



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Tugas Akhir - TL141584

**ANALISIS PENGARUH UKURAN ORE MATERIAL
TERHADAP DISTRIBUSI *BURDEN MATERIAL* DAN
PROFIL TEKANAN GAS DI DALAM *MINI BLAST
FURNACE* KAPASITAS 250TON/HARI
MENGUNAKAN *DISCRETE ELEMENT METHOD -
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC COUPLED
MODEL***

ILHAM NURIRROFIQ
NRP. 0251144000022

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

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018



TUGAS AKHIR - TL141584

**ANALISIS PENGARUH UKURAN ORE MATERIAL
TERHADAP DISTRIBUSI *BURDEN MATERIAL*
DAN PROFIL TEKANAN GAS DI DALAM *MINI
BLAST FURNACE* KAPASITAS 250TON/HARI
MENGUNAKAN *DISCRETE ELEMENT
METHOD - COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC
COUPLED MODEL***

ILHAM NURIRROFIQ
NRP 0251144000022

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

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

**ANALYSIS OF EFFECT OF ORE MATERIAL SIZE
ON BURDEN MATERIAL DISTRIBUTION AND
GAS PRESSURE PROFILE IN THE MINI BLAST
FURNACE CAPACITY 250TON/DAY USING
DISCRETE ELEMENT METHOD -
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC COUPLED
MODEL**

ILHAM NURIRROFIQ
NRP 0251144000022

Advisors :

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

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS PENGARUH UKURAN ORE MATERIAL
TERHADAP DISTRIBUSI BURDEN MATERIALS DAN
PROFIL TEKANAN GAS DI DALAM MINI BLAST
FURNACE KAPASITAS 250 TON/HARI MENGGUNAKAN
DISCREET ELEMENT METHOD –COMPUTATION FLUID
DYNAMIC COUPLED MODEL**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :
ILHAM NURIRROFIQ
NRP. 0251144000022

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Sungging Pintowantoro, Ph.D (Pembimbing I)

Mas Irfan P. Hidayat..... (Pembimbing II)



**ANALISIS PENGARUH UKURAN *ORE MATERIAL*
TERHADAP DISTRIBUSI *BURDEN MATERIALS*
DAN PROFIL TEKANAN GAS DI DALAM *MINI
BLAST FURNACE* KAPASITAS 250 TON/HARI
MENGUNAKAN *DISCREET ELEMENT
METHOD –COMPUTATION FLUID DYNAMIC
COUPLED MODEL***

Nama Mahasiswa : Ilham Nurirrofiq
NRP : 0251144000022
Jurusan : Departemen Teknik Material
Dosen Pembimbing I : Sungging Pintowantoro., Ph.D.
Dosen Pembimbing II : Mas Irfan P.Hidayat., Ph.D

Abstrak

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi sumber daya alam yang cukup berlimpah, khususnya komoditi tambang. Salah satu mineral yang cukup berlimpah di Indonesia adalah nikel. Namun, kemampuan bangsa ini untuk mengolah komoditi tersebut masih belum optimal, sehingga beberapa komoditi tersebut diekspor sebelum diolah lebih lanjut. Akibatnya nilai jual dari komoditi tersebut tergolong rendah. Pengaplikasian teknologi masih belum maksimal dalam pengolahan bahan tambang. Nikel banyak ditemukan dalam bentuk mineral *Laterite*. Lebih dari 90% konsentrat nikel sulfida diproses dengan proses pirometalurgi untuk membentuk nikel (mengandung *matte*). *Mini Blast Furnace* merupakan salah satu teknologi yang digunakan pada pirometalurgi untuk pengolahan nikel, akan tetapi dalam penggunaannya masih perlu optimalisasi proses yang terjadi, seperti proses *charging*. Proses *charging* sangat menentukan distribusi

partikel dari *burden materials* yang nantinya akan mempengaruhi distribusi temperatur dan tekanan. Oleh karena itu, pemodelan dari *Mini Blast Furnace* sangat diperlukan. Pada penelitian ini, ukuran divariasikan untuk mengetahui ukuran yang optimal dan distribusi partikel serta temperatur yang terjadi. Dengan menggunakan pendekatan secara matematis, pemilihan variabel proses dapat dipersempit, sehingga lebih cepat dan efisien. Analisis komputasi dilakukan dengan menggunakan *Discrete Element Method* (DEM) dan *Computation Fluid Dynamic* (CFD). Setelah dilakukan simulasi dan analisis, didapatkan partikel yang memiliki densitas kecil (batubara dan dolomit) berkonsentrasi di zona *center*, dan partikel yang memiliki densitas besar (*ore*) berkonsentrasi di zona *intermediate* dan zona *peripheral*. Semakin besar ukuran ore, maka semakin besar pula massa dari ore yang berakibat kecepatan jatuh dan energi kinetik *burden material* semakin besar. Ukuran ore 6 cm dianggap paling baik karena membentuk *central working furnace*. Serta, semakin besar ukuran partikel ore semakin besar voidage yang terbentuk dan berdampak pada gas yang dapat dengan mudah melalui *burden material* membuat *pressure drop* yang didapat menjadi rendah.

Kata kunci: *burden materials*, *charging*, *computation fluid dynamic*, *discrete element method*, *mini blast furnace*, **nikel**.

**ANALYSIS OF EFFECT OF ORE MATERIAL
SIZE ON BURDEN MATERIAL DISTRIBUTION
AND GAS PRESSURE PROFILE IN THE MINI
BLAST FURNACE CAPACITY 250TON/DAY
USING DISCRETE ELEMENT METHOD –
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC COUPLED
MODEL**

Name : Ilham Nurirrofiq
NRP : 0251144000022
Departement : Materials Engineering Departement
Advisor : Sungging Pintowantoro., Ph.D.
Co-Advisor : Mas Irfan P.Hidayat., Ph.D

Abstract

Indonesia is one of the countries with abundant natural resource potential, especially mining commodities. One of the most abundant minerals in Indonesia is nickel. However, the ability of this nation to process the commodity is still not optimal, so some of these commodities are exported before further processing. As a result the selling value of these commodities is low. Application of technology is still not maximized in the processing of mining materials. Nickel is widely found in the form of Laterite minerals. More than 90% of nickel sulphide concentrate is processed by pyrometallurgical process to form nickel (containing matte). Mini Blast Furnace is one of the technologies used in pyrometallurgy for nickel processing, but in its use still needs to optimize the process, such as charging process. The charging process determines the particle distribution of burden materials which will affect the distribution of temperature and pressure. Therefore, modeling of Mini Blast Furnace is very necessary. In this study, the size is varied to determine the optimal size and particle distribution and temperature. By using a mathematical

approach, the selection of process variables can be narrowed, making it faster and more efficient. Computational analysis was performed using Discrete Element Method (DEM) and Computation Fluid Dynamic (CFD). After simulation and analysis, small density (coal and dolomite) particles concentrate in the center zone, and large density particles (ore) concentrate in the intermediate zone and peripheral zone. The larger the size of the ore, the greater the mass of the ore resulting in a falling velocity and the greater the kinetic energy of the burden material. The size of 6 cm ore is considered best because it forms the central working furnace. As well, the larger the particle size of the larger ore the voidage is formed and the impact on the gas that can easily pass through the burden material makes the pressure drop acquired low.

Keywords: burden materials , charging, computation fluid dynamic, discrete element method, mini blast furnace, nickel.

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 ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“ANALISIS PENGARUH UKURAN ORE MATERIAL TERHADAP DISTRIBUSI *BURDEN MATERIALS* SERTA TEKANAN DAN LAJU GAS DI DALAM *MINI BLAST FURNACE* KAPASITAS 250 TON/HARI MENGGUNAKAN *DISCRETE ELEMENT METHOD – COMPUTATION FLUID DYNAMIC COUPLED MODEL*”**. Penulis ingin berterima kasih juga kepada :

1. Allah SWT atas karunia, rahmat, dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.
2. Bapak Sungging Pintowantoro, Ph.D dan bapak Mas Irfan P. Hidyat ST., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
3. Kedua Orang Tua (Pak Raspani dan Ibu Nanik Thowilah) dan kakak saya (Rakhmad Abinurizzaman), serta adik saya (Hafid Nuri Rochman) yang telah mendukung secara moril maupun materiil serta doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan ,keselamatan dan kelancaran anaknya dalam menempuh studi.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

5. Bapak Fakhreza Abdul, S.T., M.T yang telah memberikan banyak bimbingan ilmu dan pengalaman yang sangat bermanfaat.
6. Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., P.hD Selaku dosen wali yang sangat mengayomi dan memberikan wejangan ketika perwalian.
7. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
8. Teman terbaik saya Yulinar Dwi Nur Azizah yang selalu memberikan dukungan moril dan pengetahuan tentang keilmuan selama pengerjaan Tugas Akhir
9. Grader Metalurgi 2017/2018 yang selalu memberikan keceriaan dalam setiap pertemuan dan candaan.
10. Sahabat-sahabat terbaik saya Asia, Brahmanu, Redy, Amy, Mbaming, Sinung, dan Angga yang selalu memberikan canda dan tawa baik suka maupun duka seakan dunia hanya milik kami saja.
11. *Supporting System* saya Thalyta Rizkha Pradipta dalam beberapa kegiatan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
12. Teman-teman Lab. Pengolahan Material yang telah membantu saya selama pengerjaan Tugas Akhir khususnya kepada Anisya, Prita, Abrar, Icil, Rouf, Yoso, Tommi, Luki, Hendy, Bepe dan juga Mas Iqbal yang sudah banyak memberi saran serta ilmu untuk tugas akhir saya khususnya.
13. Teman angkatan MT 16 yang banyak memberikan saya pengalaman berharga selama di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi.
14. Keluarga PM3I yang telah memberi saya pengalaman organisasi dan semangat kekeluargaan walaupun terhalang jarak.
15. Keluarga Kesekretariatan saya Adnan, Samuel, Rani, Ihzat, Iqbal, David, dan Holly yang memberikan saya

- pelajaran tentang kehidupan.
16. Bagas, Marco, Yuli, Iqbal Bagas, Iqbal M, Rizki Sumantri, Arfan, Ari sebagai praktikan Metal 1 yang telah memberi warna baru disaat pengerjaan Tugas Akhir dengan keceriaan dan juga canda saat responsi.
 17. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam Tugas Akhir ini.

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

Surabaya, 2018
Penulis,

Ilham Nurirrofiq

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xx

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teknologi dan Penelitian Sebelumnya	5
2.2 EDEM	8
2.3 <i>Finite Volume Method</i>	8
2.4 Bijih Nikel	9
2.5 Nikel	12
2.6 Proses Pengolahan Bijih Nikel	13
2.7 Proses Pirometalurgi Nikel	14
2.8 Batu Bara.....	15
2.9 Batu Kapur.....	16
2.10 <i>Blast Furnace</i>	18
2.11 <i>Mini Blast Furnace</i>	23
2.12 Laju Alir Udara	25
2.13 Aliran Gas Reduktor dalam <i>Blast Furnace</i>	28
2.14 Distribusi Gas pada Lapisan <i>Ore</i>	29

2.15 . Perubahan Tekanan (<i>Pressure Drop</i>) pada <i>Blast Furnace</i>	30
2.16 <i>Solid Particle Model</i>	31
2.17 Pemodelan Aliran Fase Gas	33

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	39
3.2 Prosedur Penelitian	40
3.3 Prosedur Pemodelan	41
3.4 Sifat Fisik dan Mekanik Material	42
3.5 Data Input Analisis Fluida	45
3.6 Geometri <i>Mini Blast Furnace</i>	47
3.7 Bentuk Partikel <i>Burden Material</i>	50
3.8 Data Operasional Proses <i>Charging Burden Materials</i>	53
3.9 Alur Pemodelan <i>Solid Particle Model</i>	55

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Distribusi <i>Burden Material</i>	57
4.2 Pengaruh Ukuran <i>Ore</i> Terhadap Distribusi <i>Burden Material</i>	59
4.3 Pengaruh Ukuran Partikel <i>Ore</i> terhadap Distribusi Aliran Gas dalam MBF	80
4.4 Pengaruh Ukuran Partikel <i>Ore</i> terhadap Distribusi Tekanan Gas dalam MBF	83

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran	87

DAFTAR PUSTAKAxxi

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Persebaran Bijih Nikel di Indonesia 11
Gambar 2.2	<i>Flow Sheet</i> smelter <i>matte</i> PT Inco Indonesia: a) <i>Drying kiln</i> ; b) <i>Reduction kiln</i> ; c) Tempat penyimpanan bijih yang kering; d) <i>Top- blown rotary converter</i> ; e) <i>Electric furnace</i> ; f) <i>Peirce-Smith converter</i> 15
Gambar 2.3	Batu kapur jenis dolomit 17
Gambar 2.4	Hembusan udara panas pada daerah <i>raceway</i> 21
Gambar 2.5	Skematik <i>Blast Furnace</i> 22
Gambar 2.6	Ilustrasi Kupola untuk peleburan besi 24
Gambar 2.7	Diagram <i>net</i> untuk kupola 27
Gambar 2.8	Hubungan <i>voidage</i> , diameter dan <i>pressure drop</i> 28
Gambar 2.9	Skema distribusi aliran gas melewati lapisan kokas 29
Gambar 2.10	Model kontak untuk interaksi gaya antar partikel 32
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian 40
Gambar 3.2	Geometri MBF untuk Analisis Distribusi <i>Burden Material</i> 48
Gambar 3.3	Geometri MBF untuk Analisis Fluida 49
Gambar 3.4.	Tampilan <i>meshing</i> geometri MBF (a) 2 Dimensi; (b) 3 Dimensi 50
Gambar 3.5	Bentuk <i>Burden Material</i> : (a). <i>Coal 1</i> ; (b). <i>Coal</i> 2; (c). <i>Coal 3</i> ; (d). <i>Conditioned Ore</i> ; (e). Dolomit 1; (f). Dolomit 2; (g). Dolomit 3 ... 52
Gambar 3.6	Perbedaan Ukuran Partikel Ore; (a) Ore 4 cm, (b) Ore 6 cm, (c) Ore 8 cm 53

Gambar 4.1	Tampak atas potongan <i>distribusi material</i> di dalam <i>mini blast furnace</i>	58
Gambar 4.2	Daerah kerja di dalam <i>mini blast furnace</i> , (a) zona <i>central</i> ; (b) zona <i>intermediate</i> ; (c) zona <i>peripheral</i>	60
Gambar 4.3	Profil Layer distribusi burden material, (a) ukuran ore 4 cm; (b) ukuran ore 6 cm; (c) ukuran ore 8 cm	62
Gambar 4.4	Profil permukaan <i>stock</i> di dalam MBF dengan variasi, (a) ukuran ore 4 cm; (b) ukuran ore 6 cm; (c) ukuran ore 8 cm	64
Gambar 4.5	Profil Distribusi <i>Burden Material</i> pada Zona <i>Central</i> (a) <i>Ore</i> 4 cm; (b) <i>Ore</i> 6 cm; dan (c) <i>Ore</i> 8 cm	66
Gambar 4.6	Perbandingan massa <i>burden material</i> pada zona <i>central</i>	67
Gambar 4.7	Fenomena <i>Coke Push</i> tiap variabel (a) <i>Ore</i> 4 cm, (b) <i>Ore</i> 6 cm, (c) <i>Ore</i> 8 cm	68
Gambar 4.8	Profil Distribusi <i>Burden Material</i> pada Zona <i>Intermediate</i> (a) <i>Ore</i> 4 cm; (b) <i>Ore</i> 6 cm; dan (c) <i>Ore</i> 8 cm	70
Gambar 4.9	Persebaran <i>burden material</i> pada zona <i>intermediate</i>	71
Gambar 4.10	Profil Distribusi <i>Burden Material</i> pada Zona <i>Peripheral</i> (a) <i>Ore</i> 4 cm; (b) <i>Ore</i> 6 cm; dan (c) <i>Ore</i> 8 cm	72
Gambar 4.11	Persebaran <i>burden material</i> pada zona <i>peripheral</i>	73
Gambar 4.12	Grafik Sudut Kemiringan Lapisan <i>Burden Material</i> pada Zona <i>Central</i>	75
Gambar 4.13	Grafik Rata-Rata Sudut Kemiringan Lapisan <i>Burden Material</i> pada Zona <i>Central</i>	76

Gambar 4.14	Grafik Sudut Kemiringan Lapisan <i>Burden Material</i> pada Zona <i>Intermediate</i>	77
Gambar 4.15	Grafik Rata-Rata Sudut Kemiringan Lapisan <i>Burden Material</i> pada Zona <i>Intermediate</i>	78
Gambar 4.16	Grafik Sudut Kemiringan Lapisan <i>Burden Material</i> pada Zona <i>Peripheral</i>	79
Gambar 4.17	Grafik Rata-Rata Sudut Kemiringan Lapisan <i>Burden Material</i> pada Zona <i>Peripheral</i>	79
Gambar 4.18	Profil Kecepatan Gas pada Variabel (a) Ukuran Ore 4 cm; (b) Ukuran Ore 6 cm dan (c) Ukuran Ore 8 cm	82
Gambar 4.19	Perbandingan Nilai Kecepatan Gas Tiap Zona MBF	83
Gambar 4.20	Profil Tekanan Gas pada Variabel (a) Ukuran Ore 4 cm; (b) Ukuran Ore 6 cm dan (c) Ukuran Ore 8 cm	84
Gambar 4.21.	Grafik <i>Pressure</i> untuk variasi perbandingan diameter <i>ore</i>	85

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Prakiraan Komposisi Bijih Nikel Oksida dan Sulfida	10
Tabel 2.2	Gaya dan Torsi yang Bekerja pada Partikel	33
Tabel 3.1	Sifat Fisik dan Mekanik Material Input	43
Tabel 3.2	<i>Model dan Solution Setup</i>	45
Table 3.3	Properti Input	46
Tabel 3.4	Spesifikasi Massa Charging untuk seperdelapan bagian MBF	54
Tabel 3.5	Data Partikel pada Proses Simulasi <i>Solid Particle</i>	55
Tabel 4.1	Perbedaan Ketinggian Distribusi <i>Burden Material</i>	61
Tabel 4.2	Perpindahan partikel batubara akibat <i>coke push</i> ..	69
Tabel 4.3	Energi kinetik partikel <i>ore</i> tiap variabel	69

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi sumber daya alam yang cukup berlimpah, khususnya komoditi tambang. Namun, kemampuan bangsa ini untuk mengolah komoditi tersebut masih belum optimal, sehingga beberapa komoditi tersebut diekspor sebelum diolah lebih lanjut. Akibatnya nilai jual dari komoditi tersebut tergolong rendah. Pengaplikasian teknologi masih belum maksimal dalam pengolahan bahan tambang. (ESDM, 2012). Walaupun nilai kegiatan ekspor dan impor menurut Kompasiana (2016), tercatat sedikitnya ada 79.54% untuk kegiatan ekspor hasil tambang dan 78.57% untuk kegiatan impor hasil tambang non migas.

Salah satu mineral yang cukup berlimpah di Indonesia adalah nikel. Cadangan nikel Indonesia nomor enam dunia setelah Australia, *New Caledonia*, Brasil, Rusia, dan Kuba (USGS, 2015). Nikel banyak ditemukan dalam bentuk mineral *Laterite*. *Laterite* terbagi atas tiga jenis, yaitu endapan silikat Ni, Mg-Ni silikat pada mineral *Garnierite*; endapan silikat Ni pada mineral *Nontronite*; dan endapan oxide pada mineral *Goethite*. Untuk mineral *Laterite* di Indonesia terbesar kedua setelah negara *New Caledonia* yaitu sebesar 50% (N.W. Brand, et al. 1998). *Goethite* (-FeOOH) berstruktur kristal *orthorombic* dan bersifat antiferromagnetik (Marcos, 2006).

Indonesia memiliki cadangan bijih nikel laterit yang cukup besar terutama di Sulawesi, Halmahera, Papua dan Kalimantan dan diperkirakan cadangan bijih nikel yang ada sebesar 1576 Mt atau sekitar 15% dari cadangan nikel di dunia. Tetapi dengan jumlah sebesar itu hanya ada dua perusahaan yang mengolah bijih nikel di Indonesia terutama bijih saprolit yang berkadar nikel tinggi yaitu, PT. INCO menjadi *nickel matte* dan PT. Antam menjadi ferronikel. Sebagian besar bijih terutama bijih limonit dengan kadar nikel



yang rendah masih diekspor dalam bentuk mentah dan sisanya masih merupakan harta karun yang dibiarkan bagaikan barang yang tak bernilai (Edi Herianto, 2008). Ini menunjukkan bahwa Indonesia memiliki potensi yang besar untuk tambang nikel, disamping itu aplikasi dari nikel sendiri cukup banyak. Hingga saat ini nikel masih banyak memiliki aplikasi dalam dunia industri. Selain sebagai pelapis logam (electroplating) seperti pada industri pelapisan *stainless steel*, nikel juga digunakan dalam industri baterai, industri pesawat terbang, pembuatan uang koin, pelapisan senjata, dan berbagai fungsi lain (Bradley; Kevin, 2011). Dengan banyaknya aplikasi dari nikel yang cukup banyak, hal tersebut membuat kepercayaan para *metallurgist* untuk mengolah nikel tinggi.

Menurut Bloomberg (April, 2015), berdasarkan data dari Bea Cukai China, pada 2013, Indonesia mengeksport bijih nikel (*nickel ore*) sebesar 41,1 juta ton. Jumlah tersebut setara dengan 450.000 ton nikel murni apabila diolah oleh smelter di dalam negeri. Sebelum 2014, China mengimpor lebih dari 50% kebutuhan bijih nikel dari Indonesia.

Dengan adanya UU Minerba tentang Pengolahan Mineral dan Batubara membuat para investor di Indonesia mewajibkan mengolah terlebih dahulu hasil tambang, namun terdapat masalah besar. Berdasarkan data Pohon Industri Baja (2009) dari Kementerian Perindustrian dan data dari IISIA (Indonesian Iron and Steel Industry Association), belum ada industri yang memproduksi *pig iron* maupun NPI di Indonesia.

Oleh karena itu, penelitian ini membantu *metallurgist* untuk mengolah bijih nikel laterit dengan *Mini Blast Furnace*. Dengan adanya referensi dari simulasi yang dilakukan, diharapkan dapat menjadi panduan awal untuk pengolahan bijih nikel agar menjadi lebih optimal.

Menurut Abdul (2014), *Mini Blast Furnace* 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.

Secara struktur pada umumnya, *Mini Blast Furnace* di bangun dengan menggunakan baja silinder yang 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.

Dalam penggunaannya, *Mini Blast Furnace* memerlukan optimasi dari berbagai segi, khususnya pada *charging system*. Proses *charging* sangat penting untuk terjadinya reduksi bijih nikel oleh batu bara, oleh karena itu dibutuhkannya referensi pendukung untuk mengoptimalkan proses *charging*. Simulasi komputasi sering digunakan karena tidak memerlukan biaya yang besar dibandingkan pengembangan secara *trial and error*. Dengan menggunakan pendekatan secara matematis, pemilihan variabel proses dapat dipersempit, sehingga lebih cepat dan efisien. Pada penelitian ini, analisis profil di dalam *Mini Blast Furnace* disimulasikan dengan menggunakan *Discrete Element Method* (DEM) dan *Computation Fluid Dynamic* (CFD). Metode yang digunakan untuk analisis distribusi *burden material* saat proses *feeding* adalah dengan menggunakan *solid particle model* dengan variabel ukuran *ore*. Metode ini mensimulasikan perilaku partikel dengan prinsip dasar hukum kedua *newton*. Dengan metode pemodelan ini kondisi material di dalam MBF setelah *charging* dapat diketahui dengan baik. Kemudian kondisi material tersebut dianalisis menggunakan metode CFD untuk mengetahui profil tekanan gas di dalam MBF.



I.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh ukuran *Ore Material* terhadap distribusi *Burden Material* di dalam *Mini Blast Furnace*?
2. Bagaimana pengaruh ukuran *Ore Material* terhadap distribusi tekanan gas di dalam *Mini Blast Furnace*?
3. Bagaimana pengaruh tekanan terhadap distribusi kecepatan gas di dalam *Mini Blast Furnace*?

I.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Ukuran batubara dan *dolomite* dianggap homogen,
2. Peran *Small Bell* diabaikan dengan menganggap persebaran *Burden Material* pada *Large Bell* telah merata,
3. Reaksi di dalam *Mini Blast Furnace* diabaikan,
4. Analisis Fluida hanya meliputi zona *stack* MBF,
5. Vektor kecepatan yang masuk ke daerah *stack* dianggap telah homogen,

I.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, antara lain:

1. Menganalisis distribusi *burden material* di dalam *Mini Blast Furnace* saat proses *Charging*,
2. Menganalisis distribusi tekanan gas di dalam *Mini Blast Furnace*,
3. Menganalisis distribusi kecepatan gas di dalam *Mini Blast Furnace*.

I.5. Manfaat Penelitian

Dengan adanya pemodelan proses ekstraksi bijih nikel Laterit menggunakan *Mini Blast Furnace* (MBF) dapat memberikan analisis secara empiris terkait pengaruh ukuran *Ore* terhadap distribusi *Burden Material* dan distribusi aliran gas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teknologi dan 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 simulasi Mini *Blast Furnace* dan *Blast Furnace*.

2.1.1 Analisa Numerik Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Distribusi Temperatur dan Tekanan pada Mini *Blast Furnace*

Penelitian ini dilakukan oleh Afriyanto mengenai pengaruh laju alir udara terhadap distribusi temperatur dan tekanan pada *Blast Furnace* dengan menggunakan *Simulator Blast Furnace 65 Model* (Afriyanto, 2016). Penelitian ini menjelaskan bagaimana distribusi temperatur dan tekanan yang terjadi yang juga merupakan variabel yang digunakan pada penelitian ini.

2.1.2 Analisa Numerik Pengaruh Ukuran Kokas Terhadap Distribusi Temperatur dan Tekanan Mini *Blast Furnace*

Penelitian ini dilakukan oleh M. Hidayatullah Nur mengenai pengaruh ukuran kokas udara terhadap distribusi temperatur dan tekanan pada *Blast Furnace* dengan menggunakan *Simulator Blast Furnace 65 Model* (Nur, 2016). Penelitian ini memberikan referensi terhadap ukuran kokas yang digunakan agar memberikan hasil distribusi temperatur dan tekanan yang optimal.



2.1.3 Analisa Pengaruh Sudut *Large Bell* pada *Double Bell System* Terhadap Distribusi dan Deformasi Lapisan *Burden Material* di Dalam *Mini Blast Furnace* Kapasitas 250 Ton/Hari Menggunakan *Solid Particle Model*

Penelitian ini dilakukan oleh Hamzah Syaifullah mengenai pengaruh *sudut large bell* terhadap *double bell system* pada proses *charging* material di *Mini Blast Furnace* dengan menggunakan *Solid Particle Model* (Hamzah, 2017). Penelitian ini memberikan referensi terhadap ukuran sudut yang optimal yaitu 65° untuk digunakan sebagai *charging system*, dimana akan menunjang keberhasilan penelitian yang akan dilakukan.

2.1.4 Analisa Pengaruh Ukuran Diameter *Large Bell* Terhadap Distribusi dan Deformasi Lapisan *Burden Material* di Dalam *Mini Blast Furnace* Kapasitas 250 Ton/Hari Menggunakan *Solid Particle Model*

Penelitian ini dilakukan oleh Mohammad Rizki Febrianto mengenai pengaruh ukuran diameter *large bell* terhadap proses *charging* material di *Mini Blast Furnace* dengan menggunakan *Solid Particle Model* (Rizki, 2017). Penelitian ini memberikan referensi terhadap ukuran diameter *large bell* yang optimal untuk digunakan sebagai *charging system*, dimana akan menunjang keberhasilan penelitian yang akan dilakukan.

2.1.5 *Numerical Analysis on Blast Furnace Performance with Novel Feed Material by Multi-Dimensional Simulator based on Multi-Fluid Theory*

Penelitian dilakukan oleh Hiroshi Nogami, Mansheng Chu, dan Jun-Ichiro Yagi mengenai studi penggunaan *Carbon Composite Agglomerates* pada *Blast Furnace* dengan menggunakan simulator *Blast Furnace* (Nogami, 2006). Pada penelitian ini dijelaskan persamaan yang digunakan untuk simulator *Blast Furnace*.



2.1.6 Pemodelan CFD *pulverized coal injection* pada *Blast Furnace*

Chen Q Zhou dalam risetnya yang berjudul '*CFD Modelling For High Rate Pulverized Coal Injection (PCI) to Blast Furnace*' pada tahun 2008 menyimpulkan bahwa

1. Ukuran *raceway* akan meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan udara pada tuyer.
2. Dengan menggunakan variabel kecepatan udara pada tuyer yang tetap, akan terjadi peningkatan ukuran *raceway* seiring dengan peningkatan diameter tuyer.
3. Ketika penetrasi masuk lebih ke dalam *furnace*, *raceway* akan mendekati pusat *furnace*.

2.1.7 Simulasi aliran gas-solid di dalam *Blast Furnace*

Z.Y. Zhou pada penelitiannya yang berjudul '*Discrete particle simulation of gas–solid flow in a blast furnace*' pada tahun 2007. Pada penelitian tersebut dijelaskan persamaan interaksi dari partikel padat yang digunakan untuk penelitian yang akan dilakukan.

2.1.8 Simulasi aliran partikel pada *charging system* dari *Blast Furnace* menggunakan DEM

Jianliang Zhang pada penelitiannya yang berjudul '*Simulation of particle flow in a bell-less type charging system of a blast furnace using the discrete element method*' pada tahun 2013. Pada penelitian tersebut memberikan referensi untuk penelitian yang akan dilakukan, seperti interaksi yang akan terjadi pada partikel padat.

2.1.9 Simulasi proses transfer di dalam *Blast Furnace*

Ping Zhou pada penelitiannya yang berjudul '*Simulation of the transfer process in the blast furnace shaft with layered burden*'. Penelitian tersebut menjelaskan persamaan matematis yang digunakan sebagai perhitungan untuk aliran yang terjadi. Dimana pada penelitian yang akan dilakukan menggunakan persamaan tersebut.



2.2 EDEM

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 seperti batu bara, bijih tambang, tanah, dan partikel solid lainnya. Perangkat lunak EDEM membantu operator mengetahui bagaimana partikel solid akan berinteraksi dengan peralatan yang digunakan dan juga dengan kondisi proses yang terjadi. EDEM yang digunakan dalam berbagai industri termasuk manufaktur peralatan berat, pertanian, pertambangan, dan proses manufaktur (www.ansys.com).

2.3 *Finite Volume Method*

Kepopuleran *Finite Volume Method* (FVM) (Blazek, 2005; Ferziger, 2002; Versteeg, 2007) dalam *Computational Fluid Dynamics* (CFD) berasal dari fleksibilitas tinggi yang ditawarkannya sebagai metode diskretisasi. Meskipun didahului selama bertahun-tahun oleh perbedaan yang terbatas (Courant, 1928; Crank, 1947) dan metode elemen hingga (Clough, 1960). *Finite Volume Method* mengasumsikan peran yang sangat menonjol dalam simulasi mengenai aliran fluida dan fenomena perpindahan terkait akibat kerja yang dilakukan oleh kelompok CFD di Imperial College pada awal 70an di bawah arahan Profesor Spalding (Launder, 1972). *Finite Volume Method* hampir sama dengan metode numerik lainnya yang dikembangkan untuk simulasi cairan aliran, *finite volume method* mengubah himpunan persamaan diferensial parsial ke dalam sistem persamaan aljabar linier. Namun demikian, prosedur diskritisasi yang digunakan dalam *finite volume method* bersifat khas dan melibatkan dua langkah dasar. Pada langkah pertama, persamaan diferensial parsial terintegrasi dan berubah menjadi persamaan keseimbangan pada suatu elemen. Ini melibatkan perubahan integral permukaan dan volume menjadi hubungan aljabar diskrit di atas elemen dan permukaannya menggunakan kuadrat integrasi dari urutan akurasi



tertentu. Hasilnya adalah seperangkat persamaan semi diskritisasi. Pada langkah kedua, profil interpolasi dipilih untuk mendekati variasi variabel di dalam elemen dan menghubungkan nilai permukaan dari variabel ke nilai selnya dan dengan demikian mengubah hubungan aljabar menjadi persamaan aljabar. Pada kedua langkah tersebut, perkiraan yang dipilih mempengaruhi keakuratan dan ketahanan numerik yang dihasilkan (Moukalled, 2015).

2.4 Bijih Nikel

Di alam, nikel terbentuk sebagai sulfida dan silikat. Dengan demikian, sumber untuk diproduksi yaitu sulfida dan silikat. Bijih sulfida. Nikel utama – pembawa material dalam sulfida yaitu bijih nikel *pentlandite* $[(Ni, Fe)_9S_8]$ dan, meskipun sedikit, larutan padat nikel pada *pyrrhotite*. Nikel pada bijih sulfida biasanya disertai dengan tembaga (terutama sebagai *chalcopyrite*), kobalt, dan platina – kelompok logam; platina, iridium, rhodium, ruthenium dan palladium. Biasanya bijih sulfida memiliki 0.3-5.5% nikel, 0.6-2.5% tembaga, dan kobalt hingga 0.2%. Untuk bijih yang memiliki kadar tembaga yang tinggi tembaga, bijih ini sering disebut tembaga-nikel. Bijih sulfida biasanya ditemukan dalam bentuk *pyrrhotite*, *magnetite*, dan silikat dari besi, aluminium dan magnesium. Seperti bijih tembaga, bijih nikel terbagi menjadi besar, *pyritic* dan *impregnasi*. Yang terakhir terdapat di batuan dasar dan ultra – batuan dasar. Bijih sulfida dilakukan pemisahan magnetik, flotasi kolektif untuk memisahkan batuan dan apungan dari konsentrat sulfida yang mengandung nikel dan tembaga, dan perbedaan flotasi untuk memproduksi konsentrat nikel dan tembaga. Terkadang itu bisa membuktikan tidak mungkin memisahkan tembaga dari nikel karena keterkaitan dari mineral. Sementara konsentrat tembaga rendah pada nikel, konsentrat nikel membawa cukup banyak tembaga. Pada praktiknya, perbedaan flotasi tidak dilakukan. Karena perlakuan metalurgi berikutnya pasti akan memisahkan dua logam. Bijih oksida nikel didapat dari turunan batuan dasar akibat dari



pelapukan. Mineral nikel utama yaitu *garnierite*, hidrasi kompleks silikat nikel-magnesium dimana kadar nikel dan magnesium bervariasi ($nNiSiO_3.mMgSi_3.H_2O$). Tidak ada tembaga pada bijih oksida. Kobalt biasanya terdapat pada bentuk oksida, bergabung dengan mineral mangan. Kadar nikel pada bijih oksida (berat kering) sekitar 0.9-1.5%., dan kadar kobalt mencapai 0.15%. Bijih oksida terdiri dari oksida besi yang terhidrasi, aluminosilikat, kuarsa dan *tale* ($3MgO.4SiO_2.H_2O$) (Kuznetsov, 1968).

Sebuah analisis bijih nikel diberikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Prakiraan Komposisi Bijih Nikel Oksida dan Sulfida

Bijih	Ni	Cu	Fe	S	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO
Oksida	1.6	-	12	0.01	34	1.5	-	5.1
	0.8	-	14	<i>Traces</i>	42	0.1	1	22.0
Sulfida	2.5	1.1	34	21	22	1.9	6	2
	5.6	1.8	45	28	10	7	4	9
	0.5	0.8	52	28	2	-	-	25

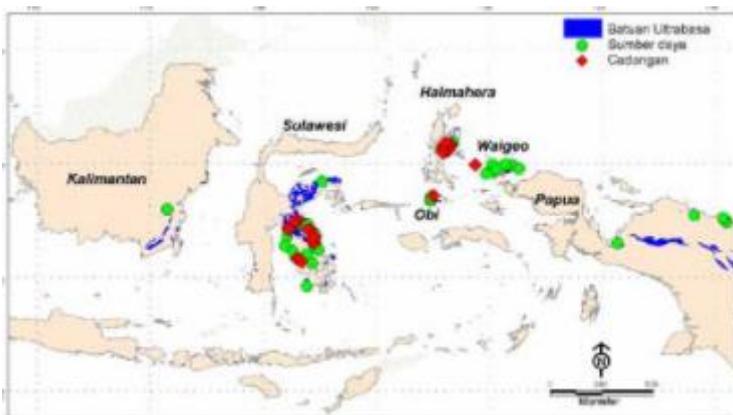
(Kuznetsov, 1968)

Pengolahan nikel di dunia 60% berdasar bijih nikel sulfida dan 40% bijih laterit. Bijih nikel sulfida pada umumnya terbentuk akibat pencampuran magma cair dari gunung berapi dengan lapisan kulit dari bumi. Pembentukan sulfida yang kaya unsur metal terjadi karena proses pembekuan dan adanya presipitasi juga. Sumber sulfur dari bijih jenis ini berasal dari magma itu sendiri atau dari batuan yang ada sebelum itu yang ikut tercampur yang memang mengandung sulfida. Mineral yang sangat umum dari bijih nikel ini adalah pentlandite, selain itu ada juga *pyrrhotite* dan juga kalkopirit. Sulfida yang ditambang untuk mendapatkan nikel mengandung nikel sebesar 1,5%-3% Ni (Frank Crundwell dkk, 2011). Bijih nikel laterit banyak ditemukan dalam daerah tropis dan subtropis, yang curah hujan cukup tinggi serta pembusukan vegetasi yang menyediakan air tanah yang bersifat asam yang efektif dalam pembentukan batuan kaya akan *olivine* (*Periodotite*,



Pyroxenite dan *Dunite*) dengan kandungan utama adalah nikel (Burger,1996).

Bijih nikel di Indonesia, tempat ditemukan nikel adalah Sulawesi Tengah dan Sulawesi Tenggara. Nikel yang dijumpai berhubungan erat dengan batuan Periodotit. Logam yang tidak ditemukan dalam periodotit itu sendiri, melainkan sebagai hasil lapukan dari batuan tersebut. Mineral nikelnya adalah garnierit. Jenis nikel laterit adalah yang paling banyak ditemukan di Indonesia. 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 $Ni < 2\%$. (Golightly, 1979; Hallet, 1997; O'connor et al, 2006; Botsis et al, 2008)



Gambar 2.1. Persebaran Bijih Nikel di Indonesia (ESDM, 2012)



2.5 Nikel

Nikel merupakan sebuah logam yang berwarna keperakan dengan densitas sebesar 8.90 g/cm^3 serta titik leleh 1455°C dan titik didih 2730°C dengan nilai ekonomis mencapai hamper 3 kali lipat dari logam tembaga (Fatchul, 2012). Nikel sendiri adalah logam yang bersifat lunak, namun jika dipadukan dengan besi, krom dan logam lainnya dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Perpaduan nikel, krom dan besi menghasilkan baja tahan karat yang umum diaplikasikan dalam peralatan dapur, ornamen-ornamen rumah serta komponen industri. (Rima, 2015).

Nikel merupakan unsur kimia metalik dalam yang memiliki simbol Ni dan nomor atom 28. Nikel merupakan logam dengan fasa padat, memiliki massa jenis sekitar $8,908 \text{ g/cm}^3$ dan titik lebur 1453°C . Nikel juga memiliki sifat tahan karat. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lembek, tetapi juga dipadukan dengan besi, krom, dan logam lainnya., dapat membentuk baja tahan karat yang keras, mudah ditempa, sedikit ferromagnetik, dan merupakan konduktor yang cukup baik terhadap panas dan listrik. (Bill McCutcheon, 2005).

Selain tembaga dan alumunium, nikel merupakan salah satu komoditas logam industri yang sangat favorit dan memiliki nilai investasi yang menjanjikan. Indonesia selaku produsen dan eksportir nikel yang cukup besar di dunia memiliki potensi yang besar dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Sebagian besar pertambangan nikel berasal dari dua jenis deposit. Pertama adalah laterit dimana mineral utamanya berupa *nickelferrous limonite* $(\text{Fe,Ni})\text{O}(\text{OH})$ dan *garnierite* $(\text{Ni,Mg})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$. Kedua adalah sulfida dimana mineral utamanya berupa *pentlandite* $(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$ (Bill McCutcheon, 2005; Australian Atlas of Mineral Resource, Mines, and Processing Centres, 2011; Christie, Tony. *Mineral Comodity Report 10 – Nickel*).

Nikel banyak ditemukan dalam bentuk mineral *Laterite*. *Laterite* terbagi atas tiga jenis, yaitu endapan silikat Ni, Mg-Ni silikat pada mineral *Garnierite*; endapan silikat Ni pada mineral *Nontronite*; dan endapan oxide pada mineral *Goethite*. Untuk



mineral *Laterite* di Indonesia terbesar kedua setelah negara *New Caledonia* yaitu sebesar 50% (N.W. Brand, et al. 1998). *Goethite* (-FeOOH) berstruktur kristal orthorombic dan bersifat antiferromagnetik (Marcos A. E. 2006). Endapan nikel laterit merupakan hasil pelapukan lanjut dari batuan ultramafik pembawa Ni-Silikat. Umumnya batuan ini terdapat pada daerah dengan iklim tropis sampai dengan subtropis. Pengaruh iklim tropis di Indonesia mengakibatkan proses pelapukan yang intensif, sehingga beberapa daerah di Indonesia memiliki profil laterit (produk pelapukan) yang tebal dan menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara penghasil nikel laterit utama. Proses konsentrasi nikel pada endapan nikel laterit dikendalikan oleh beberapa faktor yaitu batuan dasar, iklim, topografi, air tanaah, stabilitas mineral, mobilitas unsur, dan kondisi lingkungan yang berpegaruh terhadap tingkat kelarutan mineral (Doni, 2012).

2.6 Proses Pengolahan Bijih Nikel

Nikel diekstraksi dari ore laterit dengan proses hidrometalurgi atau pirometalurgi, tergantung pada sifat dari *gangue* tersebut. Secara umum, laterit silikat dengan kandungan magnesium yang tinggi dapat diekstrak dengan cara reduksi *roasting* lalu dilanjutkan dengan amonia *leaching* atau dengan pirometalurgi, sedangkan bijih limonit dengan kandungan magnesium yang rendah dan besi yang tinggi biasanya diekstraksi dengan cara proses hidrometalurgi (Diaz, 1988). Karena lapisan limonit sangat tidak cocok untuk ditingkatkan kadanya, sekitar 40% dari bijih nikel laterit yang cocok untuk proses *smelting* dan diperkirakan dalam bentuk nikel-magnesium silikat terhidrasi (bijih saprolit). Sedangkan peningkatan kadar lapisan saprolit juga terbatas untuk peningkatan konsentrasi nikel. Hal ini merupakan perbedaan utama antara bijih laterit dan bijih sulfida yang dapat dibenefisiasi dari 10% menjadi 28% (Taylor, 1995).

Mineral yang kompleks, sifat yang heterogen, dan kandungan nikel yang rendah menyebabkan nikel laterit membuat benefisiasi secara fisik hampir tidak mungkin serta menyebabkan



ekstraksi dari nikel cukup sulit (Kerfoot, 1991). Selain itu, temperatur tinggi yang diperlukan untuk proses pirometalurgi atau konsumsi bahan kimia tingkat tinggi untuk proses leaching bijih dari proses hidrometalurgi menyebabkan pengolahan bijih laterit relatif kompleks (Eckelman, 2010).

2.7 Proses Pirometalurgi Nikel

Lebih dari 90% konsentrat nikel sulfida diproses dengan proses pirometalurgi untuk membentuk nikel (mengandung *matte*) (Boldt, 1967; Simmols, 1997; Diaz, 1988; Landolt, 1987). Proses pirometalurgi dari konsentrat nikel dibagi menjadi tiga bagian unit operasi: *roasting*, *smelting*, dan *converting*. Pada tahap *roasting*, sulfur terlibat dalam proses keadaan sebagai sulfur dioksida dan sebagian dari besi teroksidasi. Pada *smelting*, hasil dari *roasting* dilebur dengan fluks yang dikombinasikan dengan besi yang teroksidasi untuk memproduksi dua fasa *immiscible*. Cairan *slag* silikat yang bisa dibuang dan larutan lelehan dari sulfida yang mengandung logam berharga. Pada operasi *converting* pada lelehan sulfida, lebih banyak sulfur yang terlibat dalam proses sebagai sulfur dioksida dan sisa besi yang ada teroksidasi dan fluks untuk penghilangan dalam bentuk *slag* silikat, meninggalkan tembaga-nikel *matte* sulfida dengan grade yang tinggi. Pada beberapa operasi modern, *roasting* dihilangkan dan konsentrasi nikel sulfida diproses langsung di dalam smelter (Fatih, 1997).

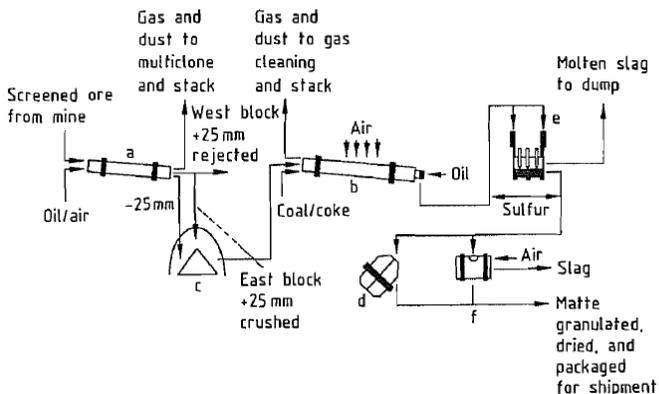
Hasil ekstraksi nikel ada beberapa jenis yaitu *ferronickel*, nikel *matte*, dan nikel logam. *Ferronickel* adalah paduan besi dan nikel dengan kadar nikel di bawah 20% dan di atas 1.5%. pada umumnya yang dapat dihasilkan langsung dari *Blast Furnace* adalah *pig iron* yang mengandung nikel antara 1.5% - 8% Ni. Nikel *matte* dihasilkan dari ekstraksi senyawa nikel yang berupa sulfida. Sedangkan nikel berupa logam adalah pemurnian dari nikel yang berada di dalam *matte* maupun nikel yang berada di bijih seperti pada proses Mond, dimana nikel oksida direaksikan dengan karbon monoksida sehingga didapat nikel murni (Keyle, 2010).



Persamaan reaksi ekstraksi nikel dari laterit pada proses roasting menurut Tyroler (1998), ditunjukkan pada reaksi di bawah ini:

- Terjadi dekomposisi *garnierite* dan *geothite* (bijih)
$$\text{Ni}_3\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_{8(s)} + \text{panas} \rightarrow 3\text{NiO}_{(s)} + 4\text{SiO}_{2(s)} + 4\text{H}_2\text{O}_{(g)}, 700^\circ\text{C} \dots\dots\dots (2.1)$$
$$2\text{FeO}(\text{OH})_{(s)} + \text{panas} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_{3(s)} + \text{H}_2\text{O}_{(g)}, 700^\circ\text{C} \dots\dots\dots (2.2)$$
- Reaksi reduksi oleh gas CO
$$3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2 \dots\dots\dots (2.3)$$
$$\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} \rightarrow 3\text{FeO} + \text{CO}_2 \dots\dots\dots (2.4)$$
$$\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2 \dots\dots\dots (2.5)$$
$$\text{NiO} + \text{CO} \rightarrow \text{Ni} + \text{CO}_2 \dots\dots\dots (2.6)$$

Di Indonesia terdapat PT Inco Indonesia yang memproses nikel, proses yang dilakukan oleh PT Inco Indonesia digambarkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Flow Sheet smelter matte PT Inco Indonesia: a) Drying kiln; b) Reduction kiln; c) Tempat pennyimpanan bijih yang kering; d) Top-blown rotary converter; e) Electric furnace; f) Peirce-Smith converter (Fatih, 1997)



2.8 Batu Bara

Prospek pengembangan eksploitasi batubara di Indonesia masih cukup banyak, dengan sumber daya sekitar 124.796, milyar ton dan cadangan 32.38 milyar ton (Badan Geologi, 2014) yang dapat ditambang secara konvensional hingga mencapai kedalaman ± 300 m. Proses penambangan batubara merupakan pekerjaan yang berbahaya dan tidak selalu ekonomis, terutama bila batubara memiliki letak yang terlalu dalam antara 300-1.000 m atau terlalu rendah kualitasnya. Dengan demikian, batubara tersebut tidak bisa ditambang secara ekonomis, sehingga perlu dipikirkan metode penambangan alternatif untuk dapat mengeksploitasi batubara yang berada di kedalaman antara 300-1.000 m. Beberapa penulis seperti Zieleniewski dan Brent (2008), Bhutto *dkk.* (2013), Kapusta *dkk.* (2013), Bielowicz and Kasiński (2014), Imran *dkk.* (2014) memperkirakan bahwa hanya $\pm 16\%$ dari batubara dunia yang dapat ditambang secara ekonomis. Sisanya sebesar 84 % masih memerlukan pemikiran untuk dapat memanfaatkannya.

2.9 Batu Kapur

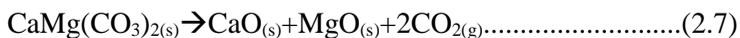
Salah satu batuan sedimen yang banyak ditemui adalah batu kapur. Limestone merupakan istilah yang digunakan untuk batuan karbonat atau fosil yang terbentuk secara pokok, terdiri dari kalsium karbonat atau kombinasi dari kalsium dan magnesium karbonat dengan variasi sejumlah impuritas seperti silika dan alumina. Sedangkan lime tidak terlalu bervariasi dibandingkan limestone, dimana lime merupakan hasil kalsinasi atau pembakaran batuan limestone. Proses kalsinasi memaksa keluar karbon dioksida dari batuan, dan membentuk kalsium oksida (Bonyton, 1980).



Gambar 2.3 Batu kapur jenis dolomit (Geology.com)

Batu kapur ditemukan secara alami dalam mineral dengan bentuk polimorf. Polimorf merupakan sebuah mineral dengan rumus kimia yang sama tetapi memiliki struktur kristal yang berbeda. Kalsium karbonat (CaCO_3) memiliki tiga macam bentuk polimorf, yaitu kalsit, aragonit dan vaterit dengan struktur kristal berturut-turut rombohedral, heksagonal, dan ortorombik. Dari ketiga struktur tersebut, kalsit memiliki fasa paling stabil (Maciewsky, 1993).

Beberapa contoh mineral atau batu kapur (Bonyton, 1980): Kalsit (CaCO_3 , rombohedral), Aragonit (CaCO_3 , ortorombik), Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, rombohedral), Magnesit (MgCO_3 , rombohedral). Dalam penelitian ini batu kapur yang digunakan yaitu dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), batu kapur dalam proses reduksi berperan dalam menyediakan gas CO_2 untuk reaksi pembentukan gas CO (reaksi Boudouard). Gas CO_2 diperoleh dengan reaksi dekomposisi dolomit pada persamaan (2.7).





Selain itu, batu kapur berperan sebagai *flux agent* atau pengikat pengotor. Batu kapur dapat berperan dalam proses desulfurisasi batu bara melalui reaksi (2.8) pada temperatur 870 °C hingga 1037 °C (Spencer, 1985).



2.10 *Blast Furnace*

Pengolahan besi pada awalnya menggunakan proses yang cukup rumit. Instrumen yang digunakan adalah *Bloomery Hearth Furnace*, dimana bijih dan batu bara dipanaskan dalam sebuah tungku silinder. Hasilnya adalah bongkahan yang masih mengandung *slag*, yang kemudian dipisahkan dengan pemanasan dan penempaan secara berulang. Pada abad ke-16 *Bloomery Hearth Furnace* ditambahkan sebuah pintu di bagian *throat* untuk mengeluarkan gumpalan *lump* yang berukuran lebih besar. Perkembangan lebih lanjut adalah dengan menambahkan ketinggian untuk *Blast Furnace*. Penambahan ketinggian tersebut menghasilkan produk berupa cairan besi yang telah terpisah dari pengotornya, atau dikenal dengan *pig iron*. Pada abad ke-18 penggunaan batu bara mulai dibatasi dan diganti dengan kokas. Penggunaan kokas meningkatkan efisiensi produksi dari *Blast Furnace*. Pengembangan lebih lanjut oleh proses *Bessemer* pada tahun 1855 dan *Siemens- Martin* pada 1865 menghasilkan proses yang bersifat eksotermik untuk pembentukan lelehan baja. (Babich, 2008).

Blast Furnace adalah sebuah reaktor ekstraksi bijih besi berdimensi diameter 12 m dan tinggi 30 m dengan prinsip kerja *counter current flow*, tinggi total *Blast Furnace* akan naik jika telah terpasang *charging* material pada bagian atas *Blast Furnace*. Secara struktur pada umumnya *Blast Furnace* dibangun dengan menggunakan baja silinder yang dibagi dalam beberapa segmen dimana baja silinder ini berfungsi sebagai penopang dan penutup. Pada bagian dalam baja silinder akan dilapisi dengan batu tahan api (refraktori). Struktur *Blast Furnace* berbentuk silinder memanjang



dengan bagian atas dan bagian bawah dibuat meruncing/konus. Pada puncak dari *Blast Furnace* terdapat *hopper* dan pembuangan gas setinggi 3 m. Sistem pemasukan material umpan termasuk kokas dan bijih material terdapat pada bagian atas *Blast Furnace* melalui *hopper* yang mengatur distribusi material umpan terdistribusi merata, selanjutnya material umpan akan mengalami pemanasan awal pada area *preheat* dan leleh pada area pelelehan serta mengalami pemanasan dengan temperatur yang tinggi dan tereduksi pada area reduksi. Tahap akhir dari proses *Blast Furnace* adalah pengeluaran logam cair dan *slag* yang dikeluarkan melalui lubang yang terpisah untuk logam cair dan *slag*. Kedua lubang keluaran ini terpisah dengan prinsip kerja memanfaatkan berat jenis dari logam cair dan *slag*. Pada bagian bawah *Blast Furnace* atau disebut *bosh* dilengkapi dengan beberapa lubang pembuka atau *tuyser*. *Tuyser* memiliki fungsi sebagai pensuplai udara yang akan membuat tiupan aliran udara panas. Pada bagian bawah dekat dengan dasar *bosh* terdapat *tapping hole* atau lubang yang berfungsi sebagai tempat mengalirnya logam cair hasil proses dari *Blast Furnace*. *Tuyser* terletak di atas *tapping hole* dengan bentuk *tuyser* pada umumnya melingkar mengelilingi *Blast Furnace*. Struktur *tuyser* biasanya terdiri dari sabuk pipa silinder yang diletakkan pada bagian luar *Blast Furnace* dan diberikan pipa pengalir masuk ke bagian dalam *Blast Furnace* dengan pipa pengalir berdiameter lebih kecil dibanding dengan pipa sabuk. Desain *tuyser* ini memberikan andil pada tingkat keberhasilan proses dalam *Blast Furnace*. Pada bagian ini terdapat lubang untuk mengalirkan *slag*. Lubang ini biasanya terletak pada area di bawah *tuyser* dan di atas *tapping hole* (Rahmat, 2016).

Bagian dalam blast furnace terbagi atas tiga struktur fisik (Austin, 2006), yaitu

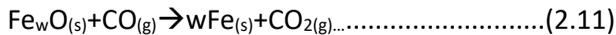
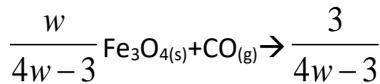
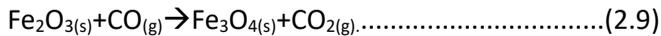
a. Raceaway

Raceaway adalah area dimana banyak terdapat kekosongan atau *void* dikarenakan terdapat hembusan fluida / udara bertekanan dan berkecepatan tinggi dari *tuyser*. Karena hembusan udara ini maka energi panas atau termal terbentuk



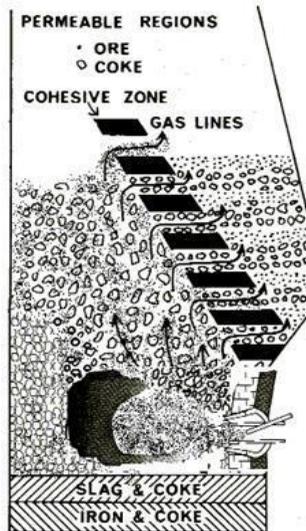
dan pada area ini temperatur tertinggi *blast furnace* berada pada area ini. Energi panas yang terbentuk akan memanaskan kokas dan terjadi reaksi sehingga terbentuk karbon monoksida dan karbon dioksida.

Karbon monoksida merupakan gas reduktan yang dapat mereduksi oksida besi secara tak langsung. Keboleh jadian reduksi oksida besi secara tak langsung terjadi dalam bentuk tiga tahapan reaksi kimia dalam persamaan (2.9 - 2.11) (Castro, 2000).





Panas dari reaksi di area *raceway* juga membentuk gas panas, dimana gas ini akan bergerak ke atas menjadi pemanas awal material umpan saat masuk pada bagian atas *Blast Furnace*. Skematik bentuk *raceway* pada *Blast Furnace* terdapat pada ilustrasi Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Hembusan udara panas pada daerah *raceway* (Nogami, 2006)

b. Cohesive Zone (Zona Kohesif)

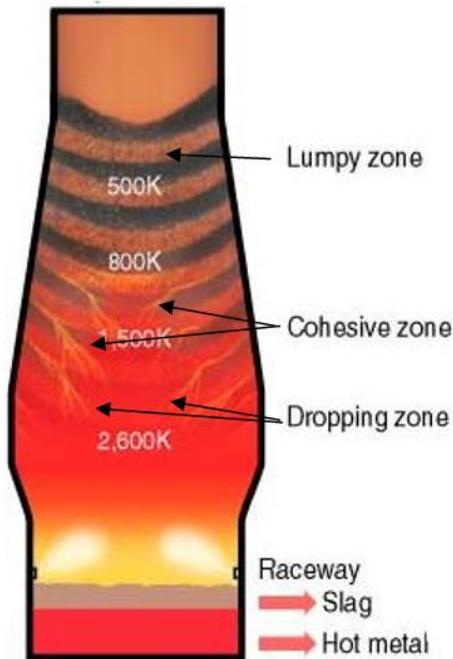
Pada area kohesif ini material umpan (*ore*, sinter atau pelet) meleleh dan mencair. Proses pencairan material umpan ini menjadi batas kondisi untuk menentukan laju pencairan dan laju produksi dari proses di *Blast Furnace*. Pada saat terjadi fenomena pencairan dari material padat ke cair material akan mengalami penurunan sifat permabilitasnya (Sungging, 2005). Faktor ini yang harus diperhatikan sehingga suplai udara yang dihembuskan melalui tuyser tetap menjaga kecepatan aliran dalam *Blast Furnace* stabil. Pada area ini material solid berada



pada temperatur 1200 – 1400 °C. Area kohesif dapat mempresentasikan beberapa perbedaan bentuk bergantung dengan kondisi proses.

c. *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* kokas diam dalam jangka waktu yang lama (Castro, 2006).

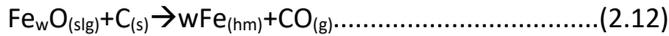


Gambar 2.5 Skematik *Blast Furnace* (Natsui, 2011)

Pada umumnya pada daerah *deadman* ukuran kokas lebih kecil dibanding dengan rata rata ukuran kokas pada *Blast Furnace* yang dapat mengakibatkan reaksi dilusi dari karbon, reduksi secara langsung oksida besi dan transfer silika. Reaksi



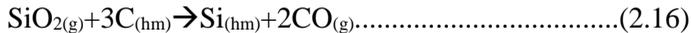
reduksi langsung pada proses pengolahan bijih besi melibatkan karbon dari kokas dan merupakan reduktan yang kuat. Reaksi reduksi ini merupakan reaksi endotermik yang sangat kuat sehingga membutuhkan temperatur yang tinggi. Reaksi kimia reduksi oksida besi secara langsung oleh karbon dapat dilihat pada persamaan (2.12)



Selain reaksi reduksi secara langsung oksida besi oleh reduktan karbon, pada area ini juga terjadi transfer silika. Transfer silika juga merupakan proses yang sangat penting setelah proses reduksi oksida besi. Pada transfer silika, silika akan menjadi silika dalam bentuk gas dan abu. Secara partial silika akan tereduksi menjadi SiC atau Gas SiO. Proses pembentukan SiC dan gas SiO sesuai dengan persamaan (2.13) dan (2.14).



Gas SiO akan kembali teroksidasi saat pendinginan atau tereduksi saat mengalami kontak dengan logam cair (Sungging, 2005). Reaksi terjadi saat pembentukan logam dan slag pada persamaan (2.15) dan (2.16).

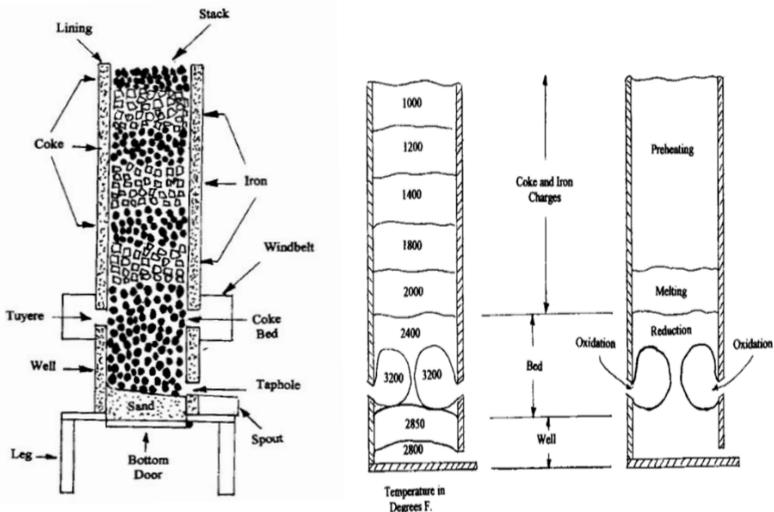


2.11 *Mini Blast Furnace*

Mini Blast furnace adalah suatu reaktor riset *Blast Furnace* yang dimiliki Laboratorium Pengolahan Mineral dan Material, jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI- ITS dengan kapasitas 5 ton per hari. Dimensi dari reaktor riset ini memiliki diameter 0.6 m dan tinggi 4.78 m dengan prinsip kerja *counter current flow*. Tinggi total *Mini Blast Furnace* akan naik jika telah terpasang



peralatan *charging* material pada bagian atas *Blast Furnace*. Secara struktur pada umumnya, *Mini Blast Furnace* di bangun dengan menggunakan baja silinder yang 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). *Mini Blast Furnace* yang dibuat ini mengkombinasikan cara kerja dari kupola dan *blast furnace*, dengan kata lain prinsipnya ialah dengan *counter current flow*. Daerah-daerah yang 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.



Gambar 2.6 Ilustrasi Kupola untuk peleburan besi
(Stephen, 2000)

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 (Stephen, 2000). Daerah pembakaran (*combustion zone*) adalah suatu daerah di mana tiupan gas masuk ke dalam kupola dan bereaksi dengan kokas untuk membentuk karbon monooksida dan karbon dioksida. Panas dari reaksi dapat memanaskan logam dan membentuk gas panas, yang mana melelehkan dan memanasi 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 (Stephen, 2000). 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 sampai 427 °C. Fungsi pemanasan awal ialah untuk memberikan panas awal, agar pelelehan pada daerah pelelehan berlangsung dengan baik. Selain itu, pemanasan awal berfungsi untuk mengeringkan material yang masuk ke dalam furnace (Stephen, 2000).

2.12 Laju Alir Udara

Semakin tinggi laju alir udara, maka semakin tinggi pula temperatur taping dari logam cair hingga mencapai suatu titik tertentu dan kemudian turun dengan meningkatnya laju alir udara.

Sebuah kupola yang menjadi dasar prinsip reaktor MBF, bekerja paling efisien dan ekonomis ketika dioperasikan pada laju alir udara yang tepat. Dalam prakteknya, laju alir udara yang optimal bervariasi terhadap tingkat perbandingan logam : kokas dan sifat dasar material yang dilelehkan. Akan tetapi, telah ditemukan bahwa, baik secara eksperimen dan praktek, laju alir udara yang optimal untuk peleburan besi kira-kira ialah 115



m^3/min per meter kuadrat dari luas *cross sectional* kupola pada daerah *tuyser* (Patterson, 1961).

Menurut Patterson (1961), laju alir udara yang digunakan erat hubungannya dengan kecepatan pelelehan pada MBF. Kecepatan pelelehan ini bergantung pada rasio kokas ini ditentukan oleh laju alir udara. Hubungan antara laju alir udara, jumlah kokas, dan kecepatan pelelehan (*melting rate*) didapatkan pada rumus di bawah ini:

Jika:

Q = Laju alir udara, m^3/min pada STP ($0\text{ }^\circ\text{C}$; 101,3 kPa),

M = Jumlah karbon yang terbakar, kg/min ,

L = Jumlah udara yang digunakan, m^3 (pada STP) per kg karbon yang terbakar,

C = Jumlah karbon yang terbakar, kg per 100 kg besi,

S = *Melting rate*,

$$M = \frac{S \times 1000}{60} \times \frac{C}{100} \dots \dots \dots (2.17)$$

$$Q = \frac{L \times S \times C}{6} \dots \dots \dots (2.18)$$

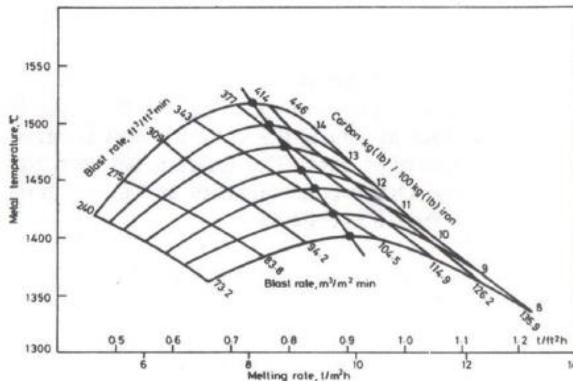
Ketika pengoperasian kupola, tidak hanya kecepatan leleh logam saja yang dibutuhkan, akan tetapi juga pada temperatur terjadinya pelelehan. Gambar 2.7 menunjukkan korelasi antara pemasukan kokas, laju alir udara, kecepatan pelelehan dan temperatur logam. Gambar 2.7 disebut sebagai diagram 'net'. Diagram net menunjukkan bahwa:

1. Pada rasio kokas : logam tertentu (atau lebih tepatnya, rasio karbon yang dibakar dengan besi), peningkatan laju alir udara akan menyebabkan peningkatan baik kecepatan pelelehan dan temperatur logam hingga mencapai nilai optimal tertentu. Kemudian, peningkatan laju alir udara akan menyebabkan temperatur logam turun.



2. Pada laju alir udara yang konstan, peningkatan pemasukan kokas mengurangi kecepatan pelelehan dan meningkatkan temperatur logam.
3. Untuk meningkatkan temperatur logam akan tetapi juga menjaga kecepatan pelelehan tetap konstan, caranya ialah dengan meningkatkan pemasukan kokas dan meningkatkan laju alir udara secara bersamaan.

Dengan 'net' di bawah hanya sesuai digunakan secara kuantitatif untuk kupola yang mana digunakan untuk memperoleh diagram 'net' di atas. Hal itu seharusnya tidak digunakan untuk memperkirakan temperatur pada kupola lainnya, karena hal itu bergantung pada beberapa faktor desain dari kupola itu sendiri, misalnya diameter, kedalaman, tinggi shaft dan lain-lain serta bergantung pada kondisi awal material yang digunakan dan ukuran serta kualitas kokasnya. Akan tetapi, pengetahuan mengenai diagram di atas dapat membantu untuk menyediakan indikasi yang mendekati sesuai dalam hal pengontrolan untuk memperoleh kondisi operasi yang optimal (Pettersen, 1961).



Gambar 2.7 Diagram *net* untuk kupola (Patterson, 1961)

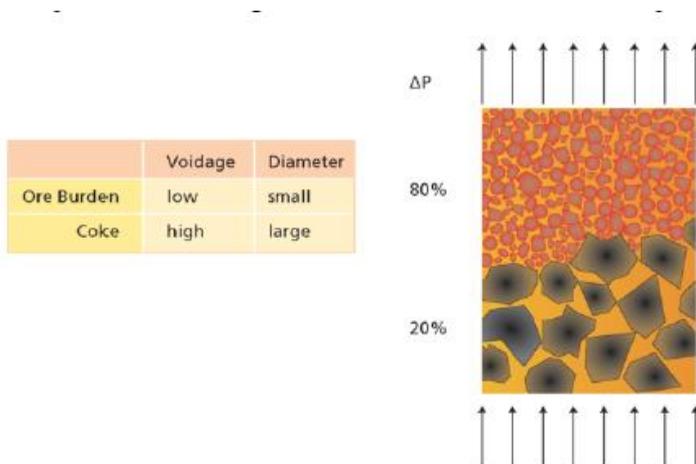
Penambahan laju alir udara juga diketahui dapat meningkatkan rasio produksi dari *Blast Furnace*. Akan tetapi



peningkatan laju alir udara ini tidak dapat dilakukan secara tidak terbatas, sebab dengan peningkatan yang sangat tinggi akan menyebabkan kondisi yang tidak diinginkan di dalam *Blast Furnace*, contohnya adalah penurunan tekanan yang sangat ekstrim di dalam *Blast Furnace* (Yasuo, 1982).

2.13 Aliran Gas Reduktor dalam *Blast Furnace*

Terdapat perbedaan antara lapisan bijih besi dan lapisan kokas. Perbedaan ini terjadi akibat adanya perbedaan ukuran diameter bijih dan kokas. Pada Gambar 2.8 terlihat bahwa lapisan bijih besi memiliki hambatan terhadap aliran gas yang lebih tinggi dibandingkan dengan hambatan pada lapisan kokas. Profil hambatan gas atau biasa disebut dengan *pressure drop* menunjukkan bagaimana gas mengalir di dalam *Blast Furnace* (Geerdes, 2015).



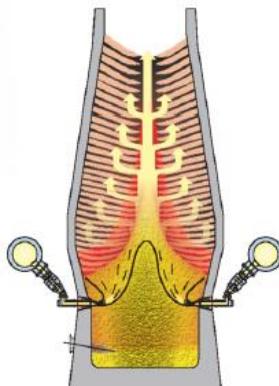
Gambar 2.8 Hubungan *voidage*, diameter dan *pressure drop* (Geerdes, 2015)



2.14 Distribusi Gas Pada Lapisan Ore

Gas yang ditiupkan dari tuyer didistribusikan melalui lapisan kokas kemudian melewati daerah kohesif selanjutnya melewati daerah kohesif selanjutnya melewati daerah kokas granular dengan lapisan bijih besi di atasnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9.

Lebih lanjut lagi menuju bagian bawah *Blast Furnace*, temperatur burden material meningkat secara bertahap hingga burden material berubah menjadi lebih halus dan meleleh di daerah kohesif. Interaksi antara gas dan bijih burden dipertimbangkan. Semakin banyak gas yang dihilangkan dari *burden* material, maka semakin efisien proses di *Blast Furnace*. Akibatnya, kontak antara gas dan bijih burden sangatlah penting. Untuk mengoptimalkan kontak tersebut, permeabilitas bijih burden harus sebesar mungkin. Rasio gas yang mengalir melalui bijih ore harus seimbang dengan jumlah oksigen yang dihilangkan dari dari burden. Dalam kondisi riil telah menunjukkan, bahwa terdapat banyak masalah di *Blast Furnace* yaitu rendahnya permeabilitas dari lapisan bijih. Permeabilitas dari lapisan bijih sebagian besar ditentukan oleh jumlah partikel halus (di bawah 5 mm) di lapisan (Geerdes, 2015).



Gambar 2.9 Skema distribusi aliran gas melewati lapisan kokas (Geerdes, 2015)



2.15 Perubahan Tekanan (*Pressure Drop*) pada *Blast Furnace*

Konsep dasar aliran gas melewati lapisan material adalah hambatan terhadap aliran (penurunan tekanan melewati ketinggian susunan *blast furnace*. Tujuan utama *blast furnace* untuk mendapatkan proses dengan permeabilitas gas yang sama dan tanpa hambatan besar sehingga *pressure drop* dihasilkan sekecil mungkin.

Jika laju aliran gas kecil (aliran laminar), pada awalnya terjadi *pressure drop* yang relatif kecil. Pada daerah laminar ini, kehilangan tekanan berbanding lurus dengan kecepatan dan disebabkan kehilangan energi kekentalan dari gas. Dengan meningkatnya kecepatan dan memasuki wilayah turbulensi, kehilangan tekanan meningkat. Kehilangan tekanan ini berhubungan dengan kehilangan energi kinetik. Jika pada pipa kosong diisi dengan partikel spherical padat dengan diameter yang sama, aliran gas akan terblokir oleh masukan dan gas akan mengalir hanya melalui ruang kosong antara partikel padat. (Biswas, 1982) menyusun persamaan untuk perhitungan *pressure drop* sesuai persamaan 2.19.

$$\frac{\Delta P}{H} = \psi \cdot \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon^3 \cdot d} \cdot \rho_o \cdot w_o^2 \cdot \frac{T}{T_o} \cdot \frac{P_o}{P} \dots \dots \dots (2.19)$$

Persamaan (2.19) menunjukkan bahwa *pressure drop* atau tahanan terhadap aliran gas menurun dengan:

- a. Peningkatan *voidage*
- b. Peningkatan tekanan pada tekanan kolom
- c. Peningkatan ukuran diameter partikel
- d. Penurunan massa jenis gas
- e. Penurunan kecepatan gas (Biswas, 1982)



2.16 *Solid Particle Model*

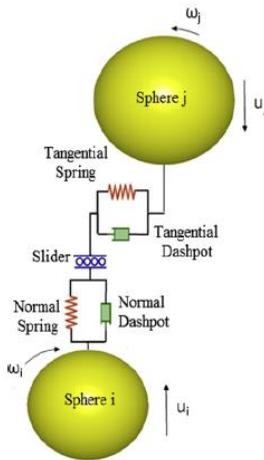
Solid particle model adalah metode numerik untuk menghitung interaksi dari sejumlah besar partikel *solid* yang mengalami gerak translasi atau rotasi karena pengaruh gaya eksternal. *Solid particle model* digunakan untuk simulasi aliran dan interaksi padatan dalam jumlah besar dan telah digunakan secara luas dalam mempelajari fenomena yang berbeda terkait dengan partikel *packing*, *flow* dan fluidisasi. *Solid particle model* adalah metode Lagrangian, gerakan partikel individu disimulasikan secara eksplisit dan perilaku dalam jumlah besar merupakan hasil dari interaksi partikel. *Solid particle model* juga memungkinkan untuk penelitian yang sangat rinci dari interaksi partikel, yang tidak mungkin dalam metode kontinum (Yu, 2010).

Seperti dalam metode eksplisit, posisi awal dan kecepatan dari masing-masing partikel dalam domain simulasi telah diketahui. Setelah itu gerakan bola dihitung dengan mengintegrasikan percepatan partikel di setiap arah. Partikel mengalami percepatan karena pengaruh gaya eksternal. Seperti gaya gravitasi atau gaya kontak/tumbukan ketika mereka berinteraksi dengan partikel lain atau dinding. Interaksi ini antara partikel dijelaskan oleh hukum Newton tentang gerak (Yu, 2010). Gambar 2.12 menunjukkan skema interaksi antara partikel i dan j . gaya kontak (*contact force*) yang 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*). Percepatan translasi dan rotasi partikel dihitung dengan menjumlahkan semua gaya dan torsi yang bekerja pada partikel. Untuk sebuah partikel i yang bersentuhan dengan k partikel ($j = 1, 2 \dots K$) persamaan gaya dapat diturunkan pada persamaan (2.20) dan (2.21). Daya dan torsi yang bekerja pada partikel ditunjukkan pada Tabel 2.2 (Mitra, 2014)



$$m_i \frac{dvi}{dt} = \sum_{j=1}^k (F_{cn, ij} + F_{dn, ij} + F_{ct, ij} + F_{dt, ij}) + m_i g \dots \dots \dots (2.20)$$

$$I_i \frac{d\omega_i}{dt} = \sum_{j=1}^k T_{t, ij} + T_{r, ij} \dots \dots \dots (2.21)$$



Gambar 2.10 Model kontak untuk interaksi gaya antar partikel (Han, 2017)



Tabel 2.2 Gaya dan Torsi yang Bekerja pada Partikel

Gaya dan Torsi	Type	Simbol	Expression
Gaya Normal	<i>Contact</i>	$F_{cn,ij}$	$-kn\delta n^{3/2}n$
	<i>Damping</i>	$F_{dn,ij}$	$-^nVn,ij$
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		mig

2.17 Pemodelan Aliran Fase Gas

Persamaan Ergun digunakan untuk menghitung dan memprediksi terjadinya *pressure drop* pada *blast furnace*. Persamaan ini telah banyak di observasi dan diterapkan dalam percobaan dan pemodelan seperti yang dilakukan oleh Castro, Austin dan Hayagi pada penelitian mereka. Dengan menggunakan persamaan Ergun distribusi tekanan pada *blast furnace* dapat di hitung dan diprediksi. Selain empirik dari Ergun persamaan Navier-Stokes juga dapat diterapkan untuk menghitung distribusi tekanan pada fluida yang memiliki viskositas (Nogami, 2006).

Sistem aliran *multiphase* terdiri dari sejumlah daerah fase tunggal yang dibatasi oleh antarmuka yang bergerak. Pada prinsipnya, model aliran *multiphase* dapat diformulasikan dalam bentuk variabel yang berkaitan dengan setiap fasa dan kondisi batas yang berhubungan pada semua antarmuka fasa. Sistem persamaan pertama untuk aliran *multiphase* didasarkan pada intuisi dan postulasi persamaan keseimbangan. Saat ini persamaan



didasarkan pada metode rata-rata yang diformulasikan secara matematis.

Bergantung pada konsep fisik dasar yang digunakan untuk merumuskan aliran *multiphase*, rata-rata dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama (Ishii 1975), yaitu Eulerian, Lagrangian dan Boltzmann. Kelompok-kelompok ini dapat dibagi lagi menjadi sub-kelompok berdasarkan variabel yang digunakan operator matematis, misalnya, ke dalam ruang, waktu, dan statistik Rata-rata spasial dapat berupa volume, luas atau garis.

Seperti teori gas kinetik, teori system partikel gas kinetik dapat diasumsikan berdasarkan persamaan fungsi distribusi Boltzmann untuk satu partikel tunggal (Ahmadi & Ma 1990, Ding & Gidaspow 1990). Fungsi distribusi molekul untuk gas dan fungsi distribusi lainnya untuk partikel didefinisikan. Teori sistem partikel gas mengandung beberapa parameter, yaitu distribusi ukuran, sifat fisik partikel padat lainnya, dan proses tumbukan partikel padat satu sama lain dan dengan molekul gas sulit dihitung. Dari pendekatan ini dimungkinkan untuk mendapatkan persamaan kontinuitas, persamaan momentum dan persamaan untuk energi kinetik fase padat yang berfluktuasi. Persamaan konstitutif untuk tegangan dan energi fluks diperoleh secara langsung. Persamaan energi kinetik yang berfluktuasi kadang disebut keseimbangan energi pseudotermal dan energi kinetik yang berfluktuasi (dikalikan $2/3$) suhu granular.

Pendekatan Lagrangian memperlakukan fase fluida sebagai kontinum dan waktu rata-rata diambil dengan mengikuti partikel padat tertentu dan mengamati di beberapa interval waktu. Lintasan partikel dihitung dari persamaan gerak partikel. Rata-rata Lagrangian sangat populer terutama dalam pemodelan dinamika partikel tunggal atau suspensi cair dengan viskositas rendah. Metode ini telah dikembangkan ke aliran yang memiliki viskositas tinggi (Yonemura et al., 1993). Kemudian setiap partikel komputasi mewakili sekelompok partikel riil dan partikelnya dibiarkan bertabrakan dengan prosedur Monte Carlo.



Dalam pendekatan Euler, fase partikel juga diperlakukan sebagai kontinum. Formulasi Eulerian terdiri dari tiga bagian penting, yaitu derivasi persamaan medan, persamaan konstitutif dan kondisi antarmuka. Persamaan bidang ini menyatakan prinsip konservasi, misalnya, momentum dan massa. Persamaan konstitutif memperhatikan struktur bidang aliran dan sifat material dengan korelasi eksperimental. Rata-rata Eulerian menggunakan spasial, statistik atau waktu rata-rata yang diambil dalam sistem koordinat spasial. Pendekatan Eulerian paling banyak digunakan untuk aliran *multiphase*, karena hubungannya erat dengan teknik pengukuran (Sirpa Kallio, 1996).

2.18 Persamaan Matematis Model Campuran

Model campuran adalah formulasi alternatif dari masalah. Dalam pendekatan ini, persamaan kontinuitas dan persamaan momentum ditulis untuk campuran fase kontinyu dan terdispersi. Selain itu, konsentrasi partikel dipecahkan dari persamaan kontinuitas untuk setiap fase terdispersi. Persamaan momentum untuk fase terdispersi diasumsikan oleh persamaan aljabar.

Persamaan model campuran diturunkan dalam literatur yang menerapkan berbagai pendekatan (Ishii, 1975 ; Ungarish, 1993 ; Gidaspow, 1994). Bentuk persamaan juga bervariasi tergantung aplikasi. Ishii (1975) menghasilkan persamaan campuran dari persamaan keseimbangan umum.

2.18.1 Persamaan Kontinuitas untuk Campuran

Dari persamaan kontinuitas untuk fase k, didapatkan untuk semua fase dengan menjumlahkan semuanya

$$\frac{\partial}{\partial t} \sum_{k=1}^n (\alpha_k \rho_k) + \nabla \sum_{k=1}^n (\alpha_k \cdot \rho_k \cdot u_k) = \sum_{k=1}^n \Gamma_k \dots \dots \dots (2.22)$$

Karena massa total tidak berubah, maka pada persamaan (2.22) sisi kanan harus dihilangkan,

$$\sum_{k=1}^n \Gamma_k = 0 \dots \dots \dots (2.23)$$

dan didapatkan persamaan kontinuitas dari campuran



$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_m \mathbf{u}_m) = 0 \dots\dots\dots(2.24)$$

dimana massa jenis campuran dan laju campuran didefinisikan sebagai

$$\rho_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \dots\dots\dots(2.25)$$

$$\mathbf{u}_m = \frac{1}{\rho_m} \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \mathbf{u}_k = \sum_{k=1}^n c_k \mathbf{u}_k \dots\dots\dots(2.26)$$

Laju campuran \mathbf{u}_m menggambarkan laju pada pusat massa. Dengan catatan ρ_m bervariasi sedangkan densitas komponen yang ada konstan. Massa fraksi dari fase k didefinisikan sebagai

$$c_k = \frac{\alpha_k \rho_k}{\rho_m} \dots\dots\dots(2.27)$$

Persamaan (2.24) memiliki bentuk yang sama sebagai persamaan kontinuitas untuk laju satu fase. Jika densitas tiap fase dianggap konstan dan transfer massa interphase yang dikecualikan, maka persamaan kontinuitas untuk campuran menjadi

$$\nabla \cdot \sum_{k=1}^n \alpha_k \mathbf{u}_k = \nabla \cdot \sum_{k=1}^n \mathbf{j}_k = \nabla \cdot \mathbf{j}_m = 0 \dots\dots\dots(2.28)$$

Dimana mendefinisikan fluks volumetric dari fase k, $\mathbf{j}_k = \alpha_k \mathbf{u}_k$ dan fluks volumetric campuran $\mathbf{j}_m = \sum \mathbf{j}_k$. Fluks volumetric menjelaskan laju dari pusat volume.

2.18.2 Persamaan Momentum untuk Campuran

Persamaan momentum untuk campuran didapatkan dengan menjumlahkan semua fase

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \mathbf{u}_k + \nabla \cdot \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \mathbf{u}_k \mathbf{u}_k = & - \sum^n \alpha_k \nabla p_k + \\ \nabla \cdot \sum_{k=1}^n \alpha_k (\tau_k + \tau_{Tk}) + \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \mathbf{g} + & \\ \sum_{k=1}^n M_k \dots\dots\dots & (2.29) \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.25) dan (2.26) untuk densitas campuran ρ_m dan laju campuran \mathbf{u}_m , kedua persamaan dapat dituliskan sebagai



$$\begin{aligned} \nabla \cdot \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \mathbf{u}_k \mathbf{u}_k &= \nabla \cdot (\rho_m \mathbf{u}_m \mathbf{u}_m) + \\ \nabla \cdot \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \mathbf{u}_{Mk} \mathbf{u}_{Mk} &\dots\dots\dots(2.30) \end{aligned}$$

dimana \mathbf{u}_{Mk} merupakan laju difusi. Laju relatif fase k menuju pusat campuran massa

$$\mathbf{u}_{Mk} = \mathbf{u}_k - \mathbf{u}_m \dots\dots\dots(2.31)$$

pada variabel campuran, persamaan momentum memiliki persamaan seperti berikut

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \rho_m \mathbf{u}_m + \nabla \cdot (\rho_m \mathbf{u}_m \mathbf{u}_m) &= -\nabla p_m + \nabla \cdot (\boldsymbol{\tau}_m + \boldsymbol{\tau}_{Tm}) + \\ \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}_{Dm} + \rho_m \mathbf{g} + M_m &\dots\dots\dots(2.32) \end{aligned}$$

Tiga tegangan tensor didefinisikan sebagai

$$\boldsymbol{\tau}_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k \boldsymbol{\tau}_k \dots\dots\dots(2.33)$$

$$\boldsymbol{\tau}_{Tm} = - \sum_{k=1}^n \alpha_k \overline{\rho_{Ik} \mathbf{u}_{Fk} \mathbf{u}_{Fk}} \dots\dots\dots(2.34)$$

$$\boldsymbol{\tau}_{Dm} = - \sum_{k=1}^n \alpha_k \rho_k \mathbf{u}_{Mk} \mathbf{u}_{Mk} \dots\dots\dots(2.35)$$

dan menggambarkan tegangan rataan viskos, tegangan turbulen, tegangan difusi karena fase slip. Pada persamaan (2.32), tekanan campuran didefinisikan sebagai relasi

$$\nabla p_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k \nabla p_k \dots\dots\dots(2.36)$$

Dalam prakteknya, tekanan campuran sering dianggap sama. $\mathbf{p}_k = \mathbf{p}_m$. Asumsi ini dianggap valid kecuali pada kasus perluasan gelembung (Drew, 1983).

$$M_m = \sum_{k=1}^n M_k \dots\dots\dots(2.33)$$



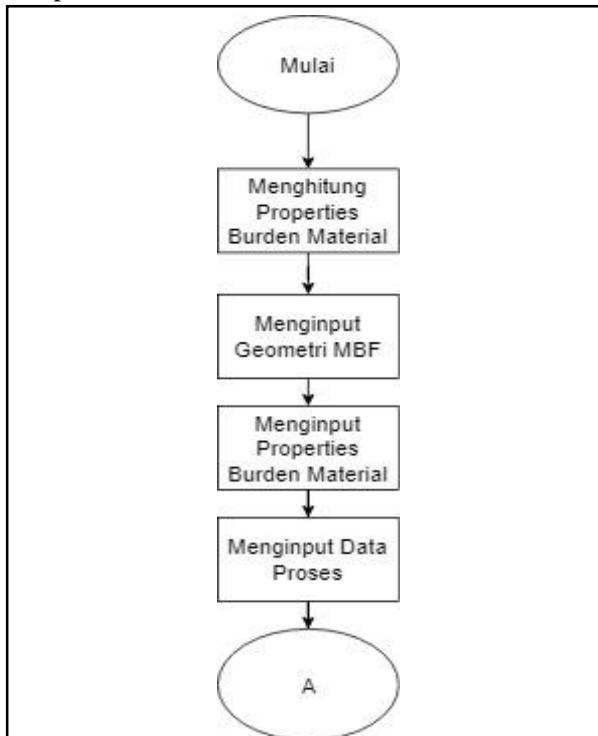
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

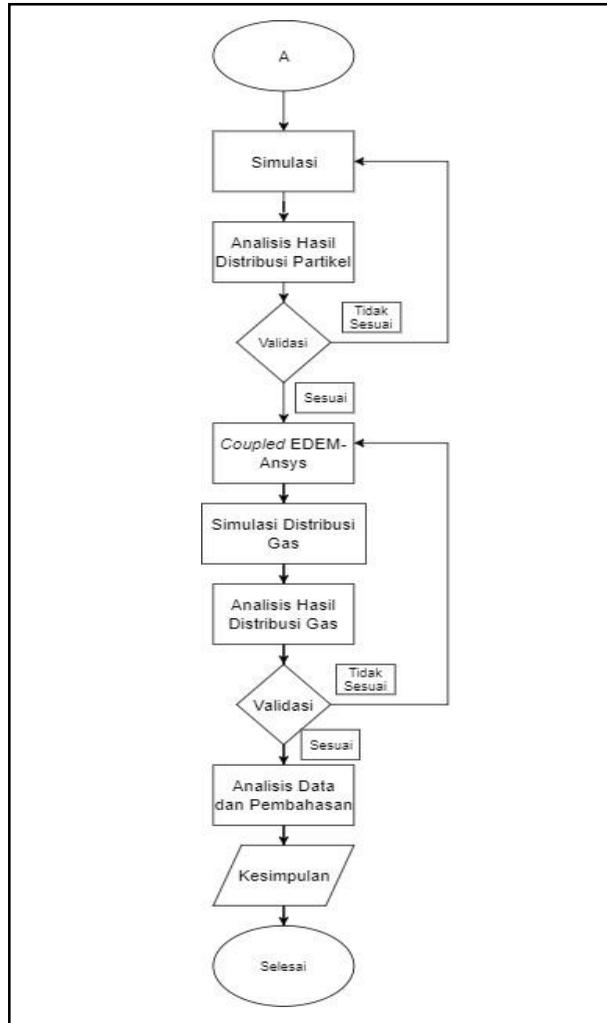
Pada bab ini akan dijelaskan tentang metodologi penelitian yang terdiri dari diagram alir penelitian, prosedur pemodelan, sifat fisik dan mekanik material, geometri MBF, bentuk partikel burden material, data operasional proses charging burden materials, *coupled* dengan Ansys *Fluent* dan alur pemodelan.

3.1. Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian ini, alur atau tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



3.2. Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini, Pembuatan pemodelan dimulai dengan beberapa tahapan dengan memperhatikan nilai-nilai yang telah ada pada objek yang akan dimodelkan. Tahapan– tahapan pemodelan secara sistematis dapat dilakukan dengan :

1. Pembuatan Geometri *Mini Blast Furnace*.
2. Pembuatan ukuran *Feed Material*.
3. Mengumpulkan data input yang akan digunakan dalam pemodelan yaitu geometri dalam *Mini Blast Furnace*, *Material Properties* dari *steel*, *refractory*, batu bara, dolomit dan bijih nikel laterit yang telah dilakukan *conditioning*.
4. Pemodelan distribusi *burden materials* di dalam MBF menggunakan *Solid Particle Model*.
5. *Coupling* EDEM – *Ansys Fluent*.
6. Pemodelan distribusi tekanan dan kecepatan gas di dalam MBF menggunakan *Computational Fluid Dynamic Method*.
7. Menganalisis data hasil pemodelan dengan mengaitkan dengan teori empiris yang terjadi di dalam MBF.
8. Menarik kesimpulan dan memberikan saran dari hasil penelitian yang dilakukan.

3.3. Prosedur Pemodelan

Pada pemodelan ini yang dianalisis adalah mekanisme jatuhnya *burden material* bijih nikel saprolit setelah melewati *charging system* berupa *double bell system*. Distribusi *Burden Material* dipengaruhi oleh ukuran *ore material* yang digunakan. Untuk analisis 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*. Selanjutnya dilakukan *coupling* software EDEM – *Ansys Fluent* agar distribusi



tekanan dan kecepatan gas di dalam MBF dapat dianalisis dengan metode *Computational Fluid Dynamic*.

3.4. Sifat Fisik dan Mekanik Material

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 dari *burden materials* yang dijatuhkan melalui *charging system*. Baja merupakan bahan penyusun *bell* dan dinding *bell*. Sedangkan refraktori merupakan bahan penyusun dinding pada MBF. *Properties* dari material menjadi hal penting karena merupakan data input *software* pemodelan dari EDEM yang akan mempengaruhi keakuratan dari hasil yang didapat. Sifat fisik dan mekanik yang perlu diketahui dalam penelitian ini yaitu densitas, *poisson's ratio*, modulus young, *restitution coefficient*, *static friction coefficient* dan *rolling friction coefficient*. Tabel 3.1 menunjukkan sifat fisik dan mekanik dari material input. Nilai densitas diperoleh dari eksperimen. Sedangkan untuk yang lain diperoleh dari studi literatur (Mirfa, 2015 ; Teffo, 2013).



Tabel 3.1 Sifat Fisik dan Mekanik Material Input

Material	Parameter	Nilai	
Conditioned Ore	Densitas	2088 Kg/m ³	
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,25	
	<i>Modulus Young</i>	16 MPa	
	<i>Restitutive 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>	Coal	0,15
		<i>Dolomite</i>	0,20
		<i>Steel</i>	0,60
		<i>Refractory</i>	0,25
	<i>Static Friction Coefficient</i>	Coal	0,20
		<i>Dolomite</i>	0,20
		<i>Steel</i>	0,45
		<i>Refractory</i>	0,70
	<i>Rolling Friction Coefficient</i>	Coal	0,20
		<i>Dolomite</i>	0,15
<i>Steel</i>		0,15	
<i>Refractory</i>		0,25	
Dolomite	Densitas		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>	0,2
		<i>Steel</i>	0,15
		<i>Refractory</i>	0,7
	<i>Rolling Friction Coefficient</i>	<i>Dolomite</i>	0,15
<i>Steel</i>		0,15	
<i>Refractory</i>		0,15	



<i>Steel</i>	Densitas	7870 Kg/ m ³
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,29
	<i>Modulus Young</i>	77 GPa
<i>Refractory</i>	Densitas	3100 Kg/m ³
	<i>Poisson's Ratio</i>	0,15
	<i>Modulus Young</i>	314 GPa

3.5 Data Input Analisis Fluida

Analisis fluida menggunakan *fluent* di *compile* dengan hasil analisis dari *EDEM* menggunakan *EDEM Coupling Journal*. Selanjutnya, *fluent* di *setting* seperti Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2. Model dan Solution Setup

Pengaturan	Perintah
Type 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 (0.8m/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 3.3 berikut ini:

**Tabel 3.3** Properti Input (*engineeringtoolbox.com/*)

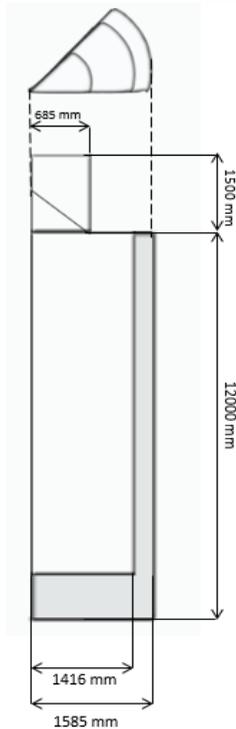
Material	Parameter	Nilai
Conditioned Ore	Konduktivitas Termal (W/m.K)	0,58
	Panas Spesifik (J/Kg.K)	670
Batubara	Konduktivitas Termal (W/m.K)	0,2
	Panas Spesifik (J/Kg.K)	1380
Dolomite	Konduktivitas Termal (W/m.K)	1,26
	Panas Spesifik (J/Kg.K)	920
Steel	Konduktivitas Termal (W/m.K)	54
	Panas Spesifik (J/Kg.K)	490
Refraktori	Konduktivitas Termal (W/m.K)	0,15
	Panas Spesifik (J/Kg.K)	850
Udara	Densitas	1,225
	Panas Spesifik (J/Kg.K)	1006.43
	Konduktivitas Termal (W/m.K)	0.0242
	Viskositas (Kg/m-s)	1.7894e-05



3.6. Geometri *Mini Blast Furnace*

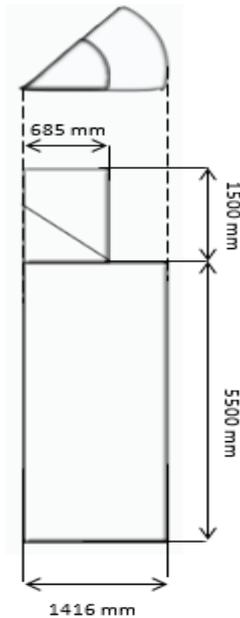
Geometri MBF yang digunakan dalam penelitian ini adalah MBF dengan volume kerja sebesar 61 m^3 kapasitas 250 ton *conditioned ore*/hari yang sedang dikembangkan oleh Laboratorium Pengolahan Material, Departemen Teknik Material, ITS. MBF berbentuk silinder vertikal dengan dilengkapi *charging system* pada bagian atas dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Tinggi MBF : 12.000 mm
2. Diameter dalam : 2832 mm
3. Diameter luar : 3170 mm
4. Tebal refraktori : 169 mm
5. Jumlah tuyer 1 ($d = 75 \text{ mm}$) : 10 buah
6. Jumlah tuyer 2 ($d = 100 \text{ mm}$) : 10 buah
7. Kemiringan tuyer : 26°
8. Kecepatan *bell* turun : 1 m/s
9. Jarak *bell* turun : 500 mm
10. Sudut *large bell* : 65°



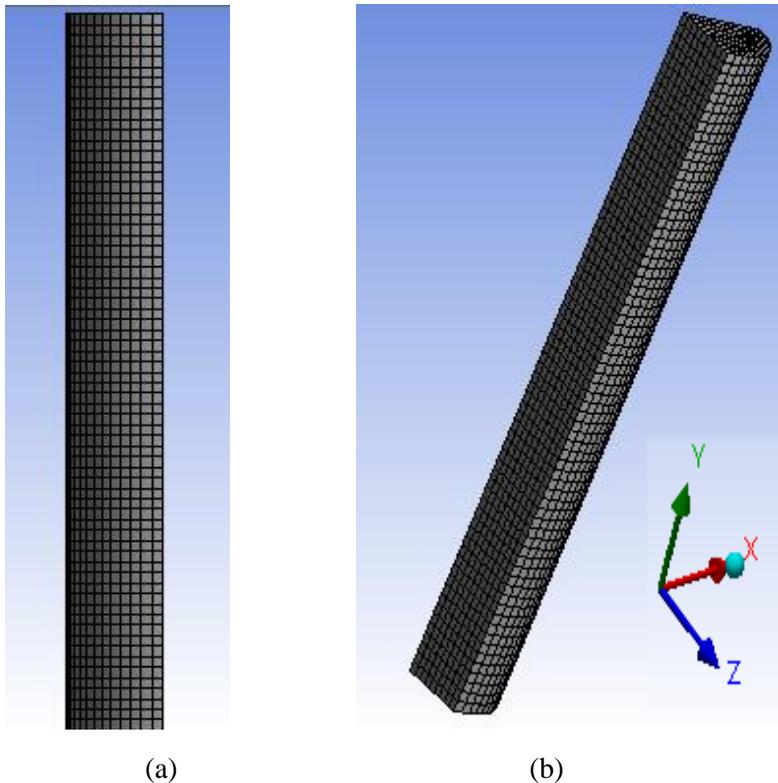
Gambar 3.2 Geometri MBF untuk Analisis Distribusi *Burden Material*

Untuk analisis fluida, difokuskan hanya pada zona *stack MBF* atau hanya 5.5 m dari posisi atas MBF. Hal tersebut disebabkan fluida yang masuk di zona ini dianggap telah memiliki vektor kecepatan yang lurus. Geometri MBF untuk analisis fluida diilustrasikan oleh gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3. Geometri MBF untuk Analisis Fluida

Dalam analisis fluida menggunakan *fluent*, hanya bagian MBF yang di *meshing*. Hal tersebut disebabkan bagian *bell* dan dinding *bell* tidak diikutsertakan dalam analisis fluida dan hanya berperan saat proses *charging*. Tampilan *grid meshing* ditunjukkan oleh Gambar 3.4 berikut



Gambar 3.4. Tampilan *meshing* geometri MBF (a) 2 Dimensi;
(b) 3 Dimensi

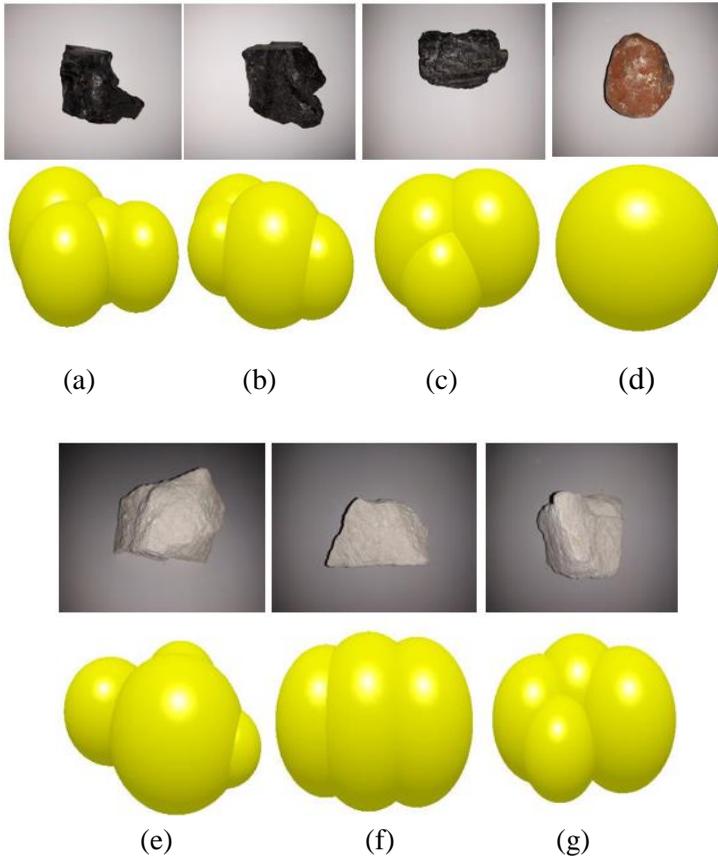
3.7. Bentuk Partikel *Burden Material*

Di dalam proses pengolahan ferro-nickel di dalam MBF, terdapat tiga jenis *burden materials* yang digunakan, antara lain batu bara, *conditioned ore*, dan dolomite. Ketiga jenis *burden materials* tersebut memiliki ukuran dan bentuk yang berbeda dengan menyesuaikan pertimbangan proses yang telah dirancang sebelumnya. Gambar 3.5 menunjukkan representasi partikel *burden materials* yang digunakan dalam *software Solid Particle*



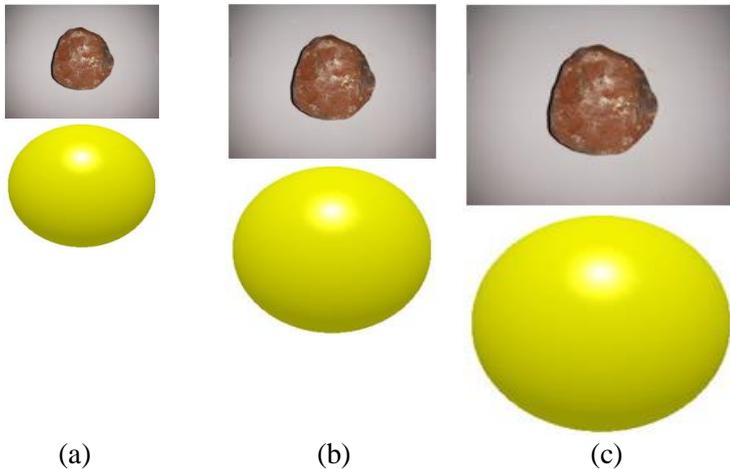
Model. Dengan diameter ukuran ore yang divariasikan, antara lain 6 cm, 8 cm, dan 10 cm.

Bentuk partikel *burden materials* yang dimodelkan dalam *software Solid Particle Model* diusahakan mendekati dengan bentuk partikel sebenarnya. 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.



Gambar 3.5 Bentuk Burden Material: (a). *Coal 1*; (b). *Coal 2*; (c). *Coal 3*; (d). *Conditioned Ore*; (e). *Dolomit 1*; (f). *Dolomit 2*; (g). *Dolomit 3*

Gambar yang menunjukkan variabel perbedaan ukuran ore ditunjukkan oleh Gambar 3.6



(a) (b) (c)
Gambar 3.6 Perbedaan Ukuran Partikel Ore; (a) Ore 4 cm, (b) Ore 6 cm, (c) Ore 8 cm

3.8. Data Operasional Proses *Charging Burden Material*

Dalam pengoperasiannya, susunan *burden materials* di dalam MBF dibagi menjadi tiga bagian yang diurut dari bagian terbawah, yaitu *bed* batu bara, 20 layer *burden materials*, (1 layer *burden materials* terdiri dari batu bara pada lapisan paling bawah, *conditioned ore* pada lapisan tengah dan *dolomite* pada lapisan paling atas. Dimana ketiga material tersebut dimasukkan ke dalam MBF secara periodik dan berurutan). Dan 1 layer batu bara sebagai penutup. Massa tiap *burden materials* pada susunan layer besarnya disesuaikan dengan hasil perhitungan neraca massa. Dimana, besar perbandingan massa antara *conditioned ore*, batu bara dan *dolomite* adalah 25:17:16 (Yasfi, 2015). Spesifikasi massa *burden materials* pada proses *charging* untuk setengah bagian MBF ditampilkan pada Tabel 3.4.



Tabel 3.4 Spesifikasi Massa Charging untuk seperdelapan bagian MBF

No.	Bagian Burden Materials	Jenis Burden Materials	Massa (kg)
1.	Bed	Batu bara	1200
2	Layer*	Batu bara	88,54175
		Conditioned ore	130,20825
		Dolomite	83,33333
3.	Penutup layer	Batu bara	88,54175

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

Batubara yang digunakan berjenis sub-bituminus dengan densitas konstan $1,296 \text{ gr/cm}^3$ dengan diameter rata – rata partikel diasumsikan 7 cm. Fluks yang digunakan berjenis dolomit dengan densitas konstan $1,698 \text{ gr/cm}^3$ dengan diameter rata – rata partikel diasumsikan 5 cm. Bijih nikel Laterit yang digunakan berjenis saprolit dengan densitas konstan $1,3379 \text{ gr/cm}^3$ dengan diameter diasumsikan 4 cm, 6 cm, dan 8 cm. Data tersebut ditampilkan oleh Tabel 3.1 dan Tabel 3.5.



Tabel 3.5 Data Partikel pada Proses Simulasi *Solid Particle*

<i>Burden Material</i>	Jumlah Partikel Penyusun	Diameter Partikel (cm)	Volume (m ³)	Massa (Kg)	Persentase Distribusi
Ore	1	4	0.0000335	0.06	100%
	1	6	0,00009	0,242	100%
	1	8	0.0002679	0.61967	100%
Coal	1	4	0,00012	0,1802	33,33%
	2	4	0,00010	0,1785	33,33%
	3	3	0,00013	0,1825	33,33%
Dolomite	1	4	0,00010	0,1590	33,33%
	2	3	0,00008	0,1480	33,33%
	3	4	0,000105	0,1770	33,33%

3.9. Alur Pemodelan *Solid Particle Model*

Software Solid Particle Model merupakan software yang menggunakan *Discrete Element Method* yang memiliki pusat penelitian di Skotlandia. Software ini memiliki tiga bagian utama, yaitu *EDEM Creator*, *EDEM Simulation* dan *EDEM Analyst*.

EDEM Creator berfungsi untuk mendesain simulasi yang akan dilakukan, dengan cara menginput *material properties*, geometri material, dan pembuatan material. Pada bagian ini terdapat tiga bagian penting, yaitu *Creator Tree*, *Details View*, dan



Viewer Window. EDEM *Simulator* berfungsi untuk mendesain jalannya simulasi yang diinginkan, terutama dari segi waktu simulasi yang diinginkan. EDEM *Analyst* berfungsi untuk menganalisis simulasi yang terjadi, partikel yang berbeda dapat dilihat bagaimana alirannya selama simulasi.

Pada penelitian ini akan dilakukan desain dari simulasi yang akan dilakukan, dengan menginput semua data material properties, seperti densitas, *poisson's ratio*, modulus young, *restitution coefficient*, *static friction coefficient* dan *rolling friction coefficient*. Serta geometri dari *Mini Blast Furnace*. Kecepatan *bell* diatur dalam EDEM *Creator* yaitu sebesar xx m/s. Setelah dilakukan desain simulasi, kemudian didesain waktu simulasi yang diinginkan. Waktu yang digunakan tidak mencapai waktu seperti proses yang sesungguhnya, hal ini mencegah terjadinya lambatnya dari proses simulasi dikarenakan makin lamanya waktu simulasi maka makin banyak memori yang akan dibutuhkan untuk simulasi nanti yang berakibat turunnya performa dari perangkat yang digunakan. EDEM *Analyst* digunakan setelah simulasi selesai terjadi, aliran dari partikel akan dianalisis dengan cara pergerakan partikel yang terjadi selama proses simulasi.

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Distribusi Burden Material

Pada proses yang terjadi di dalam *blast furnace*, *burden material* akan bergerak dari bagian atas *blast furnace* ke bawah *blast furnace*. Hal ini terjadi karena adanya proses pembakaran dan reduksi yang terjadi (Geerdes. 2015). Hal tersebut membuat perlu adanya tambahan *burden material*. Proses *charging* dilakukan secara berkala dengan mengestimasi laju reduksi yang terjadi, dengan kata lain distribusi *burden material* sangat berperan penting dalam proses yang terjadi di dalam *blast furnace*. Distribusi *burden material* dapat dikontrol dengan menggunakan *charging system* dalam *blast furnace*. Hal ini merupakan bagian paling penting karena mengontrol kondisi pada *lumpy zone*. Termasuk laju jatuhnya material, transfer panas dan massa, dan reaksi kimia yang terjadi. Sedangkan distribusi dari layer *burden material* berperan penting dalam suplai gas dari bagian bawah ke *lumpy zone* melalui celah batubara di zona kohesif (Park dkk. 2011; Fan dkk. 2010).

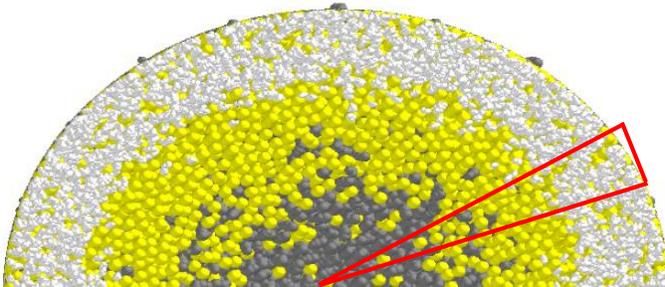
Pada penelitian ini menggunakan *double bell charging system* untuk proses *charging burden material*. Sistem ini dapat mencegah gas yang berada di bagian atas *blast furnace* untuk keluar (Tamoghna. 2016). Ukuran dari *burden material* akan sangat berpengaruh terhadap distribusi yang terjadi. Ore akan sangat berpengaruh terhadap permeabilitas di dalam furnace (Geerdes. 2015). Selain ukuran dari *burden material*, faktor – faktor yang mempengaruhi distribusi *burden material* berdasarkan input material yang dilakukan, seperti ukuran, bentuk, densitas dari material input serta *charging system* yang digunakan (Nath, 2007). Pada penelitian ini menggunakan data sifat mekanik dari *burden material*, seperti *poisson ratio*, massa jenis, modulus elastisitas, koefisien gesek, dan lainnya sebagai data yang digunakan dalam simulasi yang dilakukan. Faktor – faktor tersebut mempengaruhi hasil tumbukan antar *burden material* maupun antara *burden*



material dengan dinding. Penelitian ini difokuskan pada pengaruh ukuran ore terhadap distribusi burden material, dan Profil tekanan gas. Ukuran ore yang digunakan yaitu 4 cm ; 6 cm; dan 8 cm.

Analisis distribusi dan profil *burden material* akibat pengaruh ukuran *ore* dilakukan dengan mensimulasikan menggunakan EDEM 2017 dengan pendekatan *discrete element method*. Proses simulasi menggunakan geometri seperdelapan (45^0) dari MBF dengan menganggap MBF berbentuk lingkaran. Geometri seperdelapan MBF digunakan untuk meminimalisir beban komputasi selama proses simulasi berlangsung.

Hasil distribusi burden material ditunjukkan pada Gambar 4.1, dimana partikel hitam merupakan batubara, partikel kuning merupakan ore dan partikel abu-abu merupakan partikel dolomit.



Gambar 4.1 Tampak atas potongan *distribusi material* di dalam *mini blast furnace*

Bagian yang ditandai daerah merah dianggap valid untuk dianalisis, sebab bagian tersebut terkena dampak paling minimum dari potongan geometri seperdelapan MBF, sehingga pola distribusi pada daerah tersebut terbentuk akibat tumbukan dengan dinding MBF.



4.2 Pengaruh Ukuran *Ore* Terhadap Distribusi *Burden Material*

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. Dimana distribusi yang terpusat di bagian tengah memiliki efisiensi lebih baik dibanding distribusi yang terpusat di bagian dinding karena *heat loss* yang cukup besar (Geerdes, 2015).

Selain pusat *blast furnace* yang menjadi fokus dalam *charging system* sebagai faktor efisiensi dari *blast furnace*, menurut Biswas (1984) daerah kerja *blast furnace* terbagi menjadi tiga daerah, yaitu *peripheral*, *intermediate*, dan *central*. Daerah *peripheral* merupakan daerah paling dekat dinding, kemudian daerah *intermediate* merupakan daerah diantara daerah *peripheral* dan *central*, dan daerah *central* merupakan daerah pusat *blast furnace*. Perbandingan panjang tiap daerah yaitu 1,44 : 1,21 : 1,65 untuk daerah *peripheral*, *intermediate*, dan *central*. Dengan panjang geometri MBF 1,416 m diperoleh panjang untuk zona *peripheral* sebesar 0,1888 m, zona *intermediate* sebesar 0,5192 m, dan zona *central* sebesar 0,708 m. Pada penelitian ini, daerah kerja pada Mini Blast Furnace ditunjukkan oleh Gambar 4.2.

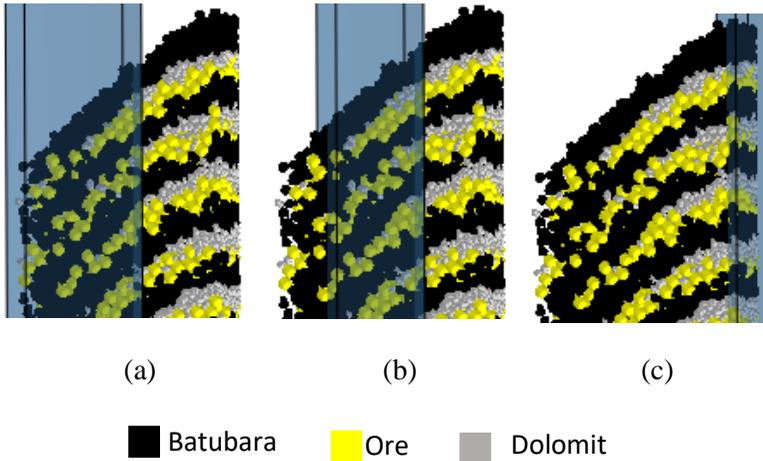
Zona *intermediate* sebesar 50% dari total luas penampang dari MBF dan sekitar 30-35% gas melewati daerah ini. Sementara itu zona *peripheral* dan *central* mencakup luasan masing-masing 25% dari luas penampang *blast furnace*. Terlepas dari luasan *central* dan *peripheral*, sekitar 65-70% gas selalu melewati keduanya (Biswas, 1984).

4.2.1. Profil distribusi *burden material* dalam MBF

Ukuran *ore* akan berpengaruh terhadap hasil layer yang terbentuk, hal ini dikarenakan *ore* memiliki berat empat kali lebih berat dibandingkan partikel batubara (Mitra, 2016). Berdasarkan simulasi yang dilakukan dengan variabel ukuran *ore* 4 cm; 6 cm; dan 8 cm menunjukkan perbedaan ketinggian profil distribusi



burden material. Profil distribusi *burden material* di dalam *mini blast furnace* ditunjukkan oleh Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Daerah kerja di dalam *mini blast furnace*, (A) zona *central*; (B) zona *intermediate*; (C) zona *peripheral*

Berdasarkan Gambar 4.3, dapat diketahui profil distribusi *burden material* dengan ukuran *ore* 8 cm (Gambar 4.3 (c)), kemudian ukuran *ore* 6 cm (Gambar 4.3 (b)) dan yang paling rendah yaitu ukuran *ore* 4 cm (Gambar 4.3 (a)). Adanya perbedaan ketinggian terjadi akibat ukuran *ore* yang membuat ketinggian layer menjadi meningkat. Semakin tinggi massa *burden material* saat proses *charging*, semakin jauh *burden material* dari pusat *blast furnace* (Mitra, 2016). Kemudian, dalam layer *burden material* batubara dalam proses reduksi selain berperan sebagai penyedia gas reduktor juga berperan sebagai struktural yang menyangga (Babich, 2008). Dalam hal ini, pada *ore* ukuran 4 cm layer *burden material* paling kecil sudut yang terbentuk dibandingkan ukuran lainnya. Tetapi distribusi batubara tidak merata, hanya berpusat di zona *peripheral* dekat dinding. Hal ini disebabkan karena dampak dari *ore* yang tidak dapat mendorong batubara ke zona *central mini*

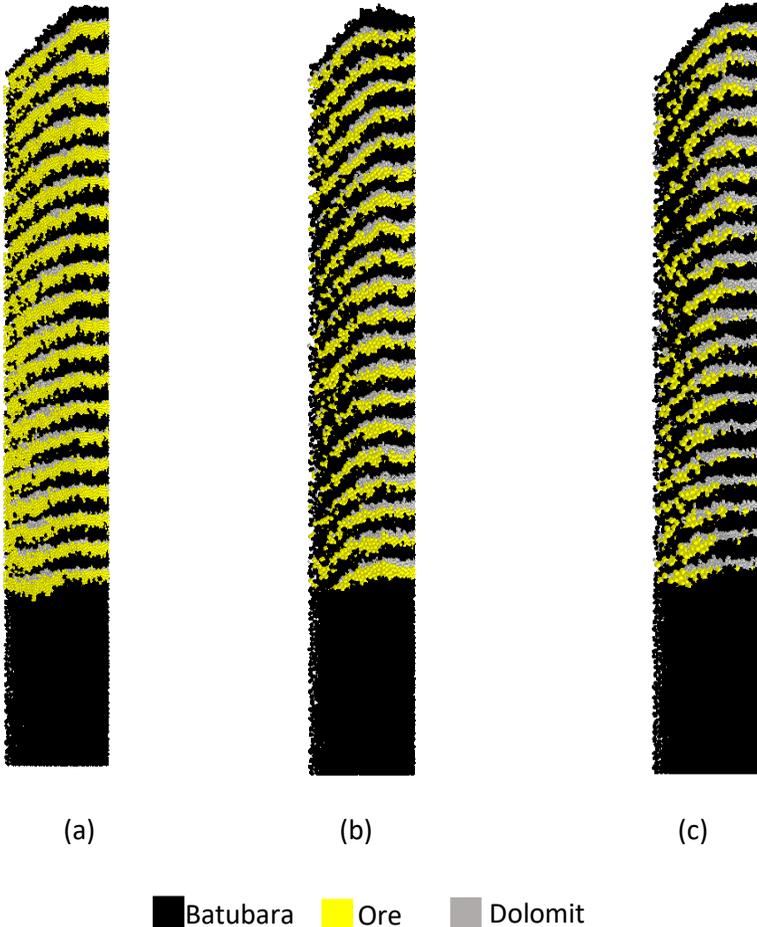


blast furnace. Fenomena ini dikelas sebagai ‘*coke push*’ (Mitra, 2016). Untuk *ore* 6 cm, distribusi batubara cukup merata oleh sebab itu pada ukuran ini kemiringan yang terjadi lebih besar namun distribusi batubara merata di tiap zona karena *ore* memiliki dampak yang cukup untuk membuat batubara terdistribusi merata. Sedangkan pada *ore* 8 cm, memiliki kemiringan yang paling besar karena dampak yang diakibatkan oleh *ore* paling besar disbanding ukuran lainnya. Hal ini dapat membuat layer tidak stabil sebab kemiringan yang terjadi semakin besar. Maka profil yang terbentuk tidak ideal dikarenakan sudut kemiringan yang besar mengakibatkan struktur lapisan MBF semakin tidak stabil dan mudah terdeformasi akibat proses tumbukan saat *charging*. Fenomena tersebut disebut *impact failure*, namun apabila lapisan yang tidak stabil tersebut mengakibatkan sebagian lapisan rusak dan mengalir menuju pusat MBF, sehingga terjadi perubahan pada struktur yang signifikan pada *layer* maka hal tersebut disebut dengan *gravity failure*. (Mitra, 2016).

Adanya perbedaan ketinggian yang terjadi akibat tumbukan dari partikel *ore* terhadap distribusi beban material ditunjukkan oleh Tabel 4.1

Tabel 4.1 Perbedaan Ketinggian Distribusi *Burden Material*

Variabel Perbandingan Ukuran <i>Ore</i>	Ketinggian Burden Material (m)
4 cm	9.88
6 cm	9.69
8 cm	9.15



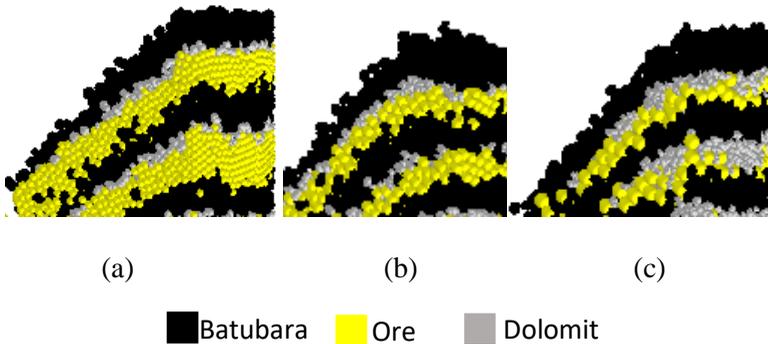
Gambar 4.3 Profil Layer distribusi burden material, (a) ukuran ore 4 cm; (b) ukuran ore 6 cm; (c) ukuran ore 8 cm

Pada proses *charging*, dengan adanya perbedaan berat dan juga ukuran. Partikel yang lebih berat akan mendorong partikel yang lebih ringan menuju bagian central. Dan juga partikel yang lebih besar akan berada di dekat dinding, sedangkan partikel yang



lebih halus akan berada di bagian tengah *furnace* (Mitra, 2016). Pengaruh tersebut akan membentuk profil *stock* yang akan terbentuk. Secara umum, profil *stock* terbagi menjadi dua yaitu V dan W (Geerdes, 2015). Bentuk profil dari tiap variabel ditunjukkan oleh Gambar 4.4.

Berdasarkan Gambar 4.4, terlihat pada *stock* yang terbentuk pada ore ukuran 4 cm (Gambar 4.4 (a)) memiliki daerah yang lebar dari dinding wall MBF. Hal ini membuat distribusi yang terbentuk cenderung tipe W, dimana *heat loss* pada distribusi tersebut cukup besar karena panas yang digunakan untuk proses reduksi dan pelelehan mengenai dinding MBF (Geerdes, 2015). Untuk ukuran ore 6 cm (Gambar 4.4 (b)) memiliki daerah yang tidak terlalu luas di dekat dinding, dan juga sudut yang terbentuk tidak terlalu besar. Profil *stock* membentuk huruf V sempurna disbanding variabel ukuran *ore* lainnya. Untuk ukuran 8 cm (Gambar 4.4 (c)) memiliki daerah yang tidak terlalu besar seperti pada Gambar 4.4 (b), namun sudut yang terbentuk relatif besar.



Gambar 4.4 Profil permukaan *stock* di dalam MBF dengan variasi, (a) ukuran ore 4 cm; (b) ukuran ore 6 cm; (c) ukuran ore 8 cm

Hal ini yang membuat profil *stock* tidak berbentuk V sempurna. Profil V sendiri terbentuk ketika daerah impact berada pada daerah *wall*. Sementara itu, profil M terbentuk ketika daerah impact berada pada daerah *wall* dan *centre* (Rizki, 2017).

4.2.2 Distribusi *Burden Material* di Zona *Central*

Profil layer distribusi di zona *central* ditunjukkan oleh Gambar 4.5.

Pada Gambar 4.5 menunjukkan partikel batubara memiliki konsentrasi terbesar pada zona ini. Hal ini dikarenakan batubara yang memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan ore, dimana pada saat proses *charging* batubara akan terdorong oleh ore karena ore memiliki densitas 2-4 kali lebih berat dibandingkan dengan batubara (Mitra, 2016).

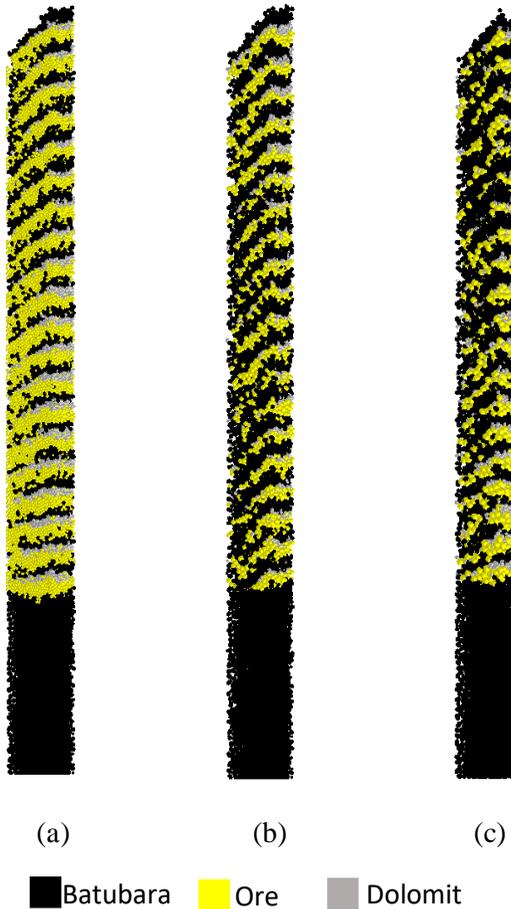
Gambar 4.6 menunjukkan persebaran perbandingan massa dari partikel batubara, ore, dan dolomit di daerah zona *central*. Dapat dilihat jumlah kuantitatif dari tiap partikel, dimana partikel batubara memiliki jumlah terbanyak dibanding partikel lainnya.

Pada variabel dengan partikel ore 4 cm memiliki jumlah batubara sebanyak 759.02 kg, kemudian diikuti partikel ore

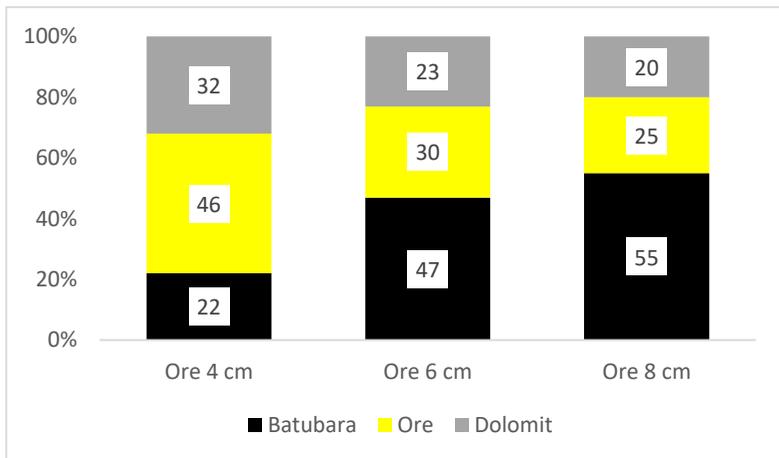


sebanyak 863.04 kg, dan dolomit sebanyak 270.893 kg. Partikel *ore* 6 cm memiliki jumlah batubara sebanyak 912.31 kg, kemudian diikuti partikel *ore* sebanyak 635.61 kg, dan partikel dolomit sebanyak 196.027 kg. partikel *ore* 8 cm memiliki jumlah batubara paling banyak dibanding partikel *ore* lainnya sebanyak 1005.549 kg, kemudian diikuti partikel *ore* sebanyak 702.86 kg. dan partikel dolomit 230.524 kg. Perbandingan jumlah tiap partikel untuk variabel yang ada ditunjukkan oleh Gambar 4.6.

Untuk distribusi gas yang optimum, layer batubara pada zona pusat *mini blast furnace* tidak terdapat partikel *ore* (Geerdes, 2015). Dikarenakan permeabilitas gas dari *ore* lebih rendah dibanding batubara (Mitra, 2016).

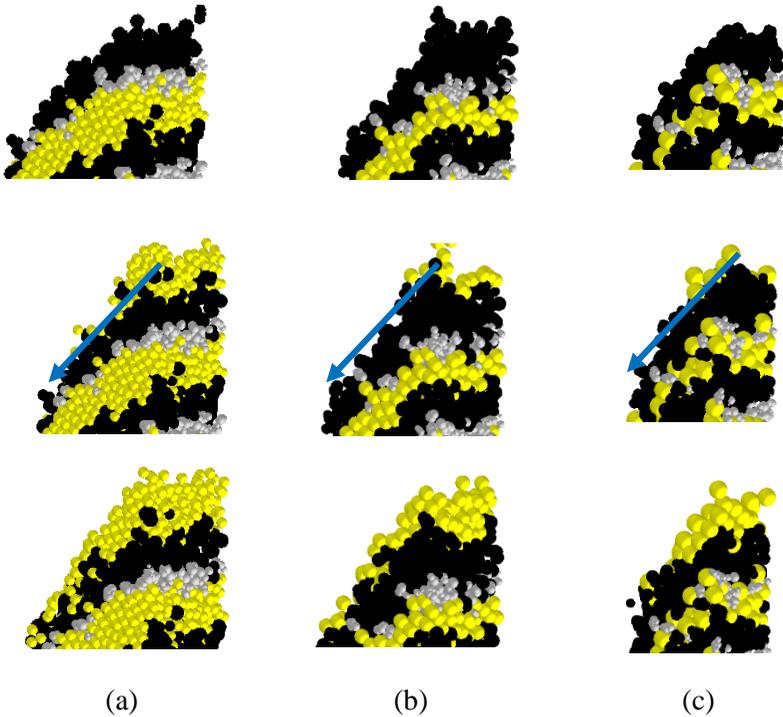


Gambar 4.5. Profil Distribusi *Burden Material* pada Zona *Central* (a) *Ore* 4 cm; (b) *Ore* 6 cm; dan (c) *Ore* 8 cm



Gambar 4.6 Perbandingan massa *burden material* pada zona *central*

Dengan adanya dorongan dari partikel *ore* yang membuat partikel batubara mendekati pusat *mini blast furnace*, yang dimana fenomena ini disebut dengan ‘*Coke Push*’ (Mitra, 2015). Fenomena ini ditunjukkan oleh Gambar 4.7. Makin besar ukuran ore, makin kuat dorongan yang diberikan kepada partikel batubara yang membuat partikel batubara lebih banyak berada di daerah *central*. Menurut Tang (2013) menyatakan bahwa bahwa pada partikel jatuh, partikel dengan densitas yang lebih kecil akan cenderung mendekati *center*.



Gambar 4.7 Fenomena *Coke Push* tiap variabel (a) *Ore* 4 cm, (b) *Ore* 6 cm, (c) *Ore* 8 cm

Pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa fenomena *coke push* pada layer 20 karena dianggap valid karena pada layer ini tidak terjadi deformasi layer. terjadi karena ore memiliki massa lebih berat dibanding batubara. Perpindahan jarak batubara dari dinding MBF dijelaskan oleh Tabel 4.2.

Pergeseran posisi batubara merupakan akibat dari tumbukan partikel *ore* setelah bertumbukan dengan dinding MBF. Kecepatan dari burden material dipengaruhi oleh dua factor yaitu sudut bell dan massa burden material. Semakin besar massa burden material maka semakin besar energi kinetik burden material saat



bertumbukan dengan dinding MBF. Setelah bertumbukan maka persebaran bergantung pada energi kinetik, potensial dan jarak jatuh *burden material*. (Hamzah, 2017).

Tabel 4.2 Perpindahan partikel batubara akibat *coke push*

Variabel Perbandingan Ukuran <i>Ore</i>	Jarak dari Dinding (cm)	
	Awal <i>Charging</i>	Akhir <i>Charging</i>
4 cm	14-46	37-49
6 cm	14-46	76-95
8 cm	14-46	83-110

Pada partikel *ore* 4 cm memiliki pergeseran paling kecil karena massa pada partikel 4 cm paling kecil karena posisi dari titik impak yang cukup jauh dari permukaan *stock*, sehingga *loss* dari energi kinetik dan potensial cukup besar. (Hamzah, 2017).. Kemudian partikel *ore* 6 cm memiliki pergeseran lebih besar dibanding partikel *ore* 4 cm. dan partikel *ore* 8 cm memiliki pergeseran paling besar karena pada partikel *ore* 8 cm memiliki massa yang paling besar dibanding partikel *ore* lainnya.

Dengan menggunakan perhitungan pada perangkat lunak EDEM, didapatkan energi kinetik yang dihasilkan partikel *ore* pada tiap variabel ditunjukkan oleh Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Energi kinetik partikel *ore* tiap variabel

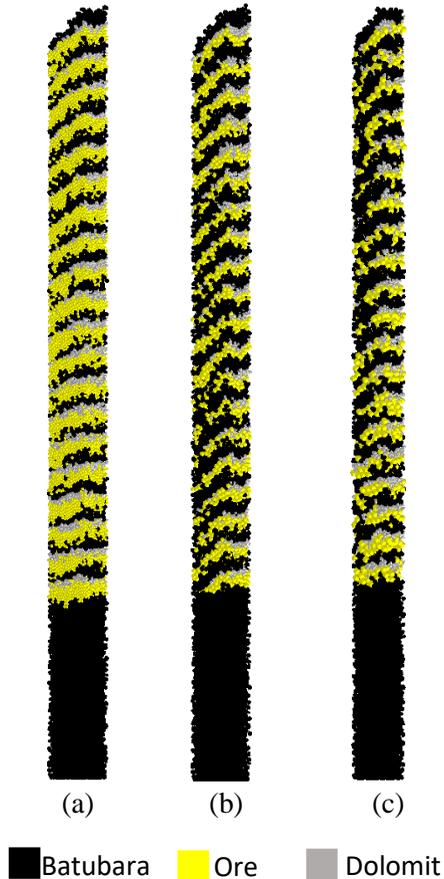
Variabel Perbandingan Ukuran <i>Ore</i>	Energi Kinetik (J)
4 cm	0.033996
6 cm	0.148148
8 cm	0.323031

Maka dengan melihat nilai energi kinetik partikel *ore* tiap variabel dan jarak perpindahan batubara akibat dari dorongan *ore*, pada variabel dengan ukuran 8 cm akan memiliki jumlah fraksi batubara paling banyak dibanding variabel 4 cm dan 6 cm.



4.2.3 Distribusi *Burden Material* di Zona *Intermediate*

Profil layer distribusi *burden material* di zona central ditunjukkan oleh Gambar 4.5.



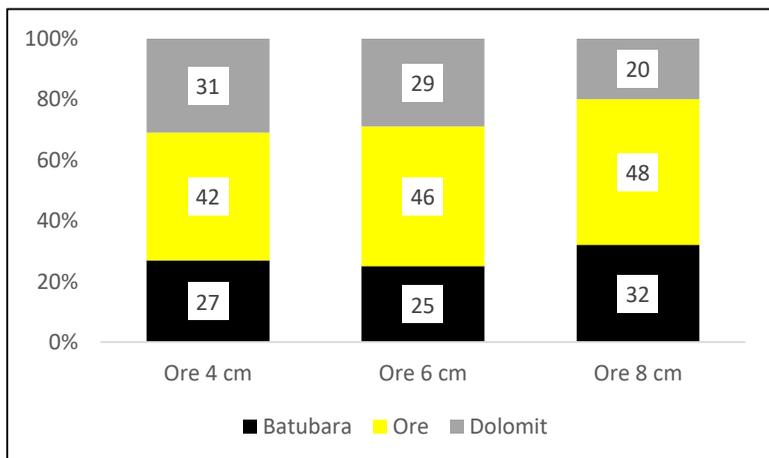
Gambar 4.8 Profil Distribusi *Burden Material* pada Zona *Intermediate* (a) Ore 4 cm; (b) Ore 6 cm; dan (c) Ore 8 cm



Pada zona ini merupakan zona yang memiliki partikel ore dan dolomit yang lebih banyak dibanding zona *central*. Hal ini dikarenakan zona yang memiliki laju gas yang rendah, daerah *central* memiliki laju gas paling tinggi dibanding daerah lain (Takahashi, 2005).

Fraksi persebaran pada zona ini dijelaskan oleh Gambar 4.6. Dimana partikel ore ukuran 4 cm memiliki partikel batubara paling besar dibanding kedua. Hal ini tidak diinginkan karena pada daerah ini laju gas harus rendah karena terjadi reduksi dan pelelehan ore (Geerdes, 2015). Pada ore 6 cm memiliki batubara paling sedikit dibanding lainnya, distribusi ini optimum karena batubara memiliki fraksi yang tidak terlalu banyak yang membuat permeabilitas gas tidak tinggi akibat *voidage* yang terbentuk oleh partikel batubara yang lebih besar dibanding ore.

Pada daerah *intermediate*, jumlah kuantitas partikel ore dan dolomit cukup berimbang. Hal tersebut diperlukan, sebab dolomit selain untuk mengatur basisitas proses yang dapat merusak dinding refraktori juga berperan untuk mengikat *impurities* yang dihasilkan saat ore mengalami proses reduksi dan pelelehan. (Babich, 2008).



Gambar 4.9 Persebaran *burden material* pada zona *intermediate*



4.2.4 Distribusi *Burden Material* di Zona *Peripheral*

Profil layer distribusi *burden material* di zona *peripheral* ditunjukkan oleh Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Profil Distribusi *Burden Material* pada Zona *Peripheral* (a) Ore 4 cm; (b) Ore 6 cm; dan (c) Ore 8 cm

Pada zona ini memiliki kuantitas batubara yang paling rendah dibandingkan zona lain untuk mendapatkan zona kohesif

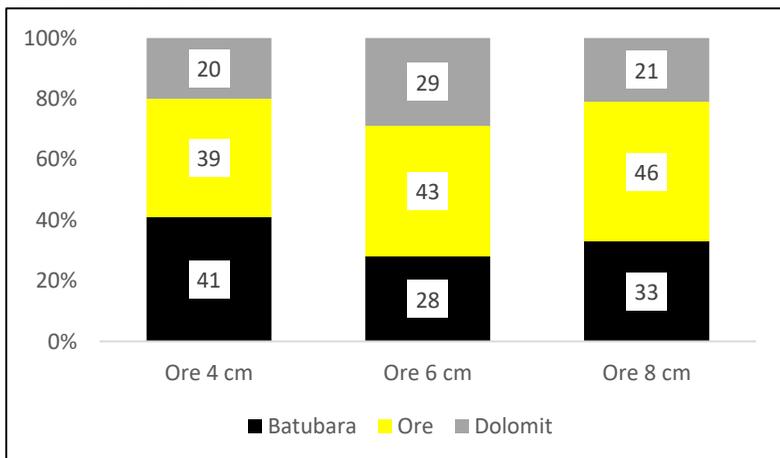


yang optimum. Gas yang mengalir dari bagian bawah *blast furnace* akan mengalir melalui zona *central* yang kemudian mengalir ke daerah *intermediate* dan *peripheral*. Hal ini diinginkan karena apabila terdapat banyak batubara pada zona ini maka akan membentuk tipe 'W' untuk profil gas yang akan digunakan dalam proses reduksi dan pelelehan *ore* karena dengan kohesif zone berbentuk huruf 'W' akan menghasilkan *heat loss* yang cukup besar (Geerdes, 2015).

Zona ini memiliki fraksi terbesar pada partikel ore. Hal ini diaharapkan karena permeabilitas ore yang rendah. Partikel ore memiliki densitas yang lebih tinggi dibanding batubara, maka akan cenderung berada di dekat dinding daripada di tengah (Tang, 2013).

Dari gambar 4.10 didapatkan pada layer partikel ore ukuran 4 cm lebih cenderung membentuk tipe zona kohesif tipe W sedangkan pada partikel ore ukuran 6 cm dan 8 cm cenderung berbentuk huruf V untuk zona kohesifnya.

Perbandingan jumlah partikel tiap variabel ditunjukkan oleh Gambar 4.11



Gambar 4.11 Persebaran *burden material* pada zona *peripheral*



Pada Gambar 4.11 dapat dilihat pada partikel 4 cm memiliki jumlah batubara sebanyak 888.613 kg, dolomit sebanyak 565.2 kg, dan ore sebanyak 363.787 kg. Sedangkan pada partikel ore 6 cm memiliki batubara yang lebih sedikit dibandingkan partikel ore 4 cm yaitu sebanyak 756.53 kg, kemudian dolomit sebanyak 485.26 kg, dan ore sebanyak 610.81 kg. Untuk partikel ore ukuran 8 cm memiliki massa ore paling banyak di daerah ini sebanyak 968.855 kg, dolomit sebanyak 330.023 kg, dan batubara sebanyak 623.722 kg. Pada partikel ore 8 cm, memiliki batubara yang paling sedikit karena *coke push* pada variabel ini cukup besar akibat massa dari *ore* yang paling besar dibanding yang lainnya. Namun, akibatnya *voidage* yang ditimbulkan oleh *ore* menjadi lebih besar dibandingkan *voidage* yang ditimbulkan oleh batubara. Hal ini tidak diinginkan karena gas yang melewati *ore* menjadi lebih mudah untuk melalui layer yang ada. Menurut Geerdes (2015), batubara memiliki ukuran yang lebih besar dibandingkan ukuran *ore* dengan tujuan membentuk *voidage* yang lebih besar dibandingkan *voidage* yang dibentuk oleh *ore*.

Distribusi yang diinginkan dalam penelitian ini yaitu terbentuknya zona kohesif berbentuk huruf V. Dimana keadaan ini lebih optimum dibanding tipe lainnya yaitu huruf W. Tipe tersebut kohesif berpusat pada dinding MBF, akibatnya temperatur dapat turun dengan cepat, hal ini dikenal sebagai *heat loss*. Sehingga distribusi dengan tipe tersebut dihindari. Berdasarkan hasil yang didapat dan analisis yang dilakukan, variabel dengan ukuran ore 6 cm memiliki profil kohesif zone dengan tipe '*central working*' sehingga paling cocok untuk diterapkan dalam kondisi riil untuk proses *charging system* dan pemilihan *burden material*.

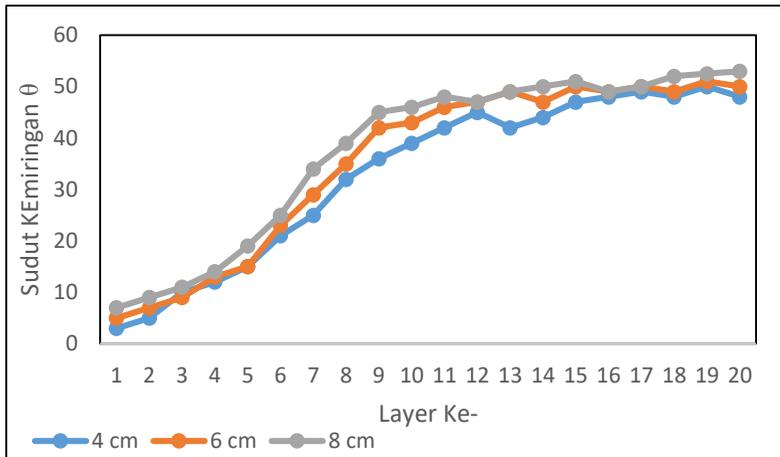
4.2.5 Sudut Kemiringan *Burden Material*

Kemiringan layer berpengaruh terhadap stabilitas layer dari *burden material* terhadap deformasi yang terjadi.

Adanya perbedaan massa *burden material*, khususnya *ore* membuat *burden material* sebelum *ore* dilakukan *charging* yaitu batubara terjadi deformasi akibat densitas dan berat *ore* lebih besar



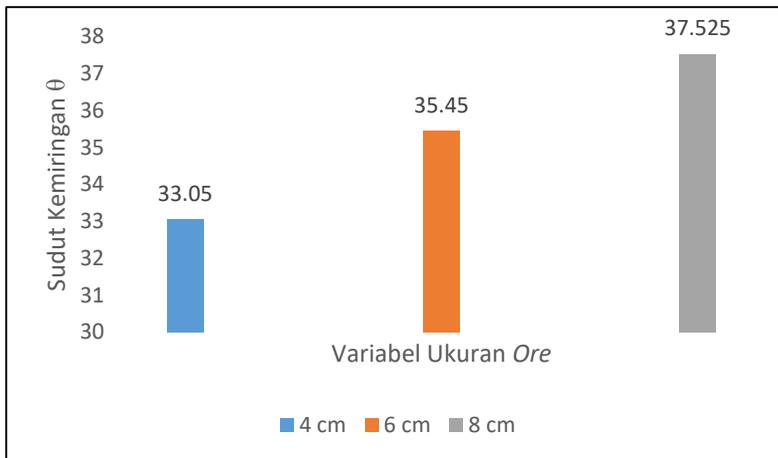
dibanding batubara. Hal ini membuat adanya perbedaan sudut kemiringan layer pada tiap variabel penelitian ini.



Gambar 4.12 Grafik Sudut Kemiringan Lapisan *Burden Material* pada Zona *Central*

Berdasarkan Gambar 4.12 menunjukkan sudut kemiringan yang terbentuk tiap layer pada zona *central* untuk ketiga variabel pada penelitian ini. Dapat dilihat makin tinggi layer yang terbentuk, maka semakin besar pula sudut kemiringan yang terjadi. Hal ini terjadi akibat layer sebelumnya yang terjadi deformasi yang membuat sudut kemiringan menjadi lebih besar dari sebelumnya.

Nilai sudut kemiringan rata-rata dari tiap variabel ditunjukkan oleh Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Grafik Rata-Rata Sudut Kemiringan Lapisan *Burden Material* pada Zona *Central*

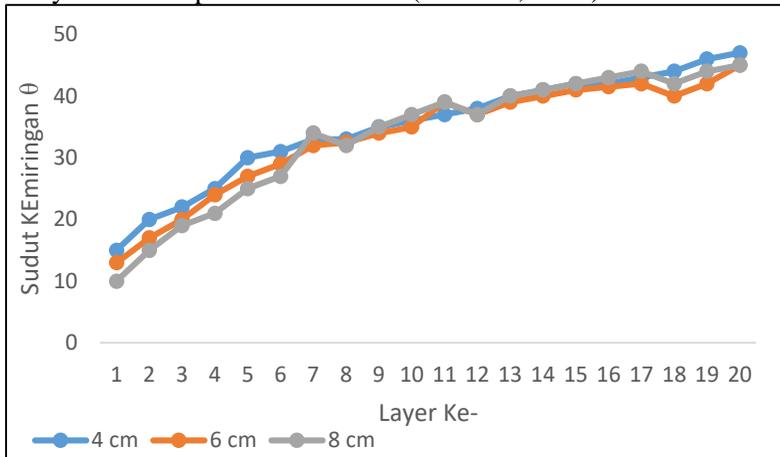
Pada Gambar 4.13 dapat dilihat pada variabel dengan ukuran ore 8 cm memiliki rata-rata sudut kemiringan paling besar yaitu 37.535° , kemudian diikuti dengan variabel kedua dengan ukuran ore 6 cm yaitu 35.45° . Dan pada variabel dengan ukuran ore 4 cm memiliki nilai rata-rata sudut kemiringan paling rendah sebesar 33.05° .

Batubara memiliki berat yang lebih ringan dibanding *ore*, maka setelah ore dilakukan *charging* partikel batubara mengalami deformasi atau tidak stabil tergantung pada energi kinetik dari partikel *ore*. Pada penelitian Ho (2009) dan Wu (2007) telah dilakukan penelitian dari efek *charging* partikel yang lebih berat terhadap partikel yang lebih ringan dengan menggunakan DEM, termasuk ukuran voidage yang terbentuk tergantung dari energi kinetik dan energi inersia.

Perbandingan sudut kemiringan *burden material* pada zona *intermediate* ditunjukkan oleh Gambar 4.14. Pada Gambar 4.14 dapat dilihat bahwa peningkatan sudut kemiringan terjadi dengan semakin meningkatnya layer *burden material* setelah



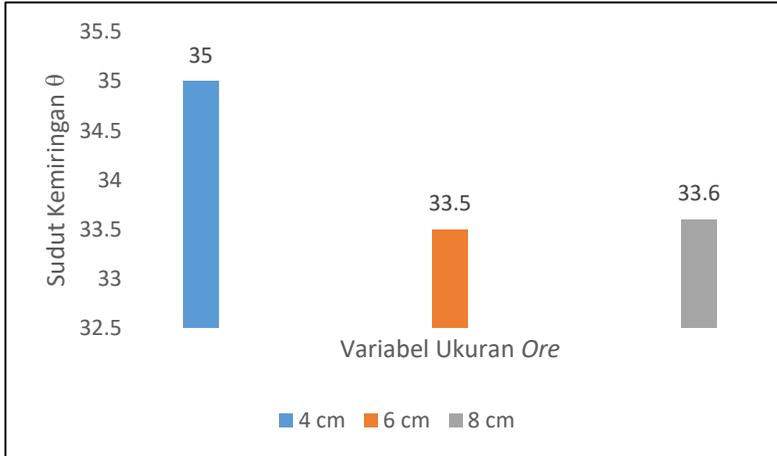
proses *charging* dilakukan. Dibandingkan dengan burden material pada zona central, pada zona ini memiliki sudut kemiringan lebih besar. Hal ini karena adanya tumpukan dari *ore*, dimana pada zona *intermediate* lebih banyak fraksi *ore* dibanding batubara yang lebih banyak berada pada zona *central* (Hamzah, 2017).



Gambar 4.14 Grafik Sudut Kemiringan Lapisan *Burden Material* pada Zona *Intermediate*



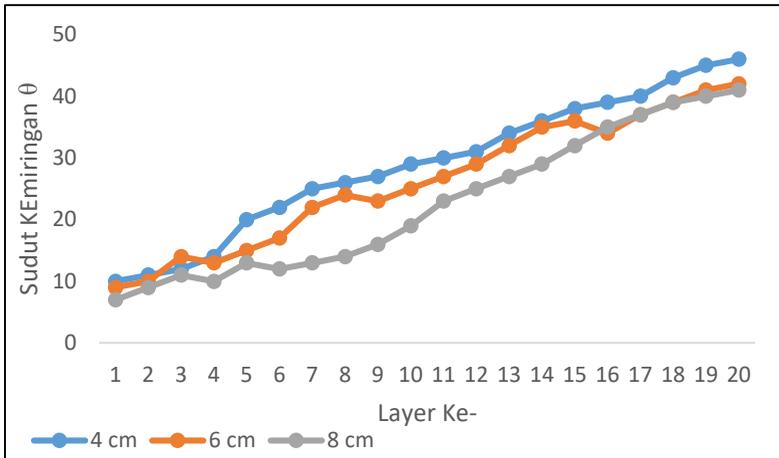
Nilai rata-rata pada sudut kemiringan pada zona *intermediate* ditunjukkan oleh Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Grafik Rata-Rata Sudut Kemiringan Lapisan *Burden Material* pada Zona *Intermediate*

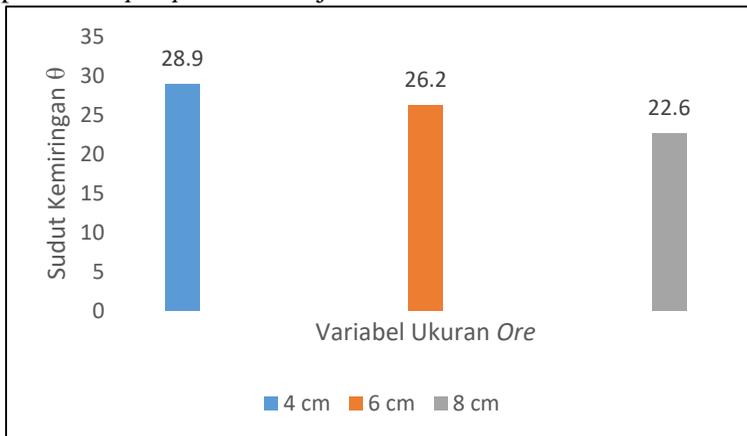
Pada Gambar 4.15 di atas dapat dilihat bahwa pada variabel ukuran ore 6 cm memiliki nilai rata-rata sudut kemiringan paling kecil sebesar 33.5° . Kemudian pada variabel ukuran ore 8 cm memiliki rata-rata sudut kemiringan yang lebih besar dibandingkan variabel ukuran ore 6 cm. Dan pada variabel 4 cm memiliki sudut kemiringan yang paling besar dibanding lainnya sebesar 35° . Dikarenakan partikel ore yang sangat banyak pada zona ini untuk variabel 4 cm, dengan massa partikel yang paling kecil membuat partikel *ore* pada variabel ini memiliki jumlah yang paling banyak dibandingkan variabel yang lain. Zona ini sangat berpengaruh terhadap sudut kemiringan pada zona *central* yang nantinya akan membentuk zona kohesif jenis '*central working*' atau '*wall working*' (Geerdes, 2015).

Perbandingan sudut kemiringan pada zona *peripheral* ditunjukkan oleh Gambar 4.16



Gambar 4.16 Grafik Sudut Kemiringan Lapisan *Burden Material* pada Zona *Peripheral*

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan sudut kemiringan setiap peningkatan layer yang terbentuk pada setiap variabel. Rata-rata nilai sudut kemiringan pada zona *peripheral* ditunjukkan oleh Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Grafik Rata-Rata Sudut Kemiringan Lapisan *Burden Material* pada Zona *Peripheral*



Pada Gambar 4.17 didapat dilihat bahwa pada variabel ukuran ore 4 cm memiliki nilai rata-rata paling besar dan pada variabel ukuran ore 8 cm memiliki nilai rata-rata sudut kemiringan paling kecil dibanding lainnya.

Sudut kemiringan dari distribusi burden material berpengaruh terhadap pondasi tiap layer terhadap stabilitas layer yang terbentuk, khususnya daerah *intermediate* yang dimana fraksi ore paling besar dibanding daerah lainnya. Hal ini membuat kekhawatiran terjadinya deformasi layer ore dari zona *intermediate* ke zona *central*. Berpindahannya partikel ore menuju zona *central* mengakibatkan permeabilitas pada zona *central* menjadi lebih sulit karena *voidage* yang terbentuk akan lebih kecil karena adanya partikel *ore*. Permeabilitas berbanding lurus dengan rasio ukuran *burden material* antarmuka (Guha, 2011). Semakin tingginya rasio ukuran *burden material* menghasilkan kemasan yang lebih baik pada antar muka. Tingkat aliran gas yang lebih tinggi, menyebabkan turunnya *voidage* karena partikel yang lebih kecil memiliki penetrasi yang lebih rendah (Liu, 2013).

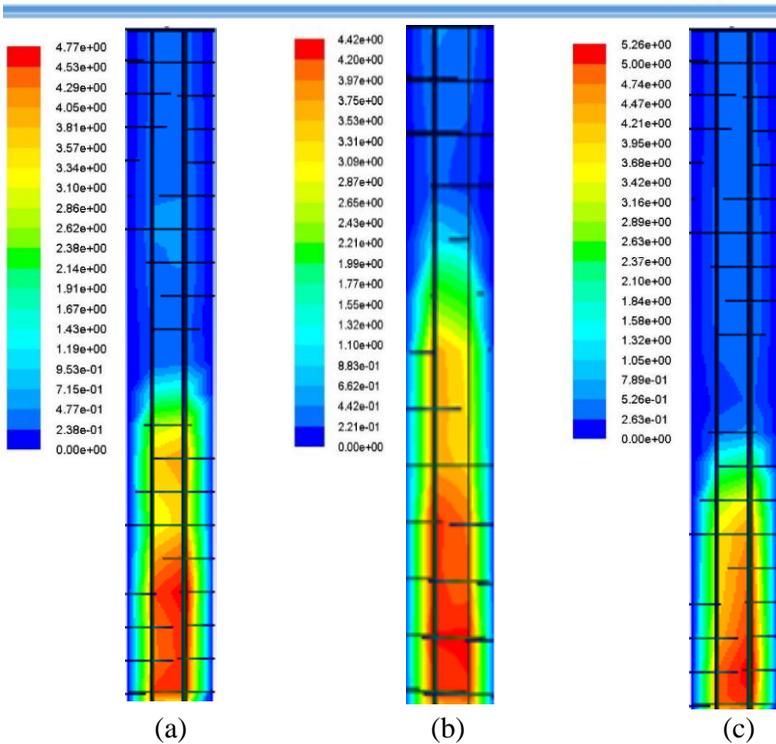
4.3. Pengaruh Ukuran Partikel Ore terhadap Distribusi Aliran Gas dalam MBF

Distribusi *burden material* digunakan dalam mengontrol aliran gas di dalam *blast furnace*. Konsep dari distribusi *burden material* merupakan konsekuensi dari interaksi sifat *burden material* dengan peralatan yang digunakan untuk *charging* (Geerdes, 2015). Gas bergerak ke atas *blast furnace* dari tuyer. Perpindahan gas dapat dianggap sebagai pergerakan vertikal dalam sebuah layer paralel yang dibentuk oleh partikel yang memiliki bentuk tak beraturan, dan saling berinteraksi satu sama lain. Perpindahah dan distribusi gas ditentukan oleh kualitas *burden material* dan distribusi pada bagian atas. Distribusi burden material yang optimal di bagian atas selama pengisian memberikan kelancaran *blast furnace* dan penggunaan gas yang efektif (Babich, 2008).



Analisa distribusi aliran gas ini hanya melibatkan daerah *stack* dari MBF dengan panjang daerah sebesar 5.5 m, sehingga berdasarkan perhitungan hanya layer ke-8 sampai permukaan *stockline* yang akan dianalisis. Daerah *stack* dipilih sebab daerah ini dianggap telah memiliki vektor aliran kecepatan yang searah dan sudah terbebas dari turbulensi kecepatan akibat gas yang masuk melalui *tuyere*.

Gambar 4.18 menunjukkan profil kecepatan di daerah *stack* untuk ketiga variabel penelitian. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa ketiga variabel tersebut memiliki zona kohesif pada zona central. Dapat dilihat bagaimana distribusi kecepatan gas berpusat pada zona *central*, dengan nilai paling besar pada zona tersebut. Variabel pertama yaitu 4 cm memiliki nilai kecepatan gas yang paling rendah dibanding lainnya, namun pada variabel ketiga yaitu ukuran ore 8 cm. Memperkecil ukuran ore membuat kecepatan proses reduksi menjadi lebih cepat, hal ini berakibat pada laju produksi yang menjadi lebih cepat. Namun, memperkecil ukuran diameter akan berpengaruh buruk terhadap *pressure drop* melalui *burden bed* (Yasuo, 1987).

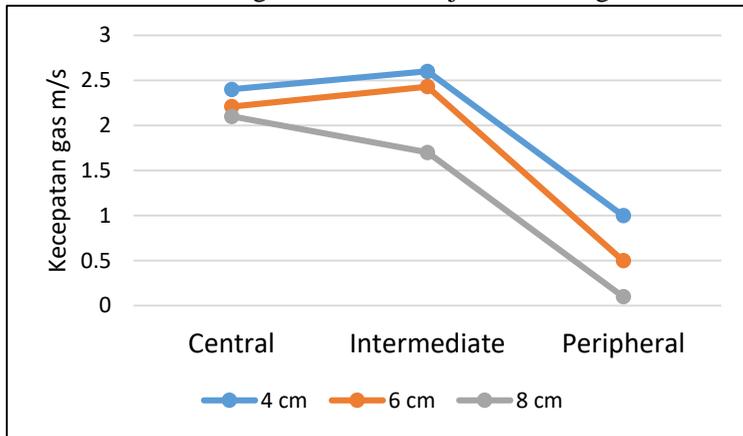


Gambar 4.18. Profil Kecepatan Gas pada Variabel (a) Ukuran Ore 4 cm; (b) Ukuran Ore 6 cm dan (c) Ukuran Ore 8 cm

Pada semua variabel, daerah sekitar dinding mini blast furnace memiliki nilai paling rendah. Adanya friction antara gas dan dinding membuat nilai laju gas menjadi mendekati 0 ((R Byron Bird, 2002). Berdasarkan Gambar 4.18, pada variabel ukuran ore 4 cm memiliki penurunan laju gas yang tidak stabil, dapat dilihat daerah berwarna merah memiliki dua daerah yang besarnya hampir sama. Sedangkan pada variabel kedua yaitu ukuran ore 6 cm memiliki penurunan yang lebih stabil dibanding variabel lainnya. Dengan laju gas yang stabil membuat laju pembakaran *ore* menjadi lebih stabil, oleh karena itu pada variabel 6 cm dianggap cocok sebagai ukuran *ore* dibanding 4 cm dan 8 cm. Pada variabel ukuran



ore 8 cm memiliki penurunan yang signifikan karena voidage yang terbentuk lebih besar dibanding yang lainnya akibat perbedaan diameter ore. Grafik nilai kecepatan maksimal pada tiap zona dalam MBF untuk ketiga variabel ditunjukkan oleh gambar 4.19.



Gambar 4.19 Perbandingan Nilai Kecepatan Gas Tiap Zona MBF

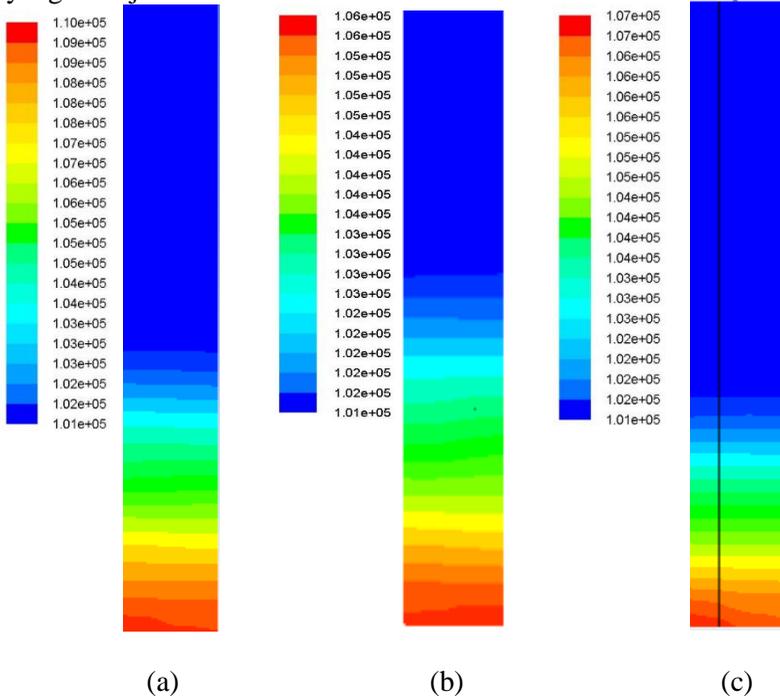
4.4. Pengaruh Ukuran Partikel *Ore* terhadap Distribusi Tekanan Gas dalam MBF

Gambar 4.19 di bawah menunjukkan bahwa perbedaan distribusi beban material membuat adanya perbedaan distribusi tekanan yang terbentuk. Daerah paling bawah memiliki tekanan paling besar dengan ditandai dengan warna merah. Sedangkan daerah berwarna biru memiliki nilai yang paling rendah.

Tebal layer sangat berperan dalam distribusi tekanan yang terjadi. Ketika tebal layer berkurang akibat dari perbedaan ukuran partikel yang membuat *voidage* menurun. Alhasil, nilai *pressure drop* akan meningkat dipengaruhi oleh menurunnya *voidage* yang terbentuk (Shungo, 2015).



Nilai tekanan yang didapat dari hasil simulasi adalah tekanan gauge. Distribusi tekanan dinyatakan dalam bentuk kontur yang ditunjukkan oleh Gambar 4.19.

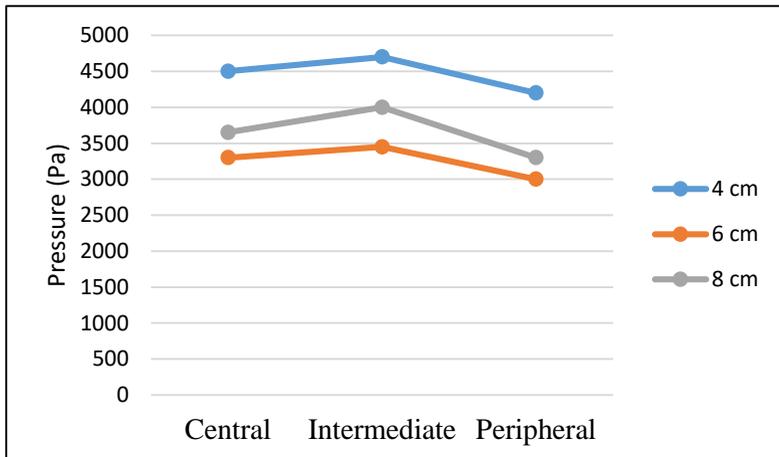


Gambar 4.20. Profil Tekanan Gas pada Variabel (a) Ukuran Ore 4 cm; (b) Ukuran Ore 6 cm dan (c) Ukuran Ore 8 cm

Maka pada ketiga variabel yang ada, dengan ukuran *ore* yang paling kecil yaitu 4 cm memiliki nilai *pressure drop* yang paling besar. Dan untuk ukuran ore 8 cm memiliki nilai *pressure drop* paling rendah akibat voidage yang terbentuk paling besar dibanding lainnya. Dengan nilai *pressure* yang paling rendah membuat distribusi yang dilalui oleh gas lebih mudah dibanding lainnya, namun pada variabel ukuran ore 8 cm. *Voidage* yang terbentuk oleh partikel *ore* lebih besar dibanding partikel batubara.



Hal ini tidak diinginkan karena, menurut Geerdes tahun 2015 resistansi ore terhadap gas harus lebih rendah dibanding batubara. Maka variabel dengan ukuran *ore* 6 cm dianggap paling cocok sebagai parameter *charging system*.



Gambar 4.21. Grafik *Pressure* untuk variasi perbandingan diameter *ore*

Semakin tinggi layer akan membuat semakin sulit gas untuk melewati burden material, akibatnya gas akan terkonsentrasi pada *voidage* yang terbentuk pada tiap layer. Laju aliran gas yang tidak lancar membuat gas akan mengalir ke daerah yang hambatannya relative sedikit. Oleh sebab itu, *pressure drop* yang terjadi akan meningkat (Mousa, et al, 2011). Pada Gambar 4.21 menunjukkan bahwa pada variabel 4 cm memiliki *pressure drop* paling tinggi, hal ini diakibatkan karena partikel ore yang kecil membuat lapisan *burden material* semakin tinggi.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa data dan pembahasan, maka didapatkan kesimpulan dari pemodelan Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Partikel yang memiliki densitas kecil (batubara dan dolomit) berkonsentrasi di zona *center*, dan partikel yang memiliki densitas besar (*ore*) berkonsentrasi di zona *intermediate* dan zona *peripheral*. Semakin besar ukuran ore, maka semakin besar pula massa dari *ore* yang berakibat kecepatan jatuh dan energi kinetik *burden material* semakin besar. Lapisan *burden material* paling stabil yaitu pada variabel dengan ukuran ore 6 cm.
2. Ukuran ore 6 cm merupakan ukuran paling baik untuk aplikasi *burden material*, karena kemungkinan terjadinya *central working furnace* paling besar.
3. Tekanan dan kecepatan gas sangat dipengaruhi oleh *voidage* yang terbentuk, semakin besar *voidage* yang terbentuk maka semakin mudah gas untuk melalui *burden material*. Semakin besar ukuran partikel, semakin besar pula *voidage* yang terbentuk. Hal ini dihindari, maka pada ukuran ore 6 cm memiliki *voidage* yang paling baik.

5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan dari hasil analisis pada tugas akhir ini, adalah jika melakukan riset selanjutnya terutama dalam pemodelan pengolahan mineral khususnya *blast furnace* disarankan

1. Melakukan validasi eksperimen pada simulasi solid partikel sehingga dapat membandingkan hasil simulasi dengan realita di lapangan.
2. Menambahkan simulasi *burden material descending*. Agar mengetahui gerak *burden material* selama proses



continous dan dapat diketahui kestabilan lapisan *burden material*.

3. Meningkatkan spesifikasi dari komputer agar simulasi dapat berlangsung lebih cepat dan mampu untuk mensimulasikan aliran gas dari tuyer.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul, Fakhreza., Sungging, Pintowantoro. 2014. *Studi Pengaruh Rasio Feed Materials Pada Proses Smelting Mineral Tembaga Karbonat Menggunakan Mini Blast Furnace (MBF)*. Surabaya: Teknik Material dan Metalurgi, ITS.
- Afriyanto. 2016. *Analisa Numerik Pengaruh Laju Alir Udara Terhadap Distribusi Temperatur dan Tekanan pada Mini Blast Furnace*. Surabaya. ITS.
- Australian Atlas of Mineral Resource, Mines, and Processing Centres. 2011. *Rock Files : Nickel*. Mineral Council of Australia.
- Babich, A, D Senk, H.W Gudenau, and K.Th Mavrommatis. 2008. *Ironmaking* . Aachen: Institut fur Eisenhuttenkunde der RWTH Aachen.
- Blazek, J. 2005. *Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications*. Amsterdam. Elsevier.
- Bill McCutcheon. 2005. *Nickel*. Canadian Minerals Yearbook.
- Biswas, A.K. 1981. *Principle of Blast Furnace Ironmaking*. Autralia: University of Queensland.
- Bonyton, Robert S. 1980. *Chemistry adn Technology of Lime and Limestone, 2nd edition*. John Wiley & Sons, Inc. Toronto.
- Bradley, Kevin. 2011. *Nickel Applications & Uses*. Shanghai: 8th Annual China Nickel Conference.
- Canada's Non Ferrous Metals Industry. 1984. *Nickel and Copper*. Energy Mines and Resources Canada, Ottawa.
- Castro, Jose Adilson Ed. 2000. *A Multi-Dimensional Transient Mathematical Model of Blast Furnace Base on Multi-Fluid Model*. Tohoku University, Jepang.
- Christie, Tony. *Mineral Comodity Report 10 – Nickel*. Institute of Geological and Nuclear Sciences Ltd.
- Clough, RW. 1960. *The Finite Element Method in Plane Stress Analysis*. Proceedings of second ASCE conference on electronic computation, Pittsburg, Pennsylvania, 8:345–378

- Courant, R. Friedrichs, KO. Lewy, H. 1928 *Über die partiellen Differenzgleichungen der Mathematischen Physik. Math Ann 100:32–74* (English translation, with commentaries by Lax, P.B., Widlund, O.B., Parter, S.V., in IBM J. Res. Develop. 11 (1967)).
- Crank, J. Nicolson, P. 1947. *A Practical Method for Numerical Integration of Solution of Partial Differential Equations of Heat-Conduction Type. Proc Cambridge Philos Soc 43:50–67*
- C. A. Landolt, J. C. Taylor in J. C. Taylor, H. R. Traulsen (eds.). 1987. *World Survey of Non-Ferrous Smelters. TMS-AIME. Warrendale.*
- Diaz, C. M., C. A. Landolt, A. Vahed, Warner A. E. M., J. C. Taylor. 1988. *A review of nickel pyrometallurgical operations. In proceedings Extractive metallurgy of Nickel & Cobalt symposium.*
- Edi Herianto. 2008. *Peleburan Bijih Nikel Laterit Menggunakan Blast Furnace. Pelajaran dari China. Jurnal Metalurgi 2008. hal. 107-111.*
- ESDM. 2012. *Kajian Supply Demand Mineral. Jakarta: Pusat Data dan Informasi Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.*
- F. Moukalled, dkk, 2015. *The Finite Volume Method in Computational Fluid Dyamics. Jerman. Springer*
- Fan, Z., Natsui, S., Ueda, S., Yang, T., Kano, J., Inoue, R. and Ariyama, T. 2010. *Transient behavior of burden descending and influence of cohesive zone shape on solid flow and stress distribution in blast furnace by discrete element method. ISIJ International, 50(7), 946-953*
- Febrianto, Rizki. 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. Surabaya. ITS.*

- Ferziger, JH. Peric, M. 2002. *Computational Methods for Fluid Dynamics, 3rd edn.* Berlin. Springer.
- Geerdes, M., dkk. 2015. *Modern Blast Furnace Ironmaking.* Belanda: IOS Press BV.
- Habashi, Fathi. 1997. *Handbook of Extractive Metallurgy.* Weinheim : Wiley-VCH.
- Hernández F., Medina O., Escuarda R., Acas B. Ventanilla K. Sanchez Sh., 2008. *NPI production in small blast furnace. PGMC – Mindanao Philippines.* Metallurgical Process & Technical Consultant.
- Hidayatullah. 2016. *Analisa Numerik Pengaruh Ukuran Kokas Terhadap Distribusi Temperatur Dan Tekanan Mini Blast Furnace.* Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- H. Nagomi, Mansheng Chu, J. Yagi, 2006. *Numerical Analysis on Blast Furnace Performance with Novel Feed Material by Multi-dimensional Simulator Based.* Mathematical Modelling 30, Jepang.
- J. K. Boldt, P. E. Queneau. 1967. *The Winning of Nickel.* Longmans Canada, Toronto.
- Kerfoot, D. G. E. 1991. *Nickel. Ullmann's Encyclopedia of Industrial chemistry*, A17(5), 158-219. VCH Verlag. Weinheim, Germany.
- Launder, BE. Spalding, DB. 1972. *Mathematical Models of Turbulence.* Massachusetts. Academic Press.
- Marcos A. E. 2006. *Magnetic studies of natural goethite samples from Tharsis, Huelva, Spain.* Argentina: *Geofísica Internacional (2006). Vol. 45, Num. 4. pp. 219-230.*
- Mitra, T. dan H. Saxén. 2014. *Model For Fast Evaluation Of Charging Programs In The Blast Furnace, Metallurgical and Materials Transactions B*, vol. 45, pp. 2382-2394.
- N.W. Brand, *et al.*, 1997. *Nickel Laterites : Classification and Features.* AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics.

- Patterson, W. Siepmann, H. Pacyna, H. 1961. *Giesserei Tech. Wiss. Beihette*. Vol 13. Oct. pp 239-252.
- Rahmat, A. 2016. *Studi Desain Blast Furnace Kapasitas 5000 Ton/Hari Dengan Sumber Reduktan Arang Berbasis Pemodelan*. Surabaya. ITS.
- Shungo Natsui, Hifumi Takai, Ryota Nashimoto, Tatsuya Kikuchi, Ryosuke O. Suzuki. 2015. *Model study of the effect of particles structure on the heat and mass transfer through the packed bed in ironmaking blast furnace*. Jepang
- Stephen D.C. 2000. *Iron Melting Cupola Furnaces For the Small Foundry. 1st edition*. Stephen D. Chastain. Jacksonville.
- Sungging Pintowantoro. 2005. "Fundamental Study of Powder Deposition in Blast Furnace Base on Multi-Fluid Theory". Tohoku University. Jepang.
- Syaifullah, Hamzah. 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*. Surabaya. ITS.
- S, Natsui., Sigeru, Ueda., Hiroshi, Nogami., J, Kano., Ryou, Inoue. 2011. *Analysis on Non-Uniform Gas Flow in Blast Furnace Base on DEM-CFD Combine Model*. *Steel Research Int* 82 No.8.
- Tamoghna Mitra. 2016. *Modeling of Burden Distribution in the Blast Furnace*. Thermal and Flow Engineering Laboratory, Faculty of Science and Engineering ,Åbo Akademi University. Finland
- Park, J.I., Jung, J.H., Jo, M.K., Oh, H.S. and Han, J.W. (2011). *Mathematical modelling of the burden distribution in the blast furnace shaft*. *Metals and Materials International*, 17(3), 485-496.
- Teffo, V.B. dan N. Naude. 2013. *Determination of Coefficients of Restitution, Static and Rolling Friction of Eskom-grade Coal for Discrete Element Modelling*.

- Tyroler, G. P., Landolt. C. A., editor, 1998. *Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt*. New York: The Metallurgical Society.
- U.S. Geological Survey. 2016. *Mineral Commodity Summaries*. USA.
- Versteeg, HK. Malalasekera, W. 2007. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*. New Jersey. Prentice Hall.
- Yasfi. 2015. *Studi Pemodelan Proses Ekstraksi Bijih Nikel Lateriat pada Mini Blast Furnace Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

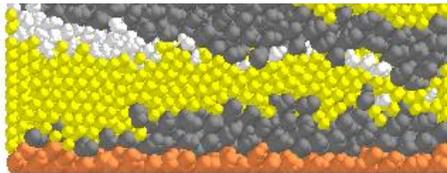
Lampiran A Perhitungan Massa Satu Kali *Charging* pada Tiap *Burden Materials*.

- Massa *Conditioned Ore* dalam 1 hari = 250.000 kg
- Massa *Conditioned Ore* per *batch* (diasumsikan 12 *batch*/hari)
= $250.000 \text{ kg} / 12 = 20.833,33 \text{ kg}$
- Massa *Conditioned Ore* per *batch* untuk setengah bagian MBF
= $20.833,33 / 8 = 2604.16625 \text{ kg}$
- Massa *charging Conditioned Ore* per layer (terdiri dari 20 layer) = $2604.16625 \text{ kg} / 20 = 130.208 \text{ kg}$
- Perbandingan massa conditioned ore : batu bara : *dolomite* =
25 : 17 : 16
- Massa *charging* batu bara per layer = $17/25 \times 130.208 \text{ kg} = 88.54 \text{ kg}$
- Massa *charging dolomite* per layer = $16/25 \times 520,833 \text{ kg} = 83.33 \text{ kg}$

Lampiran B Perhitungan *Pressure Drop* dengan Ergun Equation

$$\Delta P/H = \psi \cdot (1 - \epsilon)/(\epsilon^3 \cdot d) \cdot \rho \cdot w^2$$

- Perhitungan *pressure drop* dilakukan pada layer pertama batubara, dikarenakan belum terjadi deformasi. Ditunjukkan oleh Gambar di bawah dengan ketinggian layer 21.5 cm.
- Perhitungan *pressure drop* hanya bisa dilakukan pada layer yang homogen,
- Perhitungan di bawah dilakukan pada variabel ukuran ore 4 cm, diimana hasil dari simulasi didapat *pressure drop* sebesar 420 Pa,

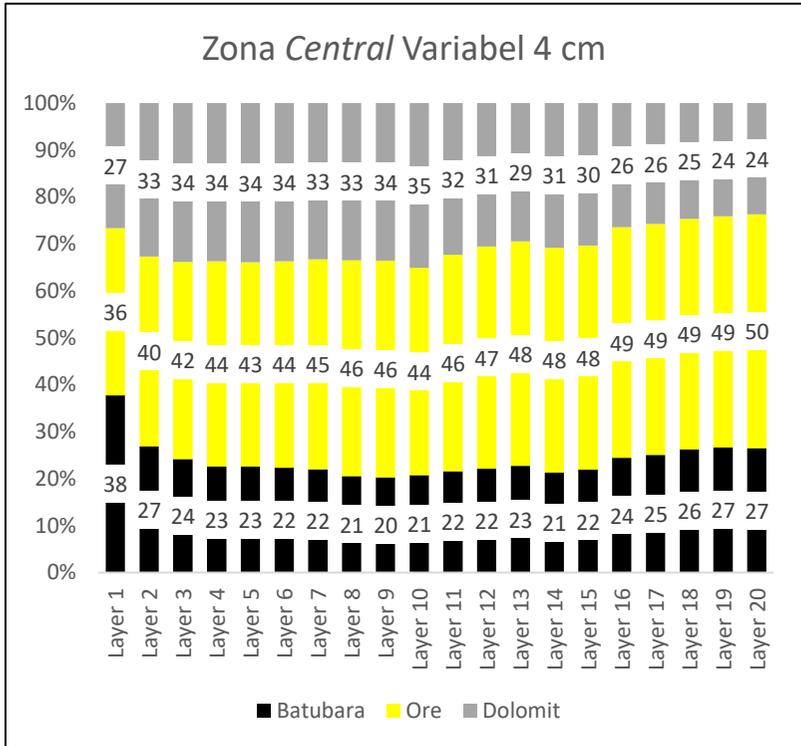


- $m \text{ batubara} = 137.7225 \text{ kg}$
- $\rho = \frac{m}{v}$
- $1311.67 = \frac{137.7225}{v}$
- $V = 0.105 \text{ m}^3$
- $Re = \frac{\rho \times w \times d}{\eta(1-\epsilon)}$
- $Re = \frac{1.225 \times 0.8 \times 0.08}{15.73 \times 10^{-5}(1-0.2)}$
- $Re = 623.0134$
- $\Psi = 1.75 + \frac{150}{623.0134}$
- $\Psi = 1.991$
- $\Delta P/H = \psi \cdot (1 - \epsilon)/(\epsilon^3 \cdot d) \cdot \rho \cdot w^2$
- $\Delta P = 1.991 \times (1 - 0.2)/(0.2^3) \times 1.225/0.08 \times 0.8^2 \times 0.23$
- $\Delta P = 448.7714 \text{ Pa}$

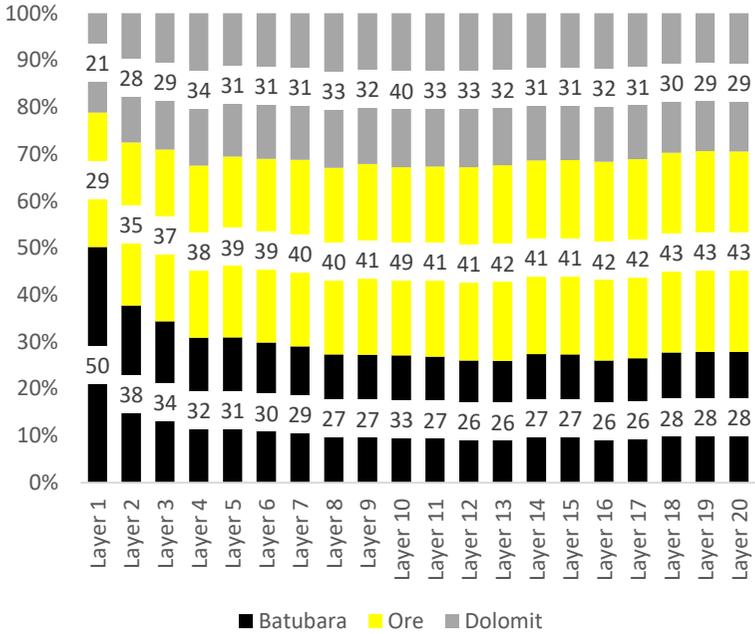
Validasi dengan hasil simulasi

$$\frac{448.7714 - 420}{448.7714} \times 100\% = 93\%$$

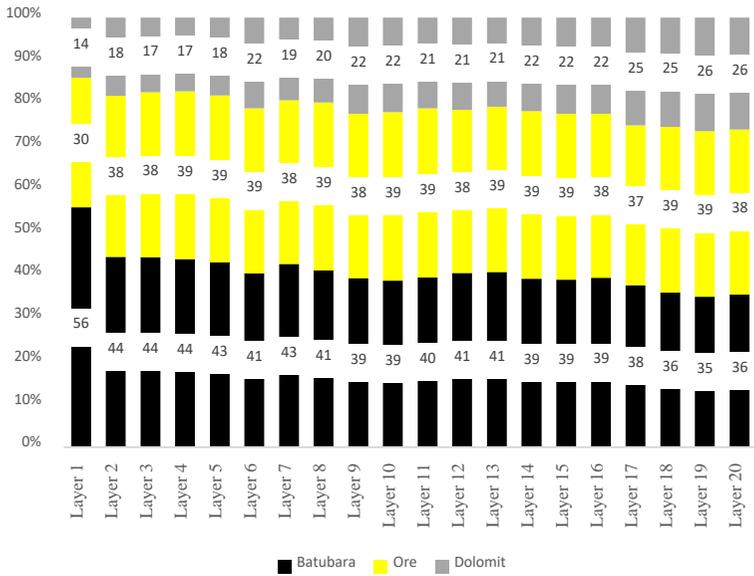
Lampiran C Perhitungan *Burden Material* tiap Zona Kerja *Mini Blast Furnace*



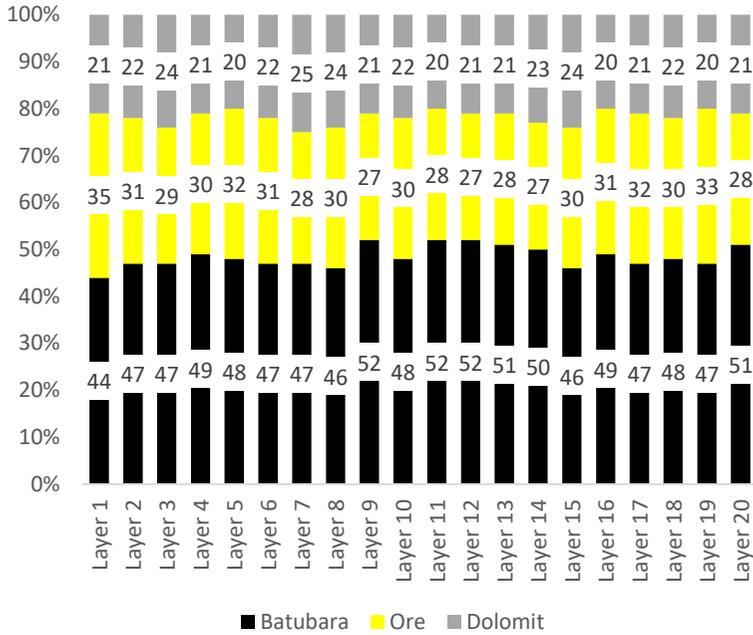
Zona Intermediate Variabel 4 cm



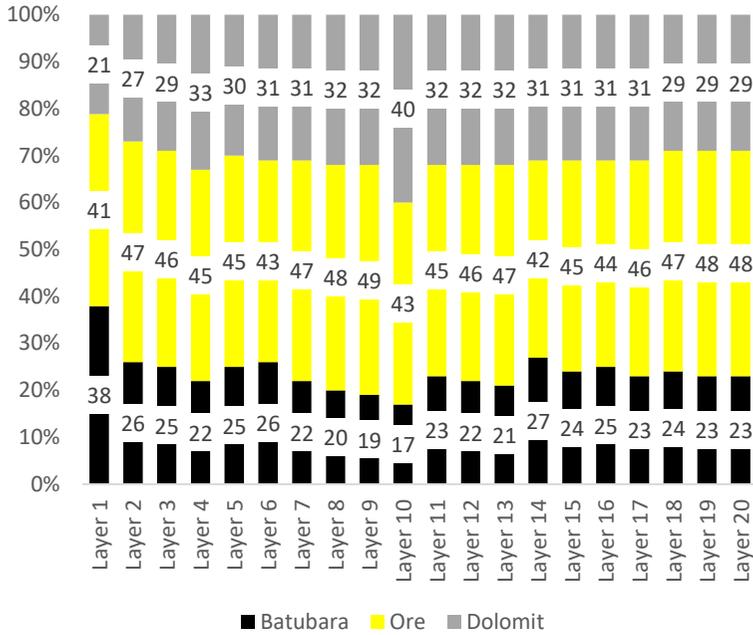
Zona Peripheral Variabel 4 cm



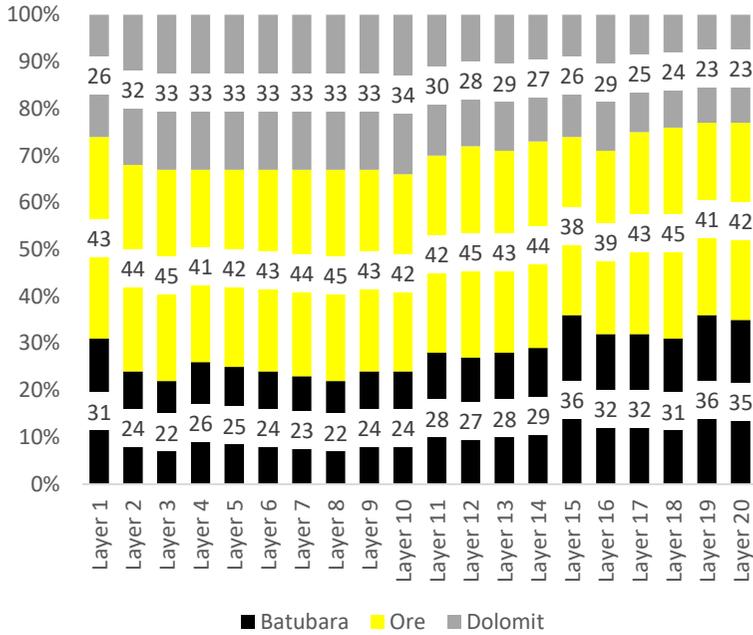
Zona Central Variabel 6 cm



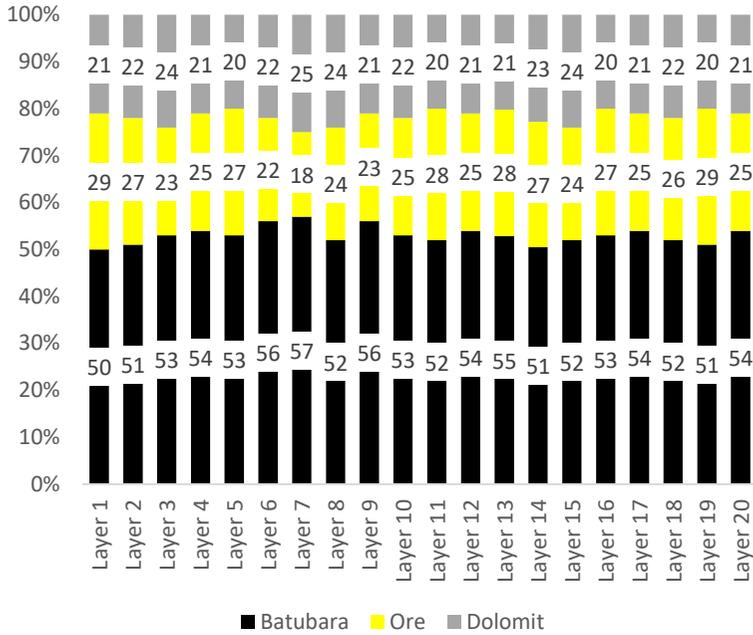
Zona Intermediate Variabel 6 cm



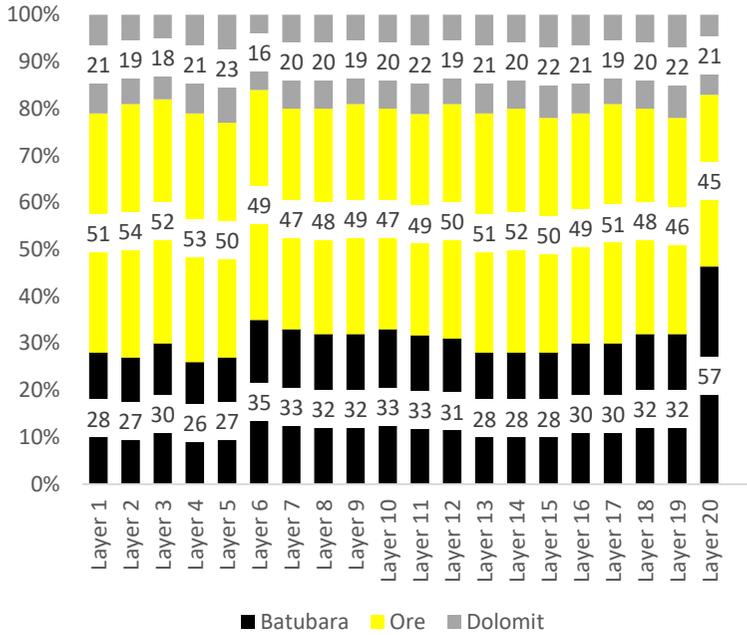
Zona Peripheral Variabel 6 cm



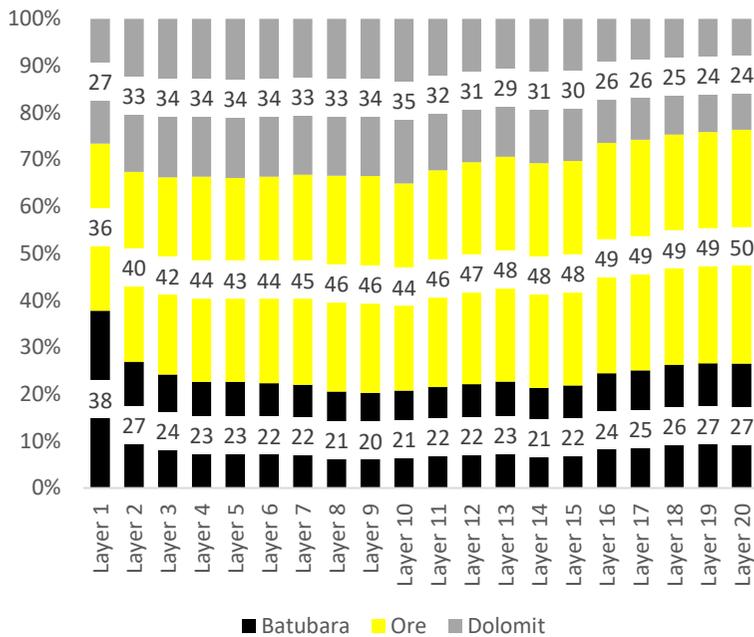
Zona Central Variabel 8 cm



Zona Intermediate Variabel 8 cm



Zona Peripheral Variabel 8 cm



BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Tangerang, pada tanggal 31 Mei 1996. Merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Taman Cibodas, SMPN 1 Tangerang dan SMAN 1 Tangerang. Setelah lulus dari SMAN tahun 2014, Penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP. 02511440000022.

Penulis aktif dalam berbagai kegiatan organisasi mahasiswa kampus, diantaranya yaitu Staff LDJ Ash-Haabul Kahfi 2015/2016 dan Kadep Kesekretariatan PM3I 2017/2018. Penulis juga aktif dalam mengikuti kompetisi nasional, diantaranya yaitu finalis Metalloscope di ITB, *Paper of The Month* dari PM3I, Juara 3 *Call for Paper* FORNANO di Unsri dan Juara 3 Lomba Cipta Guna Limbah Nusantara di Unsri. Penulis juga aktif sebagai Grader Metalurgi, Grader Perlakuan Panas, dan Asisten Laboratorium Pengolahan Mineral dan Material.

Untuk memulai fokus keprofesian, penulis melakukan kerja praktek di PT PETROKIMIA Gresik dan mengambil tugas akhir di Laboratorium Pengolahan Mineral dan Material dengan judul “ANALISIS PENGARUH UKURAN ORE MATERIAL TERHADAP DISTRIBUSI *BURDEN MATERIALS* DAN PROFIL TEKANAN GAS DI DALAM *MINI BLAST FURNACE* KAPASITAS 250 TON/HARI MENGGUNAKAN *DISCRETE ELEMENT METHOD – COMPUTATION FLUID DYNAMIC COUPLED MODEL*”

Email : ilhamnurirrofiq@gmail.com