

## RANCANG BANGUN KETEL PIPA API MINI KAPASITAS 8 KG/JAM DENGAN TEKANAN 4 BAR

Josua Rudianto Manalu, Ega Meininta Tarigan, Rufinus Nainggolan

Teknik Konversi Energi, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan  
josuamanalur@students.polmed.ac.id, egatarigan@students.polmed.ac.id,  
rufinusnainggolan@polmed.ac.id

---

### ABSTRAK

Ketel uap (*boiler*) merupakan bejana tertutup yang didalamnya berisi air untuk dipanaskan dan menghasilkan uap. Bejana bertekanan pada *boiler* umumnya menggunakan bahan baja dengan spesifikasi tertentu yang telah ditentukan dalam standard tertentu ASME (*American Society of Mechanical Engineers*). Ketel uap sebagai komponen utama untuk proses produksi industri kecil dan industri besar contohnya pada operasional rumah sakit yaitu sterilisasi dan laundry. *Mini boiler* ini dirancang dari bahan yang setara dengan baja karbon SA-106 dengan temperatur penggunaan maksimum 400-500°C. Kemudian menentukan spesifikasi *mini boiler* yang ingin dirancang antara lain kapasitas uap 8 kg/jam, tekanan empat bar (jenuh saturasi) dengan bahan bakar LPG (*Liquefied Petroleum Gas*), nilai kalor LPG (HHV) 47081 kJ/kg (Pertamina). Dari hasil perancangan Uap aktual yang dihasilkan dari *Mini Boiler* ini sebesar 6,92 kg/jam. Bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap sebanyak 6,92 kg/jam dengan tekanan 3 bar dan temperatur 250°C adalah sebesar 0.634359 kg/jam. Untuk jumlah LPG sebanyak 0,634359 kg dibutuhkan jumlah udara pembakaran (untuk stoikiometrik teoritis) sebesar 9,960223 kg. Nilai kalor Bawah (*Low Heating Value*) LPG adalah sebesar 46454,31 kJ/kg. Jumlah energi panas yang masuk ke ketel uap dari hasil pembakaran bahan bakar (*Qin*) adalah 29266,209 kJ/kg jam sedangkan jumlah energi berguna yang diserap air umpan sampai terbentuknya uap dalam ketel uap (*Qout*) adalah sebesar 18044,938 kJ/kgjam. Efisiensi *thermal* ketel uap adalah sebesar 61,65%.

**Kata kunci:** *boiler*, uap, energi panas, LPG (*Liquefied Petroleum Gas*)

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Sebelum abad ke XX seorang ahli berkebangsaan inggris, James Watt berhasil memanfaatkan tenaga uap sebagai pendorong dan sebagai alat penggerak, sehingga sampai saat ini kita mengenalnya sebagai mesin uap dimana dalam membangun mesin uap membutuhkan ketel uap (*boiler*) sebagai penghasil uap. Ketel uap (*boiler*) pada umumnya menggunakan bahan bakar minyak (BBM), bahan bakar gas (BBG), batubara dan menggunakan bahan bakar berupa limbah industri (Syamsir, 2010). Ketel uap (*boiler*) merupakan bejana tertutup yang di dalamnya berisi air untuk dipanaskan. Bejana bertekanan pada *boiler* umumnya menggunakan bahan baja dengan spesifikasi tertentu yang telah ditentukan dalam standard tertentu ASME (*American Society of Mechanical Engineers*).

Dalam perkembangannya ketel uap banyak digunakan dalam industri, baik dalam industri skala besar, industri skala kecil, rumah sakit dan sektor lainnya. Pada industri skala besar ketel uap (*boiler*) digunakan untuk menghasilkan energi listrik yang menjadi kebutuhan pokok masyarakat maupun pada proses produksi industri tersebut. Pada industri skala kecil ketel uap (*boiler*) biasanya digunakan pada proses produksi tahu, jasa *laundry*, garmen dan lainnya. Sementara pada rumah sakit uap (*steam*) yang dihasilkan ketel uap (*boiler*) digunakan pada sterilisasi peralatan medis dan ruangan pasien.

Berdasarkan uraian di atas, penulis merasa tertarik untuk membuat dan membahas mengenai “ Rancang Bangun Ketel Pipa Api Mini Kapitas 8 kg/Jam dengan Tekanan empat Bar“ sebagai judul Penelitian karya ilmiah Penulis.

### Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dibahas dalam karya ilmiah ini sebagai berikut:

1. Apa saja bahan dan peralatan yang digunakan dalam pembuatan mini *boiler*?
2. Bagaimana proses perancangan dan pembuatan *mini boiler*?
3. Berapa banyak kapasitas uap aktual yang dihasilkan dari *mini boiler*?
4. Berapa banyak kebutuhan panas yang digunakan pada *mini boiler* untuk menghasilkan 8 kg/jam uap?

### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penulisan karya ilmiah ini sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui bagaimana perancangan dan pembuatan *mini boiler* kapasitas 8 kg/jam dengan tekanan empat bar;
2. Untuk mengetahui kapasitas uap aktual yang dihasilkan *mini boiler*;
3. Untuk mengetahui bahan dan peralatan pembuatan *mini boiler*;

### TINJAUAN PUSTAKA

Dalam penulisan karya ilmiah ini dibutuhkan suatu penelitian tentang topik tugas akhir yang akan dilakukan, untuk dijadikan sebuah referensi untuk di observasi. Berikut ini merupakan beberapa referensi yang berkaitan yang digunakan penulis:

1. Vikki Okta Eka Prastiyo (2018) melakukan penelitian mengenai rancang bangun mini ketel uap kapasitas 30 liter / 30 menit dengan penggabungan jenis pipa api dan jenis pipa air.
2. Dwi Ardiyanto Effendy (2013) melakukan penelitian mengenai Rancang Bangun *Boiler* untuk Proses Pemanasan Sistem Uap pada Industri Tahu dengan menggunakan Catia V5.

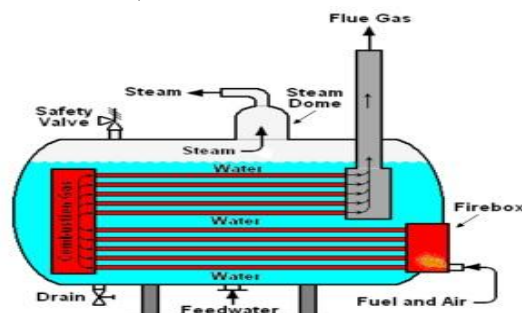
### Dasar Teori

Pengertian ketel uap atau yang sering disebut *boiler* adalah berasal dari kata “Boil” yang berarti mendidih dan menguap, sehingga ketel uap dikatakan pesawat penghasil uap dan proses pendidihan air karena pemberian panas secara terus menerus. Secara ilmiah ketel uap dapat dikatakan sebagai suatu alat yang dapat mengkonversikan energy kimia yang terdapat pada bahan bakar menjadi energy panas yang dapat mengubah air menjadi uap air karena energi panas yang dihasilkan. Uap (*steam*) yang dihasilkan dari *boiler* digunakan untuk berbagai proses dalam aplikasi industri, seperti penggerak, pemanas dan lain lain.

Ketel uap atau *boiler* umumnya diklasifikasikan ke dalam dua kelompok, yaitu ketel uap pipa api (*fire tube boiler*) dan ketel uap pipa air (*water tube boiler*).

Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa;

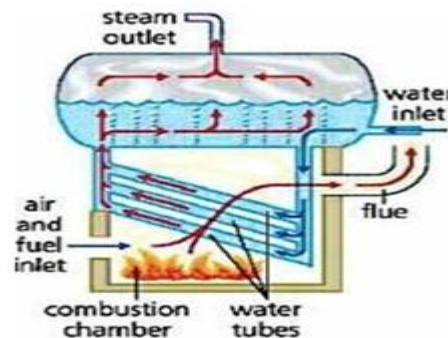
- 1). Ketel Uap Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)



Gambar 1. Ketel Uap Pipa Api  
Sumber: Pakpahan Christine,2019

## 2). Ketel Uap Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

Pada ketel uap pipa air, fluida yang mengalir dalam pipa adalah air, energi panas ditransfer dari luar pipa (yaitu ruang dapur) ke air ketel (Syamsir, 2016)

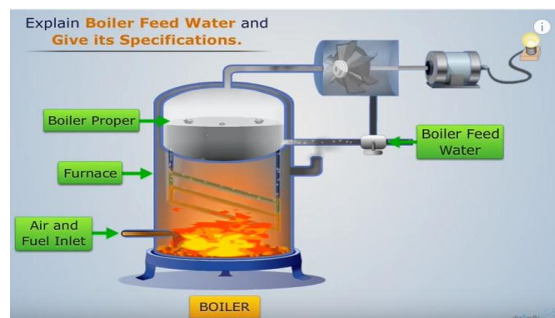


Gambar 2. Ketel Uap Pipa Air  
Sumber: Pakpahan Christine,2019

### 1. Prinsip Kerja Boiler

Prinsip kerja boiler kurang lebih mirip dengan panci yang digunakan untuk memasak air, tetapi dengan kapasitas yang jauh lebih besar. Dalam boiler air akan diubah menjadi uap. Panas diserap air dalam boiler dan uap dihasilkan secara kontinyu. Air yang disuplai ke boiler untuk diubah menjadi steam disebut air umpan. Air umpan yang dialirkan ke boiler untuk menggantikan kehilangan air di dalam boiler yang telah berubah menjadi uap.

Bahan baku yang digunakan untuk membuat steam adalah air baku yang diolah di *water treatment* dan dialirkan ke *feed water tank* yang berfungsi sebagai tangki penampung air umpan sebelum dipompakan ke daerator. Air umpan dari *feed water tank* dialirkan menggunakan pompa ke aerator yang berfungsi untuk menghilangkan kandungan  $O_2$  dan gas gas yang terlarut di dalam air umpan. Air dari daerator dipompakan ke boiler dengan melewati economizer yang bertujuan untuk menaikkan temperatur air dengan memanfaatkan panas dari gas buang pembakaran boiler dan dapat meningkatkan efisiensi boiler yang lebih tinggi.



Gambar 3. Prinsip Kerja Boiler Sederhana  
Sumber: PT. PLN (Persero) UPK Belawan,2020

### 2. Proses Pembentukan Uap

Penguapan adalah proses terjadinya perubahan fasa dari cairan menjadi uap. Apabila panas yang diberikan pada air, maka suhu air akan naik. Naiknya suhu air akan meningkatkan kecepatan gerak molekul air. Jika panas terus bertambah secara perlahan-lahan maka kecepatan gerak air akan semakin meningkat pula, hingga sampai pada suatu titik dimana molekul-molekul air akan mampu melepaskan diri dari lingkungannya (100%) pada tekanan 1 kg/cm<sup>2</sup>, maka air secara berangsur-angsur akan berubah fasa menjadi uap dan hal inilah yang disebut sebagai penguapan.

### 3. Perpindahan Panas dan Perancangan Ketel Uap

Dalam dapur *boiler* atau ketel uap terjadi perpindahan panas radiasi atau hantaran kalor (*heat transfer*) dari sumber panas yaitu hasil pembakaran suatu bahan bakar terhadap bidang permukaan pemanas (*heating surface*) secara pancaran dan rambatan (radiasi dan konduksi). Kemudian dari permukaan bidang perpindahan panas konduksi (*heating surface*) selanjutnya panas dihantar lagi kepada air ketel secara perpindahan panas konveksi (*convection*). Hantaran panas secara rambatan (*conduction*) dari sebagian panas kecil sekali. Oleh karena itu perhitungan hantaran kalor dalam dapur ketel biasa secara konduksi atau rambatan diabaikan.

Pada ketel uap ini perpindahan panas atau hantaran kalor (*heat transfer*) berlangsung dalam tiga cara, yaitu:

- Perpindahan panas secara rambatan (*conduction*)
- Perpindahan panas secara aliran (*convection*)
- Perpindahan panas secara pancaran (*radiation*)

Di dalam *boiler* atau ketel uap; perpindahan panas (*heat transfer*) dengan cara konduksi hampir tidak memegang peranan karena ketebalan dinding pipa-pipa sangat kecil, dan sesungguhnya justru tidak diinginkan sama sekali terlalu tebal sebab kita harus mengusahakan agar perpindahan panas berjalan dengan baik yang berarti suhu luar dan suhu dalam dari dinding hampir sama.

Perpindahan panas atau transformasi energi panas pada dapur *boiler* (*furnace*) dimulai dari nyala api (*flame*), sebagai berikut:

- Cara pancaran (*Radiation*):

$$\dot{Q}_r = \epsilon_w \cdot \epsilon_f \cdot B_o \cdot A \left[ \left( \frac{T_f}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_w}{100} \right)^4 \right] \text{ (kW)} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan demikian dapatlah dikatakan bahwa *heat transfer* di ruang bakar dari nyala api ke dinding ketel tergantung:

- suhu nyala api dan dinding ketel
- warna nyala api dan dinding ketel
- luas permukaan yang mendapat radiasi
- kebersihan dinding ketel.
- Perpindahan panas secara konveksi:

Panas yang dilepas oleh gas asap pada perpindahan panas secara konveksi, yaitu:

$$\dot{Q}_C = \dot{m}_g \cdot C_p (t_i - t_o) \text{ (kW)} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

- $\dot{Q}_C$  = kalor yang dilepas gas asap secara konveksi (kW)
- $C_p$  = panas jenis gas asap pada tekanan konstan (kJ/kg.K)
- $\dot{m}_g$  = massa gas asap yang mengalir (kg/detik)
- $t_i$  = temperatur gas asap masuk (K)

- Panas yang diterima oleh alat penukar kalor (*Heat Exchanger*), yaitu:

$$\dot{Q}_e = U \cdot A \cdot \text{LMTD} \text{ (kW)} \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

- $\dot{Q}_e$  = kalor yang diterima heat exchanger (kW)
- $U$  = koefisien perpindahan panas total (kW/m<sup>2</sup>.K)
- $A$  = luas bidang perpindahan panas (m<sup>2</sup>)
- $\text{LMTD}$  = *logaritmik mean temperatur difference* (K)

Bila dianggap gas asap mengalir pada sisi luar dari suatu pipa maka koefisien perpindahan panas total ( $U$ ) dapat dihitung dengan rumus:

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i h_i} + \frac{A_o \cdot \ln(r_o/r_i)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_o}} \dots\dots\dots (4)$$

Bila dianggap gas asap mengalir pada sisi dalam pipa maka  $U$  dapat dihitung sebagai berikut:

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{A_i \cdot \ln(r_o/r_i)}{2\pi kL} + \frac{A_i}{A_o h_o}} \dots \dots \dots (5)$$

Selisih temperatur logaritmik rata-rata (*logaritmik mean temperature diffrence*) atau LMTD dapat dihitung dengan rumus:

$$LMTD = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln(\Delta T_{max}/\Delta T_{min})} \dots \dots \dots (6)$$

dimana:

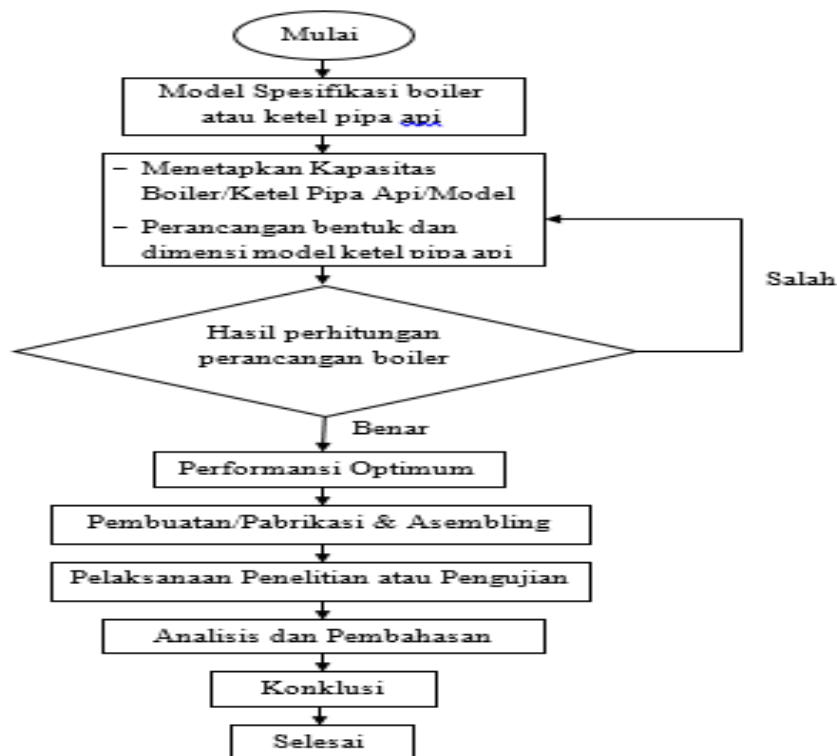
$\Delta T_{max}$  = selisih suhu masuk atau keluar sistem yang maksimum (°C atau K)

$\Delta T_{min}$  = selisih suhu masuk dan keluar sistem yang minimum (°C atau K).

Formula atau rumusan-rumusan di atas digunakan untuk menghitung menentukan luas permukaan perpindahan panas atau dimensi ukuran ketel pipa api mini ini. (Holman J.P , 1989)

## METODE PENELITIAN

Diagram alir (*Flowchart*) dari penelitian ini adalah digambarkan sebagai berikut.



Gambar 4 Diagram Alir Perancangan dan Pembuatan Model *Boiler*

Uraian secara rinci metode yang akan digunakan meliputi:

### 1. Tahapan-tahapan penelitian

Perancangan dimulai dengan perhitungan jumlah kebutuhan bahan bakar LPG pada kondisi spesifikasi ketel pipa api mini, yaitu pada kapasitas 8 kg/jam dan tekanan uap adalah empat bar abs. Kemudian penentuan besar perpindahan panas terhadap ketel pipa api dan selanjutnya dengan menggunakan formula atau rumusan-rumusan perpindahan panas bisa dihitung luas bidang permukaan perpindahan panas atau dimensi ukuran-ukuran ketel pipa api tersebut.

### 2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan adalah pada awal pengadaan bahan di bengkel-bengkel logam baja di Jl. Mahkamah Medan dan selanjutnya melaksanakan pengujian penelitian di Laboratorium Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Medan.

3. Parameter Pengukuran dan Pengamatan

Adapun Pengukuran dan Pengamatan dalam penelitian ini sebagai berikut:

Tabel 1 Tabel Parameter Pengamatan dan Pengujian Ketel Uap

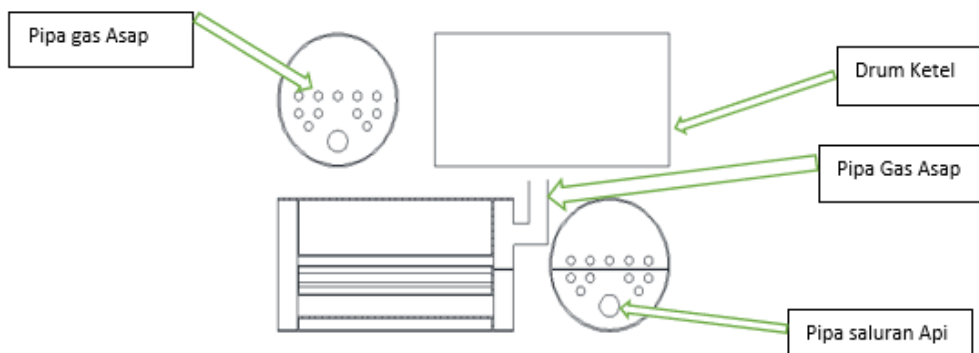
| No | Parameter Pengukuran dan Pengujian         |
|----|--|
| 1  | Kapasitas Uap Keluaran                     |
| 2  | Penggunaan Bahan Bakar                     |
| 3  | Temperature Air Umpan (Entalphi air Umpan) |
| 4  | Temparature Uap pada 3 barg (Entalphi Uap) |
| 5  | Temprature Gas Asap                        |
| 6  | Nilai Kalor Bahan Bakar Rendah             |

4. Model Penelitian

Model dari penelitian yang dilakukan adalah rancang bangun. Adapun perancangan meliputi gambar desain, perhitungan entalpi air umpan dan entalpi uap, kapasitas produksi uap, bahan bakar dan perhitungan efisiensi

5. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian, yaitu membuat suatu alat ketel pipa api mini dan kemudian melakukan pola pengoperasian dengan mengukur parameter peubah pada suatu kondisi tekanan yang ditetapkan.



Gambar 5. Gambar Rancangan boiler skematis

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020

Tabel 2 Penjelasan rancangan skematis Boiler

| No | Nama Komponen          | Penjelasan  |
|----|------------------------|---|
| 1  | Pipa Saluran Api       | Merupakan saluran api dari pembakaran menuju pipa gas asap, berfungsi sebagai pemanas air. Terbuat dari baja karbon, D = 2"                               |
| 2  | Pipa Gas Asap          | Merupakan Saluran gas asap laluan ke 2 dan 3 yang berfungsi sebagai pemanas air dan saluran buang gas asap. Terbuat dari baja karbon, D = 1,05" L = 0,5 m |
| 3  | Drum Ketel             | Merupakan tabung sekaligus tempat terjadinya proses evaporasi. Terbuat dari baja karbon, D = 12,5", L = 0,6 m dengan ketebalan 0,65 cm                    |
| 4  | Pipa Saluran Gas Buang | Merupakan saluran buang gas asap, bertujuan menarik gas asap keluar dari ketel uap. Terbuat dari aluminium dengan D = 2" dan L = 1 m.                     |

6. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

1) Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data adalah dengan metode kuantitatif sederhana mengukur dan mencatat untuk mentabelkan parameter-parameter kapasitas produksi uap dan konsumsi bahan bakar

2) Teknik Analisis Data

Teknik analisis data adalah menganalisis efisiensi ketel uap dengan melakukan pengujian alat dan diperoleh data berdasarkan parameter yang telah di tetapkan. Sehingga berdasarkan rumus teori efisiensi ketel uap didapatkan nilai efisiensi.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Penetapan Spesifikasi**

Spesifikasi model ketel pipa api yang dirancang sesuai dengan penetapan tugas yang diberikan adalah sebagai berikut:

- 1. Kapasitas uap : 8 kg/jam
- 2. Tekanan uap : 3 Bar<sub>g</sub> (Jenuh Saturasi)
- 3. Bahan bakar : LPG
- 4. Nilai Kalor LPG, LHV : 46454,31 kJ/kg
- 5. Kondisi suplai air : 30 °C (Normal)
- 6. Efisiensi ketel uap : 70% (Ditetapkan)

1. Konsumsi Bahan Bakar

Berdasarkan penetapan spesifikasi boiler diperoleh jumlah konsumsi bahan bakar pembakaran berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_B = \frac{Q_{eva}}{Q_{bb}} = \frac{\dot{m}_u(h_u - h_a)}{\dot{m}_{bb} \cdot LHV} \dots\dots\dots (7)$$

(Sumber: Pesawat-pesawat Konversi Energi I – Ir. Syamsir A. Muin)

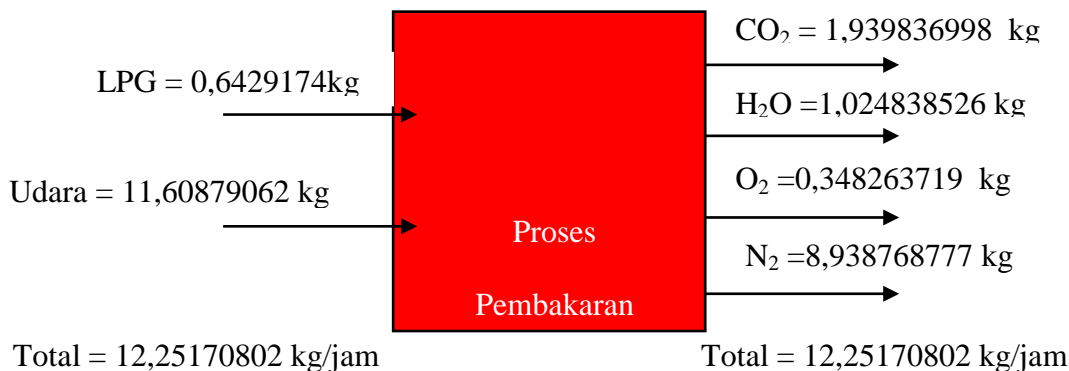
$$\dot{m}_{bb} = \frac{\dot{m}_u(h_u - h_a)}{\eta_B \cdot LHV}$$

$$\dot{m}_{bb} = \frac{8}{0,7 \times 46454,31} (2739 - 125,7)$$

= 0,000178588 kg/dtk  
 = 0,6429174 kg/jam

2. Kebutuhan Udara Stoikiometri dengan udara berlebih

Berdasarkan teori udara stoikiometri diperoleh kebutuhan udara sebagai berikut:



Gambar 6. Kesetimbangan/Balance dengan Jumlah Udara Aktual  
 Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020

3. Temperatur Pembakaran

Temperatur pembakaran teoritis dapat diperoleh dari persamaan kesetimbangan energi dalam dapur nyala api.

Persamaan kesetimbangan energi sebagai berikut:

$$\sum_j n_j (Q'_0)_j = \sum_i \frac{m_i}{MW_i} (\bar{C}_p)_{m,i} (T_{exit} - T_0) - \frac{m_a}{MW_a} (\bar{C}_p)_{m,a} (T_a - T_0) \dots \dots \dots (8)$$

(Sumber: Modern Power Plant Engineering – Joel Weisman & L. E. Eckart)

Tabel 3. Panas spesifik molal rata-rata untuk berbagai gas umum yang terkandung dalam produk pembakaran (relatif ke-0 oC) [Modern Power Plant Engineering, Joel Weisman & L. E. Eckart]

| Komponen Gas   | $(\bar{C}_p)_m^b$   |
|--|---|
| H <sub>2</sub> O   | $(\bar{C}_p)_{m,i} = 8.361 + 4.92 \times 10^{-4}T' + 4.46 \times 10^{-7}(T')^2$ |
| CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , dan gas-gas triatomik lain | $(\bar{C}_p)_{m,i} = 9.082 + 2.4 \times 10^{-3}T' - 2.77 \times 10^{-7}(T')^2$  |
| N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , CO dan gas-gas diatomik lain | $(\bar{C}_p)_{m,i} = 6.935 + 3.38 \times 10^{-4}T' + 0.43 \times 10^{-7}(T')^2$ |

Maka diperoleh temperature Pembakaran sebesar 1910,337478 °C

Kapasitas panas pembakaran bahan bakar LPG adalah suplai panas terhadap boiler atau ketel uap untuk setiap jam berdasarkan persamaan (7) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{bb} &= \dot{m}_{bb} \cdot LHV \cdot \eta_f \\ \dot{Q}_{bb} &= 0,6429174 \text{ kg/jam} \times 46454,31 \text{ kJ/kg} \\ &= 29866,284204 \text{ kJ/jam} \\ &= 8296,19 \text{ J/dtk} \\ &= 8296,19 \text{ W} \end{aligned}$$

Jadi diambil efisiensi dapur 0,9, maka besar panas meninggalkan dapur sebesar

$$\begin{aligned} &= 29866,284204 \text{ kJ/jam} \times 0,9 \\ &= 26879,6557836 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

Maka temperatur gas asap meninggalkan ruang bakar atau dapur dan masuk ke dalam lorong api dapat dihitung dari persamaan (2) sebagai berikut.

$$\dot{Q}_l = \dot{m}_g \cdot C_{Pg} \cdot T_g$$

dimana:

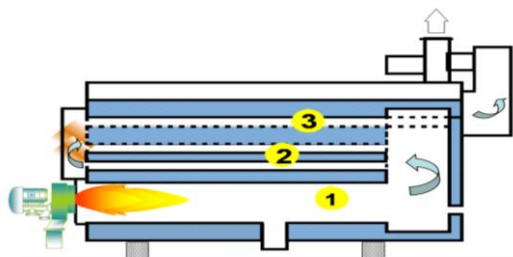
$$\begin{aligned} \dot{m}_g &= \text{Laju aliran massa gas asap (kg/jam)} \\ &= 12,25170802 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{Pg} &= \text{Dari sifat udara (sama dengan sifat gas)} \\ &= 1,307 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C (pada temperatur } 1910^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

Jadi,  $26879,6557836 \text{ kJ/jam} = 12,25170802 \text{ kg/jam} \times 1,307 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times T$

$$\begin{aligned} T &= \frac{26879,6557836 \text{ kJ/jam}}{12,25170802 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 1,307 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}} \\ &= 1678,616459 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

4. Ukuran ukuran Perancangan



Gambar 7 Rangkaian Laluan Ketel  
Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2020



- a. Pipa Saluran api (Laluan I)  
Pipa saluran api ditetapkan  $D = 2,54$  cm,  $L = 0,5$  m  
Bahan Baja Karbon
- b. Pipa Laluan II dan III  
Ditetapkan pipa laluan II sebesar  $\frac{1}{2}$  “,  $L = 0,5$  m dan bahan baja karbon sebanyak tiga buah  
Laluan III sebesar  $\frac{1}{2}$ ” ,  $L = 0,5$  m bahan baja karbon sebanyak empat buah
- c. Drum Ketel  
 $D = 25$  cm  
 $L = 0,6$  m  
Baja Karbon
- d. Pipa gas Asap  
 $D = \frac{3}{4}$  “  
 $L = 1$  m

5. Gambar Komponen *Boiler*



Gambar 7. Komponen Komponen *Boiler*

Sumber: Dokumentasi Penulis

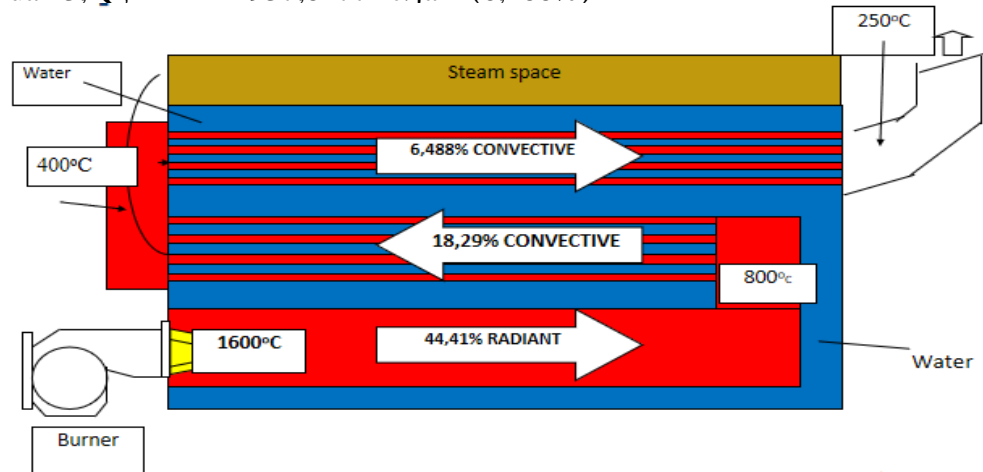


Gambar 8 Rangkaian Pengujian *Boiler*

Sumber: Dokumentasi Penulis, 2020

Perpindahan panas pada masing-masing laluan digambarkan dalam gambar skematis di bawah ini dengan beban panas: 29866,284204 kJ/jam

- Laluan 1,  $Q_1$  = 13263,65 kJ/jam (44,41%)
- Laluan 2,  $Q_2$  = 5463,683496 kJ/jam (18,29%)
- Laluan 3,  $Q_3$  = 1937,8477 kJ/jam (6,488%)



Gambar 9. Skematis Perpindahan Panas Pada Boiler  
Sumber: dokumentasi Pribadi

Tabel 2 Hasil Pengujian Alat

| Waktu                   | Konsumsi Bahan Bakar (kg / Jam) | Massa Air Kondensat (kg/ Jam) | Tekanan (Bar) | Temperature Gas Buang ( °C) |
|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------|-----------------------------|
| 60 Menit (11.30-12.30)  | 0,7                             | 6,5                           | 3,2           | 255                         |
| 60 menit (12.30-13.30)  | 0,65                            | 6,8                           | 3,1           | 250                         |
| 60 menit (14.30 -15.30) | 0,6                             | 6,5                           | 3             | 250                         |
| 60 menit (15.30 -16.30) | 0,6                             | 7                             | 3             | 260                         |
| 60 menit (16.30 -17.30) | 0,6                             | 7,3                           | 2,9           | 255                         |
| Rata-Rata               | 0,63                            | 6,92                          | 3,04          | 254                         |

Tempratur air Umpan = 28 ° C

LHV LPG = 46454,31 kJ/kg (Pertamina,2011)

Diperoleh rata rata data sebagai berikut:

$T_a$  = 30 °C

$P$  = 3 Bar,  $T_s$  = 133,5°C

$\dot{m}_{bb}$  = 0,63 kg/jam

$\dot{m}_u$  = 6,92 kg/jam

- a. Energi Entalpi Air Umpan ( $h_a$ )  
 $h_a \rightarrow T = 28$  °C

Dari Tabel A.4 ( M M Wakil, ) diperoleh,  $h_a = 117,35$  kJ/kg

- b. Energi Entalphi Uap ( $h_u$ )

$P = 3$  Bar ,  $T_s = 133,5$ °C

Dari Tabel A.4 Diperoleh,  $h_u = 2725$  kJ/kg

- c. Energi Penguapan ( $\dot{Q}_{out}$ )
- $$\begin{aligned}\dot{Q}_{out} &= \dot{m}_u (h_u - h_a) \\ &= 6,92 \text{ kg/jam} (2725 \text{ kJ/kg} - 117,35 \text{ kJ/kg}) \\ &= 18044,938 \text{ kJ/kg jam}\end{aligned}$$
- d. Kalor Pembakaran
- $$\begin{aligned}\dot{Q}_{in} &= \dot{m}_{bb} \cdot LHV \\ &= 0,63 \text{ kg/jam} \cdot 46454,31 \text{ kJ / kg} \\ &= 29266,209 \text{ kJ/kg jam}\end{aligned}$$
- e. Effisiensi ( $\eta$ )
- $$\begin{aligned}\eta &= \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{18044,938 \text{ kJ/kg jam}}{29266,209 \text{ kJ/kgjam}} \times 100 \% = 61,65 \%\end{aligned}$$
- Sehingga didapatkan effisiensi *boiler* sebesar 61,65 %

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Uap aktual yang dihasilkan dari *Mini Boiler* ini sebesar 6,92 kg/jam;
2. Bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap sebanyak 6,92 kg/jam dengan tekanan rata rata 3,04 bar dan temperatur rata rata gas buang 254°C adalah sebesar 0.6429174 kg/jam;
3. untuk jumlah LPG sebanyak 0,6429174 kg dibutuhkan jumlah udara pembakaran (untuk stoikiometrik teoritis) sebesar 10,09460054 kg;
4. Effisiensi *thermal* ketel uap adalah sebesar 61,65%.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cristin Pakpahan, B. H., 2019, *Analisis Performansi Boiler Jenis Pipa Air Merk Takuma Dengan Tekanan Kerja 24 Bar Dan Kapasitas 45 Ton/Jam Di PT Multimas Nabati Asahan*, Medan: Politeknik Negeri Medan.
- Syamsir, Muin, 2016, *Pesawat-Pesawat Konversi I (Ketel Uap)*, Jakarta: CV Rajawali.
- Weisman, Joel & Eckart, Roy. 1985, *Modern Power Plant Engineering*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- Holman J. P. 1989, *Heat Transfer*. 5<sup>th</sup> Edition. Mc-Graw Hill,Ltd. *Thermodynamics*. Mc-Graw Hill,Ltd.