

## DESAIN DAN KINERJA WATER TUBE BOILER UNTUK KEBUTUHAN STEAM EVAPORATOR

Sutiani Kurapa<sup>1)</sup> A.Zulfikar Syaiful<sup>2)</sup>, Al-Gazali<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa

email:

[sutianikurapa09@gmail.com](mailto:sutianikurapa09@gmail.com)

### Abstrak

*Boiler merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan steam dalam berbagai keperluan. Boiler pipa air adalah boiler dimana air bersikulasi di dalam tabung yang dikelilingi oleh api dan gas panas di luar unit tabung. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan efisiensi desain boiler yang dapat menghasilkan steam maksimal serta menentukan kinerja (efisiensi) boiler. Boiler jenis water tube dengan kapasitas 15 liter, tinggi 43 cm, diameter 30 cm, bahan konstruksi plat baja karbon, menggunakan bahan bakar gas. Dilengkapi dengan sistem control otomatis untuk mengatur suhu dan tekanan. Fitur keselamatan meliputi katup Pelepas tekanan dan alat pemantau level air. Dari hasil perencanaan water tube boiler ini menghasilkan uap keluar temperature 100-130°C dan tekanan 7-56 psi dan efisiensi boiler sebesar 86,45%.*

**Kata Kunci:** boiler pipa air, desain boiler, kinerja boiler

### Abstract

*A boiler is equipment used to produce steam for various purposes. Water tube boilers are boilers where water circulates in tubes surrounded by fire and hot gases outside the tube unit. This research aims to determine the efficiency of a boiler design that can produce maximum steam and determine the performance (efficiency) of the boiler. Water tube type boiler with a capacity of 15 liters, height 43 cm, diameter 30 cm, carbon steel plate construction material, uses gas as fuel. Equipped with an automatic control system to regulate temperature and pressure. Safety features include a pressure relief valve and water level monitoring device. From the results of the water tube boiler planning, steam comes out with a temperature of 100-130°C and a pressure of 7-56 psi and a boiler efficiency of 86.45%.*

**Key Words:** water pipa boiler, boiler design, boiler performance

### 1. PENDAHULUAN

Di era globalisasi sekarang ini perkembangan teknologi sangat berperan penting dalam perkembangan kehidupan manusia saat ini. Teknologi berkembang sangat maju dan pesat seiring dengan kemajuan jaman. Masyarakat menuntut kemudahan dalam segala hal tak terkecuali dengan teknologi. Hasil produksi yang dibutuhkan masyarakat haruslah berkualitas tinggi, mudah didapatkan murah efisien dalam penggunaannya. Salah satunya adalah boiler atau sering disebut dengan ketel uap.

Ketel uap atau boiler adalah alat konversi energi yang mengubah air menjadi uap dengan cara pemanasan. Panas yang dibutuhkan air untuk penguapan tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada ruang bakar ketel uap. Boiler menghasilkan uap air yang memiliki tekanan tinggi. Jika terjadi kebocoran akan dapat melukai orang

orang disekitarnya. Oleh karena itu perlu adanya perancangan boiler yang sesuai. Jenis boiler yang dirancang yaitu water tube boiler.

Standar perancangan boiler yang digunakan disesuaikan dengan kebutuhan proses pemanasan sistem uap. Jadi rancang bangun boiler yang dibuat memiliki konstruksi yang aman untuk digunakan. Maka dari itu untuk membantu memenuhi kebutuhan, penulis merancang sebuah boiler dengan tipe water tube boiler.

### 2. TINJAUAN PUSTAKA

Boiler merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan steam (uap) dalam berbagai keperluan. Air di dalam boiler dipanaskan dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya) sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut

menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis yang lebih rendah dibanding dengan air yang lebih dingin, sehingga terjadi perubahan berat jenis air didalam boiler. Air yang memiliki berat jenis lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis yang lebih tinggi akan turun ke dasar (MF Syahputra,2010).

Tabung air ini merupakan boiler dimana air bersirkulasi di dalam tabung yang dikelilingi oleh api dan gas panas di luar unit tabung. Tergantung dari jenis boiler, struktur pipa yang dipasang pada boiler bisa lurus (Straight Tube) dan juga dapat berbentuk pengkolan (Bend Tube) tergantung dari jenis boilernya. Pipa lurus yang dipasang secara parallel di dalam boiler dihubungkan ke kolektor, setelah itu kolektor dihubungkan ke steamer, yang dipasang secara horizontal di atas pipa, lihat gambar (2.1). Susunan pipa antara kedua kolektor memiliki kemiringan tertentu (sekitar 15° dari garis lurus), yang dirancang untuk menciptakan sirkulasi air di dalam boiler. Contoh boiler dalam kategori ini antara lain Boiler Benson, Boiler Babcock dan Wilcox, Boiler Lamont, Boiler Yarrow, dan Boiler Loeffler.

Boiler adalah bejana tertutup di bawah tekanan yang memanaskan air menjadi uap bertekanan menggunakan panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar di ruang bakar. Uap di bawah tekanan tertentu kemudian digunakan untuk menghasilkan energi mekanik untuk proses tersebut. Air adalah sarana yang berguna dan murah untuk mentransfer panas ke proses.

Kinerja boiler sering dinyatakan dalam efisiensi boiler dan rasio penguapan biasanya akan menurun seiring dengan berjalannya waktu. Hal ini disebabkan oleh pembakaran dan kualitas bahan bakar yang buruk, munculnya slagging atau fouling yang menghambat perpindahan panas, kualitas air yang tidak sesuai, dan buruknya perawatan. Efisiensi boiler secara umum dipengaruhi oleh tiga komponen utama, yaitu efisiensi pembakaran, efisiensi termal, dan efisiensi bahan bakar menjadi uap air (fuel to steam). Pengujian efisiensi dilakukan untuk mendeteksi seberapa besar penyimpanan efisiensi boiler dari kondisi terbaik. Pengujian efisiensi dapat dilakukan menggunakan dua metode, yaitu metode langsung atau metode

input-output (metode keseimbangan energi), dan metode metode tidak langsung atau metode kerugian panas (heat loss). Berdasarkan metode kerugian panas ini, efisiensi boiler berbahan bakar ampas dominan dipengaruhi oleh kerugian panas pada gas buang (flue gas) dan tingkat kebasahan ampas tebu (Patel & Modi,2016).

Air dalam definisi ilmiah adalah senyawa hydrogen dan oksigen dengan rumus kimia H<sub>2</sub>O Air merupakan sumber daya alam yang diperlukan untuk hajat hidup orang banyak, bahkan oleh semua makhluk hidup. Oleh karena itu, sumber daya air harus dilindungi agar tetap dapat dimanfaatkan dengan baik oleh manusia serta makluk hidup yang lain. Berdasarkan sifat fisiknya terdapat dalam tiga macam bentuk air yaitu: air sebagai benda cair, air sebagai benda padat, dan air sebagai benda gas atau uap. Air berubah bentuk yang satu ke bentuk lainnya tergantung pada waktu dan tempat serta temperaturnya (Hutagol,2018).

### 3. METODE PENELITIAN

#### a. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Bosowa dan laboratorium penelitian ini dilakukan selama dua bulan.

#### b. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan: kunci pas, kunci inggris, gergaji besi, tang, grinder, alat las listrik, alat potong plat, palu, mut dan baut, thermometer, pressure gauge, safety valve, kran uap <sup>3</sup>/<sub>4</sub>, leptop, selotip.

Bahan yang digunakan: Plat baja, air dan sketchUp.

#### c. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian desain eksperimental.

#### d. Spesifikasi Alat

|                     |                     |
|---------------------|---------------------|
| Tipe boiler         | : Water tube boiler |
| Kapasitas           | : 15 liter          |
| Jenis hasil uap     | : Uap jenuh         |
| Temperature uap     | : 120°C             |
| Temperature steam   | : 30°C              |
| Bahan bakar         | : Gas LPG           |
| Tinggi tabung dalam | : 10 cm             |
| Tinggi tabung luar  | : 43 cm             |
| Tinggi pipa         | : 35 cm             |
| Diameter dalam      | : 26 cm             |
| Diameter luar       | : 30 cm             |
| Tinggi kaca penduga | : 20 cm             |

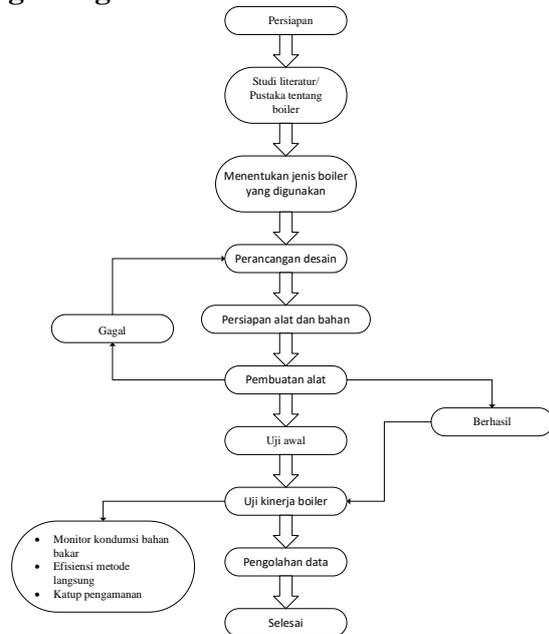
**e. Tahap perancangan**

- Mendesain boiler
- Disiapkan alat dan bahan
- Pemotongan selimut tabung
- Pengerolan selimut tabung
- Penitikan las selimut tabung
- Pemotongan tutup tabung atas dan bawah
- Pelubangan pipa pada tutup atas dan bawah
- Pemotongan pipa dan pemasangan pipa
- Pembuatan tutup tabung
- Membuat pipa kecil output dan input
- Pemasangan pipa kecil
- Melakukan uji coba pada boiler

**f. Tahap uji coba alat**

- Mengisi air ke dalam tabung boiler skala model menggunakan pompa
- Menghidupkan api pada ruang bakar
- Selama proses pembakaran maka kita harus memastikan api dalam keadaan hidup
- Setelah proses pembakaran air akan mendidih dan manometer akan mengalami kenaikan tekanan pada tabung.
- Pengambilan data di lakukan setiap kenaikan tekanan pada manometer dan tinggi suhu pada thermometer.

**g. Diagram alir**



**Gambar 3. 1** Diagram alir

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**a. Spesifikasi desain water tube boiler**

**Tabel 4. 1** Spesifikasi water tube boiler

| Spesifikasi     |  |
|-----------------|--|
| Fungsi          | Menghasilkan steam yang digunakan untuk pemanasan dan produksi |
| Tinggi          | 43 cm  |
| Kapasitas       | 15 liter   |
| Bahan kondruksi | Plat baja karbon   |
| Diameter        | 30 cm  |
| Temperatur      | 130°C  |
| Tekanan         | 40 psi   |
| Bahan bakar     | Gas tabung LPG   |

**b. Tabung**

Water tube boiler adalah jenis boiler yang memiliki pipa-pipa kecil di dalamnya yang diisi dengan air. Dalam kasus ini, boiler dirancang dengan kapasitas 15 liter, yang berfungsi untuk menghasilkan uap (steam) yang akan digunakan oleh evaporator.



**Gambar 4. 1** Boiler water tube

**c. Indikator dan keamanan**



**Gambar 4. 2** Komponen water tube boiler

Thermometer pada water tube boiler berfungsi untuk mengukur suhu dalam boiler pipa air. Informasi suhu ini penting untuk memantau kondisi kerja boiler dan memastikan bahwa suhu tetap dalam rentang yang aman. Suhu yang dihasilkan pada water tube boiler 100°C hingga 140°C. Suhu akhir yang dihasilkan sangat tergantung pada parameter operasi yang lebih rinci, seperti laju aliran bahan bakar, laju aliran air, tekanan operasi dan efisiensi boiler.

Safety Valve pada water tube boiler berfungsi untuk melepaskan tekanan berlebih jika tekanan dalam boiler melampaui batas aman dan mencegah terjadinya ledakan atau kerusakan akibat peningkatan tekanan yang ekstrem.

Pressure Gauge pada water tube boiler digunakan untuk memberikan informasi visual tentang tekanan saat operasi berlangsung.

Kaca penduga pada boiler berfungsi untuk memantau level air dalam boiler.

**d. Pipa-pipa**



**Gambar 4. 3** Pipa boiler

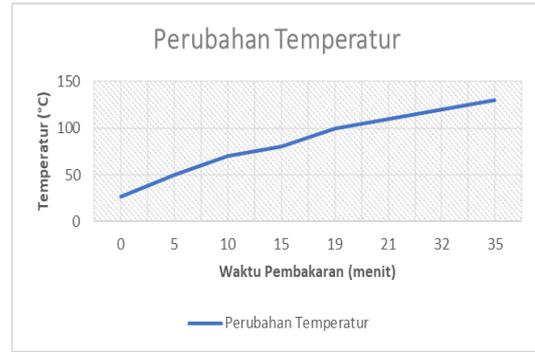
Pipa tengah pada boiler berfungsi sebagai saluran untuk mengalirkan uap panas dari bagian bawah boiler agar air yang ada didalam boiler cepat untuk sampai di titik didih 130°C. Material yang digunakan pada water tube boiler yaitu pipa besi dengan diameter 2 inch, pemilihan pipa besi bertujuan karna karna memiliki kekuatan yang baik, mampu menahan suhu yang tinggi dan memiliki kemampuan yang baik dalam menghantarkan panas.

**e. Hasil dan analisis pengujian temperatur dan tekanan uap boiler**

**Tabel 4. 2** Pengujian temperatur dan tekanan

| No. | Waktu pembakaran (menit) | Temperature (°C) | Tekanan (psi) |
|-----|--------------------------|------------------|---------------|
| 1.  | 0                        | 27               | 0             |
| 2.  | 5                        | 50               | 0             |
| 3.  | 10                       | 70               | 0             |
| 4.  | 15                       | 80               | 7             |
| 5.  | 19                       | 100              | 13            |
| 6.  | 21                       | 110              | 27            |
| 7.  | 32                       | 120              | 42            |
| 8.  | 35                       | 130              | 55            |

Berdasarkan table temperatur mula-mula yaitu 27°C naik perlahan hingga mencapai temperatur 130°C pada tekanan 55 psi. Gambar dibawah merupakan grafik perubahan temperatur dan perubahan tekanan pada boiler.



**Gambar 4. 4** Grafik temperatur



**Gambar 4. 5** Grafik tekanan

**f. Uji monitor konsumsi bahan bakar boiler**

Dengan menggunakan timbangan, konsumsi bahan bakar boiler yang menggunakan tabung gas LPG diuji dengan mengurangi jumlah bahan bakar pada awal pengujian dari jumlah bahan bakar pada akhir pengujian, diperoleh hasil konsumsi bahan bakar boiler sebesar 1,30 kg/jam.

Untuk menghasilkan temperature 130°C dan tekanan 56 psi konsumsi bahan bakar yang digunakan sebesar 1,30 kg/jam.

**g. Uji efesiensi dengan metode langsung**

Pada penelitian ini digunakan perhitungan efisiensi boiler dengan metode secara langsung. Metode langsung. Dari hasil perhitungan efisiensi boiler didapat angka sebesar 86,45% sehingga dapat disimpulkan bahwa boiler masih sangat baik dan layak digunakan.

Rumus dari perhitungan metode langsung adalah sebagai berikut:

$$\eta_{fuel} = \frac{Q_{steam}}{Q_{fuel}} \times 100\%$$

$$\eta_{fuel} = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

dimana:

- $\eta_{fuel}$  : Efisiensi bahan bakar boiler (%)
- $Q_{steam}$ : Energi panas total yang diserap uap air (kalori; Joule)
- $Q$  : Debit uap air keluar boiler (kg/jam)
- $h_g$  : Entalpi uap keluar boiler (kcal/kg)

$h_f$  : Entalpi air masuk boiler (kcal/kg)  
 $q$  : Debit kebutuhan bahan bakar (kg/jam)  
 $Q_{fuel}$  : Energi panas yang dihasilkan (kalori;joule)  
 $GCV$  : Nilai kalor spesifik bahan bakar (kcal/kg)

$$\begin{aligned}\eta_{fuel} &= \frac{Q \cdot (h_g - h_f)}{q \cdot GCV} \times 100\% \\ &= \frac{21,30 \cdot (649,49 - 130,45)}{1,30 \cdot 9799} \times 100\% \\ &= 86,45 \%\end{aligned}$$

#### h. Uji katup pengaman

Katup pengaman (*safety valve*) pada boiler berfungsi dengan baik, katup akan melepaskan sebagian uap, cairan atau gas dari dalam boiler secara otomatis jika tekanan dalam boiler melebihi batas aman. Katup pengaman pada boiler dirancang untuk melepaskan tekanan berlebih dari boiler untuk mencegah ledakan atau kerusakan pada peralatan.

#### i. Uji boiler beban penuh

Tidak dilakukan pengujian beban penuh karena dapat mengakibatkan risiko operasional atau masalah keamanan. Uji beban penuh juga dapat menyebabkan tekanan atau suhu yang tidak dapat diatasi dengan aman oleh sistem, sehingga uji kinerja dilakukan pada beban yang rendah untuk menghindari potensi kerusakan atau bahaya.

### 5. KESIMPULAN

Dari hasil Analisa perhitungan – perhitungan yang telah dilakukan maka:

1. Boiler yang dirancang adalah boiler berjenis Water Tube. Dimana prinsip kerjanya adalah memanaskan air yang berada didalam tabung hingga mencapai titik didihnya dengan memanfaatkan panas dari pembakaran bahan bakar, sehingga air berubah menjadi uap (steam). Uap panas itulah yang akan diteruskan ke evaporator.

2. Dari hasil perhitungan didapatkan efisiensi boiler sebesar 86,45 % sehingga dapat disimpulkan bahwa boiler masih sangat baik dan layak digunakan.

### 6. REFERENSI

- Administrator (2021) *Mengenal Apa Itu Ketel Uap (boiler) Dan Cara Perawatannya, Synergy Solusi Indonesia*. Tersedia di: <https://synergysolusi.com/Indonesia/berita-terbaru/mengenal-apa-itu-ketel-uap-boiler-dan-cara-perawatannya> (Diakses: Maret 01, 2023)
- Akbar, R., Sukandi, A., & Rasyid, M. K. (2019). *Perancangan Boiler untuk Proses Sterilisasi pada Baglog Jamur Tiram*. *Jurnal Teknik Mesin ITI*, 3(1), 23-
- Harnowo, S., & Yunaidi, Y. (2021). *Kinerja Boiler dengan Sistem Pembakaran Bersama antara Ampas Tebu dengan Sekam Padi dan Cangkang Kelapa Sawit*. *Semesta Teknika*, 24(2), 102-110.
- Prasetya, J. (2020). *Analisis Perpindahan Panas Pada Boiler Skala Model Tekanan UAP 5 Kg/Cm dan Kapasitas 23 Kg/Jam (Doctoral dissertation, Universitas Medan Area)*.
- Purba, J. (2016). *Perancangan Boiler Pipa Api untuk Perebusan Bubur Kedelai pada Industri Tahu Kapasitas Uap Jenuh 160 kg/jam (Doctoral Dissertation, Universitas Pasis Pengaraian Kabupaten)*.
- Rahmawati, K. (2018). *Perancangan Desain Boiler pada Mini Plant Steam Engine Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap*. Institut Teknologi Sepuluh November: Surabaya.
- Sugiharto, A. (2020). *Perhitungan Efisiensi Boiler Dengan Metode Secara Langsung pada Boiler Pipa Api*. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 10(2), 51-57.