalah sistem bahan bakar. Bahan bakar (*fuel*) adalah segala bahan yang dapat dibakar. Berbagai jenis bahan bakar (seperti bahan bakar cair, padat, dan gas) yang tersedia tergantung pada berbagai faktor seperti biaya, ketersediaan, penyimpanan, *handling*, dan lain-lain. Pada penulisan ini, metode perhitungan yang digunakan adalah metode tidak langsung yaitu memperhitungkan kehilangan-kehilangan panas yang terjadi saat dilakukannya pembakaran. Berikut ini adalah rumus yang digunakan :

- Tahap 1. Menghitung kebutuhan udara teoritis :

$$U_t = \frac{(11,43 \times C) + \{34,5 \times (H_2 - O_2/8)\} + (4,32 \times S)]}{100 \frac{kg}{kg} \text{ bahan bakar}}$$

- Tahap 2. Menghitung persen kelebihan udara yang dipasok

$$EA = \frac{\%O_2 \times 100}{21 - \%O_2}$$

- Tahap 3. Menghitung massa udara sebenarnya yang dipasok/kg bahan bakar

$$ASS = 1 + \left(\frac{EA}{100} \right) \times \text{udara teoritis}$$

- Tahap 4. Memperkirakan seluruh kehilangan panas :

- (1) Persentase kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang yang kering :

$$L1 = \frac{m \times c_{pfg} \times (T_{fg} - T_a)}{GCV \text{ fuel}} \times 100$$

- (2) Persentase kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya H_2 dalam bahan bakar :

$$L2 = \frac{9 \times H_2 \{584 + C_{pss} (T_{fg} - T_a)\}}{GCV \text{ fuel}}$$

- (3) Persentase kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar :

$$L3 = \frac{M \{584 + C_{pss} (T_{fg} - T_a)\}}{GCV \text{ fuel}}$$

- (4) Persentase kehilangan panas karena kadar air dalam udara :

$$L4 = \frac{AAS \times \text{kelembapan udara} \times C_{ps} (T_{fg} - T_a) \times 100}{GCV \text{ fuel}}$$

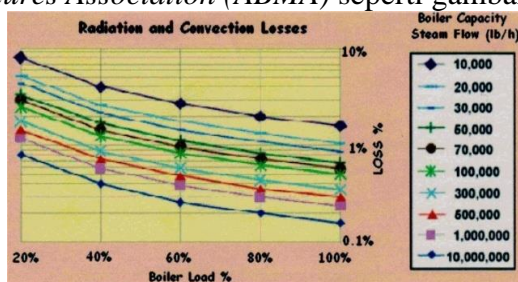
- (5) Persentase kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah/*bottom ash* :

$$L5 = \frac{\text{Total abu terkumpul per kg b.bakar yg terbakar} \times GCV \text{ ba}}{GCV \text{ fuel}}$$

- (6) Persen kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak dihitung :

Persentase karena kehilangan panas karena radiasi dan konveksi serta kehilangan lain yang tidak dihitung.

Pada umumnya kehilangan panas akibat radiasi dan konveksi lebih rendah untuk boiler yang lebih besar dan lebih tinggi untuk boiler yang lebih kecil. Nilai kerugian radiasi dan konveksi biasanya ditentukan dari grafik standar *American Boiler Manufacturers Association (ABMA)* seperti gambar di bawah ini :



Gambar 1. Grafik yang menunjukkan kehilangan radiasi dan konveksi sesuai dengan laju aliran massa uap yang dihasilkan boiler [3].

Kapasitas uap boiler yang dimiliki adalah sebesar 60.000 kg/jam atau 132.000 lb/h berada di antara 100.000 lb/h dan 300.000 lb/h, maka untuk mendapatkan nilainya, dihitung dengan menggunakan cara interpolasi seperti pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. Nilai akibat radiasi dan konveksi pada aliran kapasitas uap boiler

<i>Boiler capacity steam flow (lb/h)</i>	<i>Radiation and convection losses</i>
100.000	0,7
132.000	X
300.000	0,5

$$x = \frac{132.000 - 100.000}{300.000 - 100.000} \times (0,5 - 0,7) + 0,7$$

$$x = 0,700 \%$$

$$L6 = x = 0,700\%$$

- Menghitung efisiensi boiler dan rasio penguapan boiler :

$$(\eta) = 100 - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6)$$

Analisa perhitungan selanjutnya setelah menggunakan metode tidak langsung adalah analisa proksimasi dan analisa nilai kalor baik itu menggunakan bom kalorimeter dan juga menggunakan rumus Dulong Petit dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

(1) Perhitungan nilai kalor dengan bom kalorimeter :

- Nilai kalor atas (HHV)

$$\text{HHV} = (T_2 - T_1 - T_{kp}) C_v \text{ (kJ/kg)}$$

- Nilai kalor bawah (LHV)

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \text{ kJ/kg}$$

Dimana :

HHV = Nilai kalor atas (kJ/kg)

LHV = Nilai kalor bawah (kJ/kg)

CV = Panas jenis bom
Kalorimeter (73529,6
kJ/kg°C)

Apabila dilakukan n kali pengujian, maka rumus yang digunakan adalah sebagai berikut [4]:

- $\text{HHV}_{\text{Rata-rata}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{HHV}}{n} \text{ (kJ/kg)}$

- $\text{LHV}_{\text{Rata-rata}} = \text{HHV}_{\text{rata-rata}} - 3240$

(2) Menggunakan rumus Dulong Petit [5]:

- Nilai kalor atas (HHV) :

$$\text{HHV} = 33950 C + 144200 (H_2 - \frac{O_2}{8} + 9400 S) \text{ kJ/kg}$$

- Nilai kalor bawah (LHV)

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2411 (M + 9H_2)$$

Penelitian juga dilakukan dengan menganalisa perhitungan suplai udara pada proses pembakaran, analisa kebutuhan bahan bakar ketel, analisa panas yang dihasilkan di dapur, analisa volume ruang bakar, dan analisa kebutuhan bahan bakar.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan pada penulisan ini akan dijabarkan sebagai berikut :

3.1 Lokasi, jenis kegiatan, dan waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan di tiga tempat, yaitu di laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin USU, di laboratorium kimia FMIPA USU, dan di PT. Astra Internasional Tbk-Toyota Medan.

3.2 Operasionalisasi penelitian

Operasionalisasi penelitian yang dilakukan juga terbagi menjadi dua (2) variabel antara lain :

- Variabel penelitian

Penelitian ini menggunakan tiga macam variable, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel control. Alasan penggunaan variabel-variabel ini karena pengolahan data untuk mendapatkan efisiensi termis menggunakan metode tidak langsung.

- Pengukuran variabel penelitian
Pengukuran variabel ini juga terbagi menjadi tiga (3), yaitu pengukuran variabel bebas, pengukuran variabel terikat, dan pengukuran variabel kontrol

3.3 Instrumen penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan disesuaikan dengan parameter yang akan dianalisa, yaitu kadar air, kadar abu, kadar bahan mudah menguap, kadar *fixed carbon*, nilai kalor, dan emisi gas buang serta pengukuran berat abu hasil pembakaran bahan bakar. Instrumen yang digunakan antara lain :

- Tanur
- Oven
- Timbangan digital
- Bom kalorimeter
- stopwatch
- *Gas emission analyzer*
- Tungku pembakaran
- Timbangan manual

3.4 Analisa data hasil percobaan

Analisa data yang didapatkan dari hasil penelitian, dituangkan dalam bentuk perhitungan dengan menggunakan metode perhitungan tidak langsung seperti yang tertera pada tinjauan pustaka sebelumnya hingga akhirnya mendapatkan hasil yang diinginkan.

Percobaan untuk mendapatkan nilai beberapa parameter akan dijelaskan berikut ini. Percobaan nilai emisi gas buang dilakukan dengan mulai membakar sampel ke dalam tungku bakar sesuai dengan variasi yang ditetapkan, kemudian masukkan *gas fitting emission gas analyzer* ke cerobong dan ditunggu kira-kira dua menit hingga pembacaan angka hasil pengukuran di layar LED stabil. Percobaan pada nilai kalor dilakukan dengan memulai dengan mengukur berat sampel 0,15 gr dan volume air 1250 mL dengan tekanan oksigen 30 bar. Pengerjaan dilanjutkan dengan mengaduk air pendingin 5 (lima) menit, kemudian suhu dicatat (T1), kemudian menyalakan bahan bakar dengan bom kalori. Pengadukan dilakukan lagi selama 5 (lima) menit dan mencatat kembali suhunya (T2). Nilai HHV dan LHV dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang tertera di tinjauan pustaka.

4. HASIL PENELITIAN

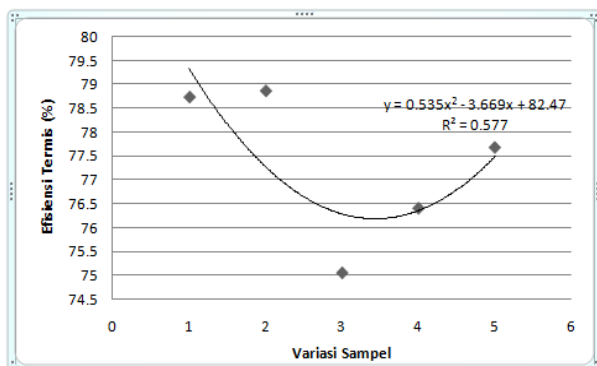
Hasil yang didapatkan dikaitkan dengan variasi rasio yang dipakai antara lain :

- Variasi 1 = 90% AT : 10% TK
- Variasi 2 = 80% AT : 20% TK
- Variasi 3 = 70% AT : 30% TK
- Variasi 4 = 60% AT : 40% TK
- Variasi 5 = 50% AT : 50% TK

Ampas tebu disingkat dengan (AT), dan tempurung kelapa disingkat dengan (TK). Berdasarkan hasil yang telah didapatkan pada proses pengujian dan diolah serta dianalisa dengan menggunakan perhitungan, maka didapatkan hasil penelitian sebagai berikut ini :

4.1 Hasil perhitungan efisiensi termis

Hasil disajikan dalam gambar 1 berikut ini :

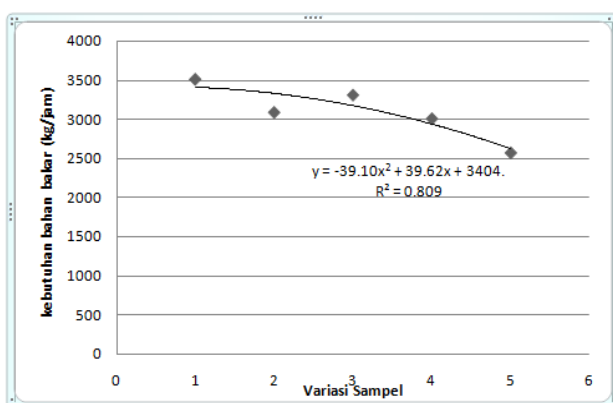


Gambar 1. Grafik hubungan variasi rasio bahan bakar terhadap efisiensi termis

Grafik di atas, terlihat bahwa setiap variasi menghasilkan efisiensi yang berbeda, dan terlihat bahwa efisiensi tertinggi ada pada variasi 2, dan efisiensi terendah pada variasi 3.

4.2 Hasil perhitungan kebutuhan bahan bakar ketel uap

Hasil disajikan dalam gambar 2 berikut ini :

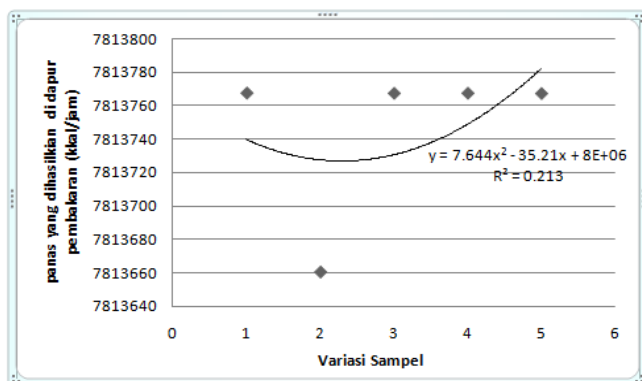


Gambar 2. Grafik hubungan antara variasi rasio bahan bakar terhadap kebutuhan bahan bakar

Pada grafik di atas terlihat bahwa variasi 2 membutuhkan bahan bakar paling sedikit, dan variasi 1 membutuhkan bahan bakar paling banyak.

4.3 Hasil perhitungan untuk panas yang dihasilkan pada dapur pembakaran

Hasil disajikan dalam gambar 3 berikut ini :

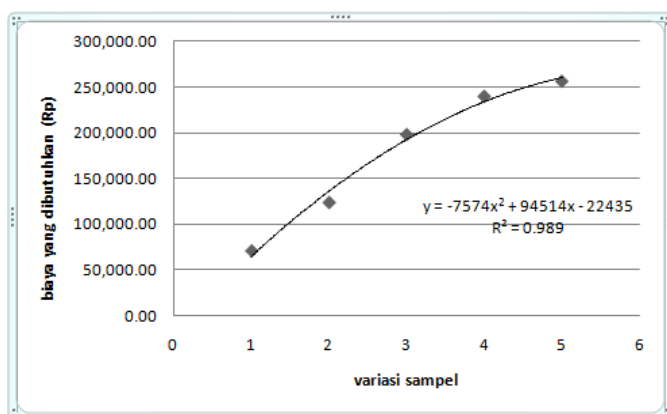


Gambar 3. Grafik hubungan antara variasi rasio terhadap panas yang dihasilkan pada dapur pembakaran

Grafik di atas menunjukkan bahwa panas yang paling sedikit dihasilkan di variasi 2, dan panas yang paling tinggi berada di variasi 1, meskipun hanya memiliki selisih panas yang sedikit dibanding variasi 3, 4, dan 5.

4.4 Hasil perhitungan biaya yang dibutuhkan

Kebutuhan biaya pada berbagai variasi rasio ini, dihubungkan dengan besarnya bahan bakar yang digunakan. Hasil perhitungannya disajikan dalam gambar 4 berikut ini :



Gambar 4. Grafik hubungan antara variasi rasio terhadap biaya yang dibutuhkan

Dari grafik di atas terlihat bahwa biaya yang paling rendah dikeluarkan pada variasi 1, dan biaya paling tinggi dikeluarkan pada variasi 5.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

➤ Kesimpulan

- (1) Efisiensi tertinggi dihasilkan pada variasi rasio 80% AT : 20% TK sebesar 78,88%, dan efisiensi terendah dihasilkan pada variasi rasio 70% AT : 30% TK sebesar 75,05%
- (2) Variasi rasio yang paling efisien direkomendasikan sebagai bahan bakar alternatif untuk ketel uap merk Yoshieme Japan, dengan suhu uap 325°C, kapasitas uap 60 T/jam, dan tekanan 29 kg/cm² adalah variasi 90% AT : 10% TK, dengan alasan dilihat dari :

- Nilai efisiensi yang berbeda hanya 0,13 antara variasi rasio 80% AT : 20% TK dengan 90% AT : 10% TK
- Panas yang dihasilkan oleh variasi 90% AT : 10% TK sebesar 7813767,251 kkal/jam lebih besar dibandingkan variasi 80% AT : 20% TK sebesar 7813660,057 kkal/jam, dengan perbedaan panas sebesar 107,194 kkal/jam
- Biaya yang dibutuhkan untuk setiap pembakaran per jam pada variasi rasio 90% AT : 10% TK sebesar Rp 70.092,124, sementara variasi rasio 80% AT : 20% TK sebesar Rp 123.353,284, memiliki perbedaan sebesar Rp 53.261,16

➤ **Saran**

- (1) Untuk meningkatkan efisiensi, sebaiknya semakin diteliti bahan bakar biomassa lain yang lebih tinggi nilai kalornya dibandingkan tempurung kelapa.
- (2) Pada saat pengujian suhu dan gas emisi gas buang untuk nilai O₂ dan CO₂ sebaiknya dilakukan sampai lebih dari tiga kali, agar memastikan nilainya tetap sama, atau berubah-ubah, sehingga memiliki nilai yang pasti
- (3) Saran dari supervisor PT. Astra International Tbk – Toyota, tempat penulis menguji emisi gas buang, agar demi perkembangan kemajuan mahasiswa, khususnya mahasiswa teknik mesin USU, agar lebih dilengkapi fasilitasnya, seperti mesin gas emission analyzer, dan alat uji lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hasibuan.Harry Christian dan Farel H. Napitupulu, Analisa Pemakaian Bahan dengan Melakukan Pengujian Nilai Kalor Terhadap Performansi Ketel Uap Tipe Pipa Air dengan Kapasitas Uap 60 T/jam, jurnal e-Dinamis volume 4 No. 4 Maret 2013
- [2] Syamsir.A Muin, 1998, Pesawat-pesawat Konversi Energi Ed. 1, Jakarta : Rajawali
- [3] Hazwi. Mulfi dan Grata Patisarana, Optimalisasi Efisiensi Termis Boiler Menggunakan Serabut dan Cangkang Sawit sebagai Bahan Bakar, Jurnal Dinamis volume I No.11 Juni 2012
- [4] Buku panduan praktek Bom Kalori meter laboratorium prestasi mesin FT USU
- [5] Napitupulu.Farel H, Pengaruh Nilai Kalor (*Heating Value*) Suatu Bahan Bakar Terhadap Perencanaan Nilai Kalor Bahan Bakar yang Digunakan, jurnal Sistem Teknik Industri volume 7, No. 1 Januari 2006