

# Perancangan Ruang Bakar *Circulating Fluidized Bed* Sebagai Upaya Perbaikan Kinerja Pembangkitan Uap Di Pabrik Tekstil

Nisya Fitri Fadhila<sup>1,\*</sup>, Yanti Suprianti<sup>2</sup>, Ratu Fenny Muldiani<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 40559

Email: <sup>1,\*</sup>nisya.fitri.tken419@polban.ac.id; <sup>2</sup>yanti.suprianti@polban.ac.id; <sup>3</sup>ratu.fenny@polban.ac.id

## ABSTRAK

*Chain grate stoker boiler* di pabrik tekstil digunakan sebagai komponen untuk memenuhi kebutuhan uap di bagian produksi. Berdasarkan standar ASME ukuran batubara untuk *boiler* jenis ini yaitu kisaran 32 mm. Hal tersebut juga sudah diterapkan pada SOP pabrik, namun pada pelaksanaannya ukuran batubara tidak sesuai dengan SOP tersebut melainkan kurang dari ukuran yang sudah ditentukan, sehingga mengakibatkan penurunan efisiensi. Akibatnya pabrik menggunakan tambahan bahan bakar hidrogen hasil elektrolisa air sebagai upaya meningkatkan efisiensi. Namun efisiensi hanya dapat mencapai 68%, sedangkan efisiensi standar desain 75%. Ruang bakar dengan jenis *circulating fluidized bed* (CFB) memiliki karakteristik yaitu efisiensi pembakaran yang tinggi, lebih ramah lingkungan, fleksibilitas bahan bakar yang digunakan dan ukuran bahan bakar  $\leq 6$  mm. Ruang bakar CFB memanfaatkan kondisi partikel padatan tersuspensi udara pada suatu kecepatan tertentu hingga tidak terlihat perbedaan antara padatan dan aliran udara (fluidisasi). Perancangan ruang bakar dilakukan untuk kapasitas uap 3320.156 kW pada tekanan 7 bar. Dihasilkan ruang bakar yang lebih ringkas dengan dimensi yaitu lebar 0,657 m; panjang 1,314 m; tinggi 3,035 m dengan kecepatan fluidisasi 1,409 m/s dan efisiensi 82,713%. Menggunakan ruang bakar CFB dapat mereduksi penggunaan batubara menjadi 14,876 ton yang semula 18 ton per hari dan tidak dibutuhkan biaya untuk mesin elektrolisa.

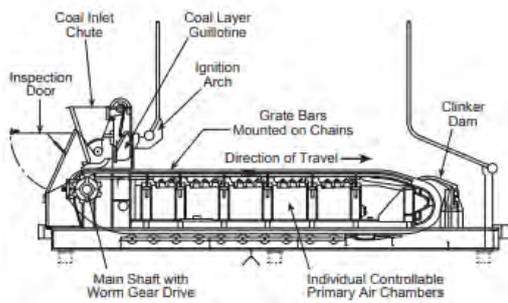
## Kata Kunci

*Circulating fluidized bed, boiler, chain grate stoker, batubara, fluidisasi, efisiensi, reduksi*

## 1. PENDAHULUAN

Industri tekstil meliputi tiga sektor yaitu sektor industri hulu (*upstream*), industri antara (*midstream*), dan industri hilir (*downstream*) yang masing-masingnya menggunakan energi dengan porsi yang berbeda. Uap yang dihasilkan boiler disuplai ke mesin *dyeing*, *printing* dan *steaming*. Salah satu permasalahan dari industri tekstil adalah masalah penggunaan energi yang tidak efisien [1]. *Boiler chain grate stoker* yang termasuk ke dalam jenis pembakaran unggun tetap digunakan di pabrik tekstil dengan prinsip kerja yaitu ruang bakar menggunakan rantai berjalan berbahan dasar baja sebagai tempat batubara dihamparkan untuk melakukan pembakaran unggun tetap (*fixed bed*), kemudian udara pembakaran masuk secara tegak lurus terhadap unggun [2]. Dibutuhkan pengaturan udara masuk yang andal agar menciptakan pembakaran yang efektif. Saat memasuki ruang bakar, lapisan batubara dipanaskan oleh radiasi tungku untuk menghilangkan volatil dan menghasilkan penyalan. Ukuran batubara yang digunakan berdasarkan standar ASME tentang *Coal-Fired and Other Solid-Fuel-Fired Boilers*

yang direkomendasikan untuk digunakan yaitu 32 mm. Partikel halus (kurang dari 32 mm) yang diperbolehkan untuk masuk ke dalam *chain grate stoker* tidak boleh lebih dari 25% berat umpan batubara [3]. Lebih dari itu akan menyebabkan pembakaran lebih cepat hingga panas berlebih pada bagian depan ruang bakar, hal ini dikarenakan partikel ukuran halus sangat mudah terbakar, dampaknya yaitu penggunaan bahan bakar cenderung boros [4]. Dibandingkan jenis *boiler* lainnya, ukuran batubara yang digunakan *chain grate stoker boiler* termasuk paling besar. Hal ini dikarenakan batubara dibutuhkan untuk mencapai ujung dari rantai pembakaran untuk mencapai pembakaran yang efisien. Sistem pembakaran ini menimbulkan masalah dalam utilisasi energi termal batubara, abu bawah yang dihasilkan sebagai residu proses pembakaran sering masih mengandung karbon dalam kadar yang cukup tinggi [5]. Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 1.



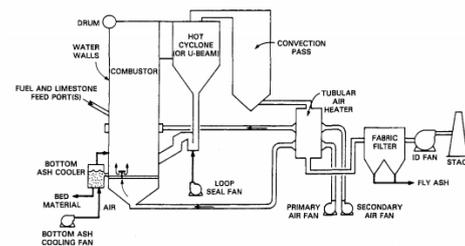
Gambar 1 Skematik ruang bakar chain grate stoker boiler [2]

Batubara yang digunakan di pabrik yaitu jenis sub bituminus, dengan SOP ukuran batubara kisaran 3 cm. Namun keadaan di lapangan berbeda, yang mana batubara digunakan memiliki ukuran kurang dari nilai tersebut. Untuk mengantisipasi hal tersebut, pabrik tekstil telah melakukan upaya peningkatan efisiensi dengan menambahkan hidrogen murni hasil elektrolisa air untuk membantu pembakaran agar lebih efisien, namun hasilnya masih belum dapat mengembalikan hingga efisiensi desain. Efisiensi boiler eksisting hanya bisa dipertahankan pada nilai 68% terhadap kondisi desain yaitu 75%.

*Circulating fluidized bed (CFB)* merupakan teknologi pembakaran yang memiliki fleksibilitas bahan bakar, lebih ramah lingkungan, dan efisiensi pembakaran yang tinggi dengan rentang 95-99,5% [6]. Telah dilakukan beberapa penelitian dalam perancangan ruang bakar CFB beserta analisis efisiensi dengan variabel tertentu, dengan menggunakan batubara bernilai kalori 18192 kJ/kg pada konsumsi batubara 15,4 kg/jam hasil rancang bangun menghasilkan efisiensi 96,6% dengan temperatur maksimum mencapai 910 °C [7]. Dengan menggunakan riser setinggi 6,2 m; 2 buah siklon; pemanas kalor eksternal dan saluran pensirkulasian ulang (*L-Valve*) dihasilkan rentang efisiensi 90,8-97,0% yang dihitung berdasarkan konsentrasi oksigen pada gas buang [8]. Pada ruang bakar CFB di PLTU dengan kapasitas 8 MW menggunakan batubara sub bituminus mampu menghasilkan efisiensi pembakaran 85,824% [9].

Sistem pembakaran CFB yaitu dengan melakukan pembakaran dalam keadaan batubara terfluidisasi dengan rentang ukuran 0-6 mm [6]. Bahan bakar yang terfluidisasi akan memiliki kontak yang lebih baik antara bahan bakar dengan pengoksidasi, yaitu tercampur dengan homogen dan merata [8] yang berdampak pada efisiensi dari sistem pembakaran ini lebih besar dibandingkan jenis

*chain grate stoker*. Prinsip kerja dari CFB dapat dilihat pada Gambar 2, udara primer masuk dari bagian bawah ruang bakar melalui distributor udara yang kemudian udaranya mengalir di ruang-ruang kosong (*voidage*) antar partikel unggun (biasanya pasir silika) yang tersusun. Ketika kecepatan udara berangsur naik, maka terbentuk partikel yang tersuspensi dalam aliran udara sehingga unggun mengalami fluidisasi lebih dahulu. Partikel yang sudah terfluidisasi kemudian dipanaskan oleh burner hingga ke temperatur nyala batubara, baru kemudian batubara diinjeksikan ke dalam ruang bakar dari bagian atas. Kemudian batubara akan terbakar dengan cepat dan mencapai temperatur yang cenderung lebih seragam. Temperatur pembakaran ( $T_{RB}$ ) berada pada rentang 800 – 900°C [6]. Untuk memastikan batubara terbakar sempurna, udara sekunder dimasukkan dari bagian atas ruang bakar. Panas yang dihasilkan dari pembakaran selanjutnya melakukan perpindahan panas terhadap *water walls*. Gas pembakaran serta batubara yang belum terbakar diarahkan untuk masuk ke siklon. Padatan yang tertahan pada siklon akan dikembalikan ke ruang pembakaran sedangkan panas pembakarannya digunakan untuk *economizer*, *superheater* atau *reheater* yang masuk pada bagian *convection pass* atau *backpass*.



Gambar 2 Skematik CFB [6]

CFB dan *stoker boiler* memiliki karakteristik operasi yang berbeda pada aspek jenis unggun pembakarannya, Tabel 1 menunjukkan perbedaan karakteristik keduanya yang mendukung perubahan jenis boiler di pabrik tekstil.

Tabel 1 Perbandingan kondisi operasi jenis stoker boiler dan CFB [6]

Karakteristik	Stoker	Circulating Fluidized Bed
Ketinggian unggun atau bahan bakar pada zona pembakaran (m)	0,2	10-30

Karakteristik	Stoker	Circulating Fluidized Bed
Udara berlebih (%)	20-30	10-20
Grate heat release rate (MW/m <sup>2</sup> )	0,5-1,5	3-5
Ukuran batubara (mm)	32-6	6-0
Turn down ratio	4:1	3-4:1
Efisiensi pembakaran	80-90%	95-99,5%
Nitrogen oksida (ppm) yang dihasilkan	400-600	50-200
Penangkapan sulfur di dalam ruang bakar	Tidak Ada	80-90%

Adapun penelitian ini harapannya dapat diperoleh hasil rancangan CFB dengan prospek untuk meningkatkan efisiensi boiler di pabrik tekstil.

## 2. METODE PERANCANGAN

Boiler di pabrik tekstil beroperasi untuk membangkitkan uap dengan laju alir 4881 kg/jam dengan temperatur uap 165 °C pada tekanan 7 bar. Uap yang dihasilkan kemudian di alirkan ke bagian header pipa produksi sebelum akhirnya terbagi ke percabangan pipa untuk digunakan di mesin-mesin produksi.

Perancangan ruang bakar berdasarkan dari Prabir Basu dalam bukunya *Combustion and Gasification in Fluidized Beds* [6]. Ruang bakar CFB memiliki fleksibilitas terhadap penggunaan bahan bakarnya. Namun kondisi bahan bakar ini dapat juga mempengaruhi dimensi ruang bakar. Adapun bahan bakar yang digunakan yaitu batubara jenis sub bituminus yang karakteristik bahan bakarnya ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Komposisi batubara

Komposisi	Nilai	Satuan	Jenis Data	Sumber Data
Karbon	43	%	Sekunder	SOP
Hidrogen	5.48	%	Sekunder	SOP
Nitrogen	1.75	%	Sekunder	SOP
Sulfur	1.94	%	Sekunder	SOP

Komposisi	Nilai	Satuan	Jenis Data	Sumber Data
Oksigen	11.2	%	Sekunder	SOP
Kandungan Abu	9.06	%	Sekunder	SOP
HHV	2331 3.3	kJ/kg	Sekunder	SOP
Moisture	28	%	Sekunder	SOP

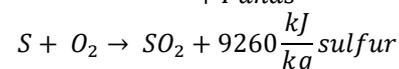
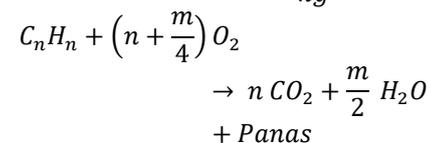
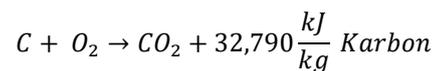
Untuk mengurangi kadar SO<sub>x</sub> dan NO<sub>x</sub> yang dihasilkan dari pembakaran batubara maka digunakan batu kapur. Dengan komposisinya ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Komposisi batu kapur [10]

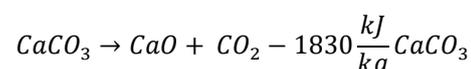
Komposisi	Nilai	Satuan	Jenis Data
Fraaksi CaCO <sub>3</sub>	80	%	Sekunder
Fraaksi MgCO <sub>3</sub>	19	%	Sekunder
Fraaksi Inert	1	%	Sekunder
Fraksi kelembaban batu kapur	8.25	%	Sekunder

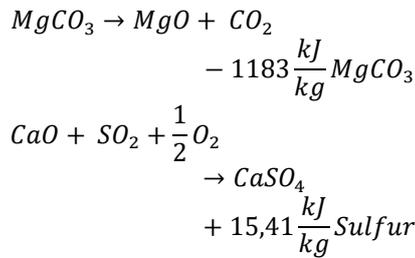
### 2.1 Reaksi Stoikiometri Pembakaran

Batubara akan bereaksi dengan oksigen dari udara. Untuk mengetahui banyaknya udara yang dibutuhkan dengan memperhitungkan udara berlebih (*Excess air*) dan udara basah (kelembaban udara), perlu diketahui reaksi secara stoikiometrik [6] yang terjadi sebagai berikut:



Oleh karena digunakan batu kapur di dalam ruang bakar, maka terjadi juga reaksi berikut [6]:





## 2.2 Rugi-rugi

Untuk mengetahui berapa banyak energi pembakaran yang digunakan dalam menghasilkan uap dapat ditunjukkan dari nilai efisiensi termal dengan menghitung rugi-rugi pembakaran yang dimungkinkan melalui neraca energi boiler CFB. Perhitungan rugi-rugi mencakup rugi akibat kelembaban batubara, udara pembakaran, hidrogen batubara dan batu kapur, rugi kalsinasi, rugi karbon tidak terbakar dan rugi panas gas buang, sesuai dengan persamaan (2).

$$\eta = (1 - L_{total}) \times 100\% \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 L_{total} &= L_{m,f} + L_{m,a} + L_{m,h} + \\
 &L_{m,s} + L_{CaCO_3} + L_{MgCO_3} + L_{sc} + \\
 &L_{uc} + L_{dfg} + L_{al} + L_{rc} + L_{fdf}
 \end{aligned} \quad (2)$$

## 2.2 Kebutuhan Energi Pembakaran

Perancangan ini berdasarkan dari kebutuhan uapnya terlebih dahulu sehingga untuk menghasilkan sejumlah uap tersebut, dibutuhkan energi dari hasil pembakaran batubara.

$$Q_i = \frac{\dot{Q}_{uap}}{\eta} \quad (3)$$

## 2.3 Kebutuhan Bahan Bakar

Laju alir massa batubara dapat diperhitungkan dengan membagi nilai energi pembakaran terhadap HHV batubara.

$$\dot{m}_c = \frac{Q_i}{HHV} \quad (4)$$

## 2.4 Kebutuhan Udara Pembakaran

Kebutuhan udara pembakaran berasal dari reaksi pembakaran stoikiometri antara kandungan batubara terhadap oksigen dalam udara (sesuai dengan reaksi stoikiometrinya). Kandungan udara yaitu nitrogen 79% dan oksigen 21% (dalam % volume) dengan menggunakan udara berlebih 20%. Udara pembakaran ini juga memperhatikan fraksi kelembaban dalam udara senilai 0,013 [6].

$$\begin{aligned}
 &\dot{m}_{air} \\
 &= \dot{m}_c \times M_{wa}
 \end{aligned} \quad (5)$$

## 2.5 Dimensi Ruang Bakar

Perhitungan perancangan dimensi ruang bakar CFB mencakup panjang, lebar, ketinggian ruang bakar dan luas dinding ruang bakar.

### 2.5.1 Luas Bed

Luas *bed* merupakan luas permukaan daerah di dalam ruang bakar yang ditempati oleh partikel padatan dan udara pembakaran yang bergerak dalam suatu aliran fluidisasi. Dengan nilai *heat release* berdasarkan jenis batubara yang digunakan sesuai Tabel 4.

$$A_{bed} = \frac{Q_i}{Heat\ Release} \quad (6)$$

Tabel 4 Heat release pada CFB plant yang sudah beroperasi [6]

Plant	Grate release rate (MWth/m <sup>2</sup> )	Volume Release Rate (MW/m <sup>3</sup> )	Fuel
Sheng Li Pan, China Henan Pingdingshan, China GIPC L, India Akrimota, India Emile Huchette, France Point Aconi, Canada Provence, France Jacksville, USA	4.08	0.25	Stone coal
	2.99	0.15	Subbituminous coal
	4.39	0.15	Lignite
	3.45	0.09	Lignite
	3.78	0.11	Coal/slurry
	4.02	0.13	Subbituminous coal, PetCoke
	4.65	0.11	Subbituminous coal
	5	0.14	Coal, PetCoke

### 2.5.2 Ukuran Penampang (Furnace Cross Section)

*Furnace cross section* merupakan bagian dari ruang bakar untuk menunjukkan ukuran

penampang melintang pada ruang bakar CFB. *Cross section* yang digunakan yaitu berbentuk persegi panjang dengan ukuran lebar (W) dan panjang (B).

$$W = \left(\frac{A_{bed}}{2}\right)^{0.5} \quad (7)$$

$$B = \left(\frac{A_{bed}}{W}\right) \quad (8)$$

### 2.5.3 Luas Total Dinding Ruang Bakar

Ruang bakar dirancang dengan menggunakan pipa-pipa evaporator (*waterwall*) yang berada pada dinding-dinding ruang bakar, oleh karena itu luas dinding dan ketinggian ruang bakar dipengaruhi oleh pipa evaporator yang digunakan.  $A_{eva}$  dipengaruhi oleh kebutuhan penguapan di sisi evaporator, untuk kapasitas pembangkitan uap kecil komponen penguap yang digunakan dapat diwakilkan oleh evaporator dan economizer [6].  $T_{wall}$  adalah temperatur logam pada pipa evaporator yang umumnya 25°C lebih panas daripada temperatur saturasi air [6]. Koefisien perpindahan panas ( $U_h$ ) pada CFB berkisar pada 150-190 W/m<sup>2</sup>.K berdasarkan Tabel 5.  $A_x$  merupakan luas permukaan aktual perpindahan panas terhadap luas dinding yang dihasilkan dari penentuan ukuran diameter pipa ( $D$ ) dan *pitch* ( $p$ ) evaporator. Penentuan diameter yang sesuai berdasarkan tekanan minimum yang harus dipenuhi, digunakan ASME Process Piping B31.3 2018.

$$A = \frac{A_{eva}}{A_x} \quad (9)$$

$$A_{eva} = \frac{\dot{Q}_{eva}}{(T_{RB} - T_{wall}) \cdot U_h} \quad (10)$$

$$A_x = \frac{\pi \cdot \frac{D}{2} + p - D}{p} \quad (11)$$

Tabel 5 Nilai koefisien perpindahan panas [6]

<i>Comparison of Heat Losses in a Typical Pulverized Coal-Fired Boiler with that in an Older Generation Circulating Fluidized Bed Boiler</i>			
<i>Items</i>	<i>PC (%)</i>	<i>CFB (%)</i>	
		<i>Optimistic</i>	<i>pessimistic</i>
<i>Moisture in limestone</i>	-	0.06	0.1
<i>Calcination</i>	-	1.02	1.69
<i>Sulfation credit</i>	-	(-1.6)	(- 1.6)
<i>Unburned carbon</i>	0.25	0.5	2
<i>Heat in dry flue gas</i>	5.28	5.57	5.6

<i>Moisture in fuel</i>	1.03	1.03	1.03
<i>Moisture from H2 burning</i>	4.16	4.19	4.19
<i>Radiation and convection</i>	0.03	0.3	0.8
<i>Moisture in air</i>	0.13	0.14	0.14
<i>Sensible heat in boiler ash</i>	0.03	0.09	0.76
<i>Bottom ash</i>	0.05	-	-
<i>Fan power credit</i>	(- 0.25)	-0.75	(-0.4)
<i>Pulverized credit</i>	(- 0.20)	-	-
<b>Total loss</b>	<b>10.81</b>	<b>10.55</b>	<b>14.31</b>

Perhitungan ini akan berpengaruh terhadap luas dinding ruang bakar ( $A_{wall}$ ). Dinding ruang bakar berfungsi sebagai tempat penguapan air. Dinding ini berupa pipa yang berisi air dan berderet secara vertikal yang dipanaskan oleh kalor dari hasil pembakaran bahan bakar, dengan  $A_{roof}$  memiliki nilai yang sama dengan  $A_{bed}$ . Luas *open area* merupakan luas dinding yang tidak menghantarkan panas, dengan persentase 30% dari  $A_{bed}$  [6].

$$A_{wall} = A - A_{roof} \quad (12)$$

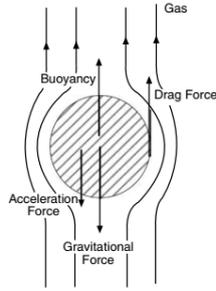
$$A_{wall (total)} = A_{wall} + A_{open area} \quad (13)$$

### 2.5.4 Tinggi Ruang Bakar

$$L = \frac{A_{wall (Total)}}{2 \cdot (W + B)} \quad (14)$$

### 2.6 Neraca Gaya

Ruang bakar CFB bekerja pada kondisi bahan bakar terfluidisasi. Kondisi fluidisasi menimbulkan adanya gaya yang bekerja saling bertentangan, yaitu gaya hambat & apung terhadap gaya berat. Ketika gaya apung dan hambat yang bergantung terhadap kecepatan udara yang melalui sela ruang kosong antar partikel lebih kecil dibandingkan dengan gaya beratnya, maka partikel terfluidisasi belum dapat terjadi oleh karena itu kondisi ini disebut unggun tetap (*fixed bed*). Dengan kenaikan laju alir udara maka akan meningkatkan gaya hambat & gaya apung sehingga nilainya lebih besar dari gaya berat partikelnya, pada kondisi ini partikel akan mulai terangkat seperti fluida. Adapun neraca gaya pada suatu partikel dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Force balance pada partikel padatan [6]

$$F_{gravitasi} = F_{bouyancy} + F_{drag} \quad (15)$$

$$m_c \times g = m_c \times \frac{\rho_a}{\rho_c} + C_D \times \frac{6 \times (v - v_c)^2 \times \rho_a}{8 \times d_p}$$

Persamaan 15 dapat digunakan untuk mengetahui kecepatan fluidisasi. Batubara dianggap berbentuk *spherical* (bola) dengan nilai  $C_D$  atau *drag coefficient* 1,2. Rentang diameter batubara ( $d_p$ ) antara 0-6 mm [6].

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan perhitungan perancangan, didapatkan data hasil yang ditampilkan pada Tabel 6 dan justifikasi hasil rancangan yang sesuai dengan kriteria pada Tabel 7.

Tabel 6 Hasil perancangan ruang bakar CFB

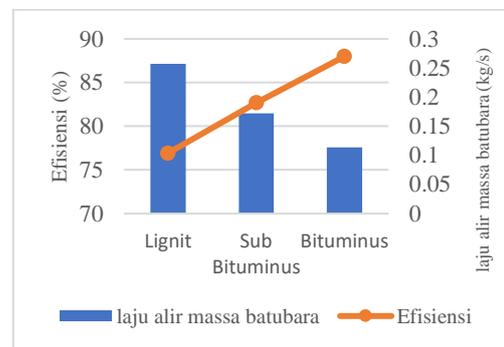
Parameter	Nilai	Satuan
Rugi- rugi	17,287	%
Efisiensi	82,713	%
Laju alir massa batubara	0,172	kg/s
Laju alir massa udara	1,332	kg/s
Luas <i>bed</i>	0,863	m <sup>2</sup>
Kecepatan fluidisasi	1,409	m/s
Lebar (W)	0,657	m
Panjang (B)	1,314	m
Ketinggian ruang bakar (L)	3,035	m
Bahan pipa evaporator	Carbon Steel A106	
Diameter pipa evaporator	2,875	inc
Pitch pipa evaporator	3,594	inc

Tabel 7 Perbandingan hasil perancangan terhadap kriteria perancangan

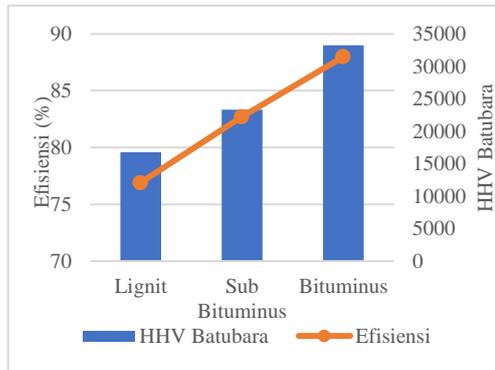
Kriteria Perancangan	Hasil Perancangan	Keterangan
Tekanan uap yang dihasilkan 7 bar	Tekanan uap = 7 bar	Terpenuhi
Kecepatan Fluidisasi <5 m/s	< 5 m/s	Terpenuhi

Batubara yang digunakan di ruang bakar dengan nilai pembakaran atas 23313.3 kJ/kg dapat menghasilkan efisiensi sebesar 82,713%. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh [9] yang sama-sama menggunakan jenis batubara sub bituminus, efisiensi yang dihasilkan lebih kecil dikarenakan kapasitas uap yang dihasilkan lebih sedikit. Dengan menggunakan ruang bakar jenis CFB dapat memberikan penghematan terhadap energi dan biaya. Kondisi eksisting menggunakan batubara per-harinya sebanyak 18 ton, sedangkan dengan menggunakan CFB dapat mereduksi penggunaan batubara menjadi 14,876 ton per harinya. Hal ini dikarenakan pembakaran menggunakan CFB pada ukuran batubara kurang dari 6 mm lebih efisien dibandingkan dengan menggunakan ruang bakar kondisi eksisting. Selain itu juga dengan menggunakan CFB, tidak dibutuhkan mesin elektrolisa air sehingga dapat menurunkan biaya listrik yang dibutuhkan.

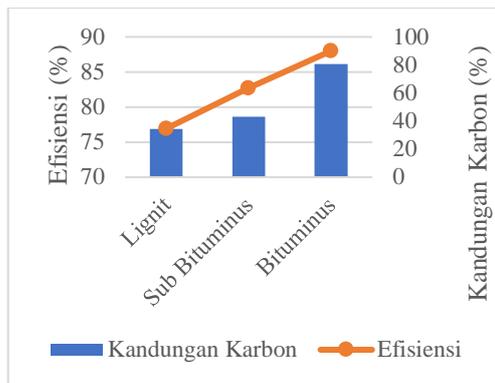
### 3.2 Pengaruh Kondisi Bahan Bakar Terhadap Karakteristik Ruang Bakar



Gambar 4 Profil perbandingan efisiensi terhadap laju alir massa



Gambar 5 Profil perbandingan efisiensi terhadap HHV batubara



Gambar 6 Profil perbandingan efisiensi terhadap kandungan karbon

Gambar 4 hingga 6 menunjukkan efisiensi yang dihasilkan dipengaruhi oleh kandungan bahan bakar yang digunakan. Batubara yang digunakan di pabrik yaitu jenis sub bituminus atau dikategorikan juga sebagai batubara medium. Batubara ini memiliki *heating value* pada rentang 19300 – 26750 kJ/kg dengan kelembaban 15-35%. Oleh karena itu, efisiensi dengan menggunakan batubara sub bituminus juga berada diantara kedua jenis lainnya. Efisiensi dihasilkan berdasarkan perhitungan rugi-rugi dari karakteristik batubara yang digunakan seperti kandungan karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, abu, dan nilai pembakaran atas. Pada bahan bakar lignit, dengan laju alir massa batubara yang tinggi menyebabkan efisiensi menurun dan hal tersebut berkebalikan dengan bahan bakar batubara bituminus. Batubara bituminus memiliki nilai karbon tetap yang lebih banyak dan nilai pembakaran atas yang lebih tinggi sehingga berpengaruh langsung terhadap efisiensi yang juga tinggi. Efisiensi yang tinggi berpengaruh terhadap laju alir massa batubara yang semakin sedikit. Batubara bituminus memiliki sifat yang lebih mudah untuk terbakar dan kelembaban yang rendah sehingga lebih mudah terbakar dan lebih efisien. Profil-profil perbandingan di atas dilakukan pada kebutuhan

beserta karakteristik uap dan asumsi yang digunakan sama.

#### 4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan ruang bakar CFB hasil perancangan dapat mereduksi penggunaan batubara yang semula 18 ton menjadi 14,876 ton per hari dengan efisiensi sebesar 82,713%. Dengan digunakannya ruang bakar CFB juga dapat mereduksi kebutuhan listrik akibat tidak digunakannya mesin elektrolisa air penghasil hidrogen. Adapun ruang bakar yang dirancang memiliki tinggi 3,035 m dengan lebar 0,657 m dan panjang 1,214 m. Ruang bakar CFB memfluidisasikan batubara dengan bentuk *spherical* berukuran 3 mm pada kecepatan fluidisasi 1,409 m/s dengan laju alir massa batubara 0,172 kg/s.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Perindustrian, Mendorong Kinerja Industri Tekstil dan Produk Tekstil Buku Analisis Pembangunan Industri di Tengah Pandemi, 2021.
- [2] ASME , ASME section VII subsection IV - Coal Fired and Other Solid Fuel Fired Boilers, 2015.
- [3] M. Idris, "Analisis Pengaruh Ukuran Batubara Terhadap Performa PLTU dengan Jenis Boiler Tipe Chain Grate," *Journal of Mechanical Engineering, Manufatcures, Materials and Energy*, 2022.
- [4] T. W. Samadhi, "PEMBAKARAN ULANG ABU BAWAH BATUBARA," *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, pp. 810-816, 2008.
- [5] The Babcock & Wilcox Company, *Steam - It's Generation and Use*, United States of America: McDermott company, 2005.
- [6] P. Basu, *Combustion and Gasification in Fluidized Beds*, Nova Scotia: Taylor and Francis Group, 2006.
- [7] M. Furqon, "RANCANG BANGUN DAN PEREKAYASAAN TUNGKU FLUIDIZED BED SIRKULASI BATUBARA KALORI RENDAH

(LIGNIT) UNTUK MENGHASILKAN  
EFISIENSI PEMBAKARAN TINGGI  
DAN RAMAH LINGKUNGAN,"  
*Jurnal Riset Industri* , pp. 157-163,  
2012.

- [8] H. Supriyanto, "Aplikasi Circulating Fluidized Bed (CFB) untuk Peningkatan Efisiensi Pembakaran," *Energi dan Lingkungan* , pp. 51-57, 2015.
- [9] I. Yuliani, Maridjo and M. Abdul M, "Analisis Sistem Ruang Bakar Boiler Jenis Fluidized Bed Combustion untuk PLTU Kapasitas 8 MW," *Teknik Energi*, vol. 9, no. 1, 2019.
- [10] Noviyanti, Jasrudin and E. H. Sujiono, "Karakterisasi Kalsium Karbonat (CaCO<sub>3</sub>) Dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa," *OJS Universitas Negeri Makassar*, 2016.
- [11] M. M. E. Wakil, *Powerplant Technology*, Mc Graw-Hill , 1988.