



PURWARUPA MINIATUR *WATER TUBE BOILER* MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR GAS KAPASITAS UAP 20 KG/JAM

Desi Aratri Damanik^a, Jhon Kevin Simanjuntak^a, Hans Handika Sinaga^a, Kevin Ananda Simangunsong^a, Laura Claudia Silitonga^a, Rufinus Nainggolan^a, Husin Ibrahim^a, Munawar Alfansuri^b

^aProgram Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara 20155

^bTeknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, 20238 Medan, Indonesia

E-mail: desidamanik@students.polmed.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 6 Juni 2022

Direvisi pada 8 Juli 2022

Disetujui pada 26 Juli 2022

Tersedia daring pada 15 Agustus 2022

Kata kunci:

Boiler, Uap, Energi Panas, *Liqified*

Petroleum Gas

Keywords:

Boiler, *Steam*, *Thermal Energy*, *Liqified*

Petroleum Gas

ABSTRAK

Boiler adalah suatu bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap. Uap dihasilkan dengan cara air yang berada di dalam bejana dipanaskan dengan bahan bakar. *Boiler* berfungsi sebagai pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas. Bejana bertekanan pada boiler umumnya menggunakan bahan baja dengan spesifikasi tertentu yang telah ditentukan dalam standard ASME (*The ASME code boilers*), terutama untuk penggunaan boiler pada industri-industri besar. Spesifikasi mini boiler pipa air yang dirancang dengan menggunakan bahan bakar *liqified petroleum gas* (LPG), kapasitas uap 20 kg/jam, tekanan uap 3 bar_g (jenuh saturasi) dengan nilai kalor LPG (LHV) 47046 kJ/kg (PERTAMINA). Dari hasil perhitungan secara langsung diketahui jenis boiler mini pipa air berbahan bakar LPG, jumlah uap yang dihasilkan 14,6 kg/jam. Bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap dengan tekanan uap 3 bar_g yang dijaga konstan dan temperatur gas buang 245,72°C adalah sebesar 1,24 kg/jam. Jumlah energi panas yang masuk ke *boiler* dari hasil pembakaran (*Q_{in}*) adalah sebesar 58337,04 kJ/kgjam dan jumlah energi panas yang diserap air umpan sampai terbentuknya uap dalam *boiler* (*Q_{out}*) adalah sebesar 38262,95 kJ/kgjam. Sehingga efisiensi *boiler* adalah sebesar 65,58%.

ABSTRACT

*Steam boiler or steam boiler is a closed vessel used to produce steam. Steam is produced by heating the water in the vessel with fuel. The boiler function as an energy conversion machine that converts chemistry energy from fuel into heat energy. Pressure vessels in boilers generally use steel with certain specifications that have been determined in the ASME standard (The ASME code boilers), especially for the use of boilers in large industrial industries. Mini water pipe boiler specifications designed using liqified Petroleum Gas (LPG) fuel, steam capacity 20 kg/hour, steam pressure 3 bar_g (saturated saturation) with a calorific value of LPG (LHV) 47046 kJ/kg (PERTAMINA). From the direct calculation, it is known that the type of mini water pipe boiler with LPG fuel is known, the amount of steam produced is 14,6 kg/hour. The fuel needed to produce steam with a steam pressure of 3 bar which is kept constant and an exhaust gas temperature of 245.72°C is 1,24 kg/hour. The amount of heat energy that enters the boiler from the combustion (*Q_{in}*) is 58337,04 kJ/kghour and the amount of heat energy absorbed by the feed water until steam is formed in the boiler (*Q_{out}*) is 38262,95kJ/kghour. Therefore, it can be efficiency of the boiler is 65,58%.*

1. PENGANTAR

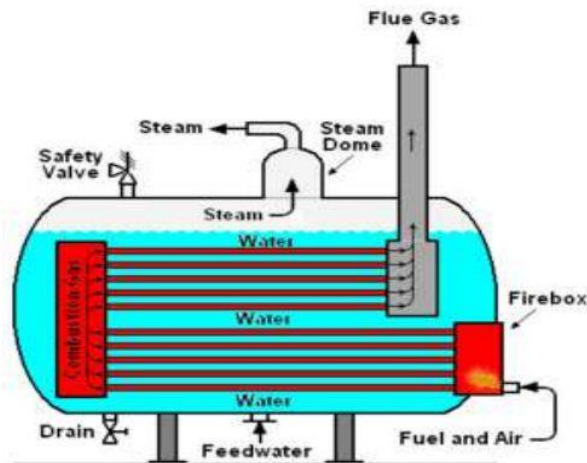
Boiler menggunakan bahan bakar minyak (BBM), bahan bakar gas (BBG), batubara dan menggunakan bahan bakar berupa limbah industri (Syamsir Muin, 2010). *Boiler* merupakan bejana tertutup yang di dalam nya berisi air untuk dipanaskan. Bejana bertekanan pada *boiler* menggunakan bahan baja dengan spesifikasi dalam standar *American Society of Mechanical Engineers/ASME* (Mohammad Malek, 2015). Dalam perkembangan *boiler* banyak di gunakan dalam industri, baik dalam industri skala besar, industri skala kecil, rumah sakit dan sektor lainnya. Pada industri skala besar *boiler* digunakan untuk menghasilkan energi listrik yang menjadi kebutuhan pokok masyarakat maupun pada proses produksi industri tersebut. Pada industri skala kecil *boiler* digunakan pada proses produksi tahu, jasa *laundry* dan garmen. Uap (*steam*) yang dihasilkan *boiler* digunakan pada sterilisasi peralatan medis dan ruangan pasien (Josua Rudianto Manalu, 2019). Pemanfaatan mini water tube boiler di industri kecil dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi bahan bakar pemanasan air dimana uapnya akan digunakan industri jasa *laundry*. Bahan bakar menggunakan gas menjadi lebih hemat dibandingkan dengan bahan bakar lainnya seperti minyak solar. Penggunaan bahan bakar gas yang dicanangkan oleh pemerintah sebagai kombinasi pengganti bahan bakar minyak yang memiliki harga kompetitif dan mudah dijangkau oleh masyarakat.

1.1. Boiler

Boiler berasal dari kata “*boil*” yang berarti mendidih dan menguap, sehingga *boiler* dikatakan pesawat penghasil uap dan proses pendidihan air karena pemberian panas secara terus menerus. Secara ilmiah *boiler* dapat dikatakan sebagai suatu alat yang dapat mengkonversikan energi kimia yang terdapat pada bahan bakar menjadi energi panas yang dapat mengubah air menjadi uap air karena energi panas yang dihasilkan (Beauty Pakpahan dkk, 2019). Uap yang dihasilkan dari boiler digunakan untuk berbagai proses dalam aplikasi industri, seperti penggerak dan pemanas. *Boiler* umumnya diklasifikasikan ke dalam dua kelompok, yaitu *boiler* pipa api (*fire tube boiler*) dan *boiler* pipa air (*water tube boiler*) (Monika Gultom dkk, 2019, Istianto Budhi Rahardja dkk., 2021).

1.1.1 Boiler Pipa Api (Fire Tube Boiler)

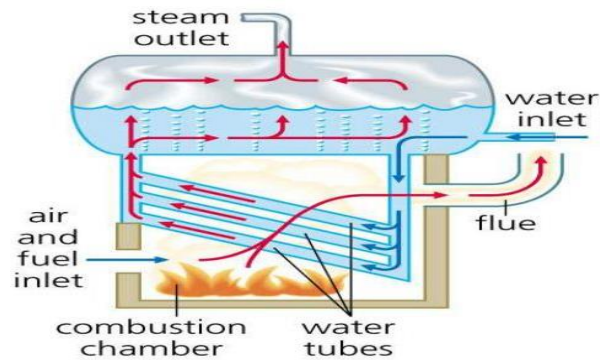
Boiler pipa api menggunakan gas panas hasil pembakaran (*flue gas*) mengalir melewati pipa-pipa yang dibagian luarnya diselimiti air sehingga terjadi perpindahan panas dari gas panas ke air dan air berubah menjadi uap. Kekurangan dari *boiler* pipa api adalah tekanan uap tidak dapat dibuat terlampau tinggi karena ketebalan drum akan sedemikian tebalnya sehingga tidak menguntungkan. Ruang untuk pipa pipa pemanasnya pun terbatas (Soedjono Hartanto, 2018, Syamsir Muin, 2010). Gambar 1 menunjukkan gambar dari *boiler* pipa api.



Gambar 1: Boiler pipa api (Syamsir Muin, 2010).

1.1.2 Boiler Pipa Air (Water Tube Boiler)

Water tube boiler menggunakan air berada didalam pipa sedangkan gas panas berada diluar pipa. *Boiler* pipa air dapat beroperasi dengan tekanan sangat tinggi sesuai desain (lebih dari 100 Bar) (Soedjono Hartanto, 2018, Syamsir Muin, 2010). Gambar 2.2 menunjukkan gambar dari boiler uap pipa air.



Gambar 2: Boiler Pipa Air (Syamsir Muin, 2010)

1.2. Prinsip Kerja Boiler

Dengan kapasitas yang jauh lebih besar. Dalam boiler pipa air akan diubah menjadi uap. Panas diserap air dalam boiler dan uap dihasilkan secara berkelanjutan. 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 *aerator* 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 (Josua Rudianto Manalu, 2019, Soedjono Hartanto, 2018, Vikki Okta Eka Prastiyo, 2014).

1.3. Perpindahan Panas Pada Boiler

Perpindahan panas radiasi atau hantaran kalor (*heat transfer*) pada dapur boiler merupakan sumber panas yakni pembakaran suatu bahan bakar terhadap bidang permukaan pemanas (*heating surface*) secara pancaran dan rambatan radiasi dan konduksi. Permukaan bidang perpindahan panas konduksi dihantar kepada air boiler secara perpindahan panas konveksi (Himsar Ambarita, 2017). Hantaran panas secara rambatan konduksi dari sebagian panas kecil sekali menyebabkan perhitungan hantaran kalor dalam dapur boiler biasa secara konduksi atau rambatan diabaikan. Pada boiler terdapat perpindahan panas atau hantaran kalor (*heat transfer*) berlangsung dalam tiga cara yaitu (Himsar Ambarita, 2011):

1. Perpindahan panas secara rambatan (konduksi)
2. Perpindahan panas secara aliran (konveksi)
3. Perpindahan panas secara pancaran (radiasi)

2. METODE

2.1 Perancangan Miniatur Water Tube Boiler

Perancangan dimulai dengan perhitungan jumlah kebutuhan bahan bakar LPG pada kondisi spesifikasi *water tube boiler* mini, yaitu pada kapasitas 20 kg/jam dan tekanan uap adalah 3 bar_{abs}. Penentuan besar perpindahan panas terhadap *fire tube boiler* dengan menggunakan luas bidang permukaan perpindahan panas atau dimensi ukuran *water tube boiler* tersebut.

2.2 Parameter Miniatur Water Tube Boiler

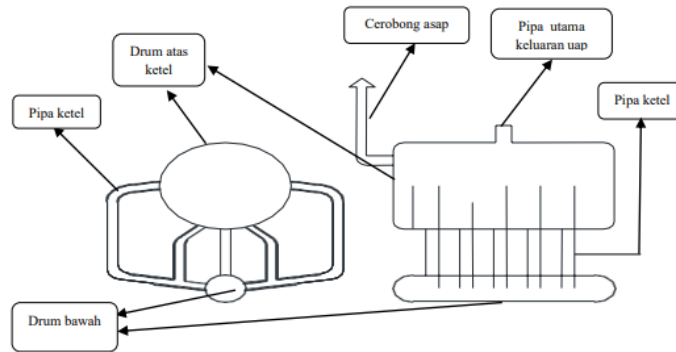
Pengukuran dan pengamatan parameter miniatur *water tube boiler* terdapat pada tabel 1

Tabel 1: Parameter Pengukuran dan Pengujian

Parameter Pengukuran dan Pengujian
Kapasitas Uap Keluaran
Penggunaan bahan bakar
Temperatur air umpan
Temperatur uap pada 3barg
Temperatur gas asap
Nilai kalor bahan bakar rendah

2.3 Rancangan Miniatur Boiler Pipa Air

Rancangan dan parameter miniatur *water tube boiler* memiliki kondisi tekanan yang ditetapkan. Gambar 4 menunjukkan rancangan skematik *water tube boiler* dan tabel 2 komponen miniatur *water tube boiler*.



Gambar 4: Rancangan Skematis Water Tube Boiler
Tabel 2: Komponen Miniatur Water Tube Boiler

Nama Komponen Boiler	Ukuran Komponen Miniatur Boiler
Drum Boiler Atas dan Bawah	Merupakan sebagai tempat penampungan air panas serta terbentuknya uap. Diameter drum atas boiler = 0,254 m, diameter drum boiler bawah = 0,0762 m
Pipa Boiler	Merupakan tempat memanaskan dan menaikkan temperatur air boiler, D = 0,0508 m
Pipa Utama	Sebagai tempat keluarnya uap yang dihasilkan oleh boiler, D = 0,0508 m
Cerobong Asap	Saluran gas buang atau tarikan gas asap , D = 0,0508 m

2.4 Desain dan Pembuatan Komponen Komponen Miniatur Water Tube Boiler

Metode yang pengujian operasi boiler pipa air mini menggunakan lembar kerja atau *log sheet* yang digunakan pada proses pengolahan analisis performansi atau kinerja boiler uap. Variabel yang ditentukan pada kondisi normal untuk menghitung kemampuan boiler atau efisiensi boiler tersebut sebagai berikut:

1. Konsumsi bahan bakar per jam
2. Tekanan dalam boiler
3. Temperatur air umpan
4. Waktu pengoperasian

Adapun komponen-komponen miniatur *water tube boiler* yang dirancang sesuai dengan ketentuan ditunjukkan pada gambar 5



Gambar 5: Komponen Komponen Miniatur Water Tube Boiler

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Spesifikasi Miniatur Water Tube Boiler

Spesifikasi miniatur *water tube boiler* dirancang ditunjukkan pada tabel 3 dan miniatur *water tube boiler* kapasitas 20 kg/jam uap pada gambar 6.

Tabel 3: Sfesifikasi Miniatur *Boiler* Pipa Air

Komponen Boiler	Spesifikasi
Kapasitas Uap	20 kg/jam
Tekanan Uap	3 Bar _g (Jenuh Satuasi)
Bahan Bakar	LPG
Nilai Kalor LPG,HHV	47046 Kj/kg
Kondisi Suplai Air	30 °C
Efisiensi <i>Boiler</i>	70% (Ditetapkan)



Gambar 6: Miniatur *water tube boiler* kapasitas 20 kg/jam uap

3.2 Kebutuhan Bahan Bakar

Spesifikasi *boiler* diperoleh jumlah konsumsi bahan bakar pembakaran berdasarkan persamaan 1 (Soedjono Hartanto, 2018, Syamsir Muin, 2010):

$$\eta_B = \frac{Q_{eva}}{Q_{bb}} = \frac{\dot{m}_u (h_u - h_a)}{\dot{m}_{bb} \times HHV} \quad (1)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \text{Tekanan uap,} & \quad p = 3 \text{ bar}_g, \\ \text{Tekanan absolut,} & \quad p = 3 + 1 \text{ bar} \\ & \quad P = 4 \text{ bar}_{abs}. \end{aligned}$$

Besaran entalpi spesifik pada tekanan 4 bar_{abs}

$$\text{Kondisi saturasi atau kondisi teoritis ideal} = h_u = h_g = 2739 \text{ kJ/kg}$$

Temperatur suplai air umpan boiler pada temperatur normal pada 30 °C

$$\text{Entalpi spesifiknya} = h_a = h_f = 125,7 \text{ kJ/kg}$$

Kapasitas uap yang dihasilkan *boiler* adalah :

$$\dot{Q}_{uap} = \frac{20 \text{ kg}}{3600 \text{ dtk}}$$

Maka dari persamaan 1 diperoleh

$$\dot{m}_{bb} = \frac{20}{3600} (2739 - 125,7)$$

$$\dot{m}_{bb} = 0,00044 \text{ kg/detik}$$

$$\dot{m}_{bb} = 1,5852 \text{ kg/jam}$$

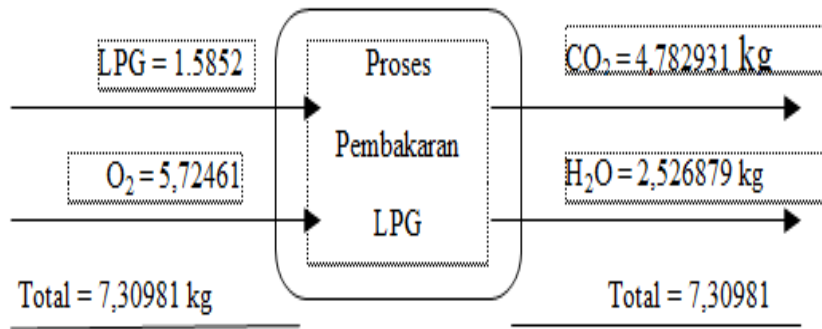
3.3 Pembakaran Stoikiometrik

Jadi untuk pembakaran bahan bakar LPG sebanyak 1,5852 kg/jam, maka jumlah masing-masing reaktan dan produk-produk pembakaran adalah

1. Bahan bakar LPG = 1,5852 kg
2. Oksigen O₂ = 2,882182 + 2,842428

- = 5,72461 kg
- 3. Karbondioksida CO₂ = 2,3778 + 2,405131
= 4,782931 kg
- 4. Air H₂O = 1,296982 + 1,229897
= 2,526879 kg

Kesetimbangan massa sebelum dan sesudah pembakaran dapat ditunjukkan pada gambar 7



Gambar 7: Reaksi Kesetimbangan Gas Bakar

3.4 Temperatur Pembakaran

Temperatur pembakaran teoritis dapat diperoleh dari persamaan kesetimbangan energi dalam dapur nyala api. Kesetimbangan energi dapat menggunakan persamaan 2 (Rachmat Subagyo, 2018, Syamsir Muin, 2010).

$$\sum_j n_j (Q'_0)_j = \sum_i \frac{m_i}{MW_i} (\bar{C}_p)_{m,i} (T_{exit} - T_0) - \frac{m_a}{MW_a} (\bar{C}_p)_{m,a} (T_a - T_0) \tag{2}$$

Dimana :

- Q'₀ = Panas pembakaran masing-masing komponen bahan bakar per kg (kJ)
- (\bar{C}_p)_{m,i} = Panas spesifik molal rata-rata produk *i* antara T₀ dan T_{keluar} (kJ/kmol.°C)
- (\bar{C}_p)_{m,a} = Panas spesifik molal rata-rata udara antara T_{udara} dan T₀ (kJ/kmol.°C)
- m_a = Massa udara yang ditambahkan dengan m_f kilogram bahan bakar (kg)
- m_i = Massa komponen *i* yang ada dalam produk gas per m_f kilogram bahan bakar (kg)
- MW_a, MW_i = Berat molekular dari bahan bakar, udara dan komponen *i* berturut-turut (kmol)

Untuk panas spesifik molal rata-rata disajikan pada tabel 4.

Tabel 4: Panas Spesifik Molal Rata – Rata

Komponen Bahan Bakar	Persamaan
Gas	(\bar{C}_p) _m ^b
H ₂ O	(\bar{C}_p) _{m,i} = 8.361 + 4.92 × 10 ⁻⁴ T' + 4.46 × 10 ⁻⁷ (T') ²
CO ₂ , SO ₂ , dan gas-gas triatomik lain	(\bar{C}_p) _{m,i} = 9.082 + 2.4 × 10 ⁻³ T' - 2.77 × 10 ⁻⁷ (T') ²
N ₂ , O ₂ , CO dan gas-gas diatomik lain	(\bar{C}_p) _{m,i} = 6.935 + 3.38 × 10 ⁻⁴ T' + 0.43 × 10 ⁻⁷ (T') ²

3.5 Hasil Pengujian Miniatur Water Tube Boiler

Hasil pengujian miniatur *water tube boiler* terdapat pada tabel 5

Tabel 5: Data Hasil Pengujian

Waktu Pengoperasian	Temp Air (°C)	Tekanan Uap (Bar _g)	Konsumsi LPG (kg)	Jumlah Kondensat (kg)	Temperatur Gas Buang (°C)
14.00	28	2,98	1,3	14,1	231
15.00	28	2,94	1,26	14,6	239
16.00	28	2,99	1,11	14,4	247,8
17.00	28	2,95	1,2	14,8	255,6
18.00	28	2,98	1,36	15,1	255,2
Rata-rata	28	2,97	1,24	14,6	245,72

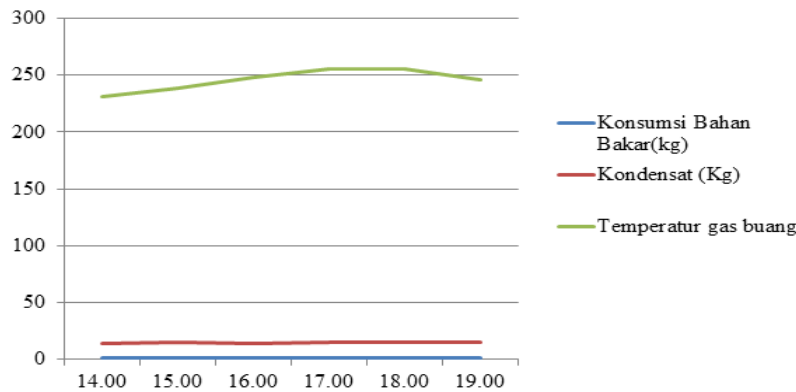
- Temperatur air umpan = 28°C
- LHV LPG = 47044,27 KJ/kg
- T_a = 28 °C
- P = 3 Bar_g = 4 Bar_{abs}, T_s = 143,6°C
- m_{bb} = 1,24 kg/jam

$$\dot{m}_u = 14,6 \text{ kg/jam}$$

Hasil perhitungan dari pengujian miniatur *water tube boiler* sebagai berikut:

- Energi Entalpi Air Umpan (h_a)
 $T = 28 \text{ }^\circ\text{C}$
 $h_a = 117,35 \text{ kJ/kg}$
- Energi Entalpi Uap (h_u)
 $P = 4 \text{ Bar}_{abs}$, $T_s = 143,6^\circ\text{C}$
 $h_u = 2738,1 \text{ kJ/kg}$
- Energi Penguapan (Q_{out})
 $\dot{Q}_{out} = \dot{m}_u (h_u - h_a)$
 $\dot{Q}_{out} = 14,6 \text{ kg/jam} (2738,1 \text{ kJ/kg} - 117,35 \text{ kJ/kg})$
 $\dot{Q}_{out} = 38262,95 \text{ kJ/kg jam}$
- Kalor Pembakaran
 $\dot{Q}_{in} = \dot{m}_{bb} \cdot \text{LHV}$
 $\dot{Q}_{in} = 1,24 \text{ kg/jam} \times 47046 \text{ kJ / kg}$
 $\dot{Q}_{in} = 58337,04 \text{ kJ/kg jam}$
- Effisiensi (η)
 $\eta = \frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{Q}_{in}} \times 100\%$
 $\eta = \frac{38262,95 \text{ kJ/kgJam}}{58337,04 \text{ kJ/kg Jam}}$
 $\eta = 65,58\%$

Perbandingan waktu vs konsumsi bahan bakar LPG, produksi uap, dan temperatur gas buang yang digunakan dalam pengujian miniatur *water tube boiler* dapat dilihat pada gambar 8



Gambar 8: Grafik Data Percobaan

3.6 Pembahasan

Miniatur *boiler* pipa air menggunakan bahan bakar LPG dan ditetapkan dengan kapasitas uap 20 kg/jam, tekanan uap 3 bar_g (jenuh saturasi) dengan nilai kalor LPG (LHV) 47046 kJ/kg. Hasil perhitungan secara langsung diketahui jenis miniatur *water tube boiler* berbahan bakar LPG dengan jumlah uap yang dihasilkan 14,6 kg/jam. Bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap dengan tekanan uap 3 barg yang dijaga konstan dan temperatur gas buang 245,72°C adalah sebesar 1,24 kg/jam. Jumlah energi panas yang masuk ke boiler dari hasil pembakaran (Q_{in}) adalah sebesar 58337,04 kJ/kg jam dan jumlah energi panas yang diserap air umpan sampai terbentuknya uap dalam boiler (Q_{out}) adalah sebesar 38262,95 kJ/kgjam. Efisiensi *boiler* adalah sebesar 65,58%. Parameter *boiler* tergantung pada konsumsi bahan bakar, jumlah suplai panas pembakaran, energi dan penguapan, dan kalor pembakaran sangat berpengaruh terhadap efisiensi *boiler* (Josua Rudianto Manalu, 2019, Beauty Pakpahan dkk, 2019, Monika Gultom dkk, 2019).

4. KESIMPULAN

Miniatur *water tube boiler* memiliki kapasitas produksi uap tergantung permukaan bidang perpindahan panas lebih kecil dan perlu penambahan pipa-pipa air. Miniatur *boiler* pipa air ini terjadi tiga jenis perpindahan panas yaitu, radiasi pada gelombang panas dari hasil pembakaran bahan bakar, konduksi yang terjadi antara pipa air bagian luar dan pipa air bagian dalam dan konveksi yang terjadi pada pipa air bagian dalam dengan fluida kerja yaitu air. Penggunaan bahan bakar gas memiliki efisiensi yang dapat mengurangi losses panas ke lingkungan sehingga panas yang diperlukan untuk memanaskan air menjadi maksimal dan tersedor semua kedalam boiler. Purwarupa miniatur *water tube boiler* berguna untuk meningkatkan wawasan dan pengetahuan tentang *boiler* bagi pembuat *laundry* baju khususnya UMKM yang memberikan manfaat bagi masyarakat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan rasa syukur karena berkat dan rahmat yang maha kuasa penulis dapat menyelesaikan artikel ini, serta terima kasih yang sedalamnya karena dukungan finansial yang diberikan oleh Direktorat Akademik Pendidikan Tinggi Vokasi Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi melalui Pusat Penelitian Pengabdian Masyarakat, Politeknik Negeri Medan dan Jurusan Teknik Mesin POLMED.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarita, H. (2011). Perpindahan Panas Konveksi dan Pengantar ALat Penukar Kalor. *Jurnal Perpindahan Panas* 9, 1-10.
- Ambarita, H. (2017). *Perpindahan Panas Dan Massa*. Malang. Intelegensia Media.
- Gultom, M., Dhea & Christina. (2019). Audit Energi Pada Boiler Berbahan Bakar Cangkang dan Serabut dengan Kapasitas 20 ton/jam di PKS Pagar Merbau diakses pada 2 Oktober 2021 dari <http://library.polmed.ac.id>.
- Handoyo, J.J. (2015). *Ketel Uap Turbin Uap & Turbin Gas Penggerak Utama Kapal ATT III Edisi 3*. Jakarta. DJangkar
- Hartanto. S.H., (2018). *Cara Kerja Ketel Uap*. Jakarta. CV. Titian Ilmu.
- Hermanto. (2017). Modifikasi Steam Boiler Pada Alat Sterilisasi Untuk Minimasi Kontaminan Mikroba Media Tumbuh Jamur (Baglog). *Jurnal Riset Teknologi Industri* 11, 131-138
- Malek, M.A. (2015). *Power Boiler Design, Inspection, and Repair: Per ASME Boiler and Pressure (McGraw-Hill Professional Engineering) 1st Edition*. New York. McGraw-Hill.
- Manalu, J.R. (2019) *Rancang Bangun Ketel Pipa Api Mini Kapasitas 8kg/jam Dengan Tekanan 4 Bar* diakses pada 25 September 2021 dari <http://library.polmed.ac.id>.
- Muin, S. (2010). *Pesawat-Pesawat Konversi I (Ketel Uap)*, Jakarta. CV. Rajawali.
- Pakpahan, B., Christina & Hanna. (2019). Analisis Performansi Boiler Jenis Pipa Air Merk Takuma Dengan Tekanan Kerja 24 Bar Dan Kapasitas 45 Ton/Jam Di PT Multimas Nabati Asahan diakses pada 28 September 2021 dari <http://library.polmed.ac.id>.
- Prastiyo, V.O.E. (2014). Rancang Bangun Mini Ketel Uap Kapasitas 30 Liter / 30 Menit Dengan Penggabungan Jenis Pipa Api Dan Jenis Pipa Air. *Simki 1*, 1-8.
- Rahardja, I.B, Mahfud, A., Bawana, P.D. (2021). Pengaruh Penggunaan Boiler 20 Ton Uap/Jam Terhadap Kenaikan Kapasitas Pabrik 40 Ton/Jam Pabrik Minyak Kelapa Sawit (Pmks) XYZ. *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta*. 13, 118-236
- Subagyo, R. (2018). Sistem Pembangkit dan Turbin Uap HMKB760 diakses pada 20 Oktober 2021 dari <https://mesin.ulm.ac.id/>.