



Efisiensi termal ruang bakar *water tube boiler* ditinjau dari pengaruh rasio udara bahan bakar solar dan gas pada produksi *superheated steam*

NIBRAS SIRDA LAILA, YASYIFA NURFATIHAH*, ERLINAWATI, IRAWAN RUSNADI, K.A. RIDWAN, DAN TAHDIR

Jurusan Teknik Energi, Fakultas Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Sumatera Selatan 30137, Indonesia

<p>Kata kunci: boiler; steam; rasio udara bahan bakar; efisiensi termal</p>	<p>ABSTRAK: Energi memiliki peran krusial dalam mendukung berbagai kegiatan operasional dan proses produksi di industri. Sebagai upaya untuk memenuhi kebutuhan energi, digunakan mesin konversi yang merupakan suatu sistem peralatan yang dapat mengubah energi dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Salah satunya adalah boiler atau ketel uap. Boiler adalah bagian penting dari sistem pembangkit energi yang digunakan untuk menghasilkan steam bertekanan tinggi. Steam yang dihasilkan oleh boiler biasanya dapat digunakan sebagai fluida kerja dan penggerak peralatan industri seperti turbin uap. Agar dapat menghasilkan steam dengan kualitas yang baik, diperlukan pembakaran yang optimal. Berbagai upaya terus dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi termal dan mengurangi biaya operasional serta mengurangi emisi dengan mengatur rasio udara dan bahan bakar yang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui rasio udara bahan bakar optimal untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna, efisiensi termal ruang bakar yang tinggi dan <i>specific fuel consumption</i> yang rendah. Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah solar dan gas LPG. Bahan bakar tersebut dipilih karena menghasilkan emisi yang rendah, harganya yang stabil, dan ketersediaannya yang berkelanjutan. Variasi rasio udara bahan bakar solar yang digunakan adalah 16, 18, 20, 22, dan 24, sedangkan untuk bahan bakar gas adalah 17, 19, 21, 23, dan 25. Hasil produksi <i>superheated steam</i> pada bahan bakar solar dan gas didapatkan kondisi paling optimal pada rasio udara bahan bakar ke-4 dengan efisiensi termal ruang bakar bahan bakar solar sebesar 79,07%, sedangkan untuk bahan bakar gas efisiensi termal ruang bakarnya sebesar 80,03%.</p>
<p>Keywords: boiler; steam; fuel air ratio; thermal efficiency</p>	<p>ABSTRACT: Energy has a crucial role in supporting various operational activities and production processes in industry. In an effort to meet energy needs, a conversion machine is used which is a system of equipment that can convert energy from one form to another. One of them is a boiler or steam boiler. Boilers are an important part of the energy generation system used to produce high-pressure steam. Steam produced by boilers can usually be used as a working fluid and drive industrial equipment such as steam turbines. In order to produce steam with good quality, optimal combustion is required. Various efforts continue to be developed to improve thermal efficiency and reduce operating costs and reduce emissions by setting the optimal air and fuel ratio. Therefore, this study was conducted to determine the optimal air-fuel ratio to obtain complete combustion, high combustion chamber thermal efficiency and low specific fuel consumption. The fuels used in this study are diesel and LPG gas. These fuels were chosen because they produce low emissions, are stable in price, and have sustainable availability. The air ratio variations of diesel fuel used are 16, 18, 20, 22, and 24, while for gas fuel are 17, 19, 21, 23, and 25. The results of superheated steam production on diesel fuel and gas obtained the most optimal condition at the 4th fuel air ratio with a combustion chamber thermal efficiency of diesel fuel of 79.48%, while for gas fuel the combustion chamber thermal efficiency is 80.03%.</p>

1 PENDAHULUAN

Boiler adalah bagian penting dari sistem pembangkit energi yang digunakan untuk menghasilkan *steam* bertekanan tinggi. *Steam* yang

dihasilkan oleh *Boiler* biasanya dapat digunakan sebagai fluida kerja dan penggerak peralatan industri seperti turbin uap, yang selanjutnya menghasilkan energi mekanik yang diubah menjadi energi listrik.

* Corresponding Author: yasyifanurfatihah@gmail.com

Prinsip kerja boiler melibatkan transfer panas dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar ke pipa-pipa berisi air sebagai fluida kerja. Proses ini terjadi melalui mekanisme perpindahan panas radiasi, konduksi dan konveksi. Awalnya, panas digunakan untuk menaikkan temperatur fluida hingga mencapai temperatur cair jenuh. Kemudian, panas tersebut digunakan secara bertahap untuk mengubah fluida menjadi uap, dan akhirnya terbentuk uap jenuh atau disebut juga *saturated steam*. Pada tahap ini, panas yang diterima sepenuhnya digunakan untuk mengubah fase, sehingga tidak terjadi kenaikan temperatur. Jika diperlukan, proses pemanasan dapat dilanjutkan dari uap jenuh untuk menghasilkan uap superpanas atau *superheated steam* [1].

Pada zaman sekarang ini, masih sedikit industri dalam negeri yang dapat memenuhi kebutuhan Boiler di industri secara menyeluruh, bahkan masih mengandalkan impor. Selain itu, Boiler yang banyak digunakan sekarang ini masih menggunakan bahan bakar tak terbarukan yang ketersediaannya semakin menipis sehingga membutuhkan teknologi yang dapat membantu penghematan penggunaan bahan bakar pada Boiler. Salah satu cara untuk penghematan bahan bakar yang digunakan pada Boiler adalah meningkatkan efisiensi termal Boiler.

Dalam upaya meningkatkan efisiensi termal ruang bakar, beberapa penelitian telah dilakukan. Pada rancang bangun Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan menggunakan *Longitudinal Water Tube Boiler*, drum dirancang dalam bentuk horizontal serta tube disusun dengan kemiringan 45° dengan tujuan membantu mempercepat proses pemanasan. Efisiensi termal ruang bakar yang dihasilkan masih tergolong rendah, hanya mencapai 24,69%. Hal ini disebabkan oleh sistem isolasi yang kurang baik sehingga panas konduksi dan konveksi yang hilang cukup besar. Selain itu, boiler hanya memiliki satu buah drum yang berfungsi sebagai tempat penampung sekaligus pemanasan air yang menyebabkan kapasitas produksi uap menjadi terbatas [2].

Water Tube Boiler yang memiliki dua buah drum disebut dengan *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler*. Drum tersebut diletakkan secara bersebrangan dan dihubungkan oleh pipa-pipa yang tersusun secara melintang dengan kemiringan 65°, yang bertujuan untuk mempercepat proses penguapan. Penggunaan dua drum memungkinkan proses pemisahan antara uap dan air yang lebih efisien, serta menjaga kualitas air dengan memisahkan partikel-partikel padat dan kotoran yang ikut terbawa. Efisiensi termal ruang bakar yang dihasilkan pada kondisi *non steady* sebesar 69,74% [3].

Analisis sistem termal pada *Water Tube Boiler* pada kondisi *steady state* menghasilkan efisiensi termal ruang bakar yang optimal dengan nilai 69,25% untuk produksi *superheated steam*. Efisiensi termal ruang bakar yang dihasilkan tersebut masih tergolong rendah. Terdapat beberapa hal yang menyebabkan rendahnya efisiensi termal pada Boiler tersebut, diantaranya kebutuhan udara *excess* yang cukup tinggi, serta besarnya panas konduksi dan konveksi yang hilang. Selain itu, sistem pompa yang digunakan juga mempengaruhi jumlah tekanan yang dihasilkan. Tekanan yang rendah menjadi penyebab rendahnya nilai efisiensi termal pada ruang bakar [4].

Berdasarkan kelemahan dari beberapa penelitian sebelumnya, dilakukan perbaikan dan penambahan pada sistem pengendalian *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler*, yaitu pada sistem pemasok udara dan bahan bakar, sistem injeksi air umpan, dan sistem kontrol level ketinggian air pada *steam drum*. Dipasang 1 buah burner tambahan agar proses pembakaran dapat terjadi secara stabil dan optimal serta dilakukan penggantian pada mesin pompa jenis *booster pump vertical multistage high pressure* agar dapat menahan tekanan yang dihasilkan pada sistem boiler. Selain itu, dikarenakan *set point* tekanan pada kondisi *steady state* cukup tinggi, dipasang *safety valve* sebagai *protection system*.

Selain itu, ditambahkan *water level control system* dengan sensor otomatis yang telah dihubungkan dengan pompa untuk mengendalikan ketinggian level air pada *steam drum*. Penambahan fungsi kontrol level ketinggian air ini dilakukan untuk memastikan pengoperasian dapat berjalan secara optimal, aman dan berkelanjutan. Level ketinggian air *steam drum* diatur pada ketinggian 50% karena pada kondisi tersebut jumlah air cukup untuk menjaga tekanan uap agar tetap stabil dan memenuhi kebutuhan *steam*.

Rasio Udara Bahan Bakar

Rasio udara bahan bakar (*Air Fuel Ratio*) mengacu pada perbandingan antara jumlah udara yang disuplai untuk pembakaran dengan jumlah bahan bakar yang dibakar. Untuk menentukan *Air Fuel Ratio* (AFR) dapat dihitung dengan persamaan (1) [5]:

$$AFR = \frac{\text{Massa Udara}}{\text{Massa Bahan Bakar}} \quad (1)$$

Efisiensi Termal

Efisiensi termal mengacu pada kemampuan suatu sistem untuk mengubah energi kalor yang diterima menjadi output yang dihasilkan, dibandingkan

dengan energi panas total yang disuplai ke dalam sistem. Untuk menghitung efisiensi ruang bakar boiler digunakan persamaan (2) [6]:

$$\text{Efisiensi Termal} = \frac{\text{Panas Termanfaatkan}}{\text{Panas Suplai}} \quad (2)$$

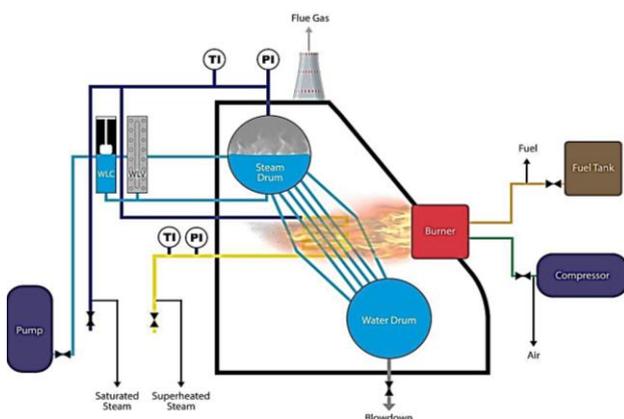
Specific Fuel Consumption (SFC)

Specific fuel consumption (SFC) merupakan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah energi. SFC dapat dihitung dengan persamaan (3) [7]:

$$\text{SFC} = \frac{\text{Konsumsi Bahan Bakar (kg)}}{\text{Produksi Energi panas (kJ)}} \quad (3)$$

2 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Energi Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang. Penelitian ini menggunakan air, udara, bahan bakar berupa solar dan gas. Variabel penelitian yang akan diambil terdiri dari variabel tetap, variabel bebas dan variabel terikat. Variabel tetap terdiri dari level ketinggian air dan jumlah bahan bakar. Variabel bebas terdiri dari rasio udara bahan bakar, dan kecepatan udara. Sedangkan variabel terikat terdiri dari temperatur nyala api, air umpan, bahan bakar, udara, temperatur dan tekanan *superheated steam*. Pengamatan dilakukan ketika sistem boiler beroperasi pada kondisi *steady state*. Data hasil pengamatan dijadikan sebagai bahan acuan untuk menganalisis pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap efisiensi termal ruang bakar, *specific fuel consumption* (SFC), dan koefisien perpindahan panas. Diagram alir proses produksi *superheated steam* pada *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram cross section double drum water tube boiler

Prosedur Kerja

Prosedur percobaan pada produksi *superheated steam* pada unit peralatan *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler* terdiri dari 2 tahap yaitu tahap *non-steady state* dan tahap *steady state*. Langkah-langkah percobaan meliputi :

Kondisi Non-Steady State

1. Menghidupkan pompa untuk mengisi air umpan dari tangki air ke dalam *steam drum* dan *water drum* dengan membuka *valve* (V-1) dan (V-3)
2. Melakukan pengecekan pada *water level volume* dan menutup *valve* (V-3) setelah level ketinggian air telah mencapai *setpoint* (50%).
3. Menghidupkan *compressor* hingga udara berada pada tekanan 8 bar. Membuka *valve* (V-2) untuk mengalirkan udara dari *compressor* ke ruang bakar.
4. Mengatur kecepatan udara dengan menggunakan anemometer, disesuaikan dengan hasil perhitungan rasio udara dan bahan bakar menggunakan metode stoikiometri.
5. Membuka *valve* bahan bakar (V-3). Mengatur aliran bahan bakar solar pada 0,17 L/menit dan gas 0,1 kg/menit sesuai dengan hasil perhitungan rasio udara bahan bakar.
6. Menghidupkan *burner* dengan menembakkan api menggunakan *flame gun*. Memeriksa warna api, tingkat distribusi bahan bakar, dan stabilitas penyalan api pada proses pembakaran.
7. Setelah kondisi operasi pada *steam drum* mencapai tekanan 15 bar dan temperatur mencapai 175°C, maka proses *start up* atau proses *non-steady state* telah selesai dan proses dilanjutkan pada tahap *steady state*.

Kondisi Steady State

1. Membuka *valve superheated steam* (V-5) secara perlahan sampai kondisi operasi menjadi *steady state*, dimana tekanan dan temperatur operasi tidak mengalami perubahan yang signifikan.
2. Mencatat data kondisi operasi seperti tekanan, dan temperatur *superheated steam* pada *pressure* dan *temperature indicator*. Mengukur dan mencatat *flame temperature* menggunakan *thermognun*.
3. Setelah dilakukan pengambilan data, dilakukan langkah-langkah untuk mematikan proses di unit *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler*.

Mematikan Boiler

1. Setelah pengoperasian boiler selesai, langkah selanjutnya adalah menghentikan suplai bahan bakar dengan menutup *valve* (V-3), dan dilanjutkan dengan menghentikan suplai udara dengan mematikan *compressor* dan menutup *valve* (V-2).
2. Membuka *valve* pada *saturated* dan *superheated steam* (V-4) dan (V-5) sampai kondisi operasi pada tekanan 0 bar dan temperatur 35°C atau kondisi ruang.
3. Setelah boiler dalam kondisi normal, membuka *blowdown valve* (V-6), (V-7) dan (V-8) untuk mengeluarkan air di dalam *steam drum* dan *water drum*.
4. Jika air telah dikeluarkan dari boiler, menutup seluruh *blowdown valve* dan mengulangi proses sesuai dengan variasi rasio udara bahan bakar yang ditentukan.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan alat *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler*. Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah bahan bakar solar dan gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*). Data hasil dari penelitian dapat dilihat pada tabel 1 sampai dengan tabel 4.

Tabel 1 Data hasil penelitian ruang bakar pada bahan bakar solar

v udara (m/s)	Laju alir Bahan Bakar (L/menit)	Rasio Udara Bahan Bakar	Temperatur Nyala Api (°C)	Warna Api	Suhu Bahan Bakar (°C)
24,06		16	640,2	Merah	30
27,07		18	653,4	Kuning	30
30,08	0,17	20	667,2	Kuning	30
33,09		22	685,9	Biru	30
36,09		24	688,5	Biru	30

Tabel 2 Data hasil penelitian ruang bakar pada bahan bakar gas

v udara (m/s)	Laju alir Bahan Bakar (kg/menit)	Rasio Udara Bahan Bakar	Temperatur Nyala Api (°C)	Warna Api	Suhu Bahan Bakar (°C)
18,80		17	742,63	Kuning	30
21,01		19	757,94	Kuning	30
23,22	0,10	21	773,95	Biru	30
25,43		23	795,64	Biru	30
27,65		25	798,66	Ungu	30

Tabel 3 Data hasil penelitian *steam drum* pada bahan bakar solar

Level Ketinggian Air (%)	Laju Alir Air Umpan/ Superheated Steam (L/menit)	Temperatur Superheated Steam (°C)	Tekanan Superheated Steam (bar)
50	1,34	207,50	8,40
	1,33	210,00	8,90
	1,32	217,50	10,50
	1,35	225,00	12,60
	1,34	226,00	12,80

Tabel 4 Data hasil penelitian *steam drum* pada bahan bakar gas

Level Ketinggian Air (%)	Laju Alir Air Umpan/ Superheated Steam (L/menit)	Temperatur Superheated Steam (°C)	Tekanan Superheated Steam (bar)
50	1,10	196,4	7,5
	1,11	201,2	8,5
	1,10	203,0	9,0
	1,11	205,0	9,3
	1,11	205,4	9,5

Berdasarkan data-data penelitian pada alat *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler* didapatkan hasil perhitungan efisiensi termal ruang bakar, *Specific Fuel Consumption* (SFC), serta nilai koefisien perpindahan panas yang hasilnya telah ditabulasikan pada tabel 5 dan tabel 6.

Tabel 5 Hasil perhitungan efisiensi termal ruang bakar, SFC, dan koefisien perpindahan panas pada bahan bakar solar

Rasio Udara Bahan Bakar	Efisiensi Termal Ruang Bakar (%)	<i>Specific Fuel Consumption</i> (kg/kJ)	Koefisien Perpindahan Panas (Btu/ft ² .°F)
16	71,88	0,0000333	0,448
18	73,24	0,0000334	0,457
20	75,34	0,0000333	0,469
22	79,07	0,0000322	0,492
24	79,87	0,0000324	0,495

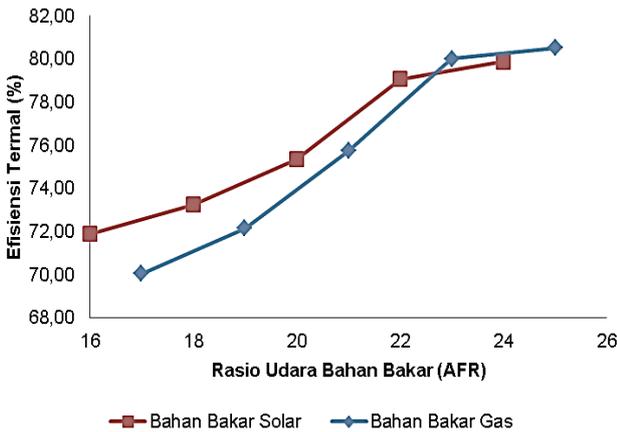
Tabel 6 Hasil perhitungan efisiensi termal ruang bakar, SFC, dan koefisien perpindahan panas pada bahan bakar gas

Rasio Udara Bahan Bakar	Efisiensi Termal Ruang Bakar (%)	<i>Specific Fuel Consumption</i> (kg/kJ)	Koefisien Perpindahan Panas (Btu/ft ² .°F)
17	70,05	0,0000321	0,477
19	72,16	0,0000320	0,481
21	75,74	0,0000313	0,492
23	80,03	0,0000292	0,512
25	80,53	0,0000291	0,514

Pembahasan

Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar terhadap Efisiensi Termal Ruang Bakar

Rasio udara bahan bakar adalah ukuran yang menunjukkan perbandingan antara massa udara dan massa bahan bakar yang dicampurkan dan dibakar dalam ruang bakar. Rasio ini mempengaruhi cara bahan bakar terbakar, efisiensi termal, dan emisi yang dihasilkan. Rasio antara jumlah udara dan bahan bakar yang digunakan merupakan faktor yang sangat berpengaruh pada proses pembakaran di ruang bakar. Jumlah aliran udara dan suplai bahan bakar harus selalu dikontrol agar efisiensi yang diinginkan bisa tercapai. Terlalu sedikit jumlah udara yang disuplai dapat mengakibatkan penurunan efisiensi termal ruang bakar dan menaikkan persen kehilangan panas pada *flue gas* [8]. Untuk melihat pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap efisiensi termal ruang bakar dapat dilihat pada gambar 2.



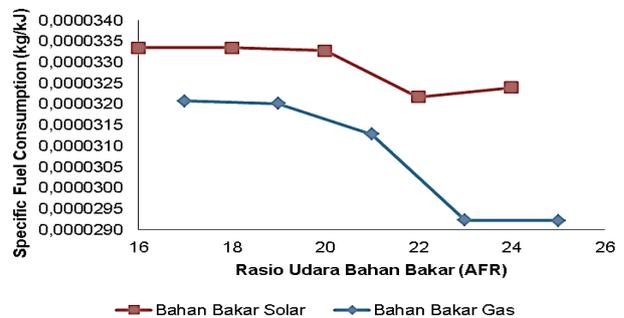
Gambar 2 Grafik pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap efisiensi termal ruang bakar

Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa efisiensi termal mengalami kenaikan seiring bertambahnya rasio udara bahan bakar. Kenaikan efisiensi termal ruang bakar tertinggi terjadi pada rasio ke-4 dengan efisiensi termal ruang bakar sebesar 79,07% untuk bahan bakar solar, dan 80,03% untuk bahan bakar gas. Hal ini menunjukkan bahwa rasio antara jumlah udara bahan bakar paling optimal terjadi di rasio ke-4. Jika dibandingkan dengan rasio ke-5 hanya terjadi sedikit kenaikan pada efisiensi termal dikarenakan jumlah udara suplai yang telah melampaui titik optimal. Hal ini membuktikan bahwa rasio udara bahan bakar merupakan faktor yang sangat mempengaruhi efisiensi pembakaran di ruang bakar. Rasio yang ideal membantu memastikan pembakaran yang sempurna dan efisien, yang mengarah pada efisiensi termal yang tinggi. Namun jumlah udara yang terlalu berlebih juga dapat berakibat buruk. Udara yang melebihi standar menyebabkan

udara pembakar terlalu banyak yang dapat menyebabkan berkurangnya panas pada ruang bakar akibat panasnya diserap oleh udara yang berlebih dan akan berakibat pada meningkatnya jumlah panas yang hilang pada *flue gas* serta dapat menurunkan nilai efisiensi termal.

Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar terhadap Specific Fuel Consumption (SFC)

Specific fuel consumption (SFC) merupakan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah energi. SFC merupakan salah satu indikator yang mengukur efisiensi pada *boiler*. Rasio udara bahan bakar dan *specific fuel consumption* (SFC) dalam *boiler* memiliki hubungan yang sangat erat dan kompleks. Untuk melihat pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap *specific fuel consumption* (SFC) dapat dilihat pada gambar 3.



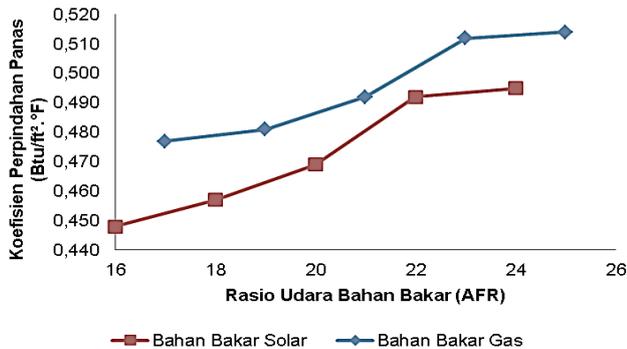
Gambar 3 Grafik pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap *specific fuel consumption* (SFC)

Pada alur grafik yang diperlihatkan pada gambar 3, nilai SFC akan menurun seiring dengan bertambahnya nilai rasio udara bahan bakar. Dalam batas tertentu, rasio udara bahan bakar yang lebih tinggi dapat meningkatkan efisiensi pembakaran, karena lebih banyak udara yang digunakan untuk membakar bahan bakar secara sempurna sehingga menurunkan SFC dikarenakan lebih banyak energi yang dihasilkan. Pada gambar 3 terlihat bahwa pada rasio ke-4 terjadi penurunan yang paling tinggi. Pada rasio ke-4 nilai SFC sebesar 0,0000322 kg/kJ untuk bahan bakar solar dan 0,0000292 kg/kJ untuk bahan bakar gas.

SFC merupakan parameter yang biasa dipakai sebagai ukuran ekonomis pemakaian bahan bakar yang digunakan untuk setiap satuan energi yang dihasilkan. Semakin rendah nilai SFC maka semakin efisien pemakaian bahan bakarnya [9]. SFC akan memberikan panas pembakaran dalam proses pembentukan *steam*. Proses pembakaran ini dipengaruhi oleh kualitas bahan bakar dan juga jumlah udara yang disuplai.

Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar terhadap Koefisien Perpindahan Panas

Koefisien perpindahan panas adalah ukuran seberapa efektif panas ditransfer dari satu medium ke medium lain. Koefisien perpindahan panas secara tidak langsung dipengaruhi oleh rasio udara bahan bakar. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Grafik pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap koefisien perpindahan panas

Dari grafik pada gambar 4 dapat dilihat bahwa rasio udara bahan bakar mempengaruhi koefisien perpindahan panas. Pada rasio ke-1 dan ke-2 terlihat bahwa perpindahan panas masih tergolong lambat, energi yang dilepaskan dari bahan bakar tidak sepenuhnya dikonversi menjadi panas. Akibatnya, temperatur gas pembakaran lebih rendah dan mengurangi gradien suhu antara gas pembakaran dan dinding *tube* sehingga mengurangi laju perpindahan panas ke fluida kerja. Rasio udara bahan bakar rendah menghasilkan gas pembakaran dengan viskositas dan konduktivitas termal yang tidak optimal untuk perpindahan panas. Hal ini mempengaruhi mekanisme konduksi dan konveksi yang terjadi di ruang bakar. Gas dengan viskositas lebih tinggi dan konduktivitas termal lebih rendah menghasilkan lapisan batas termal yang lebih tebal, yang bertindak sebagai hambatan terhadap perpindahan panas. Sedangkan pada rasio ke-3 dan ke-4 terjadi kenaikan nilai koefisien perpindahan panas yang sangat signifikan. Koefisien perpindahan panas mencapai nilai tertingginya karena kondisi pembakaran yang ideal sehingga perpindahan panas terjadi secara efisien. Semakin tinggi koefisien perpindahan panas, semakin cepat panas dapat ditransfer, yang berarti lebih efisien dalam menghasilkan panas yang dibutuhkan untuk proses pembakaran, sehingga dapat mempercepat proses perpindahan panas [10].

4 KESIMPULAN

Dari serangkaian percobaan yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh rasio udara bahan ba-

kar terhadap efisiensi termal ruang bakar pada *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler*, dapat disimpulkan bahwa nilai rasio udara bahan bakar akan berbanding lurus dengan nilai efisiensi termal ruang bakar. Hal ini terjadi karena semakin banyak udara yang disuplai ke dalam ruang bakar dengan standar tertentu, maka akan semakin efisien juga proses pembakaran yang terjadi. Pada penelitian yang telah dilakukan dari ke 5 variabel rasio udara bahan bakar, didapatkan kondisi yang paling optimal terjadi pada rasio udara bahan bakar ke-4 dengan nilai efisiensi termal 79,07% untuk bahan bakar solar dan 80,03% untuk bahan bakar gas.

REFERENSI

- [1] Perangin-Angin, D. H. (2014). Pemeriksaan Alat Ukur dan Keselamatan Operasional Marcet Boiler.
- [2] Putri, P. V. (2017). Desain Steam Power Generation Menggunakan Sistem Longitudinal Water Tube Boiler untuk Menghasilkan Daya Listrik Kapasitas 1000 Watt (Doctoral Dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- [3] Putri, Z. Z. (2020). Analisis Sistem Termal Ditinjau dari Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Solar Terhadap Produksi Saturated Steam pada Cross Section Water Tube Boiler (Doctoral Dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- [4] Ridwan, K. A., Fikamalati, S., & Putri, Z. Z. (2021). Analisis Sistem Termal Ditinjau Dari Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Produksi Saturated Dan Superheated Steam Pada Boiler. 12(02).
- [5] Heywood, J.B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill
- [6] Hougen, O.A., Kenneth M. Watson, and R. A. R. (1998). *Chemical Process Principles* (I. John Wiley & Sons, Ed.). New York.
- [7] Heywood, J.B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill
- [8] Lestari, H.M. (2014). Temperatur Dalam Burning Zone Dan Efisiensi Termal Pada Steam Power Generation Pengaruh Rasio Udara Ratio Influence On Fuel Air Flame Temperature On Burning Zone. Skripsi UNNES.
- [9] Jamal, J., Bhuana, C., & Alihar, F. (2020). Analisis Konsumsi Bahan Bakar Spesifik pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeneponto. Jurnal Teknik Mesin Sinergi, 18 (1), 20-28.
- [10] Chrisanta, I. (2020). Optimasi Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh pada Ekonomiser Package Boiler BBF-4101 berdasarkan Faktor Fouling dan Kondisi Operasi di PT. XYZ. Jurnal Teknik Mesin ITI, 4(3), 99.