

## EFISIENSI TERMAL PRODUKSI STEAM DITINJAU DARI RASIO UDARA BAHAN BAKAR SOLAR PADA CROSS SECTION WATER TUBE BOILER

### THE THERMAL EFFICIENCY OF STEAM PRODUCTION IN TERMS OF AIR FUEL RATIO OF DIESEL IN THE CROSS SECTION WATER TUBE BOILER

Aisyah Suci Ningsih<sup>1</sup>, Adi Syakdani<sup>1</sup>, Irawan Rusnadi\*<sup>1</sup>, Yustika Oktaviani\*<sup>1</sup>, Febri Veronica\*<sup>1</sup>, Jihan Triani Anisya<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Energi/Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Sriwijaya Negara Bukit Besar, Palembang, Telp. 0711-353414 Fax. 0711-355918

e-mail : <sup>a)</sup>[yustikaoktaviani@gmail.com](mailto:yustikaoktaviani@gmail.com), <sup>b)</sup>[febryryveronica@gmail.com](mailto:febryryveronica@gmail.com) <sup>c)</sup>[Irawan\\_rusnaldi@yahoo.com](mailto:Irawan_rusnaldi@yahoo.com)

#### ABSTRACT

*Cross Section Double Drum Water Tube Boiler is a steam boiler that is used to convert water into steam by heating, where the heat source comes from the combustion of fuel in the furnace. It is said that the Cross Section of the Double Drum Water Tube Boiler is because the tube arrangement in the boiler is made in the opposite direction to the drum, then this time the tool is made of a slope of 65° on the tube with the aim of reducing the force of gravity so that it will speed up the evaporation process, and has two drums. The fuel used in this study uses liquid fuel, namely diesel with the air-to-fuel ratio as a changing variable, while 15 liters of fuel and 75 kg of boiler feed water are fixed variables. The ratio of air to fuel used ranges from 15.78 to 18.16. From the results of this study, the best response to the performance of the Cross Section Double Drum Water Tube Boiler is the air-to-fuel ratio of 17.57, where the boiler efficiency is 61.12%, of saturated steam and 67.18 % of superheated steam with a steam temperature of 151 °C and 229 °C, the steam pressure has reached the optimum pressure of 5 bar.*

*Keywords: Cross Section Double Drum Water Tube Boiler, Fuel Ratio, Efficiency Thermal.*

#### 1. PENDAHULUAN

Berdasarkan program pemerintah yang disebut *Expo Boiler* pada tahun 2019 dengan tujuan dapat mendorong dan meningkatkan perkembangan industri *boiler* lokal serta membantu pertumbuhan industri manufaktur yang ada di Indonesia. Kementerian Perindustrian mengungkapkan *boiler* atau ketel uap industri berperan penting dalam penyempurnaan proses produksi di industri manufaktur Direktorat Industri Permesinan dan Alat Pertanian. Penggunaan *boiler* pada industri manufaktur memegang peranan yang penting dalam penyempurnaan proses produksi, *boiler* dapat menghasilkan energi yang dapat digunakan untuk mengalirkan panas dalam bentuk energi kalor ke suatu proses (Zakiyudin 2019).

*Boiler* adalah alat yang berfungsi memanaskan air untuk menjadi uap bertekanan dan bertemperatur tinggi, dengan menggunakan panas dari hasil pembakaran bahan bakar pada ruang bakar (Yuliyani 2019).

Pada prinsip kerja *boiler* adalah terjadinya pembakaran dari bahan bakar sehingga menghasilkan panas. Panas dari bahan bakar kemudian dipakai untuk memanaskan air didalam ketel sehingga air dapat mendidih dan menghasilkan uap. Hasil dari uap itu

mengandung tenaga potensial yang nantinya tenaga uap tersebut diubah menjadi tenaga mekanik atau mensuplai panas untuk keperluan industry (Borgnkke 2006).

(Juriwon 2017) melakukan penelitian tentang *boiler* dengan pipa *longitudinal* sebagai *superheater* untuk menghasilkan *superheated steam* dan sistem hanya terdiri dari satu buah *drum* yang berfungsi sebagai *water drum* dan *steam drum*. Dari penelitian mengenai *Longitudinal Water Tube Boiler* tersebut dapat diketahui bahwa masih banyak kekurangan, salah satunya yaitu sistem *longitudinal tube* yang artinya susunan *tube* sejajar dengan *steam drum* sehingga mempersempit luas area pada *tube* dan memperkecil perpindahan panas yang terjadi pada *boiler* (Hanifah 2019).

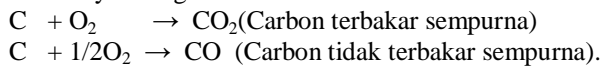
Pada penelitian kali ini kami membuat *boiler* jenis pipa air dengan menggunakan sistem *Cross Section* yang artinya *tube* pada *boiler* tersusun secara melintang dengan tujuan memperluas area *tube* sehingga luas area perpindahan panas pada *boiler* menjadi lebih besar kemudian menggunakan kemiringan pada *tube* sebesar 65° dengan tujuan agar mempercepat penguapan pada molekul air (Nag 2008).

**Water Tube Boiler atau boiler pipa air.**

Boiler jenis ini banyak dipakai untuk kebutuhan uap skala besar. Prinsip kerja dari boiler pipa air yaitu gas pembakaran dari furnace dilewatkan ke pipa-pipa yang berisi air yang akan diuapkan. Ada dua keuntungan menggunakan boiler pipa air yaitu kapasitas yang besar dapat dicapai dengan memperbanyak jumlah tube atau pipa tanpa bergantung ukuran dari sell dan drum. Keuntungan kedua adalah sell dan drum uap tidak terkena radiasi langsung dari kalor pembakaran sehingga dimungkinkan dibuat boiler dengan kapasitas dan tekanan uap yang besar. Berbagai jenis bahan bakar dapat dipakai pada boiler tipe ini, variasi ukuran juga tidak menimbulkan masalah (Iskandar 2015).

**Proses Pembakaran**

Pembakaran merupakan oksidasi cepat bahan bakar disertai dengan produksi panas, atau panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi hanya jika ada pasokan oksigen yang cukup. Dalam setiap bahan bakar, unsur yang mudah terbakar adalah karbon, hidrogen dan sulfur (Wahjudi, 2017). Dalam proses suatu pembakaran jika tidak ada cukup oksigen, maka karbon tidak akan terbakar seluruhnya, contohnya sebagai berikut :



Tujuan dari pembakaran yang baik adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Menurut Utami dkk,(2017) Hal ini dilakukan dengan pengontrolan “tiga T” yaitu:

Petama, T- *Temperature*: Temperatur yang digunakan untuk pembakaran yang baik harus cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya reaksi kimia. Kedua, Turbulensi: Turbulensi yang tinggi menyebabkan terjadinya pencampuran yang baik antara bahan bakar dan pengoksidasi. Dan yang terakhir, T-*Time*: Waktu harus cukup agar input panas dapat terserap oleh reaktan sehingga berlangsung proses termokimia.

**Kajian Efisiensi Boiler**

Efisiensi termis boiler didefinisikan sebagai “persen energi (panas) masuk yang digunakan secara efektif pada Steam yang dihasilkan.” Terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler.

- Metode Langsung: energi yang didapat dari fluida kerja (air dan Steam) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar boiler.
- Metode Tidak Langsung: efisiensi merupakan perbedaan antara kehilangan dan energi yang masuk.

Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan menggunakan rumus:

Efisiensi Boiler ( $\eta$ )

$$\eta = \frac{\text{Panas yang diinginkan}}{\text{Panas Masuk } (Q_{in})} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

$$Q_{in} = \Delta H^0 F + ncpdt (p) - ncpdt (r) \dots\dots\dots(2)$$

$$C_p = A + BT + CT^2 \dots\dots\dots(3)$$

$$C_{pm} = \frac{\int_{T_1}^{T_2} (A+BT+CT^2) dT}{T_{in} - T_{ref}} \dots\dots\dots(4)$$

(sumber : Hougen 1976)

**2. METODE PENELITIAN**

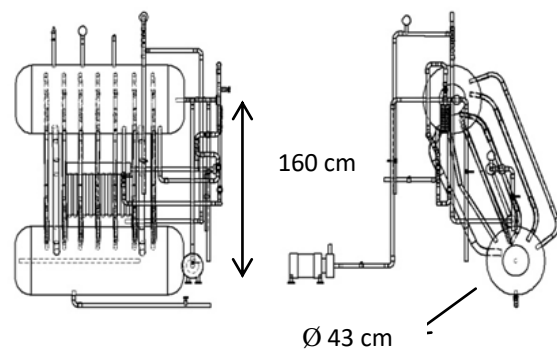
Penelitian ini diawali dengan studi literatur, perakitan, uji coba alat, running alat, pengumpulan data, pengolahan data, analisa dan pembahasan.

**Pendekatan Desain Fungsional**

Rancang bangun Cross Section Water Tube Boiler terdiri dari delapan unit utama yaitu steam drum, water drum, water tube, burner, ruang bakar, superheater, pompa dan kompresor. Sistem tersebut dilengkapi dengan instrument pendukung yaitu pressure indicator, temperature indicator, valve, pressure safety valve, water level gauge dan drain valve dengan fungsi masing-masing.

**Pendekatan Desain Struktural**

Cross Section Water Tube Boiler dirancang dengan beberapa unit yang tergabung menjadi suatu sistem terintegrasi. Unit yang paling utama adalah dua buah drum (steam drum dan water drum) yang terhubung dengan water tube dan super heater sebagai tempat terjadinya proses pemanasan air dan uap air. Secara rinci konstruksi sistem boiler dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



**Gambar 1.** Design Struktural Double Drum Cross Section Water Tube Boiler

Tabel 1. Spesifikasi Alat

No	Bahan/Alat	Merk/Spesifikasi	Kuantitas	Satuan
1	Water Level Gauge	habei, reflex, glass tube fbg	1	Buah
2	Tube	seamless carbon steel 6m x 1/2" scn 40	10	Buah
3	Steam Drum	tabung baja 300 bar 232 mm x 1450 mm	1	Buah
4	Feed Water Drum	tabung baja 300 bar 232 mm x 1450 mm	1	Buah
5	Pompa	lakoni daytona 100	1	Buah
6	Kompresor	lakoni imola-125	1	Buah
7	Pressure Indicator	wiebrock 4" connection 1/2"	2	Buah
8	Temperature Indicator	wiebrock 4" 500°C	2	Buah
9	Safety Valve	srvc390-150psi	1	Buah
10	Main Valve	ball valve galvanis 1/2"	3	Buah
11	Blowdown Valve	ball valve galvanis 1/2"	2	Buah
12	Main Steam Valve	ball valve galvanis 1/2"	4	Buah
14	Elbow	galvanis 1/2"	5	Buah
15	Siku	30 mm x 3 mm x 6m	1	Buah
16	Siku	60 mm x 6 mm x 6m	1	Buah
17	Engsel	stainless steel 1"	2	Buah
18	Sekrup	2mm x 10mm	10	Buah
19	Reducer	galvanis 3/4" ke 1/2"	1	Buah
20	Semen	tipe pcc	10	Zak
21	Pasir	-	2	m <sup>3</sup>
22	Koral	-	10	Karung
23	Batu Bata	-	700	Buah

### Rasio Udara Bahan Bakar

Rasio udara bahan bakar didapatkan dari perhitungan dengan acuan udara excess 5-22%, setelah didapatkan nilai dari massa udara dan massa bahan bakar solar maka di lanjutkan dengan mencari rasio udara bakar dengan rumus :

$$AFR = \frac{M_{udara}}{M_{bb}}$$

Maka didapatlah rasio udara bahan bakar, 15,78, 16,38, 16,97, 17,57, dan 18,16.

### Bahan Bakar dan Variabel Lainnya

Bahan bakar yang digunakan yaitu Solar sebanyak 15 liter dengan jumlah air umpan boiler sebanyak 75 liter. Sehingga, Variabel yang harus diamati yaitu temperatur Steam, tekanan Steam, serta Flame Temperature nya.

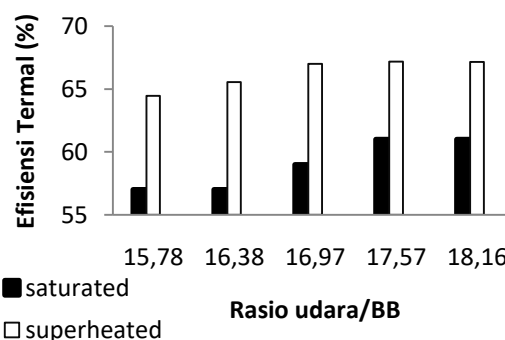
ISSN: 1693-9050

E-ISSN: 2623-1417

<https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian yang telah dilakukan yaitu tentang boiler jenis pipa air dengan menggunakan sistem Double Drum Cross Section Water Tube Boiler yang artinya menggunakan 2 drum dan tube pada boiler tersusun secara berlawanan arah dengan steam drum dengan tujuan memperluas area tube sehingga luas area perpindahan panas pada boiler menjadi lebih besar. Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini bahan bakar cair yaitu solar. Untuk mendapatkan proses pembakaran yang sempurna, maka diperlukan udara pembakaran. Berikut grafik hubungan antara rasio udara bahan bakar terhadap efisiensi termal produksi saturated steam dan superheated steam :



Gambar 2. Grafik hubungan antara rasio udara bahan bakar terhadap efisiensi termal

Pada alur grafik yang diperlihatkan di atas, efisiensi thermal boiler mengalami kenaikan secara signifikan dari rasio udara bahan bakar 15,78 hingga rasio udara bahan bakar 18,16.

Jika dilihat untuk alur grafik efisiensi boiler pada rentang rasio udara 17,57 kenaikan efisiensi boiler meningkat menjadi 61,12 % untuk saturated steam dan 70,25 % untuk superheated steam. Kondisi ini terjadi karena kebutuhan udara yang terbilang baik untuk proses pembakaran. Penambahan jumlah udara hingga rasio udara 17,57, mengakibatkan kenaikan jumlah panas yang diterima fluida steam sehingga meningkatkan jumlah kalor yang terserap. Kenaikan jumlah panas tersebut diakibatkan oleh meningkatnya kerapatan massa jenis udara yang secara langsung terjadi pemanasan udara sebelum masuk ke ruang bakar sehingga kapasitas efektif dari burner akan meningkat. Keadaan ini memberikan efek yang baik terhadap molekul-molekul bahan bakar ketika bertemu dengan jumlah udara yang kerapatannya sudah meningkat (Helfi 2014).

Kenaikan jumlah udara tidak dibarengi dengan kenaikan efisiensi thermal boiler pada rasio udara bahan bakar 18,16. Kenaikan yang tidak signifikan tersebut diakibatkan komponen gas nitrogen yang jumlahnya sangat banyak sebagai gas pada proses pembakaran bahan bakar solar. Keberadaan gas nitrogen ini berdampak pada banyaknya energi yang dikonveksi oleh boiler melalui gas bekas sehingga kandungan energi sensibel pada gas bekas cenderung

meningkat dan menurunkan efisiensi *boiler* (Prameswari 2017).

Dari ke 5 rasio udara bahan bakar yang dilakukan percobaan, rasio udara bahan bakar yang paling optimal yaitu pada 17,57 didapat pada rasio ke-4 dengan efisiensi sebesar 61,12 % untuk *saturated steam* dan 70,25 % untuk *superheated steam*, jika dibandingkan dengan rasio ke-5 dimana rasio udara bahan bakar 142,33 dengan efisiensi sebesar 61,15 % untuk *saturated steam* dan 69,76% untuk *superheated steam*. Pada rasio udara/BB ke-4 dan ke-5 tekanan yang ingin dicapai yaitu 5 bar dengan massa *steam* 8 kg, dikatakan rasio ke-4 yang paling optimal karena rasio udara/BB yang digunakan lebih kecil di bandingkan pada rasio ke-5 dengan tekanan dan massa *steam* yang telah mencapai target yang diinginkan.

Menurut Derry (2016) pada jurnal penelitiannya tentang analisa pengaruh perbandingan debit bahan bakar dengan udara terhadap efisiensi boiler di PT. Chevron Pacific Indonesia mengatakan, “Semakin besar bukaan *louver*, nilai *steam quality* semakin rendah.” dan “Efisiensi boiler didapatkan dari perbandingan kalor keluar dan kalor masuk. Jumlah kalor masuk akan sesuai dengan jumlah bahan bakar yang dibakar oleh *boiler*. Sedangkan jumlah kalor keluar atau kalor yang terserap akan bervariasi karena dipengaruhi oleh bukaan *louver*”. Jadi, dapat disimpulkan bahwa rasio udara bahan bakar sangat mempengaruhi efisiensi atau kinerja *boiler*.

*Boiler*. Penelitian tersebut menghasilkan nilai maksimal dari kapasitas *boiler*

Rasio antara jumlah udara dan bahan bakar yang digunakan merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada proses pembakaran di *furnace*. Jumlah aliran udara dan suplai bahan bakar harus selalu dikontrol agar efisiensi yang diinginkan bisa tercapai. Terlalu banyak, atau terlalu sedikit nya bahan bakar pada jumlah udara pembakaran tertentu, dapat mengakibatkan penurunan efisiensi *boiler* serta menaikkan persen kehilangan panas di aliran flue gas (Lestari 2014).

Jumlah  $O_2$  tertentu diperlukan untuk pembakaran yang sempurna dengan tambahan sejumlah udara (udara berlebih) diperlukan untuk menjamin pembakaran yang sempurna. Walau demikian, terlalu banyak udara berlebih akan mengakibatkan kehilangan panas dan menurunkan efisiensi (Juriwon 2017).

#### 4. PERBANDINGAN DENGAN PENELITIAN LAINNYA.

Penelitian tentang pembuatan *boiler* telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, sehingga dapat dibuat tabel perbandingan hasil penelitian sebagai berikut:

**Tabel 2.** Hasil penelitian pada *Boiler* yang digunakan

Rasio Udara/BB	Bahan Bakar	Laju alir Bahan bakar	Hasil <i>Steam</i>	Tekanan (Bar)	Temperatur (°C)	Efisiensi Termal (%)	Penelitian
15,48	Solar	TD	<i>Saturated</i>	10	TD	TD	Juriwon 2017
TD	Solar	TD	<i>Superheated</i>	4	380	20,18	Intang 2014
15,78	Solar	4,98	TD	2	119	56,61	Penelitian saat ini
16,38	Solar	4,98	TD	2,5	126	56,98	Penelitian saat ini
16,97	Solar	4,98	TD	3,5	137	58,99	Penelitian saat ini
17,57	Solar	4,98	TD	5	151	61,12	Penelitian saat ini
18,16	Solar	4,98	TD	5	152	61,15	Penelitian saat ini

Ket TD = Tidak Diuji

Pada Tabel 2 dapat diketahui perbandingan beberapa parameter hasil penelitian lain. Data tersebut merupakan nilai optimal yang didapatkan pada setiap penelitian. Juriwon (2017) pada penelitiannya kondisi optimal terdapat pada rasio udara bahan bakar 15,48 dengan efisiensi sebesar 20,18 %. Sementara itu, Intang (2014) melakukan penelitian studi pengaruh pengaturan bentuk Lidah Api pada *Burner* terhadap upaya peningkatan efisiensi *Fired Heater-Water Tube*

dengan diperoleh tekanan dan temperatur sebesar 4 bar dan 380 °C dengan efisiensi sebesar 56,61%. Kemudian pada penelitian saat ini kondisi optimal diperoleh pada rasio udara bahan bakar 17,57 dengan tekanan sebesar 5 bar dan temperature 151 °C serta efisiensi sebesar 61,12 %. Dari beberapa penelitian tersebut dapat diketahui bahwa *boiler* pipa air dengan berbagai rasio udara bahan bakar mempunyai keadaan yang variatif untuk menghasilkan efisiensi termal pada *boiler* yang maksimal.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa secara kualitatif dan kuantitatif pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada penelitian yang telah dilakukan untuk mendapatkan *steam* dengan tekanan 5 bar, maka untuk rentang rasio udara – bahan bakar 15,78 hingga 18,16 kondisi yang optimal terdapat pada rasio ke 4 udara – bahan bakar yaitu 17,57. Ini dapat dilihat dari nilai efisiensi termal *boiler* sebesar 61,12%, dengan kapasitas produksi *steam* sebesar 8 kg/jam.

2. Kenaikan jumlah panas diakibatkan oleh meningkatnya kerapatan massa jenis udara yang secara langsung terjadi pemanipulasian udara sebelum masuk ke ruang bakar sehingga kapasitas efektif dari *burner* akan meningkat. Keadaan ini memberikan efek yang baik terhadap molekul-molekul bahan bakar ketika bertemu dengan jumlah udara yang kerapatannya sudah meningkat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Borgnakke, C. (2006). *C Borgnakke\_ Richard Edwin Sonntag\_ Gordon J Van Wylen-Fundamentals of thermodynamics-Wiley 2009 Seventh*. University Of Michigan.
- Derry. H. P. (2016) *Analisa Pengaruh Perbandingan Debit Bahan Bakar Gas Dengan Udara Pembakaran Terhadap Efisiensi Boiler di PT. Chevron Pacific Indonesia*. Jurnal Teknik Kimia. Vol 3, No.1. Hal 1-10. Pekanbaru : Universitas Riau
- Hanifah, U. (2019). *Kinerja Mini Boiler Tipe Pipa Api 3 Pass Berbahan Bakar Biomassa Pelet Kayu dan Tempurung Kelapa*. Jurnal Agritech. Vol. 39, No.3. Hal 200–206. Subang : Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
- Helfi. M. S. (2014). *Analisis pemakaian bahan bakar high speed diesel dan biodiesel (b30) terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang mesin diesel pltd 1.4 mw*. Jurnal Teknik Mesin. Vol. 18, No.2. Hal. 30–41. Jakarta Selatan : Institut Sains dan Teknologi
- Hougen, K. M. W. (1976). *Chemical Process Principles, Third Edition*. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- 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.3. Hal 21-34. Palembang : Universitas Palembang.
- Iskandar, N. R. (2015). *Prosedur Standar dan Teknik Audit Energi Industri* (Issue ISBN 978-602-1124-88-8). Tangerang Selatan : Balai Besar Teknologi Energi (B2TE)
- Juriwon. (2017). *Analisis Energi Boiler Pipa Air Menggunakan Bahan Bakar Solar*. Laporan Tugas Akhir. Palembang : Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Kenneth E. Heselton. (2005). *Handbook. Boiler operator's*. The Fairmont Press
- Lestari, H. M. (2014). *Temperatur Dalam Burning Zone Dan Efisiensi Thermal Pada Steam Power Generation Pengaruh Rasio Udara Ratio Influence On Fuel Air Flame Temperature In Burning Zone*. Skripsi. UNNES.
- Mahardi. (2010). *Pengaruh Kecepatan Udara terhadap Kinerja Tungku Gasifikasi*. Jakarta : Rajawali Pers.
- Minyak,Gas,Bumi. (2006). *Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi. 2006, Spesifikasi Solar. Surat Keputusan Dirjen Migas 3675 K24/DJM/2006*. <https://www.pertamina.com>
- Nag. P. K (2008). *Handbook. Power Plant Engineering, Third Edition*. New York : Tata McGraw Hil.
- Prameswari, W. A. (2017). *Analisa Pembentukan Slagging Dan Fouling Pembakaran Batubara Pada Boiler B 0201b Pabrik 3 Unit Ubb Di PT. Petrokimia Gresik*. skripsi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Utami, Zurohaina, Aswan,A. (2016). *Analisis Heat Loss Pada Unit Boiler Furnace dan Super Heater Prototype Steam Power Plant*. Laporan Tugas Akhir. Palembang : Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Yuliyani, M. A. (2019). *Analisis Sistem Ruang Bakar Boiler Jenis Fluidized Bed Combustion untuk PLTU Kapasitas 8 MW*. Jurnal Teknik Energi. Vol.9, No.1. Hal. 1–8. Bandung : Politeknik Negeri Bandung
- Zakyudin. (2019). *Kemenperin\_ Boiler industri berperan penting dalam proses produksi* . Jakarta : Antara News.