

**TUGAS AKHIR – TL 184834**

**ANALISIS PENGARUH DIAMETER TUYER TERHADAP  
VOIDAGE, KECEPATAN GAS DAN DISTRIBUSI TEKANAN  
PADA *MINI BLAST FURNACE* MENGGUNAKAN METODE DEM-  
CFD COUPLED MODEL**

**MUHAMMAD NAJIB HIBATULLAH PRATAMA  
NRP. 02511640000111**

**Dosen Pembimbing**

**Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng., Ph. D.**

**Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph. D.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020**





**TUGAS AKHIR – TL 184834**

**ANALISIS PENGARUH DIAMETER TUYER TERHADAP  
*VOIDAGE*, KECEPATAN GAS DAN DISTRIBUSI  
TEKANAN PADA *MINI BLAST FURNACE*  
MENGUNAKAN METODE *DEM-CFD COUPLED*  
*MODEL***

**MUHAMMAD NAJIB HIBATULLAH PRATAMA**  
NRP. 02511640000111

Dosen Pembimbing  
Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng., Ph. D.  
Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – TL 184834**

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF TUYER DIAMETER ON  
VOIDAGE, GAS VELOCITY AND PRESSURE  
DISTRIBUTION IN THE MINI BLAST FURNACE USING  
THE DEM-CFD COUPLED MODEL METHOD**

**MUHAMMAD NAJIB HIBATULLAH PRATAMA**  
NRP. 02511640000111

Supervisors

Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng., Ph. D.

Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology and System Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2020

*(This page is intentionally left blank)*

**ANALISIS PENGARUH DIAMETER TUYER TERHADAP  
VOIDAGE, KECEPATAN GAS DAN DISTRIBUSI  
TEKANAN PADA *MINI BLAST FURNACE*  
MENGUNAKAN METODE *DEM-CFD COUPLED*  
MODEL**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**MUHAMMAD NAJIB HIBATULLAH PRATAMA**  
NRP 02511640000111

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng., Ph. D.....(Pembimbing I)
2. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D. .... (Pembimbing II)



**SURABAYA**  
**Juli 2020**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**ANALISIS PENGARUH DIAMETER TUYER TERHADAP  
VOIDAGE, KECEPATAN GAS DAN DISTRIBUSI  
TEKANAN PADA *MINI BLAST FURNACE*  
MENGUNAKAN METODE *DEM-CFD COUPLED*  
MODEL**

**Nama** : Muhammad Najib Hibatullah Pratama  
**NRP** : 0251164000111  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing I** : Lukman Noerochin, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D.  
**Pembimbing II** : Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.  
**Abstrak**

*Kebutuhan nikel di dunia semakin meningkat dengan meningkatnya permintaan terhadap barang-barang dengan bahan dasar nikel yang dicampur dengan besi dan krom (stainless steel). Di Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS sedang melakukan penelitian mengenai alat pengolahan nikel yaitu dengan membuat mini blast furnace. Dalam mini blast furnace ini terdapat bagian bernama tuyer yang berfungsi untuk mensuplai udara ke dalam mini blast furnace. Penelitian dengan memvariasikan diameter tuyer ini akan memakan banyak sumber daya, oleh karena itu pada penelitian kali ini dilakukan dengan pemodelan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh diameter tuyer terhadap voidage, kecepatan gas serta distribusi tekanan secara pemodelan. Dalam penelitian ini dilakukan pemodelan dengan variasi diameter tuyer 40mm, 60mm dan 80mm untuk menganalisis diameter tuyer yang optimal. Analisis komputasi dilakukan dengan menggunakan metode discrete element method untuk menganalisis voidage, lalu dilakukan coupling computational fluid dynamic untuk menganalisis kecepatan gas dan distribusi tekanan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin bertambahnya ukuran diameter tuyer akan menurunkan nilai voidage. Dalam penelitian ini nilai voidage paling optimal ditunjukkan oleh variasi diameter tuyer 40mm. Semakin bertambahnya ukuran dari diameter tuyer*

*juga membuat kecepatan gas semakin menurun. Kecepatan gas tertinggi terletak di area didepan tuyer pada variasi diameter 40mm. Tekanan gas juga meningkat seiring dengan bertambahnya ukuran diameter tuyer, dengan nilai pressure drop yang paling rendah untuk variasi diameter 40mm.*

**Kata Kunci: : DEM-CFD, diameter tuyer, Mini blast furnace**

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF TUYER DIAMETER ON  
VOIDAGE, GAS VELOCITY AND PRESSURE  
DISTRIBUTION IN THE MINI BLAST FURNACE USING  
THE DEM-CFD COUPLED MODEL METHOD**

**Student Name : Muhammad Najib Hibatullah Pratama**  
**NRP : 0251164000111**  
**Department : Material and Metallurgical Engineering**  
**Supervisor : Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng., Ph. D.**  
**Co-Supervisor : Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D.**  
**Abstract**

*The need for nickel in the world is increasing with the increasing demand for goods with nickel-based materials mixed with iron and chrome (stainless steel). In the Department of Materials and Metallurgical Engineering, ITS is conducting research on nickel processing equipment, namely by making mini blast furnaces. In this mini blast furnace, there is a part called a tuyer that functions to supply air to the mini blast furnace. Experimental work by varying the diameter of the tuyer will take up many resources. Therefore this research is carried out with modeling. The purpose of this study was to analyze the effect of tuyer diameter on voidage, gas velocity, and pressure distribution by modeling. In this research, modeling with 40mm, 60mm, and 80mm tuyer diameter variations was performed to analyze the optimal tuyer diameter. Computational analysis is performed using the discrete element method to analyze voidage, and then computational fluid dynamic coupling is performed to analyze gas velocity and pressure distribution. The results of this study indicate that increasing the diameter of the tuyer will decrease the voidage value. In this study, the most optimal voidage value is shown by the variation of the 40mm tuyer diameter. The increasing size of the diameter of the tuyer also makes the gas velocity decrease. The highest gas velocity is located in the area in front of the tuyer in 40mm diameter variations. Gas pressure also increases with*

*increasing tuyer diameter, with the lowest pressure drop value for 40mm diameter variation.*

**Keywords:** *DEM-CFD, Mini blast furnace, tuyer diameter*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Pengaruh Diameter Tuyer terhadap Voidage, Kecepatan Gas dan Distribusi Tekanan pada Mini Blast Furnace menggunakan Metode DEM-CFD Coupled Model**” laporan Tugas Akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Departemen Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan dan kesempatan kepada penulis hingga laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan jalan kemudahan dalam proses pengerjaan Tugas Akhir
2. Bapak Sulistya Dwi Susanto dan Ibu Mahmudah Istiqomah yang telah menjadi sumber motivasi dalam pembuatan laporan ini, serta mendoakan dan memberikan dukungan moral.
3. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D. dan Bapak Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir ini
4. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material dan Metalurgi

6. Bapak Fakhreza Abdul, S.T., M.T. selaku dosen wali yang selalu mengayomi penulis selama penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi
7. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi yang telah memberikan pengetahuan dan pembelajaran kehidupan
8. Rekan-rekan Departemen Teknik Material dan Metalurgi
9. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis

Penulis berharap laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini.

Surabaya, 29 Juli 2019  
Penulis

Muhammad Najib Hibatullah Pratama

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xix</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Nikel dan Bijih Nikel .....	5
2.2 Pengolahan Bijih Nikel .....	7
2.3 Batu Bara .....	8
2.4 <i>Blast Furnace</i> .....	9
2.5 <i>Mini Blast Furnace</i> .....	12
2.6 <i>Tuyser</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.7 <i>Raceway</i> .....	15
2.8 Distribusi <i>Burden Material</i> .....	17
2.9 Laju Aliran Gas dalam <i>Blast Furnace</i> .....	18
2.9.1 <i>Central Working Furnace</i> .....	19
2.9.2 <i>Wall Working Furnace</i> .....	20
2.10 Distribusi Tekanan dalam <i>Blast Furnace</i> .....	22
2.11 <i>Discrete Element Method (DEM)</i> .....	23
2.12 <i>Computational Fluid Dynamic (CFD)</i> .....	26
2.13 Penelitian Sebelumnya.....	28
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	31
3.2 Prosedur Pemodelan .....	33

3.3	Sifat Fisik dan Mekanik Material.....	33
3.4	Data Input Analisa Fluida .....	34
3.5	Data Dimensi dan Operasional pada <i>Mini Blast Furnace</i> .....	37
3.5.1	Data Dimensi <i>Mini Blast Furnace</i> .....	37
3.5.2	Data Operasional Proses <i>Charging Burden Materials</i> .....	39
3.5.3	Variabel Diameter Tuyer <i>Mini Blast Furnace</i> .....	40
3.6	Data Spesifik <i>Burden Materials</i> .....	40
3.7	Validasi Data.....	41
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Pemodelan Burden Material.....	43
4.2	Pengaruh Variasi Diameter Tuyer.....	44
4.2.1	Pengaruh Variasi Diameter Tuyer terhadap Distribusi <i>Voidage</i> .....	45
4.2.2	Pengaruh Variasi Diameter Tuyer terhadap Pembentukan <i>Raceway</i> .....	51
4.2.3	Pengaruh Variasi Diameter Tuyer terhadap Distribusi Kecepatan Gas .....	55
4.2.4	Pengaruh Variasi Diameter Tuyer terhadap Distribusi Tekanan .....	61
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
5.1	Kesimpulan .....	67
5.2	Saran .....	67
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>69</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>73</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>		<b>77</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>		<b>79</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Persebaran ketersediaan nikel di Indonesia .....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Bijih nikel sulfida.....	7
<b>Gambar 2.3</b>	Bijih nikel laterit .....	7
<b>Gambar 2.4</b>	Masukan dan keluaran <i>blast furnace</i> .....	11
<b>Gambar 2.5</b>	Zona dalam <i>blast furnace</i> .....	12
<b>Gambar 2.6</b>	Zona pada kupola <i>furnace</i> atau <i>mini blast furnace</i> .....	14
<b>Gambar 2.7</b>	Pengaruh tuyer terhadap proses pada <i>blast furnace</i> .....	15
<b>Gambar 2.8</b>	Hembusan udara panas pada daerah <i>raceway</i> dalam <i>blast furnace</i> .....	17
<b>Gambar 2.9</b>	Distribusi <i>burden material</i> .....	18
<b>Gambar 2.10</b>	Distribusi aliran gas <i>central working furnace</i> .....	19
<b>Gambar 2.11</b>	Distribusi aliran gas <i>wall working furnace</i> .....	21
<b>Gambar 2.12</b>	Model skematik gaya interaksi antarpartikel .....	24
<b>Gambar 2.13</b>	Skema perbandingan (a) FEM dan (b) FVM .....	28
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian.....	32
<b>Gambar 3.2</b>	Geometri MBF dalam 2 dimensi.....	38
<b>Gambar 3.3</b>	Geometri MBF dalam 3 dimensi.....	39
<b>Gambar 3.4</b>	Variasi diameter tuyer (a) $D = 40\text{mm}$ ; (b) $D = 60\text{mm}$ ; (c) $D = 80\text{mm}$ .....	40
<b>Gambar 3.5</b>	Ukuran <i>burden materials</i> .....	41
<b>Gambar 4.1</b>	Pemodelan distribusi <i>burden material</i> pada <i>bed</i> MBF (a) tampak atas (b) tampak samping .....	43
<b>Gambar 4.2</b>	Ketinggian <i>bed</i> awal dengan massa <i>coal</i> 122 Kg .....	44
<b>Gambar 4.3</b>	Plot perhitungan <i>voidage</i> di ketinggian (a) 0-5cm (b) 10-15cm (c) 20-25cm (d) 30-35cm (e) 40-45cm .....	46
<b>Gambar 4.4</b>	Plot perhitungan <i>voidage</i> tampak atas .....	46
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik nilai plot perhitungan <i>voidage</i> .....	47

<b>Gambar 4.6</b>	<i>Voidage</i> yang terbentuk pada berbagai variasi diameter tuyer (a) D=40mm; (b) D=60mm; (c) D=80mm .....	47
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik rata-rata <i>voidage</i> di bawah tuyer (plot area a, b, dan c).....	49
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik rata-rata <i>voidage</i> di tuyer <i>level</i> (plot area d dan e).....	49
<b>Gambar 4.9</b>	<i>Cross-section</i> MBF .....	52
<b>Gambar 4.10</b>	Vertikal <i>cross-section</i> pada MBF.....	52
<b>Gambar 4.11</b>	<i>Cross-section</i> MBF pada berbagai variasi diameter tuyer (a) 40mm, (b) 60mm, dan (c) 80mm .....	53
<b>Gambar 4.12</b>	Vertikal <i>cross-section</i> MBF pada berbagai variasi diameter tuyer (a) 40mm, (b) 60mm, dan (c) 80mm.....	54
<b>Gambar 4.13</b>	Hasil <i>countour</i> simulasi kecepatan gas pada berbagai variasi diameter tuyer (a) 40mm, (b) 60mm, dan (c) 80mm .....	56
<b>Gambar 4.14</b>	Hasil profil kecepatan gas pada berbagai variasi diameter tuyer (a) 40mm; (b) 60mm; dan (c) 80mm.....	58
<b>Gambar 4.15</b>	Metode garis untuk perhitungan kecepatan terhadap ketinggian.....	59
<b>Gambar 4.16</b>	Grafik kecepatan terhadap ketinggian pada diameter tuyer 40mm .....	59
<b>Gambar 4.17</b>	Grafik kecepatan terhadap ketinggian pada diameter tuyer 60mm .....	60
<b>Gambar 4.18</b>	Grafik kecepatan terhadap ketinggian pada diameter tuyer 80mm .....	60
<b>Gambar 4.19</b>	Hasil <i>countour</i> simulasi tekanan gas pada berbagai variasi diameter tuyer (a) 40mm; (b) 60mm; dan (c) 80mm .....	63
<b>Gambar 4.20</b>	Hubungan antara tekanan terhadap ketinggian di dalam <i>furnace</i> untuk diameter tuyer 40mm.....	64

- Gambar 4.21** Hubungan antara tekanan terhadap ketinggian di dalam *furnace* untuk diameter tuyer 60mm.....64
- Gambar 4.22** Hubungan antara tekanan terhadap ketinggian di dalam *furnace* untuk diameter tuyer 80mm.....65

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Gaya dan torsi dari sebuah partikel dalam analisis DEM.....	25
<b>Tabel 2.2</b> Referensi penelitian sebelumnya mengenai <i>blast furnace</i> .....	28
<b>Tabel 3.1</b> Data sifat fisik dan mekanik material .....	34
<b>Tabel 3.2</b> <i>Model</i> dan <i>solution setup</i> .....	34
<b>Tabel 3.3</b> <i>Setting calculation activities</i> .....	35
<b>Tabel 3.4</b> Kecepatan fluida .....	36
<b>Tabel 3.5</b> Properti input .....	36
<b>Tabel 3.6</b> Data geometri <i>mini blast furnace</i> .....	37
<b>Tabel 3.7</b> Massa <i>charging</i> untuk <i>mini blast furnace</i> .....	39
<b>Tabel 3.8</b> Data variabel diameter tuyer.....	40
<b>Tabel 4.1</b> Nilai plot perhitungan <i>voidage</i> .....	46
<b>Tabel 4.2</b> Nilai rata-rata <i>voidage</i> di bawah tuyer (plot area a, b, dan c) .....	49
<b>Tabel 4.3</b> Nilai rata-rata <i>voidage</i> di tuyer <i>level</i> (plot area d dan e) .....	49

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Nikel merupakan logam yang kegunaannya sangat tinggi untuk menjawab kebutuhan masyarakat saat ini. Terlebih lagi ketika penelitian semakin berkembang yang mana menambahkan kromium dan nikel pada baja yang membuahkan baja tahan karat membuat kebutuhan nikel pada pelaku industri semakin tinggi untuk menjawab kebutuhan dari masyarakat. Bijih nikel yang tersedia di dunia terdapat dua jenis bijih yaitu, bijih nikel laterit dan bijih nikel sulfida. (Crundwell 2011)

Menurut data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada Bulan September 2019, cadangan biji nikel di dunia, Indonesia menempati peringkat pertama diatas Australia, Brazil, Rusia dan negara lainnya. Hampir 23% cadangan bijih nikel di dunia terletak di Indonesia, hal ini menunjukkan bahwa Indonesia merupakan salah satu penyimpan bijih nikel terbesar di dunia, yang seharusnya mampu mencukupi kebutuhan masyarakat dunia dalam konsumsi nikel untuk menjadi material siap pakai.

Dari data-data yang telah ada di atas, ditambah dengan diterbitkannya UU No. 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara, yang mana Pemegang Izin Usaha Pertambangan (IUP) dan Izin Usaha Pertambangan Khusus (IUPK) Operasi Produksi wajib melakukan pengolahan dan pemurnian hasil penambangan di dalam negeri. Dalam UU Minerba tersebut juga dijelaskan bahwasanya ekspor bahan baku mineral dilarang, dan wajib mengolah mineral di dalam negeri mulai Januari 2014. Dalam hal ini Departemen Teknik Material dan Metalurgi membantu dalam mengakselerasi peningkatan kemampuan anak bangsa untuk mengolah Sumber Daya Alamnya sendiri, yaitu dengan mengembangkan suatu alat *mini blast furnace* untuk mendukung UU No. 4 Tahun 2009 tentang Pertambangan Mineral dan Batubara. (Puguh 2009)

Proses pengolahan bijih nikel umumnya menggunakan alat bernama *blast furnace* atau *mini blast furnace*. Dalam alat *mini blast furnace* ini terdapat suatu bagian bernama tuyer. Dimana tuyer memiliki peranan penting dalam proses ekstraksi. Salah satu fungsi tuyer adalah sebagai suplai udara untuk keberlangsungan proses yang ada pada *mini blast furnace*. Tentunya untuk pembentukan suatu bagian ini perlu adanya tinjauan yang mendalam mengenai bagaimana tuyer yang ideal. Salah satu yang menjadi fokus penelitian kali ini adalah pengaruh mengenai diameter tuyer terhadap keberlangsungan proses di dalam *mini blast furnace*, utamanya mengenai *voidage*, kecepatan gas, dan distribusi tekanan. Untuk mengetahui pengaruhnya perlu adanya penelitian mengenai hal tersebut.

Untuk melakukan penelitian dengan memvariasikan diameter tuyer pada *mini blast furnace* akan membutuhkan banyak sumber daya, mulai dari pembuatan tuyer hingga pembelian bahan bakar. Oleh karena itu untuk mencapai efektivitas penelitian digunakanlah metode penelitian dengan menggunakan metode *modelling*. Dalam melakukan *modelling* ini terdapat beberapa aplikasi penunjang untuk memudahkan penelitian. Pertama, *solidwork* untuk melakukan perwujudan dari geometri. Setelah itu aplikasi EDEM untuk mengetahui bagaimana distribusi dari partikel material solid tersebut. Dan setelah itu dilanjutkan ke proses *coupling* menuju ANSYS-Fluent. Metode penelitian ini menggunakan metode *discrete element method – computational fluid dynamic* (DEM – CFD).

Dengan melakukan penelitian ini diharapkan dapat menjawab kebutuhan yaitu mengenai analisis pengaruh diameter tuyer terhadap *voidage*, kecepatan gas, dan distribusi tekanan pada *mini blast furnace*, dengan efektif, efisien dan mampu menekan biaya penelitian.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan pada tugas akhir ini yaitu :



1. Bagaimana pengaruh diameter tuyer terhadap *voidage* pada *mini blast furnace* secara pemodelan?
2. Bagaimana pengaruh diameter tuyer terhadap kecepatan gas pada *mini blast furnace* secara pemodelan?
3. Bagaimana pengaruh diameter tuyer terhadap distribusi tekanan pada *mini blast furnace* secara pemodelan?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Analisis hanya dilakukan pada bagian *bed*
2. Ukuran *coal* dianggap homogen
3. Peran *small bell* diabaikan dengan persebaran *burden materials* dianggap telah merata
4. Reaksi di dalam *mini blast furnace* diabaikan
5. Kondisi *mini blast furnace* dianggap *steady state*
6. Proses *melting* dari bijih diabaikan

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian tugas akhir ini, adalah :

1. Menganalisis pengaruh diameter tuyer terhadap *voidage* pada *mini blast furnace* secara pemodelan.
2. Menganalisis pengaruh diameter tuyer terhadap kecepatan gas pada *mini blast furnace* secara pemodelan
3. Menganalisis pengaruh diameter tuyer terhadap distribusi tekanan pada *mini blast furnace* secara pemodelan.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat untuk memberikan informasi empirik dan parameter proses yang optimal untuk mengolah bijih nikel menggunakan *mini blast furnace*, khususnya pada bagian bawah *mini blast furnace* dengan variasi diameter tuyer menggunakan metode pemodelan *discrete element method – computational fluid dynamic coupled model*.

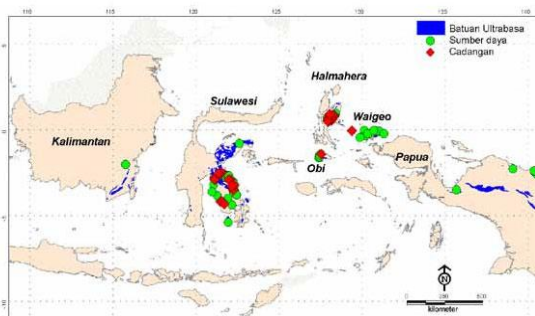
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Nikel dan Bijih Nikel

Nikel adalah unsur kimia metalik dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ni dan nomor atom 28. Nikel juga memiliki ciri-ciri fisik berwarna keperakan, dan memiliki sifat-sifat mekanik tertentu seperti densitas sebesar  $8,90 \text{ g/cm}^3$ , titik leleh sebesar  $1455^\circ\text{C}$  dan titik didih sebesar  $2730^\circ\text{C}$  (Fatchul 2012). Dalam keadaan murni, nikel bersifat lembek, tetapi jika dipadukan dengan besi, krom, dan logam lainnya dapat membentuk baja tahan karat (*stainless steel*) yang banyak diaplikasikan pada peralatan rumah tangga, ornamen-ornamen rumah, serta komponen industri (Mustika 2015)

Nikel juga merupakan salah satu logam yang keberadaannya sangat melimpah di muka bumi ini. Secara garis besar, bijih nikel yang tersedia di dunia dalam 2 bentuk, yaitu bijih nikel laterit dan bijih nikel sulfida. Ketersediaan bijih nikel di dunia dalam bentuk bijih nikel laterit yaitu sebesar 72% sedangkan ketersediaan bijih nikel sulfida di dunia adalah sisanya, yaitu sebesar 18%. Walaupun demikian, proses pengolahan bijih nikel di dunia yang menggunakan bijih nikel laterit hanya sebesar 42% dari seluruh proses di dunia. (Elliot 2016).



**Gambar 2.1** Persebaran ketersediaan nikel di Indonesia (ESDM 2016)

Bijih nikel sulfida pada umumnya terbentuk akibat pencampuran magma cair dari gunung berapi dengan lapisan kulit dari bumi. Sumber dari bijih nikel sulfida berasal dari magma itu sendiri, dan juga dari batuan sebelumnya yang memang mengandung nikel yang telah tercampur oleh magma, karena proses pembentukan bijih nikel sulfida di alam terjadi karena adanya proses pembekuan dan presipitasi. Mineral yang sangat umum dari bijih nikel ini adalah *pentlandite*, *pyrhotite*, dan juga kalkopirit. Sulfida yang ditambang untuk mendapatkan nikel mengandung nikel sebesar 1,5% - 3% Ni (Crundwell 2011). Selanjutnya adalah jenis bijih nikel laterit, dimana bijih nikel laterit merupakan jenis mineral yang terkandung sangat banyak di Indonesia. Endapan bijih nikel laterit tersebar di beberapa daerah seperti Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Maluku dan Papua. Indonesia juga merupakan salah satu penghasil nikel terbesar kelima di dunia, yaitu sebesar 12% (Subagja 2016). Umumnya bijih nikel laterit yang tersedia di alam berbentuk endapan silikat Ni, Mg-Ni silikat pada mineral *Garnierite*; endapan silikat Ni pada mineral *Nontroninite*; dan endapan *oxide* pada mineral *Geothite* (N.W. Brand et al 1997). Bijih nikel dari mineral oksida laterit ada dua jenis yang umumnya ditemui, yaitu saprolit dan limonit. Perbedaan menonjol antara kedua jenis bijih ini adalah kandungan besi (Fe) dan magnesium (Mg). Bijih nikel limonit memiliki kandungan Fe tinggi dan Mg rendah, sedangkan bijih nikel saprolit sebaliknya, yaitu memiliki kandungan Fe rendah dan Mg tinggi. Bijih nikel saprolit juga dibagi menjadi dua jenis berdasarkan kadarnya, yaitu *High Grade Saprolite Ore* (HGSO) dan *Low Grade Saprolite Ore* (LGSO), biasanya HGSO mempunyai kadar Ni  $\geq 2\%$  sedangkan LGSO mempunyai kadar Ni  $< 2\%$  (Golightly 1979).



**Gambar 2.2** Bijih nikel sulfida



**Gambar 2.3** Bijih nikel laterit. (Amazon.co.uk)

## 2.2 Pengolahan Bijih Nikel

Nikel dari bijih nikel laterit dapat diekstrak dengan menggunakan dua metode yang berbeda, yaitu dengan menggunakan metode pirometalurgi atau hidrometalurgi, tergantung pada sifat *gangue* tersebut. Secara umum, laterit silikat dengan kandungan magnesium yang tinggi dapat diekstrak dengan menggunakan cara reduksi *roasting* lalu dilanjutkan dengan

amonias *leaching* atau dengan menggunakan pirometalurgi, sedangkan bijih nikel limonit dengan kandungan magnesium yang rendah dan kandungan besi yang tinggi biasanya di ekstraksi dengan menggunakan proses hidrometalurgi (Diaz 1988). Karena lapisan limonit sangat tidak cocok untuk ditingkatkan kadarnya, sekitar 40% dari bijih nikel laterit yang cocok untuk proses *smelting* dan diperkirakan dalam bentuk nikel-magnesium silikat terhidrasi (bijih saprolit). Sedangkan peningkatan kadar lapisan saprolit juga terbatas untuk peningkatan konsentrasi nikel. Hal ini merupakan perbedaan utama antara bijih nikel laterit dan bijih nikel sulfida yang dapat dilakukan proses benefisiasi dari 10% menjadi 28% (Tyroler 1998).

Namun juga terdapat metode lain untuk mengekstraksi bijih nikel laterit, yaitu dengan menggunakan *blast furnace*. Hasilnya adalah *Nickel Pig Iron* (NPI), sebuah paduan feronikel dengan kadar Ni yang rendah. NPI digunakan untuk menghasilkan suatu baja yang memiliki ketahanan karat (*stainless steel*) dan juga untuk menghasilkan baja yang memiliki kekuatan tinggi (kekuatan tarik tinggi, ketahanan temperatur tinggi, kemampuan las yang tinggi, bahkan hingga membuat suatu baja yang bersifat kriogenik atau tahan terhadap temperatur yang rendah). NPI dihasilkan dari laterit sinter yang dileburkan di dalam *blast furnace* dengan *working volume* berkisar 80 – 220 m<sup>3</sup>. Selain laterit sinter, dimasukkan juga kokas sebagai reduktor dan bahan bakar dan kapur sebagai *flux* (Nurjaman 2016).

### 2.3 Batu Bara

Batu bara tersedia cukup melimpah di Indonesia menurut data Badan Geologi pada tahun 2014 sumber daya batu bara yang tersedia sebesar 124.796 milyar ton dan cadangan 32,38 milyar ton. Dengan adanya hal ini tentu sangat bisa dimanfaatkan untuk memproduksi material-material yang mampu menjawab kebutuhan masyarakat, yang salah satunya adalah nikel. Peran batu bara dalam proses pengolahan nikel sangat vital, utamanya untuk memenuhi tiga fungsi penting, yaitu menghasilkan panas, sebagai

agen pereduksi dan sebagai pendukung struktur material. Terlebih dari itu, batu bara juga berperan sebagai penyedia zat karbon dalam proses karbonisasi. Panas dihasilkan dari gasifikasi batu bara di depan tuyer (atau biasa disebut *raceway*) dan terutama dibawa oleh gas panas yang disemburkan. Panas yang dihasilkan dari pembakaran batu bara 80% digunakan dari keseluruhan kebutuhan panas *blast furnace*. Panas dibutuhkan untuk reaksi endotermik, pemanasan awal dan peleburan masukan pemanasan produk cair.

Karbon dan oksigen bereaksi membentuk karbon monoksida secara langsung, untuk penurunan reaksinya dapat dilihat pada persamaan 2.1, 2.2, dan 2.3.



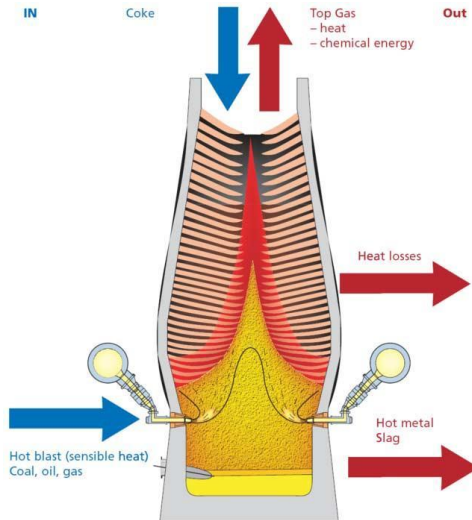
Batu bara juga membentuk permeabilitas gas dalam *blast furnace* dengan dibentuknya *layer* antara batu bara dan *ore*. Pada bagian *layer* batu bara akan terbentuk aliran gas yang teratur dan mengenai *ore*. Hal ini dikarenakan ukuran batu bara memiliki diameter yang lebih besar dibanding *ore* sehingga *voidage* (rongga antara batu bara) akan lebih besar yang menyebabkan gas lebih banyak mengalir ke daerah *voidage* tersebut. Hal ini juga membantu dalam pembentukan gas CO yang lebih efektif. Adanya *voidage* ini juga berfungsi untuk aliran *liquid slag* dan besi cair ke dalam bagian *hearth* (Rizki 2017).

## 2.4 *Blast Furnace*

*Blast furnace* merupakan salah satu reaktor ekstraksi bijih besi berdimensi diameter 12 m dan tinggi 30 m dengan prinsip kerja *counter current flow*, tinggi total *blast furnace* akan naik jika telah terpasang *charging material* pada bagian atas *blast furnace*. Struktur *blast furnace* berbentuk silinder memanjang, dengan dilapisi baja pada bagian luarnya, dan pada bagian dalamnya dilapisi oleh batu tahan api (refraktori). Secara struktur, *blast*

*furnace* memiliki segmen-segmen yang dibangun oleh baja silinder memanjang yang berfungsi sebagai penopang dan penutup. Secara rancang bangun, *blast furnace* ini berbentuk silinder memanjang dengan bagian atas dan bagian bawah dibuat meruncing/konus. Pada puncak dari *blast furnace* terdapat bagian yang bernama *hopper* dan pembuangan gas setinggi 3 m. *Hopper* berfungsi untuk memasukkan material ke dalam *blast furnace*, memasukkan kokas, dan juga mengatur distribusi material umpan agar merata. Selanjutnya, material umpan akan mengalami pemanasan awal pada area *preheat* dan leleh pada area pelelehan serta mengalami pemanasan dengan temperatur tinggi dan tereduksi pada area reduksi. Tahap akhir dari proses pada *blast furnace* adalah pengeluaran logam cair dan *slag*. Pada bagian bawah dari *blast furnace* atau biasa disebut *bosh* dilengkapi dengan beberapa lubang pembuka atau biasa disebut *tuyser*. *Tuyser* memiliki fungsi sebagai pensuplai udara yang akan membuat tiupan aliran udara panas. Pada bagian bawah dekat dengan dasar *bosh* terdapat *tapping hole* atau lubang yang berfungsi sebagai tempat mengalirnya logam cair hasil proses dari *blast furnace*. *Tuyser* terletak di atas *tapping hole* dengan bentuk *tuyser* pada umumnya melingkar mengelilingi *blast furnace*. Struktur *tuyser* biasanya terdiri dari sabuk pipa silinder yang diletakkan pada bagian luar *blast furnace* dan diberikan pipa pengalir masuk ke bagian dalam *blast furnace* dengan pipa pengalir berdiameter lebih kecil dibanding dengan pipa sabuk. Desain *tuyser* ini memberikan andil dalam kesuksesan proses pengolahan dalam proses pada *blast furnace*. Pada bagian ini terdapat lubang untuk mengalirkan *slag*. Lubang ini biasanya terletak pada area di bawah *tuyser* dan diatas *tapping hole* (Rahmat 2016).

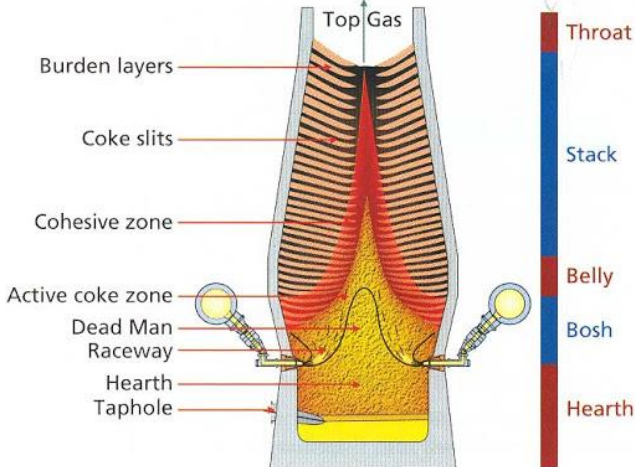




**Gambar 2.4** Masukan dan keluaran *blast furnace* (Geerdes 2004)

Hembusan udara berkecepatan tinggi ini membuat adanya kekosongan pada daerah hembusan, atau yang biasa disebut dengan *raceway*. Daerah ini merupakan daerah dengan temperatur tertinggi pada *blast furnace*, oleh karena itu pada daerah ini umumnya digunakan untuk proses mereduksi dari *discharge* material. Selain *raceway*, daerah utama dalam *blast furnace* yang lain merupakan *cohesive zone*. Pada daerah ini terjadi pelelehan material solid menjadi cairan material atau mengalami proses *softening*. Dengan berlangsungnya proses *softening* ini menyebabkan menurunnya permeabilitas dari material, oleh karena itu distribusi dari *burden material* sangat penting untuk diperhatikan agar proses dapat berjalan dengan baik dengan aliran gas yang terkontrol. Pada daerah ini biasanya material melakukan proses *softening* pada temperatur sekitar  $1200^{\circ}\text{C} - 1400^{\circ}\text{C}$ . Selanjutnya, daerah utama yang terakhir adalah *deadman*, zona *deadman* adalah zona yang mana fasa solid mengalami pergerakan *descending* yang sangat lambat, sehingga disebut zona statis. Zona ini berbentuk konikal dan terletak pada bagian tengah dari *bosh*.

Pada daerah ini batu bara dan kokas akan diam dalam waktu yang relatif lama. Pada zona ini pula terdapat reduksi langsung yang menghasilkan gas CO untuk proses reduksi (Castro 2000).



**Gambar 2.5** Zona dalam *blast furnace* (Geerdes 2004)

## 2.5 *Mini Blast Furnace*

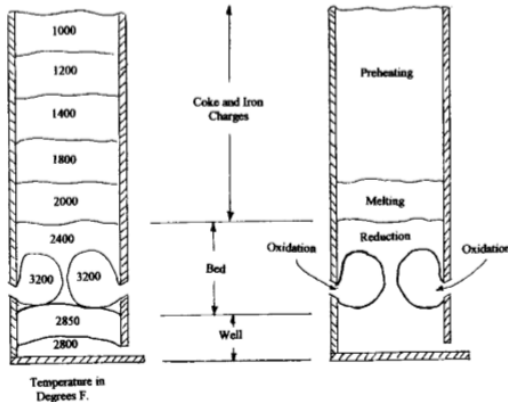
Secara umum, proses yang bekerja pada *mini blast furnace* sama dengan proses yang bekerja pada *blast furnace* dan memadukannya dengan proses pada kupola *furnace*. *Blast furnace* selama ini dikenal dengan teknologi konvensional yang digunakan untuk melebur bijih besi menjadi besi cor atau lebih dikenal dengan *pig iron*. Bahan bakar sekaligus reduktor digunakan kokas atau arang kayu, sedangkan bijih besi yang diumpangkan berupa bongkahan dengan diameter antara 2 – 5 cm (Herianto 2008)

Laboratorium Pengolahan Mineral dan Material, Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS memiliki *prototype* dari *blast furnace*, yaitu *mini blast furnace* dengan kapasitas 10 ton/hari. *Mini blast furnace* ini dibuat dengan mengombinasikan cara kerja kupola dan *blast furnace*, dengan kata lain prinsipnya ialah dengan cara *counter current flow*. *Mini blast furnace* memiliki desain yang mirip seperti kupola untuk peleburan

besi. Oleh karena itu, daerah-daerah yang ada pada *mini blast furnace* juga mirip seperti daerah-daerah yang ada pada kupola (Abdul 2014). Terdapat lima area di dalam kupola, antara lain daerah *well*, pembakaran, reduksi, pelelehan, dan daerah pemanasan awal.

*Well* terletak pada bagian bawah dari kupola, hal ini dikarenakan daerah *well* berguna untuk menampung logam cair. Kedalaman *well* mempengaruhi temperatur logam yang di *tapping*. Logam cair yang lebih panas disebabkan oleh daerah *well* yang dangkal. Pemisahan *slag* terjadi di daerah *well* ini. Daerah pembakaran (*combustion zone*) adalah daerah dimana *blast* masuk ke dalam kupola dan bereaksi dengan kokas untuk membentuk karbon monoksida dan karbon dioksida. Panas dari reaksi dapat memanaskan logam dan membentuk gas panas, yang mana berguna untuk melelehkan dan *preheat* atau melakukan pemanasan awal pada material yang masuk. Hal ini menyebabkan energi termal atau panas terbentuk. Daerah reduksi (*reduction zone*) adalah daerah di luar dari daerah pembakaran dan daerah oksidasi. Logam mengalami *superheated* pada daerah ini. Oksida dari logam juga direduksi pada daerah ini. Daerah pelelehan (*melting zone*) adalah daerah diatas *coke bed* dimana logam benar-benar meleleh pada daerah ini. Zona pelelehan terletak diantara daerah reduksi dan daerah pemanasan awal (*preheat*). Daerah pemanasan awal (*preheat zone*) adalah daerah di atas dari daerah pelelehan dan memanjang hingga ke ujung dari kupola pada bagian pemasukan material. Temperatur material yang masuk harus naik dari temperatur ruangan atau temperatur ambien hingga temperatur pelelehan. Material yang masuk menerima jumlah tambahan panas terbesar pada daerah ini. Gas yang masuk ke dalam daerah ini memiliki temperatur sekitar 2200°F, akan tetapi setelah memberikan panasnya pada material yang masuk, gas keluar dari tanur pada temperatur 400°F hingga 800°F. Daerah pemanasan awal memiliki peran yang penting dimana pelelehan yang bagus bergantung dengan pemanasan awal yang bagus pula, selain itu

daerah pemanasan awal juga berfungsi sebagai pengering material yang masuk (Stephen 2000).



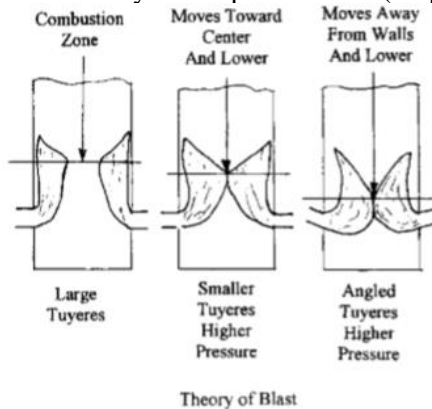
**Gambar 2.6** Zona pada kupola *furnace* atau *mini blast furnace* (Stephen 2000)

## 2.6 Tuyer

Pada bagian bawah dari *blast furnace* atau biasa disebut *bosh* dilengkapi dengan beberapa lubang pembuka atau biasa disebut *tuyer*. *Tuyer* memiliki fungsi sebagai penyuplai udara yang akan membuat tiupan aliran udara panas. Pada bagian bawah dekat dengan dasar *bosh* terdapat *tapping hole* atau lubang yang berfungsi sebagai tempat mengalirnya logam cair hasil proses dari *blast furnace*. *Tuyer* terletak diatas *tapping hole* dengan bentuk *tuyer* pada umumnya melingkar mengelilingi *blast furnace*. Struktur *tuyer* biasanya terdiri dari sabuk pipa silinder yang diletakkan pada bagian luar *blast furnace* dan diberikan pipa pengalir masuk ke bagian dalam *blast furnace* dengan pipa pengalir berdiameter lebih kecil dibanding dengan pipa sabuk. Desain *tuyer* ini memberikan andil dalam kesuksesan proses pengolahan dalam proses pada *blast furnace*. Pada bagian ini terdapat lubang untuk

mengalirkan *slag*. Lubang ini biasanya terletak pada area di bawah *tuyser* dan diatas *tapping hole* (Rahmat 2016).

Daerah pada *tuyser* umumnya bergantung pada bagian dalam dari kupola. Rasio standar untuk kupola berukuran sedikit lebih kecil, umumnya  $\frac{1}{4}$  hingga  $\frac{1}{6}$  dari penampang melintang kupola untuk jumlah *tuyser* yang tersedia. Pada penelitian-penelitian sebelumnya kebanyakan lebih menyukai *tuyser* dengan ukuran diameter yang besar, yang ukurannya semakin besar ketika mendekati kupola. Alasan utama *tuyser* berdiameter besar ini lebih diminati adalah koefisien *discharge* material pada *nozzle* jenis ini tinggi. Namun pada praktik-praktik modern, kebanyakan lebih memilih untuk menggunakan *tuyser* dengan diameter yang kecil, dengan alasan tekanan ledakannya yang lebih tinggi. Teorinya adalah ketika tekanan meningkat kecepatan aliran pada *tuyser* meningkat. Akibatnya penetrasi ledakan *bed* meningkat pula, yang menyebabkan menurunnya zona pembakaran (Stephen 2000).



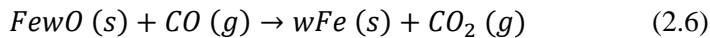
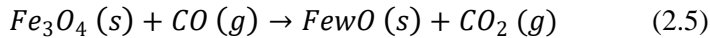
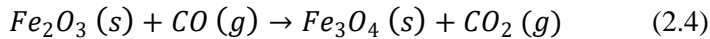
**Gambar 2.7** Pengaruh *tuyser* terhadap proses pada *blast furnace* (Stephen 2000)

## 2.7 Raceway

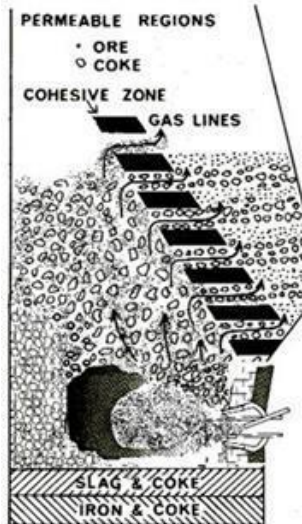
*Raceway* adalah area dimana berlalunya udara yang mengalir dari *tuyser*. Karena aliran udara yang mengalir dengan kecepatan dan tekanan yang sangat tinggi, pada daerah ini terdapat

kekosongan atau *void*. Daerah ini juga merupakan daerah dimana temperatur paling tinggi dalam *blast furnace*, oleh karena itu pada daerah ini digunakan untuk mereduksi dari *discharge* material. Energi panas yang terbentuk akan memanaskan kokas dan terjadi reaksi sehingga terbentuk karbon monoksida dan karbon dioksida.

Karbon monoksida merupakan gas reduktan yang dapat mereduksi oksida besi secara tak langsung. Reduksi oksida besi secara tak langsung terjadi dalam tiga tahapan reaksi kimia, pada persamaan 2.4, 2.5, dan 2.6 (Castro 2000).



Panas dari reaksi di area *raceway* juga membentuk gas panas, dimana gas ini akan bergerak ke atas menjadi pemanas awal material umpan saat masuk pada bagian atas *blast furnace*. Ilustrasi *raceway* ditunjukkan oleh Gambar 2.8 berikut.



**Gambar 2.8** Hembusan udara panas pada daerah *raceway* dalam *blast furnace* (H. Nogami 2006)

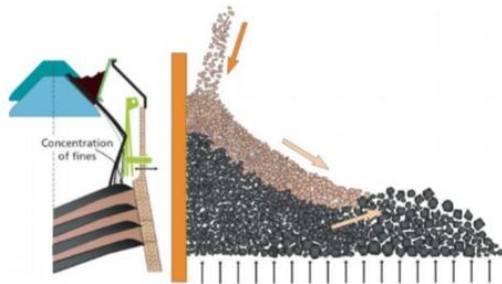
Salah satu fenomena yang terjadi akibat dari pengaruh *raceway* adalah *voidage* atau adanya kekosongan akibat hembusan udara melalui tuyser yang terlalu kencang. Penurunan rumusnya berdasarkan persamaan ergun, untuk penjabarannya adalah sebagai berikut

$$\varepsilon_i = 1 - \frac{1}{V_0} \sum_j V_j \quad (2.7)$$

## 2.8 Distribusi *Burden Material*

Efisiensi dari pemakaian *blast furnace* adalah hal yang harus dilakukan dalam mengoperasikan *blast furnace*. Salah satu upaya untuk melakukannya adalah dengan meminimalisir penggunaan kokas, dan untuk mengetahui penggunaan kokas salah satu cara yang bisa digunakan adalah dengan memastikan bahwa distribusi *burden material* ini merata. Ketika *charging system*, proses memasukkan *burden material* ke dalam *blast furnace*, akan mendorong batu bara ke daerah tengah dari *blast furnace*, dan akan terus menuju pusat ketika proses beroperasi. Fenomena ini sering disebut dengan istilah *coke push*. Fenomena ini bisa terjadi akibat dari densitas dari batu bara yang lebih kecil dibandingkan dengan partikel *ore*.

Distribusi dari *burden material* harus diatur dengan baik, agar proses yang berlangsung pada *blast furnace* optimum. Salah satu faktor yang harus diperhatikan ketika mendistribusikan *burden material* adalah faktor *voidage*, hal ini harus diperhatikan agar aliran gas dan kontrol gas yang mengalir dapat optimum, dan proses yang berlangsung bisa berjalan dengan efisien. Hal ini juga menyebabkan proses reduksi menjadi semakin optimum dan efisien (Geerdes 2004). Skema distribusi *burden material* dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut.



**Gambar 2.9** Distribusi *burden material* (Rizki 2017)

## 2.9 Laju Aliran Gas dalam *Blast Furnace*

*Blast furnace* menggunakan prinsip *counter current flow*, dimana kokas dan *burden materials* di input dari bagian atas dan menurun ke bawah akibat pengaruh dari gravitasi dan kekosongan akibat kokas yang terbakar di *bed*. Dan di sisi lain, udara dihembuskan melalui tuyer pada bagian bawah *blast furnace* dan mengalir ke atas melewati rongga rongga partikel (A. Biswas 1981).

Dewasa ini, semakin dengan berkembangnya zaman, dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, tingkat keoptimalan dari sebuah proses menjadi sebuah faktor yang sangat dipertimbangkan. Salah satu faktor untuk membuat proses pembakaran semakin optimum adalah dengan mengatur distribusi aliran gas pada *blast furnace*. Laju aliran gas yang optimum ditandai dengan bentuk aliran gas yang berbentuk seperti huruf V terbalik pada *cohesive zone*, atau distribusi laju aliran terletak pada bagian tengah dari *blast furnace*. Setelah gas mengalir pada bagian tengah dari *blast furnace*, akan menyebar ke seluruh permukaan dari *blast furnace*. Dengan terdistribusinya aliran gas pada bagian tengah dari *blast furnace*, maka media pembakaran perlu didistribusi dengan baik pula, hal ini berguna untuk meminimalisir adanya aliran gas yang kecil pada bagian tertentu. Dengan tujuan pembakaran dapat optimum pada semua bagian.



Untuk perhitungan secara matematisnya adalah menurut persamaan *Navier-Stokes*, yang akan dijabarkan berikut

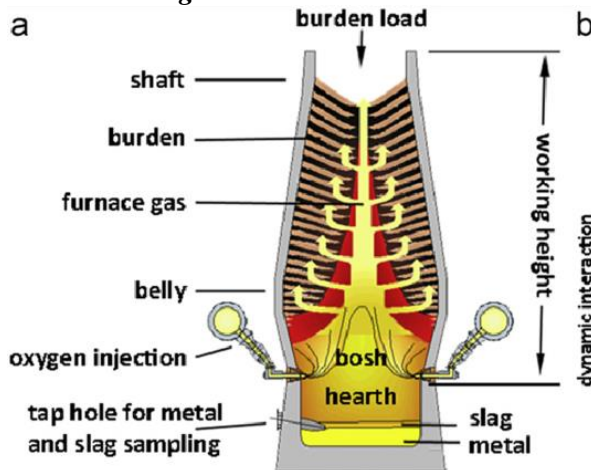
$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon\rho_g) + \nabla(\varepsilon\rho_g v) = 0 \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\varepsilon\rho_g v) + (v \cdot \nabla)\varepsilon\rho_g v = -\varepsilon\nabla p + \varepsilon\mu_g \nabla^2 v + f_g \quad (2.9)$$

Dimana  $v$  merupakan kecepatan (*velocity*) dalam satuan m/s,  $\varepsilon$  merupakan *voidage*,  $p$  adalah tekanan dengan satuan *pascal*,  $\rho_g$  adalah densitas gas dengan satuan ( $\text{kg/m}^3$ ),  $\mu_g$  adalah viskositas gas, dan  $f_g$  adalah gaya interaksi antara partikel dan fluida.

Secara umum laju aliran gas dalam *blast furnace* dibagi menjadi dua, yaitu *central working furnace* atau distribusi aliran gas yang mengalir di bagian tengah dari *blast furnace*, dan *wall working furnace* atau distribusi aliran gas yang mengalir pada bagian *wall* dari *blast furnace*. Untuk penjabarannya ada di sub sub-bab 2.9.1 dan 2.9.2 berikut.

### 2.9.1 Central Working Furnace



**Gambar 2.10** Distribusi aliran gas *central working furnace* (Geerdes 2004)

*Central working furnace* merupakan salah satu proses yang sedang diminati saat ini, dikarenakan kebutuhan dari tingkat optimum dari suatu proses yang tinggi. Pada *central working furnace* ini mampu memberikan pembakaran yang optimum dan mengakibatkan proses dapat berlangsung secara optimum pula. Tingkat keberhasilan proses *central working furnace* terletak pada distribusi *burden material* yang baik. Dengan mendistribusikan kokas atau batu bara ke bagian tengah dari *blast furnace* akan membuat proses ini berjalan dengan baik. Kokas atau batu bara didistribusikan ke bagian tengah dari *blast furnace* bertujuan agar proses pembakaran lebih baik, karena kokas atau batu bara memiliki permeabilitas yang tinggi. Area kokas pada *central* tidak hanya memberikan efek pada distribusi gas, melainkan juga menahan tekanan dari tuyser.

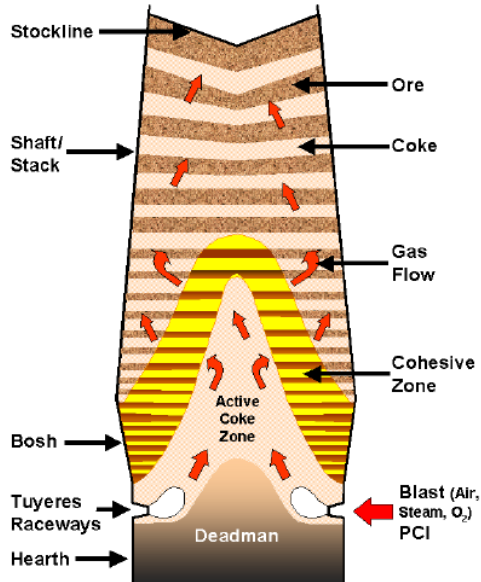
Bentuk aliran gas pada *central working furnace* berbentuk seperti huruf V terbalik atau bahkan hingga menyerupai bentuk huruf U. Metode untuk mendistribusikan kokas ke bagian *central* adalah dengan menggunakan *charging system* yang baik, salah satu contoh alat untuk mendistribusikan kokas pada bagian *central* adalah *double bell system*. Proses ini mendorong kokas ke bagian *central* dengan efek *coke push*, dengan memperhatikan ketebalan layer juga akan membuat proses lebih optimum, hal ini bertujuan agar *ore* tetap terjaga, dan tidak terdistribusi ke bagian *central* dari *furnace*.

Pada *central working furnace*, dihasilkan sedikit gas panas yang mengalir di area dinding, sehingga *heat loss* sedikit. Namun karena *root of melting zone* berada di bagian bawah, resiko yang terjadi adalah *ore* tidak meleleh sepenuhnya sebelum melewati tuyser serta mudah merusak tuyser (Geerdes 2004)

### **2.9.2 Wall Working Furnace**

Pada tipe proses *wall working furnace* udara/gas akan dialirkan menuju ke bagian dinding dari *blast furnace*. Dalam hal ini *root of melting zone* akan berbentuk seperti huruf W atau bahkan menyerupai bentuk *disk*. Dalam proses ini letak dari *root of*

*melting zone* berada diatas dari tuyser, yang menyebabkan prosesnya kurang maksimal. Skema distribusi laju aliran gas dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut.



**Gambar 2.11** Distribusi aliran gas *wall working furnace* (Wright 2003)

Dengan skema diatas menandakan bahwa laju aliran gas di distribusikan pada bagian dinding dari *blast furnace*. Hal ini membuat gas bereaksi dengan batu tahan panas (*refractory*), ini membuat *heat loss* yang dialami oleh proses *wall working furnace* menjadi semakin besar akibat berinteraksi dengan dinding refraktori. Dengan adanya proses yang demikian membuat kemampuan reduksi dari proses ini bisa dikatakan kurang optimal, dan membutuhkan banyak gas agar proses pembakaran dapat berlangsung, yang berarti memberi penambahan pengeluaran biaya lebih (Geerdes 2004).

## 2.10 Distribusi Tekanan dalam *Blast Furnace*

Prinsip operasi dari *blast furnace* dipengaruhi oleh pertukaran energi panas saat terjadi reaksi kimia. Kokas dalam *blast furnace* terbakar saat gas panas dihembuskan melalui tuyer dan diperoleh gas karbon monoksida yang berfungsi sebagai gas pereduksi. Besi yang tereduksi akan mengalir ke bagian *hearth* dan gas sisa pembakaran mengalir ke atas.

Udara mengalir dengan temperature 125°C dan mencapai temperature sekitar 235°C saat bereaksi dengan kokas. Temperature rata-rata keseluruhan di *furnace* dapat mencapai 150°C. Semakin tinggi posisi dari tuyer maka temperature menurun pada *stack* 240°C. Menurut (Babich 2008) laju perpindahan panas gas ke *burden* akan menurun dari atas hingga ke tengah *furnace* dan dari bagian tengah ke bawah.

Distribusi tekanan dipengaruhi oleh laju aliran udara masuk. Menurut (A. Biswas 1981), apabila gas *flow rate* rendah, pada daerah *laminar flow*, *pressure drop* berbanding lurus dengan kecepatan gas yang dimasukkan. Disamping itu, kuantitas partikel sangat erat kaitannya dengan *pressure drop*. Keberadaan partikel solid akan menyebabkan aliran gas terhambat, sehingga gas hanya dapat melewati pori dari partikel atau celah yang ditimbulkan antar partikel (*voidage*).

$$\frac{\Delta P}{H} = \psi \frac{1-\varepsilon \rho}{\varepsilon^3} \frac{\rho}{d} w^2 \quad (2.10)$$

$$\psi = 1,75 + \frac{150}{Re'} \quad (2.11)$$

$$Re' = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu(1-\varepsilon)} \quad (2.12)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{1}{V_0} \sum V_j \quad (2.13)$$

Gas yang mengalir per satuan waktu sangat berperan terhadap produktivitas dari *furnace*. Hal tersebut ditentukan oleh *voidage* yang terbentuk antar partikel dan permeabilitas gas. Semakin besar permeabilitas, maka nilai *pressure loss* akan menurun (Babich 2008).

Dalam pengoperasian *blast furnace*, diketahui bahwa *viscous loss* hanya berkontribusi sebesar 2% terhadap *pressure loss*. Berdasarkan pertimbangan tersebut, persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi persamaan differensial berikut .

$$\frac{dP}{dL} = 4,67 \times 10^{-3} \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \frac{\rho}{d} v^2 \quad (2.14)$$

### 2.11 *Discrete Element Method (DEM)*

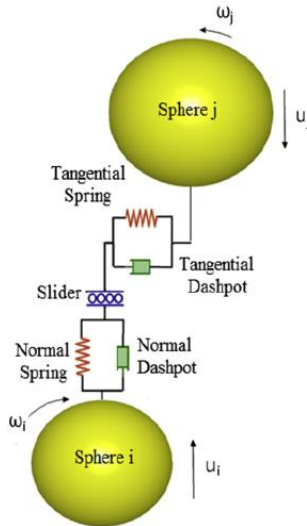
Menurut (Tanaka 2001), *Discrete Element Method* adalah suatu cara untuk mensimulasikan pergerakan dari material *granular* (butir) melalui serangkaian perhitungan dengan cara melacak partikel material *granular* tersebut secara individu.

DEM merupakan salah satu metode numerik untuk melihat proses yang tidak bisa dilihat secara kasat mata, utamanya untuk melakukan *modelling* terhadap partikel. Partikel ini dilihat dari interaksi antar partikelnya, dalam jumlah yang besar dan dikenakan gaya translasi, rotasi dan gaya eksternal. Partikel ini biasanya digambarkan sebagai bola pejal yang akan berubah apabila dikenakan suatu gaya yang bekerja pada partikel (Mitra 2014)

DEM adalah metode yang menjelaskan mengenai keseluruhan perlakuan mekanik secara makroskopik dari penggabungan beberapa partikel sistem yang juga dikenakan interaksi dengan antar partikel maupun interaksi dengan alat yang digunakan. Dalam metode DEM juga dapat dikenai gaya berupa rotasi, translasi, dan pergeseran. Secara praktiknya metode DEM ini telah digunakan secara luas, dengan diterbitkannya aplikasi resmi yaitu EDEM, yang dapat dipakai untuk pengembangan multidisiplin ilmu, dari pencampuran tanah dan semen (*non-cohesive materials*), metalurgi serbuk dan proses manufaktur mineral. Metode pemodelan ini sangat efisien untuk dilakukan untuk memprediksi hal-hal yang tidak dapat dilihat dengan mata untuk disimulasikan menjadi sesuatu hal yang sifatnya kualitatif (M. Sousani. 2019).

*Discrete Element Method (DEM)* terdapat gaya translasi maupun rotasi sehingga dapat dideskripsikan secara matematis

menurut Hukum II Newton. Dalam DEM, model interaksi antarpartikel digambarkan seperti pegas dan *dashpot* sesuai dengan sifat elastis dan plastis suatu partikel pada arah normal serta *slider*, pegas dan *dashpot* pada arah tangensial. Dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut. (Yu Y. dan Saxen 2013)



**Gambar 2.12** Model skematik gaya interaksi antarpartikel (Yu Y. dan Saxen 2013)

Dari gambar di atas, interaksi terjadi antara partikel  $i$  dan partikel  $j$ , dimana gaya kontak dan gaya redam masing-masing di representasikan oleh gaya pegas dan *dashpot*. Sementara itu, gaya tangensial dibatasi oleh gesekan geser (*sliding friction*) dan digambarkan dengan panel geser. Persamaan untuk suatu partikel  $i$  yang mengalami kontak dengan partikel  $j$  dapat dituliskan sebagai berikut

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = \sum_{j=1}^K (F_{cn,ij} + F_{dn,ij} + F_{ct,ij} + F_{dn,ij}) + m_i g \quad (2.15)$$

$$I_i \frac{d\omega_i}{dt} = \sum_{j=1}^K (T_{t,ij} + T_{r,ij}) \quad (2.16)$$

Dimana  $V_i$  merupakan kecepatan translasional,  $I_i$  merupakan momen inersia dan  $\omega_i$  merupakan kecepatan angular. Gaya yang bekerja tidak lain merupakan gaya gravitasi ( $m_i g$ ) dan gaya antarpartikel, termasuk gaya normal ( $F_{cn,ij}$ ) dan gaya kontak tangensial ( $F_{ct,ij}$ ), serta gaya redam (*damping*) ( $F_{dn,ij}$  dan  $F_{dt,ij}$ ) (Yu 2010).

**Tabel 2.1** Gaya dan torsi dari sebuah partikel dalam analisis DEM

Gaya dan Torsi	Type	Simbol	Persamaan
Gaya Normal	Kontak	$F_{cn,ij}$	$-k_n \delta_n^{\frac{3}{2}}$
	Redam	$F_{dn,ij}$	$-k \eta_n V_{n,ij}$
Gaya Tangensial	Kontak	$F_{ct,ij}$	$-k_t \delta_t$
	Redam	$F_{dt,ij}$	$-k_t V_{t,ij}$
Rolling	Torsi	$T_{t,ij}$	$R_i \times (F_{ct,ij} \times F_{dt,ij})$
	Gesekan	$T_{r,ij}$	$-\mu_r  F_{cn,ij}  \omega'$
Global	Gravitasi		$m_i g$

Sedangkan parameter variabel untuk menentukan gaya, antara lain

$$k_n = \frac{4}{3} \frac{\sqrt{\frac{R_i R_j}{(R_i + R_j)}}}{\frac{(1-v_i^2)}{E_i} + \frac{(1-v_j^2)}{E_j}} \quad (2.17)$$

$$n = \frac{\delta_{n,ij}}{|\delta_{n,ij}|} \quad (2.18)$$

$$V_{n,ij} = (V_{ij} \times n)n \quad (2.19)$$

$$V_{t,ij} = V_{ij} - V_{n,ij} \quad (2.20)$$

$$V_{ij} = V_j - V_i + \omega_j \times R_j n - \omega_i \times R_i n \quad (2.21)$$

$$\omega' = \frac{\omega_i}{|\omega_i|} \quad (2.22)$$

$$F_{ct,ij} + F_{dt,ij} \leq \mu_s \times F_{cn,ij} \quad (2.23)$$

Dimana nilai dari  $\eta_n$ ,  $k_r$ , dan  $\eta_t$  diperoleh dari literatur.  $E$  merupakan modulus Young dan  $\nu$  merupakan rasio Poisson dari partikel R dan  $G$  menunjukkan radius dan *shear modulus*, sedangkan  $e$  merupakan koefisien restitusi,  $\mu_s$  merupakan gesekan statis dan  $\mu_r$  merupakan gesekan rotasional.

## 2.12 *Computational Fluid Dynamic (CFD)*

*Computational fluid dynamic* adalah metode numerik dalam mempelajari aliran fluida beserta fenomena transfer yang terjadi dengan bantuan simulasi komputer. Sedangkan dinamika fluida merupakan ilmu yang mempelajari tentang pergerakan dari fluida. Pada CFD dikarenakan harus menggunakan bantuan dari komputer maka algoritma ini harus dilakukan *discretization* atau diubah menjadi algoritma umum yang bisa diolah oleh komputer. Untuk pengubahannya pun sudah dapat dibantu dengan perangkat-perangkat lunak yang telah ada di pasaran saat ini. Kode-kode tersebut dikelompokkan menjadi 3 fungsi yaitu *pre-processor*, *solver*, dan *post-processor*.

### 1. *Pre-processor*

*Pre-processor* meliputi *input flow problem* dari CFD program. Fungsi ini berguna sebagai *platform* untuk memasukkan data awal dari awal untuk diolah. Data awal tersebut meliputi :

- a. *Computational domain* : Geometri objek
- b. *Spatial discretization* atau *meshing* : Yang membagi objek menjadi beberapa sub-domain yang akan di kalkulasi di setiap bagiannya.
- c. *Property fluid* secara fisika dan kimia
- d. *Boundary conditions*

### 2. *Solver*

*Solver* adalah salah satu proses untuk memecahkan masalah, umumnya dengan cara mengubah persamaan-persamaan yang tidak bisa diselesaikan oleh komputer menjadi aljabar yang dapat diselesaikan oleh komputer. Persamaan ini berbentuk *Partial*



---

*Differential Equation* (PDE) yang nantinya diubah menjadi persamaan yang lebih sederhana. Proses ini dinamakan dengan *equation discretization*. Mengutip dari Ramadhan, pada tahun 2019 terdapat 3 metode numerik untuk melakukan *equation discretization*, yaitu :

a. *Finite Difference Method* (FDM)

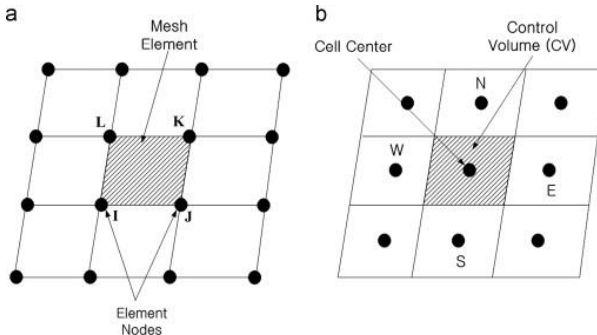
FDM menggunakan nodal pada *grid system* sebagai domain komputasi. PDE diselesaikan dengan menggunakan Deret Taylor sehingga dihasilkan satu sistem persamaan aljabar beserta *unknown variables*-nya di tiap-tiap titik.

b. *Finite Element Method* (FEM)

*Grid system* pada FEM dinyatakan sebagai kumpulan elemen-elemen kecil, dan nodal yang tersebar di dalamnya dijadikan domain komputasi. PDE diselesaikan dengan menggunakan interpolasi dan integrasi, dengan menggunakan metode *weighted residual* untuk meminimalisir kesalahan kalkulasi. Hasilnya adalah suatu sistem persamaan aljabar beserta *unknown variables*-nya di setiap elemen

c. *Finite Volume Method* (FVM)

Hampir sama dengan FEM, namun *grid system* dinyatakan sebagai *control volume*. Terdapat 1 nodal yang terletak di pusat *control volume* sebagai domain komputasi utama. PDE diselesaikan dengan menggunakan metode integrasi langsung secara volumetrik dari masing-masing *control volume* sehingga dihasilkan satu sistem persamaan aljabar beserta *unknown variables*-nya untuk setiap *control volume*.



**Gambar 2.13** Skema perbandingan (a) FEM dan (b) FVM (Ramadhan 2019)

### 3. *Post-processor*

Fungsi ini memvisualisasikan hasil dari aljabar yang telah diselesaikan, biasanya berbentuk grafik, plot, kontur, animasi, atau vektor. Pada CFD berbasis FVM biasanya semua persamaan diselesaikan dengan bagaimanapun kondisinya, terkecuali untuk *input* permasalahan tertentu, harus dilakukan perintah terlebih dahulu (Veersteg 2007)

## 2.13 Penelitian Sebelumnya

Pada tabel 2.1 ini berisi tentang penelitian-penelitian sebelumnya untuk menunjang penelitian kali ini.

**Tabel 2.2** Referensi penelitian sebelumnya mengenai *blast furnace*.

Peneliti	Tahun	Penelitian
(Kurniawan 2019)	2019	Melakukan penelitian tentang pengaruh sudut tuye terhadap <i>voidage</i> , kecepatan gas, dan distribusi tekanan pada <i>mini blast furnace</i> . Penelitian menggunakan metode DEM-CFD. Dalam penelitian ini didapatkan hasil bahwa, tuye dengan sudut $11^\circ$ memiliki pembentukan

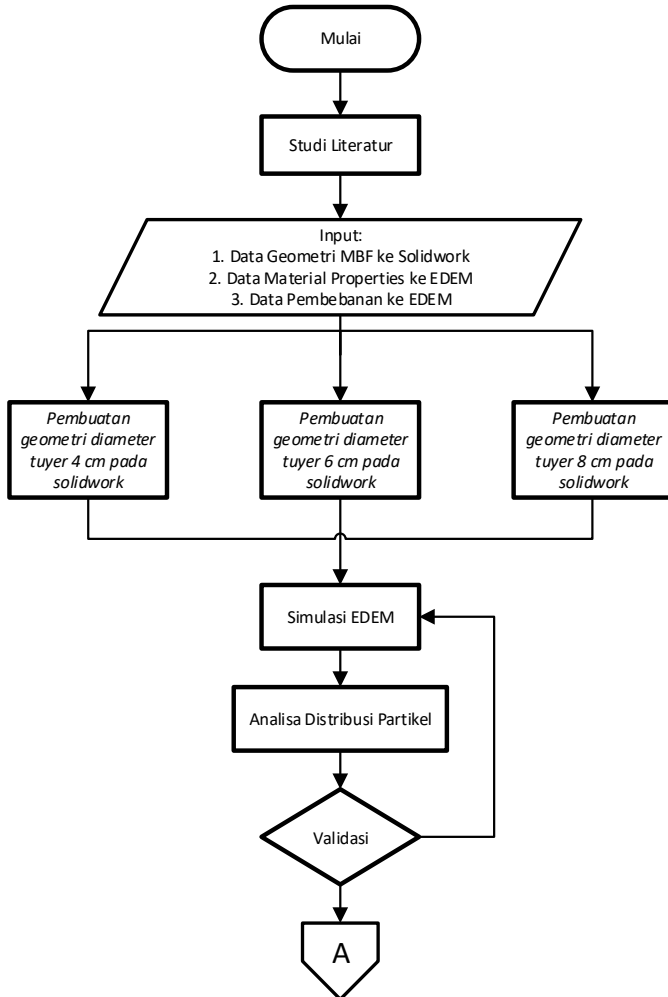
- 
- voidage* yang optimal, profil kecepatan gas tertinggi, dan perubahan tekanan paling tinggi. Lalu diikuti oleh variasi 7° dan 3° secara berurutan.
- (Miao 2016) 2016 Melakukan penelitian tentang pengaruh panjang tuyer terhadap fenomena *raceway*. Penelitian ini menggunakan metode DEM-CFD. Dalam penelitian ini didapatkan bahwa semakin Panjang tuyer akan didapatkan hasil bahwa kedalaman penetrasi *raceway* meningkat, dan mengurangi penetrasi gas. Begitu sebaliknya untuk variasi tuyer yang berukuran pendek.
- (Nogami 2004) 2004 Melakukan penelitian tentang pengaruh *raceway* terhadap proses dalam *blast furnace*. Dalam penelitian ini didapatkan hasil yaitu bahwa bentuk dari *raceway*, apabila kedalamannya diperluas dan ketinggiannya berkurang akan lebih disukai, karena akan mengakibatkan pemasokan gas secara seragam seluruh wilayah *blast furnace*.
-

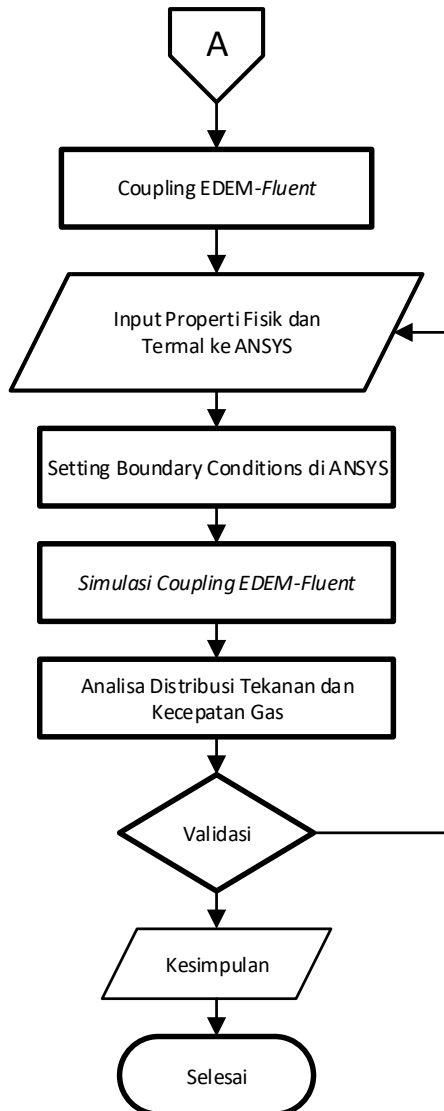
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dapat dilihat alirnya dalam diagram alir pada Gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2 Prosedur Pemodelan

Untuk dapat mengetahui hasil dari pemodelan, diharuskan untuk melakukan tahapan-tahapan agar proses dapat berjalan dengan baik. Tahapan-tahapan yang dilakukan antara lain :

1. Mengumpulkan data-data input yang akan dilakukan pemodelan, yaitu geometri dari *mini blast furnace*, material *properties* dari *steel*, *refractory*, *coal*.
2. Membuat geometri *mini blast furnace* pada aplikasi *solidworks*.
3. Melakukan pemodelan geometri dari *burden material* dengan menggunakan aplikasi EDEM.
4. Melakukan pemodelan pada aplikasi EDEM untuk mengetahui distribusi *burden materials* menggunakan *solid particle model*.
5. *Coupling* EDEM – ANSYS *Fluent*.
6. Pemodelan distribusi tekanan dan kecepatan gas pada *mini blast furnace* menggunakan metode *computational fluid dynamic method*.
7. Menganalisis data hasil dari pemodelan.
8. Menarik kesimpulan dan memberikan saran dari hasil penelitian yang dilakukan.

### 3.3 Sifat Fisik dan Mekanik Material

Dalam melakukan penelitian ini terdapat material-material pendukung. Salah satunya adalah material dari *burden materials* yang mana adalah *coal*, *coal* ini nantinya yang akan dijatuhkan dari *charging system*, *coal* ini adalah bahan bakar dari proses yang ada dalam *mini blast furnace*. Material berikutnya yang bersinggungan adalah material dari *mini blast furnace*, yaitu *steel* pada bagian luar dari *mini blast furnace*, dan *refractory* atau batu tahan api pada bagian dalam dari *mini blast furnace*. Tabel 3.1 akan menunjukkan beberapa sifat fisik dan mekanik material, sifat fisik dan mekanik material ini menjadi penting karena menjadi input dalam *software* untuk menunjang keakuratan penelitian.

**Tabel 3.1** Data sifat fisik dan mekanik material

Material	Parameter	Nilai	
Coal	Densitas	1307,18 Kg/m <sup>3</sup>	
	Poissin's Ratio	0,24	
	Modulus Young	18,2 Mpa	
	Restitution Coefficient	Coal	0,15
		Steel	0,60
	Static Friction Coefficient	Refractory	0,25
		Coal	0,20
	Rolling Friction Coefficient	Steel	0,45
		Refractory	0,70
	Coal	Coal	0,20
		Steel	0,15
	Refractory	Refractory	0,25
Densitas		7870 Kg/m <sup>3</sup>	
Steel	Poissin's Ratio	0,29	
	Modulus Young	77 Gpa	
Refractory	Densitas	3100 Kg/m <sup>3</sup>	
	Poissin's Ratio	0,15	
	Modulus Young	314 Gpa	

### 3.4 Data Input Analisa Fluida

Analisis fluida menggunakan *fluent* di *compile* dengan hasil analisis dari EDEM menggunakan EDEM *coupling journal*. Selanjutnya, *fluent* dilakukan pengaturan sesuai Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2** Model dan *solution setup*

Pengaturan	Perintah
Tipe Simulasi	<i>Transient</i> 3D, EDEM <i>coupled</i> <i>Double Precision</i> ;
Kondisi Solver	<i>Pressure-Based</i> ; <i>Gravity-on</i> ; <i>Discrete Phase-on</i>
<i>Multiphase Model</i>	<i>Eulerian Multiphase Model</i>



---

<i>Turbulence Model</i>	<i>K-Omega Mixture Model</i>
<i>Drag Parameter</i>	<i>Gidaspow</i>
	<i>Phase-1; Velocity Inlet</i>
	Tuyer D = 40mm : 35,828 m/s
<i>Kondisi Inlet</i>	Tuyer D = 60mm : 15,924 m/s
	Tuyer D = 80mm ; 8,9524 m/s
<i>Kondisi Outlet</i>	<i>Pressure Outlet, Top</i>
	<i>Pressure 1atm</i>
<i>Kondisi Wall</i>	<i>No-Slip Condition</i>

---

Sebelum memulai kalkulasi, *solution initialization* dibutuhkan sebagai prediksi awal medan aliran gas dan distribusi tekanan. Metode *solution initialization* dilakukan secara standar (*standard solution*). Proses *coupling* dengan EDEM menyebabkan proses kalkulasi harus dikolerasikan antar kedua *software*. Nilai *timestep* dalam EDEM menjadi acuan dalam penentuan *timestep* ANSYS *Fluent*. Dalam hal ini, *timestep* yang digunakan dalam EDEM sebesar 5,49e-05 sekon atau sebesar 30% dari *Rayleigh Wave*, ukuran *timestep* sesuai rekomendasi (Kurniawan 2019).

Rasio *timestep* EDEM dan *time step fluent* direkomendasikan dalam perbandingan 1:1 sampai 1:100 untuk simulasi yang stabil. Dimana *timestep* EDEM tidak bisa lebih besar dari *timestep* ANSYS *fluent* untuk *coupled simulation*. Pada *coupled simulation* penulis menggunakan perbandingan 1:20. Untuk *timestep fluent* terdapat pada Tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3.3** *Setting calculation activities*

Pengaturan	Nilai
<i>Timestep size</i>	1e-03 s
<i>Number of timestep</i>	100
<i>Iteration per timestep</i>	30

---

Pada penelitian kali ini volume udara dibuat sama pada setiap variabelnya, sehingga dilakukan penyesuaian untuk *setting velocity magnitude* pada *inlet* untuk setiap variasi diameter tuyer. Untuk menghasilkan hasil tersebut menggunakan persamaan sederhana dalam menentukan volume udara dan kecepatan gas berikut.

$$v = \frac{Q}{A} \quad (3.1)$$

Untuk hasilnya bisa dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 3.4** Kecepatan fluida

Laju aliran udara (m/s)	Volume udara (m <sup>3</sup> /s)	Volume udara/tuyer (m <sup>3</sup> /s)
D = 40mm	35,828	
D = 60mm	15,924	0,45
D= 80mm	8,9524	0,045

Data input material untuk analisis fluida dengan metode FVM berupa properti termal, dapat dilihat pada tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.5** Properti input

Material	Parameter	Nilai
<i>Coal</i>	Konduktivitas termal (W/m.K)	0.2
	Panas spesifik (J/Kg.K)	1380
<i>Steel</i>	Konduktivitas termal (W/m.K)	54
	Panas spesifik (J/Kg.K)	490
<i>Refractory</i>	Konduktivitas termal (W/m.K)	0,15
	Panas spesifik (J/Kg.K)	850
<u>Udara</u>	Densitas	1,225

---



---

Viskositas	1006,43
Konduktivitas termal (W/m.K)	0,0242
Panas spesifik (J/Kg.K)	1,7894e-05

---

### 3.5 Data Dimensi dan Operasional pada *Mini Blast Furnace*

Ukuran dimensi dan pengoperasian *mini blast furnace* diperlukan dalam menunjang pemodelan ini, berikut ini data yang diperoleh dari hasil observasi langsung.

#### 3.5.1 Data Dimensi *Mini Blast Furnace*

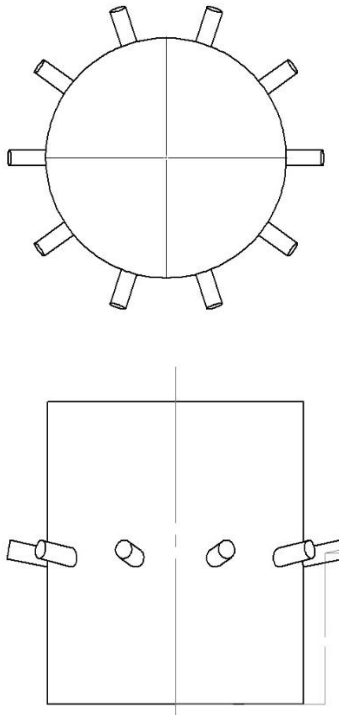
Geometri MBF ini didapatkan dengan observasi langsung dan melakukan pengukuran langsung, dan didapatkan data berupa volume kerja dari *mini blast furnace* yaitu sebesar 1017 m<sup>3</sup>, kapasitas sebesar 10 bijih ton *conditioned ore*/hari. Data selengkapnya terdapat pada Tabel 3.6 dibawah.

Berdasarkan data-data yang telah diperoleh, pembuatan model geometri MBF menggunakan *software solidworks*, yang terdapat pada Gambar 3.2 untuk gambar 2D dan Gambar 3.3 untuk gambar 3D.

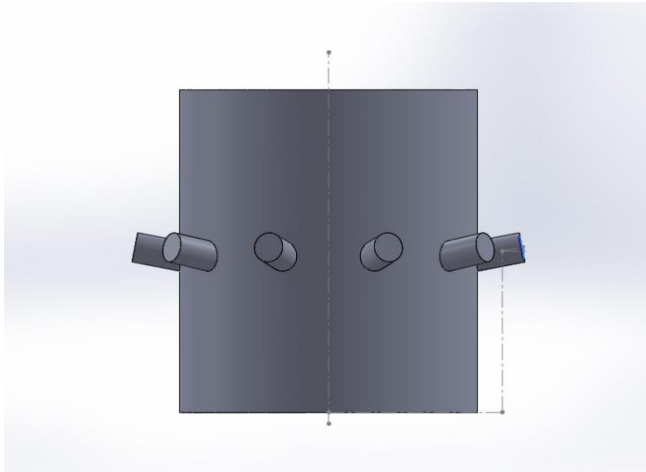
**Tabel 3.6** Data geometri *mini blast furnace*

No.	Keterangan	Dimensi
1	Tinggi MBF	370 cm
2	Diameter dalam	60 cm
3	Diameter luar	80 cm
4	Tebal <i>refractory</i>	10 cm
5	Tinggi tuyer	40 cm
6	Jumlah tuyer	10 buah
7	Sudut tuyer	11°
8	Bentuk	Silinder vertical
9	<i>Working volume</i>	1017 m <sup>3</sup>

---



**Gambar 3.2** Geometri MBF dalam 2 dimensi



**Gambar 3.3** Geometri MBF dalam 3 dimensi

### 3.5.2 Data Operasional Proses *Charging Burden Materials*

Dalam pengoperasiannya, susunan *burden materials* di dalam MBF dibagi menjadi 3 bagian yang menurut urutan dari bagian terbawah, yaitu terdapat *bed* batu bara, 2 layer *burden materials*, 1 layer *burden material* terdiri dari batu bara pada lapisan paling bawah, *conditioned ore* pada lapisan tengah dan *dolomite* pada lapisan paling atas.

Namun pada penelitian ini lebih difokuskan pada bagian *bed* dengan asumsi ketinggian *bed* yaitu 650mm dari dasar MBF yang berisi coal dengan massa 122 kg. Spesifikasi massa *burden materials* pada proses *charging* untuk bagian MBF ditampilkan dalam tabel 3.6 berikut

**Tabel 3.7** Massa *charging* untuk *mini blast furnace*

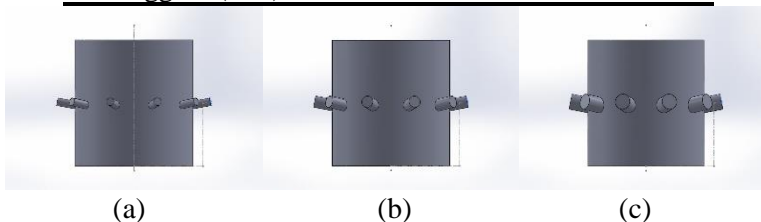
No	Bagian <i>Burden Materials</i>	Jenis <i>Burden Materials</i>	Massa (Kg)
1	<i>Bed*</i>	<i>Coal</i>	122
2	<i>Layer</i>	<i>Coal</i>	17
		<i>Conditioned ore</i>	25
		<i>Dolomite</i>	21

### 3.5.3 Variabel Diameter Tuyer *Mini Blast Furnace*

Dalam penelitian ini, variasi diameter tuyer berjumlah 3 diameter berbeda, dengan rincian diameter 40mm, diameter 60mm dan diameter 80mm. Tuyer tersebut berjumlah 10 buah yang melingkar simetris pada MBF pada ketinggian 400mm dari dasar MBF. Dan juga pada penelitian ini tuyer dibuat menjadi 1 layer tuyer saja. Variasi diameter tuyer dapat dilihat pada tabel 3.7 berikut.

**Tabel 3.8** Data variabel diameter tuyer

Diameter Tuyer	40mm	60mm	80mm
Jumlah Tuyer (buah)	10	10	10
Ketinggian (mm)	400	400	400

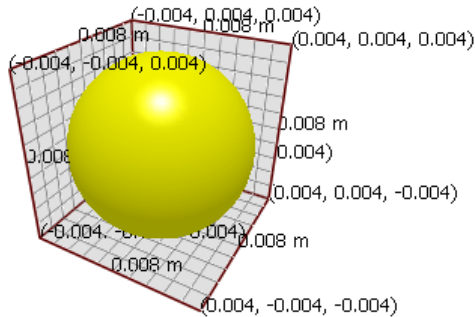


**Gambar 3.4** Variasi diameter tuyer (a)  $D = 40\text{mm}$  ; (b)  $D = 60\text{mm}$  ; (c)  $D = 80\text{mm}$

### 3.6 Data Spesifik *Burden Materials*

Terdapat material utama sebagai salah satu *input material* dalam pengolahan nikel laterit dengan menggunakan MBF, yaitu *coal*. Pada kondisi setelah proses pemanasan awal, *coal* akan mengalami reduksi volum. Hal ini disesuaikan dengan penggunaan *coal* dimana pada *bed* setelah terjadi pemanasan awal mengalami reduksi ukuran diameter dari 24mm menjadi kurang dari 10mm (Chigneau, 2009), dengan *coal* setelah mengalami proses pembakaran awal, maka akan mengambil reduksi yang lebih signifikan, dikarenakan kandungan karbon yang lebih sedikit, sehingga ukuran dianggap homogen dengan memiliki bentuk yaitu berupa bola dengan diameter 8mm. Pemodelan *burden materials*

menggunakan *software* EDEM ditunjukkan oleh Gambar 3.5 berikut.



**Gambar 3.5** Ukuran *burden materials*

### 3.7 Validasi Data

Validasi data pada simulasi ini menggunakan data *plot* dua dimensi dan tiga dimensi dari hasil *running coupling software* EDEM – ANSYS *Fluent* yang telah diubah data *input* sesuai MBF, untuk membandingkan dengan data pemodelan MBF penelitian sebelumnya. Sehingga dapat menarik kesimpulan dan memberikan saran dari hasil penelitian yang dilakukan.

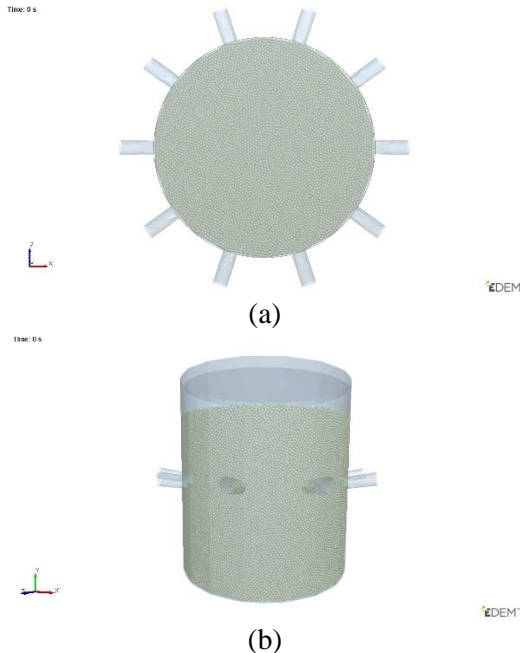
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

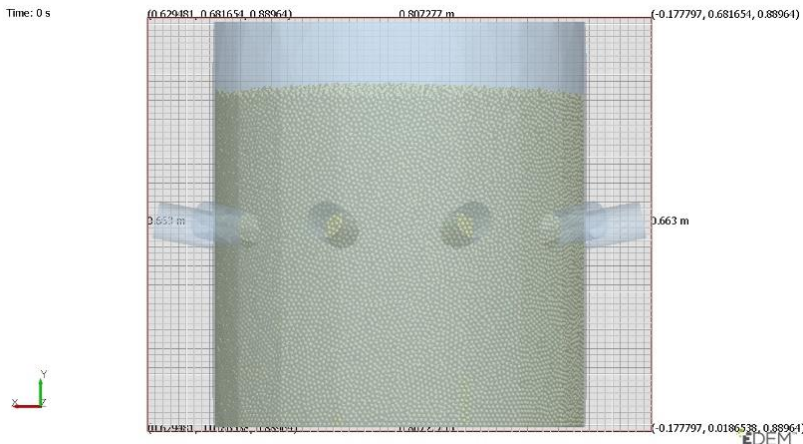
### 4.1 Pemodelan Burden Material

Merujuk pada diagram alir dari penelitian ini, bahwa proses setelah pembuatan geometri diameter tuyer pada aplikasi *solidwork* adalah melakukan proses simulasi EDEM. Setelah dilakukan proses simulasi pada *software* EDEM 2017 dengan melakukan simulasi menggunakan metode *solid particle model* terhadap *burden materials* pada *bed* MBF didapatkan hasil sesuai pada Gambar 4.1, dimana warna abu-abu menunjukkan *coal* yang terdistribusi pada *bed*. Dimana merujuk pada batasan masalah yang telah disebutkan diatas bahwa ukuran *coal* dianggap homogen.



**Gambar 4.1** Pemodelan distribusi *burden material* pada *bed* MBF (a) tampak atas (b) tampak samping

Dari simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan massa *coal* sebesar 122 Kg. Dan didapatkan ketinggian *bed* awal yaitu 65 cm (65 grid:650mm) dihitung menggunakan metode *grid* pada *software* EDEM 2017 serta ketinggian *coal* hasil dari simulasi adalah 53 cm (53 grid:530mm) dihitung menggunakan metode *grid* pada *software* EDEM 2017, yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Hal-hal yang mempengaruhi pemodelan dari *burden materials* antara lain adalah sifat mekanik dari *burden materials*, seperti koefisien gesek, massa jenis, modulus elastisitas, dan *poissin's ratio*. Pemodelan *burden materials* ini sangat penting sekali, dikarenakan distribusi *burden materials* yang baik akan sangat mempengaruhi proses yang terjadi di dalam MBF, utamanya mengenai permeabilitas di dalam *furnace*. Faktor yang sangat berpengaruh terhadap distribusi *burden materials* dan permeabilitas adalah ukuran dari *burden materials*. (Geerdes 2004)



**Gambar 4.2** Ketinggian *bed* awal dengan massa *coal* 122 Kg

#### 4.2 Pengaruh Variasi Diameter Tuyeer

Proses selanjutnya adalah CFD-DEM *coupled model* dimana proses ini menggunakan tipe pemodelan dengan pendekatan *meso-micro*, berupa area aliran fluida dibagi menjadi *cells* dengan ukuran lebih besar daripada ukuran partikel dari *burden materials* tetapi

lebih kecil dari area aliran keseluruhan. Efek dari pergerakan partikel pada aliran fluida didapatkan dari fraksi volum, dari setiap pergantian fasa dan momentum yang terdapat pada *drag force*.

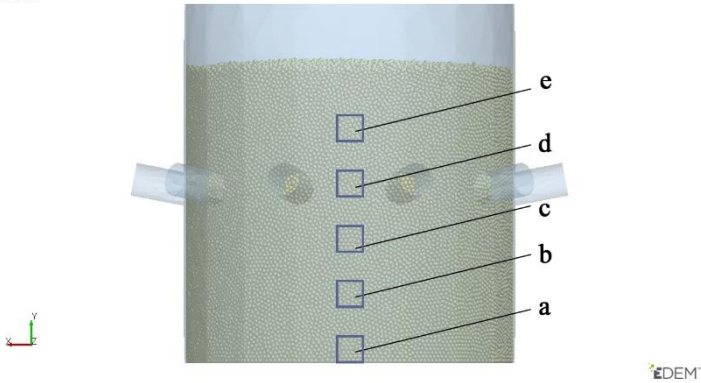
Pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan *software* CFD yaitu Ansys Workbench 17.1 dan EDEM 2017

#### **4.2.1 Pengaruh Variasi Diameter Tuyer terhadap Distribusi Voidage**

Salah satu faktor yang sangat penting dalam fenomena fisik di dalam *furnace* adalah terbentuknya celah atau *voidage*. Dimana beberapa faktor utama terbentuknya *voidage* pada area *bed* antara lain laju aliran udara pada tuyer serta konsumsi karbon pada *coal* untuk proses pembakaran dan *carburization* (Geerdes 2004). Dalam penelitian kali ini, merujuk pada batasan masalah, faktor konsumsi karbon diabaikan dengan mengganggap ukuran *coal* homogen, sehingga faktor utama yang mempengaruhi terbentuknya *voidage* adalah laju aliran udara yang terdistribusi berbeda bergantung pada diameter tuyer.

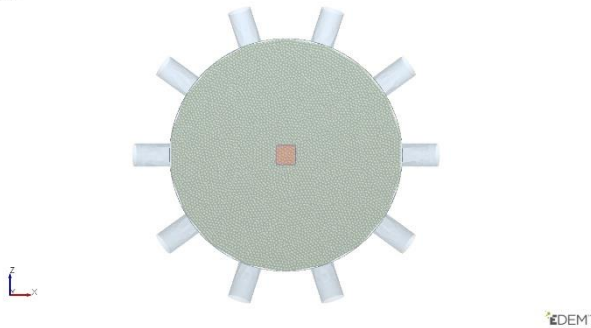
*Voidage* akan memberi pengaruh pada kelancaran aliran gas yang bergerak ke arah vertikal serta aliran *molten metal* menuju *hearth zone*. Untuk penelitian ini perhitungan *voidage* dilakukan dengan menggunakan *software* EDEM 2017, dengan mengambil daerah paling statis dari *bed* yang memiliki *voidage* paling kecil, yaitu pada *central area*. Selain itu area ini dipilih karena, *molten metal* tidak akan melewati daerah gas masuk atau daerah *raceway*, daerah ini sering disebut dengan *dry zone* (Kurniawan 2019). Perhitungan dilakukan dengan metode *grid* (50mm x 50mm x 50mm) terhadap 5 titik sesuai Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.

Time: 0 s



**Gambar 4.3** Plot perhitungan *voidage* di ketinggian (a) 0-5cm (b) 10-15cm (c) 20-25cm (d) 30-35cm (e) 40-45cm

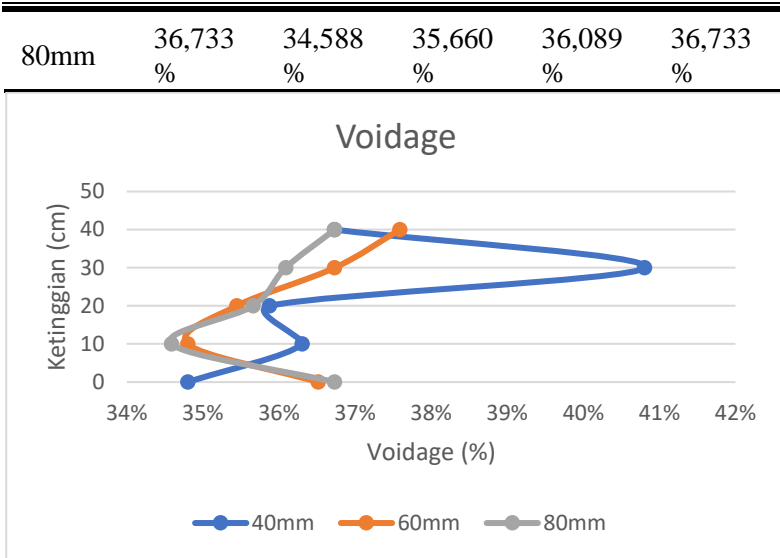
Time: 0 s



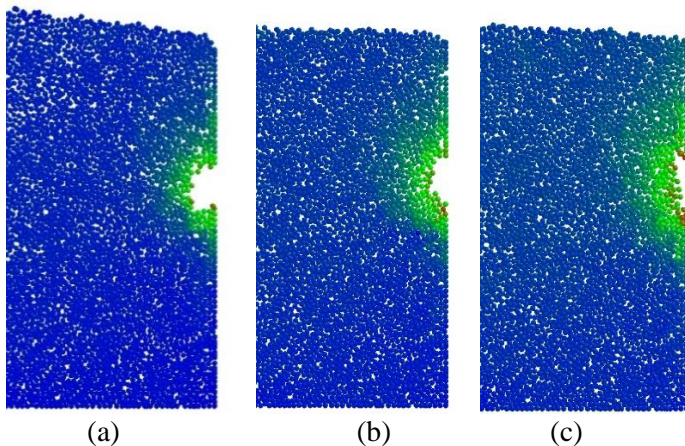
**Gambar 4.4** Plot perhitungan *voidage* tampak atas

**Tabel 4.1** Nilai plot perhitungan *voidage*

Diameter Tuyer	0-5cm (a)	10- 15cm (b)	20- 25cm (c)	30- 35cm (d)	40- 45cm (e)
40mm	34,802 %	36,304 %	35,875 %	40,807 %	36,733 %
60mm	36,518 %	34,802 %	35,446 %	36,733 %	37,590 %



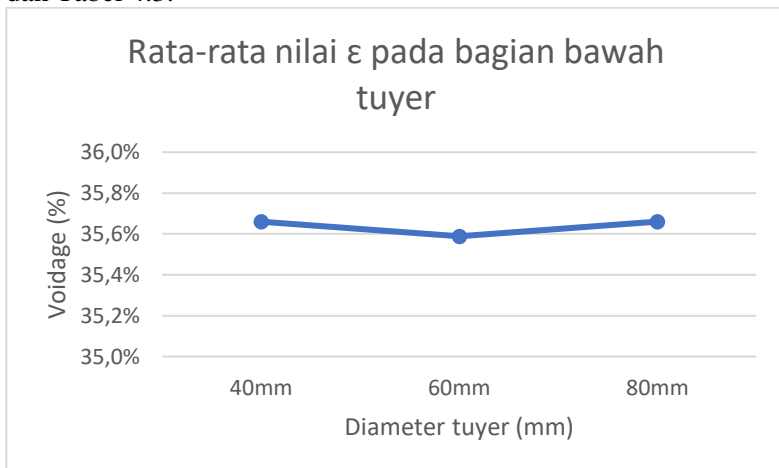
**Gambar 4.5** Grafik nilai plot perhitungan *voidage*



**Gambar 4.6** *Voidage* yang terbentuk pada berbagai variasi diameter tuye (a) D=40mm; (b) D=60mm; (c) D=80mm

Setelah proses simulasi dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan *voidage* dan didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.1 lalu dibuat grafik seperti yang tertera pada Gambar 4.5. Data yang didapatkan dari hasil simulasi yaitu nilai *voidage* mengalami perbedaan di setiap variasi diameter tuyer. Diameter tuyer akan sangat mempengaruhi pembentukan *voidage*, hal ini dikarenakan diameter tuyer dapat memberikan pengaruh terhadap laju aliran udara yang masuk ke dalam *mini blast furnace*, semakin besar diameter maka akan semakin rendah laju aliran udara yang masuk ke dalam *mini blast furnace*, sedangkan hal tersebut berlaku sebaliknya untuk diameter kecil. Diameter tuyer kecil akan membuat laju aliran udara menjadi semakin besar, sehingga akan menyebabkan pembentukan *voidage* semakin besar serta *raceway* semakin dalam. Hal ini sesuai dengan teori yang dinyatakan oleh (Geerdes 2004), bahwa terbentuknya *voidage* dipengaruhi oleh laju aliran udara pada tuyer.

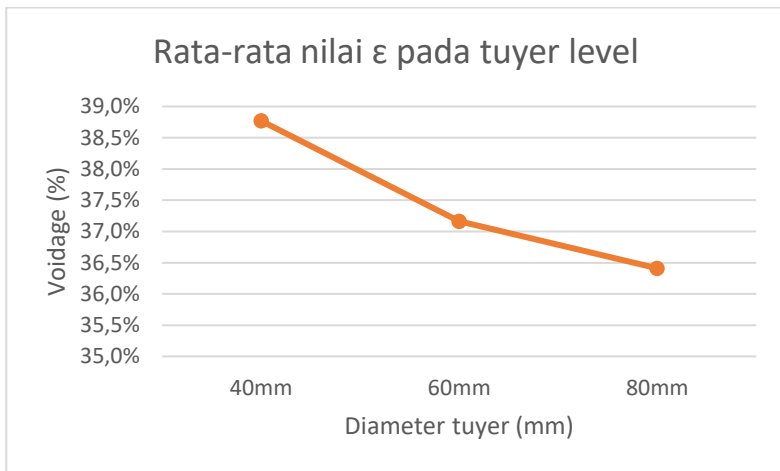
Dari Gambar 4.5, berdasarkan plot di bawah area tuyer adalah yang ditunjukkan pada bagian (a), (b), dan (c), sedangkan bagian (d) dan (e) berada pada tuyer *level*. Untuk nilai rata-rata *voidage* di bawah tuyer dan tuyer *level* dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3.



**Gambar 4.7** Grafik rata-rata *voidage* di bawah tuyer (plot area a, b, dan c)

**Tabel 4.2** Nilai rata-rata *voidage* di bawah tuyer (plot area a, b, dan c)

Diameter Tuyer (mm)	Rata-rata (%)
40mm	35,660%
60mm	35,589%
80mm	35,660%



**Gambar 4.8** Grafik rata-rata *voidage* di tuyer level (plot area d dan e)

**Tabel 4.3** Nilai rata-rata *voidage* di tuyer level (plot area d dan e)

Diameter Tuyer (mm)	Rata-rata (%)
40mm	38,770%
60mm	37,161%
80mm	36,411%

Dari Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 didapatkan nilai rata-rata *voidage* pada bagian bawah tuyer dan pada bagian tuyer level. Pada

daerah bagian bawah tuyer variasi diameter tuyer 60mm memiliki nilai rata-rata yang paling kecil yaitu 35,589%, lalu yang paling besar adalah pada variasi diameter tuyer 40mm dan variasi diameter tuyer 80mm yaitu sebesar 36,660%. Pada daerah tuyer *level*, variasi diameter tuyer 80mm memiliki nilai rata-rata *voidage* yang paling kecil, yaitu sebesar 36,411%. Nilai terbesar selanjutnya dimiliki oleh variasi diameter tuyer 60mm, yaitu sebesar 37,161%. Dan variasi diameter tuyer 40mm memiliki nilai rata-rata yang terbesar yaitu 38,770%. Dapat dianalisa bahwa variasi diameter tuyer 40mm dapat menstabilkan pembentukan *voidage* antara area bawah tuyer dan tuyer *level*.

Menurut (Kurniawan 2019), dikutip dari penelitian (Brabacka 2003) dan juga teori dari (Geerdes 2004), produktifitas akan optimal dengan *volume molten metal* yang dapat ditampung pada bagian *hearth zone* dengan dipengaruhi *voidage*, atau dengan kata lain, volume *liquid* bertambah seiring dengan meningkatnya *voidage* pada *heart zone* atau daerah bawah tuyer (plot area a, b, dan c).

Hal tersebut berlaku pula pada bagian tuyer *level*. Pada daerah ini terjadi permulaan *counter-current process*, dimana aliran gas melewati celah antar material *solid* di *bed* ke atas dan aliran *hot metal* serta *slag* mengalir ke bawah. Semakin tidak baik dengan persentase *voidage* yang mengecil pada area tuyer *level*, hal ini terjadi karena gas semakin terhalang dari aliran cair *hot metal* dan *slag* yang mengalir ke bawah, sehingga dapat menyebabkan gelembung gas serta menurunkan produktifitas kerja dari *mini blast furnace* (Brabacka 2003).

Dari penjelasan yang sudah dijelaskan didapatkan bahwa variasi diameter tuyer 40mm adalah diameter yang paling optimal dalam pembentukan *voidage*. *Voidage* yang terbentuk pada bagian bawah tuyer memiliki nilai 35,660%, sehingga semakin banyak *molten metal* yang dapat ditampung pada bagian *hearth*. Kemudian nilai rata-rata *voidage* pada bagian tuyer *level*, diameter tuyer 40mm memiliki nilai rata-rata sebesar 38,770%, hal ini dapat



---

mengurangi terbentuknya gelembung gas, sehingga meminimalisir penurunan produktifitas proses pada *mini blast furnace*.

Dalam penelitian ini juga dapat dilihat bahwa terdapat hasil yang kurang linier pada nilai *voidage* pada bagian bawah tuyer, hal ini dikarenakan dengan bertambahnya ukuran dari diameter tuyer membuat distribusi udara semakin merata. Pada variasi diameter tuyer 60mm memiliki nilai *voidage* yang kecil, namun persebaran *voidage* nya merata untuk keseluruhan pada *mini blast furnace*. Nilai *voidage* pada diameter tuyer 40mm dan 80mm pada bagian bawah tuyer memiliki nilai terbesar dikarenakan pada diameter tuyer 40mm memiliki kecepatan yang tinggi, sehingga mampu melakukan pembentukan *voidage* yang semakin besar. Sedangkan pada diameter tuyer 80mm memiliki nilai *voidage* yang besar dikarenakan aliran udara dapat terdistribusi pada seluruh *mini blast furnace*, yang mengakibatkan pembentukan *voidage* menjadi semakin besar dan merata.

#### **4.2.2 Pengaruh Variasi Diameter Tuyer terhadap Pembentukan *Raceway***

Fenomena pembentukan *raceway* sangat erat hubungannya dengan kecepatan laju aliran gas yang dipengaruhi oleh diameter tuyer, dimana laju aliran yang meningkat akan memperbesar area *raceway*. Hal ini juga dibuktikan oleh penelitian dari (Zhang Sheng-fu 2008) yang menjelaskan bahwasanya diameter tuyer akan memberikan pengaruh terhadap pembentukan *raceway*. Selain itu faktor lain seperti *voidage* serta ukuran *burden material* juga berpengaruh. Untuk mengetahui pengaruhnya maka digunakan metode *cross-section* pada bagian dari *mini blast furnace* seperti pada Gambar 4.9 dan 4.10 agar dapat dilihat secara kualitatif mengenai pengaruh diameter tuyer terhadap pembentukan *raceway*.

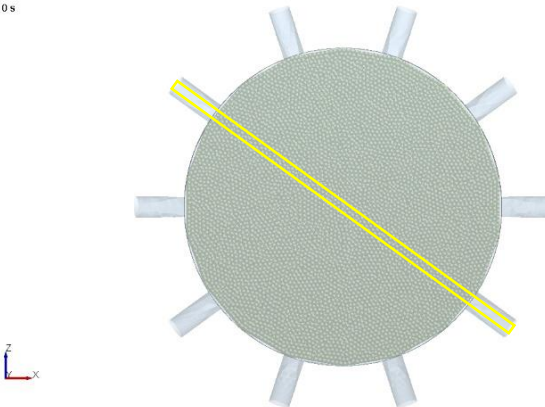
Time: 0 s



EDEM

**Gambar 4.9** *Cross-section* MBF

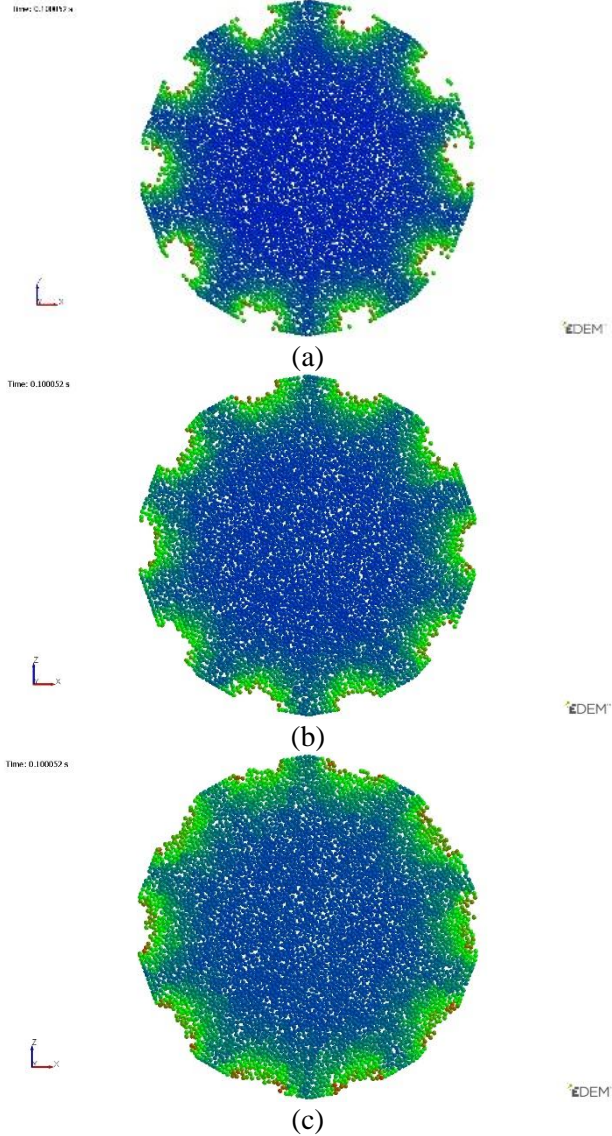
Time: 0 s



EDEM

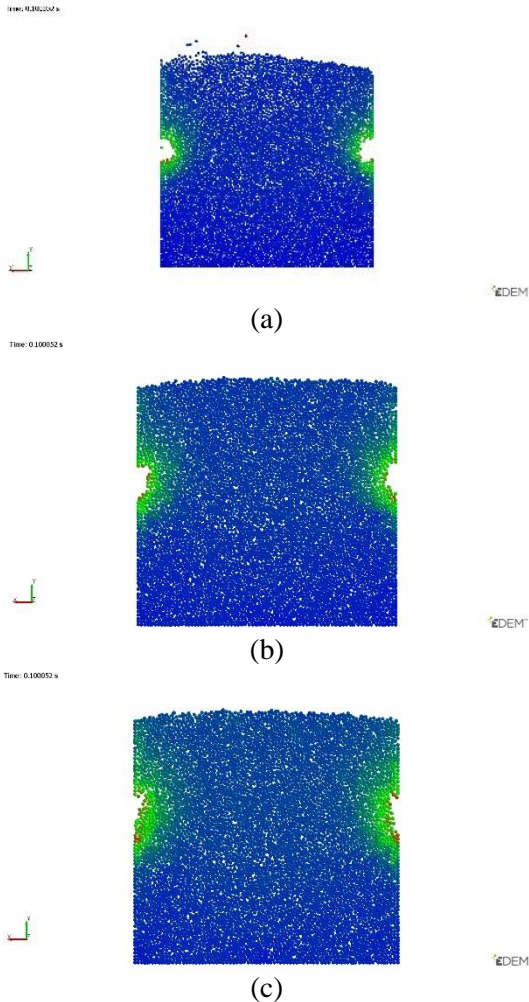
**Gambar 4.10** *Vertikal cross-section* pada MBF

Setelah dilakukan *cross-section* pada bagian tuyen maka didapatkan hasil seperti pada Gambar 4.11 berikut.



**Gambar 4.11** *Cross-section* MBF pada berbagai variasi diameter tuyer (a) 40mm, (b) 60mm, dan (c) 80mm

Pada vertikal *cross-section*, ditunjukkan pada Gambar 4.12 berikut



**Gambar 4.12** Vertikal *cross-section* MBF pada berbagai variasi diameter tuyer (a) 40mm, (b) 60mm, dan (c) 80mm

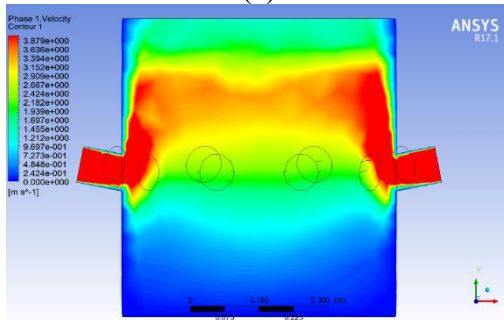
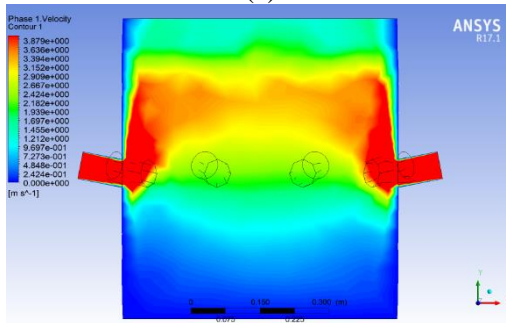
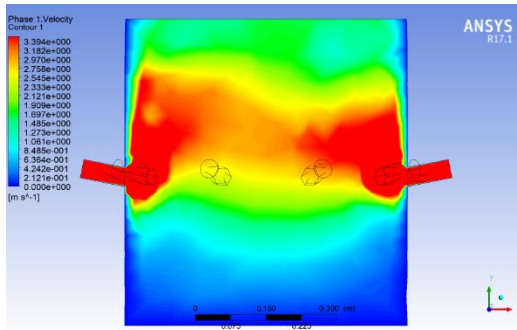
Dari hasil di atas, didapatkan bahwa pada diameter 40mm memiliki kedalaman *raceway* terbesar secara keseluruhan, namun untuk ukuran terbesar dimiliki oleh variasi diameter tuyer 80mm.

Hal ini sesuai penelitian (G.S. Gupta 2006) yang menjelaskan bahwa dengan semakin besarnya diameter akan membuat ukuran *raceway* menjadi semakin besar pula. Karena dengan semakin besarnya diameter tuyer akan membuat udara dapat terdistribusi secara lebih merata. Namun, untuk kedalaman dari *raceway* kurang maksimal dikarenakan dengan meningkatnya ukuran diameter tuyer membuat kecepatan menjadi berkurang yang akan membuat kedalaman *raceway* kurang maksimal. Selain itu pada variasi ini terlihat banyak *burden material* yang aktif bergerak, hal ini penting karena *raceway* termasuk dalam *combustion zone*, dan partikel yang aktif bergerak menandakan adanya sirkulasi gas pada daerah tersebut. Hal ini penting dalam reduksi berbasis *coal*, nikel oksida sulit untuk bereaksi dengan karbon padat, namun karbon padat dapat dikurangi dengan *carbon gasification reduction* atau reaksi *bouduard* di bawah suhu tinggi untuk menghasilkan gas pereduksi (Wang. 2017)

#### **4.2.3 Pengaruh Variasi Diameter Tuyer terhadap Distribusi Kecepatan Gas**

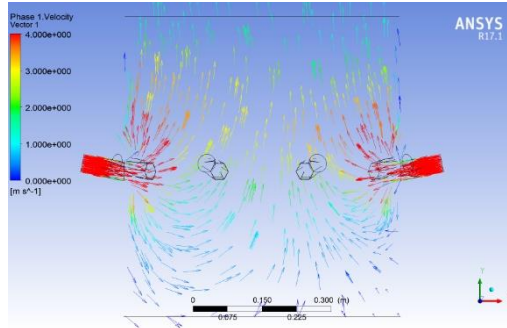
Pada prinsip kerja dari *mini blast furnace* peran distribusi kecepatan gas sangat berguna, terutama pada awal proses di *bed*, yaitu mendistribusikan kandungan Oksigen dari udara untuk reaksi *bouduard*. Perpindahan dan distribusi gas ditentukan oleh partikel dengan bentuk tak beraturan, dan saling berinteraksi satu sama lain sehingga dapat mempengaruhi konsumsi gas yang efektif (Babich 2008). Pemodelan ini dapat menampilkan secara kualitatif hasil dari distribusi kecepatan gas pada *bed*, dimana optimalisasi sangat diperlukan.

Analisis ini menggunakan metode *cross-section* dengan profil kecepatan gas ditunjukkan dalam *contour* dan juga profil kecepatan gas. Dimana hasil dari penelitian ini terlihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 berikut

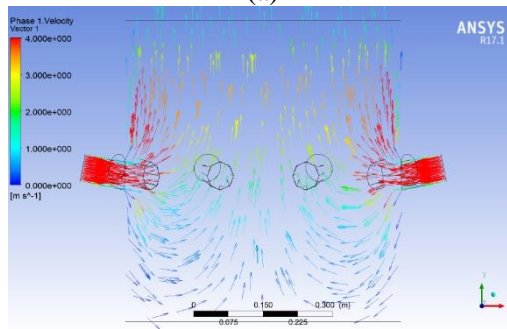


**Gambar 4.13** Hasil *countour* simulasi kecepatan gas pada berbagai variasi diameter tuye (a) 40mm, (b) 60mm, dan (c) 80mm

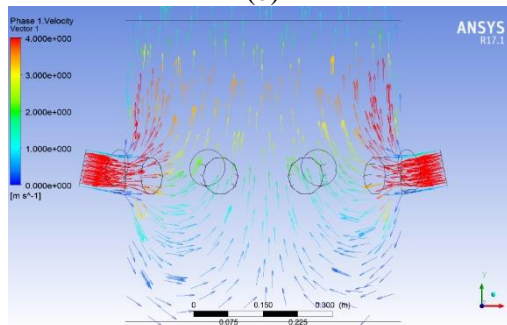
Untuk profil kecepatan gas hasil simulasi ditunjukkan oleh Gambar 4.14 berikut



(a)



(b)



(c)

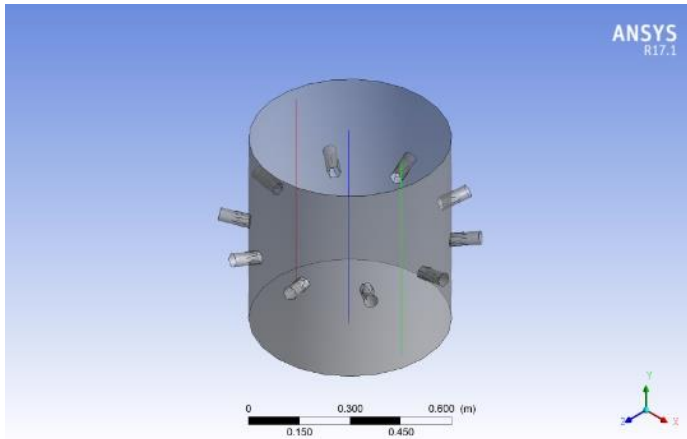
---

**Gambar 4.14** Hasil profil kecepatan gas pada berbagai variasi diameter tuyer (a) 40mm; (b) 60mm; dan (c) 80mm

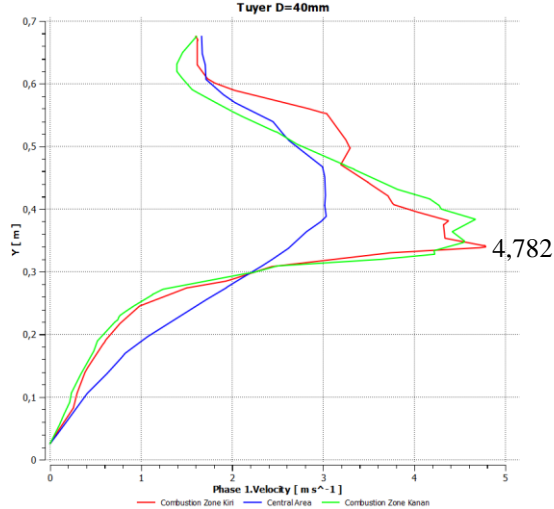
Dalam gambar di atas terlihat bahwa nilai kecepatan gas tertinggi ditunjukkan dengan warna merah, dan nilai kecepatan gas terendah ditunjukkan oleh warna biru. Pada gambar di atas, dapat dilihat bahwa profil kecepatan gas paling tinggi terletak pada bagian tuyer, hal ini dikarenakan pada bagian tuyer merupakan bagian dari *combustion zone* atau bagian dimana masuknya udara dari tuyer. Dengan profil kecepatan gas pada daerah di depan tuyer yang masih berwarna merah, hal ini dikarenakan gas pada daerah tersebut mengalami turbulensi yang menyebabkan terbentuknya *raceway*.

Selain itu kecepatan gas pada *central area* terlihat fluktuatif, seiring dengan perubahan variasi diameter tuyer, bisa dilihat pada variasi diameter tuyer 40mm nilai kecepataannya sebesar 3,029 m/s, pada variasi diameter tuyer 60mm memiliki kecepatan sebesar 3,299 m/s dan pada variasi diameter tuyer 80mm memiliki nilai kecepatan sebesar 3,246 m/s. Grafik kecepatan pada *central area* serta *combustion zone* ditunjukkan oleh gambar di bawah. Metode untuk perhitungan kecepatan pada MBF menggunakan *software* Ansys yaitu dengan mengukur kecepatan pada garis tengah (*central area*) dan 10 cm di depan tuyer (*combustion zone*), seperti ditunjukkan pada gambar 4.15

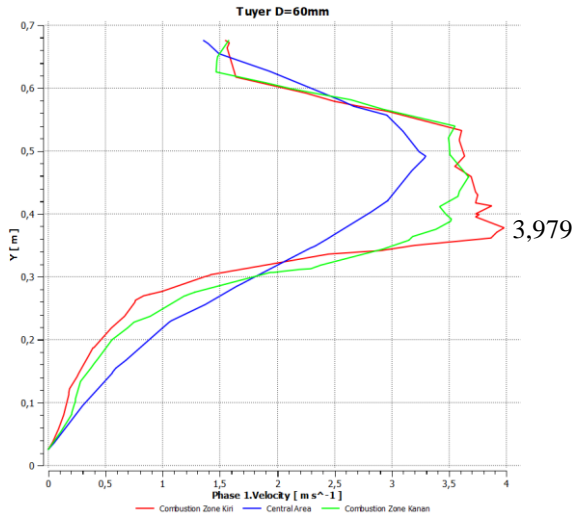




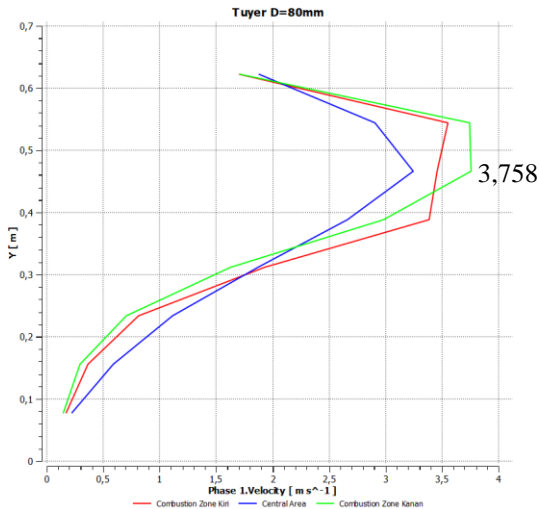
**Gambar 4.15** Metode garis untuk perhitungan kecepatan terhadap ketinggian



**Gambar 4.16** Grafik kecepatan terhadap ketinggian pada diameter tuyser 40mm



**Gambar 4.17** Grafik kecepatan terhadap ketinggian pada diameter tuyer 60mm



**Gambar 4.18** Grafik kecepatan terhadap ketinggian pada diameter tuyer 80mm

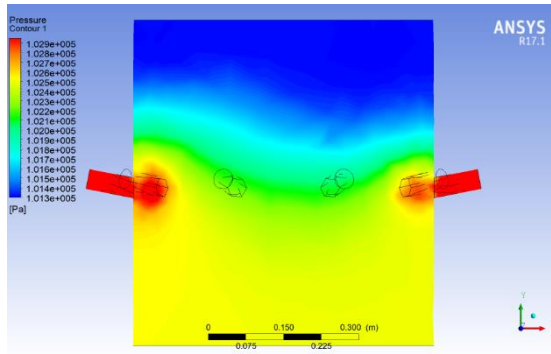
Dari grafik di atas diperoleh hasil bahwa aliran udara pada daerah 10 cm di depan tuyer (*combustion zone*) memiliki kecepatan yang paling tinggi pada ketinggian diantara 30-40 cm dari dasar MBF. Hal ini disebabkan pada bagian depan tuyer memiliki laju aliran udara yang besar, untuk pembentukan *raceway*, sehingga pada grafik kecepatan pun memiliki nilai yang paling besar. Dilihat dari grafik diatas, pada daerah 10 cm di depan tuyer nilai kecepatan gas tertinggi secara berurutan adalah untuk diameter tuyer 40mm (4,782 m/s), diameter tuyer 60mm (3,979 m/s), dan diameter tuyer 80mm (3,758 m/s). Sedangkan pada daerah *central area* nilai kecepatan gas tertinggi secara berurutan adalah diameter tuyer 60mm (3,299 m/s), diameter tuyer 80mm (3,246m/s), dan diameter tuyer 40mm (3,029 m/s).

Profil gas yang baik ditentukan oleh besarnya aliran gas yang melewati zona *central*, sehingga semakin besar jumlah gas yang melewati zona *central* akan baik untuk efisiensi proses yang terjadi. Berdasarkan pembahasan di atas, variasi diameter 60mm menghasilkan kecepatan yang mampu melewati zona *central* yang tinggi. Namun untuk kecepatan tertinggi dimiliki oleh variasi diameter tuyer 40mm.

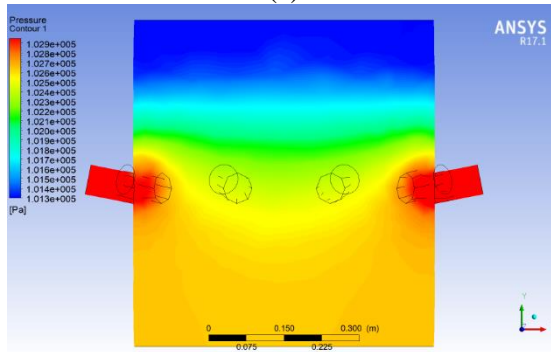
#### **4.2.4 Pengaruh Variasi Diameter Tuyer terhadap Distribusi Tekanan**

Pada prinsip kerja MBF, laju aliran gas dari tuyer akan naik ke atas melewati celah antar material solid (*voidage*) lapisan *coal*, maka akan menimbulkan perubahan tekanan yang berbeda-beda dan membentuk distribusi tekanan.

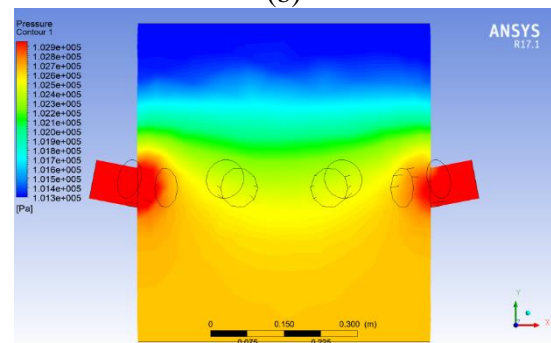
Analisis ini dilakukan dengan menggunakan metode *cross-section* dengan profil tekanan yang ditunjukkan dalam bentuk *contour*. Dimana hasil dari penelitian ini terlihat pada Gambar 4.19.



(a)



(b)



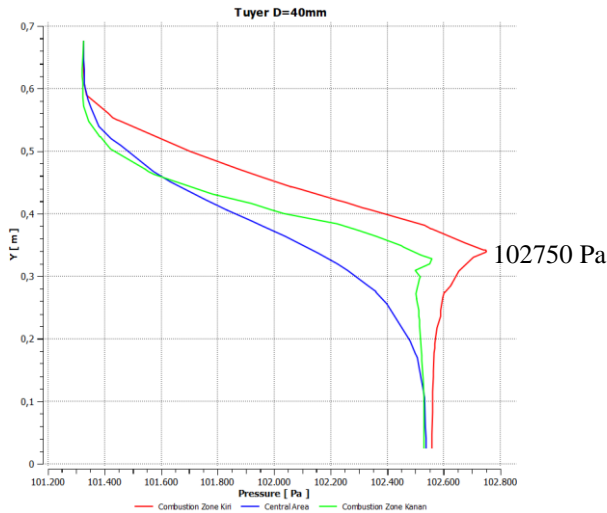
(c)

---

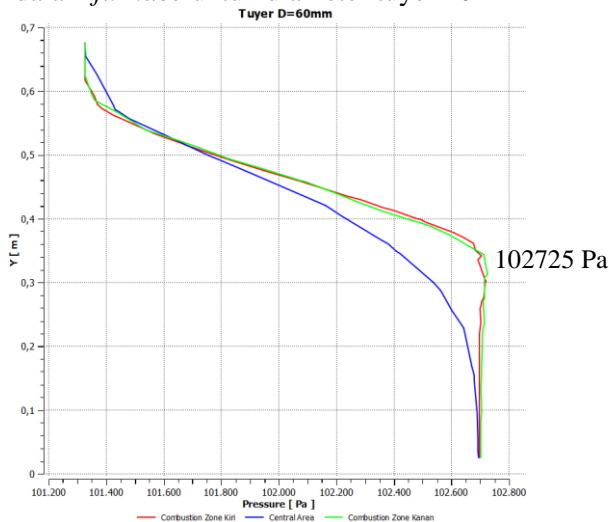
**Gambar 4.19** Hasil *countour* simulasi tekanan gas pada berbagai variasi diameter tuye (a) 40mm; (b) 60mm; dan (c) 80mm

Dari hasil simulasi tersebut didapatkan bahwa daerah di depan tuye merupakan daerah dengan tekanan terbesar pada MBF, hal ini terjadi karena terkonsentrasinya gas di daerah tersebut sehingga tekanan akan meningkat (Mousa 2011). Konsentrasi gas terjadi akibat laju aliran udara yang terhambat dari aliran tuye yang bertemu dengan *burden material*. Sedangkan pada *central area* terlihat bahwa semakin bertambahnya ketinggian, maka tekanan akan mengalami penurunan juga atau fenomena ini biasa disebut dengan *pressure drop*. Faktor yang menyebabkan terjadinya *pressure drop* salah satunya adalah *voidage*, dimana *voidage* di bawah area tuye cenderung lebih kecil dibandingkan area di antara tuye. *Voidage* yang lebih kecil menyebabkan resistansi yang dihadapi oleh gas akan meningkat, sehingga tekanan juga meningkat.

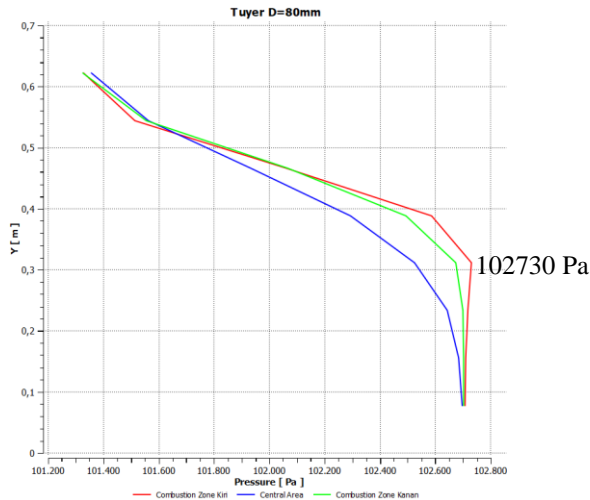
Selain itu, dengan bertambahnya ukuran dari diameter tuye, akan menaikkan tekanan yang dihadapi oleh tuye. Untuk menghitung tekanan yang terjadi maka dilakukan perhitungan untuk membuat grafik dengan menggunakan *software* Ansys yaitu dengan mengukur tekanan pada *central area*, dan 10 cm di depan tuye, dapat dilihat dari grafik tersebut pada Gambar 4.20, 4.21 dan 4.22.



**Gambar 4.20** Hubungan antara tekanan terhadap ketinggian di dalam *furnace* untuk diameter tuyser 40mm



**Gambar 4.21** Hubungan antara tekanan terhadap ketinggian di dalam *furnace* untuk diameter tuyser 60mm



**Gambar 4.22** Hubungan antara tekanan terhadap ketinggian di dalam *furnace* untuk diameter tuyser 80mm

Dari grafik tekanan yang ditampilkan untuk *central area* tekanan tertinggi terletak pada area dasar MBF yaitu nilai masing-masing variasi adalah untuk diameter tuyser 40mm (102538 Pa), diameter tuyser 60mm (102694 Pa), dan diameter tuyser 80mm (102696 Pa). Pada pengukuran 10 cm di depan tuyser untuk diameter tuyser 40mm (102557 Pa), diameter tuyser 60mm (102725 Pa), dan diameter tuyser 80mm (102730 Pa). Sehingga secara umum nilai tekanan tertinggi terletak pada bagian di depan tuyser, dan hal tersebut dibuktikan dengan visualisasi hasil *countour* dan juga hasil penghitungan dari penelitian ini.

Hal ini sesuai dengan penelitian (Adema 2014) dengan *voidage* yang semakin kecil menyebabkan resistansi yang dihadapi oleh gas akan meningkat, sehingga tekanan juga akan meningkat. Dalam penelitian kali ini bisa dilihat bahwa semakin besar diameter tuyser akan membuat tekanan menjadi semakin meningkat. Hal ini dikarenakan dengan bertambahnya ukuran diameter tuyser akan membuat laju aliran udara menjadi semakin kecil, sehingga kemampuan udara untuk melakukan pembentukan

*voidage* juga berkurang, dengan nilai *voidage* yang semakin kecil, mengakibatkan udara mengalami resistansi dengan *burden material* menjadi besar dan membuat tekanan meningkat seiring dengan bertambahnya ukuran dari diameter tuyer.

Untuk tekanan terendah dari masing-masing variasi diameter tuyer, untuk diameter tuyer 40mm (101322 Pa), diameter tuyer 60mm (101325 Pa), dan diameter tuyer 80mm (101327 Pa). Selain daripada itu, terlihat juga bahwa semakin tinggi dari dasar *mini blast furnace*, maka nilai tekanan akan semakin kecil. Ketika ukuran diameter tuyer bertambah akan menurunkan pembentukan *voidage*. Sehingga, nilai *pressure drop* akan meningkat dipengaruhi oleh menurunnya *voidage* yang terbentuk (Shungo Natsui 2015).

Pada proses *blast furnace*, diharapkan nilai *pressure drop* sekecil mungkin. Nilai *pressure drop* yang rendah akan berkaitan dengan efisiensi energi selama proses reduksi. *Pressure drop* yang tinggi menandakan bahwa aliran gas di dalam *mini blast furnace* yang kurang baik. Sehingga variasi diameter tuyer 40mm memiliki distribusi tekanan yang baik dikarenakan memiliki perubahan tekanan yang tidak terlalu drastis.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis dan pembahasan terhadap penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. *Voidage* pada *bed* dipengaruhi oleh laju aliran udara dari variasi diameter tuyer. Pembentukan *voidage* yang optimal secara berurutan ditunjukkan oleh variasi diameter tuyer 40mm, 60mm, dan 80mm.
2. Variasi diameter tuyer mempengaruhi kecepatan gas dalam MBF, semakin besar diameter tuyer maka akan berpengaruh terhadap kecepatan di dalam proses *mini blast furnace*. Pada penelitian ini kecepatan tertinggi terletak pada daerah 10 cm di depan tuyer (*combustion zone*), dengan nilai terbesar yaitu dimiliki oleh variasi diameter tuyer 40mm dengan nilai sebesar 4,782 m/s, selanjutnya variasi diameter tuyer 60mm dengan nilai sebesar 3,979 m/s, dan nilai terkecil didapatkan pada variasi diameter tuyer 80mm dengan nilai sebesar 3,758 m/s.
3. Variasi diameter tuyer mempengaruhi distribusi tekanan di dalam *mini blast furnace*, semakin besar diameter tuyer tekanan semakin naik. Perubahan tekanan paling rendah didapatkan pada variasi diameter tuyer 40mm dan perubahan tekanan tertinggi pada variasi diameter tuyer 80mm.

#### **5.2 Saran**

Untuk penelitian selanjutnya mengenai pemodelan *mini blast furnace* dengan variabel yang lain, beberapa saran yang dapat diberikan dari hasil penelitian ini antara lain :

1. Melakukan pemodelan mengenai fenomena multifasa yang terjadi di dalam *mini blast furnace*, mengingat pentingnya mengetahui bagaimana proses ideal yang terjadi di dalam *mini blast furnace*.

- 
2. Melakukan pemodelan secara *full-scale* untuk seluruh proses yang terjadi pada *mini blast furnace*.
  3. Selain mempelajari dari buku dan jurnal, mempelajari Tugas Akhir sebelumnya juga sangat membantu.
  4. Memperbanyak *trial and error* agar hasil lebih maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, Fakhreza., Sungging Pintowantoro. *Studi Pengaruh Rasio Feed Materials pada Proses Smelting Mineral Tembaga Karbonat Menggunakan Mini Blast Furnace (MBF)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2014.
- Adema, Allert. "Coupled DEM-CFD Modelling of the Ironmaking Blast Furnace." *TU-Delft University*, 2014.
- Babich, A. *Ironmaking Textbook*. Aachen: RWTH Aachen, 2008.
- Biswas, A. *Principles of Blast Furnace Ironmaking : Theory and Practice*. Calcutta: SBA Publications, 1981.
- Biswas, A.K. *Principle of Blast Furnace Ironmaking*. Australia: University of Queensland, 1981.
- Brabacka, J. "Estimating the Behaviour of the Liquid Level and the Dead Man in the Blast Furnace Heart." *pp*, 2003: 53-58.
- Castro, Jose Adilson Ed. *A Multi-Dimensional Transient Mathematical Model of Blast Furnace Based on Multi Fluid Model*. Sendai, Miyagi: Tohoku University, 2000.
- Crundwell, F.K., Moats, M.S., Ramachandran V., Robinson, T.G., dan Davenport, W.G. *Extractive Metallurgy of Nickel Cobalt and Platinum-Group Metals*. Oxford: Elsevier, 2011.
- Diaz, C.M., C.A. Landolt., A. Vahed, Warner A.E.M., J.C. Taylor. *A Review of Nickel Pyrometallurgical Operations* . Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalts Symposium, 1988.
- Elliot, R., dkk. *Thermodynamics of the Reduction Roasting of Nickelferous Laterites Ores*. Kingston: Queen's University, 2016.
- ESDM. *Kajian Supply Demand Mineral*. Jakarta: Pusat Data dan Informasi Kementerian Enerdi dan Sumber Daya Mineral , 2016.
- Fatchul. *Bahan Teknik*. 2012.  
[eprints.upnjatim.ac.id/3000/1/bahan\\_teknik.pdf](http://eprints.upnjatim.ac.id/3000/1/bahan_teknik.pdf).

- 
- G.S. Gupta, V. Rudolph. "Comparasion of Blast Furnace Raceway Size with Theory." *ISIJ International*, 2006: 195-201.
- Geerdes, M. *Modern Blast Furnace Ironmaking*. Dusseldorf: Verlag Stahleisen, 2004.
- Golightly, John Paul. *Geology of Soroako Nickelferous Laterite Deposits*. Ontario: INCO Metals Company, 1979.
- H. Nogami, Mansheng Chu, J. Yagi. *Numerical Analysis on Blast Furnace Performance with Novel Feed Material by Multi-Dimensional Simulator Based*. Japan: Mathematical Modelling 30, 2006.
- Herianto, Edi. "Peleburan Bijih Nikel Laterit menggunakan Blast Furnace." *Jurnal Metalurgi*, 2008: 107-111.
- Kurniawan, Arif Tri. *Analisa Pengaruh Sudut Tuyeer Terhadap Voidage, Kecepatan Gas dan Distribusi Tekanan pada Mini Blast Furnace Kapasitan 10 Bijih Ton/Hari Menggunakan DEM-CFD Coupled Model*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.
- M. Sousani., A.M. Hobbs., A. Anderson., R.Wood. "Accelerated Heat Transfer Simulations Using Coupled DEM and CFD." *Powder Technology*, 2019: 367-376.
- Miao, Z., Zongyan Zhou, Aibing Yu, Yansong Shen. "CFD-DEM Simulation of Raceway Formation in An Ironmaking Blast Furnace." *Powder Technoogy*, 2016: 1.
- Mitra, T.D., H. S. *Model for Fast Evaluation of Charging Programs in The Blast Furnace*. Metallurgical and Materials Transaction, 2014.
- Mousa, E. A.,. "Effect of Nuts Coke-Sinter Mixture on the Blast Furnace Performance." *pp*, 2011: 350-358.
- Mustika, Rima, dkk. "Estimasi Sumber Daya Nikel Laterit dengan Metode Inverse Distance Weighting (IDW) pada PT. Vale Indonesia, Tbk. Kecamatan Nuha Provinsi Sulawesi Selatan ." *Geomine Indonesia*, 2015.
- N.W. Brand et al. *Nickel Laterites : Classification and Features*. Australia: AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 1997.
-

- 
- Nogami, H., Hideyoki Yamaoka, and Kouji Takatani. "Raceway Design for the Innovative Blast Furnace." *ISIJ International*, 2004: 2150-2158.
- Nurjaman, F., Shofi A., & Suharno, B.,. *Pembuatan NPI (5 - 8% Ni) Menggunakan Hot Blast Cupola Furnaces Kapasitas 3 Ton/Hari*. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2016.
- Puguh, Prasetyo. *Sumber Daya Mineral di Indonesia Khususnya Bijih Nikel Laterit dan Masalah Pengolahannya Sehubungan dengan UU Minerba 2009*. Banten: Cisauk, 2009.
- Rahmat, A. *Studi Desain Blast Furnace Kapasitas 5000 Ton/Hari dengan Sumber Reduktan Arang Berbasis Pemodelan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- Ramadhan, Muhammad Rizqi. *Analisa Pengaruh Sudut Bosh Terhadap Distribusi Tekanan dan Kecepatan Gas pada Mini Blast Furnace Kapasitas 10 Ton Bijih Per Hari Menggunakan DEM-CFD Coupled Model*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.
- Rizki, Febrianto. *Analisa Pengaruh Ukuran Diameter Large Bell Terhadap Deformasi Layer dan Distribusi Burden Materials di Dalam Mini Blast Furnace Kapasitas 250 Ton/Hari Menggunakan Discrete Element Method*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- Shungo Natsui, Hifumi Takai, Ryota Nashimoto. "Model Study of Effect Particles Structure on Heat and Mass Transfer Through Packed Bed in Iron Making Blast Furnace." *Japan*, 2015.
- Stephen, D.C. *Iron Melting Cupola Furnace for the Small Foundry*. Jacksonville: Stephen D. Chastain, 2000.
- Subagja, R., Prasetyo, A. B. & Sari, W. M. *Peningkatan Kadar Nikel dalam Laterit Jenis Limonit dengan Cara Peletasi, Pemanggangan Reduksi dan Pemisahan Magnet Campuran Bijih, Batu Bara dan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>*. Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, 2016.
-

- 
- Tanaka, K., Nishida, M., Kunimochi, T. & Takagi, T.,. *Numerical and Experimental Studies for The Impact of Projectiles on Granular Materials*. Nagoya Institute of Technology: Handbook of Powder Technology, 2001.
- Tyroler, G.P., Landolt C.A., editor. *Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt*. New York: The Metallurgical Society, 1998.
- Veersteg, HK., Malalasekera, W. *An Intoduction to Computational Fluid Dynamic : The Finite Volume Method*. New Jersey: Prentice Hall, 2007.
- Wang., Z. “Preparing Ferro-Nickel Alloy from Low-Grade.” 2017.
- Wright, Bryan., Paul Zulli, Frank Bierbrauer, and Vladimir Panjkovic. “Asessment of Refractory Condition In A Blast Furnace Hearth Using Computational Fluid Dynamic.” *3rd International Conferences*, 2003: 645.
- Yu Y. dan Saxen, H. “Particle Flow and Behaviour at Bell-Less Charging of The Blast Furnace.” *Steel Res*, 2013: 1018-1033.
- Yu, Y. dan Saxen, H. “Experimental and DEM Study of Segregation of Ternary Size Particles in a Blast Furnace Top Bunker Model.” *Chemical Engineering Science*, 2010: 5237-5250.
- Zhang Sheng-fu, BAI Chen-Guang, Wen Liang-ying, et al. “Cold Model Study on Effect Factors of Blast Furnace Raceway Size.” *Journal of System Simulation*, 2008: Vol. 20.
-

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Perhitungan Inner Volume MBF

Perhitungan inner volum MBF menggunakan rumus volume silinder

$$V = \pi r^2 \times h$$

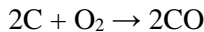
$$V = \pi(0,3\text{m})^2 \times 3,6\text{m}$$

$$V = 1,017 \text{ m}^3$$

### Lampiran 2. Perhitungan Kebutuhan Udara

Untuk perhitungan kebutuhan udara dapat diketahui dengan mencari kebutuhan oksigen, yaitu :

- Reaksi pembentukan CO dari C (CO yang dibutuhkan reaksi adalah 89,57357)

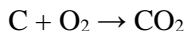


$$\text{Mol O}_2 = \frac{1}{2} \text{ mol CO} = \frac{1}{2} \text{ mol C}$$

$$= \frac{1}{2} \times 89,57357$$

$$= 44,78679 \text{ mol}$$

- Reaksi 1



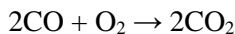
$$\text{Mol O}_2 = \text{mol C}$$

$$= (\text{wt\% fix C} \times \text{Massa batu bara} / \text{Ar C}) - (\text{mol C pembentukan CO})$$

$$= (42,35\% \times 17000 / 12,01) - 89,57357$$

$$= 466,7 \text{ mol}$$

- Reaksi 2



$$\text{Mol O}_2 = \frac{1}{2} \text{ mol CO}$$

$$= \frac{1}{2} \times (2 \times 466,7) \text{ mol}$$

$$= 466,7 \text{ mol}$$

Total kebutuhan oksigen setiap layernya adalah 978,234 mol

Karena di dalam udara mengandung 21% oksigen, maka jumlah mol udara yang dibutuhkan adalah:

- Kebutuhan Udara =  $978,234 \text{ mol} / 0,21$   
=  $4658,26 \text{ mol} \times 22,4 \text{ liter/mol.jam}$

$$\begin{aligned}
 &= 104344,97 \text{ liter/jam} \\
 &= 104,34497 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 1,739 \text{ m}^3/\text{menit} - \text{per layer}
 \end{aligned}$$

### **Lampiran 3. Perhitungan Jumlah Layer**

Perhitungan jumlah layer dalam inner volum:

Asumsi ketinggian *bed* 10cm di atas tuyser:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{bed}} &= \pi r^2 \times 0,55\text{m} \\
 V_{\text{bed}} &= 0,155 \text{ m}^3 \\
 m_{\text{bed}} &= 0,155 \text{ m}^3 \times 1307 \text{ Kg/m}^3 \\
 m_{\text{bed}} &= 203,147 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Asumsi awal rongga pada *bed* adalah 40%:

$$\begin{aligned}
 m_{\text{bed}} &= 203,147 \text{ Kg} \times 0,6 \\
 m_{\text{bed}} &= 121,7 \text{ Kg}
 \end{aligned}$$

Jadi untuk massa *bed* awal yang dibutuhkan adalah 122 Kg

$$\begin{aligned}
 \frac{V_{\text{ore}}}{\text{layer}} &= \frac{25}{1388 \text{ Kg/m}^3} = 0,0180 \text{ m}^3 \\
 \frac{V_{\text{coal}}}{\text{layer}} &= \frac{17}{1307 \text{ Kg/m}^3} = 0,0130 \text{ m}^3 \\
 \frac{V_{\text{dolomit}}}{\text{layer}} &= \frac{21}{1709 \text{ Kg/m}^3} = 0,0123 \text{ m}^3 \\
 V_{\text{layer}} &= (0,018 + 0,013 + 0,0123) \text{ m}^3 \\
 &= 0,0433 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Asumsi awal *void* yang terjadi pada layer adalah 30%

$$\begin{aligned}
 V_{\text{layer}} &= 0,0433 \text{ m}^3 \times 130\% \\
 &= 0,0563 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah layer maks} &= V_{\text{inner}}/V_{\text{layer}} \\
 &= (1,017-0,155)/0,0563 \\
 &= 15,3
 \end{aligned}$$

Jadi kebutuhan udara untuk 15 layer adalah 26,6 m<sup>3</sup>/menit

### **Lampiran 4. Laju Aliran Udara**

Dalam penelitian ini, digunakan perbandingan dari laju aliran, yaitu debit udara (26.6 m<sup>3</sup>/menit) dengan *working volume blast furnace* (1.017 m<sup>3</sup>). Sehingga didapatkan variasi laju aliran atas dasar kebutuhan oksigen pada proses terhadap *off gas* yang ditunjukkan pada Tabel 1



**Tabel.0.1** Laju aliran 10 tuyer

Volume udara (m <sup>3</sup> /s)	0.45
Volume udara/tuyer (m <sup>3</sup> /s)	0.045
Laju aliran udara (m/s)	35.828

**Lampiran 6. Perhitungan voidage**

Perhitungan *voidage* pada layer:

$$\varepsilon = 1 - \frac{1}{V_0} \sum V_j$$

Dimana,

$$V_0 = \text{Volume control}$$

$$V_j = 1,25E-04 \text{ m}^3$$

**Lampiran 7. Perhitungan pressure drop**

Perhitungan *pressure drop* menggunakan pendekatan persamaan Ergun yaitu

$$\frac{\Delta P}{H} = \psi \frac{1 - \varepsilon \rho}{\varepsilon^3} \frac{1}{d} w^2$$

Dimana *friction factor*,

$$\psi = 1,75 + \frac{150}{Re'}$$

Untuk  $Re'$

$$Re' = \frac{\rho \cdot w \cdot d}{\mu(1 - \varepsilon)}$$

**Lampiran 7. Perhitungan volume raceway**

Perhitungan *raceway* dilakukan dengan menghitung massa *coal* yang berpindah pada area terbentuknya *raceway* sebelum dan sesudah laju aliran diberikan

$$\text{Volume} = \frac{\text{Massa partikel sebelum} - \text{Massa partikel sesudah}}{\text{Massa jenis partikel}}$$

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan Tugas Akhir ini penulis banyak mendapat bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Ibu dan Bapak, serta seluruh keluarga yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih, motivasi, dan inspirasi, serta dukungan moril serta materiil dalam mengerjakan Tugas Akhir dan selama berkuliah di Departemen Teknik Material dan Metalurgi
3. Bapak Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.Eng., Ph.D. dan Bapak Sungging Pintowantoro, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan memberikan banyak ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir ini
4. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi
5. Dr. Eng. Hosta Ardhyananta, S.T., M.Sc. selaku Koordinator Tugas Akhir Departemen Teknik Material dan Metalurgi
6. Bapak Fakhreza Abdul, S.T., M.T. selaku dosen wali, kakak sekaligus pembimbing yang selalu mengayomi penulis selama penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi dan juga mengingatkan penulis untuk mengerjakan Tugas Akhir.
7. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi yang telah memberikan pengetahuan dan pembelajaran kehidupan
8. Kawan yang selalu menemani penulis layaknya keluarga. Kawan Discord (Gadang, Wildan, Putee, Muti); Kawan Semprot.com 2.0 (Ajis, Gentong, Dirham, Edo, Surya, Yodha, Andre, Awang, Benny, Cete, Dicki, Fafa, Jovan, Lalang, Nafido, Singeke, Raka, Roby, Sakti, Sandy, Yohan, Idham, Dumpil); Kawan Kangen (Rina, Elan, Gentong,

---

Yuda, Lalang); Kawan Anak2 bu Esthie (Gimblah, Andro, Dea, Fitria, Lingga, Nabila, Nistya, Sekar, Shafa) serta Sahabat-sahabat penulis Gadang, Wildan, Benny, Gimblah, Afif, Elan, Cebong, Iqrok.

9. Kontrakan Kita Kiting, Nopal, Radite, Eka, Afni yang telah menjadi tempat paling nyaman untuk pulang dan melepas lelah di Surabaya.
10. Araya Shafiera Tiarastuti yang telah memberikan banyak pengalaman serta kenangan selama menjalin kisah bersama.
11. BPHPIDir RAPI 18/19, Agoy, Nail, Erick, Tetty, Nadira, Bagas, Nanta, Rio, Beggy, Omyog, Hangga, Gary, Fira, Monge, Iqbal yang telah menjadi teman mengabdikan selama 366 Hari
12. Teman teman Lab. Ekstraksi 2019/2020 Rizki, Erick, Iqbal, Naim, Vito, Tetty, Satrio, Afni, Nanta, Falfir, Fira, Henokh, Kepin, Radite, Fadel, Naufal, Amri
13. Partner TA pemodelan Rizki Sumantri, yang telah membantu dalam pemodelan maupun dalam mendengarkan keluh kesah penulis
14. Mas Arif Tri Kurniawan, Mas Rachmad Abdhael Ghoefoer, Mas Hendy Roesma Wardana, Mas Aryo Seno Wasisto yang senantiasa memberi wawasan dalam penulisan Tugas Akhir
15. Teman-teman MT18 (Totalitas, Integritas, Berkarakter) yang telah menemani dan mengukir kisah indah selama berkuliah di ITS, khususnya di Departemen Teknik Material dan Metalurgi
16. Mas/Mbak MT17, MT16 dan MT15 yang menjadi kakak selama di Surabaya
17. Adek-adek MT19 dan MT20 yang selalu memberi warna dalam menjalani perkuliahan di DTMM. Semoga lekas menyusul

Serta seluruh pihak yang belum sempat penulis sampaikan satu per satu. Terimakasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

---

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Kota Madiun pada tanggal 30 Januari 1998. Merupakan anak pertama (dari 2 bersaudara) dari pasangan Bapak Sulistya Dwi Susanto dan Ibu Mahmudah Istiqomah. Penulis pernah menempuh Pendidikan formal pada TKIT An-Nuur Madiun pada tahun 2002-2004, lalu melanjutkan di MIT Bakti Ibu Madiun pada tahun 2004-2010, setelah itu melanjutkan lagi pada SMP Negeri 1 Madiun pada tahun 2010-2013, dan melanjutkan di SMA Negeri 1 Madiun pada tahun 2013-2016. Setelah itu penulis melanjutkan studinya ke jenjang sarjana di Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2016-2020. Selama berkuliah di Departemen Teknik Material dan Metalurgi penulis pernah aktif dalam beberapa kegiatan kampus, salah satunya yaitu dengan menjadi Koordinator Keamanan dan Perizinan The Real FOG 2018 BEM FTI-ITS, serta Konseptor GERIGI ITS 2018. Sedangkan untuk aktivitas organisasi penulis juga kerap aktif dalam aktivitas organisasi, salah satunya adalah menjadi Staff Departemen Sosial Masyarakat BEM FTI-ITS 2017/2018, SC Kaderisasi HMMT FTI-ITS 2017, dan Ketua HMMT FTI-ITS 2018/2019. Selain dari kegiatan perkuliahan, penulis juga pernah menjalankan Kerja Praktek di PT. Inka Multi Solusi. Lalu Tugas Akhir yang dikerjakan penulis di bidang pemodelan pengolahan mineral dengan judul “Analisis Pengaruh Diameter Tuyer terhadap *Voidage*, Kecepatan Gas, dan Distribusi Tekanan pada *Mini Blast Furnace* menggunakan Metode DEM-CFD *Coupled Model*”

**Email** : najib\_aufa@yahoo.co.id

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*