

---

## Unburnt Analysis Terhadap Proses Pembakaran Ketel Uap Jenis *Water Tube Boiler* Kapasitas 15 TPH Berbahan Bakar Serat dan Cangkang Kelapa Sawit

Adi setiawan<sup>1\*</sup>, Muhammad Yusuf<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Universitas Malikussaleh, Jalan Batam, Kampus Bukit Indah, Lhokseumawe, 24352, Indonesia

\*Corresponding Author : [adis@unimal.ac.id](mailto:adis@unimal.ac.id) , +62 116701699

---

### Abstrak

Ketel uap merupakan salah satu komponen utama dalam sistem pembangkit daya. Proses pembakaran pada ketel uap berlangsung secara kontinyu di dalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dengan bantuan blower. Pada *Boiler* di pabrik kelapa sawit, bahan bakar yang umumnya digunakan adalah serat dan cangkang kelapa sawit. Energi panas yang dihasilkan pada pembakaran bahan bakar digunakan untuk memanaskan fluida. Energi panas dari fluida tersebut selanjutnya digunakan untuk berbagai macam keperluan, seperti untuk turbin uap, pemanas ruangan, mesin uap, dan lain sebagainya. Proses pembakaran pada *water tube boiler* di pabrik kelapa sawit menghasilkan abu sisa pembakaran yang dikeluarkan melalui beberapa bagian. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kadar bahan bakar yang tidak terbakar (*unburnt fuel*) pada ketel uap jenis *water tube boiler* berkapasitas 15 T/H. Penelitian ini dilakukan dengan menguji kadar air dan kadar abu dari abu sisa pembakaran pada *boiler*. Pengambilan sampel abu sisa pembakaran *boiler* dilakukan pada tiga titik yaitu: (i) ruang bakar *boiler*, (ii) hopper lower drum dan (iii) dust collector. Pengambilan sampel dilakukan saat *boiler* beroperasi pada tekanan kerja maksimum yakni pada tekanan 20 bar. Pengujian kadar air dilakukan dengan menggunakan alat *Moisture Analyzer*. Sampel sebesar 5 gr akan dipanaskan sampai temperatur tertentu sehingga kelembaban menjadi hilang ketika proses pemanasan berlangsung. Proses pengujian kadar abu menggunakan *furnace* jenis *Chamber Furnace* tipe *Carbolite Gero* dengan temperatur pengujian 800° C dengan waktu tinggal selama 10 menit. Setelah dilakukan analisa, diperoleh persentase bahan bakar yang tidak terbakar (*Unburnt Fuel*) selama proses pembakaran yang terdapat di ruang bakar boiler adalah 8,09%, pada *Hopper Lower Drum* 3,6%, dan pada *Dust Collector* 3,76%.

**Kata Kunci** : *Boiler, combustion, Unburnt fuel, water tube boiler.*

---

## 1 PENDAHULUAN

Pembakaran merupakan rangkaian suatu reaksi kimia yang terjadi antara zat pengoksidasi yang berupa oksigen dan bahan bakar, dimana dalam proses pembakaran tersebut menghasilkan energi berupa panas dan perubahan senyawa kimia [1]. Pelepasan energi panas tersebut menimbulkan cahaya dalam bentuk api. Reaksi pembakaran terjadi ketika suatu zat mampu bereaksi cepat dengan oksidator dan mendapatkan suhu yang cukup untuk memulai awal proses pembakaran atau yang disebut dengan energi

aktivasi [2]. Proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar ketel uap (*boiler*) bertujuan untuk merubah fasa air menjadi fasa uap [3].

Proses pembakaran pada ketel uap (*boiler*) dilakukan secara kontinyu di dalam ruang bakar dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar [4]. Uap yang dihasilkan adalah uap *superheat* dengan tekanan dan temperatur yang tinggi. Pada ketel uap, energi panas yang dihasilkan pada pembakaran bahan bakar digunakan untuk memanaskan fluida [5]. Energi panas dari fluida tersebut selanjutnya digunakan untuk berbagai macam keperluan, seperti untuk turbin

uap, pemanas ruangan, mesin uap, dan lain sebagainya [6]. Prinsip kerja ketel uap pada dasarnya adalah proses perubahan air menjadi uap yang terjadi dengan memanaskan air yang berada di dalam pipa-pipa yang memanfaatkan panas dari hasil pembakaran bahan bakar.

Pada *boiler* di pabrik kelapa sawit, bahan bakar yang digunakan adalah serat dan cangkang kelapa sawit. Serat adalah bahan bakar padat yang berbentuk seperti rambut, berwarna coklat muda setelah mengalami proses perebusan. Serat terdapat di bagian kedua dari buah kelapa sawit setelah kulit buah kelapa sawit. Cangkang adalah sejenis bahan bakar padat yang berwarna hitam berbentuk seperti batok kelapa dan agak bulat, terdapat pada bagian dalam pada buah kelapa sawit yang diselubungi oleh serabut [7]. Pada bahan bakar cangkang ini terdapat berbagai unsur kimia antara lain, Carbon (C), Hidrogen (H<sub>2</sub>), Nitrogen (N<sub>2</sub>), Oksigen (O<sub>2</sub>) dan Abu [8].

Bahan bakar yang diperlukan dalam operasional *boiler* harus memiliki kualitas uap yang sesuai dengan yang diinginkan sehingga dibutuhkan sejumlah panas untuk menguapkan air tersebut, dimana panas tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar boiler. Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna di dalam *boiler*, maka diperlukan beberapa syarat yaitu, perbandingan pemakaian bahan bakar harus sesuai (cangkang dan *fiber*), udara yang dipakai harus mencukupi, waktu yang diperlukan untuk proses pembakaran harus cukup, panas yang cukup untuk memulai pembakaran, kerapatan yang cukup untuk merambatkan nyala api [9]. Proses pembakaran pada ketel uap jenis *water tube boiler* menghasilkan abu sisa pembakaran yang terletak pada beberapa bagian diantaranya pada bagian ruang bakar boiler, pada bagian bawah *Hopper Lower Drum* dan pada bagian *Dust Collector* serta abu halus pada cerbong asap yang ikut terbawa dengan asap pembakaran boiler [10]. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kadar bahan bakar yang tidak terbakar pada ketel uap jenis *water tube boiler* berkapasitas 15 T/H.

## 2 METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan menguji kadar air dan kadar abu dari abu sisa pembakaran pada boiler. Pada proses pelaksanaannya, penelitian ini dimulai dengan pengambilan sampel pengujian, persiapan sampel dan alat pengujian, setelah data hasil pengujian didapatkan maka akan dilakukan analisa data untuk penarikan kesimpulan. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah abu sisa

pembakaran boiler yang terdapat pada ruang bakar boiler, pada bagian bawah *Hopper Lower Drum* dan *Dust Collector*. Pengambilan sampel abu sisa pembakaran boiler dilakukan di PT. X yang merupakan salah satu pabrik pengolahan minyak kelapa sawit di Kabupaten Aceh Tamiang. Pengambilan sampel dilakukan saat boiler beroperasi pada tekanan kerja maksimum yaitu pada tekanan 20 bar.

### 2.1 Pengujian kadar air

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar air yang terdapat pada abu sisa pembakaran boiler. Pengujian kadar air dilakukan dengan menggunakan Moisture Analyzer. Sampel sebanyak 5 gr dipanaskan sampai temperatur tertentu sehingga kelembaban menjadi hilang ketika proses pemanasan berlangsung. Proses akan berakhir ketika massa sampel tidak berkurang lagi. Kadar air dapat dihitung dengan standar ASTM D-3173 dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{w_o - w}{w_{so}} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana :

$w_o$  = Berat sampel + cawan sebelum dioven (gr)

$w$  = Berat sampel + cawan setelah dioven (gr)

$w_{so}$  = Berat cawan awal (gr)

### 2.2 Pengujian Kadar Abu

Pengujian kadar abu pada boiler bertujuan untuk mengetahui persentase bahan bakar yang belum terbakar selama proses boiler beroperasi. Proses pengujiannya diawali dengan persiapan sampel dan alat pengujian. Sampel ditimbang sebelum dimasukkan ke dalam furnace. Furnace yang digunakan adalah jenis *Chamber Furnace* tipe *Carbolite Gero* dengan temperatur pengujian 800° C dengan waktu tinggal selama 10 menit. Prosedur perhitungan kadar abu pada pengujian ini menggunakan standar ASTM D-3174 dengan rumus :

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{w_o}{w_{so}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana :

$w_o$  = Berat sampel setelah pengabuan (gr)

$w_{so}$  = Berat sampel sebelum pengabuan (gr)

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian kadar air dan kadar abu yang terdapat pada abu sisa pembakaran di boiler, diperoleh data hasil pengujian sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Data hasil pengujian kadar air pada abu sisa pembakaran boiler

Sampel	Kondisi Awal			Kadar Air (%)
	Suhu (°C)	Berat (gr)	Waktu (menit)	
Ruang bakar	200	5	4,6	1,04
Hopper lower drum	201	5	1,5	7,26

Dust collector	202	5	2,8	6,90
----------------	-----	---	-----	------

Pengujian kadar air yang terdapat pada abu sisa pembakaran boiler menggunakan sampel dari 3 titik yang berbeda pada boiler. Sampel tersebut diantaranya berasal dari abu pada ruang bakar boiler, *Hopper Lower Drum* dan *Dust Collector*. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh hasil kadar air yang berbeda. Kadar air pada sampel yang berasal dari bagian bawah *Hopper Lower Drum* lebih tinggi dibandingkan dengan sampel abu dari bagian yang lain. Hal ini disebabkan oleh letak penampungan abu hasil pembakaran pada bagian ini berkontak langsung dengan udara lingkungan. Kelembaban udara lah yang mendorong kadar air pada abu sisa pembakaran yang berada pada bagian *Hopper Lower Drum* sedikit lebih tinggi dari sampel yang lain.

Tabel 3. 2 Data Hasil Pengujian Furnace

Sampel	Kondisi Awal			Kondisi Akhir			Kehilangan Berat (gr)
	BC (gr)	BS (gr)	BC+BS (gr)	BC (gr)	BS (gr)	BC+BS (gr)	
A	103,07	91,16	194,23	103,7	80,03	183,1	11,13
B	95,85	126,55	222,4	95,85	122,11	217,96	4,44
C	97,9	132,97	230,87	97,9	119,13	217,03	13,84

Keterangan : Sampel A merupakan abu yang berasal dari bagian ruang bakar pada boiler, sampel B dari *Hopper Lower Drum* dan sampel C dari *Dust Collector*. BC = Berat Cawan, BS = Berat Sampel.

Pengujian kadar abu yang terdapat pada abu sisa pembakaran boiler menggunakan sampel dari 3 titik yang berbeda. Sampel tersebut diantaranya berasal dari abu pada ruang bakar boiler, *Hopper Lower Drum* dan *Dust Collector*. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, Kehilangan berat sampel tertinggi terletak pada sampe yang berasal dari *Dust Collector* dan kehilangan berat paling sedikit pada sampel yang berasal dari *Hopper Lower Drum*. Perbedaan kehilangan berat ini disebabkan oleh perbedaan pemanasan yang terdapat pada tempat pengambilan sampel tersebut. Sampel abu sisa pemakaran pada bagian *Dust Collector* merupakan abu yang melalui proses pembakaran yang belum seutuhnya menjadi abu dan masih ada bahan bakar yang belum terbakar sempurna ikut tercampur dengan abu. Sehingga pada

proses pengujian kadar abu, saat pemanasan sampel abu dilakukan didalam *furnace* terjadi kehilangan berat yang lebih tinggi dibandingkan dengan abu yang berasal dari *bawah hopper lower drum*.

### 4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil *Unburnt Analysis* yang terdiri dari pengujian kadar air dan kadar abu yang terdapat pada abu sisa pembakaran boiler dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian kadar abu menunjukkan perbedaan yang signifikan antara sampel abu pada ruang bakar boiler (12,20%) dan *Hopper Lower Drum* (3,50%). Hal ini disebabkan oleh

keadaan pemanasan di dalam sistem pembakaran boiler, dimana setelah bahan bakar terbakar di ruang bakar akan terjadi pembakaran lanjut yang berasal dari induksi panas pipa air di *combustion chamber* pada bagian atas hopper lower drum sehingga bahan bakar yang melewati ruang ini akan sepenuhnya terbakar dan menjadi abu.

2. Setelah dilakukan analisa, maka diperoleh persentase bahan bakar yang tidak terbakar (*Unburnt Fuel*) selama proses pembakaran yang terdapat di ruang bakar boiler adalah 8,09%, pada *Hopper Lower Drum* 3.6%, dan pada *Dust Collector* 3,76%.
3. Semakin tinggi kadar abu pada abu sisa pembakaran boiler maka semakin banyak bahan bakar yang belum terbakar pada proses operasional boiler. Hal ini akan berdampak signifikan terhadap efisiensi penggunaan bahan bakar.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Hidayanto, "ANALISIS PERFORMA WATER TUBE BOILER KAPASITAS 115 TON/JAM DI PT. PERTAMINA REFINERY UNIT VI BALONGAN-INDRAMAYU." Universitas Negeri Semarang, 2016.
- [2] S. Hidayanto, "Analisa Performa Water Tube Boiler Kapasitas 115 Ton/Jam di PT Pertamina Refinery Unit VI Balongan Indramayu," *Skripsi. Semarang : UNNES*, 2016.
- [3] H. C. Hasibuan and F. H. Napitupulu, "Analisa Pemakaian Bahan Bakar Dengan Melakukan Pengujian Nilai Kalor Terhadap Performansi Ketel Uap Tipe Pipa Air Dengan Kapasitas Uap 60 Ton/Jam," *e-Dinamis*, vol. 4, no. 4, 2013.
- [4] Junaudi, "Analisa unjuk kerja boiler tipe pipa air melalui gas buang," no. November 2011, 2018.
- [5] S. A. Muin, "Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)," *Rajawali pers Jakarta*, 1988.
- [6] F. H. Napitupulu, "Pengaruh nilai kalor (heating value) suatu bahan bakar terhadap perencanaan volume ruang bakar ketel uap berdasarkan metode penentuan nilai kalor bahan bakar yang dipergunakan," *J. Sist. Tek. Ind.*, vol. 7, no. 1, pp. 60–65, 2006.
- [7] L. B. Hartanto, M. Sibarani, and J. V. Tuapetel, "Analisa Teknis Dan Biaya Penggunaan Bahan Bakar Cangkang Kelapa Sawit Dan Batu Bara Pada Boiler DZL4 Di PT. Lautan Luas Tbk.," *J. Tek. Mesin ITI*, vol. 4, no. 1, p. 17, 2020, doi: 10.31543/jtm.v4i1.301.
- [8] A. Pudjanarsa, "Mesin konversi energi," 2018.
- [9] K. KUNARTO, "ANALISA EFISIEN BOILER PABRIK KELAPA SAWIT DENGAN MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR FIBRE DAN CANGKANG," *Penelit. MANDIRI Univ. BANDAR LAMPUNG*, 2018.
- [10] H. Hendaryati, "Analisis Efisiensi Termal Pada Ketel Uap Di Pabrik Gula Kebonagung Malang," *J. Gamma*, vol. 8, no. 1, 2012.