

## Simulasi Proses Pembakaran Bahan Bakar Batubara pada *Straight Burner* di Unit *Rotary Kiln* Terhadap Distribusi Temperatur dan Total Energi Menggunakan CFD

Novi Sylvia\*, Mhd Haris Lazuar Saragih, Azhari

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Bukit Indah Lhokseumawe

\*Email : [nxsylvia@gmail.com](mailto:nxsylvia@gmail.com)

### Abstrak

Industri semen merupakan industri yang bersifat *energy intensive* dengan kebutuhan energi hingga 3,5 GJ/Ton klinker karena proses reaksi pembentukan klinker yang bersifat endoterm. Selain total kebutuhan energi, distribusi temperatur yang merata juga sangat mempengaruhi kualitas klinker. Sumber panas diperoleh dari hasil pembakaran pada *burner* yang dipengaruhi oleh beberapa faktor utama seperti perbandingan (aksial dan radial) udara serta total udara berlebih (*excess air*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi temperatur disepanjang *rotary kiln* serta total energi hasil pembakaran terhadap perbandingan (aksial dan radial) udara sebesar (1:5 ; 1:3 dan 1:1) dan total udara berlebih (*excess air*) sebesar 1% ; 2% dan 3%. Pengambilan data langsung dari hasil analisa CCR (Center Control Room), Laboratorium Proses Pabrik Indarung II/III dan Laboratorium Jaminan dan Kualitas PT Semen Padang. Penelitian dilakukan dengan simulasi menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Proses simulasi menggunakan *software* ANSYS Student 19.0 dengan proses penggambaran geometri menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional 2019 (*student version*). Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, semakin besar udara aksial pada perbandingan (aksial dan radial) udara (1:5) maka semakin tinggi total energi pembakaran yang dihasilkan (dan distribusi temperatur disepanjang *rotary kiln* akan semakin menurun. Semakin tinggi total udara berlebih maka semakin tinggi total energi pembakaran yang dihasilkan dan distribusi temperatur disepanjang *rotary kiln* akan semakin menurun pula.

**Kata Kunci:** pembakaran, burner, udara aksial, udara radial, udara berlebih, temperatur

### Abstract

The cement industry is an energy intensive industry with an energy requirement of up to 3.5 GJ / Ton of clinker because of the endothermic clinker formation reaction process. In addition to total energy requirements, even distribution of temperature also greatly affects the quality of clinker. The heat source is obtained from the combustion of the burner which is influenced by several main factors such as the ratio (axial and radial) of air and the total excess air (*excess water*). This study aims to determine the temperature distribution along the rotary kiln and the total energy of combustion with air (axial and radial) comparisons of (1: 5; 1: 3 and 1: 1) and total excess air (*excess air*) of 1%; 2% and 3%. Direct data retrieval from the results of CCR (Center Control Room) analysis, Indarung II / III Factory Process Laboratory and PT Semen Padang Assurance and Quality Laboratory. The research was carried out by simulation using the method of *Computational Fluid Dynamics* (CFD). The simulation process uses ANSYS Student 19.0 software with the geometry drawing process using Professional 2019 Autodesk Inventor software (*student version*). Based on the results obtained, the greater the axial air in the ratio (axial and radial) of air (1: 5), the higher the total combustion energy produced (and the temperature distribution along the rotary kiln will decrease. The higher the total excess air, the higher the total combustion energy produced and the temperature distribution along the rotary kiln will also decrease.

**Keywords :** combustion, burner, axial air, radial air, excess air, temperature

## 1. PENDAHULUAN

Industri semen merupakan suatu industri yang bersifat energy intensive. Hal ini dikarenakan dalam industri semen, kebutuhan energi sangat besar. Proses reaksi yang bersifat endotermis, menyebabkan penambahan energi

sangat dibutuhkan dalam pembentukan klinker. Dikutip dari *Cement Data Book* untuk memproduksi 1 ton klinker membutuhkan energi panas minimal 1,8 GJ. Tetapi seperti yang dipaparkan UNIDO (1994) pada kenyataannya di lapangan diperlukan rata-rata konsumsi energi sebesar 3,5 GJ atau dua kali lipat dari teori dengan efisiensi sistem kiln sebesar 50% dan efisiensi rotary kiln sebesar 96,5 %.

Selain total kebutuhan energi, penyebaran (distribusi) dari temperatur juga sangat berpengaruh terhadap kualitas dari klinker, dimana diharapkan penyebaran (distribusi) temperatur haruslah merata disepanjang rotary kiln. Sehingga panas dari hasil pembakaran tersebut akan terdistribusi dengan baik di seluruh *raw mix* yang membutuhkan panas dalam proses reaksi pembentukan klinker. Sumber energi yang diperoleh dari pembakaran pada burner sangat dipengaruhi oleh jumlah bahan bakar dan juga jumlah udara yang masuk pada burner. Selain itu, perbandingan aliran (aksial dan radial) udara juga dapat mempengaruhi karakteristik nyala api yang akan berpengaruh pada total energi dan penyebaran (distribusi) temperatur di sepanjang rotary kiln. Sebagaimana penelitian yang telah dilakukan oleh Fitriadi dan Bayu (2010) mengenai simulasi proses pembakaran pada kiln semen berbasis CFD, dengan perbandingan udara aksial dan udara radial (1:1 ; 1:2 ; 1:4 ; 2:1 ; dan 4:1) diperoleh temperatur rata-rata tertinggi yaitu pada perbandingan udara aksial dan udara radial 1:4. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian dengan simulasi terhadap proses pembakaran pada *straight burner* di unit rotary kiln menggunakan CFD untuk mengetahui distribusi temperatur dan energi panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar batubara terhadap jumlah udara berlebih dengan perbandingan (aksial dan radial) udara pada variasi yang berbeda.

## 2. STUDI LITERATUR

### 2.1 Burner

*Burner* (pembakar) merupakan salah satu alat yang paling penting dalam proses kalsinasi pembentukan klinker semen. Pada *burner* terjadi reaksi pembakaran bahan bakar menjadi energi yang dibutuhkan pada proses klinkerisasi. Menurut Holderbank (2000) burner merupakan alat pembakaran proses pada *rotary kiln* dimana perambatan proses pembakaran bergantung pada seberapa cepat bahan bakar bersinggungan dengan oksigen. Pembakaran akan menjadi faktor utama dalam menentukan kerja *rotary kiln*.

### 2.2 Pembakaran

Pembakaran merupakan proses terkonversinya bahan bakar menjadi senyawa kimia dengan mengkombinasikannya dengan zat pengoksidasi yang biasanya sering digunakan oksigen yang terdapat pada udara. Menurut Boateng (2008) jumlah panas yang dilepas atau dihasilkan selama pembakaran tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan dimana bahan bakar dievaluasikan berdasarkan jumlah energi atau panas yang dilepaskan per satuan massa, per volume ataupun per mol selama proses pembakaran bahan bakar.

### 2.3 Udara Berlebih

Proses pembakaran sangat memerlukan udara, akan tetapi jumlah udara yang diperlukan tidak digunakan sesuai dengan jumlah yang tepat berdasarkan kondisi stoikiometri. Hal ini dikarenakan pada kenyataannya proses pembakaran tidak ada yang berlangsung secara sempurna. Untuk itu perlu dilakukan penambahan udara (*excess air*). Menurut Yohana (2009) penambahan udara berlebih (*excess air*) sangat penting dalam proses pembakaran, dimana hal ini bertujuan untuk memastikan pembakaran dapat berlangsung secara sempurna. Dengan demikian diharapkan seluruh bahan bakar habis bereaksi dengan udara.

### 2.4 Perbandingan (Aksial dan Radial) Udara

Menurut Holderbank (2000) pemendekan api biasanya dicapai dengan meningkatkan momentum udara primer sampai batasan tertentu dengan cara meningkatkan udara radial dan mengurangi udara aksial secara bersamaan. Menurut Pradeep (2012) zona terbakar pada rotary kiln membutuhkan panas yang hanya bisa didapat dari nyala api yang pendek, tajam dan konvergen. Sehingga, perlu dilakukan peningkatan pada udara radial. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Fitriadi dan Bayu tahun 2010 mengenai simulasi proses pembakaran pada kiln semen berbasis CFD dengan perbandingan udara aksial dan udara radial (1:1 ; 1:2 ; 1:4 ; 2:1 ; dan 4:1) diperoleh temperatur tertinggi yang dihasilkan dari proses pembakaran yaitu pada perbandingan

udara aksial dan udara radial 1:4. Menurut Shrinath (2015) momentum udara primer dan putaran udara harus disesuaikan untuk membuat nyala api yang tajam (pendek) dan stabil dengan membuka *dampers* udara aksial sebesar 100% dan membuka *dampers* udara radial sebesar 20%.

## 2.5 Computational Fluid Dynamics (CFD)

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan suatu metode perhitungan maupun suatu prediksi atau pendekatan terhadap suatu fluida secara numerik dengan bantuan komputer. Menurut Versteeg (1995) CFD adalah salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa masalah yang terjadi pada aliran fluida. Secara umum proses penghitungan CFD terdiri atas 3 bagian utama :

### 1. Preprocessor

*Preprocessor* adalah tahap pengisian data mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian *boundary condition*. Ditahap ini juga sebuah benda atau ruangan yang akan dianalisa dibagi-bagi dengan jumlah grid tertentu atau sering juga disebut dengan *meshing*.

### 2. Processor

*Processor* adalah proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Penghitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit.

### 3. Post Processor

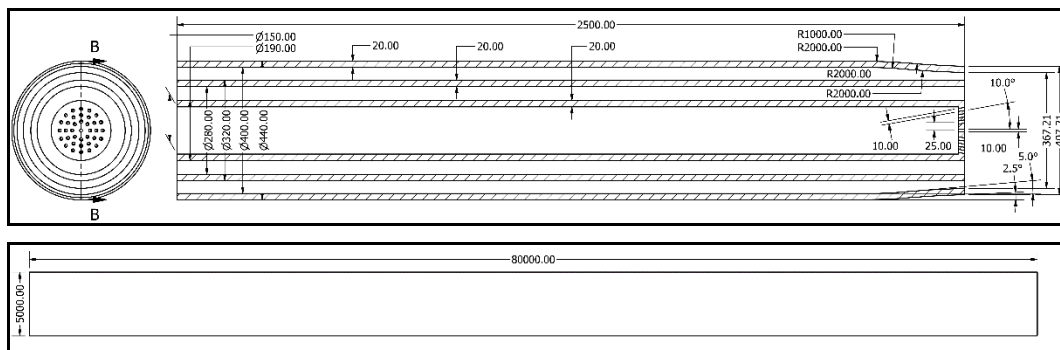
*Post processor* adalah proses akhir dari CFD dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola warna tertentu. Karena meningkatnya popularitas *workstation* teknik, banyak di antaranya memiliki kemampuan grafis yang luar biasa, paket CFD terdepan sekarang dilengkapi dengan alat visualisasi data serbaguna seperti : geometri domain dan tampilan grid, plot vektor, baris dan plot, plot permukaan 2D dan 3D, pelacakan partikel, melihat manipulasi (terjemahan, rotasi, penskalaan dll) dan warna *output postscript*.

## 3. METODELOGI

### 3.1 Preprosesor

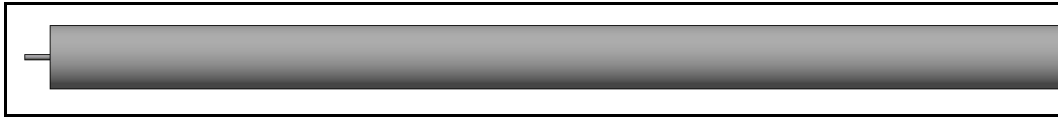
*Preprosesor* terdiri atas penggambaran geometri alat menggunakan software Autodesk Inventor Professional 2019 hingga pendefinisian geometri dan *boundary condition* menggunakan software ANSYS Student 19.0. Adapun beberapa tahapannya yaitu sebagai berikut.

1. Penggambaran tiap *part* alat seperti *burner* dan *rotary kiln* pada *software* Autodesk Inventor Professional 2019 (*student version*) dengan ukuran ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Ukuran desain part alat

2. Melakukan *assembly* (penyatuan gambar) menjadi satu bagian yang utuh seperti ditunjukkan Gambar 2 kemudian gambar diekspor dengan format *.igs file*.



**Gambar 2. Burner dan rotary kiln setelah tahapan assembly**

3. Melakukan *import* gambar *.igs* pada software ANSYS dan melakukan pendefinisian geometri hingga *meshing* serta pendefinisian *boundary condition*.

### 3.2 Prosesor

Pada tahapan ini merupakan tahapan perhitungan data-data input dengan melakukan *run iteration* menggunakan *Fluent* pada software ANSYS Student 19.0. Adapun beberapa tahapannya yaitu sebagai berikut.

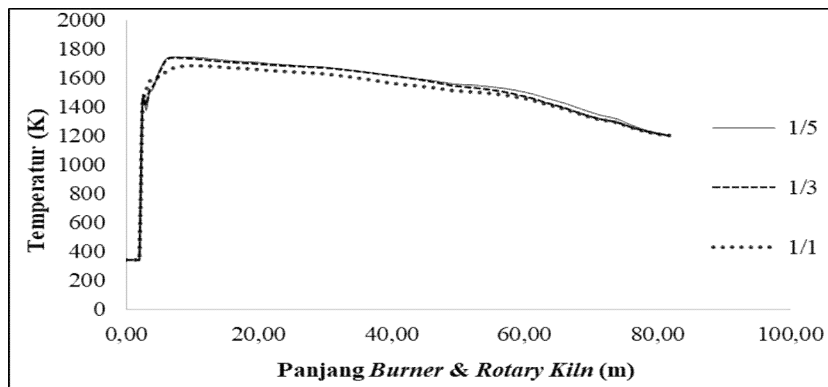
1. Menentukan *initialitation* sebagai defenisi awal daripada perhitungan saat melakukan proses iterasi, lalu melakukan *patch*.
2. Setelah melakukan *initialitation* dan *patch*, lakukan pendefinisian banyaknya jumlah *run* yang diinginkan kemudian *run iteration*.

### 3.3 Postprosesor

Tahapan ini merupakan tahapan akhir dalam pelaksanaan penelitian yaitu berisi tahapan-tahapan *output* atau tahapan pengambilan hasil daripada proses simulasi. Adapaun tahapannya yaitu sebagai berikut.

1. Menampilkan *contour* dan grafik distribusi temperatur.
2. Menampilkan total energi hasil pembakaran pada simulasi.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

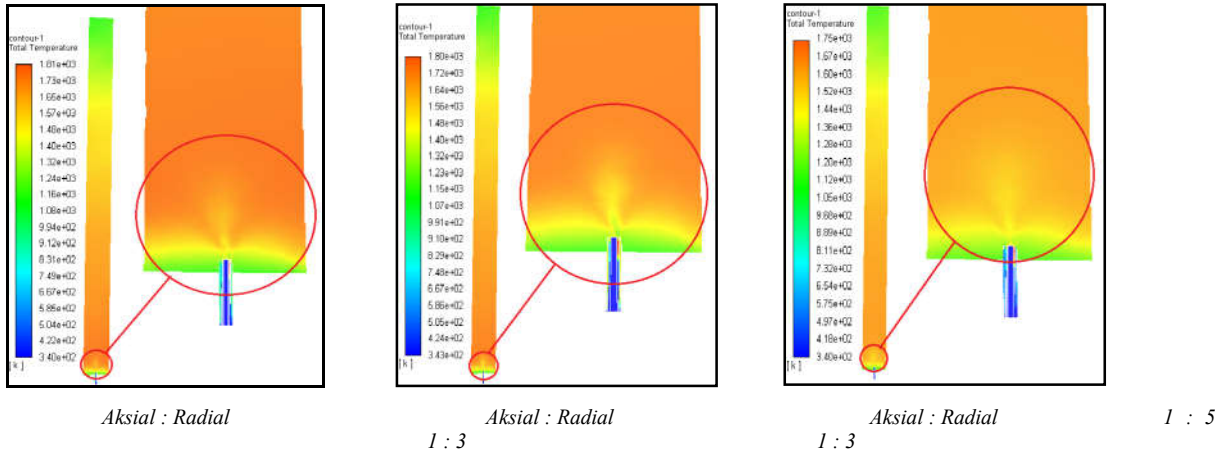


**Gambar 1. Distribusi temperatur pada udara berlebih (*excess air*) 1 %**

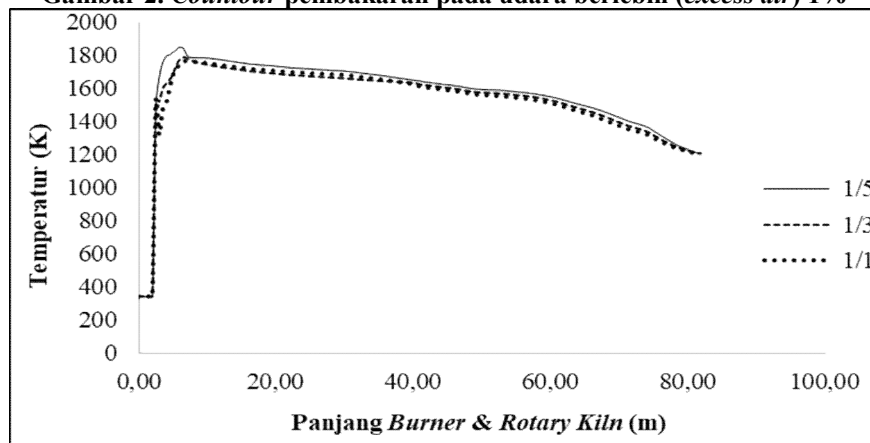
Dilihat dari Gambar 1. Distribusi temperatur cukup merata di sepanjang *rotary kiln* dengan temperatur tertinggi yaitu pada perbandingan (aksial dan radial) udara 1 : 5 dengan temperatur sebesar 1.748 K. Kemudian diikuti pada perbandingan (aksial dan radial) udara 1 : 3 dengan teperatur sebesar 1.741 K dan pada perbandingan (aksial dan radial) udara 1 : 1 dengan temperatur sebesar 1.688 K. Distribusi temperatur yang cenderung merata disebabkan karena kurang sempurnanya proses pembakaran pada penambahan udara berlebih (*excess air*) sebesar 1 %. Sehingga menimbulkan lidah api yang panjang karena lamanya waktu yang dibutuhkan bahan bakar untuk habis bereaksi dengan zat pengoksidasi (oksigen dalam udara) yang akan menyebabkan pemerataan distribusi temperatur.

Pada penambahan udara radial terbesar yaitu pada perbandingan (aksial dan radial) udara 1:5 temperatur yang dihasilkan adalah yang paling tinggi dikarenakan udara radial akan meningkatkan turbulensi aliran di dalam proses pembakaran. Sehingga proses pencampuran antara bahan bakar dengan zat pengoksidasi (oksigen dalam udara) menjadi lebih cepat dan proses pembakaran berlangsung lebih sempurna. Akan tetapi terjadi

penurunan temperatur yang cenderung lebih tinggi sehingga distribusi temperatur kurang merata. Hal ini dikarenakan semakin cepatnya waktu yang dibutuhkan bahan bakar untuk bereaksi dengan zat pengoksidasi (oksigen dalam udara) menyebabkan lidah api yang pendek dan tajam sehingga panas reaksi tidak mencapai ujung dari *rotary kiln*. *Contour* pembakaran pada penambahan udara berlebih (*excess air*) 1 % dapat dilihat pada Gambar 2.



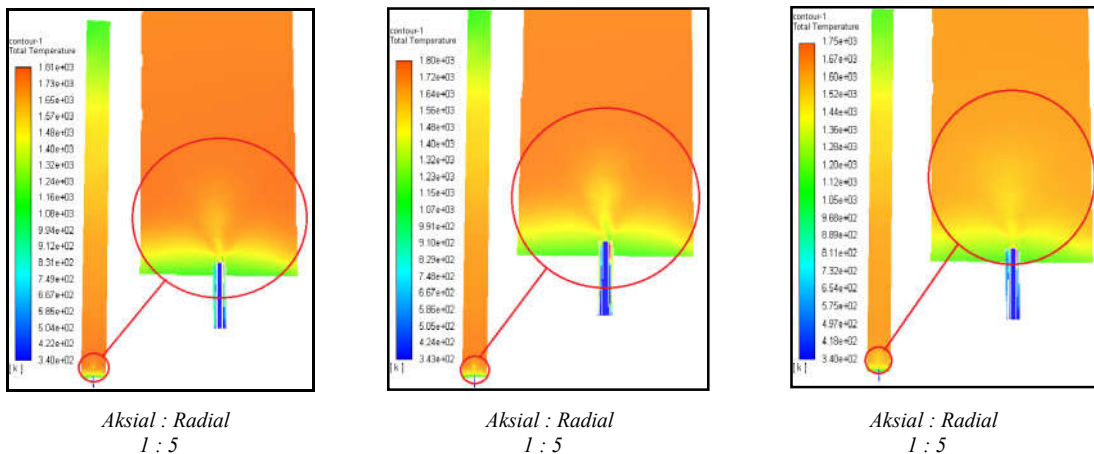
**Gambar 2. Countour pembakaran pada udara berlebih (*excess air*) 1%**



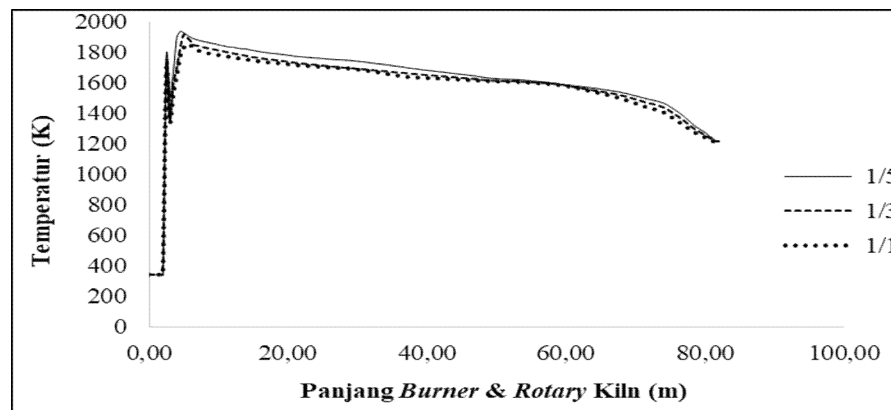
**Gambar 3. Distribusi temperatur pada udara berlebih (*excess air*) 2 %**

Dilihat dari Gambar 3. Distribusi temperatur cukup merata di sepanjang *rotary kiln* dan temperatur yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan pada penambahan udara berlebih 1 % dengan temperatur tertinggi yaitu pada perbandingan (aksial dan radial) udara 1 : 5 dengan temperatur sebesar 1.852 K. Kemudian diikuti pada perbandingan (aksial dan radial) udara 1 : 3 dengan teperatur sebesar 1.788 K dan pada perbandingan (aksial dan radial) udara 1 : 1 dengan temperatur sebesar 1.761 K. Peningkatan temperatur disebabkan karena adanya penambahan udara berlebih (*excess air*) yang akan memenuhi kebutuhan udara dalam mereaksikan bahan bakar.

Seperti pembahasan sebelumnya, penambahan udara radial terbesar yaitu pada perbandingan (aksial dan radial) udara 1 : 5 temperatur yang dihasilkan adalah yang paling tinggi dikarenakan udara radial akan meningkatkan turbulensi aliran di dalam proses pembakaran. Sehingga proses pencampuran antara bahan bakar dengan zat pengoksidasi (oksigen dalam udara) menjadi lebih cepat dan proses pembakaran berlangsung lebih sempurna. Akan tetapi juga terjadi penurunan temperatur yang cenderung lebih tinggi sehingga distribusi temperatur kurang merata. Hal ini dikarenakan semakin cepatnya waktu yang dibutuhkan bahan bakar untuk bereaksi dengan zat pengoksidasi (oksigen dalam udara) menyebabkan lidah api yang pendek dan tajam sehingga panas reaksi tidak mencapai ujung dari *rotary kiln*. *Contour* pembakaran pada penambahan udara berlebih (*excess air*) 2 % dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Contour pembakaran pada udara berlebih (*excess air*) 2%

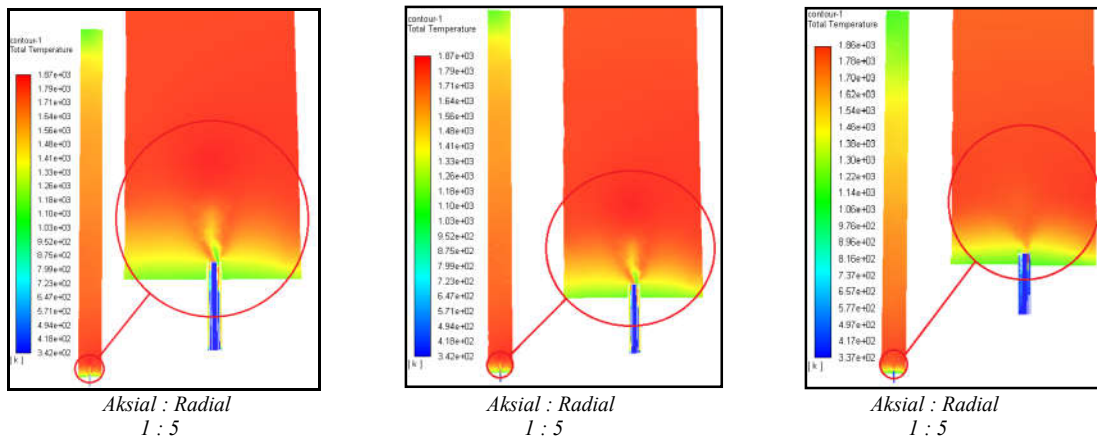


Gambar 5. Distribusi temperatur pada udara berlebih (*excess air*) 3 %

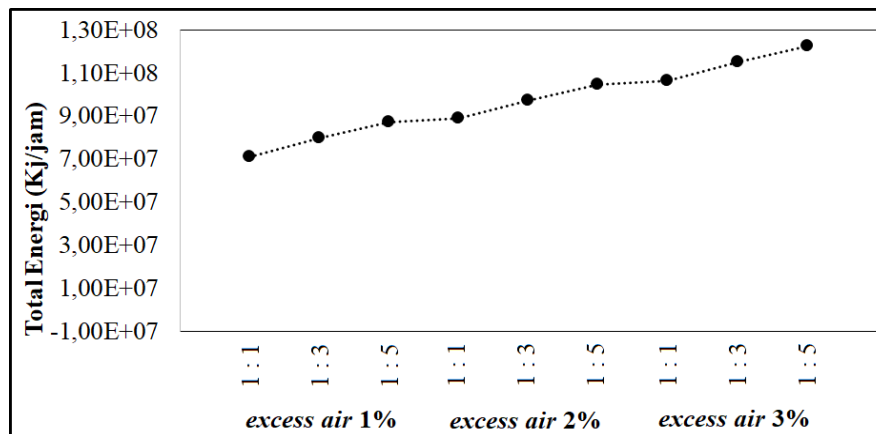
Dilihat dari Gambar 5. Distribusi temperatur cukup merata di sepanjang *rotary kiln* dan temperatur yang dihasilkan adalah yang paling tinggi dibandingkan pada penambahan udara berlebih 1 % dan 2 % dengan temperatur tertinggi yaitu pada perbandingan (aksial dan radial) udara 1 : 5 dengan temperatur sebesar 1.938 K. Kemudian diikuti pada perbandingan (aksial dan radial) udara 1 : 3 dengan temperatur sebesar 1.916 K dan pada perbandingan (aksial dan radial) udara 1 : 1 dengan temperatur sebesar 1.858 K. Peningkatan temperatur disebabkan karena adanya penambahan udara berlebih (*excess air*) yang akan memenuhi kebutuhan udara dalam mereaksikan bahan bakar. Dimana semakin besar penambahan udara berlebih (*excess air*) maka proses reaksi akan berlangsung lebih cepat dikarenakan kebutuhan udara yang terpenuhi.

Seperti pembahasan sebelumnya, penambahan udara radial terbesar yaitu pada perbandingan (aksial dan radial) udara 1 : 5 temperatur yang dihasilkan adalah yang paling tinggi dikarenakan udara radial akan meningkatkan turbulensi aliran di dalam proses pembakaran. Sehingga proses pencampuran antara bahan bakar dengan zat pengoksidasi (oksigen dalam udara) menjadi lebih cepat dan proses pembakaran berlangsung lebih sempurna. Akan tetapi juga terjadi penurunan temperatur yang cenderung lebih tinggi sehingga distribusi temperatur kurang merata. Hal ini dikarenakan semakin cepatnya waktu yang dibutuhkan bahan bakar untuk bereaksi dengan zat pengoksidasi (oksigen dalam udara) menyebabkan lidah api yang pendek dan tajam sehingga panas reaksi tidak mencapai ujung dari *rotary kiln*. Contour pembakaran pada penambahan udara berlebih (*excess air*) 3 % dapat dilihat pada Gambar 6.





Gambar 6. Contour pembakaran pada udara berlebih (*excess air*) 3 %



Gambar 7. Grafik total energi terhadap perbandingan (aksial dan radial) udara dan udara berlebih (*excess air*)

Gambar 7. Menunjukkan bahwa semakin tinggi udara radial pada perbandingan (aksial dan radial) udara maka semakin tinggi total energi yang dihasilkan dari proses reaksi pembakaran bahan bakar dengan zat pengoksidasi (oksigen dalam udara). Begitu pula pada penambahan udara berlebih, semakin tinggi penambahan udara berlebih (*excess air*) maka akan semakin tinggi pula total energi hasil pembakaran. Hal ini dikarenakan dengan adanya peningkatan udara radial maka akan meningkatkan turbulensi aliran sehingga proses pencampuran bahan bakar dengan zat pengoksidasi (*excess air*) menjadi lebih cepat dan semakin lebih sempurna. Akan tetapi terdapat batasan dalam penambahan udara radial, dimana apabila penambahan udara radial terlalu tinggi maka akan menyebabkan api yang terlalu pendek sehingga menyebabkan panas yang tidak tersebar secara merata di sepanjang *rotary kiln*.

Pada penambahan udara berlebih (*excess air*) akan memenuhi jumlah kebutuhan udara sehingga bahan bakar akan lebih cepat bereaksi dengan zat pengoksidasi (oksigen dalam udara). Akan tetapi terdapat batasan dalam penambahan udara berlebih yaitu maksimal 10 %. Hal ini dikarenakan pada udara terdapat gas nitrogen yang akan bereaksi membentuk gas  $\text{No}_x$  dimana gas tersebut akan menyerap panas sehingga akan terjadi penurunan panas.

## 5. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari pelaksanaan penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Semakin meningkatnya udara radial pada perbandingan (aksial dan radial) udara yaitu pada 1 : 5 maka temperatur hasil pembakaran akan semakin meningkat dan tingkat penurunan temperatur di sepanjang *rotary kiln* semakin tinggi.

2. Semakin meningkatnya penambahan udara berlebih (*excess air*) yaitu pada penambahan 3 % maka semakin tinggi temperatur hasil pembakaran dan tingkat penurunan temperatur di sepanjang *rotary kiln* juga semakin tinggi.
3. Semakin meningkatnya udara radial pada perbandingan (aksial dan radial) udara yaitu pada 1 : 5 maka total energi hasil pembakaran juga akan semakin meningkat.
4. Semakin meningkatnya penambahan udara berlebih (*excess air*) yaitu pada penambahan 3 % maka total energi hasil pembakaran juga akan semakin meningkat.

## 5.2 Saran

Adapun saran pada penelitian ini yaitu pada saat melaksanakan penelitian diharapkan desain geometri sesuai dengan desain asli. Selain itu bagi para peneliti selanjutnya, diharapkan untuk melihat pengaruh peningkatan udara berlebih (*excess air*) hingga 10 % dan melihat pengaruh penambahan udara radial pada perbandingan (aksial dan radial) udara lebih dari 1 : 5.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Boateng, A. A. (2008) 'Rotary Kiln - Transport Phenomena and Transport Processes', Elsevier Inc. ISBN : 978-0-7506-7877-3.
- Fitriady, M. A. (2010) 'Simulasi Proses Pembakaran Pada Kiln Semen Berbasis CFD Surabaya 2010'.
- Holderbank (2000) 'Burners and Flames Combined Firing of Different Fuels Oxygen Enrichment'.
- Pradeep, K. (2011) 'Flame For Cement kiln'. Hindia. doi: 130330054217-phpapp02.
- Shrinath, B. (2015) 'Cement Quality Enhancement with Multi Channel Burner in Kiln-Department'.
- United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). (1994) 'Output of a Seminar on Energy Conservation in Cement Industry', Japan.
- Versteeg, H. (1995) 'an-introduction-to-computational-fluid-dynamics. USA
- Yohana, E. (2009) 'Perhitungan Efisiensi Dan Konversi Dari Bahan Bakar Solar Ke Gas Pada Boiler Ebara HKL 1800 KA', 11, pp. 13–16.