

# Analisis komputasi perbandingan temperatur pembakaran boiler menggunakan udara pembakaran konvensional dan pembakaran oxy-fuel

Ihsan Budiman<sup>1</sup>, Reza Setiawan<sup>2</sup>, Najmudin Fauji<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

<sup>2</sup>Staf Pengajar, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

Jl. H. S. Ronggowaluyo, Telukjambe Timur, Karawang 41361

Email korespondensi: reza.setiawan@staff.unsika.ac.id

---

## Abstrak

Pembakaran bahan bakar fosil merupakan penyebab emisi Karbon Dioksida ( $CO_2$ ) terbesar di dunia saat ini. Emisi  $CO_2$  sendiri menyebabkan efek rumah kaca dan pemanasan global. 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 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. 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 sebesar  $7,8^\circ C$  pada dinding furnace bagian kiri,  $7,7^\circ C$  pada dinding bagian bawah,  $6,6^\circ C$  pada dinding bagian atas dan  $6,2^\circ C$  pada dinding bagian belakang.

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

## Abstract

The burning of fossil fuels is the cause of the largest carbon dioxide ( $CO_2$ ) emissions in the world today.  $CO_2$  emissions may cause the greenhouse effect and global countermeasures. Boilers are steam generators that use fossil fuels such as coal and natural gas in their environment. The boiler itself is 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  $1857^\circ C$ . 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 temperature of  $7.8^\circ C$  on the left side of the furnace wall,  $7.7^\circ C$  on the bottom wall,  $6.6^\circ C$  on the top wall and  $6.2^\circ C$  on the back wall.

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

---

## 1. Pendahuluan

Pembakaran bahan bakar fosil merupakan penyebab emisi karbondioksida ( $CO_2$ ) 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% menggunakan bahan bakar fosil, yang mana penyebab emisi  $CO_2$  40% berasal dari pembangkit listrik yang 30% nya menggunakan bahan bakar fosil **Error! Reference source not found.**

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 **Error! Reference source not found.** 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<sub>2</sub> tersebut terbawa ke atmosfer **Error! Reference source not found.** Maka dari itu, dicetuskanlah beberapa teknologi guna menangkap CO<sub>2</sub> pada industri utilitas. Beberapa diantaranya adalah *pre-combustion*, *post-combustion*, dan *oxy-fuel combustion* **Error! Reference source not found.**

*Oxy-fuel combustion* adalah teknologi yang muncul dalam sistem pembangkit daya, di mana bahan bakar tidak di campur dengan udara, melainkan dengan oksigen (O<sub>2</sub>) dan *Recirculate Flue Gas (RFG)*. Gas buang yang dihasilkan dari *oxy-fuel combustion* akan mengandung CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O 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<sub>2</sub> pada atmosfer setiap tahunnya **Error! Reference source not found.**

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 di mana 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 **Error! Reference source not found.**

Kajian ini bertujuan untuk menganalisa dan membandingkan perbedaan temperatur pada dinding *boiler* antara pembakaran menggunakan udara konvensional dengan pembakaran *oxy-fuel*

## 2. Metode

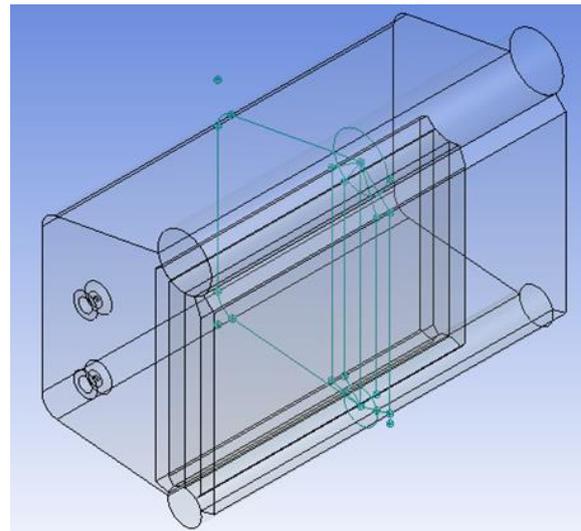
Objek dari kajian ini adalah sebuah *package boiler* kapasitas 100 ton/jam yang menggunakan bahan bakar gas alam, dan diolah menggunakan *software* ANSYS Fluent R17.0.

### Pembuatan Geometri

Proses pembuatan geometri *boiler* menggunakan *software* Design Modeler yang terdapat pada Workbench ANSYS. Spesifikasi desain dari *packaged boiler* sebagai berikut.

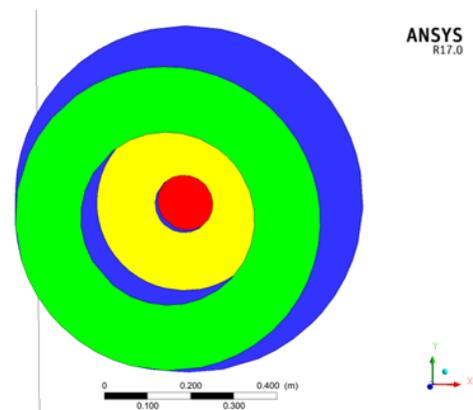
1. Dimensi utama
  - Panjang : 10.698 mm
  - Lebar : 5156 mm
  - Tinggi : 6486 mm
2. Jumlah Burner : 2 set

3. Diameter Burner : 1061 mm



Gambar 1. Desain boiler untuk simulasi CFD.

Gambar 1 menunjukkan hasil pembuatan geometri boiler 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 di dalam *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*.



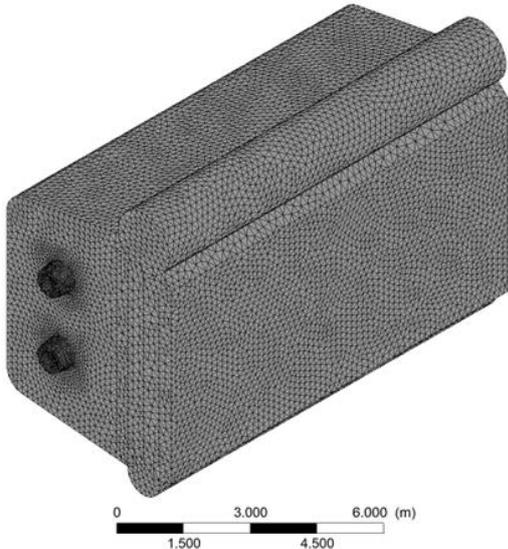
Gambar 2. Desain burner.

*Burner* pada *packaged boiler* memiliki 3 bagian, yaitu *inlet* bahan bakar yang berfungsi menginjeksikan bahan bakar, *inlet* udara utama yang menginjeksikan 35% udara pembakaran serta menghasilkan pusaran (*swirling*), dan *inlet* udara kedua yang menginjeksikan 65% udara pembakaran.

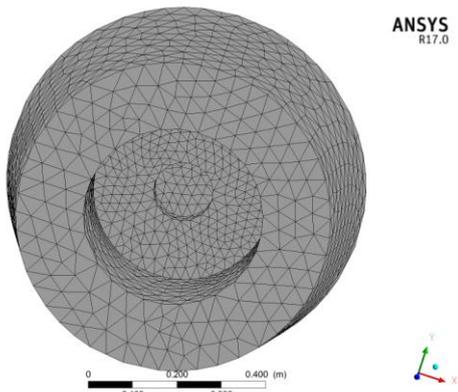
### Meshing

*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 efektivitas waktu perhitungan dan akurasi hasil

perhitungan. Pada tahap ini juga ditentukan *inlet*, *wall*, dan *outlet* pada objek simulasi.



Gambar 3. Meshing boiler.



Gambar 4. Meshing burner.

**Setup Solution**

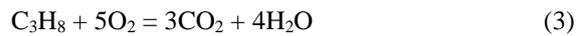
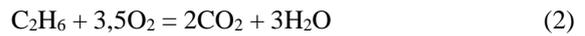
Pada *setup solution*, dilakukan model penyelesaian kasus, seperti menentukan jenis aliran, reaksi kimia pembakaran, kondisi batas, dan metode penyelesaian komputasi.

Tabel 1. Pemodelan.

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

*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.



**3. Hasil dan Pembahasan**

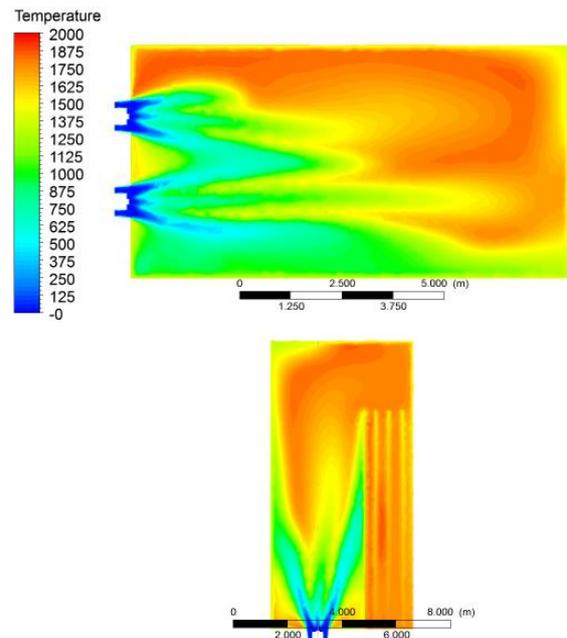
Temperatur pembakaran hasil simulasi numerik dari *packaged boiler* dengan bahan bakar gas alam dilakukan validasi dengan membandingkan dengan temperatur pada *data sheet*, hasilnya didapat *error* sebagai berikut.

Tabel 2. Validasi temperatur.

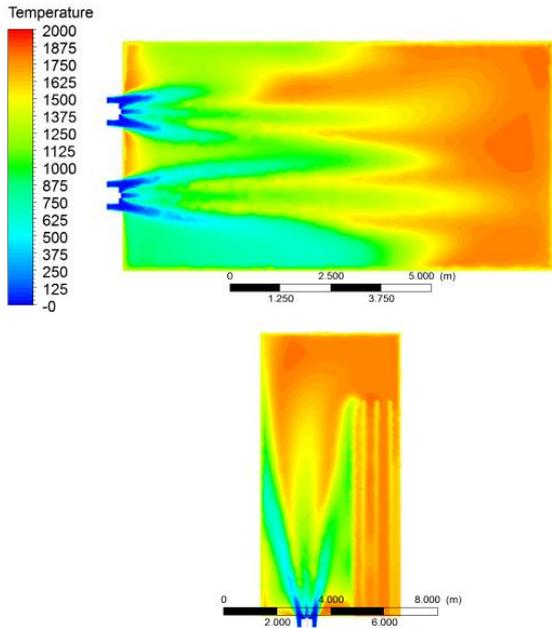
Data desain (°C)	Hasil simulasi (°C)	Error
1820	1917	5,32%

**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.

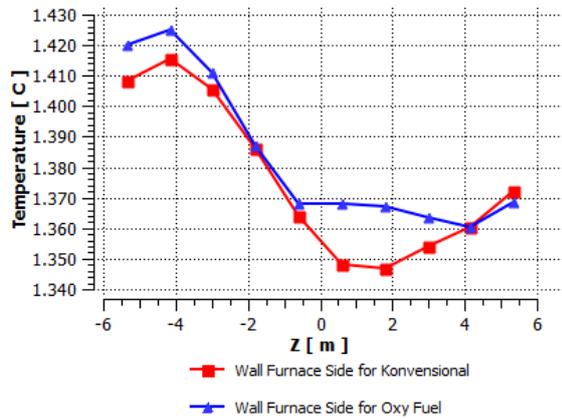


Gambar 5. Kontur distribusi temperatur pembakaran konvensional.



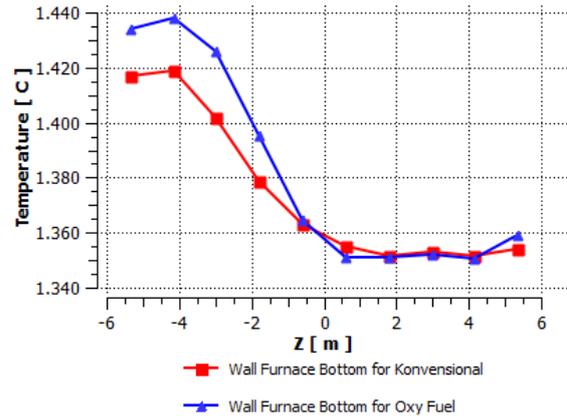
Gambar 6. Kontur distribusi temperatur pembakaran oxy-fuel.

Dari gambar kontur di atas, perbedaan distribusi temperatur pembakaran konvensional dan pembakaran *oxy-fuel* terdapat 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.



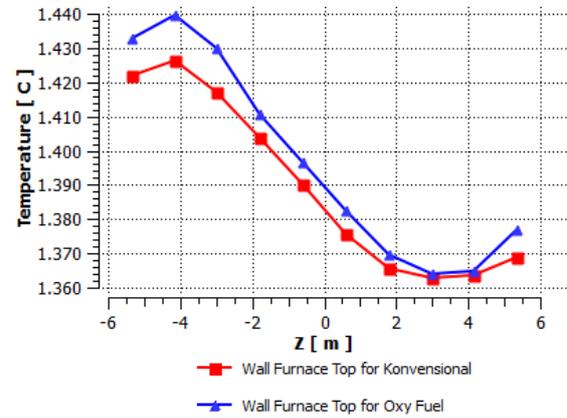
Gambar 7. Grafik perbandingan temperatur dinding furnace bagian kiri.

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 7, temperatur dinding *furnace* bagian kiri pada pembakaran *oxy-fuel* memiliki grafik yang lebih tinggi dibandingkan pembakaran konvensional. Temperatur dinding rata-rata yang dihasilkan pembakaran *oxy-fuel* sebesar 1384°C, sementara temperatur dinding bagian kiri rata-rata pada pembakaran konvensional sebesar 1376,2°C.



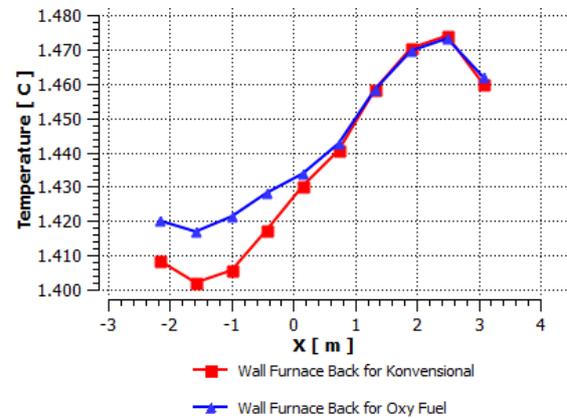
Gambar 8. Grafik perbandingan temperatur dinding furnace bagian bawah.

Pada dinding *furnace* bagian bawah, temperatur dinding rata-rata pada pembakaran *oxy-fuel* sebesar 1381,8°C, sementara temperatur dinding rata-rata pada pembakaran konvensional sebesar 1374,1°C.



Gambar 9. Grafik perbandingan temperatur dinding furnace bagian atas.

Sementara pada dinding bagian atas, temperatur dinding rata-rata pada pembakaran *oxy-fuel* sebesar 1396,2°C dan pembakaran konvensional menghasilkan temperatur sebesar 1389,6°C.



Gambar 10. Grafik perbandingan temperatur dinding furnace bagian belakang.

Dan pada dinding *furnace* bagian belakang, temperatur dinding pada pembakaran *oxy-fuel* sebesar

1442,4 °C dan pembakaran konvensional menghasilkan temperatur rata-rata sebesar 1436,2 °C.

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan dari Gambar di atas. Dapat dilihat keunggulan dari pembakaran *oxy-fuel* dibandingkan pembakaran konvensional. Di mana terjadi penambahan temperatur pada masing-masing dinding *furnace*.

#### 4. 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 dibuat pada masing-masing dinding *furnace*, pembakaran *oxy-fuel* menghasilkan penambahan temperatur sebesar 7,8°C pada dinding *furnace* bagian kiri, 7,7°C pada dinding bagian bawah, 6,6°C pada dinding bagian atas dan 6,2°C pada dinding bagian belakang.

#### Daftar Pustaka

- [1] G International Energy Agency. (2016). Decoupling of global emissions and economic growth confirmed. IEA Press Release, March.
- [2] El-Wakil, M. M. (1985). Power Plant Technology. In McGraw-Hill Electrical and Mechanical Engineering series.
- [3] 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.pecs.2005.07.001>
- [4] 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>
- [5] 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>