

The Effect of Mini Boiler Fire Pipe Diameter Variations on Steam Power and Efficiency

Pengaruh Variasi Diameter Pipa Api Mini Boiler Terhadap Daya Uap Dan Efisiensi

Mochamad Vicky Fadli¹, A'rasy Fahrudin²
{ vickyfadli6@gmail.com ¹, arasy.fahrudin@umsida.ac.id ²}

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia¹, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia²

Abstract. Boiler is a heat machine (thermal engineering) that transfers chemical energy or automatic energy into motion. Boiler also has two variations in its shape, there are vertical boiler and vertical boiler. In the operation of a boiler it can also cause several dangers, including poison gas, pressure explosion, fire, etc. On the inside of the boiler tube there is a fire pipeline that leads to the chimney, this fire pipe serves to helps flow heat from the furnace to the end of the tube, so as to shorten the time to heat a boiler. The purpose of this research is to determine the ratio of the highest efficiency and steam power values by experimenting with variations of the fire pipe using a 10 mm fire pipe diameter, 15 mm fire pipe diameter, and 20 fire pipe diameter.

Keywords - Mini Boiler, Fire Pipe Variations, Efficiency of boiler.

Abstrak. Boiler adalah suatu mesin kalor (thermal engineering) yang mentransfer energi kimia atau energi otomis menjadi gerak. Boiler juga memiliki 2 variasi dalam bentuknya, ada boiler jenis vertikal dan horizontal. Dalam pengoprasian suatu boiler dapat menimbulkan beberapa dampak bahaya yang diantaranya seperti gas beracun, ledakan tekanan, kebakaran, dll. Pada bagian dalam tabung boiler terdapat lubang saluran pipa api yang menuju ke corobong asap, pipa api ini berfungsi untuk membantu mengalirkan panas dari tungku pembakaran sampai ke ujung tabung, sehingga dapat mempersingkat waktu untuk memanaskan suatu boiler. Tujuan adanya penelitian ini ialah untuk mengetahui perbandingan nilai efisiensi dan daya uap yang tertinggi dengan cara melakukan percobaan mem - variasi pipa api menggunakan diameter pipa api 10 mm, pipa api 15 mm, dan pipa api 20 mm.

Kata Kunci - Mini Boiler, Efisiensi Boiler, Variasi Pipa Api.

I. PENDAHULUAN

Penemuan paling awal dari sejarah ilmu teknologi mesin uap dapat kita temui di kota Alexandria pada tahun 75. Disana terdapat seorang ahli matematika bernama Hero, yang juga dikenal dengan nama Heros atau Heron yang telah menulis tiga buku tentang mekanik, sifat-sifat udara dan juga memperkenalkan rancangan dari mesin uap yang paling sederhana. Mesin tersebut dikenal dengan nama Aeolipile, atau juga bisa disebut dengan Eolipile. [1]

Prinsip kerja pada mesin tersebut ialah dengan menggunakan tekanan uap untuk memutar bola bejana yang berisi air sebagai bahan baku penghasil uap. Bola bejana tersebut dapat berputar dikarenakan adanya dorongan uap yang keluar dari nosel yang berletak pada bagian samping bejana. Metode Heros yang mengubah tenaga uap menjadi gerak ini merupakan dasar bagi para penerusnya untuk mengembangkan ilmu teknologi mesin uap di masa yang akan datang. [2]

Seiring berkembangnya zaman, pada tahun 1538 – 1615 Giovanni Battista della Porta atau sering juga dikenal dengan nama John Baptist Porta ialah seorang sarjana, Polymath, dan dramawan yang berasal dari Napoli, Italia. Beliau lah ilmuan yang pertama kali menemukan peranan uap dalam menciptakan ruang hampa. [3]

Teori yang ditemukannya adalah bahwa jika air dikonversikan menjadi uap dalam wadah atau bejana tertutup bisa menghasilkan peningkatan suatu tekanan. Demikian pula dengan sebaliknya, apabila uap dikondensasikan menjadi air dalam ruangan yang tertutup maka dapat menghasilkan penurunan tekanan. [7]

Pada tahun 1650 – 1715 Thomas Savery adalah seorang insinyur yang bekerja pada militer Inggris dan penemu berkebangsaan Inggris. Pada tahun 1698 ia menemukan mesin uap pertama di dunia. Penemuannya ini diawali ketika ia bekerja pada sebuah tambang batubara yang mengalami kesulitan dalam

memompa air yang digunakan untuk mengairi tambang. Prinsip kerja mesin tersebut yakni dengan menaikkan tekanan uap pada bagian dalam ketel. Uap tersebut selanjutnya dimasukkan ke bejana kerja, sehingga memungkinkan untuk meniup air keluar menuju ke pipa bawah. [7]

Pada saat temperatur pada dalam bejana menjadi panas karena dipenuhi uap keran antara ketel dan bejana ditutup, jika perlu bagian luar bejana didinginkan. Hal ini dapat mengakibatkan uap pada bagian dalamnya berkondensasi dan menciptakan vakum parsial serta dapat mendorong air ke atas melalui pipa bawah hingga bejana penuh total. Pada fase ini keran di bawah bejana ditutup, kemudian keran antara bejana dan pipa atas dibuka untuk mengalirkan pipa dari ketel. Maka dapat disimpulkan tekanan uap yang tinggi akan memaksa air keluar dari bejana. [4]

Proses pembakaran ialah sebuah proses reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksidator yang melibatkan pelepasan energi dalam bentuk panas dalam jumlah yang signifikan. Pembakaran merupakan peranan yang sangat penting dalam proses kegiatan di industri yang menggunakan bahan bakar sebagai sumber energi pada suatu mesin ataupun alat. Pada zaman sekarang ini hampir semua industri menggunakan proses pembakaran sebagai salah satu cara yang menghasilkan suatu energi dalam sistem utilitasnya. Beberapa industri bahkan menggunakan pembakaran sebagai komponen utamanya pada saat produksi. [5]

Di tengah adanya arus globalisasi yang kuat pada saat ini, industri di Indonesia diwajibkan agar lebih kompetitif menghadapi persaingan bisnis yang semakin besar ini. Dampak pada arus globalisasi saat ini sangat dirasakan pada industri - industri dalam negeri semenjak beberapa tahun lalu ketika import gula tetapi harga jual gula sangat rendah dan menurunkan minat para petani untuk menanam tanaman tebu. Walaupun saat ini harga gula cukup baik, namun ancaman kedepan dari perdagangan bebas masih tidak bisa diabaikan. [5]

Salah satu contoh tekanan lainnya pada saat ini ialah krisis energi yang melanda dunia, Kenaikannya harga Bahan Bakar Minyak yang cukup besar menambah beban perindustrian di Indonesia yang menggunakan Bahan Bakar Minyak sebagai tambahan bahan bakar. Meningkatnya harga dari Bahan Bakar Minyak juga mempengaruhi daya saing perindustrian. Dengan adanya kondisi seperti itu, oleh karena itu perlu adanya gerakan untuk menekan keborosan energi dan sebab itu konservasi energi pun menjadi arahan yang penting untuk dilakukan untuk menanggulangi naiknya harga dari Bahan Bakar Minyak. [2]

Konservasi energi merupakan suatu penggunaan energi secara efisien dan rasional tanpa mengurangi energi yang memang saat ini sangat diperlukan, oleh karena itu perlu adanya penerapan pada seluruh tahap pemanfaatan, mulai dari pemanfaatan sumber daya energi hingga pada saat pemanfaatan akhir, dengan menggunakan teknologi yang efisien serta membudidayakan pola hidup hemat energi. [1]

Seiring adanya perkembangan zaman saat ini yang bersamaan dengan adanya kemajuan teknologi pada suatu proses produksi, dimana perkembangan pada saat itu tampak dengan adanya faktor penunjang didalam produktifitas perusahaan. Semakin banyak produsen pada suatu perusahaan yang menempati skala besar, hampir sekitar 80 % ketel uap atau boiler masih tetap dominan untuk dipergunakan.

Jika membahas ketel maka tidak jauh juga dengan membahas efisiensi, efisiensi yang akan dibahas ialah efisiensi pada boiler. Efisiensi yang dimaksud ialah prestasi kerja atau tingkat unjuk kerja boiler atau ketel uap yang didapatkan oleh perbandingan antara energi yang dipindahkan ke atau diserap oleh fluida kerja dalam ketel uap dengan masuknya energi kimia dari bahan bakar. Untuk tingkatan efisiensi boiler atau ketel uap tingkat efisiensinya berada di kisaran antara 70% hingga 90%. [7]

Ketel uap atau Boiler sangat sering digunakan sebagai mesin produksi baik secara langsung ataupun secara tidak langsung, Ketel uap atau Boiler adalah suatu bejana yang tertutup dimana panas pembakaran dirambatkan ke air melalui pipa api pada dalam tabung boiler hingga terbentuk uap panas (steam) yang memiliki tekanan. Untuk menghasilkan panas yang digunakan dalam pemanasan air tersebut diperlukan bahan bakar minyak seperti solar. [8]

Efisiensi ketel uap atau boiler dapat dinyatakan sebagai perbandingan panas yang sebenarnya dapat digunakan untuk memanaskan air pada tabung boiler dan menghasilkan pembentukan uap akibat panas yang terjadi dari pembakaran bahan bakar dibawah tabung air boiler. Adapun Faktor - faktor yang dapat mempengaruhi nilai efisiensi dari boiler antara lain adalah mass flow, tekanan, dan temperatur uap masuk boiler, serta tekanan dan temperatur uap keluar boiler. [2]

Kayu dan batubara juga merupakan bahan bakar yang dapat digunakan pada boiler. Komposisi dari bahan bakar tersebut dapat menentukan nilai efisiensi boiler. Komposisi unsur kimia yang terkandung pada kayu adalah karbon nitrogen 0,04-0,10%, 50%, abu 0,20 – 0,50%, hidrogen 6%, dan kandungan oksigen 0 – 45%. Batubara ialah bahan bakar fosil dengan tingkatan terpenting yaitu jumlah embun, analisis proksimasi yang terdiri dari beberapa embun yang melekat, kadar abu, karbon, dan zat-zat yang dengan mudah menguap (volatile matter), nilai kalor GCV (Gross Calorific Value), total belerang (sulfur), dan analisa abu. Kandungan dalam bahan bakar serbuk gergaji yang terpenting

adalah karbon, hidrogen, nitrogen, abu dan oksigen.

Pembakaran ialah suatu reaksi kimia yang sangat cepat antara oksigen dan bahan yang terbakar dan menghasilkan kalor. Pembakaran yang sempurna dapat mendongkrak energi yang terkandung pada bahan bakar tersebut. tetapi tidak dapat di pungkiri bahwasannya pembakaran yang sempurna dengan efisiensi 100% sangatlah sulit untuk tercapai akibat kerugian (Loss) pada instrumen pendukung. [3]

Oleh karena itu perlu adanya penelitian untuk mengetahui tentang pengaruh variasi diameter pipa dalam pada mini boiler terhadap kapasitas panas. Penelitian yang akan dilakukan yakni menggunakan penelitian metode langsung dengan sumber data diperoleh dari melakukan percobaan pada mini boiler yang telah dirancang dan di analisa menggunakan bahan bakar spirtus. Kelebihan metode langsung adalah relatif tidak memerlukan biaya lebih dan tidak memerlukan analisis laboratorium untuk perhitungan. [5]

II. METODE

Tujuan diadakannya penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan nilai terhadap efisiensi dan daya uap yang tertinggi dengan cara melakukan percobaan mem - variasi pipa api menggunakan diameter pipa api 10 mm, pipa api 15 mm, dan pipa api 20 mm.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan dilakukan terhadap mini boiler dalam keadaan dingin yang telah di isi air 500 mL didalamnya kemudian dipanaskan menggunakan metanol pada tungku pembakarannya dan di uji menggunakan bermacam variasi pipa api yang berbeda. Mini boiler yang akan di uji memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- a. Head (Cerobong Asap)
 - Tinggi :100 mm
 - Diameter : 15 mm
- b. Tabung
 - Tinggi : 150 mm
 - Diameter : 120 mm
- c. Diameter Pipa Api
 - Pipa api diameter 10 mm
 - Pipa api diameter 15 mm
 - Pipa api diameter 20 mm
- d. Kaki Boiler (Tungku Pembakaran)
 - Tinggi : 50 mm
 - Diameter : 120 mm
- e. Bahan Bakar
 - Volume : 100 mL
 - Jenis : Metanol (Spirtus)

Uji dan Analisa Variasi Pipa Api Mini Boiler

Dengan diadakannya pengujian ini diharapkan bisa mendapatkan hasil data yang kita inginkan seperti, besar tekanan, sisa tekanan, laju aliran, berapa banyak bahan bakar yang digunakan, dan berapa jumlah uap air yang dihasilkan oleh mini boiler tersebut. [3]

Setelah selesai melakukan pengujian barulah kita dapat menghitung berapa besar efisiensi dan daya uap yang dapat dihasilkan oleh mini boiler, rumus yang akan kita gunakan untuk menghitung Daya Uap dan Efisiensi adalah sebagai berikut :

Rumus menghitung Daya Uap

Sebelum kita menghitung daya uap mini boiler, kita harus mengetahui berapa besar debit uap yang dihasilkan pada masing masing pengujian. Maka dari itu kita perlu menghitung debit uap dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\dot{V} = \frac{\text{Volume Suntikan (mL)}}{\text{Kecepatan Aliran Uap (sec)}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1.000.000 \text{ mL}} = \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

Setelah mendapatkan hasil dari perhitungan debit uap dengan menggunakan rumus di atas selanjutnya kita dapat menghitung daya uap dengan menggunakan rumus :

$$Pu = \text{Tekanan keran terbuka} \times \frac{100.000 \text{ Pa}}{1 \text{ Bar}} \times \text{debit uap} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) = (W)$$

Rumus menghitung Efisiensi boiler ()

Untuk menghitung efisiensi mini boiler kita harus mengetahui daya uap dan juga daya bahan bakar pada mini boiler, rumus yang akan kita gunakan untuk menghitung daya bahan bakar yaitu :

$$P_{bb} = \frac{\text{Nilai Kalor } \left(\frac{J}{kg}\right) \times \text{Bahan Bakar Terpakai } (m^3) \times \text{Massa jenis } \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{\text{Waktu saat pengujian}} = (W)$$

Setelah mendapatkan hasil dari perhitungan daya bahan bakar dan daya uap dengan menggunakan rumus di atas selanjutnya kita dapat menghitung Efisiensi boiler menggunakan rumus dibawah ini :

$$\eta = \frac{\text{Daya Uap } (W)}{\text{Daya Bahan Bakar } (W)} \times 100\% = (\%)$$

Keterangan simbol :

- \dot{V} : Debit Uap
- Pu : Daya Uap
- Pbb : Daya Bahan Bakar
- η : Efisiensi
- W : Watt

Setelah semua percobaan, perhitungan, dan penelitian variasi diameter pipa api telah kita lakukan, hasil pengujian dari mini boiler yang kita rancang dapat kita lihat pada Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.1 Efisiensi mini boiler variasi pipa api diameter 10 mm

Mini Boiler Variasi Pipa Api Diameter 10 mm							
Waktu	Debit uap		Daya uap		Daya bahan bakar	Efisiensi	
	keran full	½ keran	keran full	½ keran		keran full	½ keran
6 Menit	0,000127 m ³ /s	0,000064 m ³ /s	0 Watt	0 Watt	998,8 Watt	0 %	0 %
9 Menit	0,00025 m ³ /s	0,000116 m ³ /s	2,5 Watt	2,32 Watt	1165,2 Watt	0,214 %	0,199 %
12 Menit	0,000441 m ³ /s	0,000182 m ³ /s	22,05 Watt	12,74 Watt	1248,5 Watt	1,766 %	1,020 %

Tabel 4.2 Efisiensi mini boiler variasi pipa api diameter 15 mm

Mini Boiler Variasi Pipa Api Diameter 15 mm							
Waktu	Debit uap		Daya uap		Daya bahan bakar	Efisiensi	
	keran full	½ keran	keran full	½ keran		keran full	½ keran
6 Menit	0,000263 m ³ /s	0,000129 m ³ /s	5,26 Watt	5,16 Watt	998,8 Watt	0,526 %	0,516 %
9 Menit	0,0006 m ³ /s	0,000263 m ³ /s	30 Watt	18,41 Watt	1165,2 Watt	2,574 %	1,579 %
12 Menit	0,000789 m ³ /s	0,000319 m ³ /s	78,9 Watt	41,47 Watt	1248,5 Watt	6,319 %	3,321 %

Tabel 4.3 Efisiensi mini boiler variasi pipa api diameter 20 mm

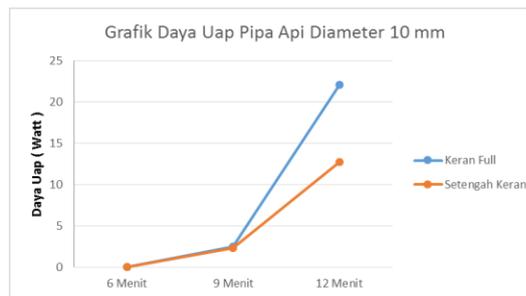
Mini Boiler Variasi Pipa Api Diameter 20 mm							
Waktu	Debit uap		Daya uap		Daya bahan bakar	Efisiensi	
	keran full	½ keran	keran full	½ keran		keran full	½ keran
6 Menit	0,000227 m ³ /s	0,00011 m ³ /s	2,27 Watt	2,2 Watt	998,8 Watt	0,227 %	0,220 %
9 Menit	0,000517 m ³ /s	0,00025 m ³ /s	20,68 Watt	15 Watt	1165,2 Watt	1,774 %	1,287 %
12 Menit	0,0006 m ³ /s	0,000375 m ³ /s	48 Watt	33 Watt	1248,5 Watt	3,844 %	2,643 %

Grafik Variasi Pipa Api Mini Boiler

Grafik yang kita buat bertujuan untuk mempermudah pembaca dalam memahami hasil dari perhitungan daya uap dan efisiensi dari mini boiler yang telah kita rancang, agar lebih mudah dipahami grafik akan kita bagi menjadi beberapa macam seperti di bawah ini :

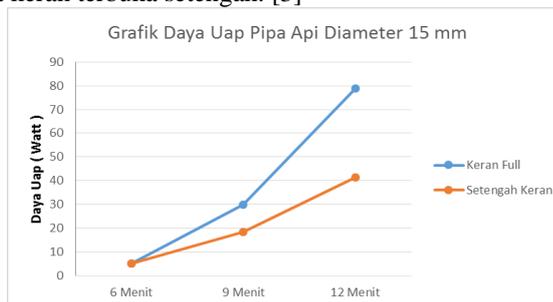
a. Grafik daya uap menggunakan 3 macam variasi pipa api

Berikut ini adalah macam - macam grafik dari hasil perhitungan daya uap dari pengujian mini boiler yang telah kita rancang :



Gambar 4.1 Grafik daya uap pipa api diameter 10 mm

Pada **gambar 4.1** dapat dilihat pada proses pengujian dalam waktu 6 menit mini boiler belum bisa menghasilkan daya uap baik keran terbuka penuh maupun keran terbuka setengah. pada waktu pengujian 9 menit daya uap meningkat serta mampu untuk menghasilkan daya sebesar 2,5 Watt pada saat keran terbuka penuh dan menghasilkan daya sebesar 2,3 Watt pada saat keran terbuka setengah. Pada waktu pengujian 12 menit mini boiler mampu untuk menghasilkan daya uap sebesar 22,05 Watt saat keran terbuka penuh dan menghasilkan daya uap sebesar 12,74 Watt pada saat keran terbuka setengah. [3]



Gambar 4.2 Grafik daya uap pipa api diameter 15 mm

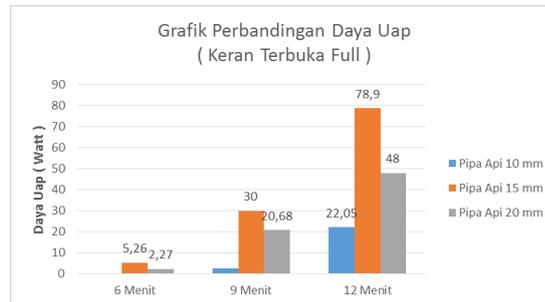
Pada **Gambar 4.2** dapat dilihat pada proses pengujian dalam waktu 6 menit mini boiler menghasilkan daya uap sebesar 5,26 Watt untuk keran terbuka penuh dan menghasilkan daya uap sebesar 5,16 Watt pada saat keran terbuka setengah. pada waktu pengujian 9 menit daya uap meningkat serta mampu untuk menghasilkan daya sebesar 30 Watt pada saat keran terbuka penuh dan menghasilkan daya sebesar 18,41 Watt pada saat keran terbuka setengah. Pada waktu pengujian 12 menit mini boiler mampu untuk menghasilkan daya uap sebesar 78,9 Watt saat keran terbuka penuh dan menghasilkan daya uap sebesar 41,47 Watt pada saat keran terbuka setengah.[3]



Gambar 4.3 Grafik daya uap pipa api diameter 20 mm.

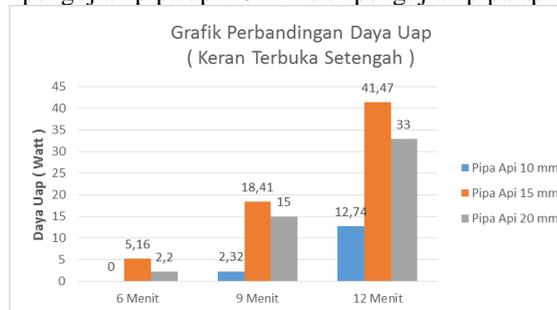
Pada **Gambar 4.3** dapat dilihat pada proses pengujian dalam waktu 6 menit mini boiler menghasilkan daya uap sebesar 2,27 Watt untuk keran terbuka penuh dan menghasilkan daya uap sebesar 2,2 Watt pada saat keran terbuka setengah. pada waktu pengujian 9 menit daya uap meningkat serta mampu untuk menghasilkan daya sebesar 20,68 Watt pada saat keran terbuka penuh dan menghasilkan daya sebesar 15 Watt pada saat keran terbuka setengah. Pada waktu pengujian 12 menit mini boiler mampu untuk menghasilkan daya uap sebesar 48

Watt pada saat keran terbuka penuh dan menghasilkan daya uap sebesar 33 Watt pada saat keran terbuka setengah.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan daya uap keran terbuka full.

Pada **Gambar 4.4** grafik perbandingan keran terbuka penuh menunjukkan daya uap dengan nilai yang berbeda, pada pipa api berdiameter 10 mm terlihat jelas bahwasannya memiliki hasil daya uap yang paling rendah dari persentase grafik pengujian lainnya, sedangkan pada pipa api berdiameter 15 mm memiliki nilai daya uap tertinggi dari masing – masing pengujiannya, dan pada pipa api berdiameter 20 memiliki nilai daya uap yang berada pada tengah – tengah hasil pengujian pipa api 10 mm dan pengujian pipa api berdiameter 15 mm. [7]

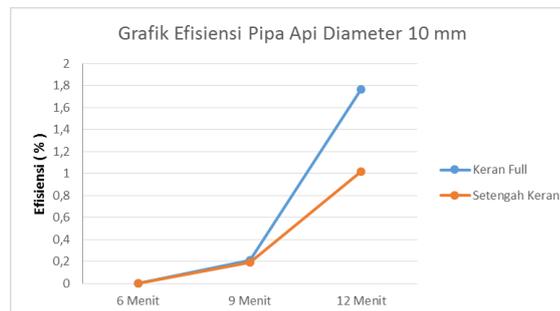


Gambar 4.5 Grafik perbandingan daya uap keran terbuka setengah.

Pada **Gambar 4.5** grafik perbandingan keran terbuka setengah juga menunjukkan daya uap dengan nilai yang berbeda, akan tetapi hasil dari pengujiannya memiliki nilai yang lebih rendah dari pengujian pada saat keran terbuka penuh. Untuk pipa api berdiameter 10 mm berada pada posisi nilai terendah, pipa api berdiameter 15 mm tetap memiliki kedudukan nilai daya uap pada posisi tertinggi, dan pengujian pipa uap berdiameter 20 memiliki nilai daya uap yang berada di tengah – tengah antara pengujian pipa api berdiameter 10 mm dan pipa api berdiameter 15 mm. [7]

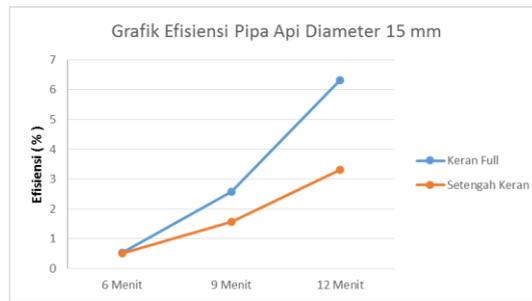
b. Grafik Efisiensi menggunakan 3 macam variasi pipa api

Berikut ini adalah macam - macam grafik dari hasil perhitungan daya uap dari pengujian mini boiler yang telah kita rancang :



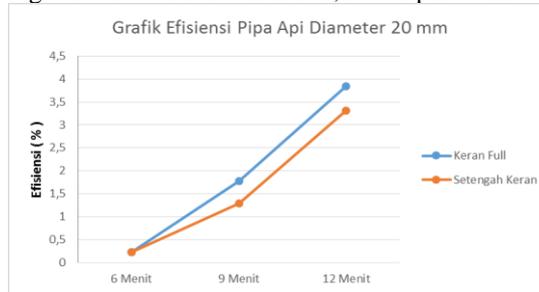
Gambar 4.6 Grafik efisiensi pipa api diameter 10 mm.

Pada **Gambar 4.6** dapat dilihat pada proses pengujian dalam waktu 6 menit mini boiler belum bisa menghasilkan efisiensi baik keran terbuka penuh maupun keran terbuka setenga. pada waktu pengujian 9 menit daya uap meningkat serta mampu untuk menghasilkan efisiensi sebesar 0,214 % pada saat keran terbuka penuh dan menghasilkan efisiensi sebesar 0,199 % pada saat keran terbuka setengah. Pada waktu pengujian 12 menit mini boiler mampu untuk menghasilkan efisiensi sebesar 1,766 % saat keran terbuka penuh dan menghasilkan efisiensi sebesar 1,020 % pada saat keran terbuka setengah. [8]



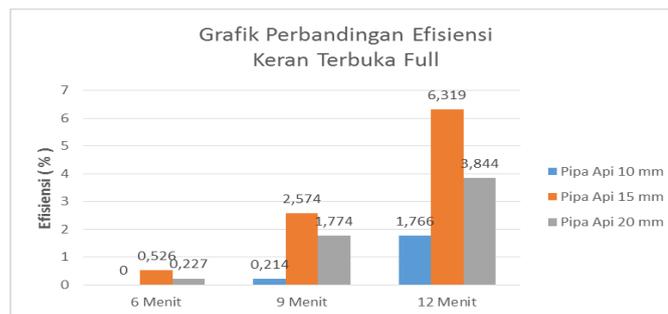
Gambar 4.7 Grafik efisiensi pipa api diameter 15 mm.

Pada **Gambar 4.7** dapat dilihat pada proses pengujian dalam waktu 6 menit mini boiler mampu menghasilkan efisiensi sebesar 0,526 % pada saat keran terbuka penuh dan menghasilkan 0,516 % pada saat keran terbuka setengah. pada waktu pengujian 9 menit daya uap meningkat serta mampu untuk menghasilkan efisiensi sebesar 2,574 % pada saat keran terbuka penuh dan mampu menghasilkan efisiensi 1,579 % pada saat keran terbuka setengah. Pada waktu pengujian 12 menit mini boiler mampu untuk menghasilkan efisiensi sebesar 6,319 % saat keran terbuka penuh dan menghasilkan efisiensi sebesar 3,321 % pada saat keran terbuka setengah. [8]



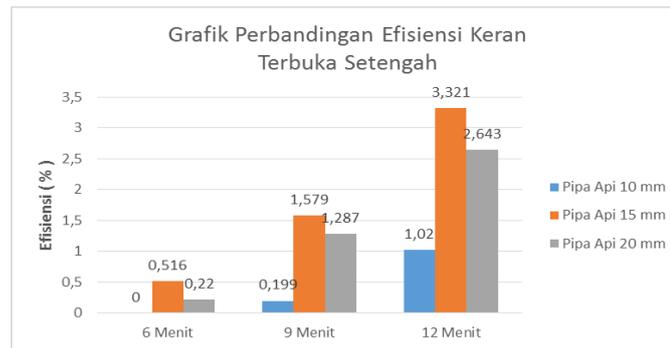
Gambar 4.8 Grafik efisiensi pipa api diameter 20 mm.

Pada **Gambar 4.8** dapat dilihat pada proses pengujian dalam waktu 6 menit mini boiler mampu menghasilkan efisiensi 0,227 % pada saat keran terbuka penuh dan mampu menghasilkan efisiensi 0,220 % pada saat keran terbuka setengah. pada waktu pengujian 9 menit efisiensi meningkat serta mampu untuk menghasilkan nilai sebesar 1,774 % pada saat keran terbuka penuh dan menghasilkan efisiensi sebesar 1,287 % pada saat keran terbuka setengah. Pada waktu pengujian 12 menit mini boiler mampu untuk menghasilkan efisiensi sebesar 3,844 % saat keran terbuka penuh dan menghasilkan daya uap sebesar 2,643 % pada saat keran terbuka setengah. [8]



Gambar 4.9 Grafik perbandingan efisiensi keran terbuka full.

Pada **Gambar 4.9** grafik perbandingan keran terbuka penuh menunjukkan efisiensi dengan nilai yang berbeda, pada pipa api berdiameter 10 mm terlihat jelas bahwasannya memiliki hasil efisiensi yang paling rendah dari persentase grafik pengujian lainnya, sedangkan pada pipa api berdiameter 15 mm memiliki nilai efisiensi tertinggi dari masing – masing pengujianya, dan pada pipa api berdiameter 20 mm memiliki nilai efisiensi yang berada pada tengah – tengah hasil pengujian pipa api 10 mm dan pengujian pipa api berdiameter 15 mm. [8]



Gambar 4.10 Grafik perbandingan efisiensi keran terbuka setengah.

Pada **Gambar 4.10** grafik perbandingan keran terbuka setengah juga menunjukkan efisiensi dengan nilai yang berbeda, akan tetapi hasil dari pengujiannya memiliki nilai yang lebih rendah dari pengujian pada saat keran terbuka penuh. Untuk pipa api berdiameter 10 mm berada pada posisi nilai terendah, pipa api berdiameter 15 mm tetap memiliki kedudukan nilai efisiensi pada posisi tertinggi, dan pengujian pipa uap berdiameter 20 memiliki nilai efisiensi yang berada di tengah – tengah antara pengujian pipa api berdiameter 10 mm dan pipa api berdiameter 15 mm. [8]

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian pengaruh variasi diameter pipa api pada mini boiler terhadap daya uap dan efisiensi menggunakan cerobong asap diameter 20 mm dan air dalam tabung 500 mL didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. pengaruh variasi pipa api diameter 10 mm yang terjadi pada saat pengujian daya uap dan efisiensi memiliki hasil yang paling rendah dikarenakan mini boiler kurang mendapatkan panas pembakaran yang maksimal, faktor utama yang mempengaruhi adalah pipa api terlalu kecil sehingga api yang digunakan untuk memanaskan mini boiler juga sedikit dan mengakibatkan air lebih lama untuk mendidih sehingga tekanan uap yang dihasilkan juga relatif ikut menjadi rendah. pada saat pengujian pipa api diameter 15 mm memiliki hasil terbaik dikarenakan mini boiler dipanaskan dengan sempurna sebab api yang masuk pada celah pipa api terbilang sangat sempurna sehingga air lebih cepat mendidih dan dapat menghasilkan tekanan uap yang cukup tinggi. Dan pada pengujian terakhir yaitu pengujian pipa api diameter 20 mm, dari proses pengujian tersebut di dapatkan hasil nilai daya uap dan efisiensi yang lebih rendah dari pipa api diameter 15 mm dikarenakan pipa api terlalu besar dan api tidak menyentuh sempurna pada celah pipa api sehingga mini boiler kurang mendapatkan panas yang maksimal dari hasil proses pembakaran bahan bakar.
2. Dari ketiga variasi waktu pengujian (6 menit, 9, menit, 12 menit) dapat disimpulkan bahwasannya semakin lama proses pengujian maka semakin besar nilai daya uap dan efisiensi yang dihasilkan oleh mini boiler.
3. Hasil terbaik yang di peroleh dari pengujian mini boiler yang telah kita rancang adalah mini boiler menggunakan variasi pipa api berdiameter 15 mm dengan waktu pengujian selama 12 menit.

REFERENSI

- [1] ASME. 2004. *Boiler & Pressure Vessel Code IV, Rules For Construction fo Heating Boiler*. New York : ThreePark Avenue.
- [2] ASME. 2008. *ASME Section IV: Rules For The Construction Of Heating Boilers, Chapter 18*.
- [3] ASME. 2010. *Boiler & Pressure Vessel Code II, Properties (Metric) Materials*. New York : Three Park Avenue.
- [4] J. W. Goodfellow, “*Applying reliability centered maintenance (RCM) to overhead electric utility distributionsystems,*” in *Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEE, 2000*, pp. 566-569.
- [5] K. Fischer, F. Besnard, and L Bertling, “*Reliability-centered maintenance for wind turbines based on statisticalanalysis and practical experience,*” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 27, pp. 184-195, 2012.
- [6] L. Bertling, R. Allan, and R. Eriksson, “*A reliability-centered asset maintenance method for assessing the impact ofmaintenance in power distribution systems,*” *IEEE Transactions on power systems*, vol. 20, pp. 75-82, 2005.
- [7] Muin, Syamsir A. 1988. *Pesawat-Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Jakarta: Rajawali Pers.
- [8] Rusnoto. 2008. *Perencanaan Ketel Uap Tekanan 6 Atm dengan Bahan Bakar Kayu untuk Industri Sederhana*. Oseatek, Edisi 4.