

## Simulasi CFD Perbandingan Temperatur Pembakaran Boiler Menggunakan Udara Pembakaran Konvensional Dan Pembakaran *Oxy-Fuel*

Ihsan Budiman<sup>1\*</sup>, Reza Setiawan<sup>1</sup>, Najmudin Fauji<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Indonesia, 41361

### ABSTRAK

Boiler merupakan pembangkit uap yang menggunakan bahan bakar fosil seperti batu bara dan gas alam dalam pengoperasiannya. Boiler sendiri umum digunakan pada pembangkit uap utilitas dan pembangkit uap industri. Dalam operasinya, boiler konvensional berbahan bakar gas alam menggunakan udara untuk pembakaran yang mana kandungan gas nitrogen ( $N_2$ ) pada udara biasa mencapai 79%. Udara ini melarutkan gas  $CO_2$  pada gas pembuangan sehingga gas  $CO_2$  tersebut terbawa ke atmosfer. Beberapa teknologi yang bertujuan untuk mengurangi emisi  $CO_2$  diantaranya *pre-combustion*, *post-combustion*, dan *oxy-fuel combustion*. Metode numerik seperti *Computational Fluid Dynamics (CFD)* digunakan karena teknologi *oxy-fuel* memiliki keterbatasan dalam penggunaannya di dunia industri dan utilitas serta membutuhkan biaya pengadaan yang besar. Berdasarkan hasil simulasi didapat temperatur maksimum pada pembakaran konvensional sebesar  $1917^\circ C$  sementara pada pembakaran *oxy-fuel* temperatur yang dihasilkan sebesar  $1857^\circ C$ . Meskipun begitu, distribusi temperatur pada pembakaran *oxy-fuel* lebih merata dibandingkan pembakaran konvensional sehingga penyerapan panasnya akan lebih baik. Hal ini dibuktikan melalui grafik perbandingan temperatur pada masing-masing dinding *furnace*. Hasilnya terjadi penambahan temperatur pada dinding *furnace* sebesar  $5^\circ C$  hingga  $20^\circ C$ .

**Kata kunci :** boiler; computational fluid dynamics; gas alam; oxy-fuel.

### ABSTRACT

The boiler commonly used in power plants and industrial steam generators. In its operation, conventional boilers fueled by natural gas use air for the combustion system where the content of Nitrogen ( $N_2$ ) gas in ordinary air reaches 79% which dissolves  $CO_2$  gas in the exhaust gas, so that the  $CO_2$  gas is carried into the atmosphere. Several technologies that aim to reduce  $CO_2$  emissions include *pre-combustion*, *post-combustion* and combustion of oxygen fuel. Numerical methods such as *Computational Fluid Dynamics (CFD)* are used because the *oxy-fuel* technology has limited use in the industrial and utility world, and requires large procurement costs. Based on the simulation results, the combustion temperature in the fire system in  $1917^\circ C$  originating from the combustion system, the resulting temperature is  $185^\circ C$ . Even so, the temperature distribution in the *oxy-fuel* combustion system is more even in the combustion system so that the combustion system will be better. This is evidenced by the comparison of temperature comparison graphs on each furnace wall. The result was an increase in the temperature of the wall furnace by  $5^\circ C$  to  $20^\circ C$ .

**Keywords :** boiler; computational fluid dynamics; natural gas; oxy-fuel.

### PENDAHULUAN

Pembakaran bahan bakar fosil merupakan penyebab emisi Karbon Dioksida ( $CO_2$ ) terbesar di dunia saat ini. Emisi  $CO_2$  sendiri adalah penyebab utama efek rumah kaca dan pemanasan global.

Menurut Badan Energi Internasional, dari seluruh kebutuhan energi dunia, 80% nya menggunakan bahan bakar fosil, yang mana penyebab emisi  $CO_2$  40% berasal dari pembangkit listrik yang 30% nya menggunakan bahan bakar fosil (International Energy Agency, 2016).

\* Penulis korespondensi

Email: 1610631150057@student.unsika.ac.id

Diterima 20 April 2021; Disetujui 25 Mei 2022

AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin 2022

Boiler merupakan pembangkit uap yang menggunakan bahan bakar fosil seperti batu bara dan gas alam dalam pengoperasiannya. Boiler sendiri umum digunakan pada pembangkit uap utilitas dan pembangkit uap industri (El-Wakil, 1985). Dalam operasionalnya, boiler konvensional berbahan bakar gas alam menggunakan udara untuk pembakaran yang mana kandungan gas nitrogen ( $N_2$ ) pada udara biasa mencapai 79% yang melarutkan gas  $CO_2$  pada gas pembuangan, sehingga gas  $CO_2$  tersebut terbawa ke atmosfer (Buhre et al., 2005). Maka dari itu, dicetuskanlah beberapa teknologi guna menangkap  $CO_2$  pada industri utilitas. Beberapa diantaranya adalah *pre-combustion*, *post-combustion*, dan *oxy-fuel combustion* (Mansir et al., 2018).

*Oxy-fuel combustion* adalah teknologi yang muncul dalam sistem pembangkit daya, dimana bahan bakar tidak di campur dengan udara, melainkan dengan oksigen ( $O_2$ ) dan *Recirculate Flue Gas (RFG)*. Gas buang yang dihasilkan dari *oxy-fuel combustion* akan mengandung  $CO_2$  dan  $H_2O$  yang jika dilakukan pemurnian dapat dikompresi dan dimanfaatkan untuk meningkatkan perolehan minyak. Tujuan utama mengkombinasikan teknologi *oxy-fuel* dengan pembakaran biomasa yaitu dapat menghilangkan 800 miliar ton  $CO_2$  pada atmosfer setiap tahunnya. (Black et al., 2013).

Metode numerik seperti *Computational Fluid Dynamics (CFD)* digunakan karena teknologi *oxy-fuel* memiliki keterbatasan dalam penggunaannya di dunia industri dan utilitas, serta membutuhkan biaya pengadaan yang besar. *CFD* merupakan alat desain yang dapat digunakan untuk mempelajari boiler, seperti bidang aliran pada boiler, temperatur dan distribusi bahan kimia yang dimana akan sulit apabila dilakukan eksperimen secara langsung. *CFD* untuk pembakaran sudah pernah diaplikasikan pada pembakaran udara-batu bara, udara-gas alam, dan pembakaran campuran udara-gas alam-batu bara. Maka dari itu *CFD* digunakan untuk mempelajari efek perpindahan panas seperti konduksi, konveksi dan radiasi dalam proses pembakaran gas alam dan batu bara (Black et al., 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa dan membandingkan perbedaan temperatur pada dinding

boiler antara pembakaran menggunakan udara konvensional dengan pembakaran *oxy-fuel*.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode simulasi numerik. Data operasi yang dimasukkan berdasarkan *data sheet* dari sebuah *package boiler*.

### Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah *software ANSYS Fluent R17.0* dan *hardware* menggunakan laptop dengan spesifikasi *Intel Core I5 Gen 2, RAM 6 GB*. Proses pembuatan geometri boiler menggunakan *software Design Modeler* yang terdapat pada *Workbench ANSYS*.

### Input Variabel

Beberapa variabel yang dimasukkan pada *setup fluent* yaitu laju aliran massa udara pembakaran dan bahan bakar, temperatur udara pembakaran dan bahan bakar, serta kandungan *species* udara pembakaran dan bahan bakar. Selain itu dimasukkan juga data material pada dinding boiler seperti densitas, *specific heat*, dan *thermal conductivity*.

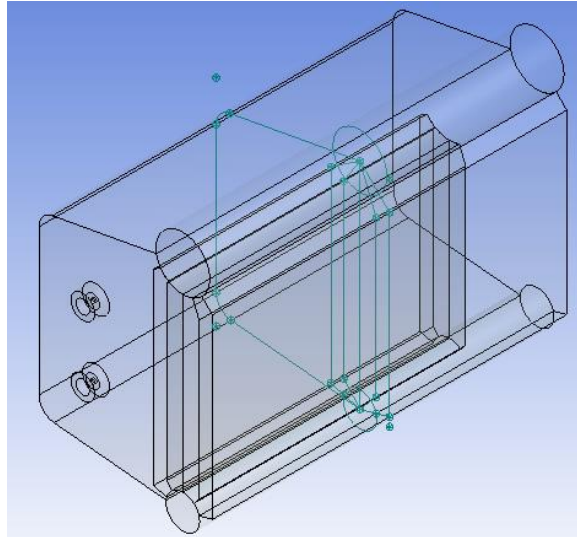
### Prosedur Simulasi

Tahap simulasi menggunakan *ANSYS Fluent* diantaranya pembuatan geometri, proses *meshing*, *setup solution*, dan yang terakhir adalah *post processing* untuk menampilkan hasil simulasi.

### Pembuatan Geometri

*Packaged boiler* yang digunakan pada simulasi ini memiliki spesifikasi desain sebagai berikut :

1. Dimensi utama
  - Panjang : 10.698 mm
  - Lebar : 5156 mm
  - Tinggi : 6486 mm
2. Jumlah *Burner* : 2 set
3. Diameter *Burner* : 1061 mm



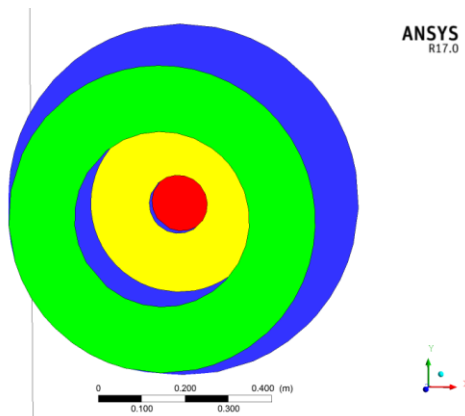
Gambar 1 Desain geometri *packaged boiler* untuk simulasi *CFD*

Gambar 1 menunjukkan hasil pembuatan geometri boiler yang terdiri dari *burner*, *furnace*, *tube wall*, *steam drum*, *water drum* dan *outlet*. Udara pembakaran dan bahan bakar akan di injeksikan oleh *burner*, selanjutnya terjadi pembakaran didalam *furnace* yang menghasilkan gas buang dengan temperatur yang tinggi. Setelah itu gas buang akan mengalir menuju *outlet* dengan melewati jajaran *tube wall* diantaranya *riser wall*, *feeder wall*, dan *down comer wall*.

serta menghasilkan pusaran (*swirling*), dan *inlet* udara kedua yang menginjeksikan 65% udara pembakaran.

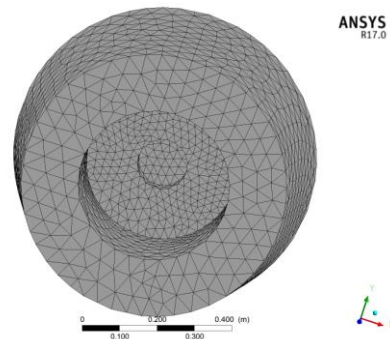
**Meshing**

*Meshing* bertujuan untuk menerjemahkan geometri yang telah dibuat agar dapat dibaca oleh algoritma *CFD*. Jenis *meshing* yang digunakan adalah *tetrahedron* dengan *maximum sizing* 0,2030 m dan menghasilkan jumlah elemen 491.354. Hal yang perlu dipertimbangkan dalam proses *meshing* adalah efektifitas waktu perhitungan dan akurasi hasil perhitungan. Pada tahap ini juga ditentukan *inlet*, *wall*, dan *outlet* pada objek simulasi.

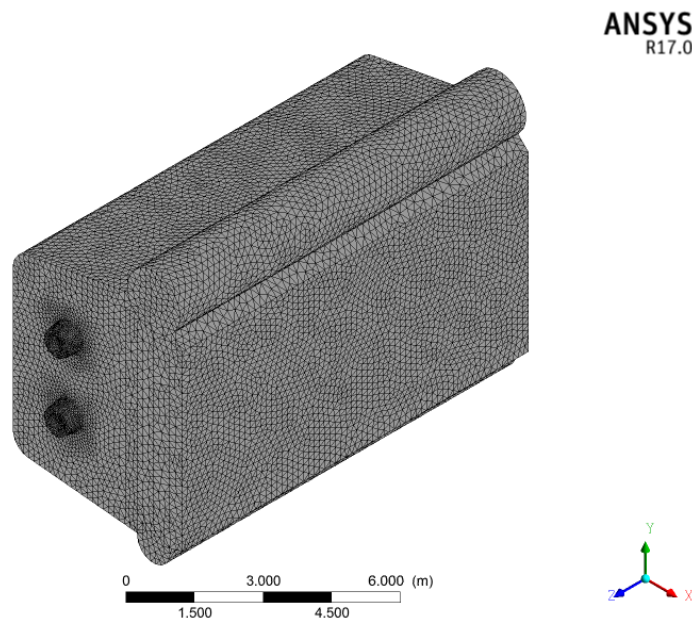


Gambar 2. *Burner*

*Burner* pada *packaged boiler* memiliki 3 bagian, yaitu *inlet* bahan bakar yang berfungsi menginjeksikan bahan bakar, *inlet* udara utama yang menginjeksikan 35% udara pembakaran



Gambar 3. *Meshing burner*



Gambar 4. Meshing geometri boiler

**Setup Solution**

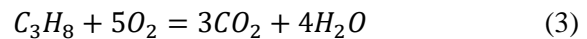
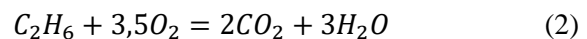
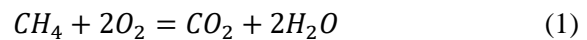
Pada *setup solution*, dilakukan model penyelesaian kasus, seperti menentukan jenis aliran, reaksi kimia pembakaran, kondisi batas, dan metode penyelesaian komputasi.

Tabel 1. Pemodelan

Model	Keterangan
<i>Energy equation</i>	<i>On</i>
<i>Viscous</i>	<i>K-e Realizable</i>
<i>Radiation</i>	<i>Surface 2 surface</i>
<i>Species</i>	<i>Species transport</i>

*Energy equation* berfungsi untuk penyelesaian model perpindahan panas. Viskositas *realizable k-e* digunakan dalam penyelesaian aliran turbulen. Model radiasi *surface to surface* digunakan dalam menyelesaikan permasalahan radiasi antara suatu permukaan ke permukaan lain dengan mengabaikan penyerapan radiasi, sehingga tidak memakan waktu komputasi yang lama. Pada *species transport* ditentukan kandungan dari bahan bakar yaitu gas metana (CH<sub>4</sub>), etana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) dan propana (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>). Untuk pembakaran konvensional kandungan O<sub>2</sub> sebesar 20,99% dan kandungan gas N<sub>2</sub> sebesar 79,01%. Sementara pembakaran *oxy-fuel* kandungan O<sub>2</sub> nya masih sama, hanya saja kandungan gas N<sub>2</sub> digantikan oleh CO<sub>2</sub> yang didapat dari *recirculate*

*flue gas*. Persamaan reaksi stoikiometri pembakarannya sebagai berikut.



**HASIL DAN PEMBAHASAN**

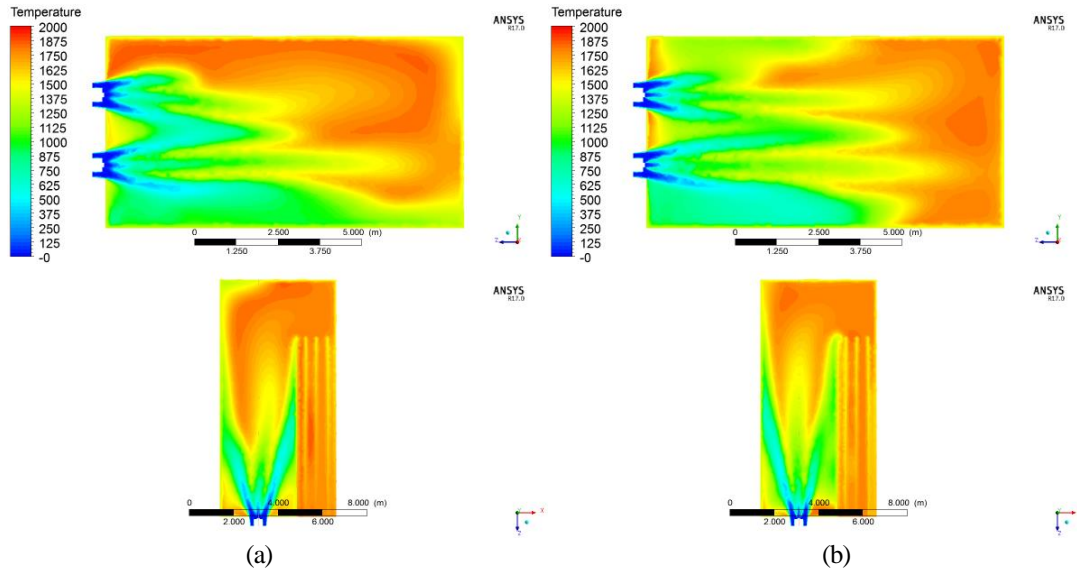
Temperatur pembakaran hasil simulasi numerik dari *packaged boiler* dengan bahan bakar gas alam dilakukan validasi dengan membandingkan dengan temperatur pada *data sheet*, hasilnya didapat *error* sebagai berikut.

Tabel 2. Validasi temperatur

Data desain (°C)	Hasil simulasi (°C)	Error
1820	1917	5,32%

**Distribusi Temperatur**

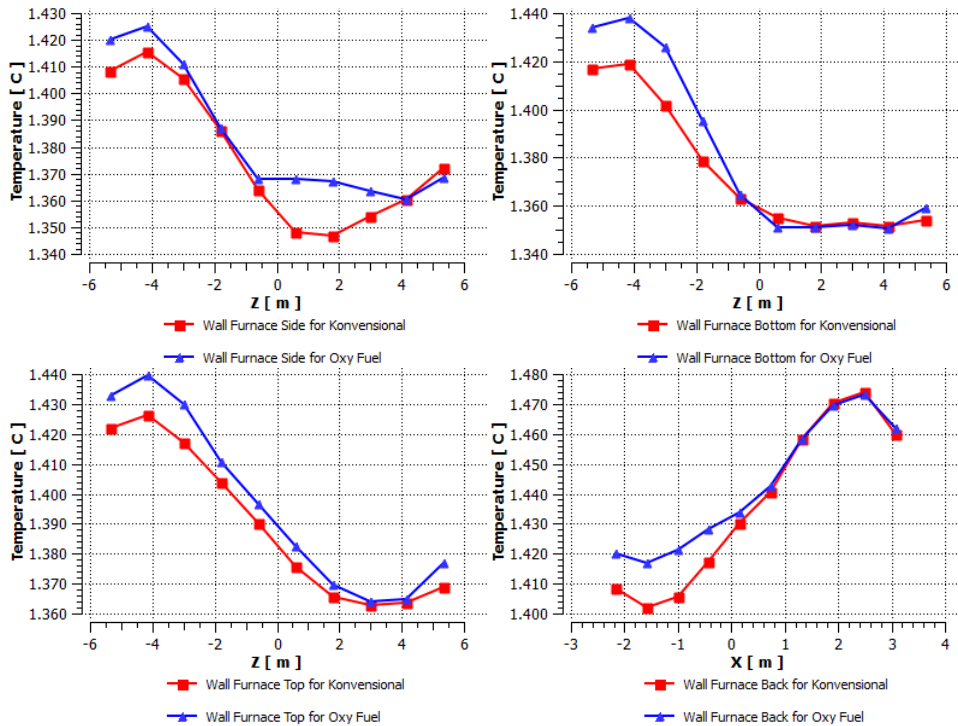
Temperatur maksimum yang dihasilkan oleh pembakaran konvensional sebesar 1917 °C, sementara pembakaran *oxy-fuel* menghasilkan temperatur lebih rendah yaitu sebesar 1857 °C. Distribusi temperaturnya ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 5. Kontur distribusi temperatur (a) pembakaran konvensional (b) pembakaran *oxy-fuel*

Dari Gambar 5, tidak begitu terlihat perbedaan yang signifikan antara distribusi temperatur pembakaran konvensional dan pembakaran *oxy-fuel*. Hanya saja pada bagian *furnace*, distribusi temperatur pada pembakaran *oxy-fuel* lebih merata jika dibandingkan pembakaran

konvensional, dengan begitu maka penyerapan panas pada dinding boiler akan lebih baik. Untuk membuktikan hal tersebut, akan disajikan gambar grafik perbandingan temperatur pada dinding boiler yang diamati dari sumbu *Z center* dan *X center* sebagai berikut.



Gambar 6. Grafik perbandingan temperatur dinding *furnace*



Berdasarkan grafik yang ditunjukkan dari Gambar 6. Dapat dilihat keunggulan dari pembakaran *oxy-fuel* dibandingkan pembakaran konvensional. Terjadi penambahan temperatur pada masing-masing dinding *furnace* dari 5 °C hingga 20 °C.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari hasil simulasi numerik terhadap sebuah *package boiler* dengan membandingkan pembakaran menggunakan udara konvensional dan pembakaran *oxy-fuel*, dapat ditarik kesimpulan bahwa temperatur maksimum yang dicapai pada pembakaran konvensional memiliki nilai yang lebih tinggi yakni 1917 °C sementara pada pembakaran *oxy-fuel* temperatur maksimum yang dicapai sebesar 1857 °C. Meskipun begitu, distribusi temperatur pada pembakaran *oxy-fuel* lebih merata sehingga penyerapan panas pada dinding boiler akan lebih baik. Hal ini dibuktikan dari grafik yang di buat pada masing-masing dinding *furnace*, pembakaran *oxy-fuel* menghasilkan penambahan temperatur sebesar 5 °C hingga 20 °C pada masing-masing dinding *furnace*.

### Saran

Untuk penelitian kedepannya, diharapkan memiliki data operasional yang lebih memadai dari boiler yang akan diteliti untuk memperoleh nilai error yang lebih kecil, sehingga hasil simulasi numerik dapat mendekati kondisi aktual dilapangan dan diperlukan penambahan kandungan oksigen pada pembakaran *oxy-fuel* misalnya menjadi 25% atau 30%.

## REFERENSI

- Black, S., Szuhánszki, J., Pranzitelli, A., Ma, L., Stanger, P. J., Ingham, D. B., & Pourkashanian, M. (2013). *Effects of firing coal and biomass under oxy-fuel conditions in a power plant boiler using CFD modelling*. 113(x), 780–786. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.03.075>
- Buhre, B. J. P., Elliott, L. K., Sheng, C. D., Gupta, R. P., & Wall, T. F. (2005). Oxy-fuel combustion technology for coal-fired power generation. *Progress in Energy and Combustion Science*, 31(4), 283–307. <https://doi.org/10.1016/j.peccs.2005.07.001>
- El-Wakil, M. M. (1985). Power Plant Technology. In *McGraw-Hill Electrical and Mechanical Engineering series*.
- International Energy Agency. (2016). Decoupling of global emissions and economic growth confirmed. *IEA Press Release, March*.
- Mansir, I. B., Ben-Mansour, R., & Habib, M. A. (2018). Oxy-fuel combustion in a two-pass oxygen transport reactor for fire tube boiler application. *Applied Energy*, 229(April), 828–840. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.08.057>