

PENGARUH RASIO UDARA BAHAN BAKAR LPG TERHADAP *FLAME TEMPERATURE* DAN EFISIENSI TERMAL *CROSS SECTION WATER TUBE BOILER*

EFFECT OF LPG AIR FUEL RATIO ON FLAME TEMPERATURE AND THERMAL EFFICIENCY OF CROSS SECTION WATER TUBE BOILER

Marsa Apriani^{*1}, Amalia Susanti¹, Cresa Moneta Has¹, Tahdid^{*1}, Agus Manggala¹, Erlinawati¹, Zurohaina¹
Jurusan Teknik Kimia Program Studi Teknik Energi Politeknik Negeri Sriwijaya
Jl. Sriwijaya Negara Bukit Besar, Palembang 30139
Email : *marsaapriani02@gmail.com, *tahdid_caisar@yahoo.com

ABSTRACT

Boiler is one of energy conversion machines. The boiler function is converting water into steam by utilizing the heat from the chemical reaction between fuel and oxygen in the air which is commonly known as the combustion reaction. The research purposes are to determine the effect of the LPG fuel air ratio on the flame temperature and thermal efficiency of cross section water tube boiler, and to determine the optimum fuel air ratio which produces the highest flame temperature and thermal efficiency. The air fuel ratio that use in this research are 29.16; 29.44; 29.71; 29.99; and 30.26. Based on the research, it is known that the fuel air ratio affects both of flame temperature and thermal efficiency of the cross section water tube boiler. On the range of air fuel ration 29.16 to 30.26, it is known that the greater the fuel air ratio, the higher the flame temperature and thermal efficiency. The optimum air fuel ratio in this research is 29.99 which produces 680°C flame temperature and 58.85% on steady state saturated steam production, 701°C flame temperature and 59.71% thermal efficiency on non steady state saturated steam production, and 704°C flame temperature and 59.32% on superheated steam production.

Keywords : *Water tube boiler, Air fuel ratio, Flame temperature, Thermal efficiency.*

1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini dapat mendukung kemajuan pada mesin-mesin konversi energi. Mesin konversi energi merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengubah satu jenis energi menjadi energi yg lain. Mesin konversi energi menjadi sumber tenaga yang akan mengoperasikan berbagai instrumen atau alat produksi dalam suatu industri. Salah satu mesin konversi energi yang banyak digunakan adalah *boiler*. *Boiler* adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang terbuat dari baja dan digunakan untuk menghasilkan uap (*steam*). *Steam* diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Pada umumnya *boiler* memakai bahan bakar cair (residu, solar), padat (batu bara) , atau gas (Sugiharto, 2016).

Sistem pembakaran di *boiler*, perbandingan antara udara dan bahan bakar memerankan peranan yang penting dalam kualitas pembakaran. Jumlah udara yang terlalu sedikit, akan menyebabkan terlalu sedikit oksigen yang digunakan untuk mengubah bahan bakar hidrokarbon menjadi karbon dioksida dan air. Jumlah udara terlalu sedikit juga berarti pemborosan bahan bakar, karena tidak

semua bahan bakar yang digunakan terbakar dan menjadi energi. Selain itu jumlah udara yang terlalu banyak juga akan menyebabkan pembakaran tidak sempurna. Hal ini disebabkan karena kelebihan oksigen dan nitrogen akan menyebabkan terserapnya energi dalam pembakaran dan sisa gas buang ini akan dibuang melewati stack sehingga sebagian energi yang dihasilkan akan terbuang dan menyebabkan tekanan operasi menurun. Untuk menjaga perbandingan jumlah udara dan bahan bakar pada nilai yang optimal dengan menggunakan *air/fuel ratio* control (rasio antara udara/bahan bakar) (Nurpadmi, 2018).

Boiler Pipa Air (Water Tube Boiler)

Boiler pipa air (*water tube boiler*) adalah *boiler* yang biasanya menghasilkan uap dengan tekanan dan kapasitas yang besar. *Boiler* jenis ini biasanya mempunyai tekanan kerja diatas 18 kg/cm²F atau sekitar 250 psi dan kapasitas diatas 12 Ton/Jam. *Boiler* jenis ini adalah *boiler* yang peredaran airnya terjadi didalam pipa-pipa yang dikelilingi oleh nyala api dan gas panas dari luar susunan pipa. Kontruksi pipa-pipa yang dipasang didalam boiler dapat

berbentuk lurus (*Straight Tube*) dan juga dapat berbentuk pengkolan/pipa bengkok (*Bend Tube*) tergantung dari jenis oilernya. Pipa-pipa yang lurus dipasang secara paralel didalam boiler dihubungkan dengan *header*, kemudian *header* tersebut dihubungkan dengan bejana uap yang dipasang secara horizontal diatas susunan pipa (Sugiharto, 2016).

Liquified Petroleum Gas (LPG)

LPG merupakan gas hidrokarbon yang dicairkan dengan tekanan untuk memudahkan penyimpanan, pengangkutan, dan penanganannya yang pada dasarnya terdiri atas Propana (C₃H₈), Butana (C₄H₁₀), atau campuran keduanya (Mix LPG) (Syukur, 2011).

Neraca Massa dan Energi pada Boiler

Perhitungan neraca massa dan neraca energi dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan termodinamika, perpindahan panas, serta reaksi kimia yang berlangsung di dalam sistem. Perhitungan neraca massa merupakan tahapan awal yang harus dilakukan. Data hasil perhitungan neraca massa selanjutnya digunakan untuk perhitungan neraca energi (Aswan, 2017).

Neraca Massa

Perhitungan neraca massa didasarkan atas hukum kekekalan massa seperti persamaan di bawah ini :

$$\Sigma m_{in} = \Sigma m_{out} \dots \dots \dots (1)$$

(Yuliani, 2019)

Keterangan :

- Σm_{in} = massa total yang masuk ke boiler
- Σm_{out} = massa total yang keluar boiler

Neraca Energi

Perhitungan neraca energi didasarkan pada hukum pertama termodinamika atau biasa disebut hukum kekekalan energi

$$Q_{input} = Q_{output} \dots \dots \dots (2)$$

(Yuliani, 2019)

Keterangan :

- Q_{input} = Total kalor yang masuk boiler
- Q_{output} = Total kalor yang keluar boiler

EFISIENSI TERMAL

Efisiensi termal dari suatu proses dapat didefinisikan sebagai persentase dari kalor masuk yang secara efektif digunakan. Seperti yang didefinisikan, nilai efisiensi termal berubah-ubah, tergantung pada kalor yang masuk dan kalor yang digunakan secara efektif. Efisiensi termal boiler

didefinisikan sebagai persentase kalor masuk yang digunakan secara efektif untuk menghasilkan uap/ steam.

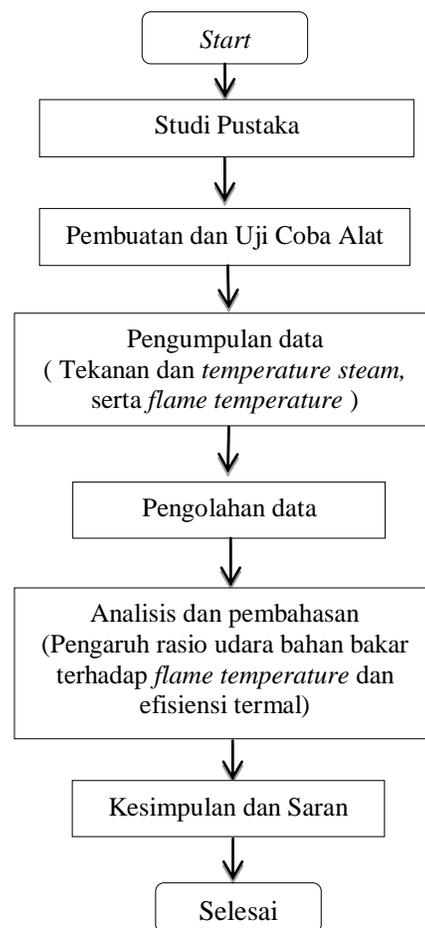
Untuk menentukan efisiensi termal boiler, dapat dihitung dengan persamaan:

$$\eta = \frac{Entalpi\ steam}{Energy\ input} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

(Yuliani, 2019)

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini diawali dengan studi pustaka, pembuatan dan uji coba alat, *running* alat dan pengumpulan data, pengolahan data, serta analisis dan pembahasan.



Gambar 1 Blok Diagram Penelitian

PENDEKATAN DESAIN FUNGSIONAL

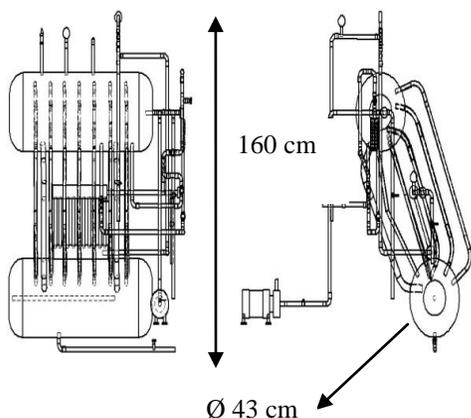
Rancang bangun pada *cross section water tube boiler* terdiri dari delapan unit utama, yaitu *steam drum*, *water tube*, *superheater tube*, *burner*, *furnace*, dan kompressor. Selain itu, boiler juga dilengkapi dengan beberapa instrument pendukung, diantaranya *pressure indicator*, *temperature indicator*, *valve*,

pressure safety valve, water level gauge dan drain valve dengan fungsi masing-masing.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio udara bahan bakar LPG terhadap *flame temperature* dan efisiensi termal dari *cross section water tube boiler* pada produksi *saturated steam* dan *superheated steam* proses *non steady state* dan proses *steady state*. Rasio udara bahan bakar yang digunakan yaitu, 29,61; 29,44; 29,71; 29,99; dan 30,26. Metode analisis yang digunakan yaitu *direct method* dengan membandingkan antara *steam* yang keluar dari *boiler* dengan *steam* yang masuk ke dalam *boiler*.

PENDEKATAN DESAIN STRUKTURAL

Cross section water tube boiler dirancang dengan beberapa unit yang tergabung menjadi suatu sistem yang terintegrasi. *Boiler* tersebut tersusun dari dua buah *drum*, yaitu *feed water drum* dan *steam drum* yang terhubung dengan *water tube* serta *superheater tube* yang berfungsi sebagai tempat pemanasan air umpan dan uap air. Selain itu, terdapat pompa yang berfungsi untuk mengalirkan air umpan *boiler*. Pompa tersebut merupakan pompa tekanan tinggi, dengan tekanan maksimum 135 bar dengan aliran fluida 6 liter per menit. Penggunaan pompa tekanan tinggi tersebut dikarenakan proses mengalirkan air umpan *boiler* memerlukan tekanan yang tinggi untuk melawan tekanan tinggi *steam* yang ada dalam sistem *boiler*. Suplai udara untuk pembakaran pada *burner* berasal dari kompressor dengan kapasitas aliran udara maksimum 145 liter per menit dan tekanan maksimum 8 bar.



Gambar 2 Desain Struktural *Cross Section Water Tube Boiler*

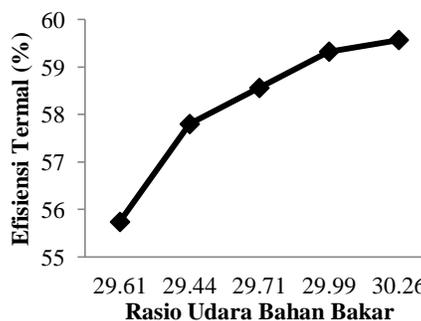
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Boiler atau ketel uap merupakan salah satu mesin konversi energi. *Boiler* berfungsi untuk mengubah air menjadi uap air (*steam*) melalui reaksi

kimia antara bahan bakar dengan oksigen di udara yang biasa disebut dengan reaksi pembakaran. Pada penelitian kali ini, digunakan rancang bangun *cross section water tube boiler* untuk menghasilkan *saturated steam* dan *superheated steam* pada proses *non steady state* dan *steady state*. Permasalahan yang akan diteliti dalam penelitian tersebut adalah pengaruh rasio udara bahan bakar LPG terhadap *flame temperature* dan efisiensi termal *cross section water tube boiler* pada produksi *saturated steam* dan *superheated steam* proses *non steady state* dan *steady state*.

3.1 Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Efisiensi Termal *Cross Section Water Tube Boiler* pada Produksi *Saturated Steam* Proses *Non Steady State*

Berikut merupakan grafik hubungan antara pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap efisiensi termal yang terlihat pada Gambar 3.



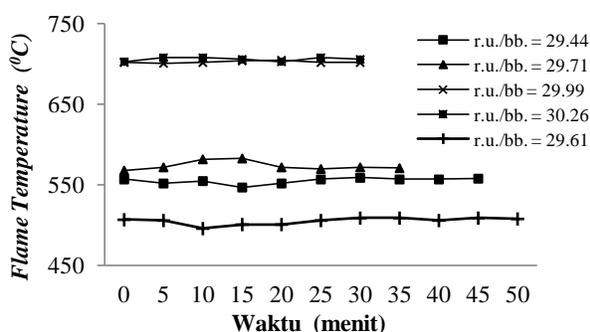
Gambar 3 Grafik Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Efisiensi Termal Proses *Non Steady State*

Dari Gambar 3 efisiensi *thermal* yang didapatkan sebesar 59,326 % pada rasio ke-4 yaitu 29,99 dengan udara *excess* 9% tekanan 15 bar, *temperature saturated steam* 199°C dikatakan efisiensi tersebut optimal karena telah mencapai target yang diinginkan pada penelitian ini. Pada rasio ke-5 yaitu 30,26 didapatkan efisiensi sebesar 59,572% mengalami peningkatan, dengan tekanan yang sudah memenuhi target 15 bar, akan tetapi temperatur yang dihasilkan menurun menjadi 198°C. Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi *thermal* yaitu panas yang masuk ke dalam *boiler*, panas yang keluar, temperatur udara, *fouling*, *blowdown*. Penurunan efisiensi *thermal* disebabkan oleh beberapa faktor salah satu nya alat mengalami kebocoran, kurang optimal nya rasio udara bahan bakar pada proses pembakaran sehingga proses pembakaran tidak sempurna, terjadinya kerak pada permukaan perpindahan

panas yang dapat mengakibatkan tidak efisiensinya hasil pembakaran, faktor dari *burner* yang tidak disetel dengan baik akan mengakibatkan pencampuran udara dan bahan bakar tidak sesuai dan pada setiap laju pembebanan akan meningkatkan kebutuhan udara berlebih dan memboroskan bahan bakar sehingga efisiensi *boiler* akan turun (Asmudi,2010).

3.2 Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Efisiensi Termal *Cross Section Water Tube Boiler* pada Produksi *Saturated Steam* Proses *Non Steady State*

Berikut merupakan grafik hubungan antara pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap *flame temperature* yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Grafik Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap *Flame Temperature* Proses *Non Steady State*

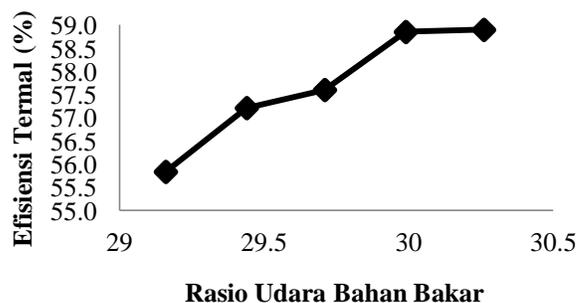
Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin optimal jumlah rasio udara bahan bakar gas pada proses *non steady state* semakin tinggi pula *temperature* pada proses pembakaran di alat *cross section water tube boiler*. *Temperature flame* yaitu suhu maksimum nyala bahan bakar yang terjadi apabila tidak ada kebocoran panas disekelilingnya. *Flame temperature* tiap rasio udara bahan bakar bervariasi, jika rasio udara bahan bakar tidak dalam komposisi optimal, bahan bakar berlebih atau udara bahan bakar yang tidak sesuai dengan komposisi yang diinginkan akan berakibat penurunan temperatur nyala api. Tiap-tiap rasio udara bahan bakar mempunyai *temperature flame* yang berbeda-beda. Variasi rasio udara bahan bakar menyebabkan meningkatnya *temperature flame* oleh adanya perbedaan O_2 excess pada setiap rasio udara bahan bakar. Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4, peningkatan rasio udara bahan bakar memberikan pengaruh signifikan terhadap distribusi temperatur. *Temperature flame* yang paling optimal yaitu $704^{\circ}C$ didapat pada rasio ke-4 dengan jumlah rasio udara bahan bakar 29,99 jika dibandingkan dengan rasio

ke-5 *flame temperature* nya sebesar $702^{\circ}C$ dengan jumlah rasio udara bahan bakar 30,26. Pada rasio udara bahan bakar ke-4 dan ke-5 tekanan yang ingin dicapai yaitu 15 bar dengan massa *steam* 5 kg/hr, dikatakan rasio ke-4 yang paling optimal karena rasio udara bahan bakar yang digunakan lebih kecil di bandingkan pada rasio ke-5 dengan tekanan dan massa *steam* yang telah mencapai target yang diinginkan.

Temperatur nyala api ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu tergantung pada jenis bahan bakar dan oksida yang digunakan. Untuk api konvensional yang digunakan dalam fotometri nyala, temperatur nyala yang lebih tinggi diperoleh dengan oksigen digunakan sebagai oksida bukan udara, karena di dalam udara terdapat nitrogen yang dapat menurunkan suhu nyala api (Melisa, 2015).

3.3 Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Efisiensi Termal *Cross Section Water Tube Boiler* pada Produksi *Saturated Steam* Proses *Steady State*

Berikut merupakan grafik hubungan antara pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap efisiensi termal yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Grafik Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Efisiensi Termal Proses *Steady State*

Dari Gambar 5 diketahui bahwa nilai efisiensi termal dari *cross section water tube boiler* terus meningkat dari rasio udara bahan bakar 29,16 hingga rasio udara bahan bakar 30,26. Nilai rasio udara bahan bakar tersebut dibuat berdasarkan kenaikan jumlah O_2 excess dari range 6% hingga 10%, sedangkan suplai bahan bakar dibuat tetap.

Berdasarkan nilai efisiensi termal yang didapatkan, disimpulkan bahwa pada range rasio udara bahan bakar 29,16-30,26; rasio udara bahan bakar berbanding lurus dengan efisiensi termal *cross section water tube boiler*. Artinya, pada nilai rasio udara bahan bakar tersebut, semakin tinggi rasio udara bahan bakar, maka efisiensi termal akan semakin besar. Hal ini terlihat pada efisiensi termal

cross section water tube boiler dengan O_2 excess 6%-10% dan rasio udara bahan bakar 29,16-30,26 yang terus meningkat seiring dengan kenaikan nilai rasio udara bahan bakar. Namun, pada rasio udara bahan bakar 30,26 dengan O_2 excess sebesar 10%, kenaikan efisiensi termal tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan temperatur *saturated steam* yang dihasilkan hanya naik $1^\circ C$ dari rasio udara bahan bakar 29,99 ; sehingga kenaikan kalor yang dimanfaatkan hanya sedikit dan menyebabkan kenaikan efisiensi termalnya kecil.

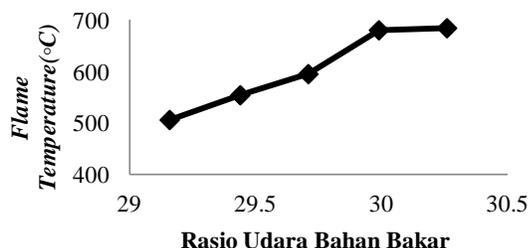
Berdasarkan hasil yang didapatkan, dapat disimpulkan bahwa efisiensi termal optimal dari *cross section water tube boiler* terdapat pada rasio udara bahan bakar 29,99 yaitu sebesar 58,85%. Artinya, rasio udara bahan bakar optimal untuk pembakaran LPG pada pembentukan *saturated steam* menggunakan *cross section water tube boiler* ini adalah 29,9 dengan O_2 excess 9%.

Rasio udara bahan bakar tidak boleh terlalu tinggi, namun juga tidak boleh terlalu rendah. Jumlah udara minimum yang diperlukan untuk menghasilkan pembakaran sempurna disebut sebagai jumlah udara stoikiometri. Akan tetapi, pada kenyataannya untuk pembakaran dibutuhkan udara melebihi jumlah udara teoritis. Kelebihan udara teoritis disebut dengan *excess air*. Efisiensi pembakaran akan meningkat seiring dengan peningkatan jumlah *excess air* hingga pada nilai tertentu.

Pengaturan udara berlebih (*excess air*) adalah cara terpenting dalam optimasi efisiensi termal boiler. Pengaturan tersebut dilakukan untuk memastikan bahwa bahan bakar bisa terbakar seluruhnya. Terlalu sedikit udara akan menyebabkan pembakaran tidak sempurna yang akan menghasilkan gas CO yang sangat berbahaya, sementara terlalu banyak udara akan menurunkan efisiensi termal boiler dan banyak energi panas yang hilang (Hasan, 2008).

3.4 Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Flame Temperature Cross Section Water Tube Boiler

Berikut merupakan grafik hubungan antara pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap *flame temperature* yang terlihat pada Gambar 6.



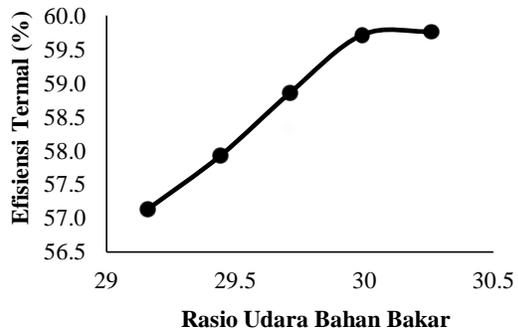
Gambar 6 Grafik Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Flame Temperature Proses Steady State

Dari Gambar 6 diketahui bahwa nilai *flame temperature* dari *cross section water tube boiler* terus meningkat seiring dengan kenaikan rasio udara bahan bakar. Hal ini berarti pada *range* rasio udara bahan bakar 29,16-30,26; rasio udara bahan bakar berbanding lurus dengan nilai efisiensi termal *cross section water tube boiler*. Berdasarkan data *flame temperature* yang didapatkan, dapat disimpulkan bahwa rasio udara bahan bakar optimal pada pembakaran bahan bakar LPG untuk produksi *saturated steam* proses *continue* tersebut adalah 29,99. Hal ini dikarenakan, pada rasio udara bahan bakar 30,26 kenaikan *flame temperature* yang terjadi hanya sedikit, yaitu $4^\circ C$ lebih besar dari rasio udara bahan bakar 29,99 dan tekanan *saturated steam* yang dihasilkan sama dengan tekanan *saturated steam* pada rasio udara bahan bakar 29,99 yaitu sebesar 5 bar.

Penggunaan rasio udara bahan bakar 30,26 tidak efisien untuk digunakan pada pembakaran LPG di *cross section water tube boiler* tersebut karena kenaikan *flame temperature* nya kecil dan tekanan nya sama dengan rasio udara bahan bakar 29,99, serta nilai *heat loss* nya yang lebih besar dibandingkan dengan rasio udara bahan bakar 29,99. Kelebihan udara suplai pada proses pembakaran dapat membantu terjadinya pembakaran yang sempurna. Namun, suplai udara berlebih juga tidak boleh terlalu banyak. Apabila jumlah udara berlebih melebihi batas yang dianjurkan, maka dapat merugikan karena dapat menurunkan *flame temperature* dan menyerap panas dimanfaatkan dalam gas buang (Sitinjak, 2008).

3.5 Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Efisiensi Termal Cross Section Water Tube Boiler pada Produksi Superheated Steam Proses Steady State

Berikut merupakan grafik hubungan antara pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap efisiensi termal yang terlihat pada Gambar 7.



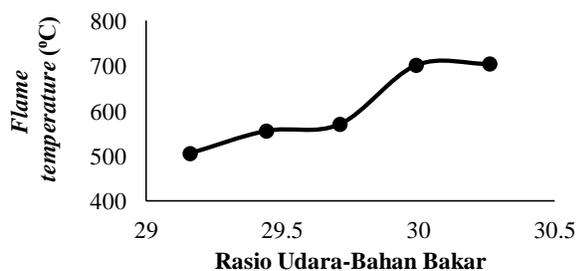
Gambar 7 Grafik Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Efisiensi Termal pada Produksi *Superheated Steam* Proses *Steady State*

Pada alur grafik yang diperlihatkan oleh efisiensi termal *boiler*, efisiensi termal *boiler* mengalami kenaikan secara signifikan dari rasio udara bahan bakar 29,16 hingga rasio udara bahan bakar 30,26.

Rasio udara bahan bakar yang paling optimal yaitu 29,99 didapat pada rasio ke-4 dengan efisiensi sebesar 59,71 % jika dibandingkan dengan rasio ke-5 rasio udara bahan bakar sebesar 30,26 dengan efisiensi sebesar 58,871 %. Dari Gambar 7 efisiensi termal yang didapatkan sebesar 59,71% pada rasio ke-4 yaitu 29,99 dengan udara *excess* 9% tekanan 15 bar, *temperature superheated steam* 232°C, *temperature flame* 701°C dikatakan efisiensi tersebut optimal karena telah mencapai target yang diinginkan pada penelitian ini. Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi termal yaitu panas yang masuk ke dalam *boiler*, panas yang keluar, temperatur udara, *fouling*, *blowdown*. Penurunan efisiensi *thermal* disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya alat mengalami kebocoran, kurang optimalnya rasio udara bahan bakar pada proses pembakaran sehingga proses pembakaran tidak sempurna, terjadinya kerak pada permukaan perpindahan panas yang dapat mengakibatkan tidak efisiensinya hasil pembakaran.

3.6 Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap *Flame Temperature Cross Section Water Tube Boiler*

Berikut merupakan grafik hubungan antara pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap *flame temperature* yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Grafik Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap *Flame Temperature* pada Produksi *Superheated Steam* Proses *Continue*

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa semakin optimal jumlah rasio udara bahan bakar gas pada proses *steady state* semakin tinggi pula *temperature* pada proses pembakaran di alat *cross section water tube boiler*. *Temperature flame* yaitu suhu maksimum nyala bahan bakar yang terjadi apabila tidak ada kebocoran panas disekelilingnya. *Flame temperature* tiap rasio udara bahan bakar bervariasi, jika rasio udara bahan bakar tidak dalam komposisi optimal, bahan bakar berlebih atau udara bahan bakar yang tidak sesuai dengan komposisi yang diinginkan akan berakibat penurunan temperatur nyala api. Tiap-tiap rasio udara bahan bakar mempunyai *flame temperature* yang berbeda-beda. Variasi rasio udara bahan bakar menyebabkan meningkatnya *flame temperature* oleh adanya perbedaan O_2 *excess* pada setiap rasio udara bahan bakar. Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 8, peningkatan rasio udara bahan bakar memberikan pengaruh signifikan terhadap distribusi temperatur. *Flame temperature* yang paling optimal yaitu 701°C didapat pada rasio ke-4 dengan jumlah rasio udara bahan bakar 29,99 jika dibandingkan dengan rasio ke-5 *flame temperature* nya sebesar 704°C dengan jumlah rasio udara bahan bakar 30,26. Dikatakan rasio ke-4 yang paling optimal karena rasio udara bahan bakar yang digunakan lebih kecil di bandingkan pada rasio ke-5 dengan tekanan dan massa *steam* yang telah mencapai target yang diinginkan.

3.7 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Nilai efisiensi termal *boiler* dipengaruhi oleh perbandingan antara kalor yang dimanfaatkan dengan kalor yang masuk pada *boiler*. Desain *boiler* merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi jumlah panas yang dimanfaatkan dalam proses pembentukan steam di *boiler*. Beberapa penelitian terdahulu dengan desain boiler dan nilai efisiensi termalnya dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

No	Tipe Boiler	Efisiensi Termal (%)	Referensi
1.	<i>Longitudinal water tube boiler</i>	37,13	Pebriani, 2017
2.	<i>Longitudinal water tube boiler</i>	55,87	Juriwon, 2017
3.	<i>Horizontal Fire Tube Boiler</i>	57,29	Hanifah, 2019

4.	<i>Water Tube Boiler</i>	46,7	Fitriyanto, 2017
5.	<i>Cross Section Water Tube Boiler</i>	59,1	Penelitian saat ini

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa perolehan efisiensi termal boiler menggunakan *cross section water tube boiler* lebih besar dibandingkan dengan pemelitan-penelitian sebelumnya. Hal ini dikarenakan *cross section water tube boiler* memiliki dua buah drum yaitu *steam drum* dan *feed water drum* yang dibuat berseberangan (*cross section*) serta tube yang dipasang dengan kemiringan 65° terhadap ujung-ujung boiler. Sistem ini menyebabkan perpindahan panas pada boiler berlangsung optimal sehingga banyak kalor yang terserap dan efisiensi termalnya tinggi.

KESIMPULAN

- Jumlah udara suplai dan bahan bakar untuk proses pembakaran biasanya ditentukan menggunakan rasio udara bahan bakar. Rasio udara bahan bakar berpengaruh pada efisiensi termal dan *flame temperature* pada *cross section water tube boiler*. Suplai udara pembakaran harus melebihi jumlah udara teoritis agar terjadi pembakaran sempurna, namun harus pada *range* yang disarankan. Udara berlebih yang terlalu besar akan menyebabkan penurunan *flame temperature* dan menghasilkan *heat loss* yang besar. *Heat loss* yang terlalu besar dapat menyebabkan rendahnya efisiensi termal.
- Rasio bahan bakar optimal pada produksi *saturated steam* proses *steady state* menggunakan alat *cross section water tube boiler* adalah 29,99 dengan nilai efisiensi termal sebesar 58,85% dan *flame temperature* sebesar 680°C dengan nilai efisiensi termal sebesar 58,85%.
- Rasio bahan bakar optimal pada produksi *saturated steam* proses *steady state* menggunakan alat *cross section water tube boiler* temperature *flame* yang paling optimal yaitu 704°C didapat pada rasio ke-4 dengan jumlah rasio udara bahan bakar 29,99. Efisiensi *thermal* pada *cross section water tube boiler* yang didapatkan sebesar 59,326 % pada rasio ke-4 yaitu 29,99.

DAFTAR PUSTAKA

Asmudi. 2010. *Analisis Unjuk Kerja Boiler terhadap Penurunan Daya pada PLTU PT Indonesia Power UPB Perak*. Skripsi, Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.

Aswan, Arizal, Endang. 2017. *Analisis Energi Boiler Pipa Air Menggunakan Bahan Bakar Solar*. Jurnal Teknik Kimia. Vol. 21, No.2.

Fitriyanto, Ridho. 2017. *Analisis Peluang Penghematan Energi pada Water Tube Boiler dengan Economizer Menggunakan Bahan Bakar Solar*. Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.

Hanifah, Umi, Novita Dwi Susanti, Moeso Andrianto. 2019. *Kinerja Mini Boiler Tipe Pipa Api 3 Pass Berbahan Bakar Biomassa Pelet Kayu dan Tempurung Kelapa*. Agritech. Vol. 3 No.39.

Hasan, Ahmad. 2008. *Efisiensi Energi Termal Sistem Boiler di Industri*. Jurnal Energi dan Lingkungan. Vol. 4, No. 02.

Juriwon. 2017. *Analisis Pemanfaatan Gas Buang Untuk Meningkatkan Kualitas Water Tube Boiler Menggunakan Bahan Bakar Solar*. Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.

Melisa. 2015. *Flame temperature (Temperatur Nyala Api*. Forum Teknologi. Vol.4, No.2.

Nurpadmi, Labaik Khafidzni. 2018. *Pengontrolan Rasio Udara dan Bahan Bakar pada Boiler PPSDM Migas Menggunakan DCS*. Forum Teknologi. Vol. 8, No. 4.

Pebriani, Rizki. 2017. *Analisis Peluang Penghematan Energi pada Water Tube Boiler Menggunakan Bahan Bakar LPG*. Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.

Sitinjak, Amri Parlindungan. 2008. *Perbandingan Fenomena Flame Lift-Up pada Material Ring Keramik dan AISI 304 pada Diameter Dalam Ring 10mm*. Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Jakarta.

Sugiharto, Agus. 2016. *Tinjauan Teknis Pengoperasian dan Pemeliharaan Boiler*. Forum Teknologi. Vol. 06, No.02.

Syukur, Hasan. 2011. *Penggunaan Liquefied Petroleum Gases (LPG): Upaya Mengurangi Kecelakaan Akibat LPG*. Forum Teknologi. Vol. 01 No.2.

Yuliani, R. 2019. *Neraca Massa dan Neraca Panas*. Yogyakarta: Deepublish.