



## Efisiensi termal *water tube boiler* ditinjau dari rasio udara bahan bakar solar dan *water level control* pada produksi *superheated steam*

NADINDA FERDANA CAYA\*, RIMA DANIAR, DAN TAHDID

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

### Kata kunci:

boiler,  
rasio udara bahan bakar,  
level ketinggian air,  
*superheated steam*,  
efisiensi termal

**ABSTRAK:** Boiler dirancang untuk mendapatkan satu sistem produksi steam yang optimal dengan melibatkan sistem konfigurasi boiler yang terintegrasi langsung secara optimal sehingga bisa mendapatkan berbagai efisiensi termal pada sistem pembangkit uap. Sistem pembangkit uap yang dirancang menggunakan *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler* yang bertujuan untuk memberikan sistem perpindahan panas didalam ruang bakar berjalan dengan baik demikian juga sistem perpindahan massa yang kompetible dari perpindahan massa molekul air ke fase uap. Dan hal yang tidak kalah penting pada sistem *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler* dirancang untuk memberikan sistem hidrodinamika yang optimal guna memberikan waktu yang lebih lama bagi setiap molekul fluida air bergerak dari daerah influen sampai ke zona efluen. Untuk menelaah kerja *Water Tube Boiler* terhadap kemampuannya dalam memproduksi *steam* dipakai variabel proses penelitian berupa rasio udara bahan bakar 16, 18, 20, 22, 24 dan level ketinggian 20%, 30%, 40%, 50%, 60% yang didapatkan nilai optimal pada rasio udara bahan bakar 22 di level ketinggian 50% yang menghasilkan efisiensi termal sebesar 72,14%. Ini terjadi karena jumlah udara yang tepat untuk membakar bahan bakar, yang menghasilkan panas yang efisien dan efektivitas pembakaran yang tinggi.

### Keywords:

boiler,  
fuel air ratio,  
water level,  
*superheated steam*,  
thermal efficiency

**ABSTRACT:** The boiler is designed to obtain an optimal steam production system by involving a boiler configuration system that is optimally integrated directly so that it can obtain various thermal efficiencies in the steam generation system. The steam generation system is designed using *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler* which aims to provide a heat transfer system in the combustion chamber to run well as a capable mass transfer system from the mass transfer of water molecules to the vapor phase. And no less important in the *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler* system is designed to provide an optimal hydrodynamic system to provide a longer time for each water fluid molecule to move from the influent area to the effluent zone. To analyze the work of the *Water Tube Boiler* on its ability to produce steam, a variable process is used was in the form of a fuel air ratio of 16,18,20,22,24 and an altitude level of 20%, 30%, 40%, 50%, 60% which obtained an optimal value at the fuel air ratio of 22 at the altitude level of 50% which resulted in a thermal efficiency of 72.14%. This happens because of the right amount of air to burn the fuel, which produces efficient heat and high combustion effectiveness.

## 1 PENDAHULUAN

Industri saat ini mengalami perkembangan yang begitu pesat sehingga sangat diperlukan untuk mengkaji ulang kinerja mesin konversi agar tidak terjadi pemborosan. Mesin konversi energi adalah perangkat yang berperan dalam mengubah satu bentuk energi menjadi bentuk energi lainnya. Alat ini berfungsi sebagai sumber tenaga yang menggerakkan berbagai instrumen atau peralatan produksi dalam industri. Salah satu mesin konversi

energi yang umum digunakan adalah Boiler. Boiler adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan uap, terdiri dari dua komponen utama yaitu *Furnace*, yang berfungsi menghasilkan panas dari pembakaran bahan bakar, dan *Steam Drum*, yang berfungsi sebagai penampung uap untuk mengubah air menjadi uap. Boiler berfungsi penting dalam industri dan sebagai salah satu alat pembangkit listrik tenaga uap. Pengembangan teknologi Boiler terus berlanjut saat ini dengan tujuan untuk menghasilkan steam pembangkit uap yang handal dalam hal

\* Corresponding Author: [nadinda07ferdanacaya@gmail.com](mailto:nadinda07ferdanacaya@gmail.com)

efisiensi termal. Kinerja optimal dari pembangkit uap sangat dipengaruhi oleh berbagai variabel proses yaitu variabel kinetik, variabel termodinamika, dan variabel hidrodinamika. Ketiga variabel proses tersebut sangat mempengaruhi peningkatan sistem perpindahan panas dan perpindahan massa pada unit pembangkit uap secara keseluruhan. Variabel kinetik yang terlibat pada sistem pembangkit uap yaitu rasio udara bahan bakar, kesesuaian jumlah udara yang digunakan untuk membakar bahan bakar diruang bakar sangatlah penting untuk mencapai panas reaksi yang tinggi dan menghasilkan flame temperature yang optimal. Variabel termodinamika yang ada pada sistem Boiler melibatkan suhu dan tekanan yang dapat dicapai pada zona *steam drum*. Variabel hidrodinamika yang terlibat pada unit pembangkit uap merupakan bagaimana sistem aliran fluida pada unit Boiler.

Berbagai penelitian telah dilakukan oleh para peneliti dalam penelitian ini, berbagai variasi operasi dan pengamatan dilakukan pada Boiler, seperti variasi operasi tanpa dan dengan injeksi steam, variasi operasi dengan dan tanpa pemanasan udara pembakaran, serta variasi rasio udara terhadap bahan bakar. Pada operasi dengan pemanasan udara pembakaran dan penggunaan *Short Flame Tongue* (dengan injeksi steam), efisiensi Boiler mencapai 22,58%. Sebaliknya, pada operasi tanpa pemanasan udara pembakaran dan penggunaan *Long Flame Tongue* (tanpa injeksi steam), efisiensi Boiler hanya mencapai 20,13%, menunjukkan peningkatan efisiensi sebesar 2,45% antara kedua operasi tersebut. Namun, pada operasi tanpa pemanasan udara pembakaran dan penggunaan *Short Flame Tongue* (dengan injeksi steam), terjadi penurunan efisiensi sebesar 0,08% dibandingkan dengan dua operasi sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa injeksi steam *Short Flame Tongue* efektif dalam meningkatkan efisiensi Boiler, tetapi lebih efektif bila dikombinasikan dengan pemanasan udara pembakaran [1]

Kemudian 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 [2]

Salah satu parameter yang mempengaruhi efisiensi turbin uap adalah uap *superheated* yang ma-

suk turbin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variabel apa saja yang digunakan untuk menghitung efisiensi dari Boiler dan turbin uap. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi Boiler, temperatur pada *superheated* sangat berpengaruh terhadap performa pada Boiler tersebut. Seperti pada data rendah, sedang dan tinggi suhu pada *superheated* yaitu 225,4°C, 232,9°C, 245,9°C yang menghasilkan efisiensi Boiler 50,61%, 51,70%, 51,78% [3]

Dari penelitian [1] [2] [3], masih terdapat kelemahan yaitu kecepatan penguapan molekul air yang masih rendah. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dirancang dengan mempertimbangkan pengaruh rasio bahan bakar solar berbasis pengendalian level air terhadap laju produksi *superheated steam*. Pada *Cross Section Double Drum Water Tube Boiler* (CSDDWTB) air dialirkan melalui pipa yang dikelilingi oleh api dan gas panas dari luar pipa. Tipe *double drum* dipilih, dengan kedua drum ditempatkan secara menyilang terhadap sumber panas dan menggunakan kemiringan pada pipa sebesar 65° untuk mempercepat penguapan molekul air. Hal ini bertujuan agar perpindahan panas dari fluida dalam pipa ke *Steam Drum* dapat merata ke seluruh bagian *Steam Drum*, meningkatkan jumlah steam yang dihasilkan, meningkatkan kinerja boiler.

## 2 ALAT, BAHAN, DAN METODA

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu air sebagai umpan boiler yang akan 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*, *safety valve*, *Temperature Instrument*, *Main Steam Valve*, *Pressure Instrument*, *Main Steam Valve*, *Blow-down Valve*, *Compressor*, Pompa, *Thermogan* dan *anemometer*. Penelitian yang dilakukan menggunakan CSDDWTB, yang terdiri dari *feed water drum* dan *steam drum* untuk mengolah air umpan menjadi steam berkualitas, baik *saturated* maupun *superheated*, melibatkan beberapa variabel. Variabel yang digunakan meliputi variabel tetap, variabel berubah, dan variabel terikat. Variabel tetap yang digunakan adalah laju aliran air umpan sebesar 1,3 L/min, bahan bakar solar 0,17 L/min, dan aliran steam 1,3 L/min. Variabel berubah yang digunakan meliputi rasio udara-bahan bakar sebesar 16, 18, 20, 22, 24, serta level ketinggian air 20%, 30%, 40%, 50%, dan

60%. Sedangkan variabel terikat yang digunakan meliputi tekanan, *temperature*, entalpi, *temperature flame*, dan warna api.

**Waktu dan Tempat**

Penelitian ini dilaksanakan pada Maret-Juni 2024 di Laboratorium Program Studi Teknik Energi Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya.

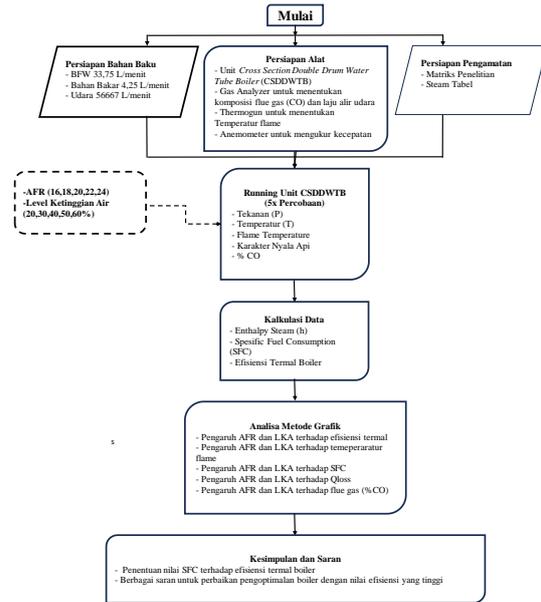
**Perlakuan Penelitian**

Pada perlakuan penelitian dimulai dari persiapan alat 1 unit CSDDWTB, gas *analyzer* untuk menentukan komposisi *flue gas* (CO) dan laju alir udara, thermogun untuk menentukan temperatur *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 unit CSDDWTB menggunakan rasio udara bahan bakar 16, 18, 20, 22, 24 dan level ketinggian air 20%, 30%, 40%, 50%, 60% dengan 25 kali percobaan yang akan mendapatkan data berupa tempatur, 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 dan level ketinggian air terhadap efisiensi termal, pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap temperatur *flame*, pengaruh rasio udara terhadap konsentrasi CO *flue gas*, pengaruh rasio udara bahan bakar dan level ketinggian terhadap *specific fuel consumption* dan pengaruh rasio udara bahan bakar dan level ketinggian air terhadap *Qloss*. Setelah itu dilanjutkan dengan membuat kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.

Untuk melihat lebih jelas penelitian dari CSDDWTB dapat dilihat dari Gambar 1.

**Prosedur Percobaan**

Prosedur percobaan produksi steam menggunakan bahan bakar solar pada CSDDWTB memerlukan pemanasan dan pengawasan yang cermat terhadap semua peralatan pada boiler. Hal ini penting dilakukan untuk memastikan bahwa semua peralatan dalam kondisi siap pakai sebelum proses pemanasan dimulai.



**Gambar 1** Perlakuan penelitian pada alat cross section double drum water tube boiler (CSDDWTB)

**Persiapan Pengoperasian**

- Meyakinkan bahwa alat-alat di bawah ini telah dilakukan pengecekan sebelum pengoperasian boiler dilakukan dengan keadaan aman *Water Level Volume, Pressure Instrument, Temperature Instrumen, Blow Down Valve, Water Feed Valve, Steam Stop Valve, Safety Valve dan Air Venting Valve*
- Mempersiapkan kebutuhan utama untuk operasi Boiler meliputi pengisian bejana dengan air umpan hingga mencapai level yang ditentukan, menyiapkan bahan bakar untuk Boiler, memeriksa daya listrik untuk tenaga dan sistem kontrol, serta memeriksa udara bertekanan untuk menggerakkan peralatan instrumentasi.

**Pengoperasian Boiler**

- Memastikan boiler dalam kondisi siap operasi
- Menyiapkan bahan bakar solar dan mengatur kompresor.
- Melakukan pengaturan operasi dengan menyesuaikan rasio udara-bahan bakar solar sesuai kebutuhan, untuk mencapai efisiensi maksimum selama operasi.
- Setelah proses pengisian *feed water*, ventilasi udara, dan pembakaran selesai, boiler siap dioperasikan dalam keadaan *non-steady state*
- Lalu dilanjutkan pengambilan data

- f. Setelah pengoperasian boiler dalam keadaan *non steady state* dilanjutkan pengoperasian dalam kondisi *steady state*.
- g. 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.
- h. Dalam pengoperasian *steady state*, untuk mengumpulkan data, valve pada steam dibuka secara perlahan. Kemudian, valve dibuka untuk menyuplai air sesuai dengan jumlah steam yang dihasilkan, yang dapat dipantau melalui *flow meter*.
- i. Pada proses *superheated steam*, valve dibuka, diikuti dengan membuka valve. Jumlah air yang disuplai disesuaikan dengan jumlah steam yang dihasilkan, seperti yang terpantau dari *flow meter*.
- j. Setelah kondisi pengoperasian stabil mencatat data dari berbagai unit peralatan, menggunakan matriks yang telah ditentukan.
- k. Menganalisa data yang di dapatkan dari percobaan yang telah dilakukan.

### 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

No	Ruang Bakar								
	Kec. Udara (m/s)	Flow Udara		Flow BB		Rasio Udara (AFR)	Temp Flame (C)	CO (%)	Warna Api
		(L/min)	(kg/min)	(L/min)	(kg/min)				
1	24,06	1813	2,18			16	562,9	2,76	Merah
2	27,07	2040	2,45			18	584,2	2,62	Merah
3	30,08	2267	2,72	0,17	0,136	20	600,7	2,52	Merah
4	33,09	2493	2,99			22	625,6	2,44	Kuning
5	36,09	2720	3,26			24	630,3	2,43	Kuning
6	24,06	1813	2,18			16	520,1	2,52	Merah
7	27,07	2040	2,45			18	604,1	2,46	Merah
8	30,08	2267	2,72	0,17	0,136	20	621,5	2,46	Kuning
9	33,09	2493	2,99			22	643	2,35	Kuning
10	36,09	2720	3,26			24	648,4	2,35	Kuning
11	24,06	1813	2,18			16	635,4	2,41	Merah
12	27,07	2040	2,45			18	650,2	2,31	Merah
13	30,08	2267	2,72	0,17	0,136	20	663,5	2,23	Kuning
14	33,09	2493	2,99			22	673,9	2,18	Biru
15	36,09	2720	3,26			24	675,8	2,16	Biru
16	24,06	1813	2,18			16	640,2	2,25	Merah
17	27,07	2040	2,45			18	653,4	2,1	Kuning
18	30,08	2267	2,72	0,17	0,136	20	667,2	1,98	Kuning
19	33,09	2493	2,99			22	685,9	1,92	Biru
20	36,09	2720	3,26			24	688,5	1,92	Biru
21	24,06	1813	2,18			16	644,8	2,23	Merah
22	27,07	2040	2,45			18	658,6	2,09	Kuning
23	30,08	2267	2,72	0,17	0,136	20	669,6	1,99	Kuning
24	33,09	2493	2,99			22	689,3	1,94	Biru
25	36,09	2720	3,26			24	690,3	1,93	Biru

Tabel 2 Data Hasil Penelitian di Steam Drum

No	Steam Drum				
	Level Ketinggian Air (%)	Bfw		TI-1 (°C)	PI-1 (Bar)
		(L/min)	(kg/min)		
1		1,34	1,34	112,00	1,50
2	20	1,33	1,33	124,50	2,30
3		1,32	1,32	137,00	3,30
4		1,35	1,35	148,00	4,50

5		1,34	1,34	149,00	4,60
6		1,34	1,34	158,00	6,00
7		1,33	1,33	163,00	6,60
8	30	1,34	1,34	168,00	7,20
9		1,35	1,35	168,00	7,50
10		1,34	1,34	167,60	7,50
11		1,33	1,33	165,80	7,30
12		1,33	1,33	171,50	8,30
13	40	1,34	1,34	174,00	8,80
14		1,34	1,34	175,40	9,00
15		1,34	1,34	176,20	9,20
16		1,34	1,34	172,50	8,40
17		1,33	1,33	175,00	8,90
18	50	1,34	1,34	182,50	10,50
19		1,33	1,33	190,00	12,60
20		1,33	1,33	191,00	12,80
21		1,34	1,34	174,00	8,60
22		1,35	1,35	176,00	9,00
23	60	1,34	1,34	183,00	10,70
24		1,34	1,34	192,00	12,90
25		1,34	1,34	191,50	12,90

Tabel 3 Data Hasil Efisiensi Termal

No	Steam				Effisiensi (%)	Specific Fuel Consumption (kg/kj)	Panas Hilang (%)
	TI (°C)	PI (Bar)	Flow (kg/min)	hg (kj/kg)			
1	134,00	1,50	1,34	2740,29	63,66	0,0000370	36,34
2	146,50	2,30	1,33	2759,42	63,61	0,0000371	36,39
3	159,00	3,30	1,32	2778,26	63,55	0,0000371	36,45
4	165,50	4,50	1,35	2783,69	65,10	0,0000362	34,90
5	166,50	4,60	1,34	2785,20	64,64	0,0000364	35,36
6	180,00	6,00	1,34	2806,04	65,19	0,0000362	34,81
7	185,00	6,60	1,33	2813,61	64,86	0,0000363	35,14
8	190,00	7,20	1,34	2841,39	65,98	0,0000357	34,02
9	190,00	7,50	1,35	2841,56	66,45	0,0000355	33,55
10	189,60	7,50	1,34	2839,63	65,90	0,0000357	34,10
11	187,80	7,30	1,33	2830,68	65,27	0,0000361	34,73
12	193,50	8,30	1,33	2845,88	65,61	0,0000359	34,39
13	196,00	8,80	1,34	2869,79	66,64	0,0000354	33,36
14	197,40	9,00	1,34	2880,93	66,88	0,0000352	33,12
15	198,20	9,20	1,34	2890,66	67,09	0,0000351	32,91
16	207,50	8,40	1,34	3043,65	70,71	0,0000333	29,29
17	210,00	8,90	1,33	3065,96	70,68	0,0000334	29,32
18	217,50	10,50	1,34	3096,28	71,89	0,0000328	28,11
19	225,00	12,60	1,33	3130,81	72,14	0,0000327	27,86
20	226,00	12,80	1,33	3132,25	72,16	0,0000326	27,84
21	209,00	8,60	1,34	3050,22	70,86	0,0000333	29,14
22	211,00	9,00	1,35	3068,75	71,80	0,0000328	28,20
23	218,00	10,70	1,34	3099,46	71,97	0,0000327	28,03
24	227,00	12,90	1,34	3127,18	72,60	0,0000325	27,40
25	227,50	12,90	1,34	3129,97	72,64	0,0000324	27,36

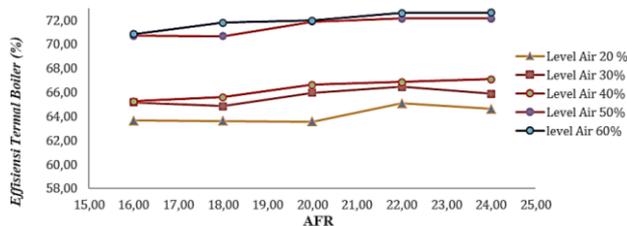
Pada data yang terdapat dalam Tabel 1, 2, dan 3 dapat terlihat peningkatan efisiensi termal dalam alat boiler sebagai indikator positif karena menunjukkan bahwa boiler mampu menjadi energi yang lebih berguna dengan lebih efisien.

#### 4 PEMBAHASAN

Data hasil Analisa dan penelitian pada CSDDWTB dapat dilihat pada Gambar 1:

### Hubungan AFR dan Level Ketinggian Air terhadap Efisiensi Termal

Efisiensi termal boiler yang optimal dapat dicapai melalui penggunaan bahan bakar yang tepat serta peningkatan tekanan dan *temperature* pada boiler. Dimana untuk mengetahui pengaruh rasio udara bahan bakar dan level ketinggian terhadap efisiensi termal boiler, dapat dilihat pada Gambar 2:



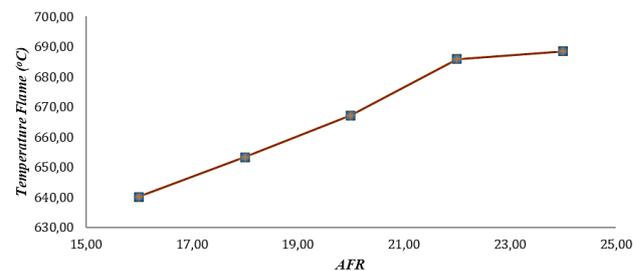
**Gambar 2** Hubungan AFR dan level ketinggian air terhadap efisiensi termal boiler

Gambar 2 menunjukkan pola grafik terus meningkat karena telah mengalami pembakaran sempurna di mana semua bahan bakar bereaksi dengan oksigen tanpa meninggalkan bahan bakar atau oksigen berlebih. Hal ini berarti bahwa setiap molekul bahan bakar dan oksigen bereaksi sempurna, menghasilkan panas yang maksimal dan efisiensi termal yang tinggi. Dengan demikian, grafik tersebut menunjukkan bahwa efisiensi termal meningkat karena pembakaran menjadi lebih sempurna dan efisien.

Jika dilihat rasio udara bahan bakar 16 sampai 24 pada level ketinggian 50% sampai 60% terlihat bahwa efisiensi termal mengalami kenaikan secara signifikan dikarenakan oleh peningkatan jumlah panas yang diterima fluida steam. Peningkatan jumlah panas ini menyebabkan peningkatan jumlah kalor yang terserap yang pada akhirnya akan membuat efisiensi termal yang meningkat secara signifikan. Pada nilai rasio udara bahan bakar 22 dengan level ketinggian 50% menunjukkan nilai efisiensi termal sebesar 72,14% yang paling optimal jika dibandingkan dengan nilai rasio udara bahan bakar 24 karena perbandingan efisiensi termal yang tidak terlalu jauh yaitu 72,16%, jadi pada rasio udara bahan bakar 22 sudah dianggap optimal karena pembakaran mencapai tingkat optimalitas yang tinggi. Salah satu metode untuk mengoptimalkan proses pembakaran adalah dengan mengatur nilai ARF yang digunakan dalam proses pembakaran bahwa semakin tinggi nilai rasio udara bahan bakar maka akan semakin tinggi pula *temperature* dan tekanan yang dihasilkan dan dapat menyebabkan kenaikan efisiensi termal karena terjadi proses pembakaran yang sempurna [4]

### Hubungan Air Fuel Ratio (AFR) Terhadap Temperature Flame

Pada hubungan AFR terhadap *temperature flame* menunjukkan bahwa semakin optimal nilai rasio udara bahan bakar maka akan semakin tinggi *temperature flame*. Hal ini terjadi karena menggunakan bahan bakar dengan nilai kalor lebih tinggi akan menghasilkan suhu nyala yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar dengan nilai kalor lebih rendah. Untuk mengetahui pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap *temperature flame*, dapat dilihat pada Gambar 3:

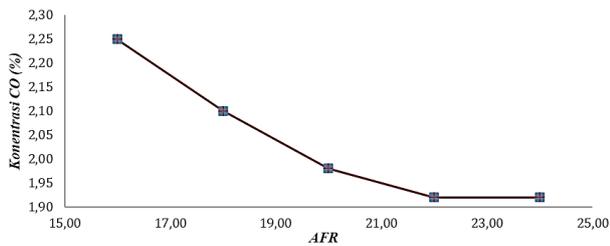


**Gambar 3** Hubungan AFR terhadap *temperatur flame*

Peningkatan *temperatur flame* seiring dengan meningkatnya rasio bahan bakar terhadap udara menunjukkan bahwa pembakaran menjadi lebih efisien. Ini terjadi karena jumlah bahan bakar yang cukup untuk membakar jumlah udara yang ada, menghasilkan pembakaran yang lebih optimal. *Temperature flame* tiap rasio udara bahan bakar bervariasi, jika bahan bakar berlebih atau udara bahan bakar tidak sesuai dengan komposisi yang diinginkan akan berakibat penurunan temperatur nyala api [5]. Dapat terlihat dari tren bahwa *temperature flame* yang paling optimal yaitu 685,90 C didapat pada rasio ke-4 dengan jumlah rasio udara bahan bakar 22 jika dibandingkan dengan rasio ke-5 temperatur flame nya sebesar 688,50 C dengan jumlah rasio udara bahan bakar 24. Dikatakan rasio 22 yang paling optimal dibandingkan pada rasio 24 karena di rasio 22 telah mencapai target yang diinginkan karena jumlah udara yang disuplai cukup untuk membakar semua bahan bakar tanpa kelebihan atau kekurangan dan perbandingan nilai *temperature flame* yang tidak terlalu jauh.

### Pengaruh AFR terhadap Konsentrasi CO Flue Gas

Hal ini disebabkan oleh komposisi udara yang tepat, yang memungkinkan bahan bakar untuk terbakar dengan sempurna, menghasilkan lebih sedikit CO dan lebih banyak CO<sub>2</sub>. Untuk mengetahui pengaruh rasio udara bahan bakar terhadap konsentrasi CO flue gas dapat dilihat pada Gambar 4:

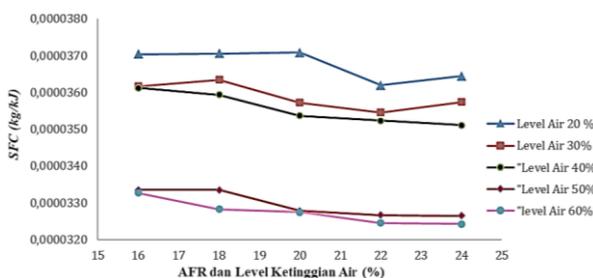


**Gambar 4** Hubungan AFR terhadap konsentrasi CO flue gas

Dapat terlihat bahwa konsentrasi pada CO dalam gas buang yang paling optimal berada pada rasio 22 dan 24 dengan nilai konsentrasi CO 1,92% ini terjadi karena pada rasio udara bahan bakar 22 dan 24 pembakaran terjadi dengan lebih sempurna. Hal ini disebabkan oleh komposisi udara yang tepat, yang memungkinkan bahan bakar untuk terbakar dengan sempurna, menghasilkan lebih sedikit CO dan lebih banyak CO<sub>2</sub> selain itu gas buang yang dihasilkan dari pembakaran dengan rasio udara bahan bakar 22 dan 24 memiliki kualitas yang lebih baik. CO<sub>2</sub> yang dihasilkan lebih banyak, yang berarti lebih sedikit CO yang tersisa dalam gas buang dan rasio udara bahan bakar yang optimal meningkatkan efisiensi termal boiler. Dengan pembakaran yang lebih sempurna, lebih sedikit panas hilang sebagai panas tidak dimanfaatkan, dan lebih banyak panas yang dihasilkan untuk digunakan. 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 [6].

**Hubungan AFR dan Level Ketinggian Air (%) terhadap SFC**

Hubungan antara rasio udara bahan bakar dan level ketinggian terhadap SFC bahwa semakin optimal jumlah rasio udara bahan bakar dan level ketinggian maka nilai SFC akan semakin turun. Untuk mengetahui pengaruh rasio udara bahan bakar dan level ketinggian air terhadap SFC dapat dilihat pada Gambar 5:

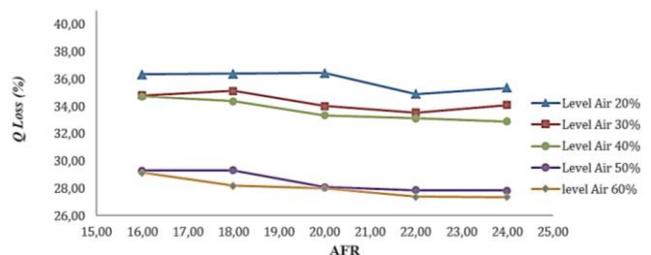


**Gambar 5** Hubungan AFR dan level ketinggian air terhadap specific fuel consumption (SFC)

Dapat terlihat bahwa SFC yang mengalami penurunan paling optimal yaitu 0,0000327 didapat pada rasio ke-4 dengan jumlah rasio udara bahan bakar 22 dan level ketinggian 50% ini dikarenakan pada rasio 22, pembakaran terjadi dengan lebih sempurna. Hal ini disebabkan oleh komposisi udara yang tepat, yang memungkinkan bahan bakar untuk terbakar dengan sempurna dan pada level ketinggian air (%) yang optimal adalah 50%. Pada level ketinggian air 50%, efisiensi termal boiler mencapai nilai maksimum, yang berarti boiler dapat menghasilkan lebih banyak tenaga dengan menggunakan lebih sedikit bahan bakar. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi rasio udara / bahan bakar dan level ketinggian air, maka SFC yang dihasilkan akan semakin kecil. SFC sebagai parameter yang biasa dipakai sebagai ukuran ekonomis pemakaian bahan bakar yang digunakan per jam untuk setiap energi yang dihasilkan. Harga SFC yang lebih rendah menyatakan konsumsi bahan bakar yang lebih ekonomis [7].

**Hubungan AFR dan Level Ketinggian Air terhadap Q loss**

Hubungan antara rasio udara bahan bakar dan level ketinggian air terhadap Qloss menunjukkan bahwa semakin tinggi rasio udara bahan bakar dan level ketinggian air maka akan semakin rendah nilai Qloss. Untuk mengetahui pengaruh rasio udara bahan bakar dan level ketinggian air terhadap Qloss dapat dilihat pada Gambar 6:



**Gambar 6** Hubungan AFR dan level ketinggian air terhadap qloss

AFR yang tidak tepat, dapat menyebabkan pembakaran tidak lengkap atau tidak efisien. Hal ini dapat meningkatkan Qloss karena pemborosan energi yang tidak digunakan secara optimal untuk menghasilkan panas. Perbandingan antara jumlah udara dan bahan bakar digunakan merupakan faktor yang sangat mempengaruhi pada proses pembakaran terlalu banyak atau sedikit bahan bakar pada jumlah udara pembakaran dapat mengakibatkan penurunan efisiensi boiler serta menaikkan persen kehilangan panas [8]. Level ketinggian air yang tidak sesuai dapat mengganggu

perpindahan panas dalam Boiler. Misalnya, jika level air terlalu rendah, dapat menyebabkan permukaan pemanas tidak cukup terendam air, meningkatkan risiko overheating dan meningkatkan  $Q_{loss}$

## 5 KESIMPULAN

Pada pengaruh rasio udara bahan bakar dan level ketinggian air terhadap efisiensi termal mengalami peningkatan sebesar 72,14 di rasio udara bahan bakar 22 dengan level ketinggian 50% yang menunjukkan bahwa boiler mampu mengkonversi energi panas dari bahan bakar menjadi energi yang lebih berguna dengan lebih efisien. Peningkatan temperatur flame seiring dengan meningkatnya rasio bahan bakar terhadap udara menunjukkan nilai optimal 685,90 C ini terjadi bahwa pembakaran menjadi lebih efisien. Rasio udara bahan bakar yang lebih banyak udara daripada bahan bakar cenderung menghasilkan konsentrasi CO yang lebih rendah dengan nilai optimal 1,92% ini berpengaruh positif karena untuk mencapai efisiensi termal dan efisiensi pembakaran yang optimal. Semakin tinggi rasio udara bahan bakar dan level ketinggian air maka akan semakin rendah nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) dengan nilai optimal 0,0000327 hal ini disebabkan oleh pembakaran yang lebih sempurna. Semakin tinggi rasio udara bahan bakar dan level ketinggian air maka akan semakin rendah nilai  $Q_{loss}$  dengan nilai optimal 27,86 di rasio udara bahan bakar 22 dan dengan level ketinggian 50%. Peningkatan rasio udara bahan bakar dapat meningkatkan efisiensi termal boiler

## REFERENSI

- [1] Intang, A. (2014). Studi Pengaruh Pengaturan Bentuk Lidah Api Pada Burner Terhadap Upaya Peningkatan

- Efisiensi Perpindahan Panas Pada Fired Heater -Water Tube Boiler. *Austenit*, 6 No. 2, 21–34.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.4546667>
- [2] 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.
- [3] 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>
- [4] 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
- [5] 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 *Continu*yu
- [6] 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)
- [7] 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>
- [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).