

## Analisa Pengaruh Penambahan Pipa *Economizer* Pada *Boiler* Vertikal Pipa Api Kapasitas 100 Kg/Jam Terhadap Kapasitas Uap Yang Dihasilkan

Aprijal Putra Jaya Gultom<sup>(1)</sup>, Abdul Gafur<sup>(2)</sup> Vebritasari<sup>(3)</sup>  
Jl. Bathin Alam, Sungai Alam, Bengkalis, Riau, Indonesia, 28711  
aprijalputrajayagultom@gmail.com, abdulgafur@polbeng.ac.id

### ABSTRAK

Permasalahan pada *boiler* ini adalah uap yang dihasilkan tidak kontinyu, yaitu tekanan 1 bar dan waktu *steam* kurang lebih 2 menit dan proses pemanasan *boiler* ini juga memakan waktu yang sangat lama yaitu, dari awal membutuhkan waktu kurang lebih 95 menit ketika suhu mencapai 100°C, dibutuhkan lebih banyak bahan bakar oli. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis secara eksperimental, waktu pemanasan, durasi lama steam, konsumsi bahan bakar yang digunakan dan efisiensi yang dihasilkan. Penelitian ini dilakukan dengan 2 variasi yaitu, pengujian *boiler* pipa api dan pengujian *boiler* dengan pipa *economizer*, dilakukan sebanyak 3 kali uji setiap variasi. Lama pemanasan pada uji *boiler* pipa api dilakukan selama 45 menit dan *boiler* dengan penambahan pipa *economizer* 40 menit. Lama uap bertahan pada pengujian *boiler* pipa api pada tekanan 1 bar 1 menit 65 detik, 2 bar 3 menit 1 detik dan tekanan 3 bar 4 menit, dan pengujian dengan penambahan pipa *economizer* pada tekanan 1 bar 1 menit 51 detik, tekanan 2 bar 2 menit 48 detik dan tekanan 3 bar 2 menit 62 detik. Total konsumsi bahan bakar uji *boiler* pipa api hingga tekanan 3 bar membutuhkan 33,2 kg dan pengujian *boiler* dengan *economizer* 29,5 kg. Hasil efisiensi pada variasi *boiler* pipa api pada tekanan 1 bar 66,6%, tekanan 2 bar 59,3% dan tekanan 3 bar 51,6% dan setelah pengujian *boiler* dengan *economizer* efisiensi yang dihasilkan pada tekanan 1 bar 69,8%, tekanan 2 bar 62,4% dan tekanan 3 bar 53,5%.

**Kata kunci:** *boiler* pipa air, *boiler* pipa api, *economizer*, efisiensi *boiler*

### PENDAHULUAN

Permasalahan yang terjadi pada *boiler* ini adalah saat proses destilasi, uap yang dihasilkan tidak *continue* atau terus menerus yaitu pada tekanan 1 bar waktu uap bertahan lebih kurang 2 menit, sehingga proses destilasi serai wangi kurang maksimal. Selain itu, proses pemanasan *boiler* ini juga berlangsung lama yaitu sekitar 95 menit dari awal hingga tercapai suhu 100°C, yang mengakibatkan bahan bakar yang dibutuhkan juga lebih banyak. Beberapa analisa awal untuk menyelesaikan permasalahan diatas adalah menambahkan kan pipa *economizer* sebagai air umpan atau pemanasan awal yang dipanaskan oleh sumber panas dari sisa gas buang pembakaran. Penambahan *economizer* untuk memanaskan air umpan *boiler*. Sebuah alat yang disebut *economizer* digunakan untuk meningkatkan efisiensi *boiler*. *Economizer* memanaskan air pengisi *boiler* dengan menggunakan panas dari sisa gas buang pembakara (Kinsky R, 1989).

*Boiler* yang pernah dibuat di Politeknik Negeri Bengkalis adalah *boiler* vertikal jenis pipa api (**Lampiran 1**). *Boiler* ini dirancang untuk kapasitas 100 kg/jam uap yang dimanfaatkan untuk destilasi serai wangi. *Boiler* ini memiliki 17 buah pipa api dengan diameter 40 mm dengan diameter badan *boiler* 500 mm, (Oktaviani, 2021). Beberapa penelitian tentang penambahan *economizer* telah

dilakukan oleh (Pafh Rizki Nst, 2017) yang melakukan perancangan *economizer* unruk menaikkan efisiensi *boiler* pipa api di laboratium politeknik negeri medan, dengan 7 lilitan maka efisiensi *boiler* meningkat sebesar 14,2%. Selain itu, terjadi penurunan laju aliran bahan bakar sebanyak 5,909 Kg/jam, penghematan energi panas sekitar 22,32%, serta pengurangan biaya penggunaan bahan bakar.

Tujuan dari penelitian ini adalah memasang pipa *economizer* pada *boiler* vertikal pipa api dengan kapasitas *steam* 100 kg/jam uap dan mengetahui pengaruh waktu pemanasan. Tentang berbagai parameter kinerja *boiler*, seperti waktu pemanasan, konsumsi bahan bakar, efisiensi *boiler*. Hasil penelitian diharapkan dapat meningkatkan kapasitas uap yang dihasilkan *boiler* agar dapat terus menerus menghasilkan uap yang lebih banyak dan memungkinkan penggunaan uap yang dihasilkan secara terus menerus.

### 1. METODE

Penelitian ini akan dilakukan menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimen. Dalam penelitian ini, akan dilakukan variasi dengan menambahkan variabel independen untuk melihat dampaknya terhadap variabel dependen, dengan tujuan untuk menentukan

hubungan sebab-akibat. Data yang dikumpulkan dari uji eksperimental berupa data numerik, yang kemudian akan dianalisis secara statistik untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan. Variabel independen dalam penelitian ini meliputi desain pipa *economizer* dan tekanan. Dengan tekanan yang divariasikan pada 1 bar, 2 bar, dan 3 bar. Variabel dependen yang diukur atau diamati mencakup suhu, konsumsi bahan bakar, efisiensi, waktu pemanasan, dan durasi lama uap bertahan, yang dapat dilihat pada tabel 3. Penelitian ini menggunakan *boiler* vertikal pipa api dengan kapasitas 100 kg/jam uap yang sebelumnya telah dibuat di Politeknik Negeri Bengkalis. Spesifikasi *boiler* yang akan diuji dapat dilihat pada tabel 1 dan desain gambar 1.



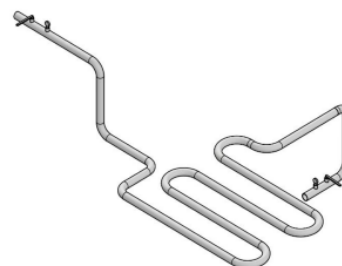
Gambar 1. Boiler vertikal pipa api

Tabel 1. Perancangan boiler vertikal pipa api

Keterangan	
Tipe boiler	: Vertikal fire tube boiler
Diameter badan boiler	: 500 mm
Tinggi badan boiler	: 1200 mm
Diameter pipa api	: 40 mm (jumlah pipa 17 buah)
Tebal plat	: 1,2 mm
Jenis plat yang di gunakan	: Carbon steel bahan SA 285 Grade V ASME section IV
Material pipa	: Seamless carbon steel SA 53 Grade B ASME Section IV
Temperatur operasi	: 100 °C –150°C
Tekanan operasi	: 2 Bar
Bahan bakar	: Oli bekas
Jenis uap	: Uap jenuh

Tabel 1 menampilkan spesifikasi dari boiler vertikal pipa api yang sebelumnya dibuat di Politeknik Negeri Bengkalis. Boiler ini telah melalui beberapa uji coba, di mana hasilnya menunjukkan waktu pemanasan selama 95 menit dan durasi uap yang bertahan sekitar 2 menit saat menggunakan bahan bakar oli bekas. Pada penelitian mendatang, bahan bakar yang digunakan akan diganti dengan kayu, dan pengujian akan dilakukan kembali menggunakan bahan bakar kayu tersebut. Setelah itu, modifikasi akan dilakukan dengan menambahkan pipa air untuk meningkatkan kinerja boiler. Desain awal dari boiler pipa api ini dapat dilihat pada gambar 1.

Metode penelitian ini akan mengikuti beberapa langkah awal yang dirancang untuk memastikan penelitian berjalan secara terstruktur. Penelitian dimulai dengan menguji boiler yang belum dimodifikasi menggunakan beberapa parameter yang telah ditetapkan sebelumnya. Setelah hasil pengujian awal diperoleh, proses modifikasi akan dilanjutkan, dimulai dengan perhitungan spesifikasi pipa *economizer* yang akan digunakan. Desain pipa *economizer* yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 2 dan tabel 2.



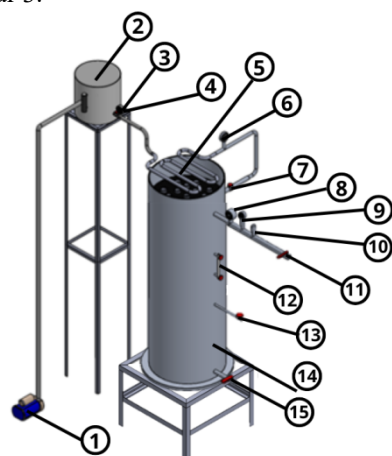
Gambar 2. Pipa economizer

Tabel 2. Perancangan pipa economizer

Tipe pipa economizer	: Horizontal
Panjang pipa economizer	: 1550 mm (jumlah 7 pipa)
Diameter pipa economizer	: 19,05 mm
Tekanan rancangan	: 3 Bar
Temperatur operasi	: 100 °C - 150 °C
Material	: Seamless carbon steel SA 53 Grade B

Setelah itu, desain dibuat menggunakan Autocad Inventor, diikuti dengan penentuan titik-titik parameter yang akan diukur saat pengujian. Setelah desain selesai, persiapan alat dan bahan

dilakukan, kemudian proses fabrikasi dan perakitan ke dalam boiler pipa api yang sudah ada dilakukan. Langkah berikutnya adalah melakukan pengujian, dengan skema pengujian yang ditampilkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Boiler pipa api dengan penambahan pipa economizer

1. Pompa
2. Tandon
3. Thermometer
4. Ball valve
5. Pipa economizer
6. Thermometer
7. Ball valve
8. Manometer
9. Thermometer
10. Safety valve
11. Valve steam
12. Sight glass
13. Valve pengisian air
14. Tabung boiler
15. Valve blowdown

Gambar 3 menunjukkan diagram pengujian yang digunakan dalam eksperimen ini. Eksperimen dilakukan pada tekanan atmosfer. Langkah pertama dalam studi ini adalah menggunakan air sebagai media. Sebelum boiler dioperasikan, semua komponen diperiksa untuk memastikan sudah terpasang dengan aman, dan dilakukan uji kebocoran pada pipa economizer dengan menutup saluran masuk dan keluar. Setiap sambungan pipa air dan pipa economizer diperiksa kebocorannya dengan menggunakan air.

Setelah pengecekan komponen dan kebocoran pipa economizer selesai, air kedalam tabung penampungan air yang kemudian akan mengalir masuk kedalam pipa economizer.

Kemudian air yang berada didalam pipa economizer akan dipanaskan dari sumber panas sisa gas buang pembakaran, setelah suhu air didalam boiler sudah 60°C, kemudian air umpun dialirkan untuk masuk ke dalam tabung boiler, bahan bakar yang digunakan kayu. Kemudian boiler mengalami perpindahan panas secara konveksi dari sumber panas pembakaran. Energi panas dari pembakaran memanaskan air di dalam boiler dan sisa gas buang pembakaran akan memanaskan pipa economizer, ketika suhu air didalam pipa economizer 60°C, kemudian valve keluaran economizer dibuka seinga air dapat mengalir kedalam boiler. Setelah api dinyalakan, waktu pemanasan dihitung menggunakan stopwatch, dimulai dari suhu 0°C hingga mencapai titik didih 100°C.

Seiring dengan perpindahan panas secara konveksi, air di dalam boiler yang mencapai titik didih 100°C akan berubah fase menjadi uap jenuh. Ketika tekanan mencapai 1 bar, katup uap dibuka untuk melepaskan uap jenuh. Waktu bertahannya uap diukur menggunakan stopwatch, dan parameter seperti suhu uap, suhu air boiler, suhu api, suhu gas buang, suhu pipa economizer, suhu air sebelum masuk ke pipa air, dan suhu uap yang keluar dari pipa air dicatat. Proses ini diulangi pada tekanan 2 bar dan 3 bar.

Persamaan laju konduksi dikenal dengan Hukum Fourier (*Fourier Law of Heat Conduction*) tentang konduksi, yang persamaan matematikanya dituliskan sebagai berikut ( Kreith, Frank, 1997).

$$q_{kond} = -k.A. \frac{dT}{dx}$$

Dimna  $Q_k$  = Laju aliran kalor (w),  $K$  adalah konduktivitas termal material pipa (W/m·K),  $A$  adalah luas permukaan pipa (m<sup>2</sup>),  $dT$  adalah perbedaan suhu antara sisi dalam dan luar pipa (K),  $dx$  adalah ketebalan pipa (m).

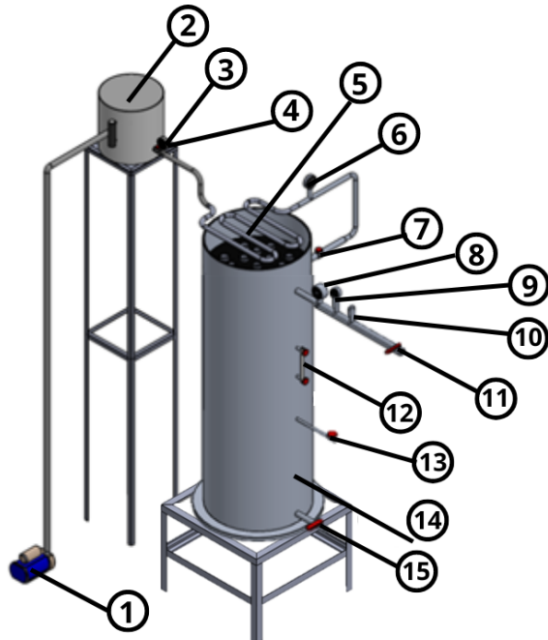
Data yang dikumpulkan dari uji eksperimental berupa data numerik, yang kemudian akan dianalisis secara statistik untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan. Variabel independen dalam penelitian ini meliputi desain pipa economizer dan tekanan. Dengan tekanan yang divariasikan pada 1 bar, 2 bar, dan 3 bar. Variabel dependen yang diukur atau diamati mencakup suhu, konsumsi bahan bakar, efisiensi, waktu pemanasan, dan durasi lama uap bertahan, yang dapat dilihat pada tabel 3.

**Tabel 3.** Parameter

Parameter input		Parameter output	
Variabel tetap	Variabel berubah	Variabel diukur	Variabel dihitung
- Dimensi boiler	- Bahan bakar	- Suhu air (°C)	- Lama pemanasan (Menit)
- Kapasitas boiler	- Pipa economizer	- Suhu uap (°C)	- Lama uap bertahan (Menit)
- Material boiler		- Suhu api (°C)	- W19Konsumsi bahan bakar (Kg)
- Tekanan		- Suhu gas buang (°C)	- Efisiensi (%)
		- Suhu pipa economizer (°C)	

**2. Hasil dan Pembahasan**

Hasil perancangan pipa api telah melalui beberapa perhitungan berdasarkan konsep perpindahan panas. Spesifikasi penambahan pipa *economizer* yang telah dirancang ditampilkan pada tabel 4 dan gambar 4, sementara desain pipa *economizer* ditunjukkan pada gambar 5 dan data perancangan tabel 5.



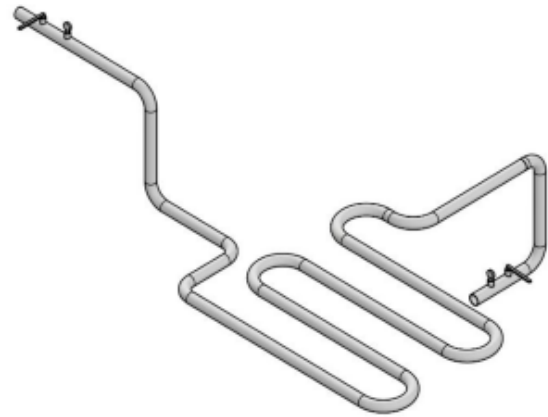
**Gambar 4.** Boiler pipa api dengan penambahan pipa *economizer*

**Tabel 4.** Prancangan boiler pipa api dengan penambahan pipa *economizer*

Keterangan	
Tipe boiler	: Boiler vertikal pipa api dengan penambahan pipa <i>economizer</i>
Kapasitas	: 100 kg/jam
Jenis uap	: Uap jenuh
Tekanan operasi	: 100°C - 150°C
Janis bahan bakar	: Kayu
Tinggi boiler	: 1120 mm = 112 cm
Diameter pipa	: 40 mm (jumlah 17 pipa)
Panjang pipa <i>economizer</i>	: 1550 mm (jumlah 5 pipa)
Diameter pipa <i>economizer</i>	: 19,05 mm
Ketebalan	: 2,7 mm
Material	: Pipa <i>seamless carbon stell SA 53 Grade B</i>

**2.1 Data Perancangan Pipa Economizer**

Desain pipa *economizer* yang akan dirancang didasarkan pada data dari literatur. Spesifikasi untuk perancangan pipa *economizer* adalah sebagai berikut:



**Gambar 5.** Pipa *economizer*

**Tabel 5.** Perancangan pipa *economizer*

Tipe pipa <i>economizer</i>	: Horizontal
Panjang pipa <i>economizer</i>	: 1550 mm (jumlah 7 pipa)
Diameter pipa <i>economizer</i>	: 19,05 mm
Tekanan rancangan	: 3 Bar
Temperatur operasi	: 100 °C - 150 °C
Volume Air	: 335,823 ml
Material	: <i>Seamless carbon stell SA 53 Grade B</i>

**a) Menghitung dimensi pipa *economizer***

Direncanakan menggunakan pipa 3/4 inch

$$D_o = 16,7 \text{ mm} = 1,67 \text{ cm}$$

$$D_i = 19,6 \text{ mm} = 1,95 \text{ cm}$$

$$T = 2,8 \text{ mm} = 0,28 \text{ cm}$$

$$L = 1550 \text{ mm} = 155 \text{ cm}$$

Pertama kita menghitung volume air yang dapat di tampung didalam pipa *economizer* dengan diameter dalam 1,67 cm dan dengan panjang pipa 155 cm, agar dapat mengetahui jumlah pipa yang akan kita butuhkan.

$$V = . r^2 . L$$

$$V = 3,14 . \left(\frac{1}{2} d_o\right)^2 . 155 \text{ cm}$$

$$V = 3,14 . \left(\frac{1}{2} 1,67_o\right)^2 . 155 \text{ cm}$$

$$V = 3,14 . (0,69 \text{ cm})^2 . 155 \text{ cm}$$

$$V = 335 \text{ cm}^3$$

$$V = 335,823 \text{ ml}$$

**b) Perpindahan kalor pada pipa *economizer***

$$\left\{ Q_w = \frac{(T_{wi} - T_{wo})}{\left[ \frac{r_o}{2\pi \cdot k \cdot l} \right]} \right\}$$

Dimana QW adalah Perpindahan kalor (kj/s), Twi adalah Suhu diluar pipa (°C), Two adalah Suhu diluar pipa (°C), Ro adalah Jari-jari di dalam pipa (m), Ri adalah Jari-jari di luar pipa (m), K adalah Konduktivitas thermal pipa (w/mk), dan L adalah Panjang pipa (m)

Diambil data rata-rata untuk dimasukkan ke dalam persamaan:

To (suhu air)	= 40°C
Ti (suhu gas buang)	= 145°C

$$\begin{aligned} Two &= To + 313,15 \text{ }^\circ\text{k} \\ Two &= 40^\circ\text{C} + 313,15 \text{ }^\circ\text{k} \\ &= 353,15^\circ\text{k} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Twi &= Ti + 313,15 \text{ }^\circ\text{k} \\ Twi &= 145^\circ\text{C} + 313,15 \text{ }^\circ\text{k} \\ &= 498,15^\circ\text{k} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diperoleh:

Suhu di luar pipa (Twi)	= 498,15 °k
Suhu di dalam pipa (Two)	= 353,15°k
(Twi – Two)	= 498,15 °k - 353,15°k
	= 145°k

Panjang pipa (L)	= 31 cm
Diameter dalam pipa (do)	= 1,67 cm
Diameter luar pipa (di)	= 1,95 cm

Konduktivitas thermal pipa (k) = 52 w/mk

$$\begin{aligned} (ro) &= \frac{1}{2} \cdot do \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,67 \\ &= 0,835 \text{ cm} = 0,00835 \text{ m} \end{aligned}$$

Jari-jari luar pipa

$$\begin{aligned} (ri) &= \frac{1}{2} \cdot di \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1,95 \\ &= 0,975 \text{ cm} = 0,00975 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diperoleh,

Jari-jari di dalam pipa (ro)	= 0,00835 m
Jari-jari di luar pipa (ri)	= 0,00975 m

$$\begin{aligned} &= \ln \left( \frac{ri}{ro} \right) \\ &= \ln \left( \frac{0,00975}{0,00835} \right) \\ &= \ln 1,16 \\ &= 0,148 \end{aligned}$$

$$2 \cdot \pi \cdot k \cdot l$$

Dimana:  $\pi = 3,14$

K = Konduktivitas thermal 55,5 w/mk

L = Panjang pipa 155 cm = 1,55 m

$$= 2 \cdot 3,14 \cdot 55,5 \text{ w/mk} \cdot 1,55 \text{ m} = 540,23$$

Dari hasil perhitungan diperoleh data sebagai berikut:

(Twi - Two)	= 145°k
$\ln \left( \frac{ri}{ro} \right)$	= 0,148
$2 \cdot \pi \cdot k \cdot l$	= 540,23

Dari nilai yang kita hitung diatas, kita bisa masukan ke dalam persamaan:

$$QW = \frac{(Twi - Two)}{\left[ \frac{\ln \left( \frac{ri}{ro} \right)}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot l} \right]}$$

$$\begin{aligned} QW &= \frac{(145^\circ\text{k})}{\left[ \frac{0,148}{540,23} \right]} \\ &= \frac{145}{0,002} \\ &= 725.00 \text{ j/s} \\ &= 725 \text{ kj/s} \end{aligned}$$

## 2.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian yang diperoleh merupakan rata-rata dari tiga kali pengujian, yang dilakukan pada berbagai kondisi, yaitu: boiler pipa api tanpa pipa tambahan dan boiler dengan penambahan pipa economizer. Proses pengambilan data mengikuti langkah-langkah yang dijelaskan. Data hasil pengujian ini disajikan dalam tabel 6 dan 7 sebagai berikut:

**Tabel 6.** Pengujian boiler vertikal pipa api

Tekanan (bar)	Suhu uap (°C)	Suhu api (°C)	Suhu air boiler (°C)	Suhu gas buang (°C)	Lama pemanasan (menit)	Lama uap habis (menit)	Bahan bakar (Kg)	Efisiensi (%)
0	0	0	0	0	45	0	0	0
1	102	340	115	135	78	1,65	25,6	66,6
2	110	380	120	140	83	3,1	28,8	59,3
3	117	405	126	148	90	4	33,2	51,6

Dengan menaikkan tekanan operasi pada boiler, suhu saturasi uap yang dihasilkan juga akan meningkat. Uap pada tekanan yang lebih tinggi memiliki suhu lebih tinggi, yang pada akhirnya meningkatkan kualitas uap dan potensi energi yang dihasilkannya. Meningkatkan efisiensi pembakaran dengan memastikan proses pembakaran berlangsung secara lebih sempurna dapat meningkatkan jumlah panas yang dihasilkan di ruang bakar. Hal ini memungkinkan pemanasan air yang lebih efektif dan menghasilkan uap pada suhu yang lebih tinggi.

**Tabel 7.** Pengujian boiler vertikal pipa api dengan penambahan pipa economizer

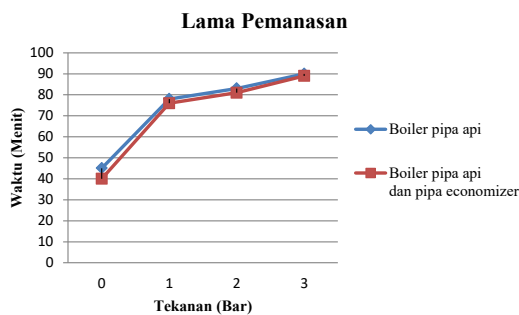
Tekanan (bar)	Suhu uap (°C)	Suhu api (°C)	Suhu gas buang (°C)	Suhu sebelum masuk pipa economizer (°C)	Suhu setelah masuk pipa economizer (°C)	Lama pemanasan (Menit)	Lama uap bertahan (menit)	Bahan bakar (kg)	Efisiensi (%)	
0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	
1	107	356	118	134	32	59	76	1,51	23,2	69,8
2	113	385	122	143	36	69	81	2,48	25,6	62,4
3	120	405	130	151	42	80	89	2,62	29,5	53,5

Pipa economizer berperan krusial dalam meningkatkan jumlah uap yang dihasilkan oleh boiler vertikal pipa api. Pipa economizer memanfaatkan panas yang tersisa dari gas buang yang keluar dari boiler untuk memanaskan air umpan sebelum masuk ke drum boiler utama. Dengan menggunakan panas sisa ini, lebih banyak energi tersedia untuk memanaskan air, sehingga mengurangi kebutuhan bahan bakar untuk mencapai suhu yang diinginkan.

**2.3 Grafik**

Grafik uji boiler pipa api dengan penambahan pipa economizer menunjukkan hasil pengamatan terhadap durasi pemanasan, lamanya uap bertahan, konsumsi bahan bakar yang digunakan, serta efisiensinya. Data hasil pengamatan ini dapat dilihat pada gambar grafik 6, 7, 8 dan 9 di bawah ini:

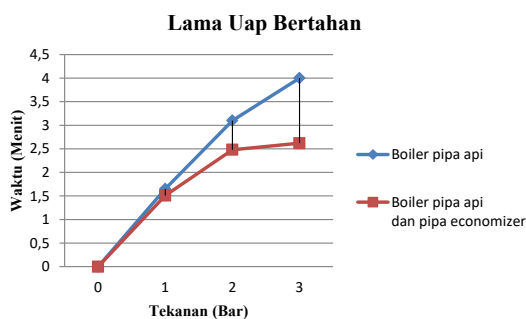
**a) Pengaruh lama pemanasan terhadap boiler pipa api dan penambahan pipa economizer**



**Gambar 6.** Grafik lama pemanasan

Selama pengujian, perbandingan dilakukan antara kondisi boiler tanpa pipa tambahan dan boiler dengan penambahan pipa economizer. Sebelum dimodifikasi, boiler pipa api membutuhkan waktu 45 menit untuk mencapai titik didih dari 0 hingga 100°C. Setelah pipa economizer dipasang, pengujian menunjukkan bahwa waktu pemanasan menjadi lebih singkat, hanya membutuhkan 36 menit untuk mencapai titik didih yang sama.

**b) Pengaruh lama uap bertahan terhadap boiler pipa api dan penambahan pipa economizer**

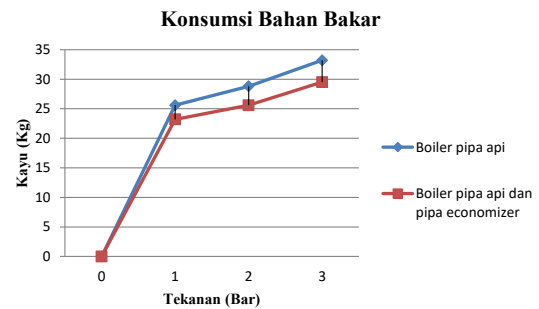


**Gambar 7.** Grafik lama uap bertahan

Dalam Grafik 7 data durasi ketahanan uap diperoleh dari rata-rata tiga kali pengujian yang dilakukan pada kondisi penggunaan boiler pipa api dan dengan penambahan pipa economizer. Sebelum dimodifikasi, pada boiler pipa api, uap bertahan

pada tekanan 1 bar selama 1 menit 65 detik, tekanan 2 bar 3 menit 1 detik dan tekanan 3 bar 4 menit. Setelah penambahan pipa economizer, durasi ketahanan uap meningkat, dengan uap bertahan selama 1 menit 51 detik pada tekanan 1 bar, 2 menit 48 detik pada tekanan 2 bar, dan 2 menit 62 detik pada tekanan 3 bar.

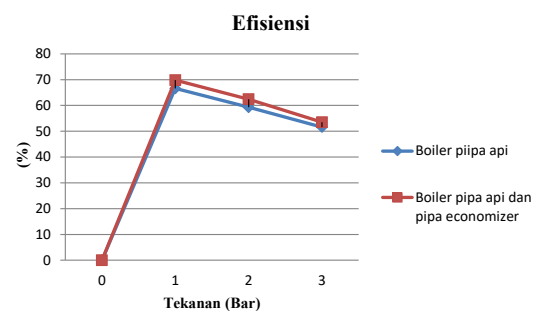
**c) Pengaruh konsumsi bahan bakar terhadap boiler pipa api dan penambahan pipa economizer**



**Gambar 6.** Grafik konsumsi bahan bakar

Pada Grafik 8 ditampilkan data hasil pengujian durasi pemanasan, yang dihasilkan dari rata-rata tiga kali pengujian dengan dua kondisi: boiler pipa api dan boiler dengan penambahan pipa air. Pada pengujian awal sebelum modifikasi, boiler pipa api membutuhkan total 33,2 kg bahan bakar kayu untuk mencapai tekanan operasi 3 bar. Setelah penambahan pipa economizer, jumlah bahan bakar yang dibutuhkan hingga mencapai tekanan operasi yang sama berkurang menjadi 29,5 kg. Ini menunjukkan bahwa penambahan pipa economizer pada boiler vertikal pipa dapat mengurangi konsumsi bahan bakar, sehingga menurunkan biaya operasional.

**d) Pengaruh efisiensi terhadap boiler pipa api dan penambahan pipa economizer**



**Gambar 7.** Grafik efisiensi

Berdasarkan rata-rata dari tiga kali pengujian, dilakukan pengujian terhadap *boiler* pipa api dan dengan penambahan pipa *economizer*. Efisiensi *boiler* pipa api sebelum dimodifikasi menunjukkan efisiensi sebesar 66,6% pada tekanan 1 bar, 59,3% pada tekanan 2 bar, dan 51,6% pada tekanan 3 bar. Setelah dilakukan penambahan pipa *economizer* pada boiler pipa api, efisiensi mengalami peningkatan dengan hasil efisiensi sebesar 69,8% pada tekanan 1 bar, 62,4% pada tekanan 2 bar, dan 53,5% pada tekanan 3 bar, hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Pafh Rizki Ananda (2017) menunjukkan bahwa penambahan pipa *economizer* dapat meningkatkan efisiensi *boiler*.

#### 2.4 Hasil Pengujian dan Analisis

Sebuah alat yang disebut *economizer* digunakan untuk meningkatkan efisiensi *boiler*. *Economizer* memanaskan air pengisi *boiler* dengan menggunakan panas dari sisa gas buang pembakaran. Meningkatkan suhu air pengisi *boiler* meningkatkan efisiensi *boiler*. Jika gas sisa pembakaran bahan bakar tidak dilewatkan melalui pipa *economizer*, panas yang diserahkan oleh pipa *economizer* akan ditransfer ke air pengisi *boiler*. Air pengisi *boiler* terletak didalam pipa *economizer* (Kinsky R, 1989). Hal ini memungkinkan lebih banyak panas dari gas buang yang ditransfer ke air, sehingga mempercepat pemanasan air menjadi uap. Peningkatan efisiensi pembakaran ini menyebabkan suhu gas buang yang keluar dari *boiler* menjadi lebih rendah karena lebih banyak panas yang diserap oleh air, yang berarti lebih sedikit panas yang terbuang ke lingkungan. Peningkatan efisiensi termal *boiler* juga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan biaya operasional.

Pengujian yang dilakukan pada *boiler* vertikal pipa api dan *boiler* vertikal pipa api yang dilengkapi dengan pipa *economizer* menunjukkan hasil sebagai berikut: *boiler* vertikal pipa api membutuhkan waktu pemanasan 45 menit dari 0°C hingga titik didih 100°C, sedangkan dengan penambahan pipa air, waktu pemanasan berkurang menjadi 40 menit. Lama uap bertahan pada *boiler* vertikal pipa api pada tekanan 1 bar adalah 1 menit 65 detik, tekanan 2 bar adalah 3 menit 1 detik, dan tekanan 3 bar adalah 4 menit. Setelah penambahan pipa *economizer*, lama uap bertahan pada tekanan 1 bar menjadi 1 menit 51 detik, tekanan 2 bar menjadi 2 menit 48 detik, dan tekanan 3 bar menjadi 2 menit 62 detik. Konsumsi bahan bakar kayu untuk mencapai tekanan operasi 3 bar pada *boiler* vertikal pipa api adalah 33,2 kg, sedangkan setelah penambahan pipa *economizer*, konsumsi bahan bakar menurun menjadi 29,5 kg. Efisiensi yang dihasilkan pada *boiler* vertikal pipa api pada tekanan 1 bar adalah 66,6%, tekanan 2 bar adalah 59,3%, dan tekanan 3 bar adalah 51,6%. Setelah penambahan pipa *economizer*, efisiensi meningkat

signifikan, dengan efisiensi pada tekanan 1 bar menjadi 69,8%, tekanan 2 bar menjadi 62,4%, dan tekanan 3 bar menjadi 53,5%, hal ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Pafh Rizki Ananda (2017) menunjukkan bahwa penambahan pipa *economizer* dapat meningkatkan efisiensi *boiler*. Penurunan efisiensi pada tekanan yang lebih tinggi disebabkan oleh peningkatan penggunaan bahan bakar kayu yang menyebabkan efisiensi keseluruhan menurun.

### 3. KESIMPULAN

- 1) Berdasarkan hasil desain dan perancangan, pipa *economizer* pertama memiliki panjang 1550 mm (5 batang) dengan diameter dalam 16,35 mm, diameter luar 19,05 mm, dan ketebalan 2,7 mm. Kapasitas volume air yang dapat ditampung di dalam kedua pipa tersebut adalah 335,823 ml.
- 2) Waktu lama pemanasan *boiler* pipa api sebelum modifikasi adalah 45 menit, dan setelah modifikasi dengan penambahan pipa *economizer*, waktu pemanasan berkurang menjadi 40 menit, yang berarti lebih cepat sebelum dimodifikasi.
- 3) Sebelum modifikasi, uap pada *boiler* pipa api bertahan selama 1 menit 65 detik pada tekanan 1 bar, 3 menit 1 detik pada tekanan 2 bar, dan 4 menit pada tekanan 3 bar. Setelah penambahan pipa *economizer*, uap bertahan lebih lama pada tekanan 1 bar, yaitu 1 menit 51 detik, tekanan 2 bar selama 2 menit 48 detik dan tekanan 3 bar 2 menit 62 detik.
- 4) Konsumsi bahan bakar kayu untuk mencapai tekanan operasi 3 bar pada *boiler* pipa api adalah 33,2 kg dengan nilai HHV (Higher Heating Value) sebesar 664 MJ. Setelah penambahan pipa *economizer*, konsumsi bahan bakar menurun menjadi 29,5 kg dengan nilai HHV 531 MJ.
- 5) Efisiensi *boiler* pipa api pada tekanan 1 bar mencapai 66,6% pada tekanan 2 bar 59,3% dan tekanan 3 bar 51,6%. Setelah penambahan pipa *economizer*, efisiensi meningkat menjadi 69,8% pada tekanan 1 bar, 62,4% pada tekanan 2 bar, dan tekanan 3 bar 53,5% pada tekanan 3 bar. Penurunan efisiensi pada tekanan yang lebih tinggi disebabkan oleh peningkatan konsumsi bahan bakar kayu, sehingga efisiensi keseluruhan menurun.

### DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah Suci Ningsih, A. S. (2021). Efisiensi Termal Produksi Steam Ditinjau Dari Rasio Udara Bahan Bakar Solar Pada Cross Section Water Tube Boiler. *KINETIKA*, 18.

- Arizal Aswan, E. S. (2017). Analisis Energi Boiler Pipa Air Menggunakan Bahan Bakar Solar. *KINETIKA*, 11.
- Armando Sipayunga, A. P. (2023). Modifikasi Boiler Kapasitas 25 Kg/jam Tekanan 4 bar Dengan Memperbesar Bidang Luas Pemanas. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 35.
- Dalimunthe, I. d. (2017). Analisa Efisiensi Katel Uap Pipa Air Dengan Kapasitas Maksimum 10 Ton/jam Dengan Bahan Baku Batu Bara. *Jurnal Ilmu Teknik*, 52.
- Deli, M. (2002). Analisa Boiler Vertikal Water Tube Kapasitas 30 Kg/jam Dengan Menggunakan Metode CFD. *Diss. Universitas Mercu Buana Jakarta*, v.
- Desi Aratri Damanika, J. K. (2022). Purwarupa Miniatur Water Tube Boiler Menggunakan Bahan Bakar Gas Kapasitas Uap 20 Kg/jam. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin 3.2 (2022)*, 35.
- Fadillah, N. I. (2021). Pengujian Efisiensi Katel Uap Pipa Air Mini Kapasitas 20 kg/jam Tekanan 3 Bar. *Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP)*, 200.
- Nuzuli Fitriadi, E. S. (2017). Rancang Bangun Katel Pala Dengan Sistem Water Tube. *Jurnal Inotera*, 42.
- Nuzuli Fitriadi, Y. (2019). Pengaruh Penambahan Water Tube Dan Penggunaan Air Panas Hasil Penyulingan Pada Boiler Terhadap Lama Waktu Penyulingan Minyak Pala. *JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING MANUFACTURES MATERIAL AND ENERGY*, 123.
- B. Hasan, “Bahan Ajar Termodinamika”. Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2015.
- A. Khuriati, “Buku Ajar Termodinamika.” Universitas Diponegoro, 2007.
- ruce E. Ball, Will J. Carter, “Buku Panduan ASME Bagian III, Edisi 2001”. CASTI Inc, Kanada, 2001.
- Haryadi, A. Mahmudi, “Perpindahan Panas”. Politeknik Negeri Bandung, 2012.
- Oktaviani, E. (2021). Rancang Bangun Boiler Vertikal Destilasi Minyak Serai Wangi Dengan Kapasitas 100 kg/jam. *INOVTEK-SERI MESIN*, vi.
- Polewangi, Y. D. (2019). Analisis Sistem Perawatan Boiler Di PT. Dewa Rencana Perangin-Angin. *Journal Of Industrial and Manufacture Engineering*. 30.
- Prastiyo, V. O. (2018). Rancang Bangun Mini Katel Uap Kapasitas 30 Liter/30 Menit Dengan Penggabungan Pipa Api Dan Jenis Pipa Air. *Simki 2014*, 7.
- Purba, J. (2016). perancangan boiler pipa api untuk perebusan bubur kedelai pada industri tahu kapasitas uap jenuh 160 kg/jam. *repository.upp.ac.id*, 9.
- Purba, J. (2016). Perancangan Boiler Pipa Api Untuk Perebusan Bubur Kedelai Pada Industri Tahu Kapasitas Uap Jenuh 160 kg/jam. *repository.upp.ac.id*, 2016, i.
- Rispi Andra Harahap, A. S. (2021). Performansi Katel Uap Pipa Air Mini Kapasitas 20 kg/jam dan Tekanan 3 Barg. *Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP)*, 2021, 206.
- Sugiharto, A. (2016). Tinjauan Teknis Pengoperasian Dan Pemeliharaan Boiler. <http://ejurnal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/128>, Accessed 31 Desember 2016, 56.
- Sugiharto, A. (2016). Tinjauan Teknis Pengoperasian Dan Pemeliharaan Boiler. <http://ejurnal.ppsdmmigas.esdm.go.id/sp/index.php/swarapatra/article/view/128>, Accessed 31 Desember 2016, 56.
- Taupiqrahman, D. (2022). Analisis Efisiensi Mini Boiler Tipe Pipa Api Vertikal Dengan Variasi Tekanan. *repository.umsu.ac.id*, 15-16.