



**Chemical Engineering
Journal Storage**

homepage jurnal:
<https://ojs.unimal.ac.id/cejs/index>

**Chemical
Engineering
Journal
Storage**

**SIMULASI PEMBAKARAN PADA GYRO THERM *BURNER* DAN HD KILN *BURNER*
TERHADAP PENYEBARAN TEMPERATUR DAN KADAR KARBON DIOKSIDA (CO₂)
MENGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC* (CFD)**

Riska Wahyuni Helsin, Lukman Hakim, Leni Maulinda, Novi Sylvia, Wusnah
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355
Korespondensi: HP: 085260046742, e-mail: nxsylvia@gmail.com

Abstrak

Burner merupakan alat mekanis yang membakar batubara bubuk menjadi nyala api untuk mengoptimalkan proses pembakaran raw mix menjadi klinker pada kiln industri semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji peforma *burner* terhadap pola nyala api dan kadar CO₂ yang dihasilkan pada Gyro Therm *Burner* dan HD Kiln *Burner* secara simulasi menggunakan computational fluid dynamic (CFD). Geometri dan kondisi batas *burner* digambarkan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor 2016 dan Ansys 18.2. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan jumlah batubara dan udara yang masuk dengan perbandingan 1:2, 1:2,6 dan 1:3,2. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa HD Kiln *Burner* lebih baik dari pada Gyro Therm *Burner* karena pada run 13 (HD Kiln *Burner*) dengan perbandingan batubara dan oksigen sebesar 1:2 dan perbandingan udara axial dan radial sebesar 1:1 memiliki bentuk api pendek dengan nilai temperatur total sebesar 1737,066 K dan rasio sisa batubara yang tidak terbakar sebesar 0,2879482 serta kadar fraksi CO₂ yang dihasilkan sebesar 0,1164306.

Kata Kunci: Batubara, CFD, pola nyala api, kadar CO₂, Gyro Therm *Burner*, HD Kiln *Burner*

Abstarct

Burner is a mechanical tool that burns powdered coal into a flame to optimize the process of burning raw mix into clinker in the cement kiln industry. This study aims to examine the performance of burners against flame patterns and CO₂ levels produced in Gyro Therm Burner and HD Kiln Burner simulated using computational fluid dynamic (CFD). Geometry and burner boundary conditions are illustrated using Autodesk Inventor 2016 and Ansys 18.2 software. This study was conducted by varying the amount of coal and air entering with a ratio of 1: 2, 1: 2,6 and 1: 3,2. From the results of research that has been done can be concluded that the HD Kiln Burner better than Gyro Therm Burner because at run 13 (HD Kiln Burner) with the ratio of coal and oxygen of 1: 2 and the ratio of axial and radial air of 1: 1 has a form of fire short with a total temperature value of 1737.066 K and unburned coal remaining ratio of 0.2879482 and the resulting CO₂ fraction content of 0.1164306.

Key words: Coal, CFD, Flame pattern, CO₂, Gyro Therm *Burner*, HD Kiln *Burner*

1. Pendahuluan

Pada industri semen kiln merupakan pusat dari proses pembuatan semen, atau juga bisa dikatakan bahwa unit kiln merupakan jantungnya industri semen. Di dalam rotary kiln terjadi proses pembakaran raw mix menjadi klinker yang membutuhkan sejumlah panas dan perlu juga diperhatikan bentuk nyala saat pembakaran bahan bakar pada *burner* (Padang, 2012). Bentuk nyala ini mempengaruhi kualitas klinker yang dihasilkan. Kedua parameter ini dipengaruhi oleh proses pembakaran saat bahan bakar mulai keluar dari ujung *burner* hingga habis terbakar.

Burner adalah alat mekanis yang membakar batubara bubuk menjadi nyala api. Pembakar batubara terdiri dari mesin batubara serbaguna, mesin pembakaran (termasuk ruang bakar, sistem gerak maju otomatis dan maju, sistem rotasi otomatis, sistem pasokan udara bakar), sistem pengapian dan lain-lain.

Sistem *burner* merupakan komponen penting dan integral dari sistem rotary kiln untuk mengoptimalkan pembakaran bahan bakar untuk melepaskan panas di kiln. Pertimbangan keselamatan, kemudahan dan fleksibilitas operasi, kualitas produk, efisiensi energi, biaya perawatan, dan dampak lingkungan dari produk pembakaran adalah beberapa area yang paling penting yang harus dievaluasi operator kiln dalam memilih pembakar kiln (Mesto, 2017).

Burner dirancang untuk fleksibilitas maksimum tipe bahan bakar dan bentuk nyala api. Bahan bakar utama biasanya bubuk batubara atau batubara + kokas, dengan pilihan untuk membakar gas alam atau bahan bakar minyak. Entah gas alam atau bahan bakar minyak bisa dinyalakan langsung oleh sistem pengapian integral. Biasanya, gas alam atau bahan bakar minyak digunakan untuk memanaskan rotary kiln dan kemudian menyala api batubara, namun dapat digunakan untuk menyala kiln hingga kapasitas operasi penuh jika diinginkan.

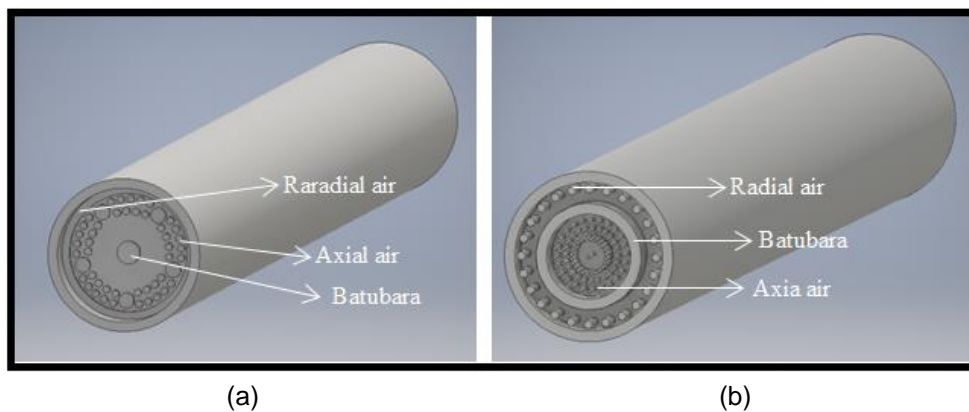
2. Metodologi Penelitian

Aplikasi yang digunakan

Aplikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat lunak komersil ANSYS FLUENT 16.2 dan AUTODESK INVENTOR PROFESIONAL 2016.

Variabel Penelitian

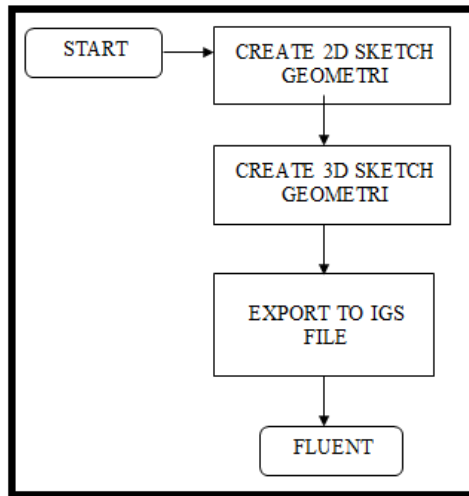
Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas, variabel tetap dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah bentuk geometri *Gyro Therm Burner* dan *HD Kiln Burner* (ditunjukkan pada gambar 1). rasio *mass flowrate* udara axial dan udara radial dengan perbandingan 1:1, 1:2, 1:3 dan 1:4. Perbandingan batubara dan oksigen dengan perbandingan 1:2, 1:2,6 dan 1:3,2. Variabel tetap adalah jenis batubara (*bituminous* dengan nilai kalor 6.310 Kkal/kg) Variabel terikat yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi penyebaran temperatur, pola nyala api pada *burner* dan kadar gas CO₂ yang dihasilkan.



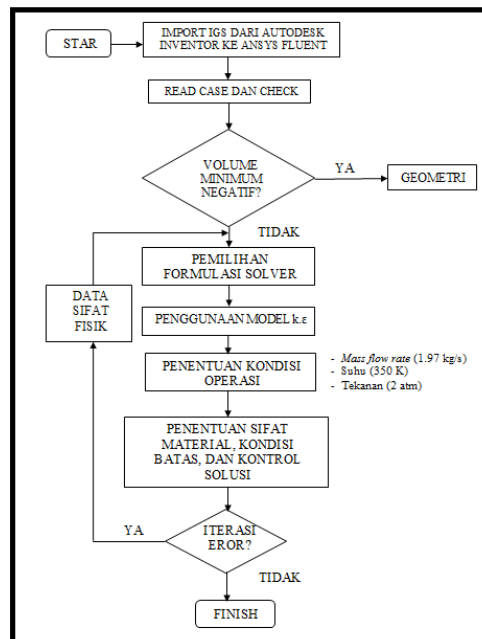
Gambar 1. Desain Pemodelan Geometri *Burner* (a) *Gyro Therm Burner* (b) *HD Kiln Burner*

Alur Penelitian

Alur proses pembuatan *burner* dimulai dari tahap pembentukan geometri hingga penentuan kondisi batas, tahap ini juga disebut *preprocessor*. Kemudian dilanjutkan dengan mengimport geometri absorber ke fluent, untuk eksekusi, perlakuan pada fluent ini merupakan tahap *processor* dan *postprocessor*. Secara keseluruhan proses simulasi untuk penelitian ini memiliki beberapa tahapan yang sebelumnya dimulai dari pembentukan geometri dapat dilihat pada diagram alir prosedur simulasi pada Gambar 2 dan Gambar 3 berikut ini:



Gambar 2 Alur Penelitian Penggambaran Geometri (Pre-Processor)



Gambar 3 Bagan Alir Ansys Fluent (Processor dan Postprocessor)

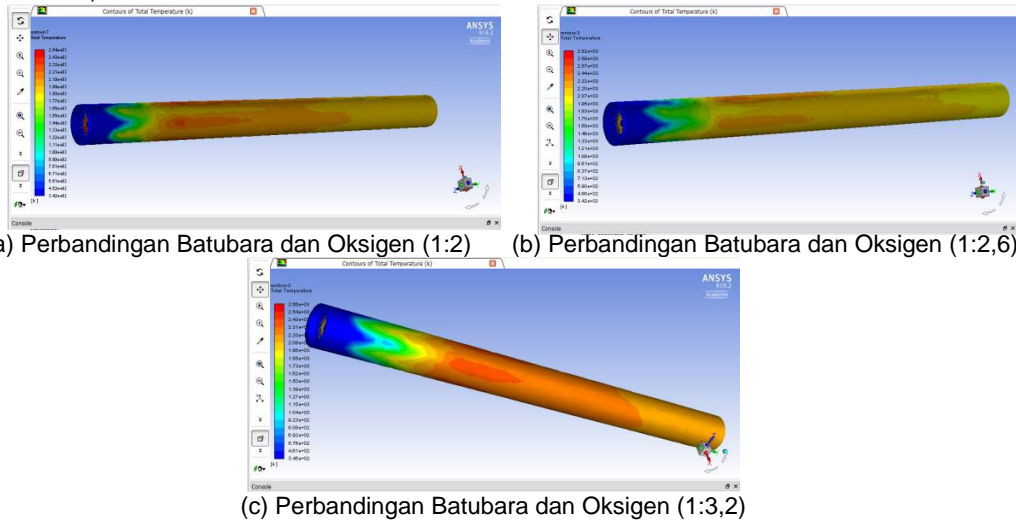
3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian terhadap burner menggunakan Ansys Fluent dilakukan untuk mengetahui kinerja dari burner. Dalam pengujian ini akan dilihat pola nyala api, penyebaran temperatur pada burner, kadar CO₂ yang dihasilkan dan sisa batubara yang tidak habis terbakar dengan bervariasi bentuk geometri (Gyro Therm Burner dan HD Kiln Burner).

3.1. Pengaruh Udara Pembakaran Berlebih (Excess Air) terhadap Distribusi Temperatur Pada Gyro Therm Burner dan HD Kiln Burner

Excess air adalah persentase oksigen dalam fraksi massa yang terkandung di dalam udara hasil pembakaran (flue gas). Untuk mengontrol pembakaran batubara di sebuah kiln, nilai excess air ini digunakan untuk mengontrol supply udara yang digunakan pada proses pembakaran batubara di kiln. Semakin besar nilai excess air maka hal ini merupakan indikasi pembakaran yang sempurna di dalam kiln semakin baik. Sebaliknya, jika nilai excess air rendah maka hal ini mengindikasikan proses pembakaran yang kurang

sempurna. Untuk mengatasinya supply udara untuk proses pembakaran perlu ditambah debatnya. Adapun distribusi temperatur pada gyro therm burner dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut,



Gambar 4.1 Distribusi Temperatur Terhadap Excess Air Dengan Perbandingan Antara Udara Axial dan Radial Sebesar 1:1 Pada Gyro Therm Burner

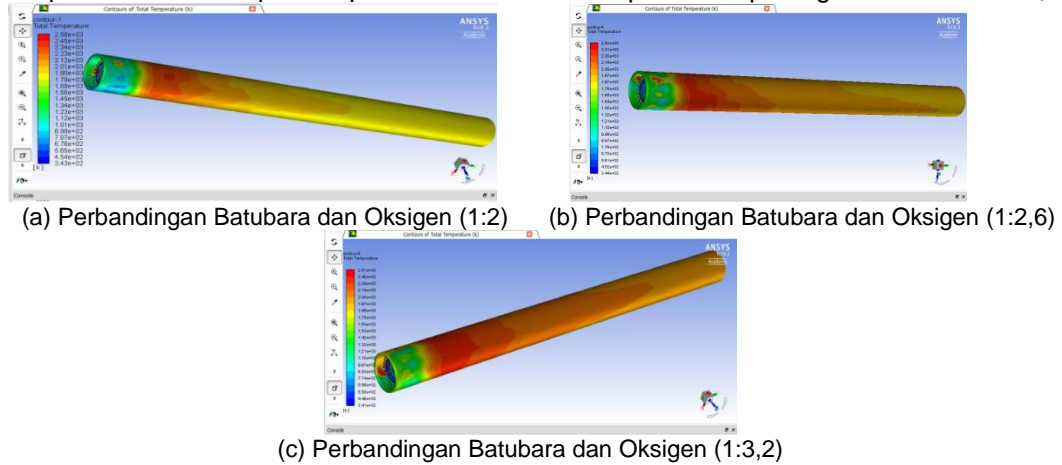
Pada gambar 4.1 dapat dilihat distribusi temperatur pada gyro therm burner yang ditunjukkan dengan perbedaan warna. Warna biru menunjukkan temperatur total terendah, sedangkan warna merah menunjukkan temperatur total tertinggi. Pada inlet burner memiliki temperatur total yang rendah dikarenakan temperatur batubara dan udara yang masuk yaitu 350 K (76,85 °C). Pada bagian tengah burner dapat dilihat bahwa terjadi perubahan warna dari hijau ke merah yang menandakan telah terjadinya proses pembakaran pada burner. Dari gambar dapat diketahui bahwa semakin besar excess air maka akan semakin bagus pembakaran dengan tingginya nilai temperatur total. Nilai temperatur total yang didapatkan dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut,

Tabel 4.1 Hasil Data Run 1, Run 5 dan Run 9 Untuk Perbandingan Batubara Dengan Udara 1:2, 1:2,6 dan 1:3,2 Serta Perbandingan Udara Axial dan Radial 1:1

Variabel	Axial Air : Radial Air (1:1)		
	Run 1 (Batubara:O ₂)	Run 5 (Batubara:O ₂)	Run 9 (Batubara:O ₂)
	1 : 2	1 : 2,6	1 : 3,2
T _{total} (K)	1577,605	1655,027	1707,488
ΔH _{total} (J/kg)	-803941,5	-641340,8	-516336,1
Batu Bara	0,2372801	0,1898348	0,1566055
CO ₂	0,1027881	0,109227	0,1130922
O ₂	0,03886137	0,0415008	0,04372708
H ₂ O	0,06493707	0,06886149	0,07143838
N ₂	0,5561334	0,590571	0,6151368

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa pada run 9 nilai temperatur total lebih besar dari pada run 1 dan run 5 yang disebabkan oleh nilai excess air yang run 9 lebih besar. Kadar batubara yang tersisa pada run 9 lebih sedikit yaitu sebesar 0,1566055 dari pada run 1 dan run 5 yang menandakan proses pembakaran akan lebih baik, jika nilai excess air meningkat maka batubara yang terbakar lebih banyak.

Adapun distribusi temperatur pada HD Kiln burner dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut,



Gambar 4.2 Distribusi Temperatur Terhadap Excess Air Dengan Perbandingan Antara Udara Axial dan Radial Sebesar 1:1 Pada HD Kiln Burner

Pada gambar 4.2 dapat dilihat distribusi temperatur pada HD kiln burner yang ditunjukkan dengan perbedaan warna. Warna biru menunjukkan temperatur total terendah, sedangkan warna merah menunjukkan temperatur total tertinggi. Pada inlet burner memiliki temperatur total yang rendah dikarenakan temperatur batubara dan udara yang masuk yaitu 350 K (76,85 °C). Pada bagian tengah burner dapat dilihat bahwa terjadi perubahan warna dari hijau ke merah yang menandakan telah terjadinya proses pembakaran pada burner. Dari gambar dapat diketahui bahwa semakin besar excess air maka akan semakin bagus pembakaran dengan tingginya nilai temperatur total. Nilai temperatur total yang didapatkan dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut,

Tabel 4.2 Hasil Data Run 13, Run 17 dan Run 21 Untuk Perbandingan Batubara dan Udara 1:2, 1:2,6 dan 1:3,2 Serta Perbandingan Udara Axial dan Radial 1:1

Variabel	Axial Air : Radial Air (1:1)		
	Run 13 (Batubara:O ₂)	Run 17 (Batubara:O ₂)	Run 21 (Batubara:O ₂)
	1 : 2	1 : 2,6	1 : 3,2
T _{total} (K)	1737,066	1862,523	1952,377
ΔH _{total} (J/kg)	-979094,9	-793293	-645206,1
Batu Bara	0,2879482	0,2335861	0,1937408
CO ₂	0,1164306	0,1268754	0,13439
O ₂	0,009114431	0,007686333	0,006895114
H ₂ O	0,07354383	0,08014188	0,08487772
N ₂	0,5129629	0,5517103	0,5800963

Sama halnya dengan gyro therm burner nilai temperatur total pada run 21 lebih besar dari pada run 13 dan run 17 yang disebabkan oleh nilai excess air yang run 21 lebih besar. Kadar batubara yang tersisa pada run 21 lebih sedikit dari pada run 13 yang menandakan proses pembakaran akan lebih baik, jika nilai excess air meningkat maka batubara yang terbakar lebih banyak.

3.2. Hubungan Antara Perbandingan Batubara dan Oksigen Terhadap Fraksi CO₂ Yang Dihasilkan Pada Gyro Therm Burner dan HD Kiln Burner

Pada pembakaran sempurna, reaktan terbakar dengan oksigen menghasilkan beberapa produk. Ketika hidrokarbon terbakar dengan oksigen, maka reaksi utama akan menghasilkan karbon dioksida dan air. Ketika elemen dibakar, maka produk yang dihasilkan biasanya juga berupa oksida. Karbon dibakar menghasilkan karbon dioksida.

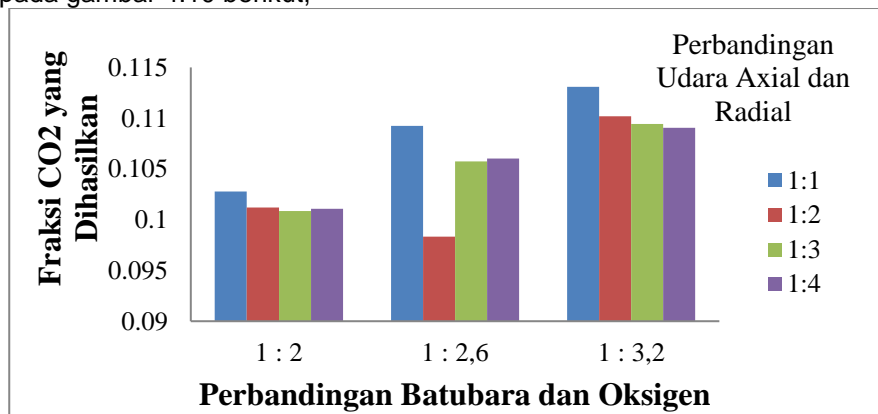
Nitrogen tidak dianggap sebagai komponen yang bisa terbakar jika oksigen dipakai sebagai agen pengoksidasi, namun nitrogen oksida NO_x dalam jumlah kecil biasanya akan terbentuk.

Pada penelitian ini kadar CO₂ yang dihasilkan pada Gyro Therm Burner dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut,

Tabel 4.5 Hasil data temperatur total dan CO₂ yang dihasilkan pada Gyro Therm Burner

Run Ke	Fraksi CO ₂ (Karbon Dioksida) yang Dihasilkan
Run 1	0,102788
Run 2	0,101199
Run 3	0,100843
Run 4	0,101083
Run 5	0,109227
Run 6	0,098330
Run 7	0,105731
Run 8	0,106021
Run 9	0,113092
Run 10	0,110179
Run 11	0,109424
Run 12	0,109048

Kadar CO₂ yang dihasilkan pada proses pembakaran Gyro Therm Burner dapat dilihat pada gambar 4.10 berikut,



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Antara Perbandingan Batubara dan Oksigen Terhadap Fraksi CO₂ Yang Dihasilkan Pada Gyro Therm Burner

Dari gambar 4.10 dapat dilihat bahwa semakin besar perbandingan batubara dan oksigen maka fraksi CO₂ yang dihasilkan akan semakin banyak karena semakin besar excess air maka proses pembakaran yang terjadi akan lebih baik. Namun pada perbandingan udara axial dan radial 1:2 dengan perbandingan batubara dan oksigen 1:2,6 penurunan fraksi CO₂ yang signifikan, karena pada tahap iterasi menggunakan CFD tidak dapat convergen yang menyebabkan nilai fraksi massa batubara yang didapatkan tidak konstan. Penurunan fraksi CO₂ yang dihasilkan menandakan proses pembakaran tidak terjadi dengan baik karena pada proses pembakaran yang tidak sempurna akan menghasilkan gas buang berupa CO (karbon monoksida) yang menyebabkan reaksi pembentukan klinker tidak sempurna, akhirnya bisa menyebabkan klinker mentah (flushing) jikaantisipasi terlambat.

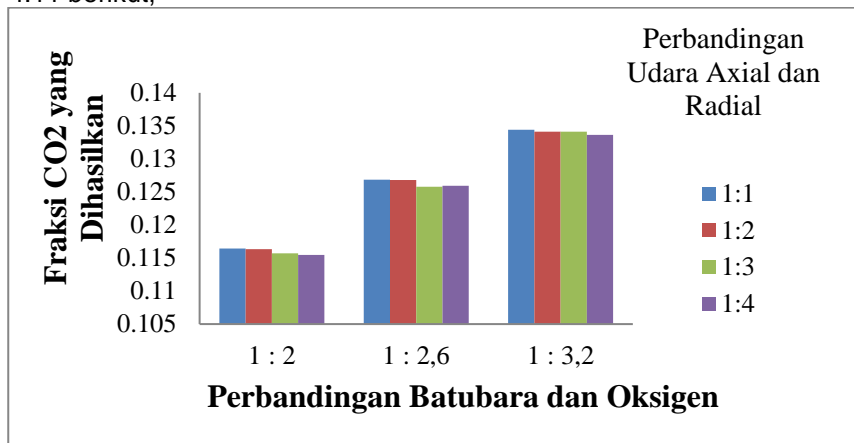
Pada penelitian ini kadar CO₂ yang dihasilkan pada HD Kiln Burner dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut,

Tabel 4.6 Hasil data temperatur total dan CO₂ yang dihasilkan pada HD Kiln Burner

Run Ke	Fraksi CO ₂ (Karbon Dioksida) yang Dihasilkan
--------	--

Run 13	0.116431
Run 14	0.116336
Run 15	0.115714
Run 16	0.115473
Run 17	0.126875
Run 18	0.126802
Run 19	0.125794
Run 20	0.125910
Run 21	0.134390
Run 22	0.134116
Run 23	0.134124
Run 24	0.133620

Kadar CO₂ yang dihasilkan pada proses pembakaran HD Kiln Burner dapat dilihat pada gambar 4.11 berikut,



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Antara Perbandingan Batubara dan Oksigen Terhadap Fraksi CO₂ Yang Dihasilkan Pada HD Kiln Burner

Dari gambar 4.11 dapat dilihat bahwa semakin besar perbandingan batubara dan oksigen maka fraksi CO₂ yang dihasilkan akan semakin banyak karena semakin besar excess air maka proses pembakaran yang terjadi akan lebih baik. Pada HD Kiln Burner hasil yang didapatkan lebih baik dari pada gyro therm burner karena tidak terjadi fluktuasi dalam proses iterasi pada fluent.

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

HD Kiln Burner lebih baik dari pada Gyro Therm Burner karena pada run 13 (HD Kiln Burner) dengan perbandingan batubara dan oksigen sebesar 1:2 dan perbandingan udara axial dan radial sebesar 1:1 memiliki bentuk api pendek dengan nilai temperatur total sebesar 1737,066 K dan rasio sisa batubara yang tidak terbakar sebesar 0,2879482 serta kadar fraksi CO₂ yang dihasilkan sebesar 0,1164306. Semakin besar perbandingan batubara dan oksigen maka fraksi CO₂ yang dihasilkan akan semakin banyak yang menunjukkan bahwa HD Kiln Burner lebih baik daripada Gyro Therm Burner. HD Kiln Burner lebih baik dari pada Gyro Therm Burner karena HD Kiln Burner memiliki banyak nozzle untuk inlet udara radial yang menyebabkan besarnya momentum.

Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu adalah melanjutkan dengan memvariasikan jenis bahan bakar yaitu gas alam, minyak bumi dan alternatif lainnya dan memvariasikan jumlah bahan yang akan digunakan serta memvariasikan bentuk nozzle untuk inlet udara radial.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih disampaikan kepada Bapak Dr.Lukman Hakim,ST.,M.Eng selaku pembimbing 1 serta ibu Leni Mulinda,ST.,MT selaku pembimbing 2, keluarga serta teman-teman yang telah banyak membantu dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

Ariyaratne, and all. 2014. *CFD Modeling of Meat and Bone Meal Combustion in a Rotary Cement Kiln*. International Journal of Modeling and Optimization, UK.

Bayu Triwibono. 2010. *Simulasi Proses Pembakaran Pada Kiln Semen Berbasis CFD*. Teknik Kimia ITS: Surabaya.

Boateng, A. A. (2008). *Rotary kilns-Transport Phenomena and Transport Processes*. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK.

Gaurav, G. K., & Khanam, S. (2017). *Computational fluid dynamics analysis of sponge iron rotary kiln*. Case Studies in Thermal Engineering, 9(September 2016), 14–27. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2016.11.001>

Holderbank (1995). *Cement Seminar*. Material Techonology 1.

Mesto. 2017. *General Combustion*. Retrieved from <http://www.metso.com/products/rotary-kiln-technologies/firing-systems/general-combustion/>

Ngadi, Z., & Lahlaouti, M. L. (2017). *CFD modeling of the gas–particle flow behaviour in kiln burner pipe.*, 2017(8), 13–15.

Nørskov, and all. 2012. *Combustion of solid alternative fuels in the cement kiln burner*. Linda Kaare Nørskov Industrial PhD thesis.

Padang, P. T. S. 2012. *Bahan Training Cakar 12 buat belajar*. Padang. Sumatera Barat.

Schriber. 1987. *Systolic Arrays for Eigenvalue Computation*. Proc. SPIE Symp. East. Real Team Signal Processing V.

Vandermeer, W.1998. *Flame Safeguard Controls Multi-Burner Environments*, (April), 1–33.

Versteeg, H. K.,& Malalasekera, W. 2007. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics (Vol. M)*.