

## PENGARUH RASIO UDARA BAHAN BAKAR SOLAR DAN GAS TERHADAP KUALITAS SATURATED STEAM PADA SISTEM TWO DRUM WATER TUBE BOILER

### EFFECT OF AIR FUEL RATIO OF DIESEL AND GAS FUEL ON SATURATED STEAM QUALITY IN THE TWO DRUM WATER TUBE BOILER SYSTEM

Irawan Rusnadi<sup>\*1</sup>, Fatria<sup>1</sup>, Ahmad Zikri<sup>1</sup>, Sutini Pujiastuti Lestari<sup>1</sup>, Raudi Alvino<sup>\*1</sup>, Julian Indra Jaya<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya  
Jl Srijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139. Telpon : +620711353414 Fax: +62711355918  
e-mail : \*[irawan\\_rusnadi@yahoo.com](mailto:irawan_rusnadi@yahoo.com), \*[raudialvino@gmail.com](mailto:raudialvino@gmail.com)

#### ABSTRACT

A boiler is an equipment used to produce steam for various purposes. In this case, the boiler used also often has problems that cause less than optimal steam results. The obstacle that occurs is usually the ratio of air to fuel which causes the combustion results to be not optimal and imperfect so that it has an impact on the production and quality of the steam produced. One of the parameters of the steam produced is temperature and pressure. Both will relate to the enthalpy of steam as a measure to determine the value of the energy contained in the steam. Therefore, this research focuses on determining the most optimal and precise ratio of air to diesel fuel and gas so that maximum combustion results are obtained. The air-to-fuel ratio which is the variable for diesels are 123.67, 128.33, 133.00, 137.67, 142.33 and for gas are 29.16, 29.44, 29.71, 29.99 and 30.26. In the resulting data, the fourth of the air fuel ratio of diesel fuel which is more optimal and precise, which is 137.67 and 29.99 for gas with the resulting value of temperature is 151°C, pressure is 5 bar and the value of the saturated steam quality is 0.7993 ≈ 0.8.

*Key words: Boiler, air fuel ratio, temperature, pressure, steam quality*

#### 1. PENDAHULUAN

Dewasa ini kebutuhan energi baik di Indonesia maupun dunia semakin meningkat, banyak usaha-usaha yang telah dilakukan guna memenuhi kebutuhan akan energi tersebut antara lain dengan memanfaatkan sumber daya alamiah maupun pemanfaatan bahan bakar konvensional. (Junaidi, 2018).

Pemanfaatan sumber daya alamiah seperti air sangat menguntungkan hal ini dapat dilihat dari segi ketersediaan yang mudah didapatkan, sedangkan pemanfaatan sumber daya dengan berupa bahan bakar konvensional harus dimanfaatkan secara efisien. Pengefisiensian bahan bakar bisa dilakukan dengan mengoptimalkan efisiensi boiler sebagai alat penghasil uap.

Salah satu mesin industri yang berperan penting dalam peningkatan energi yaitu boiler, umumnya jenis boiler yang digunakan salah satunya yaitu water tube boiler. Boiler merupakan suatu peralatan yang digunakan untuk menghasilkan steam (uap) dalam berbagai keperluan. Air di dalam boiler dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar (sumber panas lainnya) sehingga terjadi

perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air yang mengakibatkan air tersebut menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis yang lebih tinggi akan turun ke dasar (MF Syahputra, 2010).

Pada water tube boiler, air umpan boiler mengalir melalui pipa-pipa masuk ke dalam drum. Steam terbentuk karena sirkulasi air yang dipanaskan oleh gas pembakar yang terjadi di daerah uap di dalam drum. Sebagai ketel yang sudah sangat modern, water tube boiler biasanya dirancang dengan tekanan sangat tinggi dan memiliki kapasitas steam antara 4.500-12.000 kg/jam (UNEP, 2006).

Uap atau steam yang dihasilkan merupakan gas yang dihasilkan dari proses yang disebut penguapan. Bahan baku yang digunakan untuk menghasilkan steam adalah air bersih. Dalam hal ini pembakaran air dalam boiler adalah air yang telah melalui pemanasan didalamnya yang dialirkan ke drum boiler (penampung steam) dan kemudian disuplai kedalam boiler untuk dipanaskan lebih lanjut sehingga menjadi steam basah.

Jumlah molekul yang meninggalkan permukaan cairan lebih besar dari yang masuk kembali, maka air akan menguap dengan bebas. Pada keadaan ini air telah mencapai titik didihnya atau suhu jenuhnya, yang dijenuhkan oleh energi panas. Jika tekanannya tetap penambahan lebih banyak panas tidak mengakibatkan kenaikan suhu lebih lanjut namun menyebabkan air akan membentuk *steam* jenuh (Pradita, 2011).

Sistem pembakaran di *two drum boiler* dengan perbandingan antara udara dan bahan bakar memerankan peranan yang penting dalam kualitas pembakaran. Perbandingan udara bahan bakar teoritis atau stoikiometri dapat ditentukan dengan analisis dengan analisis ultimasi begitu terbakar. Perbandingan ini dihitung dengan membuat kesetimbangan massa oksigen pada reaktan dapat terbakar (karbon, hydrogen, dan sulfur) (Archie dan Darwin, 1991).

Bahan bakar yang digunakan *Cross Section Water Tube Boiler* adalah Solar dan LPG. Solar adalah bahan bakar minyak nabati hasil destilasi dari minyak bumi mentah. Bahan bakar ini berwarna kuning coklat yang jernih. Penggunaan solar pada umumnya adalah untuk bahan bakar pada semua jenis mesin diesel dengan putaran tinggi (diatas 1000 rpm) (Pertamina, 2005).

LPG (*liquified petroleum gas*) adalah campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam atau kilang crude oil. Dengan menambah tekanan dan menurunkan suhunya, gas berubah menjadi cair. Komponennya didominasi propana ( $C_3H_8$ ) dan butana ( $C_4H_{10}$ ) (Aptogaz Indonesia, 2015).

Rasio antara udara dan bahan bakar dijaga pada nilai tertentu, agar kandungan oksigen pada gas buang menjadi optimal, sehingga pembakaran terjadi dengan sempurna dan panas yang dihasilkan akan maksimal. Pembakaran yang sempurna akan dapat mengubah seluruh energi yang memungkinkan pada bahan bakar sehingga dapat menghasilkan kualitas uap/steam yang baik.

Menurut (Cengel dan Boles, 2006) kualitas uap merupakan perbandingan entalpi uap pada sebuah kondisi terhadap selisih entalpi pada fase uap jenuh dan cair jenuh.

Nilai kualitas uap dapat digunakan untuk menunjukkan jumlah energy yang dikandung oleh uap tersebut pada tekanan dan temperatur tertentu (Tambunan, 2019).

## 2. METODE

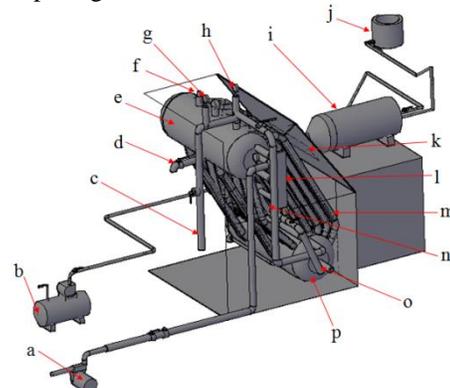
### 2.1 Pendekatan Desain Fungsional

Rancang bangun peralatan *two drum cross section water tube boiler* terdiri dari delapan unit

utama yaitu *Steam Drum, Feed Water Drum, Water Tube, Super Heater Tube, Burner, Ruang Bakar, Pompa dan Kompresor*. Sistem tersebut dilengkapi dengan instrumen pendukung berupa *Pressure Instrument, Temperature Instrument, Valve, Safety Valve, Water Level Volume, Main Steam Valve dan Blowdown Valve*.

### 2.2 Pendekatan Desain Struktural

Pada pendekatan struktural ini rancang bangun alat cross section double drum water tube boiler dengan berbagai komponen penyusunnya dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 1. Alat *Cross Section Water Tube Boiler* keterangan:

- a. pompa
- b. kompresor
- c. output saturated steam
- d. output drain water
- e. steam drum
- f. safety valve
- g. temperature instrument
- h. pressure gauge
- i. burner
- j. tanki bahan bakar
- k. ruang bakar
- l. water level gauge
- m. water tube
- n. superheater tube
- o. output superheated steam
- p. feed water drum

### 2.3 Perlakuan dan rancangan percobaan

Dalam penelitian *two drum cross section water tube boiler* terdapat beberapa variabel yang diambil antara lain variabel tetap dan tak tetap. Variabel tetap berupa air dan bahan bakar. Sedangkan, variabel tidak tetap berupa rasio udara bahan bakar dan udara excess. Dimana pada permasalahan yang akan dikaji pada penelitian ini yaitu pengaruh rasio udara bahan bakar solar dan gas dengan nilai rasio udara/bb solar sebesar 123,67, 128,33, 133,00, 137,66, 142,33 dan udara excess 6%, 10%, 14%, 18%, 22% sedangkan nilai rasio udara bb/gas 29,16, 29,44, 29,71, 29,99,

30,26 dan udara excess 6%, 7%, 8%, 9% dan 10% terhadap kualitas saturated steam yang dihasilkan dengan parameter temperatur dan tekanan yang dihasilkan.

#### 2.4 Prosedur Penelitian

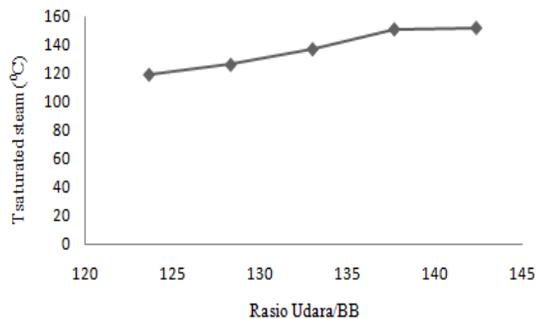
Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan seperti persiapan hingga pengoperasian. Adapun untuk pelaksanaan prosedur persiapan hingga pengoperasian boiler pada penelitian kali ini, standar pengoperasian yang digunakan setiap tahapan yaitu berdasarkan dengan metode ASME PD 769 Section VI.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

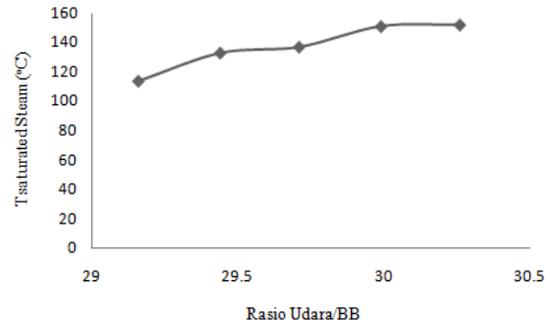
Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini yaitu air serta udara dan bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah bahan bakar cair yaitu solar dan gas. Untuk mendapatkan proses pembakaran yang sempurna, maka diperlukan udara pembakaran yang baik. Berikut variasi nilai rasio udara bahan bakar solar yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 123,67, 128,33, 133,00, 137,66, 142,33 dan 33 dan gas 29,16, 29,44, 29,71, 29,99, 30,26.

#### 3.1 Hubungan Rasio Udara/BB Terhadap Temperatur Saturate Steam ( $^{\circ}\text{C}$ )

Grafik hubungan rasio udara/BB solar dan LPG terhadap temperatur saturated steam ( $^{\circ}\text{C}$ ), dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Hubungan Rasio Udara/BB Solar Terhadap Temperatur Saturated Steam ( $^{\circ}\text{C}$ )



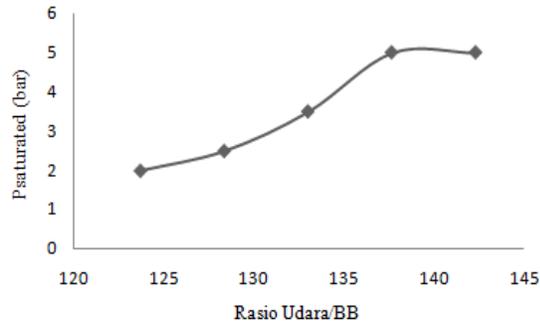
Gambar 3. Hubungan Rasio Udara/BB Gas LPG Terhadap Temperatur Saturated Steam ( $^{\circ}\text{C}$ )

Dari Gambar 2 dan 3 dapat dilihat, bahwa pada rasio ke-4 dengan jumlah rasio udara/BB 137,66 dan 29,99 dengan temperature saturated steam  $151^{\circ}\text{C}$  telah mencapai tekanan 5 bar dan steam 5 L/hr seperti yang diinginkan. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses cepatnya pemanasan air menjadi sehingga temperature meningkat dengan cepat yaitu pembakaran yang optimal dengan komposisi rasio udara/BB yang tepat. Saturated Steam yaitu sebuah kondisi dimana uap air berada pada ekuilibrim tekanan dan temperature yang sama dengan fase cair (liquid), saturated steam mulai terbentuk tepat pada saat air mencapai titik didihnya (titik saturated water), hingga semua energi dari panas laten diserap oleh air. Pada rasio udara/BB ke-1 dengan jumlah rasio udara/BB 123,67 dengan temperature saturated steam  $119^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan 2 bar dan steam 5 L/hr belum bisa dikatakan optimal. Jika dibandingkan pada rasio udara/BB ke-5 dengan jumlah rasio udara 142,33 dengan tekanan 5 bar dan steam 5 L/hr juga belum dapat dikatakan optimal walaupun temperature saturated steam, tekanan dan steam yang dihasilkan sudah sesuai dengan target yang dicapai. Hal ini dikarenakan jumlah rasio udara/BB yang digunakan lebih banyak hingga terbuang sia-sia jika dibandingkan dengan rasio udara/BB solar dan gas LPG ke-4 yaitu dengan hanya 137,66, dan 29,99 temperature saturated steam, tekanan dan steam yang di hasilkan sudah mencapai target optimal.

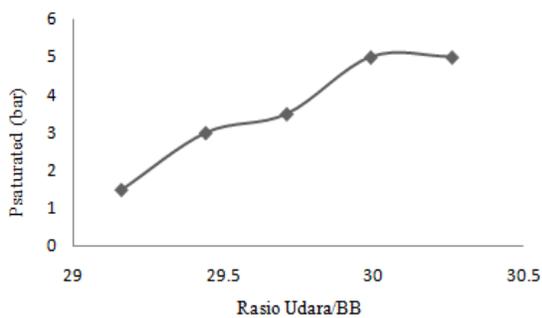
Menurut Junaidi dan Nasution (2018) besarnya temperatur uap saturated yang dihasilkan tergantung pada laju penguapan air di dalam boiler yang menerima transfer panas dari pembakaran dari hasil rasio udara bahan bakar yang digunakan, oleh karena itu semakin besar nilai rasio udara bahan bakar yang digunakan maka panas yang ditransfer akan semakin besar sehingga laju penguapan air akan semakin meningkat dan nilai temperatur uap saturated juga akan semakin tinggi.

### 3.2 Hubungan antara Rasio Udara/BB Terhadap Tekanan Saturated Steam (bar)

Grafik hubungan rasio udara/BB solar dan LPG terhadap tekanan saturated steam ( $^{\circ}\text{C}$ ), dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Hubungan Rasio Udara/BB Solar Terhadap Tekanan Saturated Steam (bar)



Gambar 5. Hubungan Rasio Udara/BB Gas LPG Terhadap Tekanan Saturated Steam (bar)

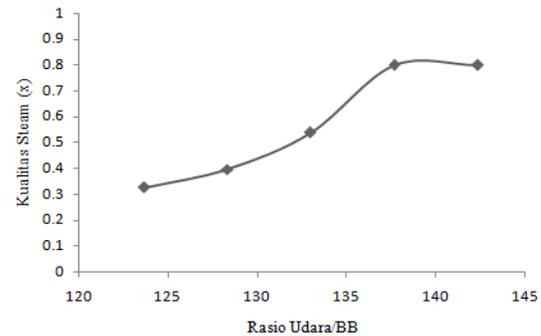
Dari Gambar 4 dan 5 di atas dapat dilihat pada rasio udara/BB ke-1 sebesar 123,67 dan 29,16 didapatkan tekanan sebesar 2 bar dimana pada tekanan tersebut merupakan proses air yang terus diberikan panas maka akan air berubah dari fase cair menjadi fase gas (uap), proses ini mengakibatkan kenaikan tekanan. Jika dibandingkan dengan rasio udara/BB ke-4 dan ke-5 yaitu solar sebesar 137,66 dan 142,33 dan gas sebesar 29,99 dan 30,26 pada rasio tersebut didapatkan tekanan yang meningkat menjadi sebesar 5 bar sesuai dengan target yang dicapai. Hal ini disebabkan karena bila panas terus diberikan, maka gerak molekul dalam zat cair akan semakin acak, dan tumbukan antar molekul semakin sering terjadi. Kondisi ini bila berlangsung terus, maka suatu saat molekul akan benar-benar bebas dan tidak terikat satu dengan lainnya, kondisi ini disebut zat cair berubah menjadi gas.

Jadi dapat dikatakan rasio udara/BB ke-4 lebih optimal dan tepat dibandingkan yang ke-5 karena hanya dengan rasio udara sebesar 137,66 sudah bisa

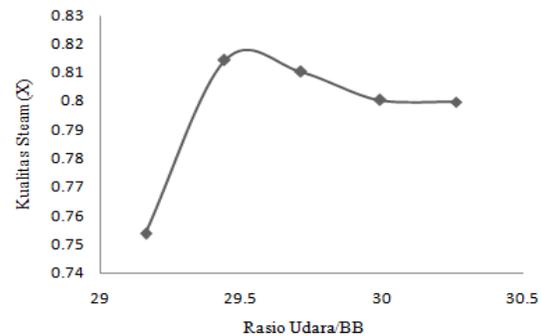
mencapai target yang dicapai yaitu tekanan sebesar 5 bar. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Qamaruddin dan Sikki (2016) dimana perubahan tekanan uap akan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah rasio udara bahan bakar, semakin tinggi tekanan uap maka semakin meningkat proses pembakaran bahan bakar dan udara.

### 3.3 Hubungan antara Rasio Udara/BB Terhadap Kualitas Saturated Steam (x)

Grafik hubungan rasio udara/BB solar dan LPG terhadap temperatur saturated steam ( $^{\circ}\text{C}$ ), dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Hubungan Rasio Udara/BB Solar Terhadap Kualitas Saturated Steam (x)



Gambar 7. Hubungan Rasio Udara/BB Gas LPG Terhadap Kualitas Saturated Steam (x)

Dari Gambar 6 dan 7 di atas dapat di lihat grafik antara rasio udara/BB terhadap kualitas saturated steam dimana pada rasio udara/BB solar dan gas ke-1 didapatkan nilai kualitas steam sebesar 0,3246 dan 0,7539. Selama proses penguapan, zat berupa sabagian cair dan sebagian gas, kondisi tersebut adalah saturated vapor. Untuk menganalisis campuran tersebut perlu diketahui proporsi fase cair dan uap dalam campuran tersebut, dengan menentukan kualitas x yaitu rasio massa uap terhadap massa. Kualitas hanya terdapat pada campuran jenuh, dan tidak bermakna dalam daerah compressed liquid atau superheated vapor. Kualitas x besarnya selalu

diantara 0 dan 1. Kualitas suatu sistem yang terdiri dari saturated liquid adalah 0 (0%) dan kualitas suatu sistem yang terdiri dari saturated vapor adalah 1 (100%). Jika dibandingkan rasio udara/BB pada rasio ke-4 dan ke-5 nilai kualitas steam yang didapatkan hampir sama yaitu sebesar 0.7993 dan 0.8006 karena nilai entalpi saturated steam yang tidak jauh berbeda. Sehingga rasio udara/BB ke-4 dapat dikatakan lebih optimal dan tepat daripada rasio udara/BB ke-5 karena dengan rasio udara/BB sebesar 137,66 didapatkan nilai kualitas steam yang sama dengan rasio udara/BB sebesar 142,33. Menurut Cengel dan Boles (2006) kualitas uap merupakan perbandingan entalpi uap pada kondisi terhadap selisih entalpi fase uap jenuh dan jenuhnya. Ketika terjadi perubahan nilai entalpi unsur uap campuran maka kualitas uap tersebut juga akan berubah.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Tambunan (2019) bahwa kualitas uap akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah panas yang dihasilkan dari pembakaran, semakin tinggi temperatur dan tekanan dihasilkan maka entalpi uap akan meningkat dan nilai kualitas uap juga semakin tinggi.

### 3.4 Perbandingan Hasil dengan Penelitian Sebelumnya

Produksi *saturated steam* pada *boiler* telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya dengan parameter temperatur dan tekanan untuk mengetahui kualitas *steam* yang dihasilkan. Hasil dari penelitian dapat dilihat pada Tabel 1 dan juga perbandingan dengan penelitian sebelumnya.

**Tabel 1.** Perbandingan hasil dengan penelitian sebelumnya

Kemiringan Boiler	Bahan bakar	Rasio Udara/BB	Temperatur Steam (°C)	Tekanan Steam (bar)	Kualitas Steam (x)	Penelitian
TD	Fuel oil	23	150	TD	TD	Intang, 2014
TD	Heavy oil	TD	179	4	0,83	Tambunan, 2019
65°	Solar	137,66	151	5	0,79	Penelitian saat ini
65°	Gas LPG	29,99	151	5	0,8	Penelitian saat ini

Ket : TD = Tidak diuji

Pada tabel 1 dapat dilihat perbandingan beberapa parameter hasil penelitian terhadap penelitian sebelumnya. Dari hasil produksi steam yang dihasilkan yaitu saturated steam pada setiap penelitian. Penelitian oleh Intang (2014) mampu menghasilkan temperatur *steam* yang optimal dengan bahan bakar menggunakan *fuel oil* dan rasio udara bahan bakar sebesar 23 menghasilkan temperatur steam hingga 150°C. Sementara itu, penelitian oleh Tambunan (2019) dengan panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar *heavy oil* menghasilkan nilai temperatur steam hingga 179°C, tekanan 4 bar dan kualitas steam 0,83.

Dari tabel diatas beberapa penelitian tersebut dapat diketahui bahwa rasio udara bahan bakar dengan berbagai macam bahan bakar mempunyai keadaan variatif untuk menghasilkan nilai temperatur dan tekanan yang optimum. Nilai kualitas steam yang didapatkan diperoleh dari parameter berupa temperatur dan tekanan berdasarkan hasil penelitian saat ini dan juga penelitian sebelumnya, semakin besar nilai temperatur dan tekanan *steam* yang dihasilkan maka nilai kualitas *steam* akan tinggi seiring dengan jumlah panas yang diberikan dari pembakaran.

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dengan alat cross section water tube boiler pada penelitian pengaruh rasio udara bahan bakar solar dan gas terhadap kualitas steam, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Semakin besar rasio udara bahan bakar solar dan gas yang digunakan maka temperatur, tekanan dan entalpi steam yang dihasilkan akan semakin tinggi nilainya karena proses perpindahan panas yang semakin besar.
2. Penggunaan rasio udara/BB solar yang optimal dan tepat dalam menghasilkan kualitas saturated steam yang baik yaitu pada rasio udara/bb ke-4 jika dibandingkan dengan rasio udara/bb ke-5 karena hanya dengan menggunakan rasio udara/BB sebesar 137,66 nilai kualitas steam yang dihasilkan telah hampir sama dengan nilai kualitas steam rasio udara/BB sebesar 142,33 yaitu sebesar 0.8.
3. Pemilihan serta penggunaan rasio udara bahan bakar yang tepat dan optimal harus dilakukan karena semakin optimal rasio udara/BB yang digunakan akan memberikan dampak yang bagus pada proses pembakaran dan perpindahan panas

sehingga dapat mempengaruhi temperatur, tekanan, entalpi serta kualitas steam yang didapatkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Archie W. Culp Jc dan Sitompul, D. 1991. *Prinsip - prinsip Konversi Energi*. Jakarta : PT. Erlangga.
- Aptogaz Indonesia. 2015. *Mengenal Gas LPG*. <https://aptogaz.files.wordpress.com/2007/07/mengenal-gas-lpg.pdf>, diakses pada tanggal 27 Juli 2020
- ASME. 2001. *Boiler and Pressure Vessel Code, Section VI: Recommended Rules for The Care and Operation of Heating Boilers*. New York : Three Park Avenue
- Cengel, Y. A., dan Boles, M. A. 2006. *Thermodynamics an Engineering Approach*. Boston : MC Graw Hill..
- Intang, A. 2014. *Studi Pengaruh Pengaturan Bentuk Lidah Api Pada Burner Terhadap Upaya Peningkatan Efisiensi Perpindahan Panas Pada Fired Heater – Water Tube Boiler*. Jurnal Austenit Vol. 6 No. 2 : Hal 21
- Junaidi dan Nasution, S. 2018. *Analisa Unjuk Kerja Boiler Tipe Pipa Air Melalui Gas Buang*. Universitas Harapan Medan. Bull. STTH, Vol. 3 No. 2 : Hal 1
- MF Syahputra. 2010. *Pengenalan Boiler*. Universitas Sumatera Utara : Medan
- Pertamina. 2005. *Industrial Diesel Oil (Minyak Diesel)*. <http://www.pertamina.com/indonesia/head-office/hilirppdn/product/prdsolar.html>. diakses pada tanggal 27 Juli 2020
- Pradita, B. S. 2011. *Pemanfaatan Uap Kering Sebagai Prime Mover (Penggerak Mula) Turbin Uap Untuk Menghasilkan Daya Listrik Di PTP. Nusantara II PKS Pagar Marbau*. Universitas Sumatera Utara : Medan.
- Qamaruddin dan Sikki. 2016. *Analisis Kebutuhan Bahan Bakar terhadap Perubahan Tekanan Uap*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Vol. 4 No. 2 : Hal. 67 – 74
- Tambunan, L. H. 2019. *Perhitungan dan Analisis Kualitas Uap pada Sistem Distribusi Uap di South Central Gathering Station Studi Kasus : PT Chevron Pacific Indonesia*. Universitas Sanata Dharma: Yogyakarta.
- United Nations Environment Programme. 2006. *Boiler & Pemanas Fluida Termis. Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia*.