



TUGAS AKHIR - TL 184834

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

MUHAMMAD RIZQI RAMADHAN
NRP 02511540000116

Dosen Pembimbing
Mas Irfan P. Hidayat, Ph. D
Sungging Pintowantoro, Ph. D

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - TL 184834

**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**

MUHAMMAD RIZQI RAMADHAN
NRP. 0251154000116

Dosen Pembimbing
Mas Irfan P. Hidayat, Ph. D
Sungging Pintowantoro, Ph. D

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 184834

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF BOSH ANGLE
TOWARD PRESSURE DISTRIBUTION AND
GAS VELOCITY IN MINI BLAST FURNACE
WITH 10 TONE ORE PER DAY CAPACITY
USING DEM-CFD COUPLED MODEL METHOD**

MUHAMMAD RIZQI RAMADHAN
NRP. 02511540000116

Advisors
Mas Irfan P. Hidayat, Ph. D
Sungging Pintowantoro, Ph. D

**MATERIAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2019**

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA PENGARUH SUDUT TERHADAP DISTRIBUSI
TEKANAN DAN KECEPATAN GAS PADA MINI BLAST
FURNACE KAPASITAS 10 TON BIJIH PER HARI
MENGUNAKAN DEM-CFD COUPLED MODEL**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi Ekstraksi
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

MUHAMMAD RIZQI RAMADHAN
NRP 02511540000116

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Mas Irfan P.Hidayat, Ph.D.....(Pembimbing I)
2. Sungging Pintowantoro., Ph.D.....(Pembimbing II)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**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**

Nama : Muhammad Rizqi Ramadhan
NRP : 02511540000116
Departemen : Teknik Material FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Mas Irfan P. Hidayat, Ph. D
Co-Pembimbing : Sungging Pintowantoro, Ph. D

Abstrak

Melimpahnya sumber daya mineral di Indonesia, harus diikuti dengan teknologi pengolahan mineral yang efektif dan efisien. Salah satu sumber daya yang melimpah adalah Nickel Laterit. Analisis permodelan dan simulasi pada reaktor mini blast furnace (MBF) dilakukan sebagai dasar untuk mencapai pengolahan mineral yang optimal. Mini blast furnace merupakan upaya pengembangan teknologi pengolahan mineral dengan penerapan prinsip blast furnace. Proses pengolahan mineral pada MBF dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satunya adalah sudut bosh. Penelitian ini menggunakan 3 variasi sudut bosh yaitu 90°, 86°, dan 82°. Analisis dari penelitian ini menggunakan DEM-CFD coupled model. Setelah dilakukan simulasi dan pengolahan data, variasi sudut bosh berdampak pada distribusi burden material yang juga mempengaruhi nilai tekanan dan kecepatan gas. Semakin kecil sudut bosh menyebabkan kuantitas burden material pada zona central menjadi banyak. Pressure drop dan kecepatan gas semakin meningkat, dengan adanya pegecilan inner diameter yang disebabkan oleh pegecilan kemiringan sudut bosh.

***Kata kunci : Mini Blast Furnace, Sudut Bosh DEM-CFD,
Distribusi Tekanan, Kecepatan Gas***

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF BOSH ANGLE
TOWARD PRESSURE DISTRIBUTION AND GAS
VELOCITY IN MINI BLAST FURNACE WITH 10
TONE ORE PER DAY CAPACITY USING DEM-CFD
COUPLED MODEL METHOD**

Name : Muhammad Rizqi Ramadhan
NRP : 02511540000116
Department : Material Engineering
Advisors : Mas Irfan P. Hidayat, Ph. D
Co-Advisors : Sungging Pintowantoro, Ph. D

Abstract

The abundance amount of resources in indonesia, must be followed by effective and efficient mineral processing technology. One of them abundant resources is Nickel Laterite. Modeling and simulation analysis of the mini blast furnace (MBF) reactor was carried out as a basis for achieving optimal mineral processing. MBF is an effort to develop mineral processing technology by applying the blast furnace principle. Mineral processing in MBF is influenced by several factors, one of them is the bosh angle. This study use 3 bosh angle variations namely 90°, 88°, and 86°. DEM-CFD coupled model were used to analyze this study. It is obtained that the variations of bosh angle have an impact on the distribution of the burden material which also affects the gas pressure and velocity values. The smaller the bosh angle causes the burden material quantity in the central zone to be many. Pressure drop and gas velocity are increasing, with a reduction in inner diameter cause by a reduction in the bosh angle.

Keywords : *Mini Blast Furnace, Bosh Angle, DEM-CFD, Pressure, Velocity*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ini diselesaikan untuk berkontribusi terhadap bangsa serta memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“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”**

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 terima kasih kepada pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan, diantaranya:

1. Allah SWT atas karunia, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.
2. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
3. Bapak Mas Irfan P. Hidayat, Ph.D. selaku dosen pembimbing 1 tugas akhir yang telah memberikan bekal dan motivasi yang sangat bermanfaat.
4. Bapak Sungging Pintowantoro, Ph.D. selaku dosen pembimbing 2 tugas akhir yang telah memberikan bekal dan ilmu baru bagi penulis.

5. Bapak Fakhreza Abdul, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing non-formal yang telah memberikan banyak ilmu dan pengalaman.
6. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta S.T., M.Sc. selaku Kaprodi Departemen Teknik Material FTI-ITS.
7. Ibu Vania Mitha Pratiwi, ST., MT. selaku dosen wali yang telah membantu penulis menjalani pendidikan di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih membutuhkan banyak masukan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama.

Surabaya, Juli 2019

Penulis,
Muhammad Rizqi Ramadhan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Bijih Nikel	6
2.3 Batu Bara.....	8
2.4 <i>Dolomite</i>	10
2.5 <i>Mini Blast Furnace</i>	11
2.6 <i>Charging System</i>	17
2.7 <i>Distribusi Burden Material</i>	18
2.8 <i>Burden Descent Behavior</i>	18
2.9 <i>DEM-CFD Coupled Model</i>	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	27
3.2 Prosedur Permodelan.....	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1 Pengaruh Sudut <i>Bosh</i> Terhadap Distribusi <i>Burden</i> <i>Material</i>	43
4.2 Pengaruh sudut <i>Bosh</i> Terhadap Distribusi Tekanan....	53
4.3 Pengaruh Sudut <i>Bosh</i> Terhadap Distribusi Aliran Gas.....	56

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN.....	71
BIODATA PENULIS	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Profil Lapisan Nikel Laterit Beserta Komposisinya	7
Gambar 2.2	Batu Bara	8
Gambar 2.3	Hubungan Voidage, Diameter, dan Pressude Drop	9
Gambar 2.4	Kristal Dolomite.....	11
Gambar 2.5	Blast Furnace	12
Gambar 2.6	Ilustrasi Kupola Untuk Peleburan Besi	16
Gambar 2.7	Zona Raceway.....	15
Gambar 2.8	Zona ada Blast Furnace.....	16
Gambar 2.9	<i>Bell-Less Top Charging</i> (kiri) dan <i>Double Bell Charging</i> (kanan).....	17
Gambar 2.10	Perubahan pada Profil Bagian dalam <i>Blast Furnace</i> karena Erosi pada Bata Refraktori	19
Gambar 2.11	Kode-Kode CFD.....	21
Gambar 2.12	Skema Perbandingan (a) FEM dan (b) FVM.....	23
Gambar 2.13	Model Kontak untuk Interaksi Gaya Antar Partikel.....	25
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar 3.2	Variasi Sudut Bosh Sebesar (a) 90° ; (b) 88° ; (c) 86°	29
Gambar 3.3	Tampilan <i>Meshing</i> Geometri MBF dengan Sudut <i>Bosh</i> 90° (a) 2 Dimensi; (b) 3 Dimensi ...	30
Gambar 3.4	Bentuk <i>Burden Material</i> : (a) <i>coal</i> 1; (b) <i>coal</i> 2; (c) <i>coal</i> 3; (d) <i>conditioned ore</i> ; (e) <i>dolomite</i> 1; (f) <i>dolomite</i> 2; (g) <i>dolomite</i> 3.....	32
Gambar 3.5	Pengaruh Jumlah Processor terhadap Waktu yang Dibutuhkan dalam Proses Simulasi	36
Gambar 3.6	Diagram Alir Permodelan <i>Solid Particle Model Software</i> EDEM 2017.2.....	37

Gambar 3.7	Diagram Alir Permodelan <i>Computational Fluid Dynamic Software</i> ANSYS Fluent 17.1	39
Gambar 4.1	Penampang Setengah Lingkaran Blast Furnace Tampak samping dengan sudut Bosh : (a) 90° ; (b) 88° ; dan (c) 86°.....	44
Gambar 4.2	Profil Distribusi Burden Material pada Zona Central pada Setiap Variasi Sudut Bosh : (a) 90° ; (b) 88° ; (c) 86°.....	46
Gambar 4.3	Jumlah Persebaran Burden Material pada Zona Central	47
Gambar 4.4	Profil Distribusi Burden Material pada Zona Intermediate pada Setiap Variasi Sudut Bosh : (a) 90° ; (b) 88° ; (c) 86°.....	49
Gambar 4.5	Jumlah Persebaran Burden Material pada Zona Intermediate	50
Gambar 4.6	Profil Distribusi Burden Material pada Zona Peripheral pada Setiap Variasi Sudut Bosh : (a) 90° ; (b) 88° ; (c) 86°.....	51
Gambar 4.7	Jumlah Persebaran Burden Material pada Zona Peripheral.....	52
Gambar 4.8	Profil Kontur Tekanan pada Setiap Variasi Sudut Bosh : (a) 90° ; (b) 88° ; (c) 86°	54
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Pressure Terhadap Ketinggian pada Setiap Variabel	55
Gambar 4.10	Profil Kontur Kecepatan Udara pada Setiap Variasi Sudut Bosh : (a) 90° ; (b) 88° ; (c) 86°...	57
Gambar 4.11	Profil Vector Kecepatan Udara pada Setiap Variasi Sudut Bosh : (a) 90° ; (b) 88° ; (c) 86°...	59
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan <i>Velocity</i> Terhadap Ketinggian pada Setiap Variabel Sudut <i>Bosh</i> pada Zona Central.....	60

Gambar 4.13	Grafik Perbandingan Velocity Terhadap Ketinggian pada Setiap Variabel Sudut Bosh pada Zona Intermediate	61
Gambar 4.14	Grafik Perbandingan Velocity Terhadap Ketinggian pada Setiap Variabel Sudut Bosh pada Zona Peripheral	62

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	Geometri <i>Mini Blast Furnace</i> ITS.....	28
Tabel 3. 2	Massa Bed Setting	34
Tabel 3. 3	Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Material Input	34
Tabel 3. 4	Model dan Solution Setup	40
Tabel 3. 5	Properti input (engineeringtoolbox.com/)	40
Tabel 4. 1	Perbandingan Jumlah Massa Batu Bara dengan Jumlah Massa Ore dan Dolomite Pada Zona Intermediate dan Peripheral.....	53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia pertambangan Indonesia memiliki profit yang luar biasa. Indonesia menduduki peringkat keenam terbanyak di dunia dalam kepemilikan bahan tambang. Menurut IMA (2018) Indonesia memiliki cadangan Emas sekitar 39 persen dari cadangan dunia. Tak hanya emas, mineral lain seperti perak, tembaga, nikel, dan batu bara pun melimpah di Indonesia. Melimpahnya sumber daya alam di Indonesia salah satunya juga dipengaruhi oleh kondisi *excellent tectonic* dan geologi. Hal tersebut yang membawa Indonesia menjadi satu di antara produsen terbesar emas, tembaga, nikel dan, dan timah. Sebagai catatan, Indonesia memberikan sumbangsih cadangan emas terbesar di kawasan *South East Asia*, yaitu sebesar 39% (sekitar 168 Moz/5.215 tonnes) (*Indonesia Mining Association*, 2014).

Salah satu mineral yang cukup berlimpah di Indonesia adalah nikel. Cadangan nikel Indonesia berada pada urutan ke-7 dunia setelah Australia, Brazil, Rusia, *New Caledonia*, Kuba, dan Filipina (USGS, 2017). Nikel banyak ditemukan dalam bentuk mineral *Laterite*. *Laterite* terbagi atas 3 jenis, yaitu endapan silikat Ni, Mg-Ni pada mineral *Garnierite*; endapan silikat Ni, pada mineral *Nontronite*; dan endapan *oxide* pada mineral *Goethite*. Cadangan mineral nikel *Laterite* Indonesia merupakan yang terbesar kedua setelah negara *New Caledonia* yaitu sebesar 10% - 50% (N.W. Brand dkk., 1998).

Melimpahnya suatu bahan tambang di Indonesia menjadi suatu kelebihan yang harus kita syukuri, sebaliknya hal itu juga menjadi tantangan bagi negara Indonesia untuk mengolah bahan tambang tersebut. Pengolahan bahan tambang di Indonesia juga harus bisa mengikuti banyaknya permintaan akan tambang di negara Indonesia. *Mini Blast Furnace* (MBF) merupakan suatu pengembangan teknologi yang prinsip kerjanya sama dengan *blast furnace*. Secara struktur pada umumnya, *Mini Blast Furnace*

dibangun dengan menggunakan baja silinder ayng dibagi dalam beberapa segmen dimana baja silinder ini berfungsi sebagai penopang dan penutup. Pada bagian dalam baja silinder akan dilapisi dengan batu tahan api (Hamzah, 2017). Pada bagian atas charging system tipe *double bell* yang terdiri atas *small bell* pada bagian atas dan *large bell* di bagian bawah (Rizki, 2017). *Charging System* ini berfungsi untuk mengontrol distribusi dari *burden material* saat dilakukan *feeding*. Menurut Mitra (2014), distribusi dari *burden material* berpengaruh terhadap permeabilitas gas. Permeabilitas gas yang baik akan mendorong laju aliran gas pereduksi dan temperatur, sehingga lebih lanjut akan berpengaruh terhadap proses reduksi secara keseluruhan.

Pada kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya terdapat *mini blast furnace* yang pernah digunakan untuk pengolahan tembaga dan nikel. Menurut Abdul (2014), *mini blast furnace* tersebut menggunakan prinsip yang mengombinasikan cara kerja kupola dan *Blast Furnace*. MBF yang dikembangkan oleh ITS memiliki bentuk silinder tegak dengan bagian atas berbentuk kerucut atau *conical* dengan kapasitas 250 ton/hari. MBF tersebut juga masih dalam tahap pengembangan agar dapat mengolah mineral secara sempurna. Pengembangan komponen tertentu dari *mini blast furnace* terus berlanjut dari tahun ke tahun. Salah satu komponen penting dari *mini blast furnace* yaitu *bosh* akan dikaji lebih lanjut. Pada pembahasan ini akan mengkaji tentang pengaruh sudut *bosh* terhadap distribusi *burden material* dan profil distribusi tekanan pada *mini blast furnace*.

Pembahasan lebih lanjut tentang pengaruh sudut *bosh* pada *mini blast furnace* terseut disimulasikan menggunakan beberapa *software engineering* pendukung seperti *Solidworks*, *CFD-Fluent*, dan *EDEM*. Pembuatan geometri dari *mini blast furnace* disesuaikan dengan ukuran geometri aslinya, namun pembuatannya hanya sebatas bagian *bosh* saja dikarenakan komponen yang lain menjadi batasan masalah dalam penelitian ini. Pembuatan geometri *mini blast furnace* menggunakan

software Solidworks. Sedangkan untuk analisis profil tekanan menggunakan aplikasi CFD-Fluent. Analisis komputasi dilakukan dengan menggunakan *Discrete Element Method (DEM)* dan *Finite element method (FEM)*. Metode yang digunakan untuk analisis burden material saat proses feeding adalah dengan *solid particle model* (Habiyoso, 2017). Dengan penggunaan beberapa aplikasi *engineering* untuk keperluan simulasi tersebut, maka dapat mempresentasikan proses pengolahan yang terjadi pada *mini blast furnace*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh sudut *bosh* terhadap distribusi *burden material* di dalam *mini blast furnace* ?
2. Bagaimana pengaruh sudut *bosh* terhadap distribusi tekanan di dalam *mini blast furnace* ?
3. Bagaimana pengaruh sudut *bosh* terhadap distribusi kecepatan gas di dalam *mini blast furnace* ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Ukuran *conditioned ore*, batubara, dan *dolomite* dianggap homogen.
2. Persebaran *burden material* pada *large bell* telah merata.
3. Reaksi di dalam *mini blast furnace* diabaikan.
4. Proses *melting* dari bijih diabaikan.
5. Kondisi MBF dianggap *steady state*.
6. Analisis pada zona *bosh*.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, antara lain :

1. Menganalisis pengaruh sudut *bosh* terhadap distribusi *burden material*.

-
2. Menganalisis pengaruh sudut *bosh* terhadap distribusi tekanan.
 3. Menganalisis pengaruh sudut *bosh* terhadap distribusi kecepatan aliran gas.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian tentang pengembangan *mini blast furnace*, dapat menjadi dasar untuk permodelan *mini blast furnace* dalam proses pengolahan mineral agar dapat berjalan secara baik dan sempurna

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Untuk penelitian tentang simulasi MBF di departemen Teknik Material ITS Surabaya baru dimulai pada tahun 2016. Namun untuk simulasi *blast furnace* sudah banyak dilakukan, dan untuk menunjang penelitian ini, berikut riset yang membahas tentang simulasi pada *mini blast furnace* dan *blast furnace*.

Penelitian mengenai pengaruh sudut *large bell* terhadap *double bell system* pada proses *charging material* di MBF dengan menggunakan *Solid Particle Model*. Penelitian ini memberikan referensi terhadap ukuran sudut *large bell* yang optimal yaitu 65° untuk digunakan sebagai *charging system*. (Hamzah, 2017)

Penelitian mengenai pengaruh ukuran diameter *large bell* terhadap proses *charging material* di *mini blast furnace* dengan menggunakan *Solid Particle Model*. Penelitian ini memberikan referensi terhadap perbandingan ukuran diameter *large bell* dengan diameter dalam MBF yang optimal yaitu 7:10 untuk digunakan sebagai *charging system*. (Rizki, 2017)

Penelitian mengenai pengaruh sudut *shaft* pada *mini blast furnace* terhadap distribusi tekanan dan kecepatan gas dengan menggunakan *DEM-CFD coupled model*. Penelitian ini memberikan referensi terhadap sudut *shaft* yang optimal digunakan agar distribusi tekanan dan kecepatan gas menjadi optimal. Sudut *shaft* yang optimal digunakan yaitu $87,6^\circ$ terhadap garis horizontal. (Hendy, 2018)

Penelitian mengenai pengaruh panjang *tuyere* dan *solid extraction* pada daerah *raceway* pada *blast furnace*. Mengungkapkan bahwa panjang *tuyere* yang pendek menyebabkan aliran gas cenderung berkembang pada sepanjang dinding sisi *blast furnace* dikarenakan penetrasi yang kecil. Jika panjangnya terlalu panjang, maka partikel akan menerima gaya pada *blast furnace* bagian tengah bawah, dan mengurangi kedalaman penetrasi gas. *Solid extraction* meningkatkan

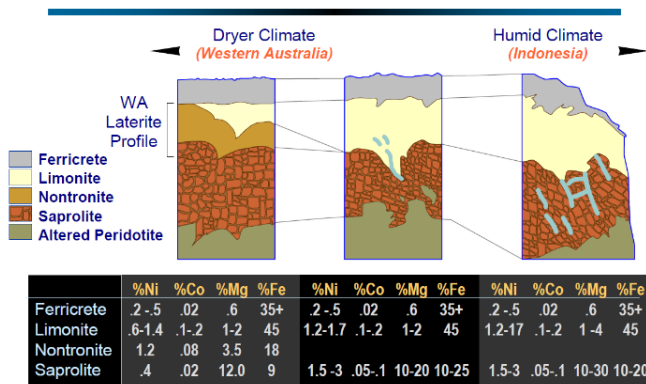
kedalaman penetrasi *raceway* secara signifikan, namun sedikit menurunkan tinggi *raceway* pada kecepatan gas yang lebih tinggi. (Miao, 2017)

Penelitian mengenai pengaruh sudut *bosh* dan *shaft* terhadap *burden descent velocity* (kecepatan turun *burden*) dan *ascending gas flow* (aliran naik gas). Kecepatan penurunan dari *burden* mengalami penurunan seiring dengan menurunnya sudut *bosh*. Hal ini diperkirakan karena dinding *bosh* menahan pergerakan *burden* saat turun yang mana dapat juga menyebabkan terjadinya abrasi pada dinding *bosh*. Selain itu, dengan semakin tingginya sudut *bosh*, aliran gas naik akan semakin kecil dikarenakan tidak adanya cukup ruang untuk gas mengalir ke atas. Sedangkan pada *shaft*, kecepatan turun dari *burden* naik secara signifikan dan tegangan normal yang bekerja pada partikel atau dinding menurun seiring dengan menurunnya sudut *shaft*. Selain itu, dengan semakin menurunnya sudut *shaft*, *burden material* khususnya kokas dan *ore* akan semakin mudah tercampur pada bagian bawah *shaft* yang menyebabkan permeabilitas *burden* pada *blast furnace* menjadi tidak baik karena dapat menghambat aliran naik gas dari bagian bawah *blast furnace*. (Zhang, 2011)

2.2 Bijih Nikel

Nikel merupakan salah satu logam yang keberadaannya melimpah di kulit bumi. Secara global, jumlah cadangan nikel dunia sekitar 72% berada dalam batuan oksida yang biasa disebut laterit dan sisanya dalam batuan sulfida. Namun demikian, hanya sekitar 42% dari total produksi nikel dunia bersumber dari batuan laterit (Ellen dkk., 2015). Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki endapan bijih nikel laterit dalam jumlah yang cukup besar. Endapan nikel laterit Indonesia tersebar di beberapa daerah seperti di Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Maluku, dan Papua. Indonesia merupakan penghasil nikel terbesar ke lima di dunia, sebesar 12% cadangan di dunia. (Rudi dkk., 2016)

Kandungan nikel yang terdapat pada kulit bumi diperkirakan sekitar 0.008 % dan menempati urutan ke 24 dalam urutan kelimpahan logam di kulit bumi. Diperkirakan jumlah cadangan nikel di dunia berdasarkan data *mineral commodity* tahun 2004 sebesar 140 juta ton dan Indonesia memiliki cadangan nikel sebesar 13 juta ton. Jenis bijih nikel terpenting dan bernilai ekonomis yang sudah diproduksi secara komersial adalah bijih nikel sulfida dan bijih nikel oksida (Suganta, 2008).



Gambar 2. 1 Profil Lapisan Nikel Laterit Beserta Komposisinya (Dalvi, Bacon dan Osborne, 2004)

Jenis Nikel Laterit adalah yang paling banyak ditemukan di Indonesia. Profil lapisan nikel laterit ditunjukkan pada Gambar 2.1. Bijih nikel dari mineral oksida (*Laterite*) ada dua jenis yang umumnya ditemui yaitu Saprolit dan Limonit dengan berbagai variasi kadar. Perbedaan menonjol dari 2 jenis bijih ini adalah kandungan Fe (Besi) dan Mg (Magnesium), bijih saprolit mempunyai kandungan Fe rendah dan Mg tinggi sedangkan limonit sebaliknya. Bijih Saprolit dua dibagi dalam 2 jenis berdasarkan kadarnya yaitu HGSO (*High Grade Saprolit Ore*) dan LGSO (*Low Grade Saprolit Ore*), biasanya HGSO mempunyai kadar Ni \geq 2% sedangkan LGSO mempunyai kadar

Ni < 2% (Rizki, 2017). Profil lapisan nikel laterit dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Di Indonesia, pada saat ini bijih nikel yang telah dimanfaatkan adalah bijih nikel yang mempunyai kadar nikel relatif tinggi (di atas 1,5%) yaitu untuk membuat feronikel oleh P.T Aneka Tambang dan nikel *matte* oleh P.T Vale. Sementara bijih nikel laterit kadar rendah belum dimanfaatkan dengan baik untuk diolah dengan cara pirometalurgi untuk membuat feronikel atau nikel *matte*. Oleh karena itu untuk dapat memanfaatkan bijih nikel laterit yang mempunyai kadar nikel rendah perlu dilakukan penelitian agar kadar nikel dalam bijih nikel laterit dapat ditingkatkan (Rudi dkk., 2016).

2.3 Batu Bara

Batu bara penting bagi produksi besi dan baja. Sekitar 64% dari produksi baja di seluruh dunia berasal dari besi yang dibuat di tanur tiup yang menggunakan batu bara. Suatu tanur tiup menggunakan bijih besi, kokas, dan sedikit batu gamping. Beberapa tanur menggunakan batu bara ketel uap yang lebih murah, disebut *pulverised coal injection* (PCI) untuk menghemat biaya. Gambar batu bara dapat dilihat pada Gambar 2.2.

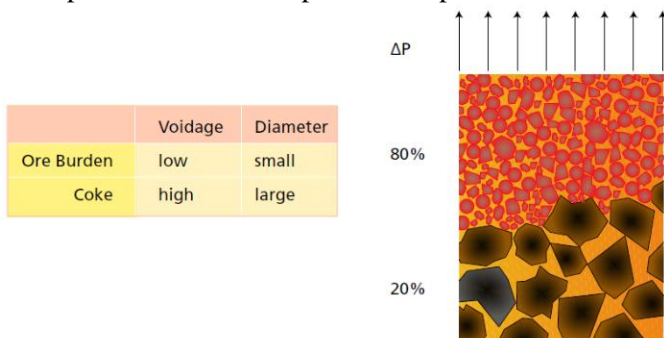


Gambar 2. 2 Batu Bara

Kokas terbuat dari batu bara kokas, yang memiliki kandungan fisika tertentu yang membuat batu bara menjadi lembut, mencair, dan kemudian membeku kembali menjadi bongkahan keras namun berpori pada saat dipanaskan tanpa udara. Batu bara kokas harus selalu memiliki kandungan sulfur dan fosfor yang rendah dan karena batu bara kokas relatif langka, maka harganya lebih mahal daripada batu bara ketel uap yang digunakan pada pembangkit listrik. (*World Coal Institute*, 2006)

Batu bara memenuhi tiga fungsi utama dalam *blast furnace* antara lain menghasilkan panas, sebagai agen pereduksi, dan sebagai pendukung struktur material. Lebih lanjut, 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.



Gambar 2.3 Hubungan *Voidage*, Diameter, dan *Pressude Drop* (Geerdes, 2009)

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* besar tersebut. Hal ini juga membantu dalam pembentukan gas CO yang lebih efektif. Adanya *voidage* ini juga berfungsi untuk aliran likuid *slag* dan besi cair ke dalam bagian *hearth* (Rizki, 2017).

Terdapat perbedaan antara lapisan kokas dan lapisan *ore*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, terdapat perbedaan hambatan pada lapisan kokas dan lapisan *ore*, dimana lapisan *ore* memiliki hambatan yang lebih tinggi terhadap aliran udara atau gas daripada lapisan kokas. Profil hambatan gas atau biasa disebut dengan *pressure drop* menunjukkan bagaimana udara atau gas mengalir di dalam *furnace* (Geerdes, 2009).

2.4 Dolomite

Dolomite merupakan bahan alam yang banyak terdapat di Indonesia. Dolomit merupakan salah satu batuan sedimen yang banyak ditemui. Senyawa yang ada pada dolomit yaitu gabungan antara kalsium karbonat dengan magnesium karbonat [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$]

Dolomit akan terdekomposisi termal secara langsung membentuk CaCO_3 dan CO_2 disertai dengan pembentukan MgO pada temperature antara $700\text{ }^\circ\text{C}$ hingga $750\text{ }^\circ\text{C}$. Dimana reaksi yang terjadi ditunjukkan pada Persamaan 2.1, 2.2, dan 2.3.



Pada temperature yang lebih tinggi, CaCO_3 akan mulai terdekomposisi meskipun masih terdapat dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Reaksi dekomposisi dolomit dan CaCO_3 akan berlangsung secara spontan yang terdiri dari 2 reaksi, yaitu

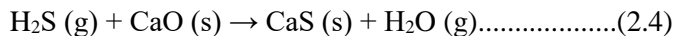


Reaksi tersebut akan berlangsung secara spontan pada temperatur 780 – 785 °C serta terdekomposisi secara keseluruhan pada temperatur 950 – 960 °C. (Hendy, 2018)



Gambar 2. 4 Kristal Dolomite
(Tatang,2010)

Dalam penelitian ini dolomit yang digunakan berperan sebagai penyedia gas CO₂ dalam proses reduksi. Gas CO₂ ini berguna untuk reaksi pembentukan gas CO (Reaksi Boduard) yang mana ditunjukkan pada Persamaan 2.4.

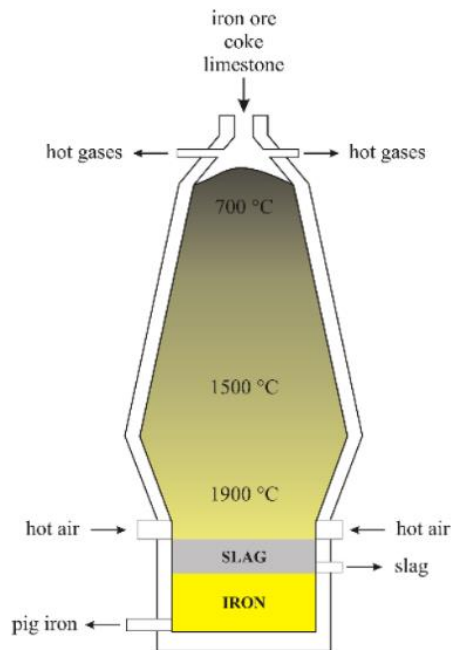


Gas CO₂ diperoleh dari reaksi dekomposisi dolomit dan CaCO₃. Selain itu dolomit juga berperan sebagai flux agent atau pengikat pengotor. Dolomit dapat berperan dalam proses desulfurisasi batubara pada range temperature 870 – 1037 °C (Spencer, 1985).

2.5 Mini Blast Furnace

Blast furnace adalah tanur metalurgi digunakan untuk peleburan untuk memproduksi industri logam, umumnya ferro. Dalam *Blast Furnace*, bahan bakar, bijih, dan kapur terus dipasok melalui bagian atas tanur, sementara udara (kadang-kadang

dengan pengayaan oksigen) yang ditiupkan ke bagian bawah tanur, sehingga reaksi kimia berlangsung sepanjang tanur sebagian bahan bergerak ke bawah pada bagian tanur. Produk dari *Blast Furnace* biasanya berupa logam cair dan terak fase disadap dari bawah, dan gas buang yang keluar dari bagian atas tanur. Aliran ke bawah dari bijih besi dan fluks dalam kontak dengan *up flow* panas, karbon monoksida yang kaya gas pembakaran merupakan proses pertukaran perlawanan (Hendy, 2018). Gambar 2.5 merupakan gambar dari *blast furnace*.



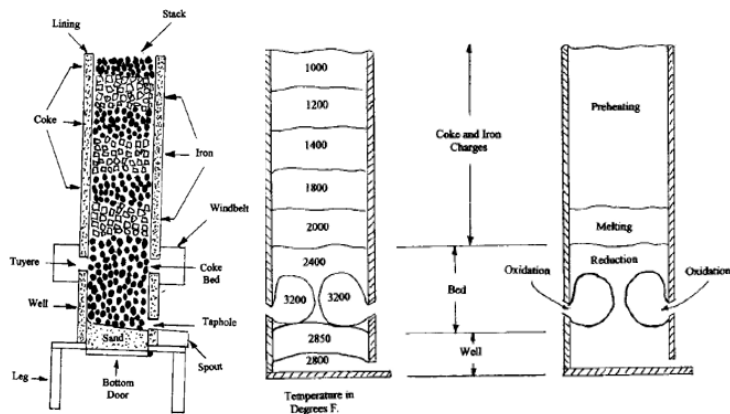
Gambar 2.5 *Blast Furnace* (Generalic, 2017)

Di Indonesia, terdapat sebuah *prototype Blast Furnace* yang terletak di kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. *Prototype* tersebut berupa *Mini Blast Furnace* dengan kapasitas 10 ton/hari, dimana MBF ini dibuat dengan mengkombinasikan cara kerja dari kupola dan *blast furnace* yang

bekerja dengan sistem *counter current flow*. *Mini Blast Furnace* dibangun dengan baja silinder yang berfungsi sebagai penutup dan penopang, sedangkan refraktori berfungsi untuk dinding bagian dalam yang berupa batu tahan api. Daerah-daerah yang ada terdapat dalam MBF ini mirip seperti daerah-daerah yang ada pada kupola (Rizki, 2017). Area-area ini antara lain adalah *well*, pembakaran, reduksi, pelelehan dan daerah pemanasan awal. Ilustrasi dari kupola dapat dilihat pada Gambar 2.6

Daerah *well* adalah daerah yang menampung logam cair. Kedalaman *well* mempengaruhi temperatur logam yang ditaping. Logam cair yang lebih panas disebabkan oleh daerah *well* yang dangkal. Pemisahan *slag* dan mengembangnya *slag* terjadi di daerah *well* ini. Daerah pembakaran (*combustion zone*) adalah suatu daerah di mana tiupan gas 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 melelehkan dan menjadi pemanas awal material yang masuk. Hal ini adalah daerah dimana energi termal atau panas terbentuk. Daerah reduksi adalah bagian luar dari daerah pembakaran dan daerah oksidasi. Logam mengalami *superheated* pada daerah ini. Oksida dari logam direduksi juga pada daerah ini. Daerah pemanasan awal adalah di atas daerah pelelehan sampai dengan bagian atas material yang masuk. Temperatur material yang masuk harus naik dari temperatur ruangan atau temperatur *ambient* hingga temperatur pelelehan. Material yang masuk menerima jumlah tambahan panas terbesar pada daerah ini. Gas yang masuk ke dalam daerah ini memiliki temperatur sekitar 1204°C (2200 F), akan tetapi setelah memberikan panasnya pada material yang masuk, gas keluar dari tanur pada temperatur 204°C sampai 427°C. Fungsi pemanasan awal ialah untuk memberikan panas awal, agar *melting* pada daerah pelelehan berlangsung dengan baik. Selain itu, pemanasan awal berfungsi untuk mengeringkan material yang masuk ke dalam furnace (Stephen, 2000).

Cara kerja atau prinsip kerja dari MBF mengadopsi Blast Furnace. Dimana untuk masukan terdiri dari *burden materials* dan hembusan udara sebagai suplai oksigen. Sedangkan untuk keluaran berupa gas, logam dan *slag* cair. Struktur MBF berbentuk silinder memanjang dengan bagian atas meruncing/konus. Sistem pemasukan material umpan termasuk ore nikel laterit, dolomit dan batubara terdapat pada bagian atas *Mini Blast Furnace* melalui *hopper* yang mengatur distribusi material umpan terdistribusi merata, selanjutnya material umpan akan mengalami pemanasan awal pada area *preheat* dan mengalami *melting* pada area *melting* serta mengalami *superheat* dan tereduksi pada area reduksi (Rizki, 2017).



Gambar 2. 6 Ilustrasi kupola untuk peleburan besi
(Stephen, 2000)

Tahap akhir dari proses pengolahan menggunakan *mini blast furnace* adalah pemisahan antara logam cair dan *slag*. Pemisahan pada *mini blast furnace* di ITS menggunakan sebuah *vessel*. Pemisahan tersebut menggunakan prinsip perbedaan densitas logam cair dan *slag*. Logam cair yang memiliki densitas yang lebih besar akan berada di bawah, sedangkan *slag* yang mempunyai densitas yang lebih kecil akan berada di atas,

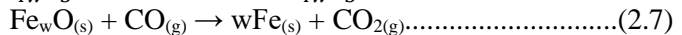
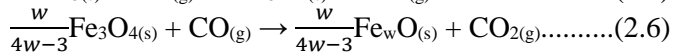
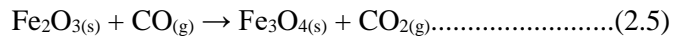
sehingga pengambilan logam cair akan dilakukan secara mekanis di luar *mini blast furnace*.

Pada *mini blast furnace*, terdapat 3 bagian yang merupakan tempat terjadinya rangkaian reaksi pemurnian. Bagian tersebut antara lain *raceway*, *cohesive zone*, dan *deadman*.

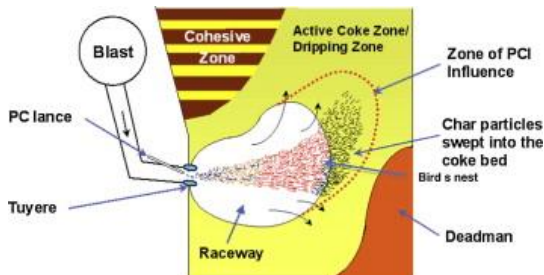
1. *Raceway*

Raceway adalah zona yang paling signifikan dipengaruhi oleh tuyer, oleh karena itu pada zona ini terdapat hembusan fluida/udara bertekanan dan berkecepatan tinggi sehingga banyak terdapat kekosongan atau *void*. Zona *raceway* termasuk zona dengan temperatur tertinggi di dalam *mini blast furnace*, energi panas yang terbentuk akan memanaskan batu bara dan terjadi reaksi sehingga terbentuk karbon monoksida dan karbon dioksida.

Karbon monoksida merupakan gas reduktan yang dapat mereduksi oksida besi secara tak langsung (Hendy, 2018). Reduksi oksida besi secara tak langsung terjadi dalam bentuk tiga tahapan reaksi kimia pada Persamaan 2.5, 2.5, dan 2.7.



Panas dari reaksi di area *raceway* membentuk gas panas yang akan bergerak ke atas sehingga berperan menjadi pemanas

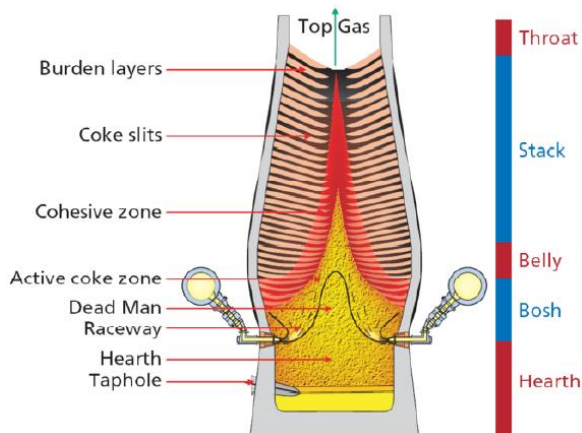


Gambar 2. 7 Zona *Raceway*
(Hendy, 2018)

awal material umpan saat masuk pada bagian atas *blast furnace*. Skematik bentuk *raceway* pada *blast furnace* terdapat pada ilustrasi Gambar 2.7

2. Cohesive Zone (Zona kohesif)

Pada area kohesif ini, material umpan (*ore*, *sinter* atau *pellet*) mulai *melting* (mencair). Proses pencairan material umpan ini menjadi batas kondisi untuk menentukan laju pencairan dan laju produksi dari proses di *Blast Furnace*. Pada saat terjadi fenomena pencairan dari material padat ke cair material akan mengalami penurunan sifat permeabilitasnya. Fenomena tersebut yang harus diperhatikan sehingga kecepatan gas yang dihembuskan melalui tuyer harus tetap stabil dalam *blast furnace*. Pada area ini material solid berada pada temperatur 1200 – 1400 °C. Area kohesif dapat mempresentasikan beberapa perbedaan



Gambar 2. 8 Zona pada *Blast Furnace*
(Geerdes, 2015)

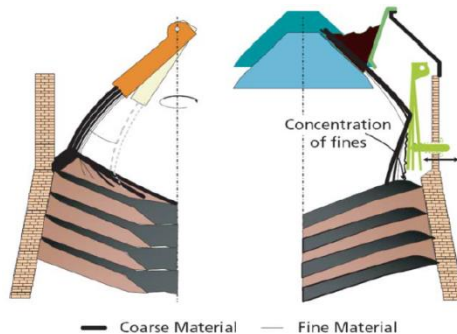
bentuk bergantung dengan kondisi proses (Rizki, 2017). Pada Gambar 2.8 menunjukkan skema yang ada di dalam *Blast Furnace* termasuk menunjukkan *cohesive zone* yang ada di dalam proses.

3. *Deadman*

Pada area ini terdapat pergerakan yang sangat lambat dari fase solid atau dapat diartikan area statik. *Deadman* berbentuk konikal terletak pada bagian tengah *bosh*, pada area *deadman* arang atau karbon diam dalam jangka waktu yang lama. Pada umumnya pada daerah *deadman* ukuran arang lebih kecil dibanding dengan rata-rata ukuran arang pada *blast furnace* yang dapat mengakibatkan reaksi dilusi dari karbon, reduksi secara langsung oksida besi dan transfer silika. Reaksi reduksi langsung pada proses pengolahan bijih besi melibatkan karbon dari arang dan merupakan reduktan yang kuat. Reaksi reduksi ini merupakan reaksi endotermik yang sangat kuat sehingga membutuhkan temperatur yang tinggi.

2.6 *Charging System*

Distribusi *burden materials* dalam MBF dikontrol oleh *charging system*. Dalam perkembangannya *charging system*



Gambar 2. 9 *Bell-less top charging* (kiri) dan *double bell charging* (kanan) (Geerdes, 2015)

memiliki banyak perubahan dan variasi, dimana diawal penemuannya memiliki sistem yang sangat sederhana dan kemudian berkembang dengan sistem yang lebih kompleks yang bertujuan untuk menghasilkan distribusi yang lebih optimal.

Terdapat banyak *charging system* yang telah dikembangkan, tentunya masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri-sendiri (Rizki, 2017). Contoh *charging system* ditunjukkan pada Gambar 2.9

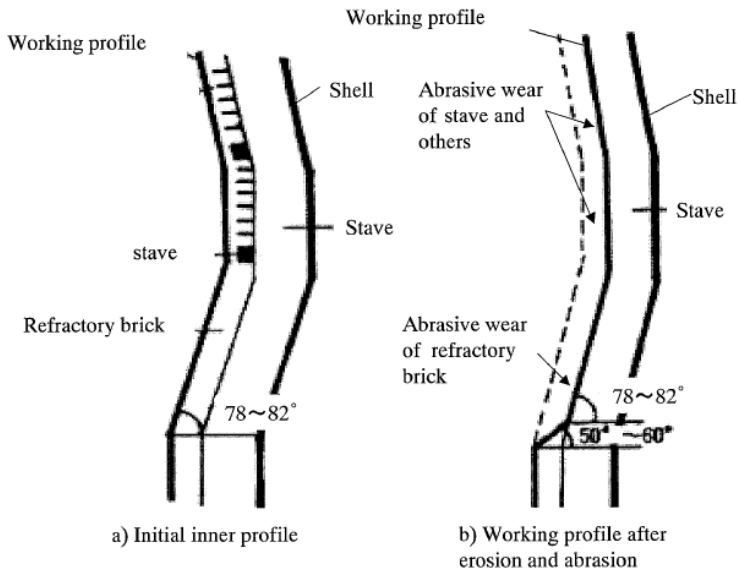
2.7 Distribusi *Burden Material*

Untuk mendapatkan pengoperasian *furnace* dengan efisiensi tinggi dan konsumsi kokas yang rendah, perlu untuk memastikan persebaran *burden material* yang seragam, selain itu gas di bagian atas lingkaran *furnace*, dan penempatan *charging system* yang optimal terhadap radius dari *throat*. Konsumsi spesifik dari kokas dapat dikurangi dengan adanya improvisasi/perbaikan dari distribusi bahan saat proses hingga 7%. Akan tetapi, distribusi bahan yang seragam sangat sulit untuk dilakukan karena beberapa alasan. Salah satu alasannya adalah bahan yang digunakan berupa multi-komponen. Contohnya, selain bahan bijih besi (*burden* dan *pellets*) *nut coke* atau *coke fraction*, tambahan seperti kuarsa, bahan pencuci, dan bijih besi atau mangan digunakan dalam komposisinya pada JSC “MMK”. Bahan-bahan tersebut dimuat ke dalam *blast furnace* dalam bentuk dan kualitas yang tidak seragam. Hal ini menyebabkan persebaran komponen *burden* dari *throat* ke permukaan lapisan yang terbentuk sebelumnya menjadi beragam, yang berakibat pada terganggunya proses dan performa dari *blast furnace*. (Sibagatullin, et al., 2017)

2.8 *Burden Descent Behavior*

Pada dasarnya *blast furnace*, kecuali pada bagian *hearth*, merupakan sebuah jalur untuk mengalirnya udara dan *burden* yang mengalir secara berlawanan. Salah satu syarat dasar untuk operasi *blast furnace* yang stabil adalah dengan mempertahankan pergerakan *burden* agar tidak mengalami fluktuasi yang berlebih. Secara spesifik, adalah untuk membentuk aliran gas yang stabil

dan membentuk struktur *burden* yang bebas dari campuran *burden layer* lain. Hal-hal tersebut sangat berkaitan satu dengan lainnya, dimana laju aliran udara yang stabil sangat bergantung pada permeabilitas dari *burden*, yang mana juga ditentukan oleh *burden packing structure* (ukuran partikel, distribusi partikel,



Gambar 2. 10 Perubahan pada Profil Bagian Dalam *Blast Furnace* Karena Erosi pada Bata Refraktori (ICHIDA, et al., 2006)

rasio partikel halus, dll.), dan *burden descent behavior*. Mekanisme dari *burden descent behavior* meliputi hilangnya *ore* dan *coke* karena reaksi, pencairan/peleburan, dan pembakaran, pergerakan partikel *burden* pada permukaan *layer* dan di dekat dinding *furnace*, dan meresapnya material halus ke dalam layer material yang kasar. Sedangkan faktor yang mempengaruhi kecepatan *descent* meliputi kondisi dari *raw material* (ukuran,

kekuatan, distribusi, dan rasio *ore* dan kokas), kondisi zona *raceway*, profil dari bagian dalam dinding, dan lain sebagainya. Gambar 2.10 menunjukkan perubahan profil bagian dalam *blast furnace*.

Pada bagian bawah *blast furnace*, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi *particle descent behavior*, salah satunya adalah erosi yang terjadi pada bagian bata di bagian *bosh*. Erosi tersebut menyebabkan bagian *stave* terekspos. Perubahan ini menyebabkan naiknya volume *furnace* di bagian dalam dan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap *particle descent behavior* pada bagian bawah *furnace*.

Manurut hasil percobaan yang telah dilakukan, ketika bata *bosh* terkikis, lapisan stagnan terbentuk di dekat dinding di bagian bawah *bosh* dan kecepatan *particle descent* pada bagian dalam *furnace* menjadi jauh lebih tinggi daripada ketika *furnace* ditiup udara. Akibatnya zona *cohesive* menggantung, menyebabkan temperatur di atas *raceway* menurun. (ICHIDA, et al., 2006)

2.9 DEM-CFD Coupled Model

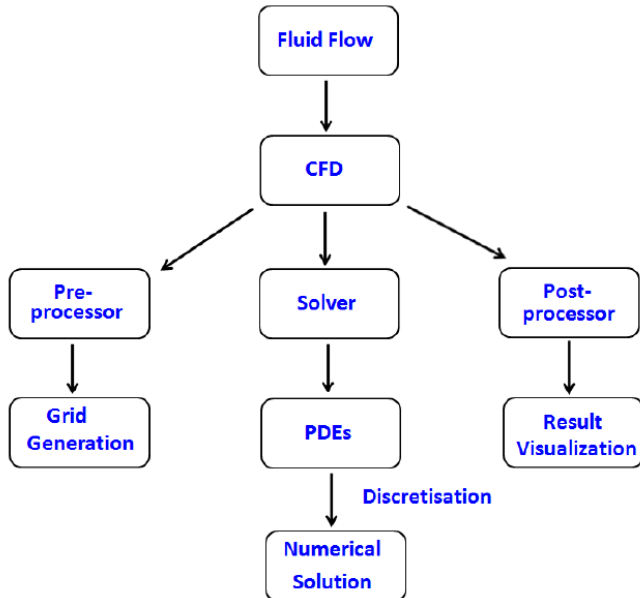
2.9.1 Computational Fluid Dynamic

Dinamika Fluida adalah ilmu yang mempelajari pergerakan fluida. Terdapat tiga jenis metode pembelajarannya yaitu eksperimental, teoretis, dan numerik. *Computational Fluid Dynamic* (CFD) adalah metode numerik dalam mempelajari aliran fluida beserta fenomena transfer yang terjadi dengan bantuan simulasi komputer. Dengan bantuan tersebut, algoritma tertentu digunakan untuk memecahkan masalah fluida dengan mengubah permasalahan fluida dalam bentuk umum menjadi permasalahan yang dapat diselesaikan. Proses perubahan tersebut disebut sebagai *discretization*. Untuk kemudahan akses algoritma dengan manusia sebagai pengguna, kode-kode CFD dikemas dalam perangkat lunak yang sudah banyak komersil di

pasaran. Kode-kode tersebut dikelompokkan menjadi 3 fungsi seperti yang dideskripsikan Gambar 2.11

1. *Pre-processor*

Fungsi ini adalah *platform* untuk memasukkan data-data permasalahan fluida yang ingin dipecahkan. Data-data yang



Gambar 2. 2 Kode-kode CFD (Patel, 2010)

dimaksud adalah:

1. *Computational domain*, yaitu geometri objek yang mengalami kalkulasi
2. *Spatial discretization* untuk menghasilkan *grid system* atau *mesh*, yaitu geometri objek yang dibagi-bagi menjadi sejumlah sub-domain.
3. Properti Fluida secara fisika dan kimia
4. *Boundary condition*

2. Solver

Solver memecahkan permasalahan fluida dengan menyelesaikan persamaan-persamaan umum. Persamaan umum tersebut adalah persamaan konservasi berbentuk *partial differential equation* (PDE) yang sulit diselesaikan komputer. Oleh karena itu, persamaan-persamaan tersebut mengalami *equation discretization* yaitu mengubah PDE menjadi sistem aljabar dengan sejumlah variabel yang tidak diketahui nilainya (*unknown variables*). Terdapat 3 metode numerik untuk *equation discretization* yaitu:

1. *Finite Difference Method* (FDM)

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

2. *Finite Element Method* (FEM)

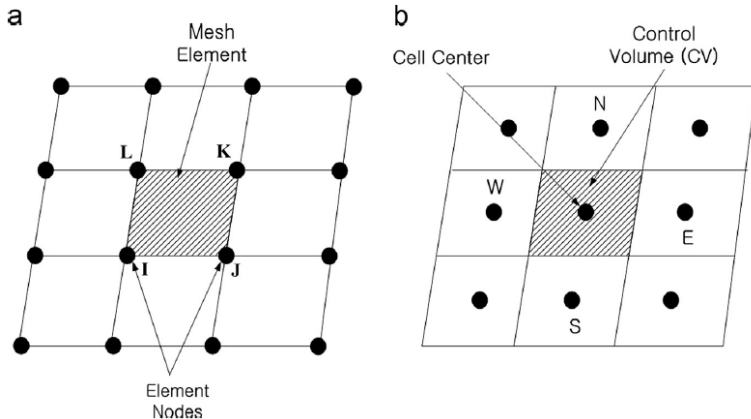
Grid system pada FEM dinyatakan sebagai kumpulan elemen-elemen kecil, dan nodal yang tersebar di dalamnya dijadikan domain komputasi. PDE diselesaikan menggunakan interpolasi dan integrasi, dengan menggunakan metode *weighted residual* untuk meminimalisir kesalahan kalkulasi. Hasilnya adalah satu sistem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

3. *Finite Volume Method* (FVM)

Hampir sama dengan FEM, namun *grid system* dinyatakan sebagai *control volume*. Terdapat 1 *node* yang terletak di pusat *control volume* sebagai domain komputasi utama. PDE diselesaikan dengan integrasi langsung secara volumetrik dari masing-masing *control volume* sehingga dihasilkan satu sistem persamaan

aljabar beserta *unknown variables*-nya untuk setiap *control volume*.

Metode yang dianggap mirip adalah FEM dan FVM. Namun melalui uraian sebelumnya, tetap kedua metode tersebut berbeda. Untuk lebih jelas dalam melihat perbedaan antara FEM dan FVM, dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut



Gambar 2. 3 Skema Perbandingan (a) FEM dan (b) FVM
(Jeong & Seong, 2014)

Dari ketiga jenis metode tersebut, FVM lebih umum digunakan untuk CFD. Integrasi langsung menjadikan kalkulasi lebih mudah dan efisien. Integrasi secara volumetrik dianggap lebih mudah untuk memahami algoritma numerik dari prinsip hukum konservasi.

3. *Post-processor*

Fungsi ini memvisualisasikan hasil kalkulasi dalam bentuk grafik, plot, kontur, animasi, atau vektor. Untuk CFD berbasis FVM, persamaan konservasi massa dan konservasi momentum adalah persamaan yang selalu diselesaikan bagaimanapun kondisi fluida-nya. Persamaan konservasi energi dan persamaan yang berkaitan dengan fenomena fisis tertentu hanya diselesaikan

apabila ada perintah tambahan. (Ferziger & Peric, 2002; Patel, 2010)

2.9.2 *Discrete Element Method*

EDEM adalah perangkat lunak dengan performa tinggi untuk simulasi partikel solid. Didukung oleh teknologi *Discrete Element Method* (DEM), EDEM dapat dengan cepat dan akurat mensimulasikan dan menganalisis perilaku partikel solid lainnya. Perangkat lunak EDEM membantu operator mengetahui bagaimana partikel solid akan berinteraksi dengan peralatan yang digunakan dalam berbagai industri termasuk manufaktur peralatan berat, pertanian, pertambangan, dan proses manufaktur (www.ansys.com).

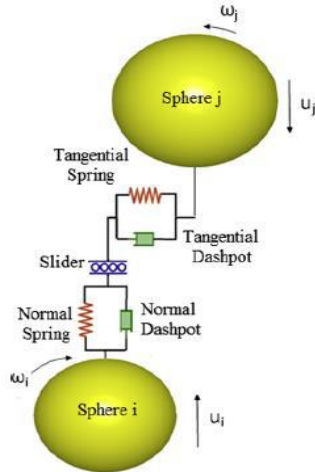
Discrete element method adalah suatu cara untuk mensimulasikan pergerakan dari material *granular* (butir) melalui serangkaian perhitungan dengan cara melacak partikel material *granular* tersebut secara individu. (Tanaka, 2001)

DEM merupakan metode numerik untuk memperhitungkan interaksi dari partikel solid berjumlah banyak yang dikenai gerakan translasi dan rotasi yang dipengaruhi oleh gaya *external*. Di DEM, partikel biasanya digambarkan sebagai bola yang akan berdeformasi apabila diberi tegangan.

Seperti dalam metode eksplisit, posisi awal dan kecepatan dari masing-masing partikel dalam domain sudah diketahui. Kemudian gerakan bola dihitung dengan mengintegrasikan percepatan partikel di setiap arah. Partikel mengalami percepatan dikarenakan gaya eksternal, seperti gravitasi atau gaya kontak/tumbukan saat berinteraksi dengan partikel lain atau dinding. Interaksi antar partikel ini dijelaskan oleh hukum Newton tentang gerak. Gambar 2.13 menunjukkan skema interaksi antara partikel i dan j . Gaya kontak (*contact force*) diwakili oleh gaya pegas (*spring force*), dan redaman (*damping force*) yang diwakili oleh *dashpot*, yang sesuai dengan sifat elastis dan plastik partikel. Gaya tangensial dibatasi oleh gesekan geser (*sliding friction*), yang diwakili oleh panel geser

(slider). Untuk sebuah partikel i yang bersentuhan dengan partikel K ($j = 1, 2 \dots K$)

Gaya dan torsi yang bekerja pada partikel ditunjukkan pada Tabel 2.1 (Mitra, 2014).



Gambar 2. 4 Model Kontak untuk Interaksi Gaya antar Partikel (Ilham, 2018)

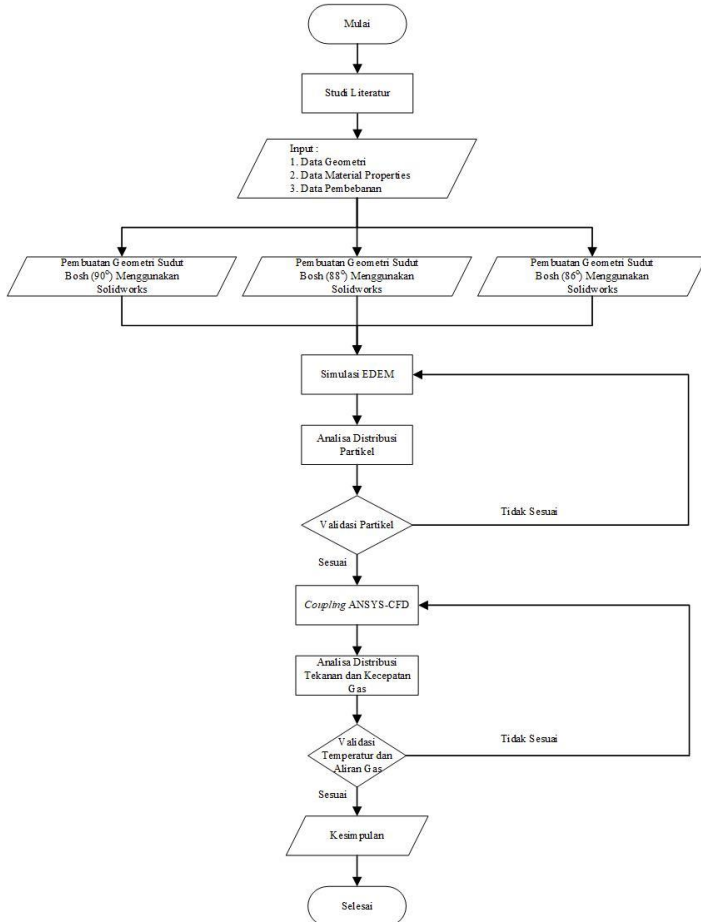
Tabel 2. 1 Gaya dan Torsi Yang Bekerja pada Partikel

Gaya dan Torsi	Tipe	Simbol	Expression
Gaya Normal	<i>Contact</i>	$F_{cn,ij}$	$-kn\delta n^{3/2}$
	<i>Damping</i>	$F_{dn,ij}$	$-^nV_{n,ij}$
Gaya Tangensial	<i>Contact</i>	$F_{ct,ij}$	$-kt\delta t$
	<i>Damping</i>	$F_{dt,ij}$	$-ktVt,i$
<i>Rolling</i>	Torsi	$T_{t,ij}$	$Ri \times (F_{ct,ij} + F_{dt,ij})$
	Gesek	$T_{r,ij}$	$-\mu r F_{cn,ij} \omega'$
<i>Global</i>	Gravitasi		$m_i g$

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini, alur atau tahapan penelitian ditunjukkan oleh Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Prosedur Permodelan

Dalam penelitian ini, untuk mengetahui fenomena yang terjadi dalam sistem permodelan MBF, maka dilakukan ke dalam beberapa tahap sistematis, yaitu :

3.2.1 Pengumpulan Data Input

Mengumpulkan data input yang akan digunakan dalam pemodelan yaitu meliputi geometri dalam *Mini blast furnace*, *material properties* dari *steel*, *refractory*, batu bara, dolomit dan bijih nikel laterit yang telah dilakukan proses *conditioning* (*conditioned ore*).

3.2.2 Pembuatan Geometri *Mini Blast Furnace*

Pembuatan geometri *mini blast furnace* memakai *software Solidwork 2016*. Geometri yang dibentuk sesuai dengan yang terdapat pada Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS. Ukuran *mini blast furnace* didapat dengan pengukuran empiris. Pada Tabel 3.1 adalah spesifikasi *mini blast furnace* di kampus ITS.

Tabel 3. 1 Geometri *Mini Blast Furnace* ITS

NO	Keterangan	Dimensi
1	Tinggi MBF	3700 mm
2	Diameter dalam	600 mm
3	Diameter luar	800 mm
4	Tebal <i>refractory</i>	100 mm
5	Diameter tuyer atas	40 mm
6	Diameter tuyer bawah	60 mm
7	Tinggi tuyer atas	550 mm
8	Tinggi tuyer bawah	400 mm
9	Sudut tuyer	11°
10	Bentuk	Silinder Vertikal
11	<i>Working Volume</i>	1,045 m ³

Dalam permodelan dan simulasi ini, *mini blast furnace* harus dimodelkan dengan tepat, berikut merupakan penjelasan dari permodelan ini

1. Pembuatan Geometri *Large Bell*

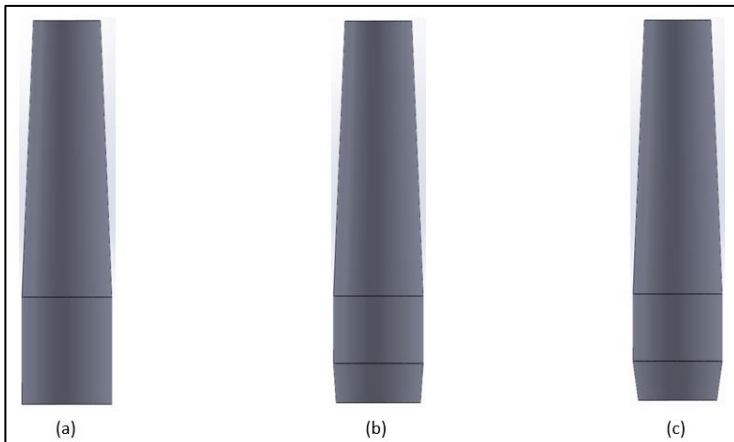
Pembuatan geometri *large bell* menggunakan *software Solidwork 2016*. Ukuran perbandingan diameter *large bell* dan *throat* yang paling baik untuk dilakukan proses reduksi pada *mini blast furnace* adalah 5:10 (Habiyoso, 2018). Sedangkan, menurut Hamzah (2017) untuk sudut kemiringan *large bell* yang paling optimal adalah 65° .

2. Sudut *Shaft*

Besar dari sudut *shaft* pada *mini blast furnace* merupakan besar sudut pada zona *stack* terhadap sumbu horizontal. Besar sudut *shaft* yang paling baik untuk digunakan pada *mini blast furnace* adalah $87,6^\circ$. (Hendy, 2018)

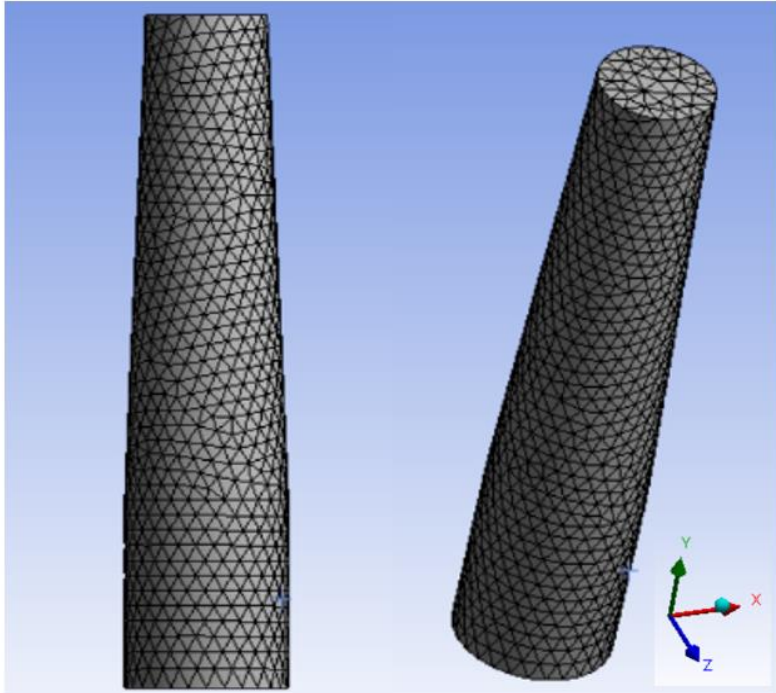
3. Variasi Sudut *Bosh*

Besar dari sudut *bosh* pada *mini blast furnace* merupakan besar sudut pada zona *bosh* terhadap sumbu horizontal. Pada penelitian ini, variasi sudut *bosh* yang disimulasikan berjumlah 3 buah sudut. Ketiga sudut tersebut dipakai dengan pertimbangan bahwa sudut 90° merupakan sudut *bosh* pada *mini blast furnace* yang ada di Departemen Teknik Material.



Gambar 3. 2 Variasi Sudut *Bosh* sebesar (a) 90° ; (b) 88° ; (c) 86°

Sedangkan variasi sudut lainnya divariasikan dengan 2° kebawah, yaitu 88° dan 86° . Besarnya sudut tidak divariasikan dalam jumlah banyak dikarenakan keterbatasan dalam ukuran MBF sendiri. Pada Gambar 3.2 merupakan desain dari variabel



(a)

(b)

Gambar 3. 3 Tampilan *Meshing* Geometri MBF dengan Sudut *Bosh* 90° (a) 2 Dimensi; (b) 3 Dimensi

sudut *bosh* pada MBF. Gambar 3.3 merupakan tampilan hasil *meshing* geometri MBF pada *software* ANSYS.

3.2.3 Pembuatan Model dan Simulasi *Burden Material*

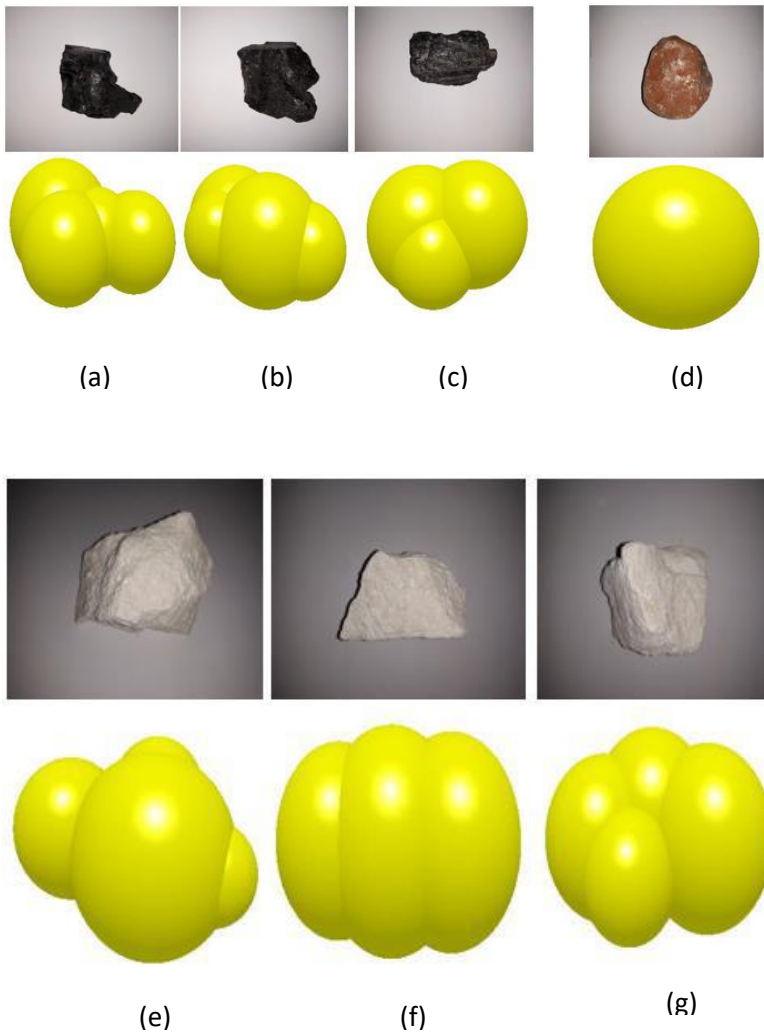
Pembuatan model *burden material* dilakukan dengan mengambil sampel acak pada batu bara, bijih nikel laterit dan dolomit, masing masing 3, 1, dan 3 bentuk. Dilanjutkan dengan pembuatan model menggunakan *software Solidwork* dan penentuan *Solid Particle Model*. Hal ini ditunjukkan agar hasil permodelan mendekati aslinya.

Sebelum dilakukan *charging burden material* pada DEM, geometri yang telah dibuat pada aplikasi *SolidWorks* harus di-*meshing* terlebih dahulu dengan *software* ANSYS 17.1. Volume *meshing* geometri harus lebih besar dari ukuran volume partikel DEM, karena proses DEM-CFD *couple model* ini menggunakan tipe pemodelan dengan pendekatan *Meso-Micro*, yang berarti berupa area aliran fluida dibagi menjadi *cells* dengan ukuran lebih besar dari pada ukuran partikel dari *burden material* tetapi lebih kecil dari area aliran keseleruhan (Norouzi, 2016). Pada penelitian ini, *meshing* geometri dipilih dengan ukuran minimal 150 mm, karena merupakan ukuran yang sesuai agar volume *mesh* geometri tidak melebihi ukuran partikel.

Berikut merupakan penjelasan dari langkah kerja

1. Bentuk Partikel *Burden Materials*

Permodelan bentuk *burden material* dimodelkan sedemikian rupa dengan nyata. *Burden material* yang dimodelkan meliputi *ore*, *dolomite*, dan *batu bara*. Ukuran *ore* paling optimal dimodelkan sebesar 6 cm (Ilham, 2018).



Gambar 3. 4 Bentuk *Burden Material* : (a) coal 1; (b) coal 2; (c) coal 3; (d) conditioned ore; (e) dolomite 1; (f) dolomite 2; (g) dolomite 3

Gambar 3.4 merupakan bentuk partikel *burden materials* yang dimodelkan dalam *software Solidwork*. Jumlah partikel *Solid Particle Model* / partikel penyusun (berbentuk bola) yang digunakan menjadi pertimbangan utama dalam memodelkan partikel sebenarnya. Jumlah partikel penyusun juga akan mempengaruhi beban komputasi.

2. Permodelan Distribusi *Burden Material*

Permodelan distribusi *burden material* di dalam MBF menggunakan prinsip *Solid Particle Model*. Pada pemodelan ini yang dianalisis adalah mekanisme jatuhnya *burden material* bijih nikel laterite setelah melewati *charging system* berupa *double bell system*. Untuk analisa pergerakan dan distribusi partikel dilakukan dengan menggunakan *discrete element method* menggunakan *software EDEM* dengan mempertimbangkan properti mekanik dari *burden material* yang dimasukkan saat proses *charging*.

Dalam penelitian ini, terdapat lima material yang digunakan, yaitu batu bara, *conditioned ore*, *dolomite*, baja dan refraktori. Dimana batu bara, *conditioned ore* dan *dolomite* merupakan material yang dijatuhkan melalui *charging system*. Baja merupakan bahan penyusun *bell* dan dinding *bell*. Sedangkan refraktori merupakan bahan penyusun *wall* pada MBF. Sifat material menjadi hal penting karena menjadi *input software* pemodelan dan akan mempengaruhi tingkat keakuratan dari hasil pemodelan sendiri. Sifat fisik dan mekanik yang perlu untuk diketahui dalam penelitian ini yaitu densitas, *poisson's ratio*, modulus young, *restitution coefficient*, *static friction coefficient* dan *rolling friction coefficient*. Tabel 3.3 menunjukkan sifat fisik dan mekanik dari material input. Nilai densitas diperoleh dengan eksperimen. Sedangkan untuk yang lain diperoleh dari literatur (Mitra, 2015) dan (Teffo, 2013). Pada simulasi ini jumlah massa bed *setting* seperti pada Tabel 3.2. Sedangkan untuk *input* sifat fisik dan mekanik disesuaikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 2 Massa Bed Setting

NO	Bagian Burden Materials	Jenis Burden Materials	Massa (kg)
1	Bed	Batu Bara	112
2	Layer*	Batu Bara	17
		<i>Conditioned Ore</i>	25
		<i>Dolomite</i>	21
3	Penutup Layer	Batu Bara	17

Tanda (*) menunjukkan bahwa massa yang dihitung adalah massa satu layer

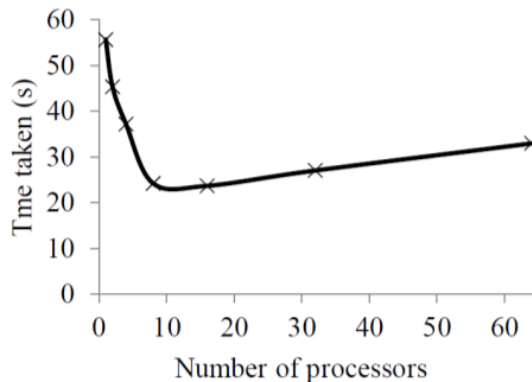
Tabel 3. 3 Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Material Input

Material	Parameter	Nilai	
Ore	Densitas	1388 Kg/m ³	
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,25	
	<i>Modulus Young</i>	16 Mpa	
	<i>Restitution Coefficient</i>	<i>Ore</i>	0,15
		<i>Coal</i>	0,35
		<i>Dolomite</i>	0,30
		<i>Steel</i>	0,30
		<i>Refractory</i>	0,40
	<i>Static Friction Coefficient</i>	<i>Ore</i>	0,20
		<i>Coal</i>	0,20
		<i>Dolomite</i>	0,20
		<i>Steel</i>	0,45
		<i>Refractory</i>	0,70
	<i>Rolling Friction Coefficient</i>	<i>Ore</i>	0,20
		<i>Coal</i>	0,20
		<i>Dolomite</i>	0,20
<i>Steel</i>		0,15	
<i>Refractory</i>		0,30	
Coal	Densitas	1307,18 Kg/m ³	
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,24	

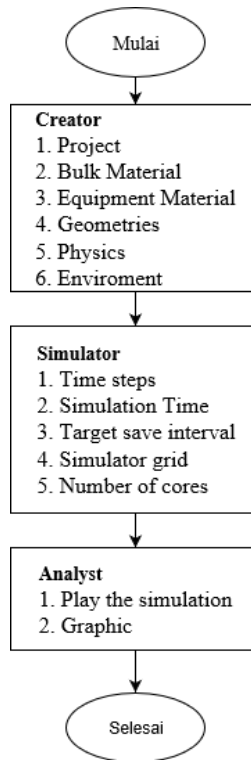
	<i>Modulus Young</i>		18,2 Mpa
	<i>Restitution Coefficient</i>	<i>Coal</i>	0,15
		<i>Dolomite</i>	0,20
		<i>Steel</i>	0,60
		<i>Refractory</i>	0,25
	<i>Static Friction Coefficient</i>	<i>Coal</i>	0,20
		<i>Dolomite</i>	0,20
		<i>Steel</i>	0,45
		<i>Refractory</i>	0,70
	<i>Rolling Friction Coefficient</i>	<i>Coal</i>	0,20
		<i>Dolomite</i>	0,15
		<i>Steel</i>	0,15
<i>Refractory</i>		0,25	
<i>Dolomite</i>	<i>Densitas</i>		1708,97 Kg/m ³
	<i>Poisson's Ratio</i>		0,16
	<i>Modulus Young</i>		29 Mpa
	<i>Restitution Coefficient</i>	<i>Dolomite</i>	0,15
		<i>Steel</i>	0,35
		<i>Refractory</i>	0,40
	<i>Static Friction Coefficient</i>	<i>Dolomite</i>	0,20
		<i>Steel</i>	0,15
		<i>Refractory</i>	0,70
	<i>Rolling Friction Coefficient</i>	<i>Dolomite</i>	0,15
<i>Steel</i>		0,15	
<i>Refractory</i>		0,15	
<i>Steel</i>	<i>Densitas</i>		7870 Kg/m ³
	<i>Poisson's Ratio</i>		0,29
	<i>Modulus Young</i>		77 Gpa
<i>Refractory</i>	<i>Densitas</i>		3100 Kg/m ³
	<i>Poisson's Ratio</i>		0,15
	<i>Modulus Young</i>		314 Gpa

3.2.4 Permodelan DEM dengan EDEM 2017.2

Software Solid Particle Model merupakan salah satu *software* yang menggunakan metode *Discrete Element Method*. *Software* ini memiliki tiga elemen utama, yaitu *creator*, *simulator* dan *analyst*. *Creator* berfungsi untuk mengatur model atau memasukkan data yang diperlukan. *Input properties* yang diperlukan adalah sifat fisik dan mekanik partikel dan *equipment*, geometri, bentuk dan ukuran partikel, jenis kontak partikel dan besar gravitasi. *Simulator* berfungsi untuk mengatur jalannya proses simulasi, yang meliputi *time step*, waktu simulasi, interval penyimpanan data, besar *grid* dan jumlah *processor* yang digunakan. Diagram alir dari permodelan *solid particle model software* EDEM dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.5 Pengaruh Jumlah *Processor* Terhadap Waktu yang Dibutuhkan Dalam Proses Simulasi



Gambar 3. 6 Diagram alir permodelan *Solid Particle Model* software EDEM 2017.2

Time step yang digunakan *Time step* yang digunakan dalam proses simulasi sangatlah kecil. Jika *time step* terlalu besar, kecepatan transfer energi menjadi sangat besar yang kemudian akan menghasilkan *unphysical deformation*, kemudian akan memicu terjadinya *energy generation*. *Time step* untuk perhitungan gaya dibatasi oleh waktu yang dibutuhkan untuk menyebarkan energi melalui partikel-partikel yang ada dengan gelombang, biasa disebut sebagai gelombang Rayleigh. Batasan *time step*

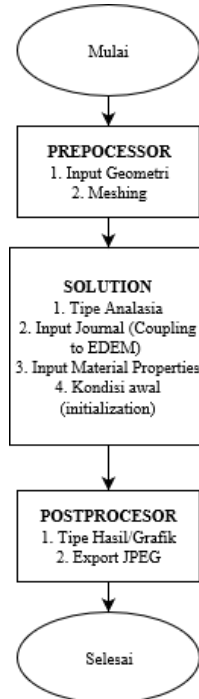
tersebut disebut sebagai Rayleigh *time step*. Besar *time step* yang direkomendasikan adalah 10-30 % Rayleigh *time step* (Mitra, 2016). Pada penelitian ini, *time step* yang digunakan yaitu 30% Rayleigh *time step* (0,00018392 sekon). Sedangkan besar *grid* (partikel terkecil) yang digunakan adalah 3 R min. Jumlah *processor* yang digunakan akan mempengaruhi kecepatan proses simulasi, seperti yang ditunjukkan pada

Semakin besar jumlah *processor* yang digunakan akan mempercepat waktu yang dibutuhkan dalam proses simulasi. Dalam penelitian ini, jumlah *processor* yang digunakan menyesuaikan dengan spesifikasi komputer yang digunakan. Apabila proses simulasi telah selesai, hasil dapat dilihat pada *analyst*. Pada bagian ini, peneliti dituntut untuk memperoleh informasi tambahan dengan tersedianya grafik terhadap masalah yang dianalisis. Pengaruh jumlah *processor* terhadap lama waktu simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.5

3.2.5 Simulasi pada Ansys-Fluent

Distribusi *burden material* pada *software* EDEM, selanjutnya di *coupling* menuju ke Ansys-Fluent untuk menganalisis distribusi tekanan dan kecepatan gas. Langkah-langkah dalam mensimulasikan pada Ansys sesuai dengan Gambar 3.7

Berdasarkan pada Gambar 3.7, langkah simulasi kerja pada ANSYS 17.1 meliputi 3 *step* yaitu *Preprocessor*, *Solution*, dan *Postprocessor*. Pada tahap *Preprocessor* dilakukan impor Geometri *Mini Blast Furnace* yang sebelumnya telah dibuat



Gambar 3. 7 Diagram Alir Permodelan *Computational Fluid Dynamic software* ANSYS Fluent 17.1

dengan *software SolidWork*. Pada tahap ini ditentukan tipe elemen, material properties, ukuran *meshing* yang digunakan pada pemodelan *Mini Blast Furnace*.

Selanjutnya, dilakukan proses *Solution* dengan pertama melakukan *Coupling Model* antara *software* Ansys-EDEM. Pada *software* Ansys-Fluent dimasukkan input nilai dalam suatu

proses. Selanjutnya, Ansys-Fluent diatur seperti Tabel 3.5 berikut:

Tabel 3. 4 Model dan *Solution Setup* (Hendy, 2018)

Pengaturan	Perintah
Tipe Simulasi	<i>Transient 3D, EDEM Coupled</i>
Kondisi Solver	<i>Double Precision; Pressure-Based; Gravity-on; 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>
Kondisi inlet	<i>Phase-1; Velocity inlet = 1,5 m/s</i>
Kondisi outlet	<i>Pressure Outlet, top pressure 1 atm</i>
Kondisi wall	<i>No-Slip Condition</i>

Data *input* material untuk analisis fluida dengan metode FEM berupa properti termal. Data-data tersebut terangkum dalam Tabel 3.6 berikut ini:

Tabel 3. 5 Properti Input (engineeringtoolbox.com/)

Material	Parameter	Nilai
<i>Ore</i>	Konduktivitas Termal (W/m.K)	0,58
	Panas Spesifik (J/Kg.K)	670
<i>Coal</i>	Konduktivitas Termal (W/m.K)	0,2
	Panas Spesifik (J/Kg.K)	1380
<i>Dolomite</i>	Konduktivitas Termal	1,26

	(W/m.K)	
	Panas Spesifik (J/Kg.K)	920
<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
Udara	Densitas (Kg/m ³)	1,225
	Viskositas (Kg/m-s)	1006,43
	Konduktivitas Termal (W/m.K)	0,0242
	Panas Spesifik (J/Kg.K)	0.000017894

3.2.6 Validasi Data Dengan Hasil Simulasi

Menggunakan hasil *running coupling software* EDEM – Ansys *Fluent* yang telah diubah data inputnya sesuai spesifikasi *Mini Blast Furnace* dan membandingkan dengan data operasi *Blast Furnace* yang dilakukan oleh beberapa referensi jurnal terkait, sehingga dapat menarik kesimpulan dan memberikan saran dari hasil penelitian yang dilakukan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

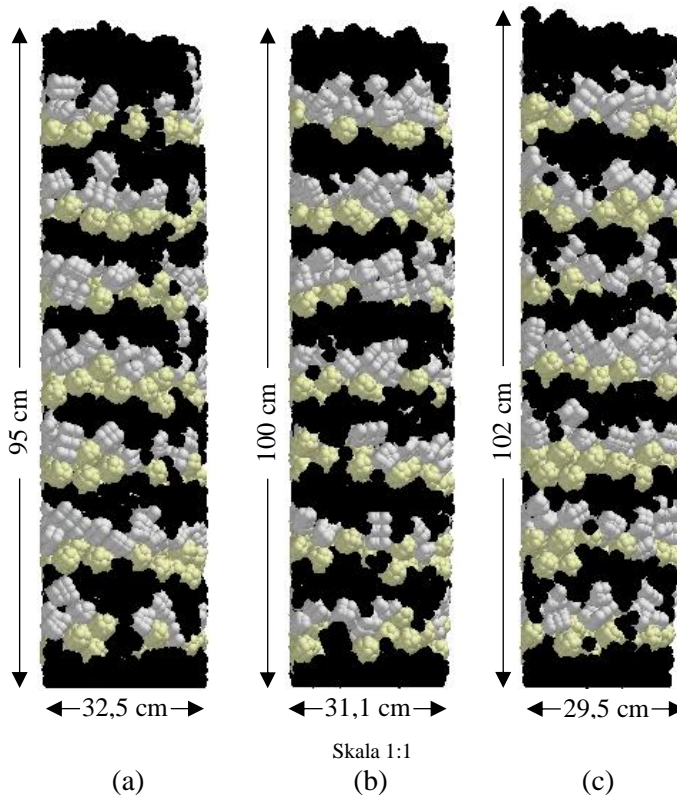
Desain bentuk *blast furnace* sangat mempengaruhi *pressure* dan kecepatan aliran udara pada proses reduksi. Proses reduksi tersebut diawali dengan proses *charging*, yaitu proses memasukkan bahan baku material melalui bagian atas dari *blast furnace*. Fenomena masuk dan turunnya bahan baku (*burden material*) dipengaruhi oleh *large bell* dan dinding dari *blast furnace*. Kedua hal tersebut yang akan mempengaruhi distribusi *burden material* di dalam *blast furnace*. Distribusi *burden material* sangat penting untuk dibahas karena akan mempengaruhi berjalannya proses reduksi pada *blast furnace*. Distribusi tersebut harus didesain secara optimal agar proses dapat berjalan dengan baik dan efisien terutama dalam hal persebaran gas dan tekanan. Pada penelitian sebelumnya tentang pengaruh diameter *large bell* terhadap distribusi *burden material* didapat perbandingan paling optimal sebesar 5:10 antara diameter *large bell* dengan diameter *throat* (Habiyoso, 2018). Selain itu, penelitian tentang pengaruh sudut *shaft* terhadap distribusi tekanan dan kecepatan gas didapatkan sudut paling optimal sebesar $87,6^\circ$ (Hendy, 2018).

4.1 Pengaruh Sudut *Bosh* Terhadap Distribusi *Burden Material*

Distribusi *burden material* dipengaruhi oleh desain kemiringan dari dinding *blast furnace*. Pada sub-bab ini akan membahas bagaimana pengaruh sudut *bosh* terhadap distribusi *burden material*. Pembahasan dalam sub-bab ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi EDEM 2017 dengan analisis pada zona *bosh* sampai *belly*. Dalam pembahasan ini akan membandingkan antara 3 variasi sudut *bosh* yaitu sebesar 90° ; 88° ; dan 86° yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Distribusi *burden material* juga menentukan jumlah energi yang dibutuhkan pada proses yang terjadi. Terdapat dua

tipe distribusi burden material, yaitu distribusi yang terpusat di bagian tengah dan distribusi yang terpusat pada bagian dinding. Distribusi *burden material* yang terpusat pada bagian tengah memiliki efisiensi yang lebih baik dibanding distribusi yang terpusat pada bagian dinding karena *heat loss* yang cukup besar (Geerdes, 2015). Pada penelitian ini, partikel hitam merupakan batu bara, partikel kuning merupakan ore, dan partikel abu-abu merupakan dolomit.



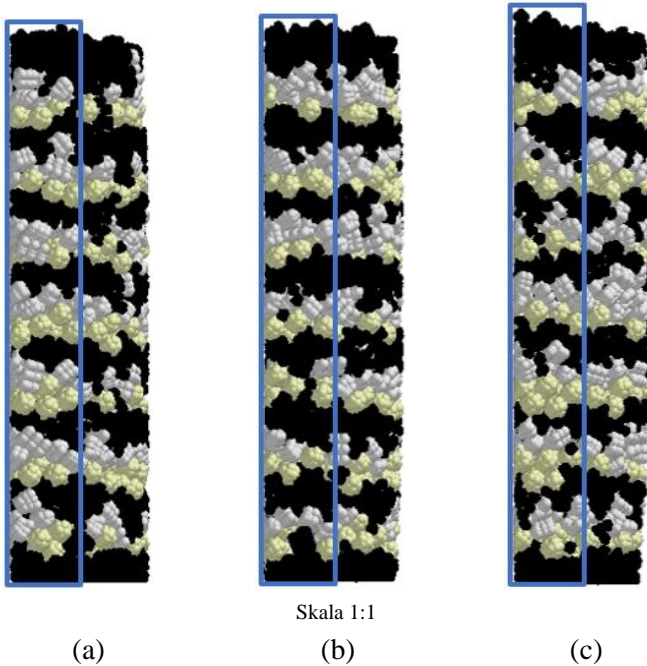
Gambar 4. 1 Penampang Setengah Lingkaran *Blast Furnace* Tampak Samping dengan Sudut *Bosh* : (a) 90 ; (b) 88 ; dan (c) 86

Menurut Biswas tahun 1984 daerah distribusi *burden material* saat proses *charging* dalam *blast furnace* diklasifikasikan menjadi tiga daerah utama, yaitu zona *central*, zona *intermediate*, dan zona *peripheral*. Zona *peripheral* merupakan daerah yang paling dekat dengan dinding, kemudian zona *intermediate* merupakan daerah diantara zona *peripheral* dan *central*, dan zona *central* merupakan daerah pusat (tengah) dari *blast furnace*. Perbandingan panjang tiap daerah yaitu 18:32:50 untuk zona *peripheral*, *intermediate*, dan *central*. Untuk melakukan pembagian zona di dalam *software EDEM* ini, maka dilakukan proses *clipping* hasil simulasi menjadi setengah bagian. Dengan panjang geometri *inner diameter* MBF sebesar 600 mm yang kemudian dijadikan setengah bagian sehingga diperoleh panjang 300 mm, maka didapatkan panjang untuk zona *peripheral* sebesar 54 mm, zona *intermediate* sebesar 96 mm, dan zona *central* sebesar 150 mm.

4.1.1 Profil Distribusi Burden Material dalam Zona Central Mini Blast Furnace

Zona *central* merupakan zona yang paling dekat dengan poros *mini blast furnace*. Ukuran zona ini sebesar $\pm 50\%$ dari panjang jari-jari *blast furnace* seperti pada Gambar 4.2. Zona *central* memiliki peran yang penting dalam efisiensi aliran gas secara keseluruhan sehingga distribusi *burden material* perlu dikondisikan sebaik mungkin.

Pada setiap variabel, *ore* terlihat mendominasi pada zona *central*. Hal ini dikarenakan *ore* memiliki koefisien *rolling friction* yang paling tinggi dibanding batu bara dan *dolomite*. Besarnya koefisien *rolling friction* sendiri berpengaruh terhadap seberapa besar akselerasi *angular* partikel setelah bertabrakan dengan dinding *mini blast furnace* (Hendy, 2018).

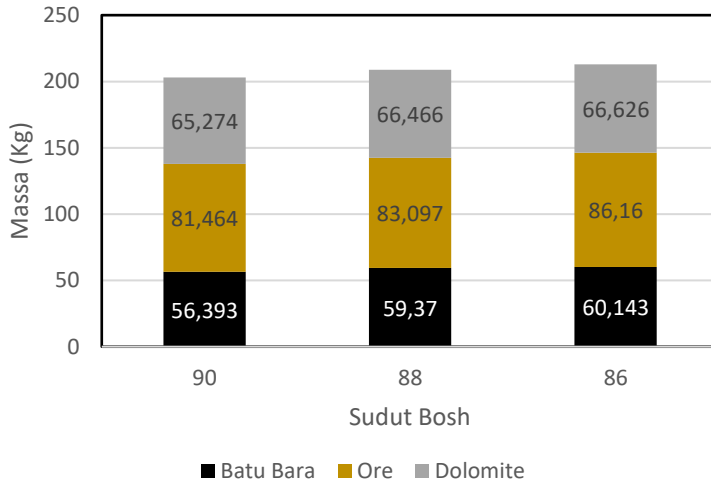


Gambar 4. 2 Profil Distribusi Burden Material pada Zona Central pada Setiap Variasi Sudut Bosh : (a) 90° ; (b) 88° ; (c) 86°

Jumlah perbandingan hasil distribusi lapisan *burden material* pada setiap variabel di zona *central* ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Berdasarkan Gambar 4.3, didapat jumlah persebaran *burden material* paling banyak pada zona *central* yaitu pada sudut *bosh* 86° , yang diikuti oleh variabel dengan sudut *bosh* 88° , kemudian 90° . Pada variasi sudut *bosh* 86° didapatkan massa batu bara sebesar 60,143 kg; *ore* sebesar 86,16 kg; dan *dolomite* sebesar 66,626 kg. Sedangkan pada variasi sudut *bosh* 88° didapatkan massa batu bara sebesar 59,37 kg; *ore* sebesar 83,097 kg; dan *dolomite* 66,466 kg. Pada variasi sudut *bosh* 90° , massa

batu bara, *ore*, dan *dolomite* masing-masing sebesar 56,393 kg; 81,464 kg; 65,274 kg.



Gambar 4.3 Jumlah Persebaran Burden Material pada Zona Central

Massa batu bara pada variasi sudut *bosh* 86° terlihat mempunyai massa yang paling besar dibanding variasi lainnya. Hal ini, dapat diartikan bahwa pada variasi sudut *bosh* 86° fenomena *coke push* berlangsung secara optimal. Fenomena *coke push* adalah fenomena yang terjadi pada saat proses *charging*, dimana *burden material* akan mendorong partikel batu bara yang lebih kasar pada bagian atas layer menuju ke daerah tengah (*central*) (Geerdes,2009).

Pada saat proses reduksi, zona *central* dikondisikan agar mempunyai temperatur panas yang tinggi untuk dapat menjalankan proses reduksi secara stabil (*steady*). Untuk menjaga aliran gas agar tetap berada di zona *central*, pengisian batu bara pada zona *central* harus diperbanyak, dikarenakan untuk

mengurangi total *pressure drop* dan menjaga permeabilitas aliran liquid pada *deadman*.

Pengaruh *ore* juga harus dipertimbangkan, karena saat proses *charging*, *ore* dapat mendorong batu bara yang telah mengecil untuk tetap berada di zona *central*. Dengan berkurangnya jumlah batu bara pada zona *central*, maka fenomena *coke push* pada zona *central* akan meningkat, hal ini disebabkan karena pengaruh dari *charging ore* yang mendorong batu bara pada zona *central* (Hendy, 2018).

Pada saat proses *charging*, zona *central* harus didominasi oleh batu bara, karena batu bara akan mendorong gas untuk melewati zona *central*. Kemudian terjadi reaksi pembakaran batu bara akibat reaksi dengan oksigen dan membentuk gas CO₂. Selanjutnya gas CO₂ akan bereaksi dengan batu bara dan membentuk gas CO yang digunakan untuk reduksi (Habiyoso, 2018). Oleh karenanya, fraksi batu bara di zona *central* harus besar dan fraksi *ore* dan *dolomite* tidak boleh terlalu besar. Walaupun *ore* memiliki permeabilitas yang rendah, namun keberadaan *ore* di zona *central* tetap dibutuhkan agar gas pereduksi yang diperoleh dari hasil reaksi antara batu bara dengan oksigen di zona *central* yang mengalir pada daerah tersebut dapat dimanfaatkan untuk proses reduksi, dan agar kadar CO yang mengalir sebagai *top gas* tidak terlalu besar, sebab salah satu kriteria efisiensi dari proses reduksi adalah kadar CO yang rendah di *top gas*, yang merepresentasikan bahwa pemanfaatan gas CO berjalan maksimal (Geerdes, 2009).

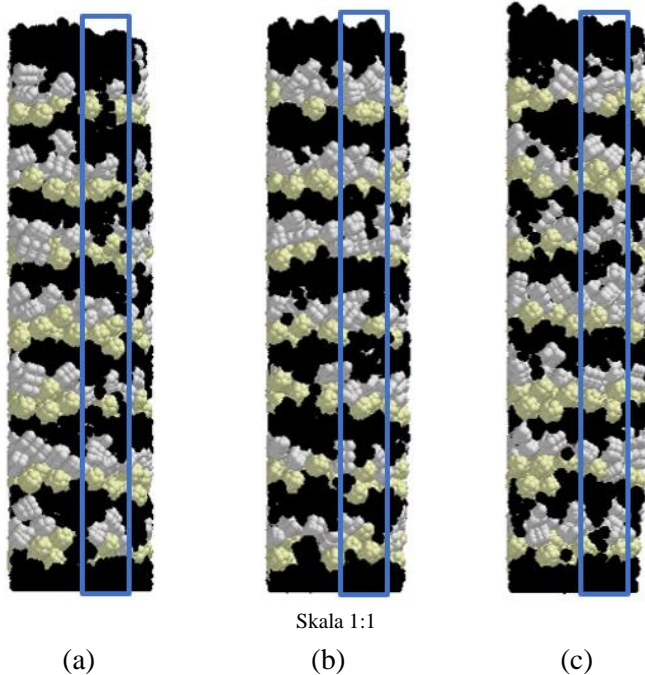
Dapat disimpulkan bahwa dengan acuan teori tentang fenomena reduksi pada zona *central*, maka variasi sudut bosh 86° merupakan variasi sudut bosh yang baik, dikarenakan mempunyai rasio batu bara yang paling tinggi pada zona *central*.

4.1.2 Profil Distribusi Burden Material dalam Zona Intermediate dan Peripheral Mini Blast Furnace

Zona *Intermediate* merupakan zona yang menghubungkan antara zona *central* dan zona *peripheral*. Gas yang mengalir

melalui zona *central* akan didistribusikan ke zona *Intermediate* (Habiyoso, 2018).

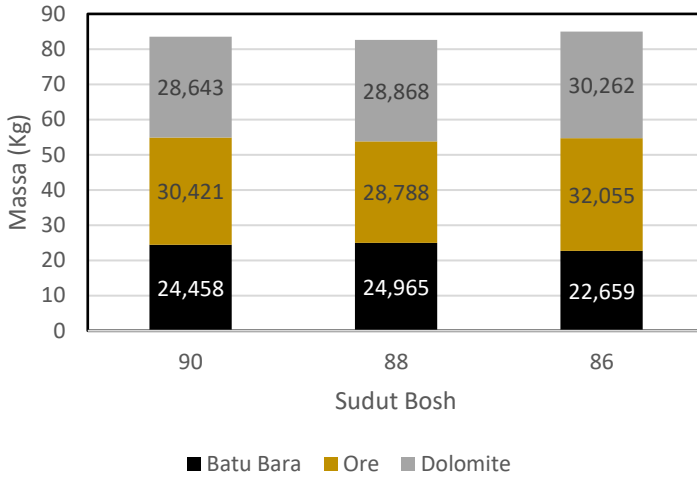
Ukuran dari zona *intermediate* berkisar antara 25%-35% dari panjang jari-jari *blast furnace* seperti pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Profil Distribusi Burden Material pada Zona Intermediate pada Setiap Variasi Sudut Bosh : (a) 90° ; (b) 88° ; (c) 86°

Berdasarkan Gambar 4.4, pada zona ini terlihat bahwa *layer ore* dan *dolomite* lebih tebal dibanding *layer* batu bara. Kuantitas *ore* yang besar pada zona *intermediate* memberikan pengaruh yang baik pada proses, karena gas akan cenderung mengalir dari zona *central* ke zona *intermediate* dan *peripheral*, hal tersebut terjadi karena adanya perbedaan permeabilitas yang dipengaruhi oleh jenis *burden material*. *Ore* dan *dolomite*

dihindari untuk mengisi zona *central* dan diharapkan mengisi zona *intermediate* dan *peripheral* dikarenakan permeabilitas dari kedua partikel tersebut yang rendah (Geerdes,2009).

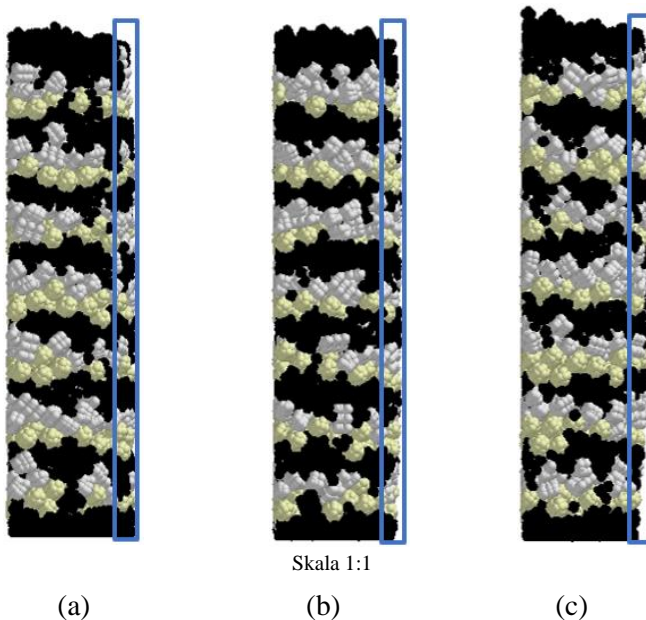


Gambar 4. 5 Jumlah Persebaran Burden Material pada Zona Intermediate

Berdasarkan grafik yang tertera pada Gambar 4.5, dapat dilihat bahwa jumlah *ore* dan *dolomite* lebih mendominasi daripada jumlah batu bara, terutama pada variasi sudut *bosh* 86°. Pada zona *intermediate*, jumlah *ore* dan *dolomite* harus lebih banyak daripada jumlah batu bara, hal ini dikarenakan gas dari zona *central* akan mengalir menuju zona *intermediate*, sehingga proses pembakaran *ore* dan *dolomite* lebih optimum. Selain itu, pada zona *intermediate*, fraksi partikel *ore* dan *dolomite* harus berimbang. Hal tersebut diperlukan, sebab *dolomite* yang selain berguna untuk mengatur basisitas proses yang mana dapat merusak dinding refraktori juga berperan untuk mengikat *impurities* yang dihasilkan saat *ore* mengalami proses *melting* (Babich, 2008).

Sedangkan, zona *peripheral* merupakan daerah yang berbatasan langsung dengan dinding *mini blast furnace*. Panjang dari daerah ini berkisar antara 15-25% dari panjang jari-jari *mini blast furnace*. Profil persebaran distribusi *burden material* pada zona *peripheral* dapat dilihat pada Gambar 4.6.

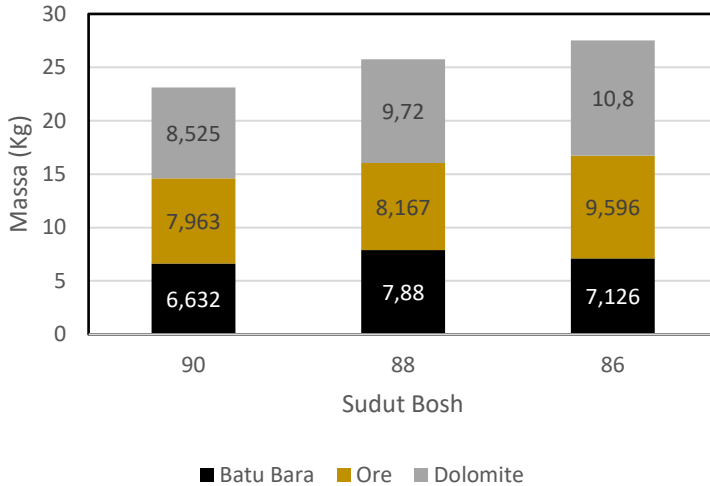
Berdasarkan Gambar 4.6, hasil profil *burden material* pada zona *peripheral* cenderung sama dengan profil *burden material* pada zona *intermediate*, dimana *layer ore* dan *dolomite* terlihat



Gambar 4. 6 Profil Distribusi Burden Material pada Zona Peripheral pada Setiap Variasi Sudut Bosh : (a) 90° ; (b) 88° ; (c) 86°

lebih mendominasi dibandingkan dengan *layer* batubara. Besarnya kuantitas *burden material* pada zona ini sangat mempengaruhi distribusi dan kecepatan gas pada saat

berlangsungnya proses reduksi. Jumlah *burden material* pada zona *peripheral* dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Jumlah Persebaran Burden Material pada Zona Peripheral

Berdasarkan grafik yang tertera pada Gambar 4.7, didapatkan bahwa kuantitas batu bara pada masing-masing variasi sudut *bosh* lebih sedikit dibanding kuantitas *ore* dan *dolomite*.

Kuantitas batu bara pada zona *peripheral* tidak boleh berlebihan, karena batu bara memiliki *consumption rate* yang cukup tinggi, hal tersebut dapat menyebabkan gas akan terlalu banyak mengalir di daerah dinding sehingga dapat menurunkan temperatur gas secara drastis yang biasa disebut sebagai fenomena *heat loss*. Maka, pada zona *intermediate* dan *peripheral* harus didominasi oleh material *ore* dan *dolomite* (Habiyoso, 2018).

Pada saat proses reduksi, *burden material* (terutama batu bara) pada zona *central* dan zona *intermediate* akan lebih cepat habis, maka *supply* batu bara akan didapat dari zona *intermediate*

yang pada proses tersebut sudah berbentuk butiran halus (Nouchi, 2009).

Untuk mengetahui variasi sudut yang paling baik, maka diperlukan data perbandingan jumlah batubara dengan jumlah *ore* dan *dolomite*. Perbandingan jumlah massa batubara dengan massa *ore* dan *dolomite* ini harus memiliki perbandingan yang tinggi. Data perbandingan jumlah massa batu bara dengan *ore* dan *dolomite* pada setiap variasi sudut ditampilkan pada Tabel 4.1.

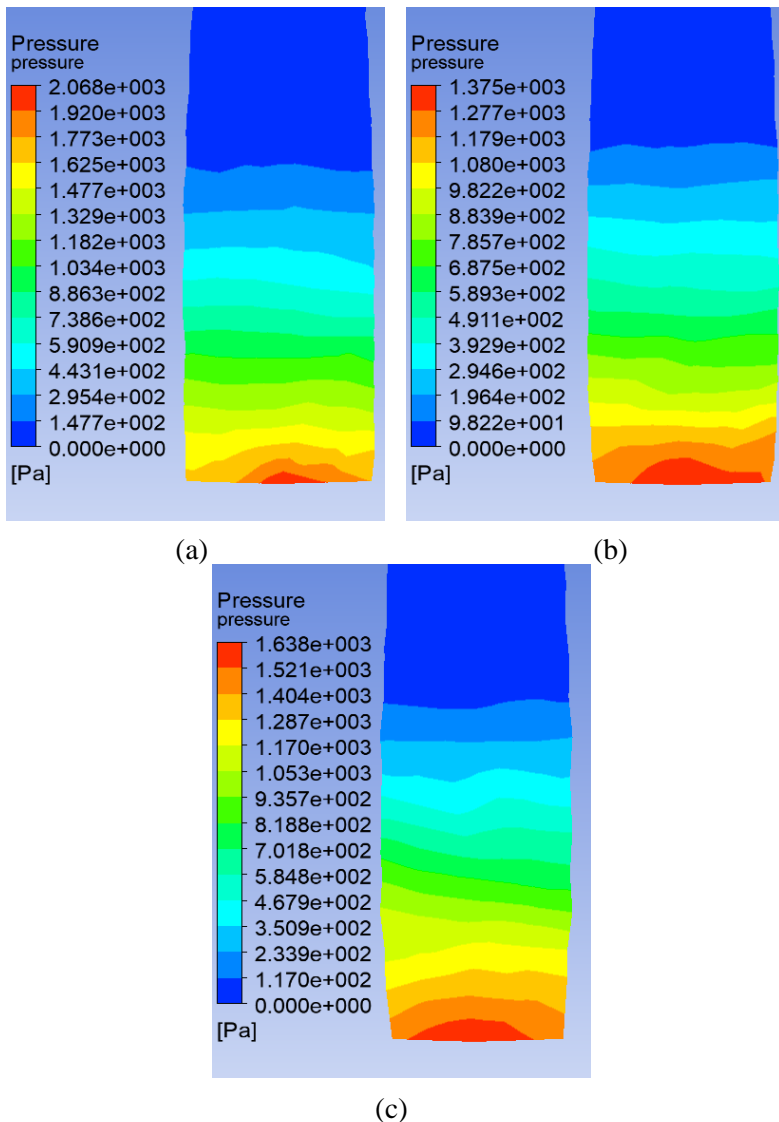
Tabel 4. 1 Perbandingan Jumlah Massa Batu Bara dengan Jumlah Massa Ore dan Dolomite pada Zona Intermediate dan Peripheral

Variasi Sudut <i>Bosh</i>	Massa Batu Bara : Massa <i>Ore</i> dan <i>Dolomite</i>
90	1 : 2,430
88	1 : 2,300
86	1 : 2,777

Dalam pembahasan pada zona *intermediate* dan zona *peripheral* ini, maka dapat disimpulkan bahwa sudut *bosh* yang paling baik adalah sudut dengan kemiringan 86°. Hal itu, disimpulkan berdasarkan kuantitas perbandingan *ore* dan *dolomite* per 1 kg batu bara yang sesuai dengan fenomena reduksi pada zona ini.

4.2 Pengaruh sudut *Bosh* Terhadap Distribusi Tekanan

Analisis tekanan pada suatu alat operasi proses sangat dibutuhkan untuk mencapai kapasitas proses produksi yang diinginkan. Dalam sub-bab ini, akan membahas pengaruh dari sudut *bosh* terhadap tekanan dalam *mini blast furnace*. Adapun analisis tekanan ini difokuskan pada daerah *bosh*. Nilai yang dihasilkan dari distribusi tekanan hasil permodelan dapat di visualisasikan berupa warna yang ditunjukkan oleh Gambar 4.8.

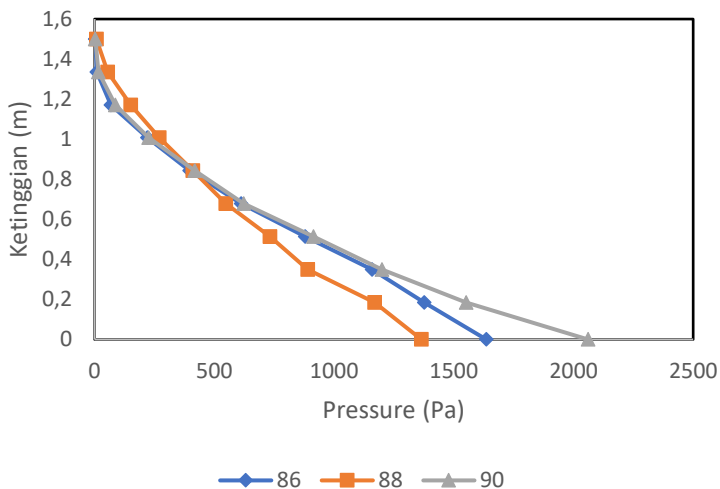


Gambar 4. 8 Profil Kontur Tekanan pada Setiap Variasi Sudut
Bosh : (a) 90° ; (b) 88° ; (c) 86° .

Gambar 4.8 merupakan gambar yang menunjukkan nilai distribusi tekanan di dalam MBF. Dalam gambar tersebut terlihat bahwa nilai tekanan tertinggi ditunjukkan warna merah.

Jika dilihat dari gambar, maka terlihat bahwa semakin tinggi dari dasar *blast furnace*, maka nilai tekanan menjadi semakin kecil. Hal ini dikarenakan *mini blast furnace* dengan susunan lapisan material adalah gambaran kompleks dari tabung padat (*packed column*). Gas yang mengalir di dalamnya mengalami resistansi di sepanjang ketinggian tabung sehingga kehilangan sejumlah energi. Energi yang hilang ini dinamakan sebagai *pressure drop*. *Pressure drop* dalam MBF didefinisikan sebagai selisih antara tekanan di dasar MBF dengan tekanan di permukaan MBF, dimana tekanan tersebut relatif terhadap atmosfer.

Terlihat pula kontur untuk ketiga variabel hampir menyerupai bentuk laminar yang merupakan susunan tiap *layer* setelah proses *charging*.



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan *Pressure* Terhadap Ketinggian pada Setiap Variabel.

Berdasarkan grafik yang tertera pada Gambar 4.9, terlihat bahwa pada variasi sudut *bosh* 88° memiliki perbedaan *pressure* yang kecil antara bagian bawah *bosh* dengan bagian atas *belly* pada *blast furnace*. Maka dapat disimpulkan bahwa sudut *bosh* 88° memiliki *pressure drop* yang kecil. Sudut *bosh* dengan nilai *pressure drop* paling tinggi didapatkan pada variasi sudut 90°, sedangkan variasi sudut *bosh* 86° berada diantara keduanya.

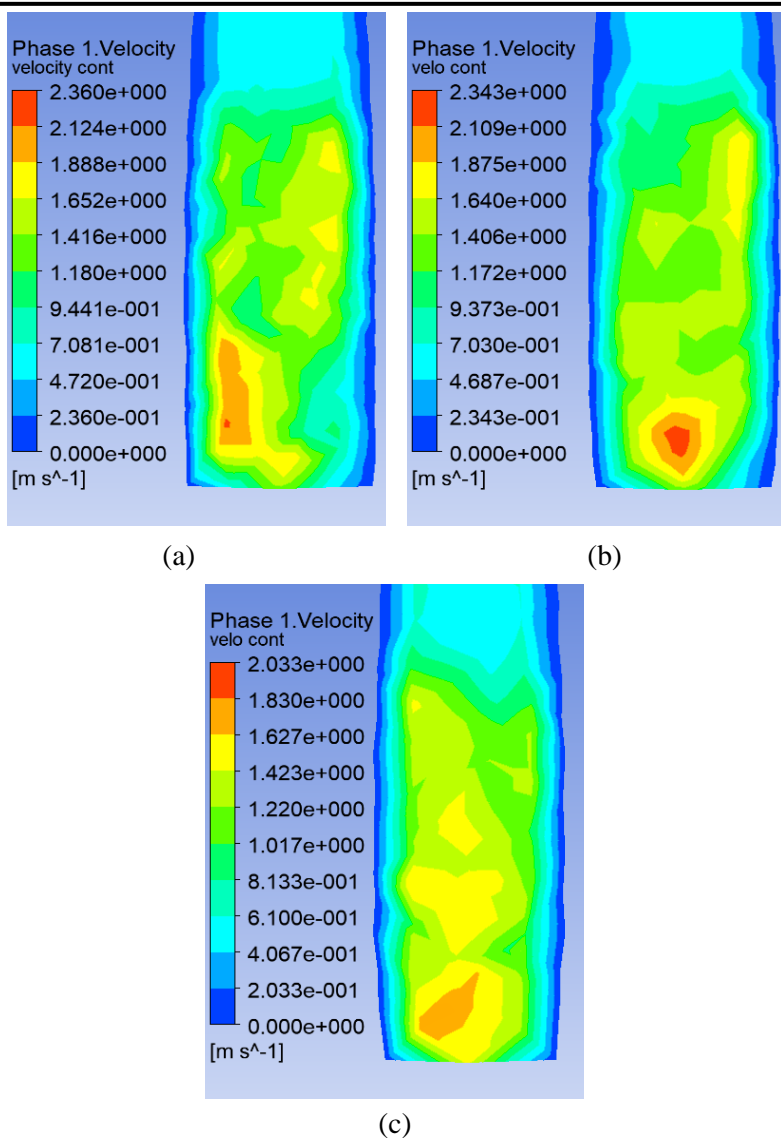
Fenomena *pressure drop* tersebut diakibatkan nilai rasio perbedaan diameter *belly* dengan *hearth* pada *blast furnace*, dimana panjang diameter pada bagian *hearth* sangat dipengaruhi oleh sudut *bosh*, semakin kecil sudut *bosh* yang digunakan, maka semakin kecil pula panjang diameter dari *hearth*.

Semakin tinggi rasio perbedaan antara diameter *belly* dan *hearth*, nilai *pressure drop* pada bagian bawah *blast furnace* akan menurun. Sedangkan dengan semakin rendah rasio perbedaan antara diameter *belly* dan *hearth*, nilai *pressure drop* pada bagian bawah *blast furnace* akan semakin tinggi.

Pada sudut *bosh* 88° mempunyai nilai *pressure drop* yang rendah, namun justru akan membutuhkan volume gas dan *fuel rate* yang lebih besar untuk menjaga produktivitas proses. Semakin tinggi rasio perbedaan antara diameter *belly* dan *hearth* semakin kecil pula *fuel rate* yang dibutuhkan untuk proses, karena pada zona reaksi reduksi terbentuk efisiensi reaksi yang tinggi (Inada, 2003).

4.3 Pengaruh Sudut *Bosh* Terhadap Distribusi Aliran Gas

Pada prinsip kerja dari *furnace* peran distribusi gas sangat berguna karena erat kaitannya dengan efektifitas produksi seperti berjalannya proses reduksi. Seperti yang telah dibahas pada sub-bab sebelumnya, aliran gas ini dipengaruhi oleh bentuk desain *mini blast furnace* dan susunan *burden material*. Karena *burden material* memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap distribusi laju aliran gas, maka analisis laju aliran gas akan melibatkan 3 zona yaitu pada zona *central*, zona *intermediate*, dan zona *peripheral*.



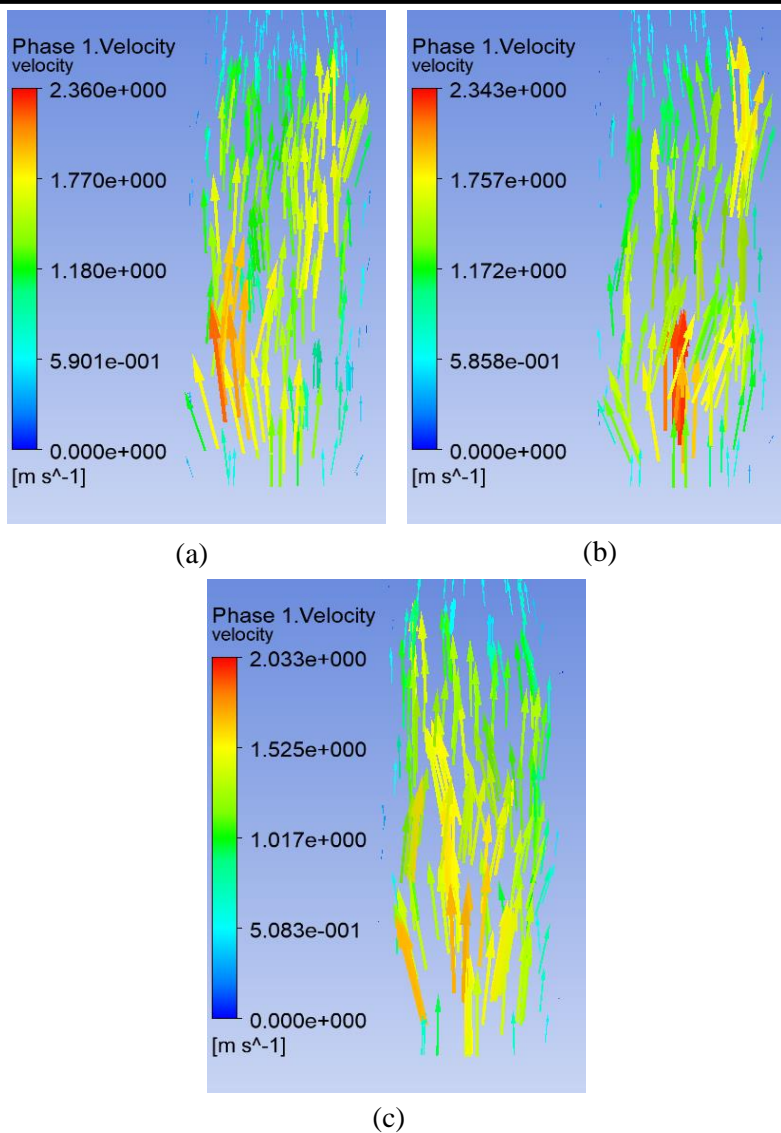
Gambar 4. 10 Profil Kontur Kecepatan Udara pada Setiap Variasi Sudut *Bosh* : (a) 90° ; (b) 88° ; (c) 86°.

Setiap partikel burden material memiliki nilai permeabilitas yang berbeda-beda. Oleh karena itu, pengaturan dari posisi *burden material* perlu dilakukan agar aliran gas mendominasi di daerah *central* dari *blast furnace* dan bukan daerah dinding, sehingga partikel yang memiliki permeabilitas lebih rendah dihindari untuk berada di daerah *central*, sebab dengan demikian gas pereduksi akan cenderung untuk melewati dinding *blast furnace*, yang mana akan berpotensi terjadinya *heat loss* yang cukup tinggi akibat dari perbedaan temperatur yang cukup tinggi antara dinding dan gas pereduksi (Geerdes, 2009).

Analisis distribusi aliran gas ini hanya melibatkan daerah *bosh* hingga *belly* dari MBF. Pembahasan laju aliran gas ini akan dianalisis dengan menggunakan tampilan kontur dan *vector* kecepatan yang masing-masing dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11.

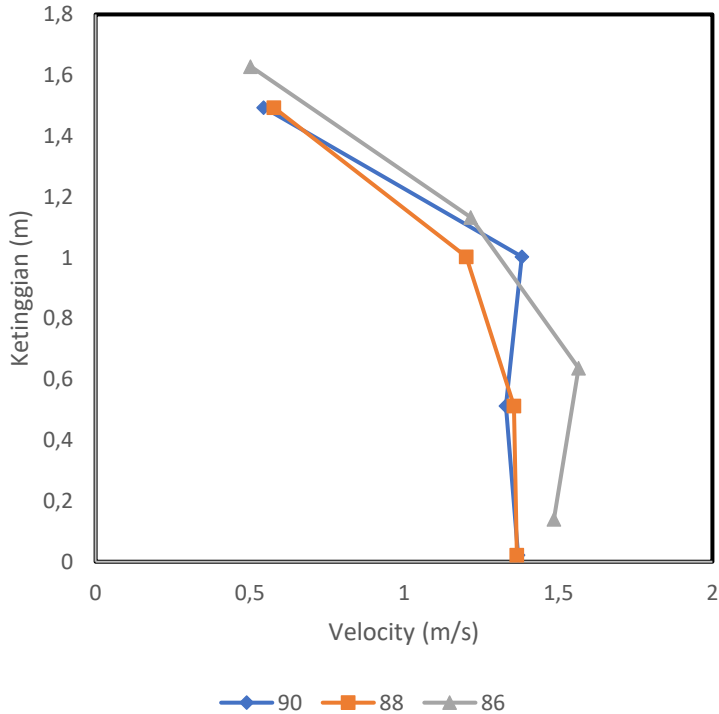
Dalam gambar tersebut terlihat bahwa nilai kecepatan gas tertinggi ditunjukkan warna merah. Secara umum, ketiga variabel penelitian tersebut memiliki profil kerja *central working furnace* yang berarti mayoritas laju aliran gas dalam *mini blast furnace* berada di bagian tengah (*central*). Hal ini terlihat dari laju aliran gas pada zona *central* dari MBF tampak berwarna kuning kemerahan. Namun, perbedaan sudut *bosh* dan adanya fraksi *burden material* pada setiap zona dalam MBF menyebabkan perubahan profil aliran gas yang berbeda-beda pada MBF. Profil gas yang baik ditentukan oleh banyaknya *supply* gas pada zona *central*, karena zona *central* merupakan zona yang didominasi oleh batu bara yang dalam proses ini berperan sebagai bahan bakar sekaligus zat reduktor.

Pada setiap variabel, kecepatan semakin menurun dengan semakin dekatnya jarak ke dinding MBF, terlihat dari gradasi warna ke warna biru, hal tersebut disebabkan gesekan maksimal terjadi tepat di dinding. Hal ini sesuai dengan teori dimana kecepatan semakin dekat dinding akan semakin mendekati nilai 0 (R Byron Bird, 1960).

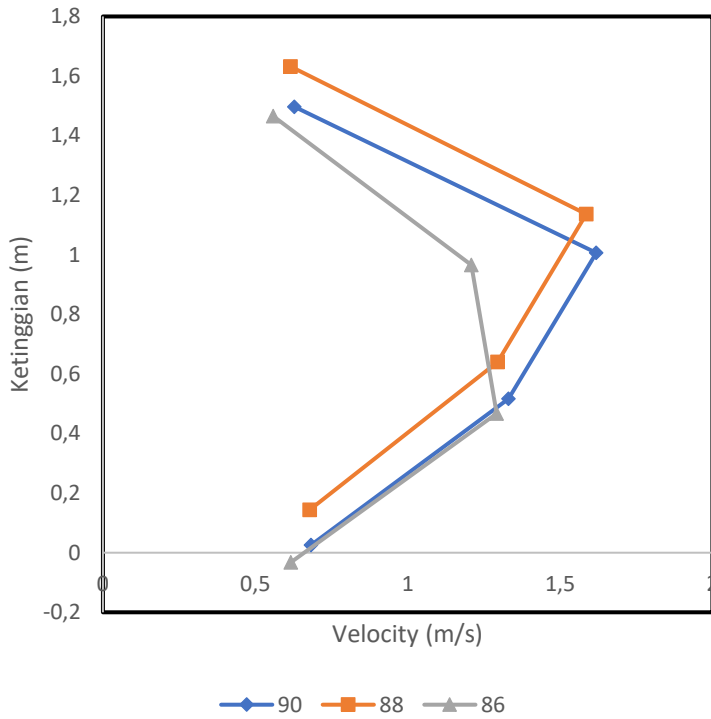


Gambar 4. 11 Profil *Vector* Kecepatan Udara pada Setiap Variasi Sudut *Bosh* : (a) 90° ; (b) 88° ; (c) 86°.

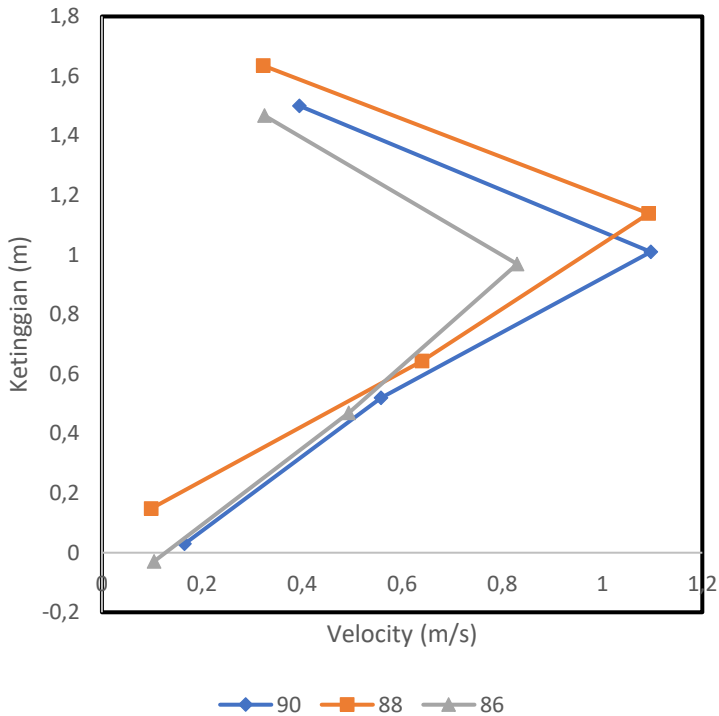
Untuk mengetahui lebih detail mengenai kecepatan setiap zona pada masing-masing variasi sudut *bosh*, dapat dilihat pada Gambar 4.12, 4.13, dan 4.14.



Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan *Velocity* Terhadap Ketinggian pada Setiap Variabel Sudut *Bosh* pada Zona *Central*.



Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan *Velocity* Terhadap Ketinggian pada Setiap Variabel Sudut *Bosh* pada Zona *Intermediate*.



Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan *Velocity* Terhadap Ketinggian pada Setiap Variabel Sudut *Bosh* pada Zona *Peripheral*.

Berdasarkan grafik yang tertera pada Gambar 4.12, 4.13, dan 4.14, setiap variabel memiliki pola grafik yang sama, dimana setiap variabel mempunyai kecepatan yang paling tinggi pada zona *central*, diikuti pada zona *intermediate* dan zona *peripheral*. Hal tersebut dikarenakan laju aliran gas di dekat dinding akan terhambat karena adanya interaksi terhadap dinding *blast furnace*.

Adapun laju aliran gas saat melewati *burden material* juga dipengaruhi oleh permeabilitas dan *voidage* suatu material yang

dilewati. Permeabilitas dan *voidage* sendiri dipengaruhi oleh ukuran partikel, semakin besar ukuran partikel maka permeabilitas yang terbentuk dan *voidage* yang terbentuk antar partikel berbeda akan semakin besar. Daerah dengan permeabilitas lebih kecil memiliki hambatan yang lebih besar terhadap aliran fluida, sehingga fluida akan cenderung mengalir ke daerah dengan permeabilitas yang lebih tinggi (Geerdes,2009).

Pada zona *Central*, *bosh* dengan variasi sudut 86° memiliki kecepatan aliran gas paling tinggi, diikuti oleh variasi sudut *bosh* 88° dan variasi sudut *bosh* 90° . hal ini dikarenakan pada variasi sudut *bosh* 86° , kuantitas batu bara lebih banyak dibandingkan dengan dua variasi yang lain. Besarnya kuantitas daripada batu bara dapat memberikan pengaruh terhadap besarnya laju aliran gas, dikarenakan batu bara memiliki permeabilitas yang paling tinggi dibanding dengan burden material yang lain (*ore* dan *dolomite*) dimana permeabilitasnya paling rendah. (Habiyoso, 2018)

Kecepatan aliran gas pada *mini blast furnace* juga dipengaruhi oleh kemiringan sudut *bosh*. Kemiringan sudut *bosh* ini secara langsung akan menyebabkan perubahan *inner* diameter *mini blast furnace*, semakin kecil sudut *bosh* maka akan semakin kecil *inner* diameter dari *mini blast furnace*. Pengecilan *inner* diameter tersebut akan menaikkan laju aliran gas pada zona *bosh*. Dengan adanya penambahan laju aliran gas tersebut maka akan dapat menjaga produktivitas proses reduksi dengan penambahan *fuel rate* (Inada,2003). Berdasarkan hasil simulasi, variasi sudut *bosh* 86° memiliki laju aliran yang paling cepat, disusul variasi sudut 88° , kemudian 90° . Hal ini, apabila dikorelasikan dengan teori yang berkaitan maka hasil simulasi tersebut telah sesuai dengan teori yang ada.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis data dan pembahasan dari hasil simulasi maka kesimpulan yang diperoleh, yaitu:

1. Semakin kecil sudut *bosh*, maka semakin besar kuantitas *burden material* batu bara pada zona *central*, sehingga terjadi *central working furnace* yang lebih besar.
2. Nilai *pressure drop* paling tinggi dimiliki oleh *bosh* dengan variasi sudut 90° . Sedangkan nilai *pressure drop* paling rendah dimiliki oleh *bosh* dengan variasi sudut 88°
3. Sudut *bosh* dengan variasi sudut 86° , memiliki nilai *velocity* yang paling tinggi daripada dua variasi sudut lainnya.

5.2 Saran

Saran untuk riset selanjutnya dari penelitian ini agar diperoleh analisis yang lebih akurat, adalah:

1. Melakukan validasi dengan eksperimen, sehingga diperoleh perbandingan hasil simulasi dengan realita di lapangan.
2. Perbanyak *trial and error* agar hasil yang didapat lebih maksimal
3. Analisis menggunakan CFD meliputi seluruh daerah MBF.
4. Mempertimbangkan reaksi yang terjadi dalam MBF.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, F. & Pintowantoro, S., 2014. Studi Pengaruh Rasio Feed Materials Pada Proses Smelting Mineral Tembaga Karbonat Menggunakan Mini Blast Furnace (MBF). **Teknik Material dan Metalurgi**, ITS.
- Bird, R. B. & Lighfoot, E. N., 1960. **Transport Phenomena**. USA: John Wiley & Sons, Inc..
- Biswas, A., 1981. **Principles of Blast Furnace Ironmaking Theory and Practice**. New Delhi: SBA Publication.
- Chastain, S. D., 2000. **Iron Melting Cupola Furnaces For the Small Foundry**. Jacksonville: Stephe D. Chastain.
- Febrianto, R., 2017. Analisa Pengaruh Ukuran Diameter Large Bell Terhadap Deformasi Layer dan Distribusi Burden Materials di Dalam Mini Blast Furnace Kapasitas 250 Ton/Hari Menggunakan Solid Particle Model. **Teknik Material dan Metalurgi**, ITS.
- Ferziger, J. & Peric, M., 2002. **Computational Methods for Fluid Dynamics**. Germany: Springer-Verlag.
- Geerdes, M., 2009. **Modern Blast Furnace Ironmaking : an Introduction. 2nd ed**. Amsterdam: IOS Press BV.
- Handaru, S., 2008. Recovery Nikel Dari Bijih Limonite Tereduksi Oleh Leaching Amonium Bikarbonat. **Departemen Teknik Metalurgi dan Material**, UI.
- ICHIDA, M. et al., 2006. Inner Profile and Burden Descent Behavior in the Blast Furnace. **NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT** pp. 80-86.

-
- Inada, T., Takata, K., Takatani, K. & Yamamoto, T., 2003. Effect of Blast Furnace Profile on Inner Furnace States. **ISIJ Internasional**.
- Jeong, W. & Seong, J., 2014. Comparison of effects on technical invariances of computational fluid dynamics (CFD) software based on finite element and finite volume methods. **International Journal of Mechanical Science**
- Jiang-liang, Z. et al., 2011. Influence of Profile of Blast Furnace on Motion and Stress of Burden by 3D-DEM. **Journal of Iron and Steel Research, International**.
- Miao, Z., Zhou, Z., Yu, A. & Shen, Y., 2017. CFD-DEM simulation of raceway formation in an ironmaking blast furnace. **Powder Technology**.
- Mitra, T. & Saxen, H., 2014. Model For Fast Evaluation of Charging Programs In The Blast Furnace. **s.l.:Metallurgical and Materials Transactions B**.
- Nouchi, d., 2009. Process Analysis for Blast Furnaces by the Discrete Element Method. **JFE Technical Report**.
- Nurirrofiq, I., 2018. Analisis Pengaruh Ukuran Ore Material Terhadap Distribusi Burden Material dan Profil Tekanan Gas di Dalam Mini Blast Furnace Kapasitas 250 Ton/Hari Menggunakan Discrete Element Method - Computational Fluid Dynamic Coupled Model. **Teknik Material dan Metalurgi, ITS**.
- Patel, G., 2010. CFD Simulations of Two-Phase and Three Phase flow in Internal-loop Airlift Reactors. **Lappeenranta University of Technology, Finland**.
-

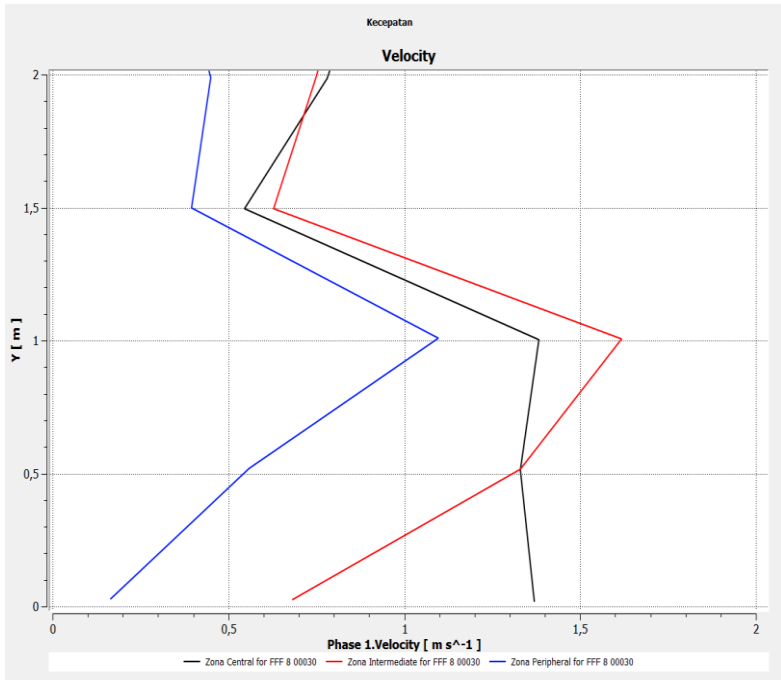
-
- Rafli, H., 2018. Analisis Pengaruh Diameter Large Bell Terhadap DIstribusi Burden Material dan Profil Tekanan di Dalam Mini Blast Furnace Kapasitas 250 Ton/Hari dengan Menggunakan DEM-CFD Coupled Model. **Teknik Material dan Metalurgi**, ITS.
- Sibagatullin, S. K., Kharchenko, A. S., Devyatchenko, L. D. & Steblyanko, V. L., 2017. IMPROVEMENT OF IRON ORE BURDEN COMPONENTS DISTRIBUTION WHEN CHARGING INTO BLAST FURNACE TOP BY PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELING OF FIXED EFFECTS. **Journal of Chemical Technology and Metallurgy** 52, 4: 694-701
- Spencer, J., 1985. Sulfidation of Half-Calcined Dolomite in Hydrogen-Sulfide/Deuterium/Water/Nitrogen-2--Kinetics, Structure and Mechanisms. **Carnegie Mellon University**.
- Subagja, R. & Firdiyono, F., 2016. **Kinetika Reaksi Pelarutan Nikel Dari Kalsin NIKel Laterit**. Pusat Penelitian **Metalurgi dan Material**, Volume 30.
- Subagja, R., Prasetyo, A. B. & Sari, W. M., 2016. **Peningkatan Kadar Nikel Dalam Laterit Jenis Limonit Dengan Cara Peletasi, Pemanggangan Reduksi dan Pemisahan Magnet Campuran Bijih, Batu Bara, dan Na₂SO₄**. Pusat Penelitian **Metalurgi dan Material**, Volume 31.
- Syaifullah, H., 2017. Analisa Pengaruh Sudut Large Bell pada Double Bell System Terhadap Deformasi Layer dan Distribusi Burden Materials di Dalam Mini Blast Furnace Kapasitas 250 Ton/Hari Menggunakan Solid Particle Model. **Teknik Material dan Metalurgi**, ITS.
-

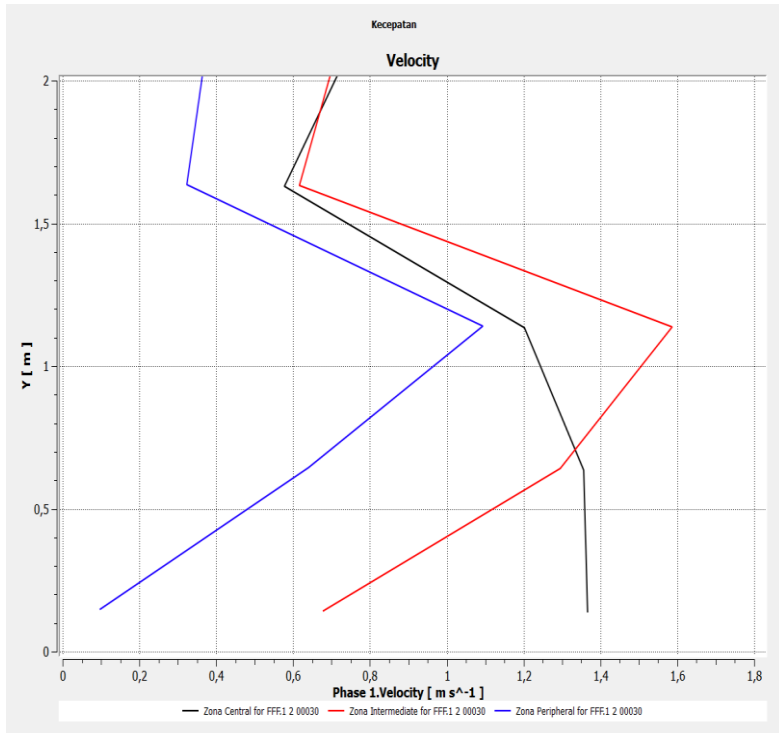
-
- Tanaka, K., Nishida, M., Kunimochi, T. & Takagi, T., 2001. Numerical and experimental studies for the impact of projectiles on granular materials. Nagoya Institute of Technology. **Handbook of Powder Technology**
- Wardhana, H. R., 2018. Analisis Pengaruh Sudut Shaft Terhadap Distribusi Tekanan dan Kecepatan Gas Pada Mini Blast Furnace Kapasitas 10 Ton Bijih Per Hari Menggunakan DEM-CFD Coupled Model. **Teknik Material dan Metalurgi, ITS.**

LAMPIRAN

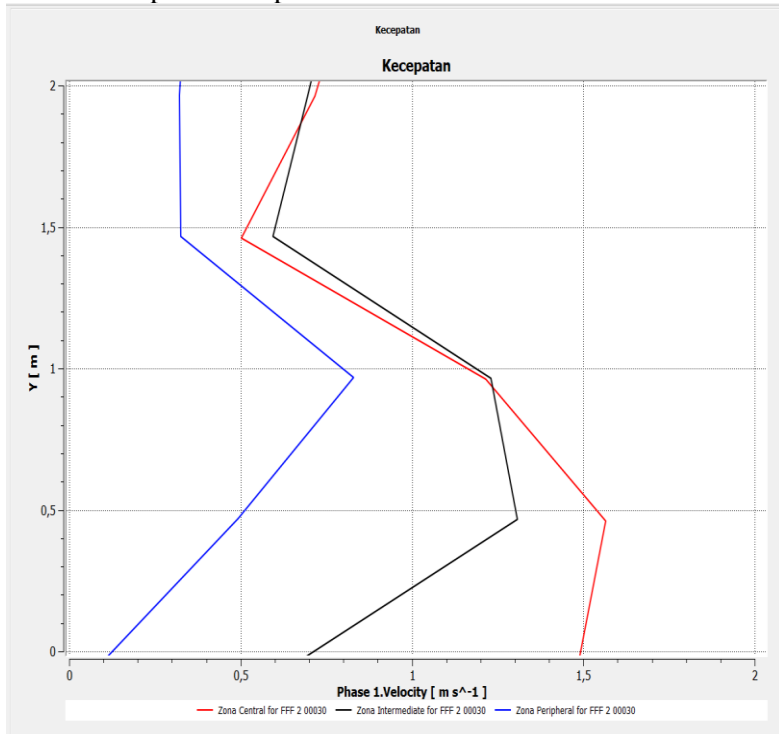
1. Ansys 17.1

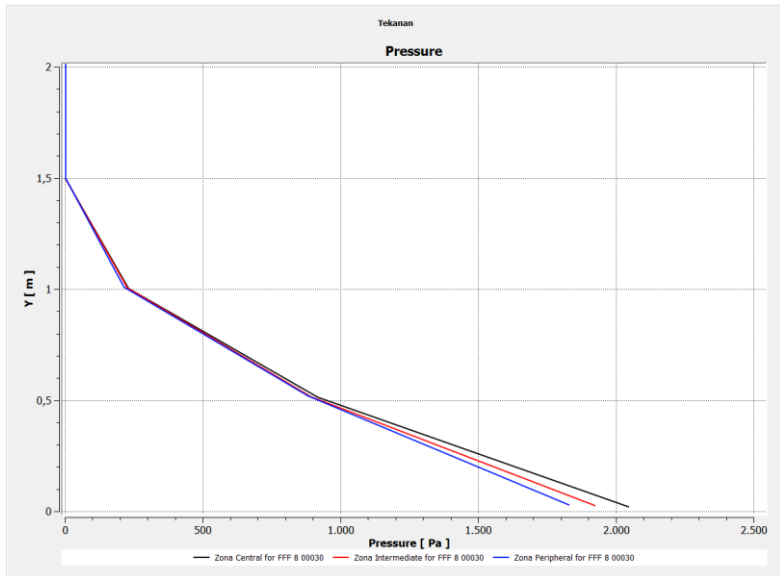
Grafik Kecepatan Gas pada Sudut *Bosh* 90°



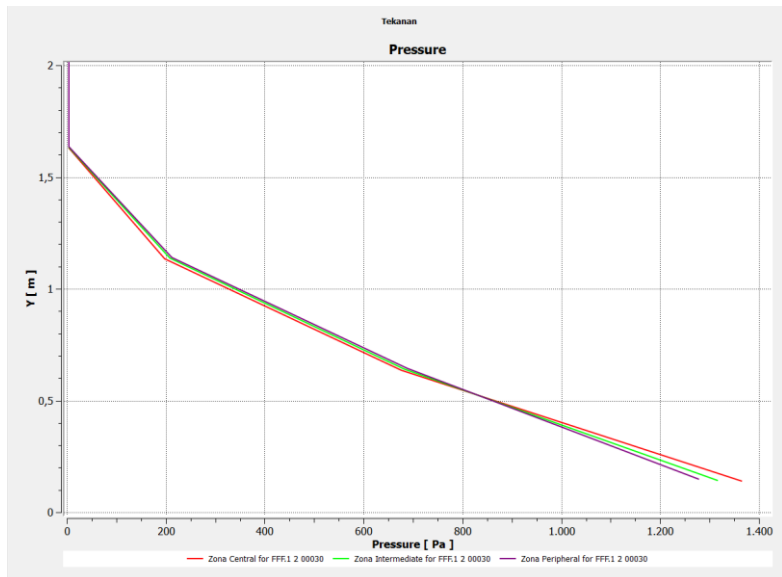
Grafik Kecepatan Gas pada Sudut *Bosh* 88°

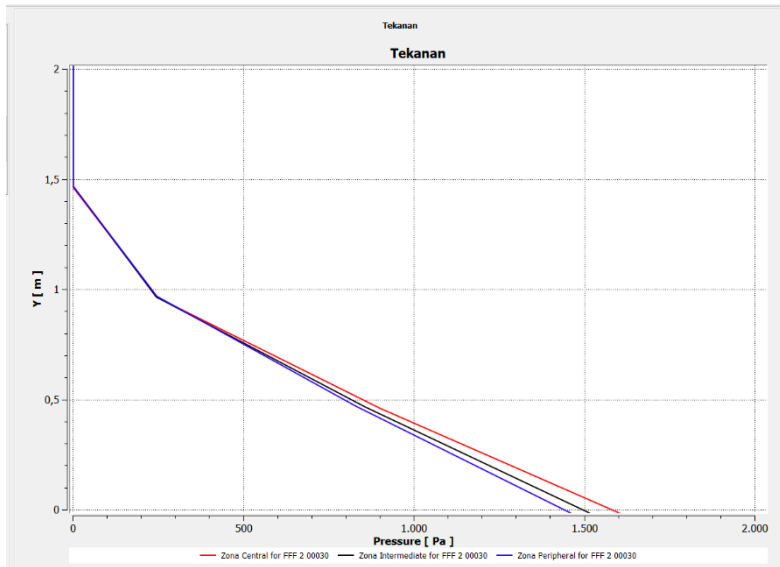
Grafik Kecepatan Gas pada Sudut *Bosh* 86°



Grafik Tekanan pada Sudut *Bosh* 90°

Grafik Tekanan pada Sudut *Bosh* 88°



Grafik Tekanan pada Sudut *Bosh* 86°

Ukuran Mesh

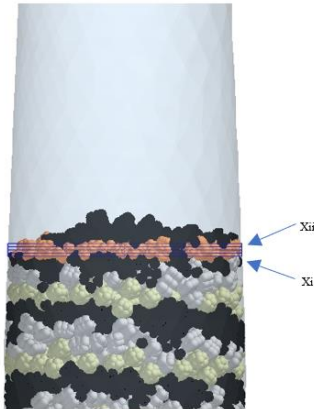
Details of "Mesh"	
Sizing	
Size Function	Uniform
Relevance Center	Medium
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Slow
<input type="checkbox"/> Min Size	0,150 m
<input type="checkbox"/> Max Face Size	0,150 m
<input type="checkbox"/> Max Tet Size	Default (0,228830 m)
<input type="checkbox"/> Growth Rate	Default (1,20)
Automatic Mesh Base...	On
<input type="checkbox"/> Defeaturing Tolera...	Default (7,5e-002 m)
Max Dual Layers in Thi...	No
Minimum Edge Length	0,471240 m
Inflation	

```

minimum volume (m3): 1.515833e-04
maximum volume (m3): 8.440241e-04
total volume (m3): 1.004612e+00
Face area statistics:
minimum face area (m2): 4.419180e-03
maximum face area (m2): 1.943568e-02
Checking mesh.....
Done.

```

Validasi Simulasi



$$\frac{-\Delta P}{H} = 1.75 \frac{\rho_f U^2 (1 - \epsilon)}{x \epsilon^3}$$

Perhitungan Formula Ergun

H (Ketebalan Daerah Analisa)	= 0.035 m
ρ_f (densitas fluida)	= 1.225 kg/m ³
U (fluid velocity)	= 0.4623 m/s ²
X (diameter partikel)	= 0.0383304 m
ϵ (voidage)	= 0.490
$-\Delta P$	= 1.804 Pa

HASIL SIMULASI

Pressure (X _i)	= 9.338 Pa
Pressure (X _{ii})	= 7,623 Pa
$-\Delta P$	= 1.715 Pa

PERHITUNGAN ERROR

$$(1.715-1.804)/1.715 \times 100\%$$

5.1%

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS, yang turut serta membantu secara administratif pendaftaran sidang tugas akhir.
2. Saudara penulis Iqbal Irfansyah, Rafie Ammar, dan Intan Savitri sebagai sumber motivasi dan teman bersenda gurau di rumah.
3. Teman partner TA seperjuangan Arif Tri Kurniawan yang selalu memotivasi dan membantu penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.
4. Patrick sebagai teman berkeluh kesah dan bersenda gurau sejak jaman MaBa. Sekaligus Partner Kerja Praktik terbaik.
5. Teman – teman Laboratorium Pengolahan Material, Ayun, Bugi, Habli, Arfi, Iib, Ardi, dan Aldi yang telah membantu tugas akhir saya selama 1 semester dan sudah banyak memberi saran serta ilmu yang bermanfaat.
6. Ari, dan Alfin selaku alumni tugas akhir semester 7, yang masih menyempatkan waktunya untuk *sharing* pengalaman pengerjaan TA.
7. Mas-mas alumni MT16 terutama mas Hendy, mas BP, dan mas Ghofur yang selalu memberi masukan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Dimas Bagus selaku penghuni lab komputasi yang sudah memberi banyak ilmu dan masukan dalam hal permodelan.
9. Bro Kendari, Bayuzen Ahmad yang selalu menjadi tempat bertanya dikala sudah buntu.

-
10. Teman – teman fungsi dan staff HMMT FTI-ITS sebagai tempat penulis belajar dan mengisi hari – hari sehingga mendapatkan pengalaman yang sangat berkesan.
 11. Sekumpulan manusia yang saya sebut Keluarga MT17 yang banyak memberikan pengalaman berharga selama di Departemen Teknik Material.
 12. Dan seluruh pihak yang tak bisa di sebutkan satu persatu yang telah memberikan partisipasi dalam tugas akhir ini Akhir kata, semoga penelitian ini dapat bermanfaat dan berguna bagi semua yang membutuhkan.

Surabaya, Juli 2019
Penulis

Muhammad Rizqi Ramadhan
NRP 0251154000116

BIODATA PENULIS



Muhammad Rizqi Ramadhan, dilahirkan di Gresik, 21 Januari 1997, merupakan anak kedua dari 4 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Kutorejo 1 Tuban, SMP Negeri 3 Tuban, dan SMA Al-Hikmah Surabaya. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studinya ke jenjang sarjana. Masuk Perguruan Tinggi Negeri di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut

Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2015 terdaftar dengan NRP 02511440000116. Selama berkuliah, penulis berkegiatan organisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dan pernah menjabat menjadi Staff dan Kepala Divisi di BSO KWU HMMT FTI-ITS. Berbagai pelatihan seperti LKMM Pra TD, LKMW FTI-ITS, dll. pernah diikuti oleh penulis. Penulis juga pernah melakukan Kerja Praktik di Pabrik PT. Krakatau Steel di Cilegon, Banten. Dalam kegiatan akademik penulis aktif sebagai Asisten Laboratorium Pengolahan Mineral & Material 2019.

Email : rizqi.ramadhan@gmail.com

No. Hp : 081333645512