

# ANALISIS SISTEM TERMAL DITINJAU DARI PENGARUH RASIO UDARA BAHAN BAKAR SOLAR TERHADAP PRODUKSI SATURATED DAN SUPERHEATED STEAM PADA BOILER

## THE ANALYSIS OF THERMAL SYSTEM BASED ON THE INFLUENCE OF DIESEL AIR RATIO ON SATURATED AND SIPERHEATED STEAM PRODUCTION OF BOILER

Tahdid\*<sup>1</sup>, Fatria<sup>1</sup>, Erlinawati<sup>1</sup>, K.A. Ridwan<sup>1</sup>, Salisa Fikamalati<sup>1</sup>, Zenia Zal Putri<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (Teknik Energi / Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya)

Jl Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139, +62711353414 / +62711355918

E-mail : <sup>1</sup>[tahdid\\_caisar@yahoo.com](mailto:tahdid_caisar@yahoo.com), <sup>2</sup>[salisafikamat@gmail.com](mailto:salisafikamat@gmail.com)

### ABSTRACT

*Boiler is a closed vessel used to produce steam. Steam is obtained from heating, whose source comes from the combustion of fuel in furnace. A Cross Section Double Drum Water Tube has two drums (double drum) which are placed crosswise to the heat source and tube is installed in the opposite direction to the drum, then positioned at 65o slope to reduce the force of gravity and to accelerate the evaporation process of water molecules. The fuel used in this research used diesel fuel with air to fuel ratio as a changing (dependent) variable, while 15 liters of fuel and 75 kg of boiler feed water were fixed (independent) variables. The air to fuel ratio used ranged from excess 6% to excess 22%. The calculation results showed that the furnace efficiency saturated and superheated in water tube boiler cross section tool was 69.74% and 69.25% at air to fuel ratio of excess 18% with the saturated and superheated steam pressure had reached the optimum pressure of 5 bar and the convection heat loss was obtained from furnace surface as much as 8.12% and 7.01%.*

*Key words: Cross Section Double Drum Water Tube Boiler, Furnace, Fuel, Tube, Saturated, Superheated, Steam, Heat Loss.*

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu teknologi saat ini dapat mendukung perkembangan alat-alat produksi pada industri. Dalam dunia industri, perkembangan teknologi proses menuntut efisiensi dalam hal produksi dengan kualitas produk yang baik. Salah satu sistem peralatan yang berperan penting dalam penyempurnaan proses produksi di industri manufaktur adalah *boiler* atau ketel uap.

*Boiler* adalah alat yang berfungsi memanaskan air untuk menjadi uap bertekanan dan bertemperatur tinggi, dengan menggunakan panas dari hasil pembakaran bahan bakar pada ruang bakar (Yuliyani dan Maridjo 2019).

Pembakaran sempurna adalah pembakaran dengan proporsi yang sesuai antara bahan bakar dengan oksigen. Pada pembakaran yang lebih banyak oksigen dari pada bahan bakar, campuran tersebut dinamakan sebagai campuran kaya. begitu juga sebaliknya, apabila bahan bakar yang digunakan lebih banyak dari pada oksigen, maka campurannya disebut campuran miskin. Nilai dari x dan y di atas bergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan. Nilai x adalah fraksi massa

untuk kandungan Carbon, dan y fraksi massa untuk kandungan Hidrogen dalam bahan bakar (Siregar, 2017).

Proses yang terjadi pada *boiler* cukup kompleks, sehingga komponen penting pada *boiler* adalah *burner*, ruang bakar, dan penukar panas. Dimana pencampuran antara bahan bakar dan udara di ruang bakar dengan komposisi yang tepat akan menghasilkan pembakaran yang sempurna. Panas yang dihasilkan ditransfer ke air melalui penukar panas. Uap pada tekanan tertentu digunakan untuk proses produksi dari air menjadi uap. Dalam proses produksi dapat terjadi kehilangan panas seperti kehilangan panas berupa udara berlebih dan temperatur yang tinggi pada gas buang dicerobong (Putri dkk, 2017). Untuk mengoptimalkan pengoperasian *boiler*, maka sangat penting melakukan identifikasi sumber-sumber kehilangan panas seperti kehilangan panas konveksi, radiasi dan penguapan air yang terbentuk karena H<sub>2</sub> dalam bahan bakar (Nugroho, 2015).

Pada penelitian kali ini akan dirancang boiler menggunakan dua drum (*Double drum*) yang terdiri dari *water tube* dan *steam drum* dengan sistem *Cross Section*. Pada *Cross Section Water Tube Boiler* dengan

dua drum (*double drum*) ditempatkan secara menyilang ke sumber panas dan menggunakan kemiringan pada tube sebesar 65° yang bertujuan untuk mempercepat penguapan pada molekul air. Sehingga perpindahan panas dari *water tube* ke *steam drum* dapat merata ke seluruh bagian *steam drum* dan dapat meningkatkan jumlah *steam* yang dihasilkan, serta dapat meningkatkan performa kinerja pada *boiler*.

Untuk meningkatkan pemanfaatan energi secara lebih efisien dan menekan peningkatan biaya produksi terhadap konsumsi bahan bakar maka kajian mengenai peningkatan performansi di *boiler* merupakan aspek penting karena berkontribusi terhadap efisiensinya (Morimoto, 2003).

### Boiler Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

Pada boiler pipa air, air umpan mengalir melalui bagian dalam pipa yang selanjutnya masuk ke dalam drum. Boiler ini dipilih jika kebutuhan *steam* dan tekanan steam sangat tinggi. Karakteristik pada jenis ini ialah dapat menghasilkan *steam* dengan jumlah yang relatif banyak. Boiler pipa air umumnya terdiri dari beberapa drum dengan eksternal *tubes*. *Tubes* terhubung langsung dengan *drum* dengan cara diroll juga diperkuat dengan las atau *seal welded*.

Prinsip kerjanya yaitu proses pengapian terjadi di luar pipa, kemudian panas yang dihasilkan memanaskan pipa berisi air. *Steam* yang dihasilkan terlebih dahulu dikumpulkan di dalam sebuah *steam drum*. Sampai tekanan dan temperatur sesuai, *saturated steam* dipanaskan lagi oleh *superheater* untuk menghasilkan *superheated steam* hingga mengalir ke outlet sistem sebagai *superheated steam* melalui pipa distribusi. Bahan bakar yang banyak digunakan pada boiler jenis ini adalah minyak solar dan gas (Muzaki & Mursadin, 2019).

### Saturated Steam dan Superheated Steam

*Saturated steam* (uap saturasi) adalah sebuah kondisi dimana uap air berada pada ekuilibrium tekanan dan temperatur yang sama dengan air fase cair (liquid). Uap saturasi menjadi fase transisi antara air fase cair dengan air fase gas murni, atau yang biasa kita kenal dengan uap panas lanjut (*superheated steam*). Pada saat air berada dalam fase transisi ini, terjadi pencampuran antara air fase cair (kita kenal dengan istilah *saturated water*) dengan air fase gas (kita kenal dengan istilah *saturated steam*) dalam proporsi yang sesuai dengan jumlah panas laten yang diserap fluida.

Uap saturasi ini mulai terbentuk tepat pada saat air mencapai titik didihnya (titik *saturated water*), hingga semua energi dari panas laten diserap oleh air. Di saat seluruh panas laten telah diserap oleh air, dan jumlah fase uap sudah mencapai hampir 100% dibandingkan dengan fase cairnya, maka itulah batas akhir dari fase uap saturasi. Proses mencapai hampir 100% fase uap tersebut terjadi pada satu besaran tekanan dan temperatur konstan. Selanjutnya jika energi panas terus diberikan kepada uap saturasi, maka akan terjadi kenaikan temperatur fluida dan mendorong

uap untuk berubah fase menjadi uap panas lanjut (*superheat*).

## 2. METODE PENELITIAN

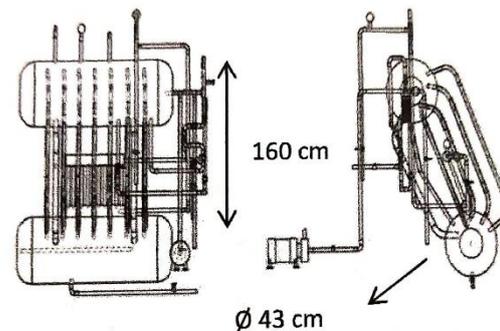
Penelitian ini diawali dengan studi literatur, perakitan dan uji coba alat, running alat dan pengumpulan data, pengolahan data, analisa dan pembahasan.

### Pendekatan Desain Fungsional

Rancang bangun *Cross Section Water Tube Boiler* terdiri dari delapan unit utama yaitu *steam drum*, *water drum*, *water tube*, *burner*, ruang bakar, *superheater*, pompa dan kompresor. Sistem tersebut dilengkapi dengan instrumen pendukung yaitu *pressure indicator*, *temperature indicator*, *valve*, *pressure safety valve*, *water level gauge* dan *drain valve* dengan fungsi masing-masing.

### Pendekatan Desain Struktural

*Cross Section Water Tube Boiler* dirancang dengan beberapa unit yang tergabung menjadi suatu sistem terintegrasi. Unit yang paling utama adalah dua buah *drum* (*steam drum* dan *water drum*) yang terhubung dengan *water tube* dan *superheater* sebagai tempat terjadinya proses pemanasan air dan uap air. Secara rinci konstruksi sistem boiler dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 1. Diagram alir *Cross Section Water Tube Boiler*

### Rasio Udara Bahan Bakar

Rasio udara bahan bakar didapatkan dari perhitungan dengan acuan udara *excess* 5-22%, setelah didapatkan nilai dari massa udara dan massa bahan bakar solar maka di lanjutkan dengan mencari rasio udara bahan bakar dengan rumus :

$$AFR = \frac{M_{udara}}{M_{bahan\ bakar}}$$

(sumber: Hougen, 1998)

### Perhitungan Pada Boiler Furnace

Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan perpindahan panas serta reaksi kimia yang berlangsung di dalam system. Efisiensi

*Furnace* dan *Heat Loss* dapat dievaluasi dengan menggunakan rumus:

Efisiensi *Furnace*

$$\text{Efisiensi Furnace} = \frac{Q_{\text{Konveksi}}}{Q_{\text{bahan bakar}}}$$

(sumber: Hougén, 1998)

*Heat Loss* Konveksi Permukaan *Furnace*

Untuk menentukan *heat loss* konveksi permukaan *furnace* dapat dihitung dengan:

$$h = 1,42 \left( \frac{\Delta T}{L} \right)^{1/4}$$

$$Q = h \times A \times \Delta T$$

(sumber: Holman J.P, 1986)

### Bahan Bakar dan Variabel Lainnya

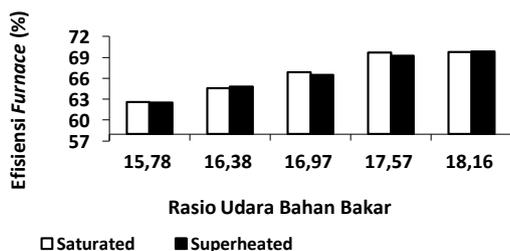
Bahan bakar yang digunakan yaitu Solar sebanyak 15 liter dengan jumlah air umpam *boiler* sebanyak 75 liter. Sehingga, variabel yang harus diamati yaitu Temperatur Steam dan Tekanan Steam.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian kali ini dirancang *boiler* jenis pipa air dengan menggunakan sistem *Double Drum Cross Section Water Tube Boiler* yang artinya menggunakan dua *drum* (*double drum*) ditempatkan secara menyilang ke sumber panas dan menggunakan kemiringan pada *tube* sebesar 65° yang bertujuan untuk memperluas area *tube* sehingga luas area perpindahan panas pada *boiler* menjadi lebih besar. Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini bahan bakar cair yaitu solar. Untuk mendapatkan proses pembakaran sempurna, maka diperlukan udara pembakaran. Berikut grafik hubungan antara rasio udara bahan bakar terhadap efisiensi *furnace* dan *heat loss konveksi furnace saturated* dan *superheated*.

### 3.1 Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Solar Terhadap Efisiensi *Furnace* Pada *Cross Section Water Tube Boiler*

Berikut merupakan grafik hubungan antara pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap efisiensi *furnace* yang terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Grafik Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Efisiensi *Furnace* Pada Proses *Saturated* dan *Superheated Steam*

Dari Gambar 2 diketahui bahwa nilai efisiensi *furnace* terus meningkat dari rasio udara bahan bakar dengan range 15,78 hingga 18,16. Kondisi ini terjadi karena kebutuhan udara terbilang baik untuk proses pembakaran. Penambahan jumlah udara hingga rasio udara bahan bakar 17,57, mengakibatkan kenaikan jumlah panas yang diterima fluida steam sehingga meningkatkan jumlah kalor yang terserap. Kenaikan jumlah panas tersebut diakibatkan oleh meningkatnya kerapatan massa jenis udara yang secara langsung terjadi pemanasan udara sebelum masuk ke ruang bakar sehingga kapasitas efektif dari *burner* akan meningkat. Keadaan ini memberikan efek yang baik terhadap molekul-molekul bahan bakar ketika bertemu dengan jumlah udara yang kerapatannya sudah meningkat (Putri dkk, (2017)

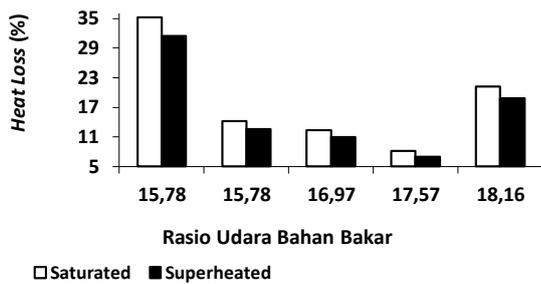
Namun, pada rasio udara bahan bakar 18,16 kenaikan efisiensi *furnace* tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan temperatur steam yang dihasilkan hanya naik 1°C dari rasio udara bahan bakar 17,57. Sehingga kenaikan kalor termanfaatkan hanya sedikit dan menyebabkan kenaikan efisiensi *furnace*nya kecil.

Berdasarkan hasil yang didapatkan, dapat disimpulkan bahwa efisiensi *furnace* optimal terdapat pada rasio udara bahan bakar 17,57 sebesar 69,74% *saturated steam* dan 69,25% *superheated steam* dengan tekanan 5 bar dan temperatur 151°C *saturated steam* dan 229°C *superheated steam*. Dikatakan efisiensi *furnace* tersebut optimal karena rasio udara bahan optimal untuk pembakaran solar pada pembentukan *steam* menggunakan *cross section water tube boiler* ini adalah 17,57.

Rasio antara jumlah udara dan bahan bakar yang digunakan merupakan faktor yang sangat mempengaruhi pada proses pembakaran di *furnace*. Jumlah aliran udara dan suplai bahan bakar harus selalu dikontrol agar efisiensi yang diinginkan bisa tercapai. Terlalu banyak atau terlalu sedikit bahan bakar pada jumlah udara pembakaran tertentu dapat mengakibatkan penurunan efisiensi *boiler* serta menaikkan persen kehilangan panas di aluran flue gas (Lestari,H.M, 2014).

### 3.2 Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Solar Terhadap *Heat Loss* Pada *Cross Section Water Tube Boiler*

*Heat Loss* atau kehilangan panas berbanding terbalik dengan rasio udara bahan bakar. Jika rasio udara bahan bakar naik maka *heat loss* akan mengalami penurunan. Grafik hubungan antara pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap *heat loss* yang terlihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap *Heat Loss Konveksi Furnace Saturated dan Superheated Steam*

Dari Gambar 3 diketahui bahwa nilai *heat loss cross section water tube boiler* semakin menurun dari rasio udara bahan bakar 15,78 hingga rasio udara bahan bakar 17,57. *Heat Loss* yang paling optimal pada rasio udara bahan bakar *cross section water tube boiler* yaitu 17,57 sebesar 8,12% *saturated steam* dan 7,01% *superheated steam*. Ini juga berhubungan dengan efisiensi *furnace* yang dihasilkan karena semakin tinggi efisiensi *furnace* maka *heat loss* yang dihasilkan akan semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan perbandingan antara jumlah udara dan bahan bakar yang digunakan merupakan faktor yang

sangat mempengaruhi pada proses pembakaran di *furnace*. Jumlah aliran udara dan suplai bahan bakar harus selalu dikontrol agar efisiensi yang diinginkan bisa tercapai. Terlalu banyak, atau sedikit nya bahan bakar pada jumlah udara pembakaran tertentu, dapat mengakibatkan penurunan efisiensi *boiler* serta menaikkan persen kehilangan panas. Jumlah  $O_2$  tertentu diperlukan untuk pembakaran yang sempurna dengan tambahan sejumlah udara (udara berlebih) diperlukan untuk menjamin pembakaran yang sempurna. Terlalu banyak udara berlebih akan mengakibatkan kehilangan panas dan efisiensi (Aswan dkk, 2017).

Namun pada rasio udara bahan bakar 18,16 terjadi kenaikan yang sangat signifikan sebesar 21,19% *saturated steam* dan 18,84% *superheated steam*. Penurunan *heat loss* disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya kurang optimalnya rasio udara bahan bakar pada proses pembakaran sehingga proses pembakaran tidak sempurna, terjadinya kerek pada permukaan perpindahan panas yang dapat mengakibatkan laju perpindahan panas akan menurun dan juga akan berpengaruh pada tingginya nilai temperatur gas buang yang mempengaruhi besarnya kerugian-kerugian panas lainnya pada *boiler* (Utami dkk., 2016).

### 3.3 Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Solar Terhadap *Heat Loss* Pada *Cross Section Water Tube Boiler*

Penelitian tentang pembuatan boiler telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, sehingga dapat dibuat tabel perbandingan hasil penelitian sebagai berikut:

**Tabel 1.** Hasil penelitian *boiler* yang digunakan

Rasio Udara/ Bahan Bakar	Bahan Bakar	Hasil <i>Steam</i>	Temperatur (°C)	Tekanan (bar)	Efisiensi <i>Furnace</i> (%)	<i>Heat Loss</i> (%)	Penelitian
15,48	Solar	<i>Superheated</i>	250	10	TD	8,15	Aswan dkk., 2017
TD	Cangkang, Sawit dan Kulit Kayu	TD	175	8,9	79,32	TD	Muzaki dkk, 2019
TD	Solar dan LPG	TD	170	TD	70	5,6	Utami dkk, 2016
17,57	Solar	<i>Saturated</i>	151	5	69,74	8,12	Penelitian saat ini
17,57	Solar	<i>Superheated</i>	229	5	69,25	7,01	Penelitian saat in

Ket TD = Tidak Diuji

Pada Tabel 2 dapat diketahui perbandingan beberapa parameter dari penelitian lain. Data tersebut merupakan nilai optimal yang didapatkan pada setiap penelitian. Aswan (2017) melakukan penelitian Analisis Energi pada *Water Tube Boiler* Dengan Bahan Bakar Solar. Pada penelitiannya kondisi optimal pada rasio udara bahan bakar 15,48 dengan *heat loss* 8,15% pada temperature 250°C dan tekanan 10 bar. Sementara itu, Utami (2016) melakukan penelitian Analisis *Heat Loss* Pada Unit *Boiler Furnace* dan *Superheater*

*Prototype Steam Power Plant*. Penelitian tersebut menghasilkan Efisiensi *Furnace* 70% dan *Heat Loss* 5,6 % dengan temperature 170°C. Dari beberapa penelitian tersebut dapat diketahui bahwa pada boiler pipa air dengan berbagai macam bahan bakar mempunyai keadaan yang variatif untuk menghasilkan Efisiensi *Furnace* dan *Heat Loss* pada *boiler* yang maksimal.

#### 4. SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hubungan antara suhu jenuh dan tekanan dikenal sebagai kurva steam jenuh. Air dan *steam* dapat berada secara bersamaan pada berbagai tekanan dalam kurva ini, keduanya akan berada pada suhu jenuh. *Steam* pada kondisi diatas kurva jenuh dikenal dengan *superheated steam* (steam lewat jenuh), sedangkan air yang berada pada kondisi dibawah kurva disebut air sub-jenuh atau *saturated steam*.
2. Kondisi operasi optimum pada proses *cross section water tube boiler* yang menghasilkan efisiensi *furnace* sebesar 69,74% dan *heat loss* 8,12% pada kondisi *saturated* serta efisiensi *furnace* 69,25% dan *heat loss* 7,01% pada kondisi *superheated*.
3. Semakin optimal jumlah udara dan bahan bakar yang digunakan semakin tinggi pula temperatur pada proses pembakaran di ruang bakar *cross section water tube boiler*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aswan Arizal., Endang Susilowati., Juriwon. 2017. *Analisis Energi Boiler Pipa Air Menggunakan Bahan Bakar Solar*. Jurnal Kinetika. Vol.8, No.2. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Holman, J. P. 1986. *Heat Transfer*. New York: Mc.Graw-Hill, Inc.
- Lestari, H.M. (2014). *Temperatur Dalam Burning Zone Dan Efisiensi Termal Pada Steam Power Generation Pengaruh Rasio Udara Ratio Influence On Fuel Air Flame Temperature On Burning Zone*. Skripsi UNNES.
- Hougen, O.A., Kenneth M. Watson, and R. A. R. (1998). *Chemical Process Principles* (I. John Wiley & Sons, Ed.). New York.
- Morimoto. 2003. *Energy Consevation in the Textile Industry*. ECCJ. Japan.
- Muzaki, I., dan Mursadin, A. (2019). *Analisis Efisiensi Boiler Dengan Metode Input – Outup Di PT . Japfa Comfeed Indonesia Tbk . Unit Banjarmasin*. 4(1), 37–46.
- Nugroho, A. (2015). *Analisa Kehilangan Energi Pada Fire Tube Boiler Kapasitas 10 Ton*. Jurnal Teknik Mesin, Vol. 04, No.2
- Putri, Mega., Tahdid., dan Arizal Aswan. 2017. *Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Flame Temperatur Dalam Burning Zone Dan Efisiensi Thermal Pada Steam Power Generation*. Skripsi. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Siregar, M. A. A. 2017. *Analisa Pembakaran Pada Ruang Bakar Boiler Untuk Kebutuhan 30 Ton/Jam Tekanan 20 Bar Dengan Bahan Bakar Cangkang Dan Fiber*. Skripsi. Medan: Universitas Medan Area.
- Utami, Ayu Difa., Zurohaina, Aswan, A. 2016. *Analisis Heat Loss Pada Unit Boiler Furnace Dan Superheater Prototype Steam Power Plant*. Jurnal Kinetika. Vol. 7, No.1. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Wahjudi, S. (2017). *Analisis Pencampuran Bahan Bakar Premium – Pertamina Terhadap Kinerja Mesin Konvensional*. Jurnal Teknik Mesin Vol 3, No. 2. Surabaya: Politeknik Negeri Malang.
- Yuliyani, I., dan Maridjo M. A. (2019). *Analisis Sistem Ruang Bakar Boiler Jenis Fluidized Bed Combustion untuk PLTU Kapasitas 8 MW*. 9(November), 1–8.