



Penentuan *specific fuel consumption* (SFC) dan efisiensi termal boiler produksi *superheated steam* pada *water tube boiler* ditinjau dari rasio udara bahan bakar solar

CHOIRI HIDAYATULLAH*, TAHDID, DAN IRAWAN RUSNADI

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

<p>Kata kunci: boiler, steam, bahan bakar, specific fuel consumption, laju produksi</p>	<p>ABSTRAK: Boiler adalah perangkat yang berfungsi untuk memproduksi uap dalam berbagai aplikasi, terdiri dari dua komponen utama: ruang bakar yang menghasilkan panas melalui pembakaran bahan bakar, dan drum uap atau penampung uap yang berfungsi sebagai reservoir untuk mengubah air menjadi uap. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi transfer panas dalam boiler dengan merancang sebuah boiler yang dilengkapi dengan dua drum (double drum) yang diposisikan secara silang terhadap sumber panas. Selain itu, tabung juga akan dipasang secara vertikal dengan kemiringan 65° untuk mempercepat penguapan air. Diharapkan desain ini akan menghasilkan uap yang lebih efisien, dengan rasio udara terhadap bahan bakar solar 22 pada tingkat ketinggian air 50%, yang memberikan efisiensi termal sebesar 72,14% dan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) sebesar 0,0000327 kg/kJ. Semakin rendah nilai SFC semakin efisien <i>Boiler</i> dalam menggunakan bahan bakar. lebih sedikit untuk menghasilkan energi yang sama, Parameter yang diamati berupa temperatur, tekanan, laju alir udara, dan waktu proses.</p>
<p>Keywords: boiler, steam, fuel, specific fuel consumption, production rate</p>	<p>ABSTRACT: A boiler is a device used to produce steam for various applications, consisting of two main components: a combustion chamber that generates heat through fuel combustion, and a steam drum or reservoir that serves to convert water into steam. This study aims to improve heat transfer efficiency in the boiler by designing a double-drum boiler arranged crosswise relative to the heat source. Additionally, the tubes will be installed vertically with a 65° inclination to accelerate water vaporization. This design is expected to produce more efficient steam, with an air-to-diesel fuel ratio of 22 at a water level of 50%, achieving a thermal efficiency of 72.14% and a specific fuel consumption (SFC) of 0.0000327 kg/kJ. A lower SFC value indicates greater fuel efficiency of the boiler, requiring less fuel to generate the same amount of energy. Parameters observed include temperature, pressure, air flow rate, and process time.</p>

1 PENDAHULUAN

Industri memerlukan mesin konversi untuk mencegah pemborosan energi. Mesin konversi ini mengubah satu bentuk energi menjadi bentuk energi lain. Salah satu mesin yang penting untuk efisiensi energi di industri adalah Boiler, dengan jenis yang sering digunakan adalah Boiler tabung air. Boiler adalah alat yang digunakan untuk memproduksi uap (*steam*) untuk berbagai kebutuhan. Boiler memegang peranan penting dalam industri dan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Hingga saat ini, teknologi *Boiler* terus dikembangkan guna memperoleh pembangkit uap yang handal dari segi efisiensi termal, biaya proses, biaya operasional,

bahkan investasi pada pembangkit uap itu sendiri. Tingkat kinerja optimal suatu pembangkit uap sangat bergantung pada berbagai variabel proses: variabel kinetik, termodinamika, dan hidrodinamik. Ketiga variabel proses ini mempunyai dampak yang signifikan terhadap peningkatan sistem perpindahan panas dan massa pembangkit uap secara keseluruhan.

Variabel Termodinamika dengan *Boiler* sangat penting karena *Boiler* menggunakan prinsip-prinsip termodinamika untuk menghasilkan volume besar uap atau panas air. Variabel Hidrodinamika merupakan fluida yang mengkaji bagaimana fluida berperilaku saat bergerak, terutama dalam hal tekanan, kecepatan, dan cara fluida tersebar dalam sistem

* Corresponding Author: choirihidayatullah@gmail.com

tertentu. Hidrodinamika digunakan untuk merancang *Boiler* agar dapat memaksimalkan efisiensi pemanasan dan perpindahan panas. Desain yang baik harus mempertimbangkan bagaimana fluida akan mengalir di dalamnya untuk memastikan distribusi panas yang merata dan penggunaan energi yang efisien. Variabel kinetik dengan sistem pasokan udara-bahan bakar dalam ruang bakar sangat mempengaruhi jalannya reaksi pembakaran agar optimal dalam menghasilkan panas reaksi yang tinggi serta temperatur *flame* yang tinggi. Temperatur *flame* yang tinggi ini penting untuk meningkatkan proses perpindahan panas melalui radiasi, konduksi, dan konveksi antara nyala api dengan sistem tabung dan fluida air di dalamnya. Oleh karena itu, rasio udara-bahan bakar, sebagai bagian dari variabel kinetik, secara signifikan mempengaruhi efisiensi ruang bakar. Di sisi lain, variabel kinetik yang terkait dengan rasio udara-bahan bakar juga berdampak pada tingkat emisi yang dihasilkan dalam gas buang.

Berbagai studi telah dilakukan terkait penggunaan boiler yang dilengkapi dengan pipa longitudinal sebagai superheater bertujuan untuk memproduksi uap panas. Sistem ini memiliki satu drum yang berfungsi ganda sebagai drum air dan drum uap. Penelitian mengenai *Longitudinal Water Tube Boiler* menunjukkan adanya beberapa kelemahan salah satunya adalah penempatan pipa secara longitudinal, yang berarti pipa ditempatkan sejajar dengan drum uap. Hal ini mengurangi luas permukaan pipa dan menghambat proses perpindahan panas di dalam Boiler [1]. Penelitian ini mengeksplorasi salah satu aspek yang mempengaruhi efisiensi turbin uap, yaitu uap super panas yang mengalir ke dalam turbin. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi variabel-variabel yang relevan dalam perhitungan efisiensi Boiler dan turbin uap, serta memahami pengaruh temperatur uap super panas terhadap efisiensi kedua sistem tersebut. Selama penelitian yang dilakukan selama 6 hari, ditemukan bahwa beberapa variabel diperlukan untuk menghitung kinerja Boiler, seperti jumlah bahan bakar yang digunakan, data operasional dari Boiler dan turbin uap, serta nilai kalor dari cangkang dan fiber [2]. Dan Uap dalam ketel uap diproduksi dengan cara memanaskan air hingga berubah menjadi uap yang kemudian dipressur dan dipanaskan hingga suhu tinggi. Tekanan dan panas ini digunakan untuk menggerakkan mesin atau peralatan angkat serta dalam aplikasi lainnya sesuai kebutuhan. Dalam mencapai kualitas uap yang baik, kondisi input bahan bakar dan udara selama proses pembakaran harus diperhatikan. Bahan bakar dengan nilai kalor yang tinggi memungkinkan campuran yang lebih efisien dengan udara. Perbandingan udara-bahan

bakar yang tidak ideal dapat mengurangi efisiensi proses pembakaran. Oleh karena itu, dilakukan pengamatan terhadap pengaruh variasi rasio udara terhadap kualitas uap dengan efisiensi optimal tercapai pada rasio udara-bahan bakar sebesar 26,6. [3].

Masalah yang sering muncul dalam berbagai penelitian menunjukkan bahwa untuk mencapai kualitas pembakaran yang baik dalam sistem pembakaran Boiler, penting untuk menjaga rasio antara bahan bakar dan udara pada nilai yang optimal menggunakan air fuel ratio (AFR). Dengan menjaga rasio diharapkan dapat meningkatkan kinerja Boiler secara keseluruhan yang akan berdampak pada analisis kualitas uap super panas (seperti suhu, tekanan, dan entalpi uap) yang optimal.

2 ALAT, BAHAN DAN METODA

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air, yang berfungsi sebagai umpan boiler untuk dipanaskan sehingga menghasilkan uap *saturated* dan *superheated*, solar digunakan sebagai bahan bakar furnace dan udara yang didapat dari udara bebas yang di supply dengan menggunakan alat yaitu compressor. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu seperangkat Unit Boiler yang terdiri dari *Steam Drum*, *Feed Water Drum*, *Water Tube*, *Super Heater Tube*, *Burner*, *furnace* (Ruang Bakar), *Safety Valve*, *Temperature Instrument*, *Main Steam Valve*, *Pressure Instrument*, *Main Steam Valve*, *Blowdown Valve*, *Compressor*, Pompa, *Thermogan* dan *anemometer*. *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler* berperan sebagai drum air umpan dan drum uap dalam proses mengubah air umpan Boiler menjadi uap berkualitas, baik dalam bentuk *saturated* maupun *superheated*. Variabel yang diukur mencakup variabel konstan, variabel yang dapat berubah, dan variabel yang bergantung. Variabel tetap mencakup aliran air umpan sebesar 1,3 L/min, bahan bakar solar 0,17 L/min, dan aliran uap 1,3 L/min. Variabel berubah termasuk rasio udara-bahan bakar pada nilai 16, 18, 20, 22, dan 24, serta level ketinggian air pada 20%, 30%, 40%, 50%, dan 60%. Variabel terikat yang diperhatikan adalah tekanan, suhu, entalpi, suhu nyala api, dan warna api.

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada maret sampai Juni 2024 di Laboratorium Teknik Energi, Politeknik Negeri Sriwijaya.

Perlakuan Penelitian

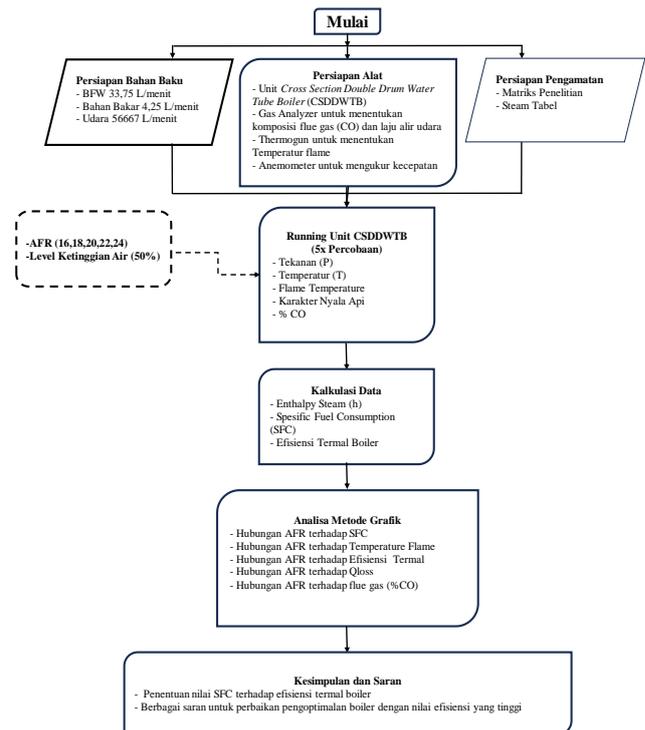
Pada perlakuan penelitian dimulai dari persiapan alat 1 unit *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler* (CSDDWTB), gas analyzer untuk menentukan komposisi flue gas (CO) dan laju alir udara, termogun untuk menentukan temperature *flame*, anemometer untuk mengukur kecepatan. Kemudian mempersiapkan bahan baku seperti *Boiler Feed water* 33,75 L/menit, bahan bakar solar 4,25 L/menit, udara 56667 L/menit serta mempersiapkan pengamatan seperti matriks penelitian dan *steam* tabel. Dilanjutkan dengan running boiler dengan rasio udara bahan bakar 16, 18, 20, 22, 24 dan level ketinggian 50% dengan 5 kali percobaan yang akan mendapatkan data berupa temperature, tekanan, *flame* temperature, karakter nyala api dan %CO yang akan mendapatkan kalkulasi data berupa *enthalpy steam*, *specific fuel consumption* dan efisiensi termal *Boiler*. Dari kalkulasi data akan mendapatkan 5 analisa metode grafik yaitu pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap efisiensi termal, pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap temperature *flame*, pengaruh rasio udara terhadap konsentrasi CO flue gas. Dampak rasio udara-bahan bakar terhadap konsumsi bahan bakar spesifik dan pengaruh rasio tersebut terhadap kehilangan panas. Setelah itu dilanjutkan dengan membuat kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan. Untuk melihat lebih jelas penelitian dari CSDDWTB berikut merupakan blok diagram alur penelitian pada *Boiler*: Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.

Prosedur Percobaan

Dalam percobaan alat pembangkit uap penting untuk melakukan pemanasan dan kontrol yang teliti pada seluruh peralatan *Boiler*. Langkah ini diperlukan untuk memastikan bahwa semua bagian berada dalam kondisi optimal sebelum proses pemanasan dimulai.

Persiapan Pengoperasian

- Mempersiapkan Water Level Volume, Pressure Instrument, Temperature Instrumen, Blow Down Valve, Water Feed Valve, Steam Stop Valve, Safety Valve dan Air Venting Valve
- Untuk mempersiapkan operasi *Boiler*, langkah-langkah penting meliputi mengisi bejana dengan air umpan hingga mencapai level yang ditetapkan, menyiapkan bahan bakar, memeriksa sumber listrik untuk tenaga dan sistem pengendalian, serta memeriksa pasokan udara bertekanan untuk mengoperasikan peralatan instrumentasi.



Gambar 1 Perlakuan Penelitian Cross Section Double Drum Water Tube Boiler

Pengoperasian Boiler

- Pastikan boiler sudah siap. Sesuaikan rasio udara dan bahan bakar solar sesuai pengaturan yang diperlukan untuk menjamin operasi berjalan dengan efisiensi optimal. Setelah itu, lakukan proses pengisian air umpan
- Pengoperasian boiler dalam non steady state dilanjutkan pengoperasian dalam kondisi steady state.
- Pada saat pengoperasian berlangsung dilakukan pengambilan data dari awal proses pemanasan sampai memproduksi steam yang dilihat dari alat pengukur tekanan dan temperatur dan dengan rasio waktu yang berbeda.
- Dalam pengoperasian steady state untuk pengambilan data, valve uap jenuh dibuka secara perlahan. Setelah itu, valve untuk penyuplai air dibuka, dengan jumlah air yang disuplai disesuaikan dengan jumlah uap yang dikeluarkan, seperti yang terlihat pada flow meter.
- Untuk uap super panas, valve dibuka terlebih dahulu. Selanjutnya, valve penyuplai air juga dibuka. Jumlah air yang disuplai disesuaikan dengan jumlah uap yang dikeluarkan, sesuai dengan pembacaan pada flow meter.

f. Menganalisis data dari percobaan yang telah dilaksanakan.

3 HASIL

Hasil data penelitian yang dilakukan pada alat CSDDWTB dan hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 1:

Tabel 1 Data Hasil Penelitian di Ruang Bakar

Ruang Bakar								
Kec. Udara (m/s)	Udara		Bahan Bakar		Rasio Udara /BB (AFR)	Temp. Flame (°C)	CO Flue Gas (%)	Warna Api
	Flow Udara (L/min)	Flow BB (kg/min)	Flow BB (kg/min)	Flow BB (kg/min)				
24,06	1813	2,18			16	640,2	2,25	Merah
27,07	2040	2,45			18	653,4	2,1	Kuning
30,08	2267	2,72	0,17	0,136	20	667,2	1,98	Kuning
33,09	2493	2,99			22	685,9	1,92	Biru
36,09	2720	3,26			24	688,5	1,92	Biru

Tabel 2 Data Hasil Penelitian di Steam Drum

Level Ketinggian Air (% L _D)	Steam Drum			
	Bfw		TI-1 (°C)	PI-1 (Bar)
	(L/min)	(kg/min)		
50	1,34	1,34	172,50	8,40
	1,33	1,33	175,00	8,90
	1,34	1,34	182,50	10,50
	1,33	1,33	190,00	12,60
	1,33	1,33	191,00	12,80

Tabel 3 Data Hasil Efisiensi Termal Boiler

Steam Superheated				Efisiensi (%)	SFC (kj/kg)	Q _{Loss} (%)
TI-2 (°C)	PI-2 (Bar)	Flow Steam (kg/min)	Hg (kj/kg)			
207,50	8,40	1,34	3043,65	70,71	0,0000333	29,29
210,00	8,90	1,33	3065,96	70,68	0,0000334	29,32
217,50	10,50	1,34	3096,28	71,89	0,0000328	28,11
225,00	12,60	1,33	3130,81	72,14	0,0000327	27,86
226,00	12,80	1,33	3132,25	72,16	0,0000326	27,84

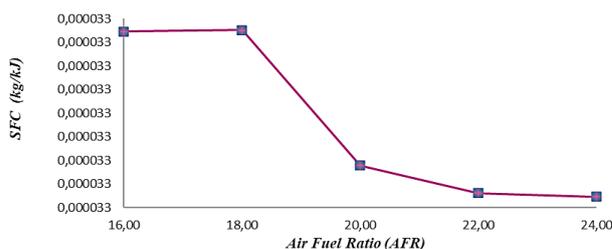
4 PEMBAHASAN

Data hasil analisa dan penelitian dapat dilihat pada gambar 2- gambar 5

Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap *Specific Fuel Consumption* (SFC)

Dari proses hasil yang dihasilkan secara grafik itu terlihat mengalami penurunan tren yang signifikan dapat dilihat pada Gambar 2. Dari itu diketahui bahwa *Specific Fuel Consumption* (SFC) *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler* terus menurun dari rasio udara bahan bakar. AFR yang optimal adalah perbandingan udara terhadap bahan bakar yang menghasilkan pembakaran yang efisien. Pada AFR optimal, semua bahan bakar dibakar dengan jumlah udara yang tepat, menghasilkan energi maksimal dan mengurangi pemborosan bahan bakar. Dalam

kondisi ini, SFC akan berada pada nilai yang paling rendah karena bahan bakar digunakan secara efisien. Ketika efisiensi termal meningkat *Boiler* dapat menghasilkan lebih banyak energi yang berguna dari jumlah bahan bakar yang sama ini mengarah pada penggunaan bahan bakar yang lebih efisien, sedangkan pada grafik diatas dapat dilihat penurunan nilai SFC yang signifikan. Nilai SFC yang baik pada *Boiler* mengindikasikan bahwa *Boiler* dapat menghasilkan energi yang dibutuhkan dengan menggunakan jumlah bahan bakar yang relatif sedikit. Bisa disimpulkan bahwa rasio udara terhadap bahan bakar yang lebih tinggi dan ketinggian air yang lebih besar akan mengakibatkan penurunan nilai SFC. SFC, yang merupakan ukuran efisiensi bahan bakar, mengukur jumlah bahan bakar yang digunakan per jam untuk setiap unit energi yang dihasilkan. Nilai SFC yang lebih rendah mengindikasikan bahwa penggunaan bahan bakar lebih efisien [4]. Terjadi penurunan yang disebabkan oleh rasio udara dan bahan bakar yang optimal, sehingga pembakaran di ruang bakar berlangsung dengan sempurna.

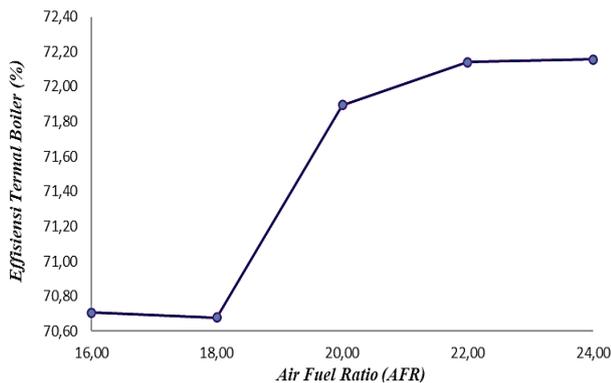


Gambar 2 Grafik Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap *Specific Fuel Consumption* (SFC)

Dari grafik yang ditampilkan, terlihat bahwa tren menunjukkan nilai SFC terendah pada rasio udara bahan bakar 24, yaitu 0,0000326 kg/kj. Selama percobaan dengan rasio udara bahan bakar antara 16 hingga 24 dan level ketinggian air 50%, rasio udara bahan bakar yang paling efisien adalah rasio ke-4, yakni 22, dengan nilai SFC 0,0000327 kg/kj. Meskipun rasio udara bahan bakar 24 menghasilkan SFC yang hanya sedikit lebih rendah, yaitu 0,0000326 kg/kj, rasio udara bahan bakar 22 dianggap lebih optimal karena penggunaan bahan bakar yang lebih efisien dibandingkan dengan rasio udara bahan bakar 24.

Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Solar Terhadap Efisiensi Termal *Boiler*

Kontrol yang tepat terhadap aliran udara dan pasokan bahan bakar penting untuk mencapai efisiensi yang diinginkan. Pengaruh rasio udara terhadap bahan bakar terhadap efisiensi *Boiler* dapat dilihat secara grafis dalam Gambar 3:



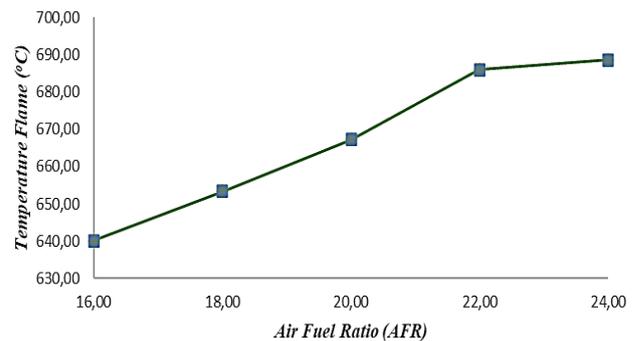
Gambar 3 Grafik Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Efisiensi Termal Boiler

Efisiensi termal boiler meningkat seiring dengan naiknya rasio udara bahan bakar dari 16 hingga 24. Dapat terlihat bahwa rasio udara-bahan bakar ke-4 menunjukkan efisiensi paling tinggi. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan udara yang optimal dalam proses pembakaran. Dengan peningkatan jumlah udara hingga mencapai rasio udara 22, panas yang diterima oleh fluida uap meningkat, sehingga jumlah kalor yang diserap juga meningkat. Peningkatan dalam jumlah panas ini disebabkan oleh peningkatan kerapatan massa udara yang masuk ke ruang bakar setelah mengalami pemampatan udara. Hal ini secara langsung meningkatkan kapasitas efektif dari burner.

Rasio udara yang paling optimal adalah 22, yang dicapai pada rasio ke-4 dengan efisiensi 72,14%, jika dibandingkan dengan rasio ke-5 yang memiliki rasio udara bahan bakar 24 dan efisiensi 72,16%. Pada rasio udara bahan bakar ke-4 dan ke-5, target tekanan adalah 12 bar dengan massa steam 1,3 L/min. Rasio ke-4 dinilai lebih baik karena rasio udara bahan bakar yang digunakan lebih kecil daripada rasio ke-5, meskipun tekanan dan massa steam sudah sesuai dengan target yang ditetapkan. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi pembakaran adalah dengan menyesuaikan nilai ARF dalam proses tersebut, di mana semakin tinggi rasio udara terhadap bahan bakar, maka temperatur dan tekanan yang dihasilkan juga akan semakin tinggi [5].

Hubungan Rasio Udara Bahan bakar Terhadap Temperatur *Flame* (°C)

Peningkatan rasio udara bahan bakar dapat meningkatkan temperatur flame. Hal ini disebabkan oleh peningkatan jumlah oksigen yang tersedia untuk membakar bahan bakar. Grafik hubungan rasio udara bahan bakar terhadap temperatur *flame* (°C), dapat dilihat pada Gambar 4:



Gambar 4 Grafik Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Temperatur *Flame* (°C)

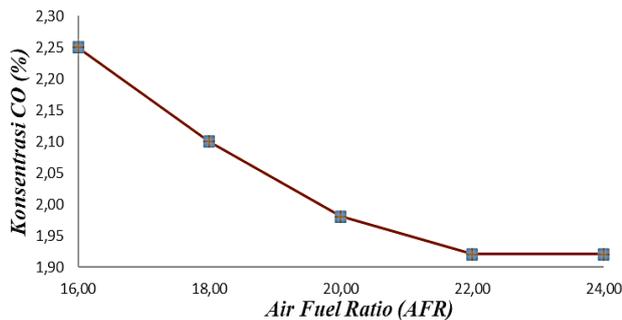
Grafik pada gambar 4 mengilustrasikan bahwa dengan meningkatnya rasio udara terhadap bahan bakar dalam kondisi steady state, suhu pembakaran pada Furnace Cross Section Double Drum Water Tube Boiler juga meningkat. Suhu nyala api, yang merupakan suhu maksimum dari proses pembakaran bahan bakar tanpa kehilangan panas di sekitarnya, bervariasi tergantung pada rasio udara terhadap bahan bakar. Jika bahan bakar terlalu banyak atau rasio udara bahan bakar tidak sesuai, suhu nyala api dapat menurun. Suhu nyala api yang paling efisien, yaitu 685,9°C, tercapai pada rasio ke-4 dengan rasio udara bahan bakar sebesar 22. Pada rasio ke-4 dan ke-5, tekanan yang ditargetkan adalah 12 bar dengan massa uap 1,3L/min. Rasio ke-4 dianggap paling optimal karena rasio udara bahan bakarnya lebih rendah dibandingkan rasio ke-5, namun tetap mencapai tekanan yang diinginkan.

Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Konsentrasi CO Flue Gas (%)

Pada hubungan rasio udara bahan bakar terhadap konsentrasi CO *flue gas* (%) dapat terlihat penurunan tren yang signifikan dari rasio udara bahan bakar 16 hingga rasio udara bahan bakar 22. Penurunan drastis konsentrasi CO dalam *flue gas* seiring dengan peningkatan AFR terjadi karena pembakaran yang lebih lengkap dan efisien pada rasio udara-bahan bakar yang lebih tinggi. Untuk mengetahui hubungan rasio udara bahan bakar terhadap konsentrasi *flue gas* % dapat dilihat pada Gambar 5.

Hubungan antara rasio udara bahan bakar dan konsentrasi CO dalam gas buang adalah bahwa rasio udara bahan bakar yang lebih rendah cenderung meningkatkan konsentrasi CO, sedangkan rasio udara bahan bakar yang lebih tinggi cenderung mengurangi konsentrasi CO. Dari gambar 5 terlihat bahwa konsentrasi CO dalam gas buang paling optimal berada pada rasio udara bahan bakar 22 dan 24, dengan nilai konsentrasi CO sebesar 1,92%. Hal ini terjadi karena pembakaran pada rasio 22 dan 24

lebih sempurna, berkat komposisi udara yang tepat yang memungkinkan bahan bakar terbakar secara optimal. Nilai emisi yang tergolong kecil disebabkan adanya pengaturan AFR yang bervariasi hal ini menyebabkan emisi CO yang rendah berpengaruh positif karena untuk mencapai efisiensi termal dan efisiensi pembakaran yang optimal [7]. Pembakaran yang lebih sempurna mengurangi kehilangan panas yang tidak dimanfaatkan dan menghasilkan lebih banyak panas yang dapat digunakan.

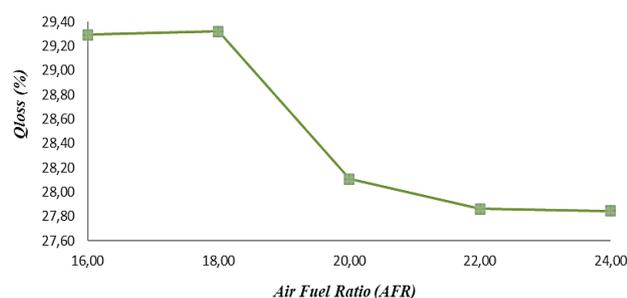


Gambar 5 Grafik Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Konsentrasi CO Flue Gas (%)

Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Persen Kehilangan Panas Q_{loss} (%)

Terlihat penurunan signifikan dalam persen kehilangan panas (Q_{loss}) pada rasio udara bahan bakar 16 hingga 24 disebabkan oleh beberapa faktor yang meningkatkan efisiensi pembakaran dan transfer panas.

Untuk mengetahui pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap persen kehilangan panas Q_{loss} dapat dilihat pada gambar Grafik 6:



Gambar 6 Grafik Hubungan Rasio Udara Bahan Bakar Terhadap Kehilangan Panas Q_{loss} (%)

Penurunan signifikan dalam persen panas kehilangan Q_{loss} pada rasio udara-bahan bakar 16 hingga 24 terjadi karena peningkatan efisiensi pembakaran, optimalisasi suhu pembakaran, stabilitas pembakaran yang lebih baik, desain dan pengendalian sistem pembakaran yang efisien, serta peningkatan efisiensi termal. Hal ini menghasilkan penurunan Q_{loss} yang signifikan meningkatnya rasio

udara bahan bakar. Pada rasio udara bahan bakar 22 dengan nilai Q_{loss} 27,86. Dibandingkan dengan rasio ke-5 yang memiliki Q_{loss} sebesar 27,84°C dengan rasio udara-bahan bakar 24, rasio udara-bahan bakar 22 menciptakan kondisi di mana pembakaran bahan bakar berlangsung lebih efisien dan transfer panas ke air di Boiler optimal. Hal ini meminimalkan kerugian panas melalui gas buang dan permukaan Boiler.. Perbandingan antara volume udara dan bahan bakar yang digunakan memegang peranan krusial dalam proses pembakaran. Ketidaksiharian jumlah bahan bakar dengan udara dapat menurunkan efisiensi boiler dan menyebabkan peningkatan kehilangan panas [8].

5 KESIMPULAN

Pada rasio udara bahan bakar yang optimal berada pada rasio ke 4 yaitu 22 maka akan menyebabkan nilai *Specific Fuel Consumption (SFC)* menurun dengan nilai optimal 0,0000327 hal ini disebabkan oleh pembakaran yang sempurna. Pada pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap efisiensi termal mengalami peningkatan sebesar 72,14 di rasio udara bahan bakar 22 yang menunjukkan boiler mampu mengkonversi energi panyang sempurna dari bahan bakar menjadi energi yang lebih berguna. Nilai optimal *temperature flame* adalah 685,90 ini terjadi bahwa pembakaran sempurna. Konsentrasi CO yang lebih rendah dengan nilai optimal 1,92% ini berpengaruh positif karena untuk mencapai efisiensi termal dan efisiensi pembakaran yang optimal.

REFERENSI

- [1] Aswan, A., Sulsilowati, E., & Juriwon. (2017). [4] Analisis Energi Boiler Pipa Air Menggunakan Bahan Bakar Solar. *Jurnal Hasil Penelitian Dan Ulasan Ilmiah*, 8(2), 7–13.
- [2] Edi S, J., Hikayat, A., & Anwar, Z. (2023). Analisa Pengaruh Temperatur Uap Superheated Terhadap Peforma Boiler di PT. Perkebunan Nusantara VI PKS Aur Gading Batanghari Jambi. *Jurnal Teknik Mesin Dan Industri (JuTMI)*, 2(1), 64–69. <https://doi.org/10.55331/jutmi.v2i1.6>
- [3] Ridwan, K. A., & Tahdid, S. T. (2011). Study Efisiensi Termal Ketel Uap Dengan Melihat Pengaruh Rasio Udara-Bahan Bakar Solar Pada Alat Water Tube Boiler. *Kinetika*, 1(1)
- [4] Julianto, Eko. 2020. "Analisis Pengaruh Putaran Mesin Pada Efisiensi Bahan Bakar Mesin Diesel 2Dg-Ftv." *Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat UNSIQ* 7 (3): 225–31. <https://doi.org/10.32699/ppkm.v7i3.128>
- [5] Perdana, D., Gunawan, E., & PS, B. (2018). Perilaku Dan Kestabilan Nyala Api Pada Pembakaran Premixed Minyak Biji Kapas Terhadap Variasi Air Fuel

- Ratio. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIII*, 239-246
- [6] Febry, V (2020). Analisis Rasio Udara Bahan Bakar Solar Terhadap *Flame Temperature* dan Efisiensi Termal *Cross Section Water Tube Boiler* Pada Produksi *Superheated Steam* Proses *Continyu*
- [7] Santoso, H., Ariwibowo, T. H., & Safitra, A. G. (2017, October). Effect of Air-Fuel Ratio to Non-premixed Burning Characteristics in Boiler Furnace Using CFD. In *Proceedings of the Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) XVI, Surabaya, Indonesia* (pp. 5-6)
- [8] Fikamalati, S. (2020). Analisis Sistem Termal Ditinjau Dari Pengaruh Rasio Udara Bahan Bakar Solar Terhadap Produksi *Superheated Steam Cross Section Water Tube Boiler* (Doctoral dissertation, POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA)
-