

# Desain Mini Boiler Pipa Api Jenis Scotch Menggunakan Bahan Bakar Batu Bara Dengan Pendekatan Kajian Teoritis

Muhammad Helmi Kurniawan<sup>1\*</sup>, Khusnul Khotimah Ayuningtiyas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Brawijaya, Jalan Veteran, Malang, 65145

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Jl.Raya Rungkut Madya, Gunung Anyar, Surabaya, 60294

\*Corresponding author: [mr.helmi.kurniawan@gmail.com](mailto:mr.helmi.kurniawan@gmail.com)

**Artikel info:** Diterima: 28 November 2022 | Disetujui 20 Desember 2022 | Tersedia online: 31 Desember 2022  
DOI: 10.32722/jmt.v3i2.5184

## Abstrak

Boiler adalah perangkat konversi energi yang mengubah air menjadi tekanan uap dan suhu menjadi uap yang dapat digunakan. Boiler sebagai penghasil uap memegang peranan yang sangat penting dalam proses produksi, sehingga digunakan sebagai sumber energi pada lini produksi pada industri makanan dan industri lainnya.. Pada penelitian ini dilakukan analisis berdasarkan kajian data yang telah ada sebelumnya. Angka yang didapatkan diambil dari sumber literatur yang valid dan kemudian diolah untuk mencari data-data hasil kajian. Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan hasil spesifikasi uap berupa uap basah ; diameter boiler 150 cm ; Panjang boiler 300 cm ; diameter pipa api 60 cm ; dan jumlah pipa api 54 buah. Hasil penelitian yang telah didapatkan, diharapkan dapat dijadikan referensi sebuah model desain mesin yang dapat diterapkan pada industri, balai pelatihan, atau institusi pendidikan.

*Kata-kata kunci:* Boiler, Pipa api, Batu bara, Uap basah

## Abstract

A boiler is an energy conversion device that can convert water into usable steam by regulating the pressure and temperature of the steam. A steam boiler (boiler) is a steam component used as an energy source in processes in the food industry or other industries, due to its important role in manufacturing. In this research, we examined based on the investigation of the existing data. The figures obtained are obtained from appropriate publications and processed to analyze the data from the search results. From experimental analysis, water vapor theorem results are obtained for liquid water. kettle diameter 150 cm; kettle length 300 cm; fire pipe diameter 60 cm. The research obtained is expected to serve as a model for mechanical design models that can be used in industry, training centers and educational institutions.

*Keywords:* Boilers, Fire pipes, Coal, Wet steam

## 1. PENDAHULUAN

Di era revolusi industri 4.0, inovasi, transformasi digital, dan otomasi sangat penting dalam manufaktur. Kemajuan terbaru dalam desain peralatan dukungan teknologi untuk aplikasi pengisian ban kecil. Salah satunya adalah penggunaan teknologi yang telah melahirkan banyak ide baru dalam pemanfaatan ruang industri. Motor konversi daya merupakan sumber energi yang menggerakkan berbagai mesin produksi industri. Konverter daya adalah boiler atau ketel uap. Boiler menggunakan tekanan uap dan panas untuk mengubah air menjadi uap yang berguna. Dalam skala yang lebih besar, boiler digunakan untuk menghasilkan listrik atau turbin uap digunakan untuk menghasilkan listrik. Banyak usaha kecil menggunakan boiler untuk pemrosesan dan pemanasan, menggunakan panas dari uap yang dihasilkan. Ini banyak digunakan untuk pembuatan mesin di industri kecil dan menengah seperti paku dan pala. Ini juga dapat digunakan sebagai katalis dalam industri ringan seperti daur ulang ban, pemrosesan batu, dan banyak hal lainnya. Kompiler kayu terbakar karena kayu sudah tersedia. Penggunaan energi panas dalam bentuk uap dikontrol dalam industri ini. Meskipun proses ini membutuhkan peralatan yang sangat sederhana yang menghabiskan energi paling banyak, prosesnya lambat dan tidak efisien. Turbin uap (boiler) digunakan sebagai sumber energi dalam industri makanan atau sistem produksi lainnya, karena turbin uap memainkan peran penting dalam produksi pertanian. Menurut [3], beberapa peneliti sebelumnya telah melaporkan tentang desain generator dan pesawat laut yang berbeda menggunakan bahan bakar yang berbeda, termasuk penelitian tentang desain mesin spesifik yang terinspirasi LPG. Diameter bodi 33,02 cm, diameter motor 1,905 cm, tinggi pipa: 57,8 cm, desain beban 15 bar, jenis udara: jenuh, suhu kerja 100°C - 150°C, bahan bakar: gas, mesin Uap api 63 menit, suhu 105° C., tekanan 3 bar, uji.

## 2. METODOLOGI

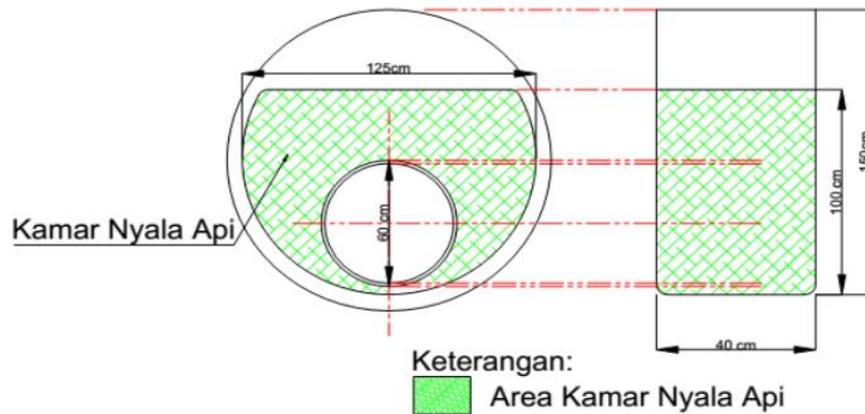
Metode penelitian dalam penelitian ini adalah kualitatif. Metode kualitatif dipilih karena beberapa alasan, antara lain: (1) Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model desain mesin yang dapat digunakan di industri, balai pelatihan atau lembaga pendidikan, (2) dan diuji secara detail sebagai suatu masalah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperkenalkan analisis desain boiler tabung api tipe Scottish. Pengendalian pembakaran batubara dengan metode analisis teoritis. Penelitian ini sangat menggembirakan di alam, yaitu. Melakukan penelitian baru yang terbuka untuk meneliti masalah dan berdasarkan data. Analisis dimulai dengan pengumpulan data sekunder yang meliputi data historis dan detailnya. Untuk melakukan penelitian secara sistematis, diperlukan proyek penelitian/tindakan penelitian. Bagian dari proses produksi ini mencakup banyak fitur seperti model produksi, geometri mesin, dimensi yang diperlukan berdasarkan kapasitas produksi, pemilihan bahan atau suku cadang, dll. Variabel dalam penelitian ini meliputi variabel terikat dan desain penelitian. Rancangan penelitian adalah proses naturalistik yang menitikberatkan pada fenomena yang menghasilkannya dengan cara menelitinya secara langsung menggunakan inkuiri langsung. Ada contoh seperti ini.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan

## 2.1 Konsep Desain

Sketsa adalah pembuatan desain di tempat atau desain awal untuk lebih memahami desain yang dikembangkan. Pada perancangan perahu ini, sistem dibagi menjadi dua bagian yaitu motor dan air (tidak dipanaskan). Konsep ini diilustrasikan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Konsep Desain

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Literatur yang digunakan diperoleh dengan memilih buku, majalah dan artikel yang berkaitan dengan desain dan pengujian gas untuk mencari sumber lain di Internet. Buku-buku ini berguna untuk mengumpulkan informasi yang dibutuhkan untuk menganalisis desain Scotch mini. Tahap pengumpulan data adalah tahap pengumpulan dimana semua data diperlukan untuk proses desain.

### A. Highest Heating Value

Kapasitas pemanasan tinggi atau kapasitas pembakaran tinggi. Dalam hal ini, uap air yang diperoleh dari refrigeran didinginkan terlebih dahulu, dan panas kondensasi dihitung dan digunakan sebagai panas api yang dihasilkan. Komposisi kimia dan komposisi gas diberikan dalam Tabel. 1

Tabel 1. Komposisi kimia dan bahan Gas – coal [4]

Unsur Kimia	Jumlah (%)
C	72.9
H	5.8
N	1
S	1.2
CO <sub>2</sub>	18.1
Abu (A)	7
Air (W)	3.2

Menurut [5] [6] [7] Harga kalor pembakaran tinggi dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$HHV = 4550 - (10 A) - (45.5 W)$$

Dimana :

A = Abu yang terkandung dalam bahan bakar ( % )

W = Air yang terkandung dalam Gas-coal ( % )

Maka :

$$\begin{aligned} HHV &= 4550 - (10 \times 7) - (45.5 \times 3.2) \\ &= 4550 - 70 - 145.6 \\ &= 4334.4 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

### A. Lowest Heating Value

Untuk nilai kalor rendah atau nilai kalor rendah, panas kondensasi tidak dimasukkan dalam perhitungan ketersediaan bahan bakar, karena uap hasil pembakaran tidak perlu dibuang terlebih dahulu. Persamaannya dapat dilihat pada Persamaan di bawah ini.

$$LHV = 4250 - (10 A) - (48 W)$$

Dimana :

A = Abu yang terkandung dalam bahan bakar ( % )

W = Air yang terkandung dalam Gas-coal ( % )

Maka :

$$\begin{aligned} LHV &= 4250 - (10 A) - (48 W) \\ &= 4250 - (10 \times 7) - (48 \times 3.2) \\ &= 4026.4 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

### B. Kebutuhan Bahan Bakar

Berikut ini untuk rumus yang digunakan [8] :

$$B = \frac{G (i'' - Wd)}{\eta_k \times LHV}$$

Keterangan :

B = Konsumsi bahan bakar (kg/jam)

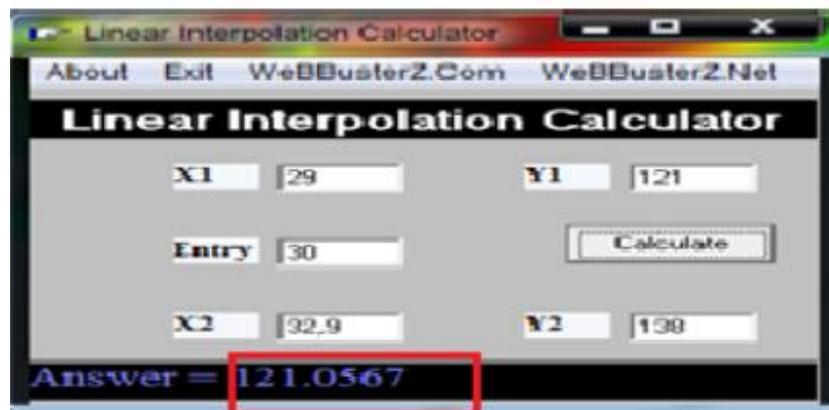
G = Kapasitas uap yang dihasilkan 10.000 (kg/jam)

$i''$  = Entalpi uap kenyang pada tekanan 15 kg/cm<sup>2</sup> = 2792 KJ/kg

Wd = Entalpi suhu air masuk 30°C = 121.0567 KJ/kg

$\eta_k$  = Efisiensi ketel diasumsikan (95%)

LHV = Low Heating Value (4026.4 kkal/kg)



Gambar 3. Pembuktian Wd (Entalpi air mendidih) dengan *apilication interpolation*

Maka :

$$B = \frac{G (i'' - Wd)}{\eta_k \times LHV}$$

$$B = \frac{10,000 \times (2792 - 121.0567)}{0,95 \times 4026,4}$$

$$B = \frac{26709,433}{3825,08} = 69.827 \frac{\text{Kg}}{\text{jam}}$$

Kerugian pembakaran bahan bakar dalam hal ini adanya bahan bakar yang tidak menghasilkan gas asap. Maka harga konsumsi bahan bakar diatas haruslah dikoreksi. Besarnya faktor koreksi terhadap konsumsi bahan bakar bisa dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Faktor Koreksi Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Bahan Bakar	Faktor Koreksi (FK)
Batu Bara	0.02 – 0.04
Minyak Bakar	0.02
Gas	0.01

Sumber : [9]

Maka jumlah konsumsi bahan bakar adalah:

$$B = B + (FK \times B)$$

$$B = 69.827 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} + (0.02 \times 69.827 \text{ kg/jam})$$

$$= 71.2236 \text{ kg/jam}$$

Tabel 3. Tabel uap jenuh

P (kg/cm <sup>2</sup> )	t <sub>a</sub> (°C)	V <sub>u</sub> (M <sup>3</sup> /kg)	W <sub>d</sub> (Kj/kg)	r (Kj/kg)	i'' (kj/kg)	V <sub>π</sub>
1	99.6	1.69	417	2257	2674	1044
2	120.2	0.89	505	2200	2705	1061
3	133.5	0.61	561	2162	2723	1074
4	143.6	0.46	604	2132	2737	1084
5	151.8	0.37	640	2107	2747	1093
7	165.0	0.27	697	2065	2762	1108
10	179.9	0.19	762	2015	2777	1128
15	198.3	0.13	844	1948	2792	1154
20	212.4	0.099	908	1893	2801	1177
25	223.9	0.080	961	1843	2804	1197
30	233.9	0.067	1008	1798	2806	1217

Sumber : [10]

Maka :

$$Q_{pg} = \frac{G}{B} (i'' - Wd) \frac{\text{Kkal}}{\text{kg}}$$

$$= \frac{10.000}{71.2236} (2792 - 121.0567)$$

$$= 0.14040 \times 2670.9433$$

$$= 375.0082 \text{ Kkal/kg}$$

Untuk menentukan presentase menggunakan rumus :

$$Q_{pg} = \frac{375.0082 \text{ Kkal/kg}}{\text{LHV}} \times 100\%$$

$$= \frac{375.0082 \frac{\text{Kkal}}{\text{kg}}}{4026.4 \frac{\text{Kkal}}{\text{kg}}} \times 100\%$$

$$= 93\%$$

Keseimbangan panas merupakan jumlah panas yang dihasilkan oleh bahan bakar sebelum dan sesudah yang digunakan ketel uap (*boiler*) adalah sama. Dari keseimbangan panas dapat diketahui panas yang berguna dan panas yang tidak berguna dari hasil pembakaran bahan bakar, dan panas yang dihasilkan oleh bahan bakar tidak seluruhnya diserahkan kepada air dan uap [11].

### C. Kerugian-kerugian Panas

Menurut [6] Kehilangan panas melalui gas disebut kehilangan gas atau kehilangan panas internal dan kehilangan ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_c = K \frac{T_2 - T_1}{CO_2}$$

Dimana :

$K$  = Konstanta (Direncanakan 0.95)

$T_2$  = Suhu gas yang keluar dari cerobong (Direncanakan =  $150^{\circ}\text{C}$ )

$T_1$  = Suhu udara luar  $30^{\circ}\text{C}$

$\text{CO}_2$  = Kadar gas yang terkandung dalam asap (18.10%)

Maka :

$$\begin{aligned} Q_c &= K \frac{T_2 - T_1}{\text{CO}_2} \\ &= 0.95 \left( \frac{150^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}}{18.10\%} \right) \\ &= 6\% \\ Q_c &= 6\% \times LHV \\ &= 0.06 \times 4026.4 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}} \\ &= 241.584 \text{ kkal/kg} \end{aligned}$$

#### D. Kerugian Radiasi ( $Q_r$ )

Kerugian terjadi karena faktor perpindahan panas oleh peralatan ketel, misalnya badan ketel pipa – pipa uap, dan lain-lain. Dengan pengalaman praktek, kerugian dapat ditetapkan sebagai berikut :

Untuk Luas pemanasan  $100 \text{ m}^2 - 500 \text{ m}^2$  kerugiannya 3% - 4%

Untuk Luas pemanasan  $1000 \text{ m}^2 - 2000 \text{ m}^2$  kerugiannya 1% - 3%

Kerugian radiasi diambil.  $Q_r = 3\%$

Sehingga:

$$\begin{aligned} Q_r &= \frac{3}{100} (LHV) \text{Kkal/kg} \quad [12] \\ &= \frac{3}{100} (4026,4) \text{Kkal/kg} \\ &= 120,792 \text{ Kkal/kg} \end{aligned}$$

#### E. Kerugian Lain-lain ( $Q_L$ )

Kerugian ini disebabkan karena beberapa hal antara lain:

- Kerugian kualitas bahan bakar.
- Kerugian karena adanya kotoran-kotoran pada bahan bakar.

Maka kerugian tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_L &= (100 - Q_{pg} - Q_c - Q_r)\% \quad [13] \\ &= (100 - 93 - 6 - 3)\% \\ &= 2\% \end{aligned}$$

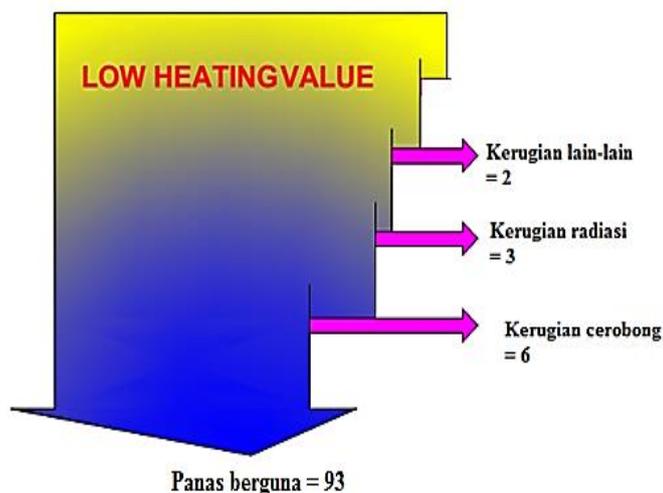
Maka ;

$$\begin{aligned} Q_L &= \frac{2}{100} (LHV) \text{Kkal/kg} \\ &= \frac{2}{100} (4026,4) \text{Kkal/kg} \\ &= 0.02 \times (4026.4 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}}) \\ &= 80,528 \text{ Kkal/kg} \end{aligned}$$

#### F. Neraca Kalor

Penggunaan panas dapat dijelaskan dalam hal aliran energi. Desain ini memungkinkan konversi energi panas untuk berbagai keperluan, termasuk termoelektrik. Panah di tabel menunjukkan jumlah energi yang dimiliki masing-masing tim.

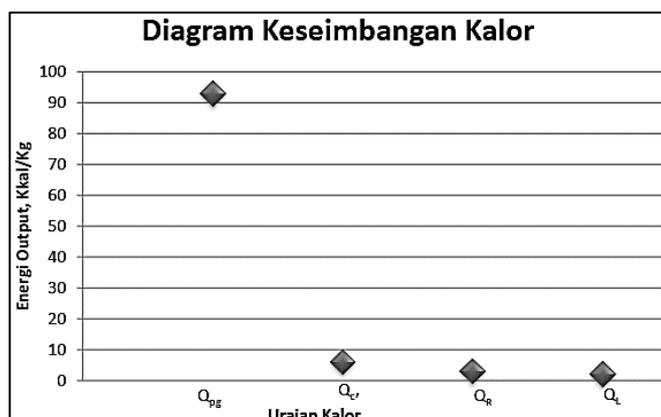
Diagram neraca *energy boiler* bisa dilihat pada gambar berikut ini :

Gambar 4. Diagram neraca *energy boiler*

Neraca panas adalah keseimbangan energi total yang masuk boiler dan energi total yang keluar boiler. Tabel neraca panas dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Tabel neraca kalor

No	Keterangan	Notasi	Energi input		Energi output	
			Kkal/kg	%	Kkal/kg	%
1	Nilai kalor	LHV	4034.4	100		
2	Panas berguna	$Q_{pg}$			375.0082	93
3	Kerugian cerobong	$Q_c$			241.584	6
4	Kerugian radiasi	$Q_r$			120.792	3
5	Kerugian lain-lain	$Q_L$			80.528	2
Total			4034.4	100	817.9122	104



Gambar 5. Diagram keseimbangan kalor

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisis statistik dapat disimpulkan bahwa hasil analisis dan metode penelitian teoritis untuk desain selang kebakaran mini skotlandia dengan bahan bakar batubara memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Jenis uap = Uap basah
2. Entalpi air mendidih pada suhu 30°C = 121,0567 KJ/kg
3. Entalpi uap Kenyang pada tekanan 15 Kg/cm<sup>2</sup> = 2792 KJ/kg.
4. Kebutuhan Udara Teoritis ( $U_{og}$ ) = 992,241 kg udara/kgbb
5. Kebutuhan Bahan Bakar 69.827 kg/jam

6. Dimensi *boiler*.
- Diameter *boiler* = 150 cm
  - Panjang *boiler* = 300cm
  - Diameter *pipa api* = 60 cm
  - Jumlah *pipa api* = 54 batang

## REFERENSI

1. M. D, G. A, and Z. V, *Procedia Manuf.* 28, 31 (2019).
2. M. Effendy, Dwi Ardiyanto, Sunyoto, *Environ. Sci. Technol.* 15, 1408 (1981).
3. R. Agustira, M. Razi, and S. Syukran, *J. Mesin Sains Terap.* 1, (2017).
4. M. Djokosetyardjo, *Pembahasan Lebih Lanjut Tentang Ketel Uap (PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1990).*
5. S. Abel, *Steam Boiler (Ketel Uap Untuk Industri) (Akademi Teknik Nasional Malang, Malang, 1980).*
6. S. Abel, *Steam Boiler: Ketel Uap Untuk Industri (Akademi Teknik Nasional, Malang, 1980).*
7. S. Abel, *Soal-Soal Ketel Uap (Steam Boiler)Water, VII (Akademi Teknik Nasional Malang, Malang, 1979).*
8. J. Holman, *Perpindahan Kalor, Erlangga (Jakarta, 1994).*
9. C. P. Majid, *Perencanaan Ketel Uap Kapasitas 250Kg/Jam Uap Jenuh Pada Tekanan Kerja 7 Bar, Universitas Muhammadiyah Malang, 2014.*
10. M. Djokosetyardjo, *Ketel Uap (PT Pranya Paramita, Jakarta, 2003).*
11. E. budi Sutrisno, *Perancangan Ketel Uap Berkapasitas 6500 Kg/Jam Untuk Home Industri Tahu, Universitas Muhammadiyah Malang, 2013.*
12. T. Putro and Fredeekus, *Perencanaan Ketel Uap Untuk Proses Pembuatan Ban, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, 1992.*
13. Suyatno, *Perencanaan Ketel Uap Kapasitas 2500 Kg/Jam Uap Jenuh Pada Tekanan Kerja 15 Bar Absolut Dengan Bahan Bakar Bagasse, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia, 1992.*