



TUGAS AKHIR - TL141584

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*

MOHAMMAD RIZKI FEBRIANTO
NRP 2713 100 001

Dosen Pembimbing
Sungging Pintowantoro, ST, MT, Ph. D
Mas Irfan P. HIDAYAT ST, M.Sc., Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



TUGAS AKHIR -TL141584

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*

MOHAMMAD RIZKI FEBRIANTO
NRP 2713100001

Pembimbing :

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

Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc.,Ph.D

Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT-TL141584

**ANALYSIS OF LARGE BELL DIAMETER SIZE TO
THE LAYER DEFORMATION AND DISTRIBUTION
OF BURDEN MATERIALS IN MINI BLAST FURNACE
250 TON/DAY CAPACITY USING SOLID PARTICLE
MODEL**

MOHAMMAD RIZKI FEBRIANTO
NRP 2713100001

Advisor :

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

Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc.,Ph.D

Department of Materials Engineering
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISA PENGARUH UKURAN DIAMETER LARGE
BELL TERHADAP DEFORMASI LAYER DAN
DISTRIBUSI BURDEN MATERIALS DI DALAM MINI
BLAST FURNACE KAPASITAS 250 TON / HARI
MENGUNAKAN SOLID PARTICLE MODEL**

TUGAS AKHIR

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

Oleh :
MOHAMMAD RIZKI FEBRIANTO
NRP. 2713 100 001

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Sungging Pintowantoro, Ph.D (Pembimbing I)
Mas Irfan P. Hidayat ST., M.Sc., Ph.D (Pembimbing II)

SURABAYA
JULI 2017

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

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*

Nama : Mohammad Rizki Febrianto

NRP : 2713100001

Dosen Pembimbing : Sungging Pintowantoro ST., MT., Ph.D
Mas Irfan P. Hidyat ST., M.Sc., Ph.D

ABSTRAK

Charging system berperan sebagai pengatur distribusi burden materials di dalam Mini Blast Furnace. Selanjutnya, distribusi burden materials akan mempengaruhi aliran gas di dalam reaktor. Sehingga charging system memegang peranan penting terhadap proses pengolahan. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis pengaruh ukuran diameter large bell pada charging system dengan tipe double-bell system terhadap distribusi burden materials di dalam Mini Blast Furnace menggunakan Solid Particle Model. Setelah dianalisis, perbedaan diameter large bell menghasilkan distribusi burden materials yang berbeda. Semakin besar diameter large bell, titik impak yang kemudian akan menjadi puncak layer akan semakin mendekati wall dan sebaliknya. Sedangkan untuk penyebab deformasi layer terbesar adalah gravity failure akibat kondisi layer yang tidak stabil. Untuk distribusi partikel, partikel dengan massa dan ukuran lebih kecil (dolomite) cenderung terkonsentrasi pada daerah centre dan sebaliknya. Apabila ditinjau dari aliran gas untuk proses start-up, variabel dengan perbandingan diameter large bell dan diameter dalam Mini Blast Furnace 7:10 merupakan yang terbaik.

Kata Kunci : Mini Blast Furnace, Charging System, Solid Particle Model, Distribusi Burden Materials

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALYSIS OF LARGE BELL DIAMETER SIZE TO LAYER
DEFORMATION AND BURDEN MATERIALS DISTRIBUTION
IN MINI BLAST FURNACE 250 TON / DAY CAPACITY USING
SOLID PARTICLE MODEL

Name : Mohammad Rizki Febrianto
NRP : 2713100001
Advisor : Sungging Pintowantoro ST., MT., Ph.D
Mas Irfan P. Hidyat ST., M.Sc., Ph.D

Abstract

Charging system controls burden material distribution in Mini Blast Furnace. Furthermore, burden materials distribution influences gas flow in the reactor. So, charging system has an important role for Mini Blast Furnace process. Therefore, this research focuses to analyse the influences of large bell diameter size in charging system that used double-bell system for burden materials distribution in Mini Blast Furnace using Solid Particle Model. After analysed, the differences of large bell diameter size produce different burden materials distribution. The greater diameter size of large bell, impact point that will be the peak of layer will draw near to the wall and vice versa. The majority layer deformation is caused by gravity failure due to the stability of layer. For particle distribution, the heavier and smaller particle (dolomite) tends to centre area and vice versa. For the start-up process, variabel that has a ratio large bell diameter and Mini Blast Furnace inner diameter 7:10 has the best gas flow in the reactor.

Keywords : Mini Blast Furnace, Charging System, Solid Particle Model, Burden Materials Distribution

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Pencipta alam semesta yang tak pernah tidur, yang telah menciptakan barat dan timur, yang telah menciptakan alam semesta dengan sangat sempurna dan yang telah memberikan kekuatan bagi setiap insan. Alhamdulillah, dengan rahmat-Nya penulis mampu menyelesaikan seluruh rangkaian penyusunan laporan Tugas Akhir dengan judul “*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*”. Adapun laporan ini disusun dan diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan studi di Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih jauh dari kesempurnaan. Hal ini dikarenakan adanya keterbatasan kemampuan penulis dalam penyusunan laporan ini. Namun, penulis dapat menyelesaikan laporan ini berkat adanya perhatian, bimbingan, dan petunjuk dari berbagai pihak. Dengan adanya kekurangan dan kesalahan dalam penulisan laporan ini. Untuk itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan untuk menjadi evaluasi selanjutnya.

Demikian penulis berharap semoga laporan ini dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya khususnya bagi sesama mahasiswa yang fokus pada bidang pemodelan maupun pengolahan Mineral.

Surabaya, Juli 2017
Penulis

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Bijih Nikel	5
2.2. Batu Bara	7
2.3. <i>Dolomite</i>	8
2.4. <i>Mini Blast Furnace</i>	10
2.5. Distribusi <i>Burden Materials</i>	17
2.6. Kontrol Aliran Gas	18
2.7. Tipe Dasar <i>Melting Zone</i>	19
2.7.1 <i>Central Working Furnace</i>	19
2.7.2 <i>Wall Working Furnace</i>	20
2.8. <i>Charging System</i>	21
2.8.1 <i>Double-bell</i>	21
2.8.2 <i>Bell-less Top</i>	23
2.8.3 <i>Gimbal Top</i>	24
2.8.4 <i>Bell-less Rotary Charging System</i>	25
2.8.5 <i>No-bell Top Charging System</i>	25

2.9	Deformasi Layer <i>Burden Materials</i>	26
2.10	<i>Solid Particle Model</i>	27
2.11	Penelitian Sebelumnya	32
2.11.1	Pengaruh Massa Jenis <i>Charging Particle</i> Terhadap Pembentukan Cekungan (<i>Gouge</i>) pada Layer yang Ditumbuk	32
2.11.2	Perbandingan Hasil Simulasi <i>Solid Particle</i> <i>Model</i> pada <i>Spherical Particle Model</i> dan <i>Clumped Particle Model</i>	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1.	Diagram Alir Penelitian	35
3.2.	Prosedur Pemodelan	36
3.3.	Sifat Fisik dan Mekanik Material.....	36
3.4.	Geometri MBF.....	38
3.5.	Bentuk Partikel <i>Burden Materials</i>	40
3.6.	Data Operasional Proses <i>Charging Burden</i> <i>Materials</i>	42
3.7.	Alur Pemodelan.....	43
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		
4.1	Formasi Layer <i>Burden Materials</i> di Dalam <i>Mini</i> <i>Blast Furnace</i>	47
4.2	Deformasi Layer <i>Burden Materials</i>	51
4.2.1.	Deformasi pada Layer Batu Bara	51
4.2.2.	Deformasi pada Layer <i>Conditioned Ore</i>	56
4.2.3.	Deformasi pada Layer <i>Dolomite</i>	61
4.3	Persebaran Fraksi <i>Burden Materials</i>	66
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1.	Kesimpulan	77
5.2.	Saran	77
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		
Lampiran A Distribusi Fraksi <i>Burden Materials</i> pada Tiap Layer.....		81
Lampiran B Perhitungan Massa Satu Kali <i>Charging</i> pada Tiap <i>Burden Materials</i>		85

UCAPAN TERIMA KASIH	xxi
BIODATA PENULIS	xxiii

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Profil Lapisan Nikel Laterit Beserta Komposisi	6
Gambar 2.2	Batu Bara.....	7
Gambar 2.3	Hubungan <i>Voidage</i> , Diameter dan <i>Pressure Drop</i> (Geerdes, 2009).....	8
Gambar 2.4	<i>Dolomite</i>	9
Gambar 2.5	Masukan dan Keluaran <i>Blast Furnace</i>	10
Gambar 2.6	Hembusan Udara Panas pada <i>Raceway</i>	13
Gambar 2.7	<i>Zona Blast Furnace</i>	14
Gambar 2.8	Daerah-daerah pada Kupola Peleburan Besi	16
Gambar 2.9	Distribusi <i>Burden Materials</i>	17
Gambar 2.10	Skema Distribusi Aliran Gas	18
Gambar 2.11	<i>Central Working Furnace</i>	20
Gambar 2.12	<i>Wall Working Furnace</i>	21
Gambar 2.13	Skema Kerja <i>Double-bell</i>	22
Gambar 2.14	<i>Bell-less Top Charging system</i>	23
Gambar 2.15	<i>Gimbal Top Charging System</i>	24
Gambar 2.16	<i>Bell-less Rotary Charging system</i>	25
Gambar 2.17	<i>No-bell Top Charging Sytem</i>	26
Gambar 2.18	<i>Impact failure</i> dan <i>Gravity failure</i>	27
Gambar 2.19	Kontak Model Interaksi Antar Partikel	28
Gambar 2.20	Formasi Tumbukan pada Partikel pada Proses <i>Charging</i>	32
Gambar 2.21	Tampak Atas Perbandingan Hasil Simulasi <i>Spherical Particle Model</i> dan <i>Clumped Particle Model</i>	33
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 3.2	Tampak Atas Bagian Pemodelan MBF.....	39
Gambar 3.3	Geometri MBF untuk Ke-tiga Variabel	40

Gambar 3.4	Bentuk Partikel <i>Burden Materials</i> (a) Partikel <i>Conditioned Ore</i> , (b) Partikel batu Bara 1, (c) Partikel batu bara 2, (d) Partikel batu Bara 3, (e) Partikel <i>Dolomite</i> 1, (f) Partikel <i>Dolomite</i> 2, (g) Partikel <i>Dolomite</i> 3.....	41
Gambar 3.5	Daigram Alir Pemodelan.....	44
Gambar 3.6	Pengaruh Jumlah Processor Terhadap Waktu yang Dibutuhkan Dalam Proses Simulasi	45
Gambar 4.1	Tampak Potongan Atas Distribusi <i>Burden Materials</i>	47
Gambar 4.2	Formasi Layer <i>Burden Materials</i>	48
Gambar 4.3	Bentuk Permukaan <i>Stock</i>	50
Gambar 4.4	Alur Proses Charging <i>Conditioned Ore</i> dalam MBF pada Variabel (a) 1, (b) 2 dan (c) 3	52
Gambar 4.5	Energi Kinetik Maksimum pada Proses <i>Charging Conditioned Ore</i>	53
Gambar 4.6	Deformasi Layer Batu Bara pada Akhir Tumbukan	55
Gambar 4.7	Alur Proses Charging <i>Dolomite</i> pada Variabel (a) 1, (b) 2 dan (c).....	57
Gambar 4.8	Energi Kinetik Maksimum pada Proses <i>Charging Dolomite</i>	59
Gambar 4.9	Deformasi pada Layer <i>Conditioned Ore</i>	60
Gambar 4.10	Alur Proses Charging Batu Bara pada Variabel (a) 1, (b) 2 dan (c)	62
Gambar 4.11	Energi Kinetik Maksimum pada Proses Batu Bara	64
Gambar 4.12	Deformasi pada Layer <i>Dolomite</i>	65
Gambar 4.13	Ketebalan Layer 20 pada Daerah Radial MBF untuk Variabel (a) 1, (b) 2, dan (c) 3	68

Gambar 4.14	Ketebalan Layer <i>Burden Materials</i> pada Asumsi Daerah dengan Temperatur Kurang dari 1000 °C untuk variabel (a) 1, (b) 2 dan (c) 3	71
Gambar 4.15	Ketebalan Layer <i>Burden Materials</i> pada Asumsi Daerah dengan Temperatur Lebih dari 1000 °C untuk variabel (a) 1, (b) 2 dan (c) 3....	74

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Sifat Fisik dan Mekanik Material Input	37
Tabel 3.2	Variabel Penelitian	38
Tabel 3.3	Spesifikasi Partikel <i>Burden Materials</i> di Dalam <i>Solid Particle Model</i>	42
Tabel 3.4	Spesifikasi Massa <i>Charging</i> untuk Setengah Bagian MBF	43
Tabel 4.1	Titik Impak pada Layer batu Bara.....	53
Tabel 4.2	Titik Impak pada Layer <i>Conditioned Ore</i>	58
Tabel 4.3	Titik Impak pada Layer <i>Dolomite</i>	63

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara yang kaya akan Sumber Daya Alam, salah satunya adalah nikel. Indonesia memiliki cadangan nikel yang sangat besar, yaitu 4.500.000 metrik ton dan berada pada posisi ke-enam sebagai Negara dengan cadangan nikel terbanyak, setelah Australia, Brazil, New Kaledonia, Rusia, dan Kuba (USGS, 2016). Namun, melimpahnya cadangan nikel tidak diikuti dengan jumlah perusahaan pengolahan nikel. Potensi yang begitu besar kurang bisa termanfaatkan karena hanya terdapat dua perusahaan pengolahan nikel yang mayoritas diekspor, yaitu PT Antam dengan produk *ferro nickel* dan PT Vale dengan produk *nickel matte* (ESDM, 2012).

Disisi lain, pemerintah mulai menyadari bahwa sektor pertambangan merupakan sektor yang sangat strategis dalam perekonomian pusat maupun daerah, sektor ini merupakan penggerak utama (*prime mover*) pembangunan dan juga memberikan manfaat *multiplier effect* yang cukup signifikan. Ekspor dari sektor pertambangan umumnya meningkat dari tahun ke tahun, baik dari sisi volumenya maupun nilai, untuk seluruh komoditas mineral. Untuk mengoptimalkan pendapatan dari sektor ini, pemerintah melalui Undang-Undang No. 4 Tahun 2009 tentang pertambangan mineral dan batubara dan Peraturan Pemerintah No. 23 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Kegiatan Usaha Pertambangan Mineral dan Batubara telah mewajibkan bagi semua perusahaan tambang untuk mengolah produknya di dalam negeri paling lambat tahun 2014, dengan demikian tidak ada lagi penjualan / ekspor dalam bentuk *raw material*. Peraturan ini menyebabkan ekspor bijih nikel yang sebelumnya mengalami peningkatan sekitar 2,5 kali lipat selama periode 2003-2009 mengalami penurunan drastis (ESDM, 2012). Hal tersebut disebabkan oleh pertumbuhan industri pengolahan mineral (*smelter*) di dalam negeri masih sangat kecil tidak sebanding dengan jumlah mineral yang diproduksi.



BAB I PENDAHULUAN

Pembangunan *smelter* di Indonesia menjadi permasalahan besar bagi banyak perusahaan agar tetap bisa beroperasi di Indonesia. Kebutuhan investasi yang memerlukan jaminan jangka panjang dengan pasokan bahan baku minimal 15 sampai 30 tahun dan besarnya investasi awal yang harus dikeluarkan untuk membangun *smelter* menjadi permasalahan utama. Disisi lain, pemilihan teknologi juga memegang peran penting karena akan mempengaruhi efisiensi proses pengolahan mineral. Pada saat ini, terdapat teknologi pengolahan mineral (*smelter*), yaitu *Mini Blast Furnace* (MBF) yang banyak digunakan oleh negara berkembang karena biaya investasi awal lebih rendah tanpa mengurangi performa produksi pengolahan mineral.

Sebagai bentuk dukungan terhadap UU Minerba No.4 Tahun 2009 dan sebagai upaya untuk mewujudkan kemandirian Bangsa, Institut Teknologi Sepuluh Nopember telah dan sedang mengembangkan teknologi MBF pengolahan bijih nikel laterit menjadi *ferronickel*. MBF merupakan reaktor yang menggunakan proses *pyrometallurgy* atau proses pengolahan suatu mineral dengan menggunakan energi panas (Hidayatullah, 2016). MBF memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan *blast furnace* namun memiliki skala yang lebih kecil.

MBF yang dikembangkan ITS berbentuk silinder tegak dengan bagian atas berbentuk kerucut atau *conical* dengan kapasitas 250 ton/hari. Pada bagian atas dilengkapi oleh *charging system* dengan tipe *Double-bell* yang terdiri dari *small bell* pada bagian atas dan *large bell* pada bagian bawah. Pertimbangan pemilihan *charging system* tipe ini adalah biaya investasi awal dan *operational cost* yang lebih rendah jika dibandingkan dengan tipe *charging system* lain. *Charging system* berfungsi sebagai pengatur distribusi *burden materials* di dalam MBF. Distribusi *burden materials* di dalam sistem operasi MBF memegang peranan penting terhadap efektifitas dan efisiensi proses. Distribusi *burden materials* yang memiliki tingkat permeabilitas yang berbeda sangat mempengaruhi aliran gas di dalam MBF. Semakin baik aliran gas di dalam MBF, maka semakin baik pula



BAB I PENDAHULUAN

distribusi temperatur dan kestabilan proses dalam MBF (Mitra,2015). Selain itu, distribusi aliran gas juga mempengaruhi kecepatan reaksi reduksi pada *burden materials* dan jumlah energi yang dibutuhkan (Greedes, 2015). Sehingga *charging sytem* memiliki peran yang sangat penting dalam keberlanjutan proses produksi.

Penelitian ini dilakukan dengan proses simulasi menggunakan *Solid Particle Model* . Proses simulasi ini memberikan banyak kelebihan terhadap penelitian yang dilakukan. Selain menekan besarnya materi dan waktu yang dikeluarkan, proses simulasi tersebut mampu memberikan informasi kepada operator maupun *engineer* untuk mengetahui kondisi di dalam MBF dengan lebih jelas, seperti persebaran *burden materials* yang sangat kompleks. Sehingga proses simulasi ini dapat digunakan untuk mendesain *charging system*, dengan fokus aliran solid dan gas (Mitra,2015). Oleh karena itu, setelah meninjau peran *large bell* dalam MBF dilakukanlah suatu penelitian untuk mengetahui pengaruh ukuran diameter *large bell* terhadap distribusi *burden materials* di dalam MBF dengan menggunakan *Solid Particle Model*.

1.2. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana jenis deformasi layer *burden materials* pada bagian *throat* ?
2. Bagaiman distribusi *burden materials* di dalam *Mini Blast Furnace*?
3. Bagaimana mengetahui diameter *large bell* terbaik diantara variabel diameter *large bell* yang telah dipilih?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penulisan tugas akhir ini adalah

1. Ukuran *conditioned ore*, batu bara dan *dolomite* dianggap homogen



BAB I PENDAHULUAN

2. Deformasi pada partikel *burden materials* diabaikan
3. Peran *small bell* diabaikan, karena persebaran *burden materials* pada tabung *large bell* telah merata

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan, antara lain :

1. Menganalisa jenis deformasi layer *burden materials* pada bagian *throat*.
2. Menganalisa distribusi *burden materials* dalam *Mini Blast Furnace*.
3. Menganalisa diameter *large bell* terbaik diantara variabel diameter *large bell* yang telah dipilih.

I. 5. Manfaat Pemodelan

Dengan adanya pemodelan pada *charging system Mini Blast Furnace* dapat memberikan perhitungan secara empiris dan gambaran distribusi *burden materials* di dalam *Mini Blast Furnace* untuk ukuran diameter *large bell* tertentu. Sehingga akan sangat membantu dalam hal pengembangan reaktor *Mini Blast Furnace*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bijih Nikel

Nikel adalah logam berwarna putih keperakan, berkilau dan sedikit bersifat magnetik. Secara umum, nikel terbagi atas dua jenis mineral, yaitu Laterit dan Sulfida. Bijih Nikel Laterit secara geografis ditemukan di daerah tropis dan sub tropis, dimana terdapat hujan yang melimpah dan pembusukan vegetasi yang menyediakan air tanah bersifat asam yang efektif untuk pembentukan batuan kaya akan *olivine (peridotite, pyroxenite, dan dunitite)* dengan kandungan utamanya adalah nikel. Air tanah yang bersifat asam menyerang dan melarutkan magnesium, besi, cobalt, dan nikel, sementara silika menghambat secara koloid di dalam larutan. Karena air tanah tidak terlalu asam, sebagian dari besi terlarut kedalam air tanah dan teroksidasi menjadi *ferric iron* dan mengendap menjadi *ferric goethite*. *Cobalt* juga mengendap, sebesar bagian dari besi. Karena besi yang tersapu air tanah disaring melalui batuan dan tanah, air tanah sebagian dinetralkan oleh magnesia yang terletak dalam batuan dan nikel, lalu diendapkan sebagai *hydrous nickel-magnesium silicates (saprolite)*. Sedangkan untuk 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 *pyrhotite* dan juga kalkopirit. Sulfida yang ditambang untuk mendapatkan nikel mengandung nikel sebesar 1,5% - 3% Ni .

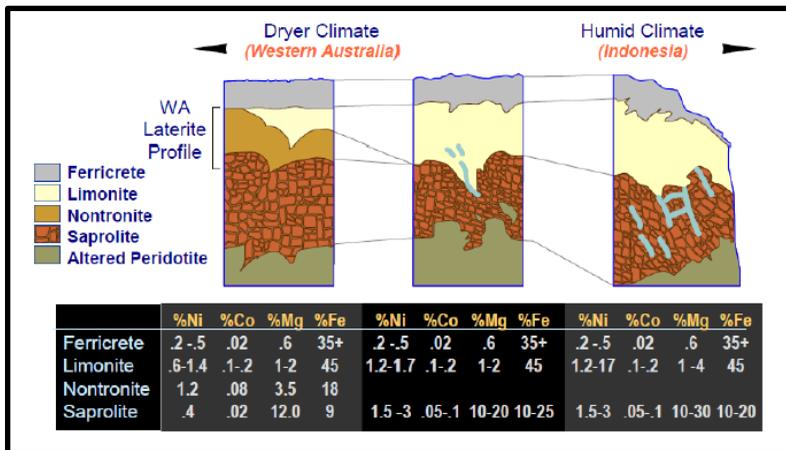
Jenis Nikel Laterit adalah yang paling banyak ditemukan di Indonesia. Bijih nikel dari mineral oksida (*Laterite*) ada dua jenis yang umumnya ditemui yaitu Saprolit dan Limonit dengan berbagai variasi kadar. Perbedaan menonjol dari 2 jenis bijih ini



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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 $< 2\%$ (Dio, 2016).

Klasifikasi yang dilakukan oleh beberapa sumber menjelaskan bahwa profil lapisan nikel dapat dijelaskan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Profil Lapisan Nikel Laterit Beserta Komposisi (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004)

Pada proses pengolahan nikel laterit dengan menggunakan *Mini Blast Furnace*, dilakukan proses *conditioning* terhadap nikel laterit sebelum dimasukkan ke dalam MBF. Pada proses *conditioning* seperti yang dilakukan pada Laboratorium Pengolahan Mineral ITS, Nikel laterit dibentuk seperti bola dengan ukuran diameter sekitar 6 cm dan kemudian dipanaskan pada temperatur reduksi untuk mengurangi *moisture* dan waktu



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

reduksi sehingga akan meningkatkan efektifitas saat proses produksi pada MBF berjalan.

2.2. Batu Bara

Batu bara memenuhi tiga fungsi utama dalam *blast furnace* antara lain menghasilkan panas, sebagai agen pereduksi dan sebagai pendukung struktur material. Lebih lanjut batu bara berperan sebagai penyedia zat karbon dalam proses karbonisasi.



Gambar 2.2 Batu Bara (majalahbatu.com)

Panas dihasilkan dari gasifikasi batu bara di depan tuyer (atau biasa disebut *Raceway*) dan terutama dibawa oleh gas panas yang disemburkan. Panas yang dihasilkan dari pembakaran batu bara 80% digunakan dari keseluruhan kebutuhan panas *blast furnace*. Panas dibutuhkan untuk reaksi endotermik, pemanasan awal dan peleburan masukan pemanasan produk cair.

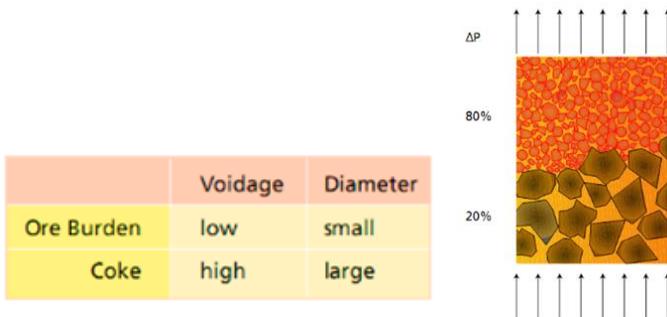
Karbon dan oksigen bereaksi membentuk karbon monoksida secara langsung ($2C + O_2 = 2 CO$) atau pada temperatur tinggi melalui reaksi *Boudouard* ($C + O_2 = CO_2$ dan kemudian reaksi *solution loss* $CO_2 + C = 2CO$). Karbon monoksida (juga gas hidrogen) berfungsi sebagai media pereduksi. Sebagai media pereduksi, karbon monoksida sangat dibutuhkan karena kebutuhan konsumsi panasnya lebih sedikit jika dibandingkan reaksi langsung batu bara dengan *ore* yang membutuhkan panas lebih banyak karena reaksi endotermik.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

Terdapat perbedaan antara lapisan *ore* dan lapisan kokas. Perbedaan ini terjadi akibat adanya perbedaan ukuran diameter *ore* dan kokas. Pada Gambar 2.3 terlihat bahwa lapisan *iron ore* 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, 2009).



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

2.3. *Dolomite*

Dolomite merupakan bahan alam yang banyak terdapat di Indonesia. *Dolomit* merupakan salah satu batuan sedimen yang banyak ditemui (Noviyanti dkk, 2015). Senyawa yang ada pada



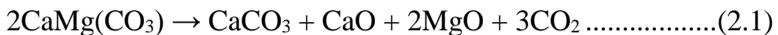
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

dolomit yaitu gabungan antara kalsium karbonat dengan magnesium karbonat [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$].



Gambar 2.4 Dolomite (ESDM, 2016)

Dolomite akan terdekomposisi termal secara langsung membentuk CaCO_3 dan CO_2 disertai dengan pembentukan MgO pada temperature antara $700\text{ }^\circ\text{C}$ hingga $750\text{ }^\circ\text{C}$. Dimana reaksi yang terjadi seperti pada reaksi 2.1 :



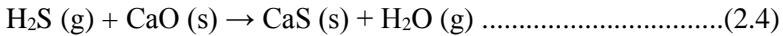
Pada temperatur yang lebih tinggi, CaCO_3 akan mulai terdekomposisi meskipun masih terdapat dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Reaksi dekomposisi dolomit dan CaCO_3 akan berlangsung secara spontan yang terdiri dari 2 reaksi, yaitu reaksi 2.2 dan 2.3:



Reaksi tersebut akan berlangsung secara spontan pada temperature $780 - 785\text{ }^\circ\text{C}$ serta terdekomposisi secara keseluruhan pada temperatur $950 - 960\text{ }^\circ\text{C}$ (Philip Engler, dkk. 1988). Gas CO_2 ini berguna untuk reaksi pembentukan gas CO (Reaksi Boduard).



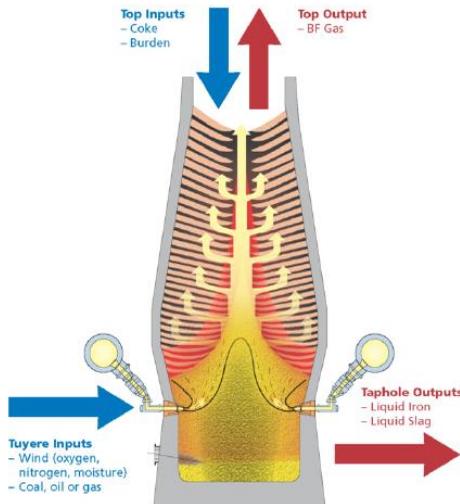
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



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

2.4. *Mini Blast Furnace*

Mini Blast Furnace adalah suatu reaktor riset *Blast Furnace* yang sedang dikembangkan oleh Laboratorium Pengolahan Mineral, jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dengan kapasitas 250 ton per hari yang bekerja dengan sistem *counter current flow*. 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 (refraktori).



Gambar 2.5 Masukan dan Keluaran *Blast Furnace* (Geerdes, 2015)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Cara kerja atau prinsip kerja dari MBF mengadopsi Blast Furnace. Dimana untuk masukan terdiri dari *burden materials* dan hembusan udara sebagai suplai oksigen. Sedangkan untuk keluaran berupa gas, logam dan *slag* cair. Struktur MBF berbentuk silinder memanjang dengan bagian atas meruncing/konus. Sistem pemasukan material umpan termasuk ore nikel laterit, dolomit dan batubara terdapat pada bagian atas *Mini Blast Furnace* melalui *hopper* yang mengatur distribusi material umpan terdistribusi merata, selanjutnya material umpan akan mengalami pemanasan awal pada area *preheat* dan mengalami *melting* pada area *melting* serta mengalami *superheat* dan tereduksi pada area reduksi. Tahap akhir dari proses *Mini Blast Furnace* pada ini adalah pengeluaran logam cair dan *slag*, lubang pengeluaran cairan logam dan *slag* pada *Mini Blast Furnace* yang terdapat di Laboratorium Pengolahan Mineral dan Material, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI- ITS berbeda dengan *blast furnace* secara umumnya. Jika pada Blast furnace lubang cairan logam dan *slag* dipisah dengan prinsip kerja memanfaatkan berat jenis dari logam cair dan *slag*, maka pada reaktor riset *Mini Blast furnace* lubang cair logam dengan *slag* dibuat menjadi satu. Sehingga untuk memisahkan *slag* dan logam dilakukan proses pemisahan mekanik di luar sistem kerja *Mini Blast Furnace*.

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. Pada bagian bawah dekat dengan dasar *Bosh* terdapat *Tapping Hole* atau lubang yang berfungsi sebagai tempat mengalirnya logam cair dan *slag* hasil proses dari *blast furnace*. Tuyser terletak diatas *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 kebagian dalam *Blast Furnace* dengan pipa pengalir berdiameter lebih kecil dibanding dengan pipa sabuk. Desain dari tuyser ini



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

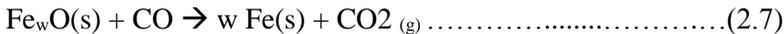
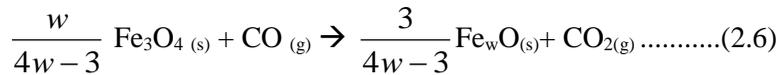
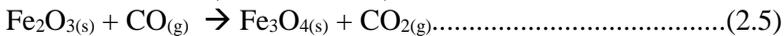
memberikan andil pada tingkat keberhasilan proses dalam *Blast Furnace* ataupun *Mini Blast Furnace* .

Bagian dalam blast *furnace* terbagi atas tiga struktur fisik, yaitu:

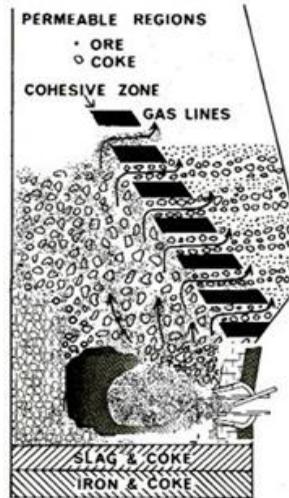
1. *Raceway*

Raceway adalah area dimana banyak terdapat kekosongan atau void dikarenakan terdapat hembusan fluida/udara bertekanan dan berkecepatan tinggi dari tuyer. 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 arang dan terjadi reaksi sehingga terbentuk karbon monoksida dan karbon dioksida.

Karbon monoksida merupakan gas reduktan yang dapat mereduksi oksida besi secara tak langsung. Reduksi oksida besi secara tak langsung terjadi dalam bentuk tiga tahapan reaksi kimia berikut ini (Castro, 2005)



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 2.6.



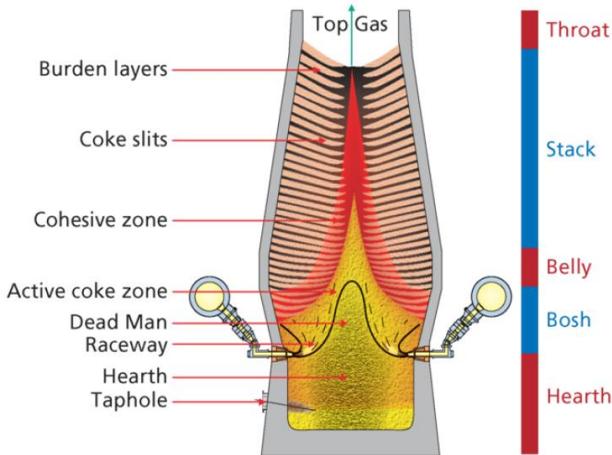
Gambar 2. 6 Hembusan Udara Panas pada Daerah *Raceway* (Hirosi Nagomi, 2006)

2. *Cohesive Zone* (Area Kohesif)

Pada area kohesif ini material umpan (ore, sinter atau pellet) 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 permeabilitasnya (Sungging, 2005). Faktor ini yang harus diperhatikan sehingga suplai udara yang di hembuskan melalui tuyer 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. Pada Gambar 2.7 menunjukkan skema yang ada di dalam *Blast Furnace* termasuk menunjukkan zona kohesif yang ada didalam proses.



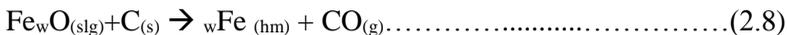
BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.7 Zona Blast Furnace (Geerdes, 2015)

3. Deadman

Pada area ini terdapat pergerakan yang sangat lambat dari fase solid atau dapat diartikan area statik. Deadman berbentuk konikal terletak pada bagian tengah *bosh*, pada area *deadman* arang atau karbon diam dalam jangka waktu yang lama-harian (Castro, 2006). Pada umumnya pada daerah deadman ukuran arang lebih kecil dibanding dengan rata-rata ukuran arang pada *blast furnace* yang dapat mengakibatkan reaksi dilusi dari karbon, reduksi secara langsung oksida besi dan transfer silika. Reaksi reduksi langsung pada proses pengolahan bijih besi melibatkan karbon dari arang dan merupakan reduktan yang kuat. Reaksi reduksi ini merupakan reaksi endotermik yang sangat kuat sehingga membutuhkan temperatur yang tinggi. Reaksi kimia reduksi oksida besi secara langsung oleh karbon adalah sebagai berikut.

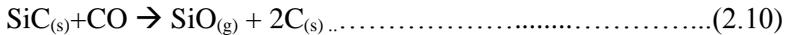
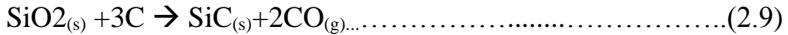


Selain reaksi reduksi secara langsung oksida besi oleh reduktan karbon, pada area ini juga terjadi transfer silika. Transfer silika juga merupakan proses yang sangat penting setelah proses



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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 reaksi dibawah ini



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

Selain zona tersebut, dengan melihat sumber lain karena *Mini Blast Furnace* (MBF) memiliki desain yang mirip seperti kupola untuk peleburan besi. Oleh karena itu, daerah-daerah yang ada pada MBF juga mirip seperti daerah – daerah yang ada pada kupola. Terdapat lima area di dalam kupola. Area-area ini antara lain daerah Well, Pembakaran, Reduksi, Pelelehan dan daerah pemanasan awal. Desain kupola untuk peleburan besi dapat dilihat pada Gambar 2.8.

Daerah *well* terdapat pada bagian bawah kupola. Daerah ini menampung logam cair hingga kupola dilakukan tapping. Kedalaman well mempengaruhi temperatur logam yang ditapping. Logam cair yang lebih panas disebabkan oleh daerah well yang dangkal. Pemisahan *slag* dan mengambangnya *slag* terjadi di daerah well ini (Stephen, 2000).

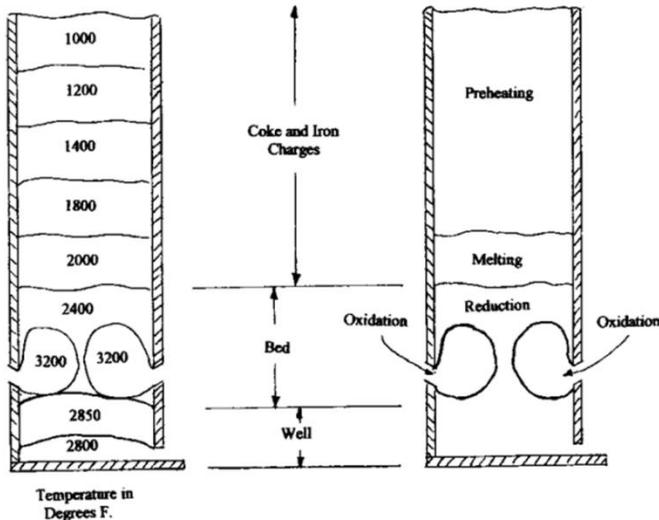
Daerah pembakaran (*combustion zone*) adalah suatu daerah di mana *blast* masuk ke dalam kupola dan bereaksi dengan kokas untuk membentuk karbon monooksida dan karbon dioksida. Panas dari reaksi dapat memanaskan logam dan membentuk gas panas, yang mana melelehkan dan memanaskan awal material yang masuk. Hal ini adalah daerah dimana energi termal atau panas terbentuk.

Daerah reduksi adalah bagian luar dari daerah pembakaran dan daerah oksidasi. Logam mengalami superheated



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

pada daerah ini. Oksida dari logam direduksi juga pada daerah ini (Stephen, 2000).



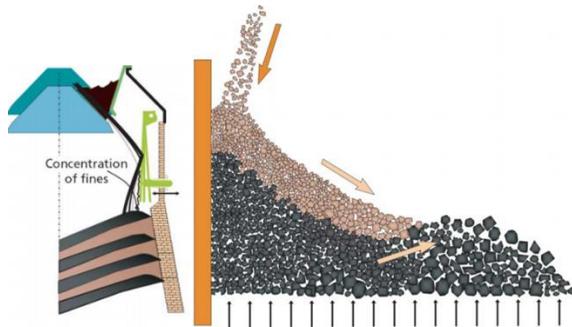
Gambar 2.8 Daerah-daerah pada Kupola Peleburan Besi (Stephen, 2000).

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 ambien hingga temperatur pelelehan. Material yang masuk menerima jumlah tambahan panas terbesar pada daerah ini. Gas yang masuk ke dalam daerah ini memiliki temperatur sekitar 1204°C (2200 F), akan tetapi setelah memberikan panasnya pada material yang masuk, gas keluar dari tanur pada temperatur 204 sampai 427 OC . 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).



2.5 Distribusi Burden Materials

Ketika *burden materials* dimasukkan ke dalam reaktor, hal tersebut akan mendorong partikel batu bara menuju pusat. Efek ini disebut *coke push* dan akan semakin menuju pusat ketika reaktor beroperasi. Dengan *double bell system*, ketebalan lapisan burden material dapat ditentukan dengan mengatur katup *bell*. Lapisan ore yang lebih kecil akan memberikan aliran gas yang baik di dalam *blast furnace* dan sebaliknya. Distribusi *burden materials* yang optimal akan mengakibatkan lapisan ore dan batu bara yang optimal, sehingga akan mengakibatkan permeabilitas aliran gas di dalam *blast furnace* yang optimal.



Gambar 2.9 Distribusi *Burden Material* (Gerdes, 2015)

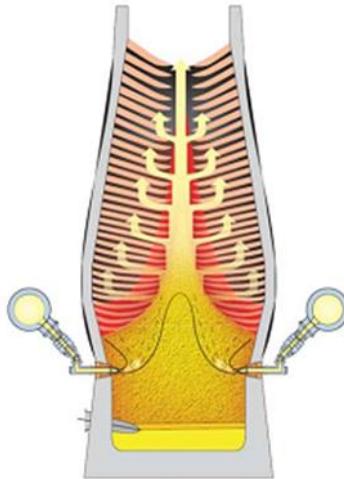
Distribusi gas diatur oleh pola resistensi dari lapisan *burden* dan oleh jumlah *burden ore* yang mencapai pusat. Perubahan distribusi burden dapat mempengaruhi perubahan aliran gas. Aliran gas dapat mempengaruhi masalah operasional, seperti *burden level* yang rendah atau masalah pada *casthouse*. Sehingga burden material penting untuk diatur agar aliran gas yang baik dan *furnace* dapat beroperasi optimal. Tebal lapisan diatur untuk memperoleh permeabilitas layer batu bara yang baik dan lapisan ore yang tipis membuat layer *ore* mencair dengan baik (Gerdes, 2009).



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.6 Kontrol Aliran Gas

Aliran gas optimal dalam tungku modern yang dioperasikan dengan produktifitas tinggi dan kecepatan input batu bara yang rendah memiliki daerah zona kohesif berbentuk V terbalik. Tetapi, gas reduktor yang melalui pusat *furnace* (daerah pusat dimana tidak terdapat bijih besi) tidak dimanfaatkan dengan optimal. Kehilangan gas "tidak terpakai" ini harus diminimalkan. Jika aliran gas sentral terlalu tinggi, aliran gas di sepanjang dinding terlalu kecil untuk pemanasan, reduksi dan peleburan bijih besi dan akibatnya bagian bawah zona kohesif semakin mendekati tuyer. Dalam kondisi ini kecepatan pemakaian reduktor akan meningkat dan kemungkinan besar terjadi kerusakan tuyer.



Gambar 2.10 Skema Distribusi Aliran Gas (Geerdes, 2015)

Sangat penting aliran gas pusat mendistribusikan aliran gas sendiri melalui celah batu bara ke lapisan *ore*. Oleh karena itu, permeabilitas bagian batu bara pada bagian *centre* tidak boleh terlalu tinggi, yang berarti bahwa diameter batu bara pusat tidak boleh terlalu besar. Di lain sisi, jika aliran gas pada bagian *centre*



tersebut (sebagian) ditahan, bagian gas yang relatif besar lewat sepanjang dinding *furnace* dan didinginkan rendah dalam tungku. Reaksi reduksi menjadi melambat. Dalam situasi ini, aliran gas pada bagian *centre* menjadi rendah dan terjadi *heat-loss* yang tinggi. Pengalaman menunjukkan bahwa aliran gas di dinding *furnace* dan aliran gas pada bagian *centre furnace* sangat berkorelasi. Pengontrolan aliran gas didasarkan pada keseimbangan antara aliran gas pusat dan dinding dengan optimal.

2.7 Tipe Dasar *Cohesive Zone*

Efisiensi *furnace* salah satunya ditentukan oleh jumlah energi yang digunakan dalam proses. *Heat loss* pada dinding *furnace* dan lepasnya gas bertemperatur tinggi pada bagian atas *furnace* merupakan salah satu contoh dari *energy losses*. Top gas terdiri dari CO dan H₂, dimana memiliki kalor yang tinggi. Selain itu efisiensi dari blast *furnace* ditentukan oleh reaksi kimia di dalamnya dan hal itu ditentukan oleh aliran gas yang melewati *furnace*.

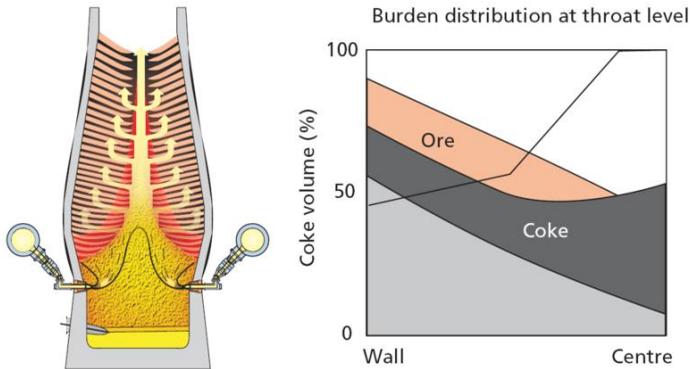
Dalam *furnace* terdapat dua tipe *melting zone*, yaitu *central working* dan *wall working*. Pada *central working*, aliran udara terfokus pada bagian tengah *furnace*. Dimana pada bagian tengah mayoritas terdiri dari batu bara, material kasar dan material yang memiliki permeabilitas tertinggi.

2.7.1 *Central Working Furnace*

Bentuk *cohesive zone* pada *central working furnace* ditampilkan pada Gambar 2.11. Dapat diketahui pada bagian *centre blast furnace* hanya terdiri dari batu bara. Oleh karena itu, Tidak terdapat daerah *melting zone* yang terbentuk pada bagian tengah dan gas terdistribusi melalui celah-celah batu bara dari tengah dan menyebar pada daerah radial dari *furnace*. Struktur batu bara pada bagian tengah tidak hanya berfungsi sebagai gas distributor, tetapi juga penstabil tekanan pada *blast furnace*.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.11 *Central Working Furnace* (Geerdes, 2015)

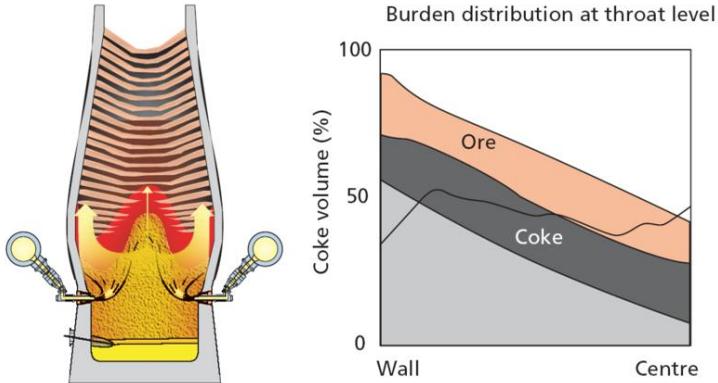
Dengan *double bell system*, batu bara dikonsentrasikan menuju bagian tengah *blast furnace* akibat adanya coke push dan dengan memilih ketebalan layer yang tepat untuk mencegah ore terdistribusi pada bagian tengah *blast furnace*. Pada *central working furnace*, terdapat sedikit dari jumlah gas panas pada bagian dinding *furnace*, sehingga *heat loss* dapat diminimalisir (Geerdes, 2009).

2.7.2 *Wall Working Furnace*

Pada tipe ini, aliran udara menyebabkan besarnya *heat loss*, dimana sebuah *gap* dapat terbentuk diantara *burden materials* dan dinding *furnace*. *Melting zone* akan membentuk huruf W. Pada kondisi ini, *melting zone* akan berada pada posisi lebih jauh di atas tuyer apabila dibandingkan dengan *central working furnace*. Sehingga, pada tipe ini proses menjadi lebih efektif.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA



Gambar 2.12 *Wall Working Furnace* (Geerdes, 2015)

Adanya selisih temperatur yang tinggi antara batu tahan api (refraktori) dan *burden materials* menyebabkan terjadinya *heat loss*. Gas yang melewati *wall* akan mengalami *heat loss* sehingga ia akan kehilangan kemampuannya untuk mereduksi. Oleh karena itu, tipe ini membutuhkan laju penggunaan bahan bakar yang cenderung tinggi (Geerdes, 2009).

2.8 *Charging system*

Distribusi *burden materials* dalam MBF dikontrol oleh *charging system*. Dalam perkembangannya *charging system* memiliki banyak perubahan dan variasi, dimana diawal penemuannya memiliki sistem yang sangat sederhana dan kemudian berkembang dengan sistem yang lebih kompleks yang bertujuan untuk menghasilkan distribusi yang lebih optimal. Terdapat banyak *charging system* yang telah dikembangkan, tentunya masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Beberapa jenis *charging system* akan didiskusikan di bawah ini

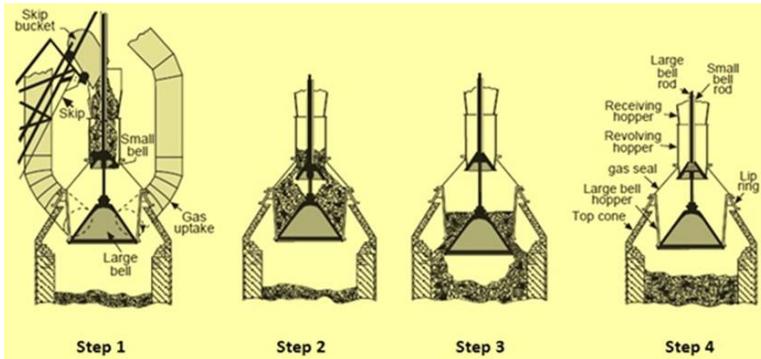
2.8.1 *Double-bell*

Pada awal penemuan *blast furnace*, bagian atas *blast furnace* memiliki sistem yang terbuka, sehingga *off gas* dari akan di lepas ke atmosfer dan terbakar. Hal tersebut menimbulkan



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

pencemaran lingkungan dan cenderung membuang energi secara percuma. Sejak tahun 1950, dimana ukuran *blast furnace* semakin meningkat, Bagian atas *blast furnace* berubah menjadi tertutup. Sebuah *single bell* dan *hopper* ditambahkan pada *furnace* untuk menjaga bagian atas *blast furnace* tertutup. Kemudian sebuah *second bell* dan *hopper* ditambahkan pada bagian atas *single bell* agar pada saat *small bell* terbuka ada yang menghalangi *off gas* untuk lolos.



Gambar 2.13 Skema Kerja *Double-bell* (ispatguru.com)

Skema kerja dari *Double-bell charging system* yaitu :

- Step 1 : *charge material* ditambahkan pada bagian atas *furnace* dengan menggunakan *skip car* atau *conveyor belt* menuju *hopper*. *Small bell* dan *large bell* dalam keadaan tertutup. *Charge material* memenuhi *small bell*.
- Step 2 : *Large bell* masih dalam keadaan tertutup dan *small bell* bergerak ke bawah, sehingga *charge material* turun memenuhi daerah di atas *large bell*.
- Step 3 : Apabila semua *charge material* di atas *small bell* habis dan telah berpindah menuju bagian atas *large bell*, *small bell* akan tertutup untuk mencegah lepasnya gas ke atmosfer. *Large bell* dengan perlahan akan turun ke bawah sehingga *charge material* akan turun memenuhi bagian atas *blast furnace*.



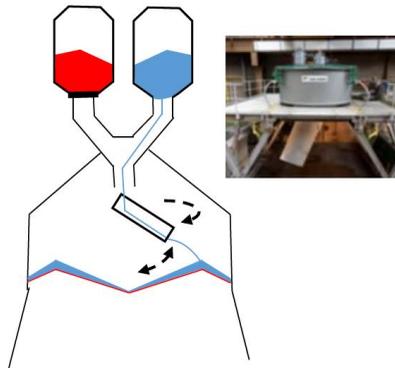
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

- Step 4 : kedua *bell* tertutup dan sistem telah siap untuk pengisian ulang.

Charge material yang ditambahkan pada *hopper* berselang-seling, yaitu batu bara, *nickel sinter ore* dan *dolomite*. Fokus utama *charging system* yaitu meratakan distribusi *burden materials* pada bagian atas *blast furnace*. Sehingga operasi *blast furnace* akan berjalan stabil (Hoo, 2009). Sebagai *charging system* yang telah lama ditemukan, *double-bell* memiliki biaya investasi awal yang rendah karena sistem kerja yang dimiliki tidak terlalu kompleks. Disisi lain, *double-bell* memiliki keterbatasan bagi operator karena keterbatasan parameter yang dapat digunakan dalam mengatur distribusi *burden materials* dimana mayoritas *burden* jatuh mendekati dinding *blast furnace*.

2.8.2 Bell-less Top

Bell-less top merupakan jenis *charging system* yang relatif baru yang kemudian menjadi populer dalam proses pengolahan mineral. Sistem ini dikembangkan oleh Paul Wurth dan sukses untuk diaplikasikan dalam dunia industri pertama kali pada tahun 1972. *Charging system* ini memiliki *chute* yang mampu untuk berputar secara simetris.



Gambar 2.14 *Bell-less Top Charging system* (Mitra, 2014)



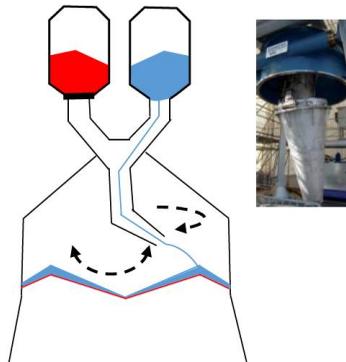
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Kemiringan *chute* dapat diatur sehingga akan memudahkan operator untuk mengatur ukuran dan posisi jatuh dari *burden materials* pada permukaan *blast furnace*. Oleh karena itu, hal tersebut menjadi alasan mayoritas bagi dunia industri untuk menggunakan *charging system* ini. Namun, *bell-less top* juga memiliki keterbatasan untuk mengkondisikan *chute* secara vertikal, sehingga untuk memposisikan batu bara dibagian tengah *blast furnace* menjadi suatu hal yang sulit dilakukan.

Bell-less top telah banyak membantu meningkatkan produktifitas dan menurunkan penggunaan batu bara pada banya *furnace*. Sebagai contoh, Indian *blast furnace* yang telah menggunakan *bell-less top* sebagai *charging system* mampu menurunkan penggunaan batu bara 10-12 kg/t *hot metal* karena distribusi *burden materials* yang baik (Pandey, 1999).

2.8.3 Gimbal Top

Apabila dibandingkan dengan *charging system* yang lain, *gimbal top* tergolong jenis *charging sytem* baru yang diaplikasikan oleh Siemens VAI (Carpenter, 2012). *Gimbal top* menggunakan *conical distribution chute* yang dilengkapi dengan ring sehingga *chute* mampu bergerak ke segala arah. Teknologi ini telah banyak memberikan kemudahan bagi operator dibandingkan *bell-less top charging system*.



Gambar 2.15 *Gimbal Top Charging System* (Mitra, 2014)

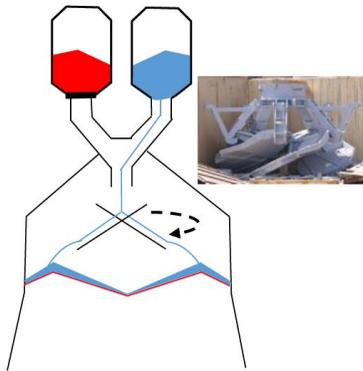


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Sistem ini mampu mengarahkan *burden materials* ke titik tertentu pada *furnace stock line* dan membentuk formasi *center coke*. *Charging system* ini telah diaplikasikan oleh FINEX dan COREX *furnace* dengan *C Blast Furnace Tata Steel* di Jamshedpur.

2.8.4 Bell-less Rotary Charging system

Bell-less rotary charging system telah dikembangkan oleh Totem Co. Ltd. (Boranbaev, 2009). *Charging system* ini memiliki *rotary chute*, dimana untuk mengatur posisi *charging material* dilakukan dengan mengatur kecepatan sudut dari *rotary chute*.



Gambar 2.16 *Bell-less Rotary Charging system* (Mitra, 2014)

Proses *charging* menggunakan *bell-less rotary charging system* menghasilkan layer tipis, sehingga proses dumping memiliki pengaruh yang sedikit terhadap distribusi *burden materials* pada permukaan *blast furnace*.

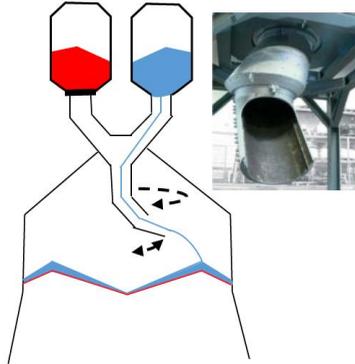
2.8.5 No-bell Top Charging System

No-bell top charging system dikembangkan oleh Zimmermann & Jansen Technologies (sekarang IMI Z&J). *Charging system* ini terdiri dari dua *chute*. Sebuah *rotating chute* dengan sudut yang telah ditentukan (*fixed*) dan sebuah *chute* tambahan dibagian bawah *rotating chute*. Sehingga pada



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

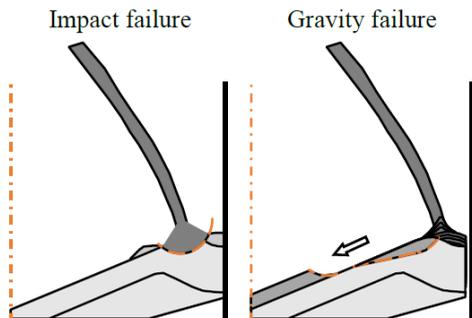
charging system ini terdapat dua buah *chute* untuk memaksimalkan distribusi *burden materials*.



Gambar 2.17 *No-bell Top Charging Sytem* (Mitra, 2014)

2.9 Deformasi Layer *Burden materials*

Deformasi pada layer kokas bergantung pada aliran kokas saat menumbuk, energi saat tumbukan dan bentuk atau kondisi layer yang ditumbuk. Kondisi layer yang stabil akan menghambat deformasi pada layer. Secara umum deformasi pada layer diklasifikasikan ke dalam dua jenis, yaitu *impact failure* dan *gravity failure*. Perbedaan *impact failure* dan *gravity failure* ditunjukkan pada Gambar 2.18



Gambar 2.18 *Impact failure* dan *Gravity failure* (Nag, 2009)



Dalam proses deformasi, *impact failure* dipengaruhi oleh besarnya gaya impact pada permukaan layer dan terjadi pada layer yang stabil. Ciri-ciri deformasi tipe ini adalah adanya cekungan pada layer yang ditumbuk. Sedangkan untuk *gravity failure*, faktor penyebab utamanya adalah ketidakstabilan layer, yang kemudian akan menyebabkan permukaan layer yang tidak stabil bergerak menuju ke tempat lebih rendah (collapse). *Gravity failure* juga diawali oleh adanya *impact* (Nag, 2009).

2.10 Solid Particle Model

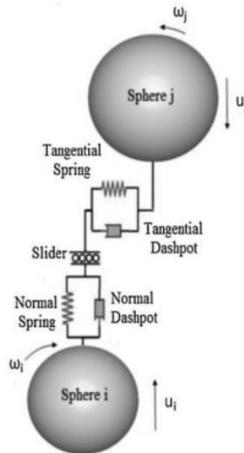
Solid Particle Model merupakan suatu metode analisa numerik untuk mengkalkulasikan interaksi antar partikel padat dalam jumlah besar melalui gerak translasi dan rotasi yang dipengaruhi oleh gaya luar. *Solid Particle Model* digunakan untuk mensimulasikan aliran dan interaksi pada partikel padat (Zhu, 2008). Metode ini telah digunakan untuk beragam fenomena. Secara tradisional, sistem permodelan dilakukan dengan menggunakan *continuum method*, yaitu metode yang juga digunakan dalam memodelkan fluida. Berbeda dengan fluida, sistem pemodelan partikel padat juga dipengaruhi oleh *shear stress*, sehingga dalam persamaanya juga mempertimbangkan faktor tersebut untuk mendapatkan hasil yang sesuai. *Solid Particle Model* merupakan *Lagrangian method*, dimana tiap partikel disimulasikan secara eksplisit dan perilaku partikel merupakan hasil interaksi antar partikel secara detail yang tidak mungkin disimulasikan menggunakan *continuum method*.

Solid Particle Model telah digunakan dalam aplikasi pengolahan mineral secara luas, salah satunya digunakan untuk mengetahui distribusi *burden materials* dalam *blast furnace*. Dalam *Solid Particle Model*, partikel direpresentasikan dengan bola pejal yang kemudian akan terdeformasi akibat *stress* yang dihasilkan dari interaksi antar partikel. Selain itu, deformasi secara tidak langsung juga dapat ditunjukkan dari jari-jari partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan jari-jari awal.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Sebagai metode eksplisit, posisi dan kecepatan awal tiap-tiap partikel harus diketahui untuk proses simulasi. Kemudian, *time step* dengan besaran kecil digunakan dan gerakan partikel-partikel dikalkulasikan dengan mengintegrasikan percepatan partikel dengan arah tertentu. Percepatan partikel dipengaruhi oleh *external force* yang meliputi gaya gravitasi atau gaya yang timbul akibat kontak antar partikel maupun dinding geometri.



Gambar 2.19 Kontak Model Interaksi Antar Partikel (Mitra, 2014)

Interaksi antar partikel telah didiskripsikan dalam Hukum Newton. Gambar 2.19 menunjukkan skema interaksi antar partikel *i* dan *j*. *Contact force* direpresentasikan oleh pegas dan *damping force* direpresentasikan oleh *dashpot* yang kemudian dapat dihubungkan dengan elastisitas atau plastisitas partikel. Besar gaya tangensial dibatasi oleh gaya gesek yang kemudian melalui Gambar 2.6 direpresentasikan oleh *slider*. Percepatan translasi dan rotasi partikel dikalkulasikan dengan menjumlahkan semua gaya dan torsi yang sedang bekerja dengan menggunakan *time step* yang kecil. Sebuah partikel *i*, dimana terjadi kontak dengan partikel *K* ($j = 1, 2 \dots K$) untuk persamaan gaya dapat dinyatakan dengan



$$m_i \frac{dV_i}{L} = \sum_{j=1}^K (F_{cn,ij} + F_{dn,ij} + F_{ct,ij} + F_{dt,ij}) + m_i g. \quad (2.11)$$

$$I_i \frac{d\omega_i}{dt} = \sum_{j=1}^K (T_{t,ij} + T_{r,ij}) \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana V_i , I_i , ω_i dan m_i merupakan kecepatan translasi, momen inersia, kecepatan sudut dan massa partikel i . Translasi partikel-partikel dipengaruhi oleh *normal force* ($F_{cn,ij}$) dan *tangential force* ($F_{ct,ij}$) partikel i dan j , *damping force* ($F_{dn,ij}$ and $F_{dt,ij}$) partikel i dan j dan gaya gravitasi ($m_i g$). Sedangkan untuk rotasi partikel dipengaruhi oleh tangential force (T_t), dan rolling friction (T_r). Nilai dari torsi dan gaya didiskripsikan melalui kontak model.

Persamaan Hertz-Mindlin yang secara luas telah digunakan dalam contact model, menyatakan bahwa *normal force* (F_{cn}) merupakan fungsi dari *normal overlap* (δ_n) antar partikel. Menurut Hertz (Hertz, 1881), hubungan tersebut dapat direpresentasikan dengan

$$F_{cn,ij} = -kn\delta_{n,ij}^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$\delta_{n,ij} = R_i + R_j - (\vec{r}_i - \vec{r}_j) \cdot \hat{n} \dots \dots \dots (2.14)$$

$$\hat{n} = \frac{(\vec{r}_i - \vec{r}_j)}{|\vec{r}_i - \vec{r}_j|} \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana $\vec{r}_i - \vec{r}_j$ merupakan posisi partikel, untuk R_i and R_j merupakan jari-jari partikel dan untuk \hat{n} merupakan unit vektor dari i ke j . Konstanta kekakuan kn merupakan proporsi dari Modulus Young (E^*) dan akar kuadrat dari jari-jari (R^*).

$$kn = \frac{4}{3} E^* \sqrt{R^*} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$\frac{1}{E^*} = \frac{(1-\nu_i^2)}{E_i} + \frac{(1-\nu_j^2)}{E_j} \dots \dots \dots (2.17)$$

$$\frac{1}{R^*} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_j} \dots \dots \dots (2.18)$$



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

E_i dan E_j merupakan Modulus Young dan ν_i and ν_j merupakan *Poisson Ratio* dari partikel. *Normal damping force* (F_{dn}) dipengaruhi oleh kecepatan relatif partikel (V_{ij}) disepanjang sumbu normal ($\vec{V}_{n,ij}$).

$$F_{dn,ij} = -\eta_n / \vec{V}_{n,ij} / \dots \dots \dots (2.19)$$

$$\vec{V}_{ij} = \vec{V}_j - \vec{V}_i + \vec{\omega}_j \times R_j \hat{n} - \vec{\omega}_i \times R_i \hat{n} \dots \dots \dots (2.20)$$

$$\vec{V}_{n,ij} = (\vec{V}_{ij} \cdot \hat{n}) \hat{n} \dots \dots \dots (2.21)$$

Dimana \vec{V}_i dan \vec{V}_j merupakan *translational velocity* dan $\vec{\omega}_i$ dan $\vec{\omega}_j$ merupakan kecepatan sudut partikel i dan j . Dengan koefisien η_n dapat dirumuskan sebagai berikut

$$\eta_n = 2 \sqrt{\frac{5}{6}} \beta S_n m^* \dots \dots \dots (2.22)$$

β dan S_n bergantung pada kekakuan (*stiffness*) pada sumbu normal,

$$\beta = \frac{\ln e}{\sqrt{\ln^2 e + \pi^2}} \dots \dots \dots (2.23)$$

$$S_n = 2 E^* \sqrt{R^* \delta_{n,ij}} \dots \dots \dots (2.24)$$

$$\frac{1}{m^*} = \frac{1}{m_i} + \frac{1}{m_j} \dots \dots \dots (2.25)$$

Dimana m^* setara dengan massa dan e merupakan *coefficient of restitution*. Untuk tangential contact force ($F_{ct,ij}$) sebanding dengan tangential overlap ($\delta_{t,ij}$).

$$F_{ct,ij} = -k_t \delta_{t,ij} \dots \dots \dots (2.26)$$

k_t merupakan sebuah koefisien yang bergantung oleh *equivalent shear modulus* (G^*), jari-jari dan *normal overlap* ($\delta_{n,ij}$).

$$k_t = 8 G^* \sqrt{R^* \delta_{n,ij}} \dots \dots \dots (2.27)$$

$$\frac{1}{G^*} = \frac{2-\nu_i}{G_i} + \frac{2-\nu_j}{G_j} \dots \dots \dots (2.28)$$

Pada persamaan (2.18), G_i dan G_j sebanding dengan shear stress untuk partikel i dan j . Cundall dan Strack menyatakan bahwa



tangential overlap dapat diperoleh dengan menjumlahkan *relative tangential velocity* ($\vec{V}_{t,ij}$) selama selang waktu tertentu (Δt) pada saat partikel-partikel melakukan kontak (Cundal, 1979).

$$\delta_{t,ij} = \int_0^{\Delta t} |\vec{V}_{t,ij}| dt' \dots\dots\dots(2.29)$$

$$\vec{V}_{t,ij} = \vec{V}_{ij} - \vec{V}_{n,ij} \dots\dots\dots(2.30)$$

Tangential damping force ($F_{dt,ij}$) dapat didefinisikan dengan

$$F_{dt,ij} = -\eta_t |\vec{V}_{t,ij}| \dots\dots\dots(2.31)$$

Dimana, koefisien didefinisikan dengan

$$\eta_t = 2 \sqrt{\frac{5}{6}} \beta \sqrt{k_t m^*} \dots\dots\dots(2.32)$$

Tangential force dibatasi oleh *Coulomb's friction law*, sehingga

$$F_{ct,ij} + F_{dt,ij} \leq \mu_s F_{cn,ij} \dots\dots\dots(2.33)$$

Dimana μ_s merupakan *coefficient of static friction*. Persamaan *tangential torque* untuk partikel adalah

$$T_{t,ij} = R_i \times (F_{ct,ij} + F_{dt,ij}) \dots\dots\dots(2.34)$$

dan persamaan untuk *rolling torque* adalah

$$T_{r,ij} = \mu_r F_{cn,ij} R_i \omega_i \dots\dots\dots(2.35)$$

Dari rumus-rumus di atas dapat diketahui bahwa interaksi antar partikel dipengaruhi oleh beberapa parameter dari material (Adema, 2014). Beberapa parameter yang diperlukan dalam simulasi *Solid Particle Model* yaitu:

- i. *Density* (ρ)
- ii. *Modulus Young* (E)
- iii. *Poisson's ratio* (ν)
- iv. *Coefficient of restitution* (e)
- v. *Static friction* (μ_s)
- vi. *Rolling friction* (μ_r)

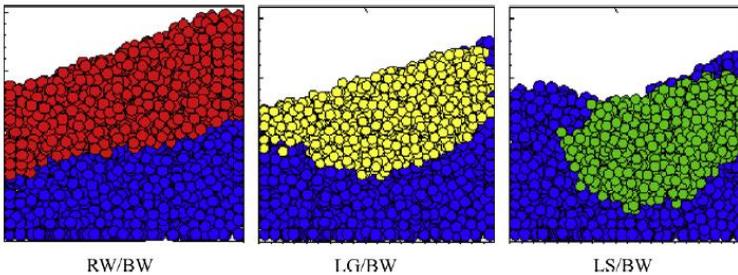


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.11 Penelitian Sebelumnya

2.11.1 Pengaruh Massa Jenis *Charging Particle* Terhadap Pembentukan Cekungan (*Gouge*) pada Layer yang Ditumbuk

Massa suatu partikel ketika menumbuk partikel lain mempengaruhi formasi partikel yang ditumbuk. Semakin besar partikel yang menumbuk maka semakin besar pula energi pada saat tumbukan. Formasi tumbukan terhadap partikel penumbuk RW (*Red Wood*), LG (*Large Glass*) dan LS (*Large Steel*) dengan partikel BW (*Blue Wood*) sebagai partikel yang ditumbuk ditampilkan pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Formasi Tumbukan pada Partikel pada Proses *Charging* (Hoo, 2009)

Urutan massa jenis partikel dari yang terbesar adalah LS, LG dan RW. RW dan BW memiliki massa jenis yang sama. Tumbukan antar partikel dengan massa jenis yang sama tidak menyebabkan cekungan pada layer yang ditumbuk. Sedangkan tumbukan antar partikel dengan selisih massa jenis yang besar, cekungan pada layer yang ditumbuk semakin dalam (Hoo, 2009).

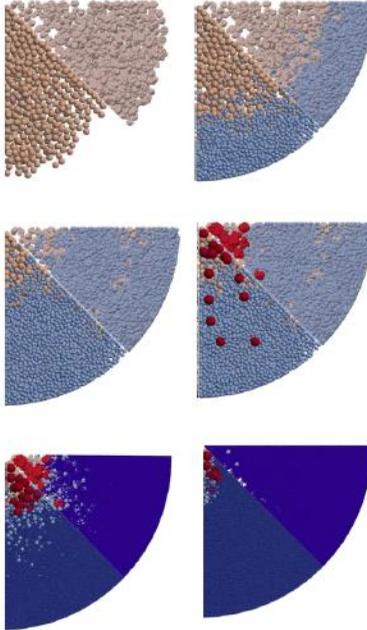
2.8.1 Perbandingan Hasil Simulasi *Solid Particle Model* pada *Spherical Particle Model* dan *Clumped Particle Model*

Proses simulasi menggunakan *spherical* dan *clumped particle model* menunjukkan hasil yang berbeda, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.21. Partikel berwarna merah, krem,



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

biru muda dan biru adalah *center coke* (partikel kokas paling besar), *large coke*, *small coke* dan *ore*.



Gambar 2.21 Tampak Atas Perbandingan Hasil Simulasi *Spherical Particle Model* dan *Clumped Particle Model*

Ketika proses *charging*, *frictional torque* pada *spherical large coke* tidak mampu untuk membuat cekungan pada layer, sehingga menyebabkan partikel bergerak menuju tengah. Hal tersebut menyebabkan kesenjangan pada daerah *wall*, dimana didominasi oleh *ore* dengan prosentase 20 % lebih besar. Sehingga diperoleh kesimpulan bahwa *spherical particle* tidak cocok digunakan dalam penelitian.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

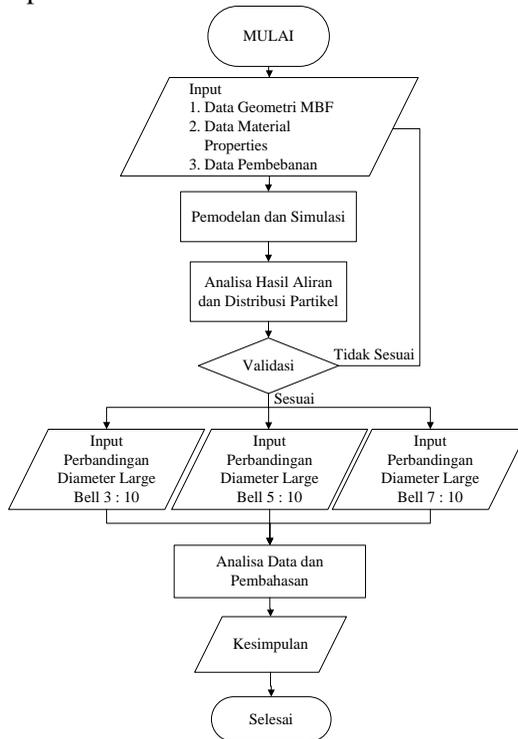
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

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 materials, data operasional proses *charging burden materials* 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



BAB III METODOLOGI

3.2 Prosedur Pemodelan

Dalam penelitian ini, sistem pemodelan MBF dilakukan ke dalam beberapa tahap untuk mengetahui fenomena distribusi *burden materials* di dalamnya. Tahap-tahapan pemodelan secara sistematis dapat dilakukan dengan:

1. Mengumpulkan data input yang akan digunakan dalam pemodelan yaitu meliputi geometri dalam *Mini blast furnace*, *material properties* dari *steel*, *refractory*, batu bara, dolomit dan bijih nikel laterit yang telah dilakukan proses *conditioning (conditioned ore)*.
2. Pembuatan Geometri MBF
3. Pemodelan distribusi *burden materials* di dalam MBF menggunakan software *Solid Particle Model*.
4. Menganalisa data hasil pemodelan dengan mengaitkan dengan teori empiris yang terjadi di dalam MBF.
5. Menarik kesimpulan dan memberikan saran dari hasil penelitian yang dilakukan.

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



BAB III METODOLOGI

Tabel 3.1 Sifat Fisik dan Mekanik Material Input

Material	Parameter	Nilai		
Sinter ore	Densitas	1966 kg/m ³		
	<i>poisson's ratio</i>	0,25		
	Modulus Young	16 MPa		
	Restitution coefficient	Sinter ore	0,48	
		Batu bara	0,1	
		Dolomite	0,3	
		Steel	0,39	
	Refractory		0,4	
		Static friction coefficient	Sinter ore	0,49
			Batu bara	0,43
			Dolomite	0,4
	Steel		0,5	
	Refractory		0,45	
		Rolling friction coefficient	Sinter ore	0,21
Batu bara			0,35	
Dolomite			0,29	
Steel	0,25			
Refractory		0,3		
	Coal	Densitas	1427 kg/m ³	
		<i>poisson's ratio</i>	0,24	
		Modulus Young	18,2 MPa	
Restitution coefficient		Batu bara	0,64	
		Dolomite	0,45	
		Steel	0,63	
		Refractory	0,5	
Static friction coefficient		Batu bara	0,69	
		Dolomite	0,6	
		Steel	0,36	
		Refractory	0,45	
Rolling friction coefficient		Batu bara	0,14	
		Dolomite	0,2	
		Steel	0,24	
	Refractory	0,25		
Dolomite	Densitas	1645 kg/m ³		
	<i>poisson's ratio</i>	0,16		
	Modulus Young	29 MPa		
	Restitution coefficient	Dolomite	0,32	
		Steel	0,2	
		Refractory	0,4	
	Static friction coefficient	Dolomite	0,43	
		Steel	0,5	
		Refractory	0,55	
	Rolling friction coefficient	Dolomite	0,39	
		Steel	0,22	
		Refractory	0,34	
	Steel	Densitas	7870 kg/m ³	
		<i>poisson's ratio</i>	0,29	
Modulus Young		77 GPa		
Refractory	Densitas	3100 kg/m ³		
	<i>poisson's ratio</i>	0,15		
	Modulus Young	314 GPa		



BAB III METODOLOGI

3.4 Geometri MBF

Geometri MBF yang digunakan dalam penelitian ini adalah MBF dengan working volume 61 m³ kapasitas 250 ton *contioned ore*/hari yang sedang dikembangkan oleh Labolatorium Pengolahan Material, Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. MBF tersebut 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 *refractory* : 169 mm
5. Jumlah tuyser 1 (d = 75 mm) : 10 buah
6. Jumlah tuyser 2 (d = 100 mm) : 10 buah
7. Kemiringan tuyser : 26⁰
8. Kecepatan *bell* turun : 1 m/s
9. Jarak *bell* turun : 500 mm

Jenis *charging system* yang digunakan adalah *double-bell*, yang terdiri dari *large bell* dan *small bell*. Pada penelitian ini, *small bell* diabaikan, karena persebaran partikel di dalam tabung *large bell* telah merata. Ukuran *large bell* pada *charging system* divariasikan ke dalam tiga ukuran, yaitu varabel dengan perbandingan ukuran diameter *large bell* dan diameter dalam MBF 3:10, 5:10 dan 7:10 seperti yang ditunjukkan pada Tabel. 3.2.

Tabel 3.2 Variabel Penelitian

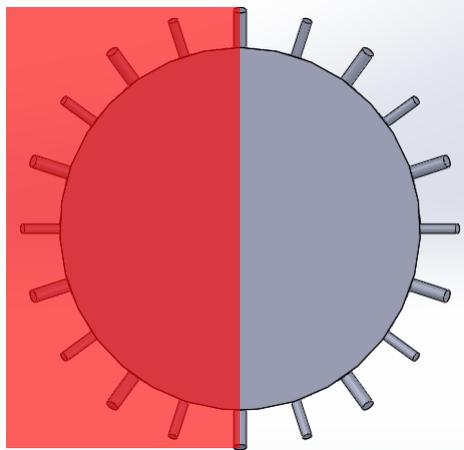
Variabel	Perbandingan Diameter <i>Large Bell</i> dan Diameter Dalam MBF	Diameter <i>Large Bell</i> (mm)
1	3 : 10	424,8
2	5 : 10	708
3	7 : 10	991,2

Tidak semua bagian MBF dimodelkan, namun setengah bagian saja seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2. Bagian



BAB III METODOLOGI

MBF yang dimodelkan berada di wilayah segi empat berwarna merah. Hal tersebut dilakukan untuk mengurangi beban komputasi saat proses simulasi berlangsung. Beban komputasi akan berdampak pada lama proses simulasi dan kapasitas *memory* yang diperlukan untuk menyimpan data hasil simulasi.

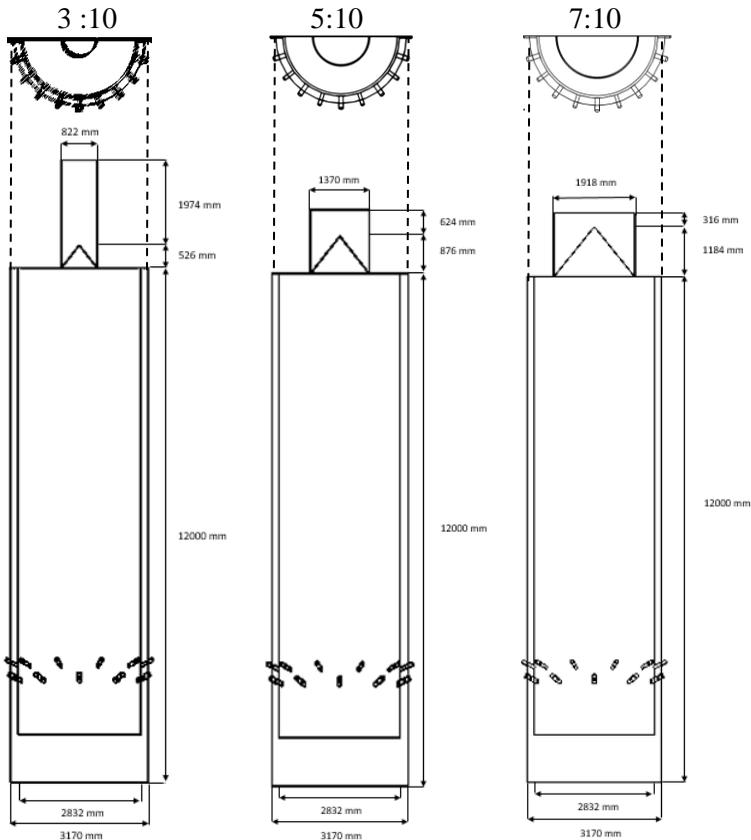


Gambar 3.2 Tampak Atas Bagian Pemodelan MBF

Geometri MBF secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 3.3 yang ditampilkan dengan tampak atas dan tampak depan. Pada variabel 1, dinding *large bell hopper* lebih tinggi dibandingkan dengan variabel 2 dan 3 karena dengan diameter *bell* yang lebih kecil, volume *charging system* untuk menampung *burden materials* juga lebih kecil. Sehingga untuk mengantisipasi hal tersebut, dinding penampung *burden materials* pada *charging system* dibuat lebih tinggi dibandingkan dengan variabel 2 dan 3.



BAB III METODOLOGI



Gambar 3.3 Geometri MBF untuk Ketiga Variabel

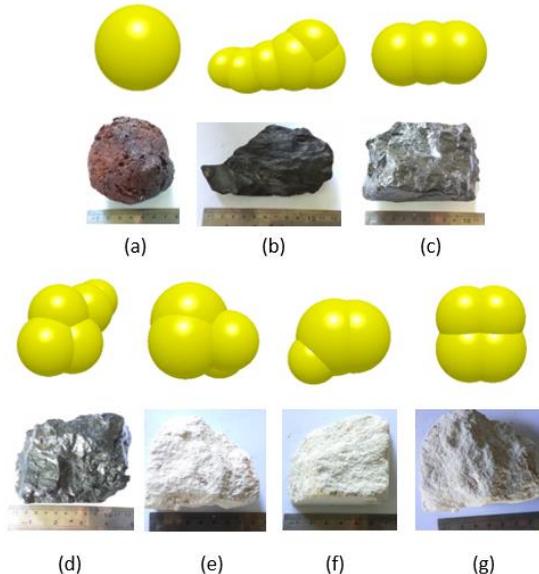
3.5 Bentuk Partikel *Burden Materials*

Di dalam proses pengolahan *ferro-nickel* di dalam MBF, terdapat tiga jenis *burden materials* yang digunakan, yaitu batu bara, *contioned ore* dan *dolomite*. Ketiga jenis *burden materials* tersebut memiliki ukuran dan bentuk yang berbeda dengan menyesuaikan pertimbangan proses yang telah dirancang sebelumnya. Gambar 3.4 menunjukkan representasi partikel



BAB III METODOLOGI

burden materials yang digunakan dalam *software Solid Particle Model*.



Gambar 3.4 Bentuk Partikel *Burden Materials* (a) Partikel *Contioned Ore*, (b) Partikel Batu Bara 1, (c) Partikel Batu Bara 2, (d) Partikel Batu Bara 3, (e) Partikel Dolomite 1, (f) Partikel Dolomite 2 dan (g) Partikel Dolomite 3

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.



BAB III METODOLOGI

Tabel 3.3 Spesifikasi Partikel *Burden Materials* di Dalam *Solid Particle Model*

Partikel <i>Burden Materials</i>		Jumlah Partikel Penyusun	Volume (m ³)	Massa (kg)	Prosentase
<i>Conditioned Ore</i>		1	0,0001130	0,222349	100 %
Batu Bara	1	6	0,0001006	0,143666	10 %
	2	3	0,0000989	0,14122	35 %
	3	5	0,0001094	0,156136	55 %
<i>Dolomite</i>	1	4	0,00007448	0,122525	33,33 %
	2	4	0,00007462	0,122751	33,33 %
	3	4	0,00007136	0,1174	33,33 %

Untuk menghasilkan partikel dengan permukaan rata di dalam *Solid Particle Model* merupakan hal yang sulit untuk dilakukan, karena dibutuhkan jumlah partikel penyusun yang banyak. Tentunya penggunaan partikel penyusun memiliki kelebihan dan kelemahan masing-masing. Partikel kasar (penggunaan partikel penyusun sedikit) menyebabkan implementasi dari *friction law* kurang akurat, yang kemudian akan berdampak pada hasil simulasi (Poschel, 2005). Dengan mempertimbangkan beberapa hal tersebut, penelitian ini menggunakan jumlah partikel penyusun seefisien mungkin (minimal) karena massa total *burden materials* yang digunakan dalam proses simulasi sangat besar.

3.6 Data Operasional Proses *Charging Burden Materials*

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 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



BAB III METODOLOGI

bara dan *dolomite* adalah 25:17:16 (Yasfi, 2015). Spesifikasi massa *burden materials* pada proses *charging* untuk setengah bagian MBF ditampilkan pada Gambar 3.4.

Tabel 3.4 Spesifikasi Massa *Charging* untuk Setengah Bagian MBF

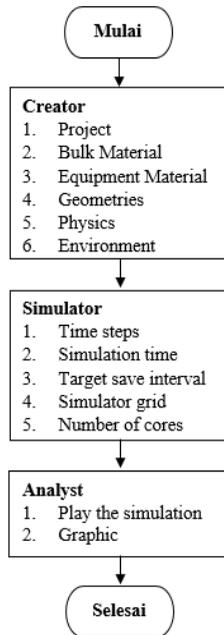
No	Bagian <i>Burden Materials</i>	Jenis <i>Burden Materials</i>	Massa (kg)
1	Bed	Batu bara	4800
2	Layer *	Batu bara	354,1667
		<i>Contioned Ore</i>	520,833
		<i>Dolomite</i>	333,333
3	Penutup layer	Batu bara	354,1667

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



BAB III METODOLOGI

3.7 Alur Pemodelan *Solid Particle Model*



Gambar 3.5 Diagram Alir Pemodelan *Solid Particle Model*

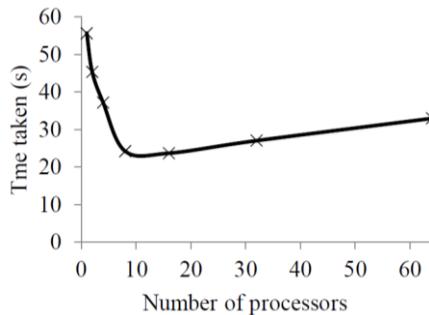
Software Solid Particle Model merupakan *software* yang menggunakan metode *Discrete Element Method* yang memiliki pusat penelitian di Skotlandia. *Software* ini memiliki tiga elemen utama, yaitu *creator*, *simulator* dan *analyst*. *Creator* berfungsi untuk mengatur model atau memasukkan data yang diperlukan. Input *properties* yang diperlukan adalah sifat fisik dan mekanik partikel dan equipment, geometri, bentuk dan ukuran partikel, jenis kontak partikel dan besar gravitasi. *Simulator* berfungsi untuk mengatur jalannya proses simulasi, yang meliputi *time step*, waktu simulasi, interval penyimpanan data, besar *grid* dan jumlah *processor* yang digunakan.

Time step yang digunakan dalam proses simulasi sangatlah kecil. Jika *time step* terlalu besar, kecepatan transfer energi



BAB III METODOLOGI

menjadi sangat besar yang kemudian akan menghasilkan *unphysical deformation*, kemudian akan memicu terjadinya *energy generation*. *Time step* untuk perhitungan gaya dibatasi oleh waktu yang dibutuhkan untuk menyebarkan energi melalui partikel-partikel yang ada dengan gelombang, biasa disebut sebagai gelombang Rayleigh. Batasan *time step* tersebut disebut sebagai *Rayleigh time step*. Besar *time step* yang direkomendasikan adalah 10-30 % *Rayleigh time step* (Mitra, 2016). Pada penelitian ini, *time step* yang digunakan yaitu 30% *Rayleigh time step* (0,00018392 sekon). Sedangkan besar *grid* (partikel terkecil) yang digunakan adalah 3 R min. Jumlah *processor* yang digunakan akan mempengaruhi kecepatan proses simulasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pengaruh Jumlah *Processor* Terhadap Waktu yang Dibutuhkan Dalam Proses Simulasi

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



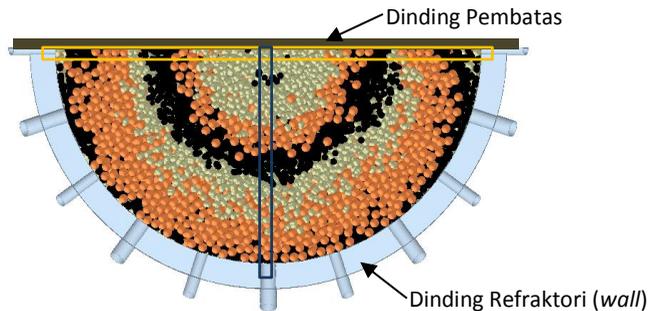
BAB III METODOLOGI

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Formasi Layer *Burden Materials* di Dalam *Mini Blast Furnace*

Setelah dilakukan proses simulasi menggunakan *Solid Particle Model* diperoleh gambaran distribusi *burden materials* di dalam MBF yang pada penelitian ini digunakan setengah bagian saja. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.1, distribusi *burden materials* tiap *radial direction* tampak berbeda, khususnya pada daerah dinding pembatas. Sehingga dalam penelitian ini, pengambilan sampel distribusi *burden materials* menggunakan wilayah yang ditampilkan pada garis segi empat berwarna biru.



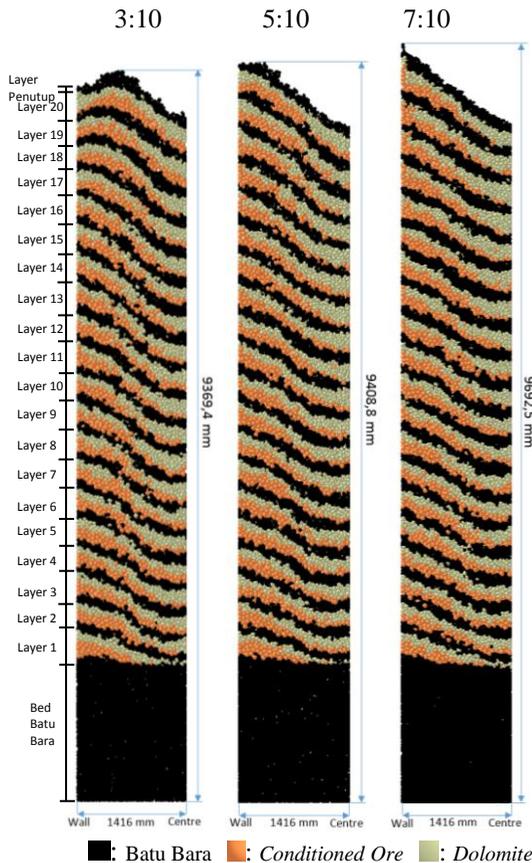
Gambar 4.1 Tampak Potongan Atas Distribusi *Burden Materials*

Pengambilan sampel tidak diambil dari daerah yang ditampilkan dengan garis segi empat berwarna kuning karena pada wilayah ini di sepanjang *radial direction* terdapat pengaruh dinding pembatas. Dimana dinding pembatas berfungsi untuk membagi MBF menjadi setengah bagian. Namun, material penyusun dibuat sama dengan dinding refraktori. Sehingga pada daerah ini, distribusi partikel yang dihasilkan tidak hanya dipengaruhi interaksi antar partikel, namun interaksi partikel dengan dinding pembatas juga memiliki pengaruh yang besar. Seharusnya pengaruh dinding terhadap distribusi partikel hanya terjadi di daerah *wall*. Selain daerah *wall*, distribusi *burden*



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

materials hanya disebabkan oleh interaksi antar partikel. Oleh karena itu, sampel distribusi *burden materials* yang digunakan di ambil dari garis segi empat berwarna biru. Formasi layer di dalam MBF menunjukkan perbedaan untuk variabel dengan perbandingan diameter large bell dengan diameter dalam MBF 3:10 (variabel 1), 5:10 (variabel 2) dan 7:10 (variabel 3). Formasi layer *burden materials* untuk masing-masing variabel ditunjukkan oleh Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Formasi Layer *Burden Materials*



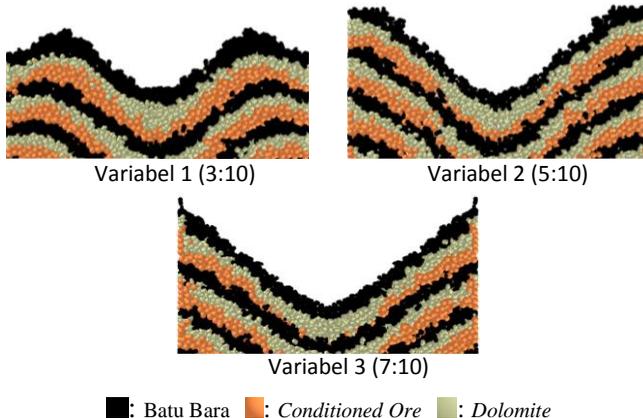
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Variabel 3 memiliki ketinggian susunan layer yang paling besar yaitu 9692,5 mm, sehingga jarak antara material jatuh (*bell lip*) dengan permukaan layer akan semakin kecil. Variabel 3 memiliki puncak layer pada daerah *wall* dan variabel 2 berada di dekat *wall*. Sedangkan pada variabel 1 memiliki puncak layer di daerah antara *wall* dan *centre* (paling mendekati *centre*). Titik impak pada permukaan layer dipengaruhi oleh diameter *bell*. Semakin besar diameter *bell*, maka titik impak akan mendekati daerah *wall*. Kemudian, dari ke-tiga variabel memiliki tingkat kemiringan layer yang berbeda dari layer paling atas dan bawah. Dimana layer yang lebih rendah cenderung memiliki tingkat kemiringan yang lebih kecil dan sebaliknya. Selain itu, semakin ke bawah, puncak layer untuk masing-masing layer semakin mendekati daerah *wall*. Kedua hal tersebut juga dipengaruhi oleh titik impak pada masing-masing layer. Dimana, semakin besar jarak jatuh material maka titik impak akan semakin menjauh dari *centre*. Hal tersebut disebabkan oleh lintasan jatuhnya partikel yang berbentuk parabolik. Sehingga semakin ke atas (jarak material jatuh kecil) titik impak pada permukaan layer akan semakin condong mendekati *centre*.

Pada saat proses *charging / dumping*, material jatuh pada permukaan *stock* dan bergerak secara parabolik. Bentuk permukaan *stock* yang terbentuk diklasifikasikan menjadi dua, yaitu bentuk V (terbentuk ketika daerah impak berada pada daerah *wall*) dan bentuk M (terbentuk ketika daerah impak berada diantara *wall* dan *centre*). Bentuk profil pada permukaan *stock* untuk masing-masing variabel pada penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.3.



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.3 Bentuk Permukaan *Stock*

Apabila dihubungkan dengan proses dengan mengasumsikan permeabilitas tiap partikel sama, semakin tinggi susunan layer maka hambatan aliran gas yang melewati celah-celah pada layer tersebut akan semakin besar dan sebaliknya. Sehingga, aliran gas terbesar pada variabel 1 akan terkonsentrasi pada bagian *wall* dan *centre*. Aliran gas yang besar pada daerah *wall* merupakan ciri *wall-working furnace* pada daerah *cohesive zone*. Dimana, bentuk *cohesive zone* pada tipe tidak baik terhadap kelangsungan proses dan sangat dihindari oleh operator. Hal tersebut disebabkan oleh adanya *heat loss* yang besar pada daerah *wall* yang disebabkan oleh selisih temperatur yang besar antara refraktori dan *burden materials*. Sehingga temperatur gas akan menurun lebih cepat dan akan berakibat pada kemampuan reduksi yang semakin menurun. Kemampuan reduksi yang lebih rendah akan berakibat pada menurunnya tingkat produktifitas MBF. Sedangkan untuk variabel 2 dan 3 akan cenderung memiliki *cohesive zone* dengan tipe *central working furnace*. Dimana aliran gas terbesar berada di daerah *centre*. Sehingga adanya *heatloss* pada daerah *wall* dapat diminimalisir (Greedes, 2015).



4.2. Deformasi Layer *Burden Materials*

Fenomena fisik jatuh dan tumbukan antar *burden materials* saat proses charging menjadi hal yang penting untuk diketahui, khususnya bagi operator maupun *engineer* agar proses pengolahan berjalan secara efisien (Mitra, 2016). Material properties yang berbeda untuk tiap *burden materials* menyebabkan terjadinya perbedaan fenomena tumbukan atau deformasi layer. Selain itu, bentuk, ukuran maupun jenis *charging system* juga memiliki pengaruh yang sama.

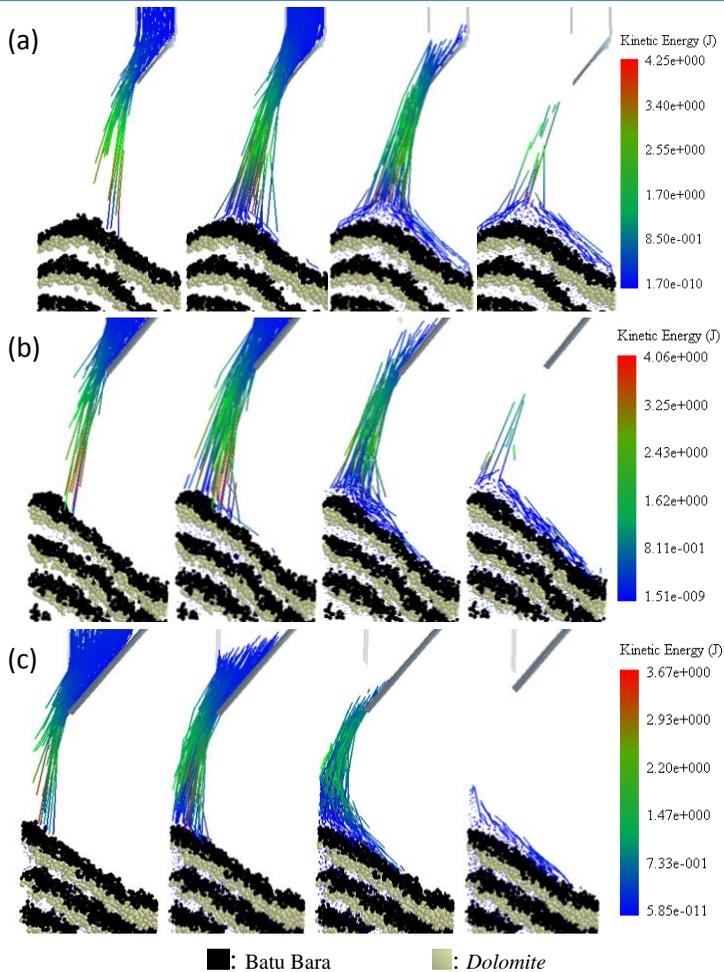
Penelitian deformasi pada layer *burden materials* difokuskan pada layer paling atas di dalam MBF, yaitu layer 20 karena layer ini memiliki pengaruh yang besar terhadap operasi MBF saat berjalan secara kontinyu. Pada proses MBF secara kontinyu, proses reduksi menyebabkan jumlah *burden materials* berkurang. Dimana *burden materials* yang telah berkurang tersebut telah bertransformasi menjadi *off-gas*, *slag* maupun *molten ferro-nickel* akibat reaksi kimia pada temperatur tinggi. Sehingga perlu adanya *burden materials* tambahan untuk mempertahankan tekanan dan kestabilan proses dalam MBF (Mitra, 2015). *Burden materials* ditambahkan menggunakan *charging system* yang dilakukan secara periodik dengan mempertimbangkan kecepatan reduksi dalam proses.

4.2.1 Deformasi pada Layer Batu Bara

Deformasi pada layer batu bara dipengaruhi oleh *conditioned ore* sebagai material penumbuk dan kondisi layer batu bara saat ditumbuk. Semakin besar energi kinetik material penumbuk pada saat tumbukan, maka deformasi pada layer juga akan semakin besar (S. Nag, 2009). Tahapan proses *charging conditioned ore* yang kemudian menumbuk layer batu bara, ditunjukkan pada Gambar 4.3 dengan membandingkan ke-tiga variabel yang telah ditentukan.



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



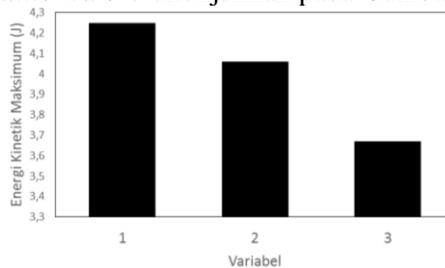
Gambar 4.4 Alur Proses Charging *Conditioned Ore* dalam MBF pada Variabel (a) 1, (b) 2 dan (c) 3

Conditioned ore ditampilkan dengan *stream*. Dimana *stream* merupakan garis yang menunjukkan lintasan partikel saat bergerak atau dapat dikatakan sebagai aliran partikel. Satu partikel *conditioned ore* direpresentasikan oleh satu *stream*. Panjang



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

stream menunjukkan jarak perpindahan partikel per satuan waktu, sehingga semakin panjang *stream* yang ditampilkan, maka perpindahan partikel juga semakin besar. *Conditioned ore* memiliki massa jenis 1,4 kali lebih besar dibandingkan dengan batu bara dan 1,2 kali lebih besar dibandingkan dengan *dolomite*. Sehingga apabila dibandingkan dengan *dolomite* dan batu bara, *conditioned ore* memiliki energi kinetik yang lebih besar dan tentunya deformasi layer yang ditimbulkan juga semakin besar. Perbandingan besarnya energi kinetik maksimum pada proses *charging conditioned ore* ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Energi Kinetik Maksimum pada Proses *Charging Conditioned Ore*

Energi kinetik paling besar dimiliki oleh variabel 1. Hal tersebut dikarenakan jarak antar material jatuh dengan permukaan layer batu bara pada variabel 1 lebih besar dibandingkan dengan variabel 2 dan 3, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Jarak antara material jatuh dengan daerah impak akan semakin kecil apabila permukaan layer semakin tinggi. Sehingga apabila dilihat dari segi *impact failure*, variabel 1 memiliki pengaruh paling besar.

Tabel 4.1 Titik Impak pada Layer Batu Bara

Variabel	Jarak dari <i>Centre</i> (mm)	Ketinggian Permukaan Layer (mm)
1	1003	8853
2	1075	9010
3	1416 (<i>wall</i>)	9055



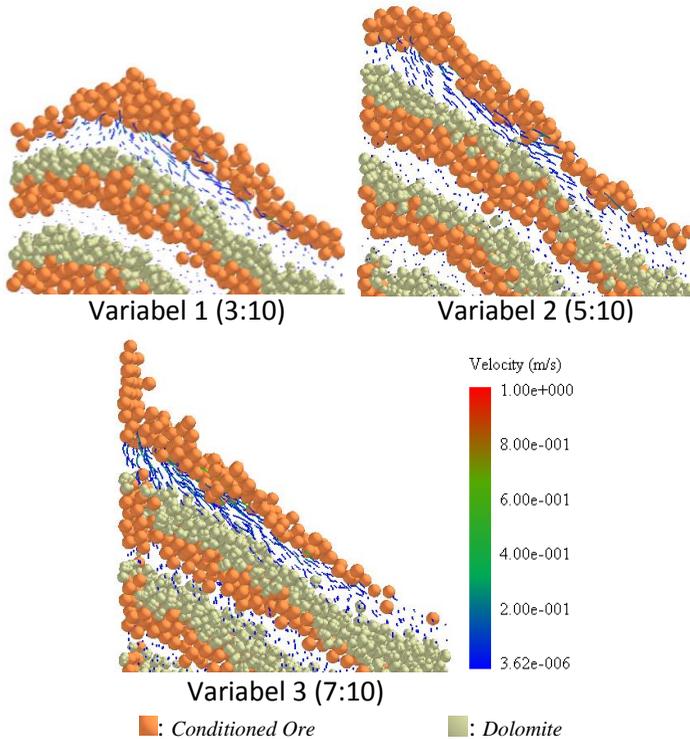
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Apabila dilihat dari posisi jatuhnya partikel saat proses *charging*, partikel pada variabel 1 jatuh lebih mendekati daerah *centre* MBF. Hal tersebut disebabkan oleh ukuran *bell* yang lebih kecil dibandingkan dengan variabel lain. Kemudian setelah tumbukan, aliran partikel *conditioned ore* bergerak menuju daerah *centre* dan *wall* MBF karena titik tumbukan berada pada puncak layer yang berada pada daerah antara *wall* dan *centre*, namun lebih dekat dengan daerah *wall*. Sehingga partikel akan lebih condong bergerak ke daerah yang memiliki ketinggian lebih rendah. Untuk variabel 2, partikel *conditioned ore* jatuh di dekat *wall* dan partikel bergerak menuju *centre* setelah terjadinya tumbukan. Pada variabel 3 sebelum partikel menumbuk layer batu bara, sebagian besar partikel membentur *wall* terlebih dahulu. Hal ini menyebabkan energi kinetik yang dihasilkan semakin kecil atau paling kecil dibandingkan dengan variabel 1 dan 2. Besar energi kinetik terbesar pada variabel ini yaitu 3,67 Joule. Energi kinetik yang lebih kecil akibat benturan dengan *wall* menyebabkan partikel nickel sinter terkonsentrasi di daerah *wall* MBF.

Peristiwa menumbuknya *conditioned ore* pada permukaan layer batu bara menyebabkan adanya transfer energi, sehingga batu bara tertekan ke bawah (*coal push*) atau bergerak menuju lokasi yang tidak stabil. Gambar 4.6 menunjukkan skema deformasi layer batu bara pada awal dan akhir proses *charging conditioned ore*. Partikel *conditioned ore* ditampilkan dengan warna merah bata, partikel *dolomite* berwarna putih dan batu bara ditampilkan dengan *stream*.



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.6 Deformasi Layer Batu Bara pada Akhir Tumbukan

Pada variabel 3:10, *stream* dengan panjang lebih besar tampak pada permukaan layer yang berdekatan dengan puncak layer, sedangkan pada bagian dasar layer batu bara panjang *stream* tampak lebih kecil. Panjang *stream* yang lebih kecil pada bagian dasar layer batu bara menunjukkan bahwa pada bagian tersebut layer lebih stabil dibandingkan dengan bagian permukaan layer. Arah *stream* pada puncak layer (daerah tumbukan) condong ke bawah, sehingga dapat diketahui adanya efek *coal push* saat terjadinya tumbukan. Kemudian di daerah lereng layer, arah *stream* tampak menuju ke daerah yang lebih rendah, yaitu *wall* dan *centre* MBF. Pada daerah *centre* tampak bahwa perpindahan atau



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

deformasi layer sangat kecil, hal ini dapat ditunjukkan dengan panjang *stream* yang sangat kecil. Pada variabel 2, layer batu bara pada bagian *centre* MBF juga tampak stabil apabila dilihat dari panjang *stream*. Efek *coal push* juga terlihat di puncak layer, partikel bergerak ke bawah dan condong menuju *centre*. Panjang *stream* pada bagian permukaan dan dasar layer tampak lebih homogen apabila dibandingkan dengan variabel 1. Hal tersebut diakibatkan oleh layer batu bara pada variabel 2 lebih curam atau memiliki sudut kemiringan yang lebih besar, sehingga tingkat kestabilan layer semakin berkurang. Deformasi layer pada variabel 3 hampir sama dengan variabel 2. Namun panjang *stream* pada daerah *wall* lebih besar karena merupakan daerah terjadinya tumbukan dengan *conditioned ore*. Sehingga efek *coal push* pada daerah ini lebih besar. Semakin menuju *centre* tampak bahwa panjang *stream* semakin berkurang akibat tingkat kestabilan *stream* yang lebih besar.

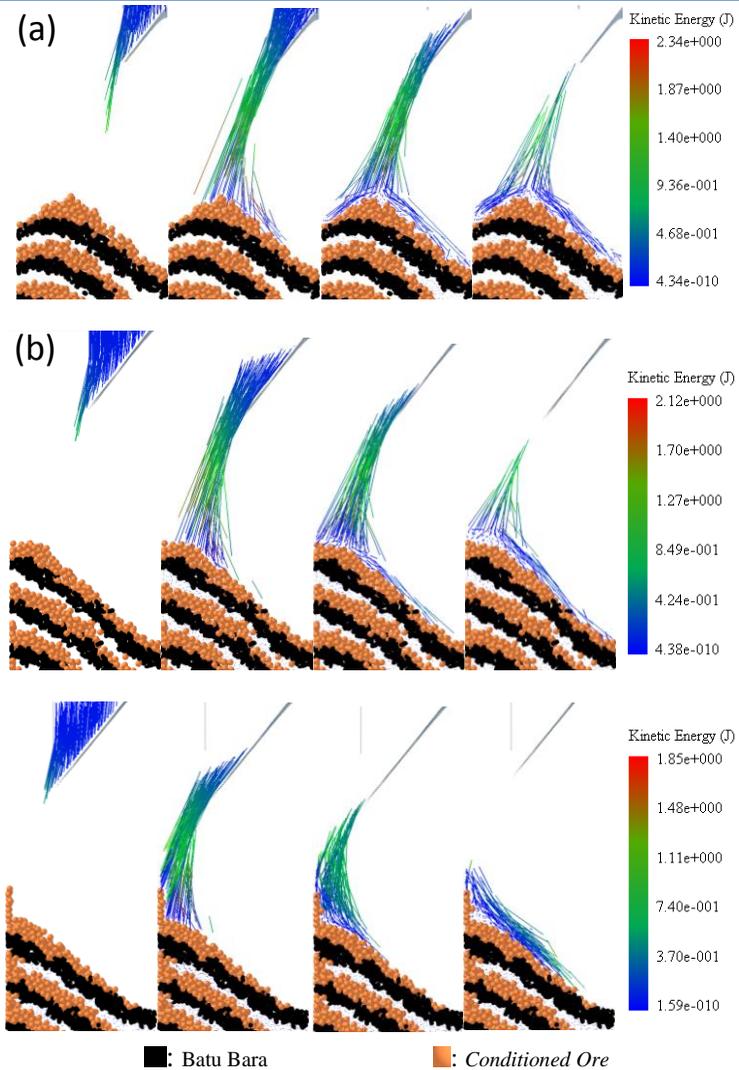
Pada Gambar 4.3 diketahui bahwa energi kinetik pada variabel 1 lebih besar dibandingkan dengan variabel 2 dan 3. Namun, deformasi layer batu bara pada variabel 1 lebih kecil jika dibandingkan dengan variabel yang lain. Hal tersebut terjadi karena perbedaan nilai energi kinetik antar variabel yang tidak terpaut jauh dan pada kasus ini kestabilan layer memiliki pengaruh yang lebih mendominasi untuk terjadinya proses deformasi (*gravity failure*).

4.2.2 Deformasi pada Layer *Conditioned ore*

Layer *conditioned ore* berada di atas layer batu bara. Deformasi pada layer ini salah satunya dipengaruhi oleh proses charging *dolomite* yang kemudian menumbuk permukaan layer *conditioned ore*. Alur proses charging *dolomite* telah ditampilkan pada Gambar 4.7. Dimana partikel *Dolomite* ditampilkan dalam bentuk *stream*.



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.7 Alur Proses Charging Dolomite pada Variabel (a) 1, (b) 2 dan (c) 3



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada variabel 1, *dolomite* menumbuk pada daerah puncak layer *conditioned ore* yang berda pada jarak 966 mm dari *centre*. Setelah menumbuk, partikel *dolomite* bergerak menuju daerah yang lebih rendah (*wall dan centre*) dengan bantuan gaya gravitasi. Pada variabel 2, partikel *dolomite* menumbuk layer *conditioned ore* pada daerah dekat *wall* dengan jarak 1057 mm dari *centre* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Setelah menumbuk, partikel *dolomite* condong bergerak menuju daerah yang lebih rendah, yaitu daerah *centre*. Sedangkan pada variabel 3, sebagian partikel *dolomite* berbenturan dengan *wall* sebelum menumbuk layer *conditioned ore*. Variabel 3 memiliki titik puncak layer paling jauh dari *centre* apabila dibandingkan dengan variabel lain. Dari ketiga variabel tersebut dapat diketahui bahwa diameter *bell* mempengaruhi posisi tumbukan *dolomite* dengan permukaan layer *conditioned ore*.

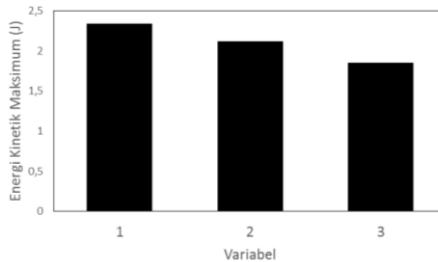
Tabel 4.2 Titik Impak pada Layer *Conditioned Ore*

Variabel	Jarak dari Centre (mm)	Ketinggian Permukaan Layer (mm)
1	966	9010
2	1057	9121
3	1416	9352

Besar energi kinetik maksimum pada saat proses *charging dolomite* ditunjukkan pada Gambar 4.8. Apabila ditinjau dari energi kinetik saat terjadinya tumbukan, variabel 1 memiliki energi kinetik maksimal paling besar, yaitu 2,34 Joule. Hal tersebut disebabkan karena ketinggian titik impact (puncak layer) paling rendah, yaitu 9010 mm. Dimana, semakin rendah titik impact, maka jarak partikel jatuh menjadi lebih besar. Energi kinetik maksimal pada variabel 2 dan 3 yaitu 2,12 Joule dan 1,85 Joule. Seperti pada sub bab sebelumnya, variabel 3 memiliki energi kinetik maksimal paling kecil karena adanya benturan dengan *wall* sebelum sebagian partikel *dolomite* menumbuk permukaan layer *conditioned ore*. Disamping itu, jarak partikel jatuh dengan permukaan layer *conditioned ore* pada variabel ini juga paling kecil. Sehingga, energi kinetik maksimum pada variabel 1 memiliki pengaruh terhadap *impact failure* paling besar.



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

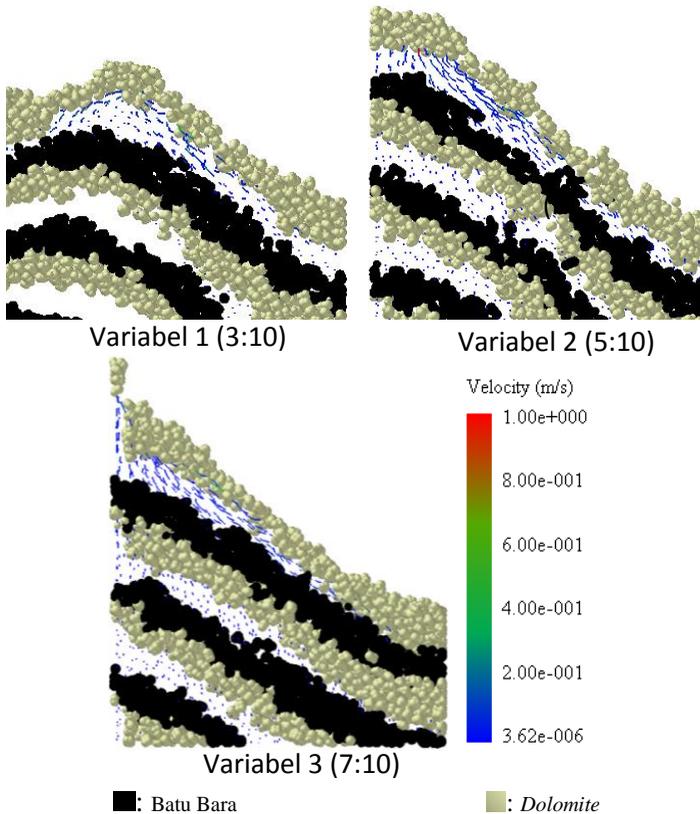


Gambar 4.8 Energi Kinetik Maksimum pada Proses *Charging Dolomite*

Fenomena deformasi pada partikel *conditioned ore* setelah ditumbuk *dolomite* juga penting untuk diketahui. Dimana, partikel *dolomite* memiliki massa lebih kecil dibandingkan *conditioned ore*. Proses deformasi layer *conditioned ore* ditunjukkan oleh Gambar 4.9.



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.9 Deformasi pada Layer *Conditioned ore*

Pada variabel 1, deformasi tampak pada permukaan layer *conditioned ore* akibat permukaan layer yang tidak stabil. Apabila dilihat dari penyebab deformasi, ketidakstabilan layer memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap terjadinya deformasi. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan panjang *stream* yang lebih kecil di puncak layer yang merupakan daerah tumbukan dan panjang *stream* yang lebih besar dan merata di daerah lereng layer. Pada variabel 2 dan 3, deformasi layer lebih besar dibandingkan



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

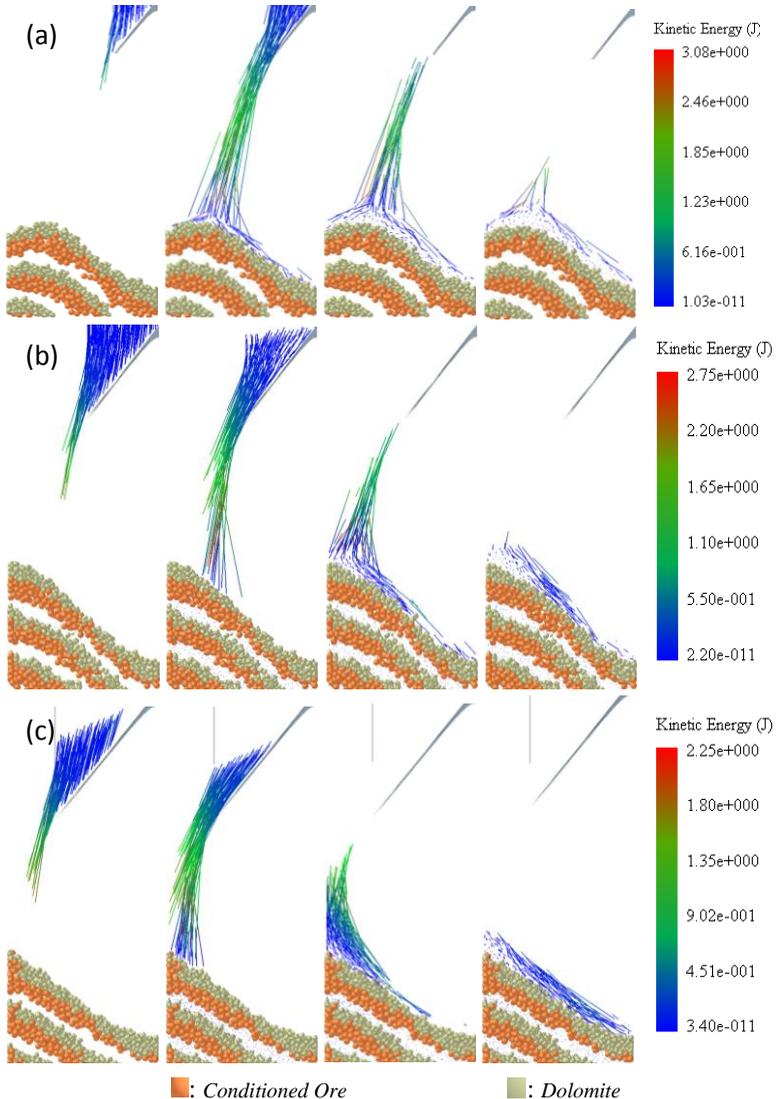
variabel 1. Kemiringan layer menjadi hal utama yang mempengaruhi kestabilan layer. Namun pada daerah *centre* variabel 3 tidak terdapat *stream* karena pada daerah ini tidak terdapat *conditioned ore* (*conditioned ore* terkonsentrasi pada bagian *wall*). Daerah *centre* merupakan daerah yang stabil dengan deformasi layer yang kecil. Hal ini bisa dibuktikan dengan titik-titik *stream*. Titik-titik *stream* ini menunjukkan bahwa partikel mengalami perpindahan yang kecil.

4.2.3 Deformasi pada Layer *Dolomite*

Dolomite merupakan *burden materials* dengan massa paling ringan dibandingkan dengan batu bara dan *conditioned ore*. Meskipun *dolomite* memiliki massa jenis yang lebih besar dari batu bara, *dolomite* memiliki massa yang lebih kecil karena memiliki volume yang lebih kecil. Setelah diketahui deformasi pada layer batu bara dan *conditioned ore*, Gambar 4.10 menampilkan alur proses *charging dolomite*.



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.10 Alur Proses *Charging* Batu Bara pada Variabel (a) 1, (b) 2 dan (c) 3



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Daerah tumbukan atau impak pada saat *charging* batu bara tidak jauh berbeda dengan *charging* batu bara dan *conditioned ore*. Pada variabel 1, daerah tumbukan berada pada puncak layer, dengan jarak 905 mm dari *centre* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3. Setelah menumbuk permukaan layer *dolomite*, partikel batu bara cenderung berpindah ke daerah yang lebih rendah. Sebagian kecil partikel batu bara berpindah ke *wall* dan sebagian besar berpindah ke *centre* akibat adanya pengaruh gravitasi.

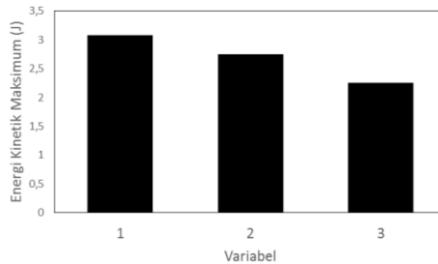
Tabel 4.3 Titik Impak pada Layer *Dolomite*

Variabel	Jarak dari <i>Centre</i> (mm)	Ketinggian Permukaan Layer (mm)
1	905	9064
2	1021	9189
3	1416	9472

Apabila dilihat dari *stream* pada variabel 2, daerah tumbukan atau impak berada pada jarak 1021 mm dari *centre*. Pada awalnya partikel batu bara cenderung menempati daerah impak. Setelah tumpukan partikel batu bara membentuk puncak dengan kemiringan yang besar, partikel yang baru menumbuk akan bergerak ke daerah *centre* akibat pengaruh gravitasi. Sedangkan pada variabel 3 dengan ukuran diameter bell yang paling besar, partikel batu bara berbenturan dengan *wall* sebelum menumbuk permukaan layer *dolomite* di daerah *wall* (1416 mm dari *centre*). Hal tersebut mengakibatkan partikel batu bara memiliki sudut tumbuk yang mengarah ke *centre* MBF. Energi kinetik maksimum pada saat proses *charging* batu bara ditunjukkan pada Gambar 4.11.



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.11 Energi Kinetik Maksimum pada Proses *Charging* Batu Bara

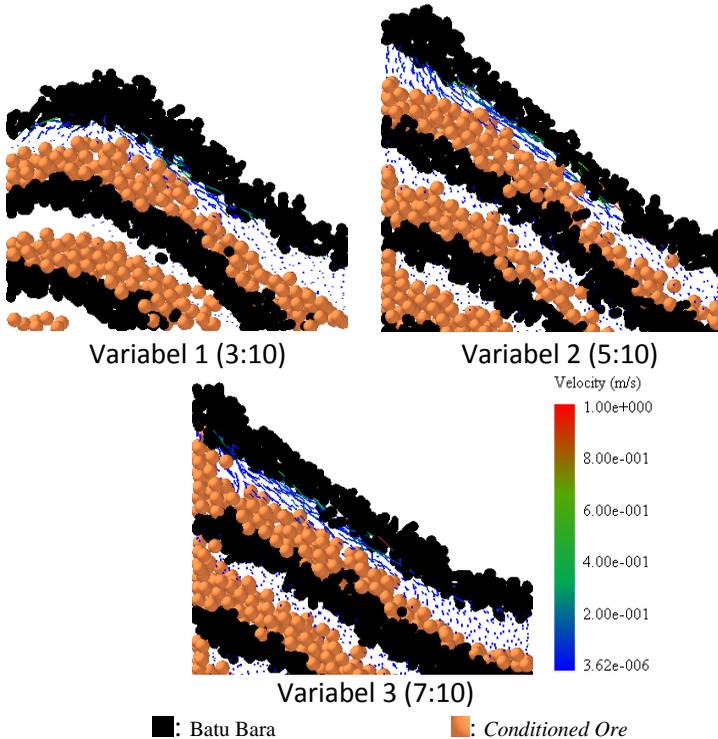
Apabila dilihat dari energi kinetik pada saat terjadinya tumbukan, hasil yang diperoleh juga tidak jauh berbeda dengan layer sebelumnya. Variabel 1 memiliki energi kinetik maksimal pada saat tumbukan paling besar, yaitu 2,47 Joule. Sedangkan nilai energi kinetik maksimal untuk variabel 2 dan 3 yaitu 2,39 Joule dan 2,2 Joule. Energi kinetik maksimal pada variabel 3 bernilai paling kecil karena adanya benturan dengan *wall* sebelum partikel batu bara menumbuk layer *dolomite*. Selain itu, tinggi puncak layer atau daerah impak pada variabel 3 paling tinggi dibandingkan variabel lain, yaitu 9472 mm dari dasar *bed* batu bara. Sehingga jarak partikel jatuh dengan permukaan layer *dolomite* yang lebih kecil juga mempengaruhi nilai energi kinetik maksimal pada variabel 3. Energi kinetik yang lebih besar akan semakin menyebabkan terjadinya deformasi pada layer (Nishio, 1982). Apabila dibandingkan dengan energi kinetik maksimal *conditioned ore* dan *dolomite*. Batu bara memiliki nilai energi kinetik maksimal lebih besar dibandingkan dengan *dolomite*, sedangkan lebih kecil jika dibandingkan dengan *conditioned ore*. Hal tersebut dapat terjadi karena besarnya massa partikel berbanding lurus dengan energi kinetik yang dihasilkan.

Setelah diketahui bagaimana partikel batu bara pada ketiga variabel menumbuk permukaan layer *dolomite*, Gambar 4.8 menunjukkan deformasi pada layer *dolomite* saat ditumbuk dengan batu bara. Partikel berwarna hitam dan merah bata merupakan batu



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

bara dan *conditioned ore*. Sedangkan partikel *dolomite* ditampilkan dalam bentuk *stream*.



Gambar 4.12 Deformasi pada Layer *Dolomite*

Deformasi pada variabel 1 lebih kecil dibandingkan dengan variabel lain. Hal ini dibuktikan dengan *stream* yang lebih pendek dan sedikit. Deformasi layer sebagian besar terjadi pada daerah tumbukan dan lembah layer yang mengarah menuju *centre*. Pada variabel 2, deformasi layer tampak pada daerah tumbukan dan lembah layer. Sedangkan pada variabel 3 deformasi layer terlihat paling besar. Kemiringan layer yang lebih besar membuat layer tidak stabil. Sehingga apabila layer ditumbuk dengan energi kinetik



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

tertentu, partikel akan bergerak ke daerah yang tidak stabil dan lebih rendah karena adanya pengaruh gravitasi dan gesekan dengan partikel penumbuk yang bergerak menuju centre. Deformasi pada layer *dolomite* juga tidak jauh berbeda dengan deformasi pada layer batu bara dan *conditioned ore*. Dimana, penyebab deformasi layer setelah adanya tumbukan yaitu ketidakstabilan layer atau kemiringan layer. Sehingga gravitasi akan memberikan pengaruh yang kuat terhadap pergerakan partikel setelah tumbukan (*gravity failure*). Selain itu, gesekan dengan partikel penumbuk juga memberikan pengaruh terhadap deformasi layer. Energi kinetik pada masing-masing variabel kurang mampu untuk memberikan efek cekungan pada layer yang ditumbuk (*impact failure*). Namun Energi kinetik yang dihasilkan pada ketiga variabel tersebut merupakan penyebab awal (inisiasi) terjadinya *gravity failure* pada layer. Variabel 1 merupakan variabel dengan layer paling stabil. Sedangkan variabel 3 memiliki layer paling tidak stabil karena kemiringan layer yang paling besar.

4. 3 Distribusi *Burden Materials*

Distribusi *burden materials* di dalam MBF menjadi hal yang perlu dipertimbangkan dalam mendesain suatu reaktor. Perbedaan *charging equipment* juga akan menghasilkan perbedaan persebaran fraksi *burden materials* di dalam MBF. Pada saat ini telah banyak teknologi yang digunakan untuk mengetahui kondisi proses dalam MBF, yaitu *probe* yang berfungsi sebagai pengukur temperatur proses pada posisi tertentu, radar yang berfungsi untuk mengetahui ketinggian permukaan *burden materials*, kamera infrared untuk mengetahui temperatur permukaan, *pressure gauges* untuk mengetahui tekanan pada titik tertentu di daerah *wall* dan lain sebagainya (Mitra, 2016). Pada operasi skala besar merupakan hal yang sangat sukar untuk mengetahui persebaran fraksi *burden materials* secara keseluruhan di dalam reaktor. Namun, proses simulasi menggunakan *Solid Particle Model* memungkinkan peneliti untuk mengetahui fraksi *burden materials* secara keseluruhan di dalam MBF. Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, proses simulasi pada penelitian ini terdiri dari 20 layer



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

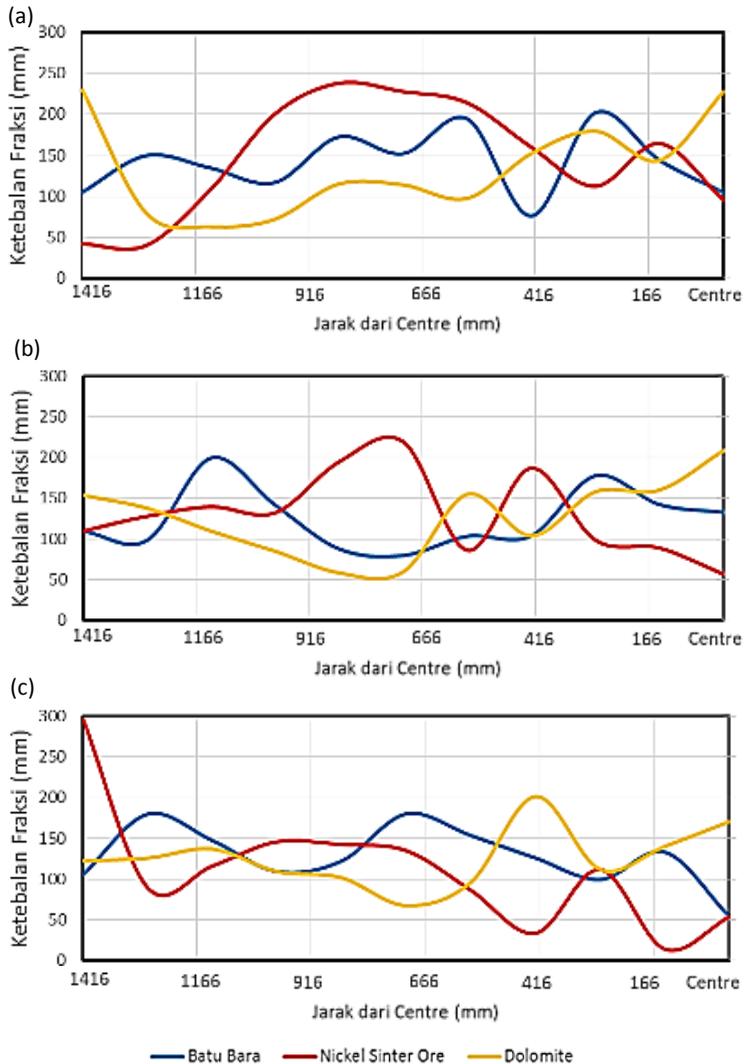
burden materials, 4800 kg *coal bed* dan satu layer batu bara sebagai penutup pada bagian paling atas.

Sangat sulit untuk mengetahui distribusi *burden materials* secara pasti di dalam MBF. Persebaran fraksi yang diperoleh dari proses simulasi untuk layer 1 – 20 pada masing-masing variabel cenderung fluktuatif khususnya pada daerah radial diantara *wall* dan *centre*. Hal tersebut terjadi karena beberapa faktor, yaitu daerah tumbukan saat *charging*, ketinggian material jatuh dan tingkat kestabilan layer yang ditumbuk. Distribusi fraksi *burden materials* tiap layer ditampilkan pada Lampiran A.

Pada daerah *centre*, ketiga variabel menunjukkan bahwa mayoritas fraksi terbesar adalah *dolomite*. Dengan kandungan *dolomite* yang besar, bagian ini akan memiliki tambahan kandungan gas CO₂ yang lebih besar yang kemudian berfungsi sebagai pembentuk reaksi boudouard untuk menghasilkan gas reduktor (CO). Selain itu, pada daerah ini terdapat *flux agent* atau pengikat pengotor yang besar. Sedangkan untuk daerah *wall*, fraksi terbesar pada mayoritas layer adalah *conditioned ore*. Hasil yang diperoleh sesuai dengan penelitian Z. Tang yang menyatakan bahwa pada partikel jatuh, partikel dengan ukuran dan densitas yang lebih kecil akan cenderung mendekati *centre* dan partikel dengan ukuran dan densitas lebih besar akan cenderung mendekati *wall* (Tang, 2013). Ketebalan layer 20 ditunjukkan oleh Gambar 4.13.



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.13 Ketebalan Layer 20 pada Daerah Radial MBF untuk Variabel (a) 1, (b) 2 dan (c) 3



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada layer ke-20 untuk variabel 1 dan 2, layer paling tebal di daerah *wall* di dominasi oleh *dolomite*. Apabila melihat pada Gambar 4.7 (a) dan (b), hal tersebut disebabkan oleh daerah tumbukan (puncak layer) yang tidak berada pada *wall*, sehingga ketinggian layer pada *wall* lebih rendah dan partikel *dolomite* akan lebih mudah bergerak ke daerah lebih rendah karena massa dan volume yang lebih kecil jika dibandingkan partikel lain. Konsentrasi partikel *dolomite* yang terlalu tinggi pada daerah *wall* menyebabkan temperatur pada daerah *wall* lebih rendah karena adanya *heat loss* yang besar dan *dolomite* memiliki tingkat resistivitas yang tinggi terhadap aliran gas. Hal tersebut akan berakibat pada semakin rendahnya daerah *melting zone* di daerah *wall* dan akan semakin mendekati tuyer. Daerah *melting zone* yang mendekati tuyer akan menyebabkan tuyer lebih mudah rusak (Greedes, 2015). Sehingga, pada daerah *wall* diperlukan konsentrasi batu bara yang cukup, karena selain memiliki permeabilitas yang baik, batu bara juga berperan sebagai penyedia gas reduktor dan sumber energi. Variabel 2 memiliki komposisi *dolomite* dan *conditioned ore* yang lebih ideal (tidak terlalu besar) dan konsentrasi batu bara yang cukup. Sehingga, variabel 2 merupakan variabel terbaik apabila mempertimbangkan daerah *melting zone* dan *heat loss* pada daerah *wall* untuk proses MBF secara kontinyu.

Apabila meninjau pengaruh persebaran fraksi atau ketebalan layer *burden materials* terhadap aliran gas pada proses *start-up*, perlu adanya pembagian wilayah di dalam MBF berdasarkan distribusi temperatur. Pembagian wilayah didasarkan pada distribusi temperatur karena pada temperatur tertentu *burden materials* akan mengalami perubahan fasa yang kemudian akan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap aliran gas jika dibandingkan dengan sebelum terjadinya perubahan fasa.

Daerah di dalam MBF yang lebih dekat dengan tuyer akan memiliki temperatur yang lebih besar, karena tuyer memiliki temperatur yang paling tinggi (1900-2300 °C). Sehingga dalam

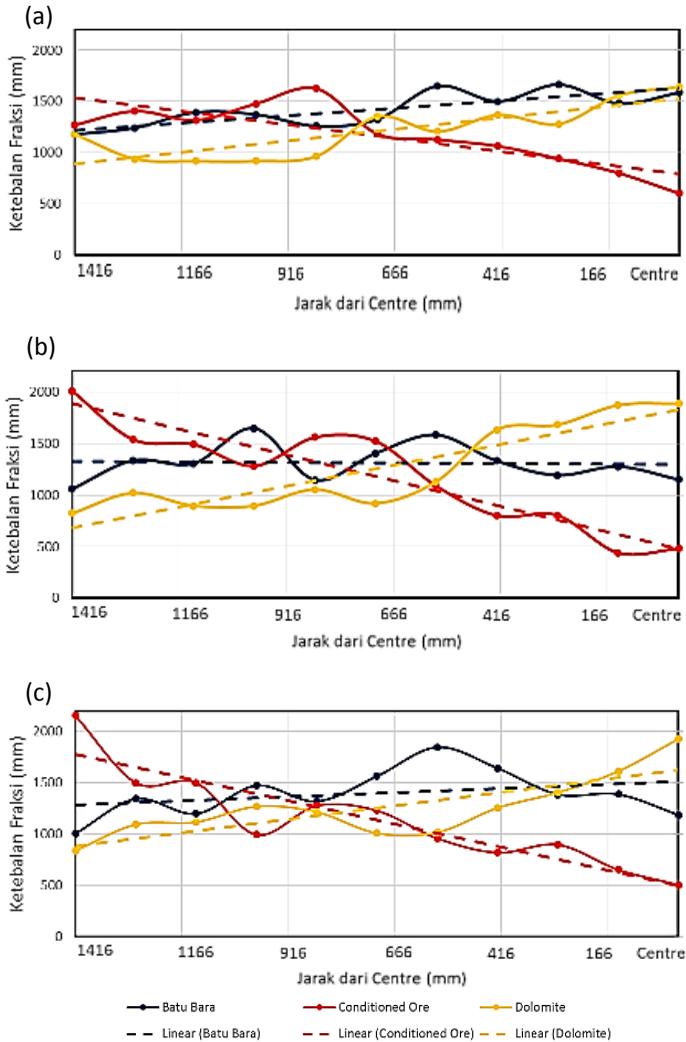


BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

pembahasan tentang pengaruh aliran gas, daerah di dalam MBF dibagi ke dalam dua daerah, yaitu daerah dengan temperatur di atas 1000 °C dan daerah dengan temperatur kurang dari 1000 °C. Daerah dengan temperatur di atas 1000 °C berada pada layer 1-10. Sedangkan daerah dengan temperatur di bawah 1000 °C berada pada layer 11-20. Asumsi pembagian ini di dasarkan pada penelitian Yasfi dimana temperatur rata-rata 1000 °C berada pada setengah ketinggian *working volume* MBF di daerah wall (Yasfi, 2015). Ketebalan layer MBF pada temperatur di bawah 1000 °C ditunjukkan pada Gambar 4.14.



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.14 Ketebalan Layer *Burden Materials* pada Asumsi Daerah dengan Temperatur Kurang dari 1000 °C untuk Variabel (a) 1, (b) 2 dan (c) 3



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Ketebalan *burden materials* tampak berbeda pada posisi radial tertentu. Pada Gambar 4.14, tren grafik ketebalan *conditioned ore* untuk ke-tiga variabel semakin menurun saat mendekati daerah *centre*. Sedangkan tren grafik ketebalan *dolomite* cenderung meningkat saat mendekati daerah *centre*. Untuk tren grafik batu bara cenderung lebih stabil atau linier. Pada daerah *wall*, *conditioned ore* memiliki ketebalan terbesar diantara *burden materials* lain. Sedangkan pada daerah diantara *wall* dan *centre* partikel yang mendominasi lebih fluktuatif. Kemudian, pada daerah *centre* MBF didominasi oleh partikel *dolomite*.

Saat proses berlangsung, tiap *burden materials* mengalami pengurangan ukuran dan bahkan perubahan fasa pada temperatur tertentu. Pada temperatur di bawah *melting and softening zone* (100-1000 °C), partikel *burden materials* akan mengalami degradasi menjadi ukuran yang lebih kecil. Pada daerah *charging zone* misalnya, *burden materials* dapat terdegradasi akibat adanya tekanan impact dan abrasi antar partikel. Pada temperatur yang lebih tinggi (di atas 600 °C) dimana terjadi reduksi dari hematite menjadi magnetite, partikel *conditioned ore* mengalami *internal stress* yang menyebabkan peningkatan densitas dan reduksi ukuran partikel (Greedes, 2015). Sedangkan pada temperatur 700-960 °C partikel *dolomite* terdekomposisi yang kemudian menyebabkan pengurangan ukuran partikel (Philip Engler, 1988). Untuk partikel batu bara, partikel mulai bereaksi dengan CO₂ pada temperatur 900 °C sampai 1000 °C. Pada daerah *granular zone*, batu bara terdegradasi (mayoritas abrasi) akibat adanya proses gasifikasi dan gaya mekanik (Greedes, 2015). Namun, tingkat degradasi batu bara tidak sebesar *dolomite* dan *conditioned ore*.

Berdasarkan deformasi yang terjadi pada temperatur 100 -1000 °C untuk masing-masing *burden materials*, mayoritas partikel mengalami pengurangan ukuran dengan tingkatan tertentu. Pada temperatur sebelum terjadinya proses reduksi maupun reaksi pada *burden materials*, aliran gas akan lebih mudah mengalir melalui layer *conditioned ore* akibat volume partikel yang paling besar.



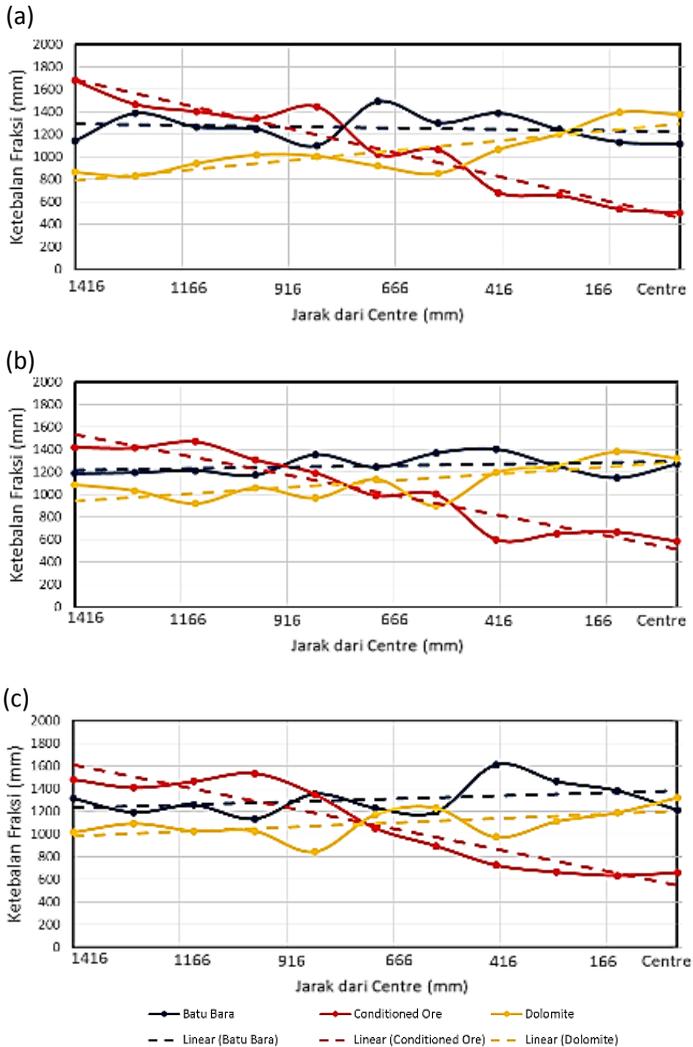
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Namun pada temperatur reduksi, batu bara memiliki volume partikel lebih besar.

Berdasarkan Gambar 4.14, ketebalan layer pada variabel 1 didominasi oleh partikel batu bara dan *conditioned ore* yang memiliki tingkat permeabilitas besar. Sedangkan pada daerah *centre* didominasi oleh partikel *dolomite* yang memiliki tingkat permeabilitas paling kecil, sehingga aliran gas akan semakin sukar melewati daerah ini. Namun, apabila dibandingkan dengan variabel 2 dan 3 konsentrasi *dolomite* pada daerah *centre* lebih kecil. Sehingga pada daerah *centre*, variabel 1 memiliki aliran gas terbaik. Aliran gas yang baik pada bagian *centre* merupakan hal yang paling diinginkan operator, karena pada daerah ini merupakan daerah dengan *heat loss* paling kecil dan distribusi aliran gas akan lebih merata. Ketebalan *dolomite* yang paling mendominasi terdapat pada variabel 2, dengan panjang radial dimulai dari *centre* sampai jarak 500 mm dari *centre*. Sehingga variabel ini kurang baik untuk keberlangsungan proses. Variabel 3 memiliki ketebalan batu bara tertinggi pada jarak 270 mm dari *centre*. Sedangkan pada daerah *centre* ketebalan burden materials didominasi oleh *dolomite*. Pada daerah dari *wall* sampai jarak 270 mm dari *centre*, ketebalan didominasi oleh batu bara dan *conditioned ore* yang memiliki tingkat resistivitas lebih kecil dibandingkan dengan *dolomite*. Sehingga aliran udara paling besar berada di daerah *wall* dan jarak 500 mm dari *centre*. Dari ke-tiga variabel tersebut, dapat ditentukan bahwa variabel terbaik apabila ditinjau dari aliran gas pada daerah dengan temperatur di bawah 1000 °C dimiliki oleh variabel 3, karena variabel ini memiliki daerah resistivitas (dominasi *dolomite*) terhadap aliran gas yang paling kecil. Untuk ketebalan layer pada daerah dengan temperatur di atas 1000 °C ditunjukkan oleh Gambar 4.15.



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.15 Ketebalan Layer *Burden Materials* pada Daerah dengan Temperatur Lebih dari 1000 °C untuk Variabel (a) 1, (b) 2 dan (c) 3



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Pada daerah *melting dan softening zone* (1000-1300 °C), *conditioned ore* mulai melunak dan meleleh. Pada temperatur tersebut, permeabilitas *conditioned ore* berkurang drastis dan menjadi penghambat terhadap aliran gas panas yang dihasilkan dari daerah *raceway* (Greedes, 2015). Hal yang sama juga terjadi pada *dolomite* yang berfungsi sebagai *flux*. Pada temperatur 1200 °C, *dolomite* mulai melunak dan mencair yang kemudian mengikat material pengotor yang tidak terlarut dalam *molten metal* (Biswas, 1981). Dengan fasa likuid, dolomit dan *conditioned ore* menjadi penghambat yang besar terhadap aliran gas panas dan distribusi temperatur di dalam MBF. Sedangkan partikel batu bara berperan sebaliknya. Partikel ini tetap solid dengan permeabilitas tinggi sampai pada temperatur di atas (2000 °C) Sehingga pada daerah *softening dan melting zone* batu bara merupakan satu-satunya material solid. Pada daerah ini dan daerah yang lebih rendah, batu bara akan menjadi struktur penyangga pada daerah *lower zone*, dimana akan menjadi lintasan aliran gas ke atas sekaligus lintasan *conditioned ore* dan *dolomite* yang telah meleleh menuju *hearth*. Pada daerah di depan *raceway*, terdapat reaksi pembakaran batu bara yang kemudian menghasilkan energi dengan temperatur pembakaran mencapai 1900-2300 °C (Greedes, 2015).

Apabila melihat pada tren grafik, ketebalan *conditioned ore* semakin menurun apabila mendekati daerah *centre*. Sedangkan pada *dolomite*, ketebalan *dolomite* semakin meningkat apabila mendekati daerah *centre*. Tren grafik batu bara lebih stabil (linear) di daerah *wall* dan *centre*. Dari Gambar 4.15 dapat diketahui bahwa *conditioned ore* mendominasi pada daerah *wall* untuk ke-tiga variabel. Sehingga pada daerah ini, hambatan terhadap aliran gas lebih besar. Pada daerah *centre*, ketebalan layer di dominasi oleh partikel *dolomite*. Dimana variabel 3 memiliki dominasi ketebalan *dolomite* paling rendah, yaitu dari daerah *centre* sampai sekitar 50 mm dari *centre*. Sehingga apabila mempertimbangkan aliran udara pada daerah dengan temperatur di atas 1000 °C, variabel 3 merupakan yang terbaik. Selain memiliki daerah dengan hambatan aliran gas paling kecil, pada daerah dengan jarak 416 mm dari



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

centre variabel 3 memiliki ketebalan batu bara yang sangat besar. Sehingga aliran gas yang besar akan terkonsentrasi pada daerah ini, yang kemudian akan didistribusikan ke daerah lain. Karena pada daerah ini, tingkat hambatan aliran gas kecil. Sehingga apabila mempertimbangkan daerah pada temperatur di atas dan di bawah 1000 °C, variabel yang dipilih (terbaik) untuk proses *start-up* apabila ditinjau dari aliran gas adalah variabel 3.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisa terhadap hasil proses simulasi, diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Semakin besar diameter *large bell*, titik impak saat proses charging akan semakin mendekati daerah *wall*. Kemudian, daerah impak pada permukaan layer akan menjadi puncak layer. Dimana, jenis deformasi yang paling berpengaruh pada ke-tiga variabel adalah *gravity failure* yang dipengaruhi oleh ketidakstabilan layer.
2. Distribusi *burden materials* di dalam *Mini blast furnace* dipengaruhi oleh ukuran *large bell*, energi kinetik saat tumbukan, massa partikel, ukuran partikel dan tingkat kestabilan layer. Pada ke-tiga variabel, daerah *wall* didominasi oleh fraksi *conditioned ore*. Pada daerah *centre* didominasi oleh *dolomite*.
3. Variabel terbaik untuk proses kontinyu dengan mempertimbangkan *heat loss* dan *melting zone* pada daerah *wall* adalah variabel dengan perbandingan diameter *large bell* dengan diameter dalam *mini blast furnace* 5:10 (variabel 2).

5.2. SARAN

Setelah melakukan penelitian dan diperoleh beberapa hambatan yang mempengaruhi hasil penelitian, peneliti mengajukan saran terhadap peneliti selanjutnya dengan harapan hasil penelitian yang diperoleh menjadi lebih berkualitas. Saran dari peneliti yaitu:

1. Perlu dilakukannya eksperimen untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik suatu material, karena tingkat keakuratan data akan lebih valid jika dibandingkan dengan data dari literatur.
2. Untuk mengurangi batasan masalah, diperlukan *software* tambahan, yaitu *Computational Fluid Dynamic* (CFD) yang kemudian dilakukan proses *coupling* dengan *software Solid*



BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Particle Model. Proses *coupling* ini akan memungkinkan penulis untuk memperoleh data yang lebih lengkap, seperti distribusi *burden materials*, aliran gas, distribusi tekanan dan distribusi temperatur di dalam *mini blast furnace*.

DAFTAR PUSTAKA

- Babich, A, D Senk, H.W Gudenau, and K.Th Mavrommatis. (2008). *Ironmaking*. Aachen: Institut für Eisenhüttenkunde der RWTH Aachen.
- Biswas, A.K. 1981. *Principle of Blast Furnace Ironmaking*. Australia: University of Queensland.
- Boranbaev, B., Y. Glazer, V. Vakulin dan A. Sirkar. 2009. *Bell-Less Rotary Charging Unit—A Perfect Burden Loading Technology, Metallurgist*, vol. 53, pp. 395-403.
- Dalvi, A. D., Bacon, W. G., & Osborne, R. C. (2004). The Past and The Future of Nickel Laterites. *International Convention*, 1-7.
- Defendi, G., A. Baltazar, P. F. Nogueira, A. G. Cornejo dan D. S. Nasato. 2011. *Blast furnace charging simulation using EDEM*. Skotlandia.
- Dio, Y. 2016. *Studi Pengaruh Variasi Jenis Fluks Dalam Proses Aglomerasi Bijih Nikel Laterit Terhadap Kadar Ni Dan Fe Serta Morfologi Aglomerat Sebagai Bahan Umpan Mini Blast Furnace*. Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- ESDM. 2016. *Kajian Supply Demand Mineral*. Jakarta: Pusat Data dan Informasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Fu, D., Chen dan Zhou, *Mathematical Modeling Of Blast Furnace Burden Distribution With Non-Uniform Descending Speed, Applied Mathematical Modelling*, vol. 39, pp. 7554-7567, 12, 2015. United States: Calumet University.
- Fu, D., Y. Chen, Y. Zhao, J. D'Alessio, K. J. Ferron dan C. Q. Zhou. 2014. *CFD Modeling Of Multiphase Reacting Flow In Blast Furnace Shaft With Layered Burden*.
- Geerdes, M., dkk. 2015. *Modern Blast Furnace Ironmaking*. Belanda: IOS Press BV.

- 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.
- Hidayatullah. 2016. *Analisa Numerik Pengaruh Ukuran Kokas Terhadap Distribusi Temperatur Dan Tekanan Mini Blast Furnace*. Indonesia: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hoo, C.K, dkk. 2009. *Experimental and Numerical Investigation of Gouge Formation Related to Blast Furnace Burden Distribution*. Australia: The University of New South Wales.
- 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.
- Nag, S., S. Basu dan A. B. Yu. 2009. *A Static Approach Towards Coke Collapse Modelling In Blast Furnace*. *Ironmaking & Steelmaking*, vol. 36, pp. 509-514.
- Nishio, H. Dan T. Ariyama. 1982. *Analysis On Formation Processes Of Burden Distribution In A Blast Furnace* vol.
- Pandey, B. D. dan U. S. Yadav. 1999. *Blast Furnace Performance As Influenced By Burden Distribution,* *Ironmaking & Steelmaking*, vol. 26, pp. 187-192.
- Park, J., U. Baek, K. Jang, H. Oh dan J. Han. 2011. *Development Of The Burden Distribution And Gas Flow Model In The Blast Furnace Shaft, ISIJ International*, vol. 51, pp. 1617-1623. Korea: Inha University.
- Pöschel, T. dan T. Schwager. 2005. *Computational Granular Dynamics: Models and Algorithms*. Springer Science & Business Media.
- Rajananda. 2016. *Extractive Metallurgy of Copper Fourth Edition*, Tucson, Pergamon.
- Riddle, M. dan P. Whitfield, 2007. *Design And Operation Of A Gimbal Top Distribution System For Ironmaking Plants, Revue De Métallurgie*, vol. 104, pp. 113-119.

- Spencer, J. 1985. *Sulfidation of Half-Calcined Dolomite in Hydrogen-Sulfide/Deuterium/Water/Nitrogen. Structure and Mechanisms*, 2.
- 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.
- Teffo, V.B. dan N. Naude. 2013. Determination of Coefficients of Restitution, Static and Rolling Friction of Eskom-grade Coal for Discrete Element Modelling.
- Teng, Z., S. Cheng, P. Du and X. Guo.2013. Mathematical model of burden distribution for the bell less top of a blast furnace, *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, vol.20, pp. 620-626.
- U.S. Geological Survey. 2016. *Mineral Commodity Summaries*. USA.
- Yang, K., S. Choi, J. Chung dan J. Yagi. 2010. *Numerical modeling of reaction and flow characteristics in a blast furnace with consideration of layered burden*, *ISIJ International*, vol. 50, pp. 972-980. Korea: Korea Advanced Institute of Science and Technology.
- Yasfi. 2015. *Studi Pemodelan Proses Ekstraksi Bijih Nikel Lateriat pada Mini Blast Furnace Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Yu, Y., dan H. Saxén. 2012. *Flow of Pellet and Coke Particles in and from a Fixed Chute*. Finlandia: Abo Akdemi University.

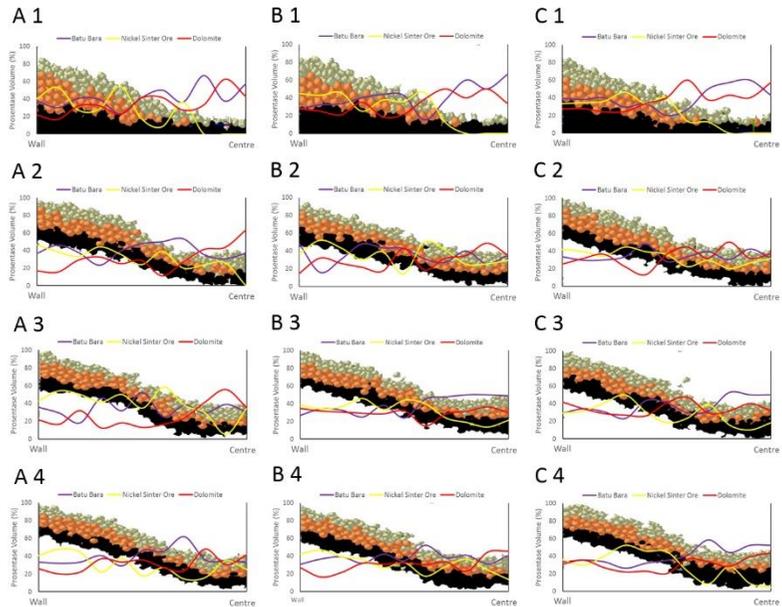
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

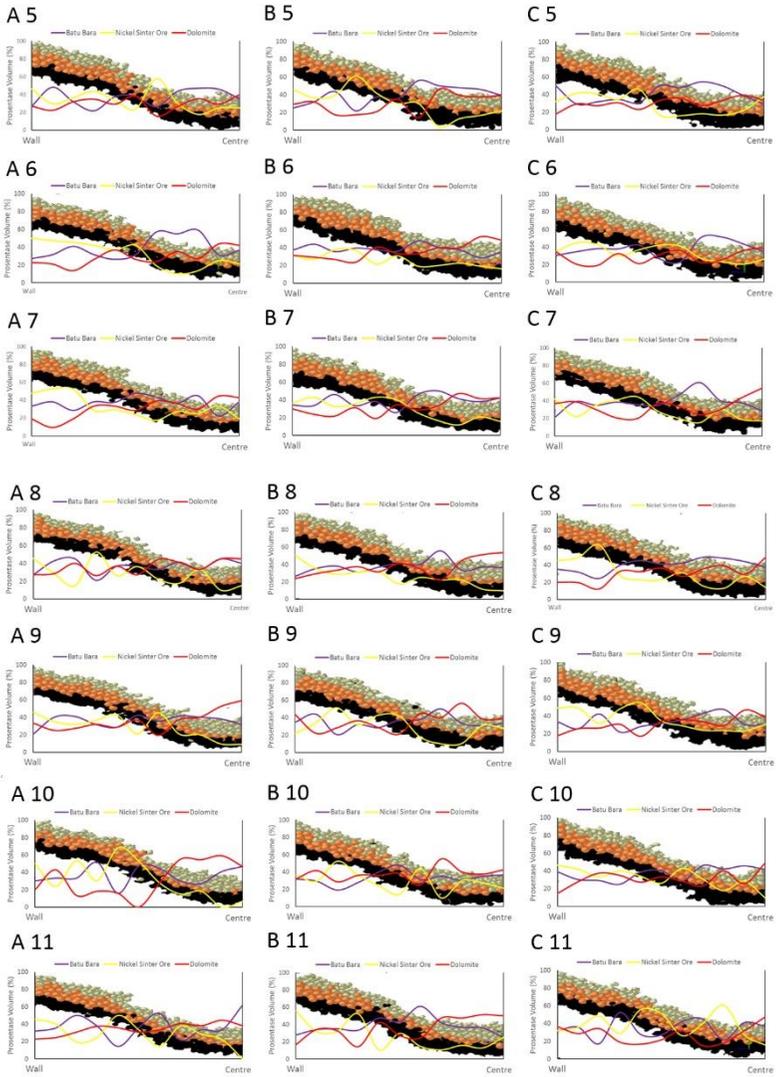
Lampiran A

Distribusi Fraksi Burden Materials pada Tiap Layer

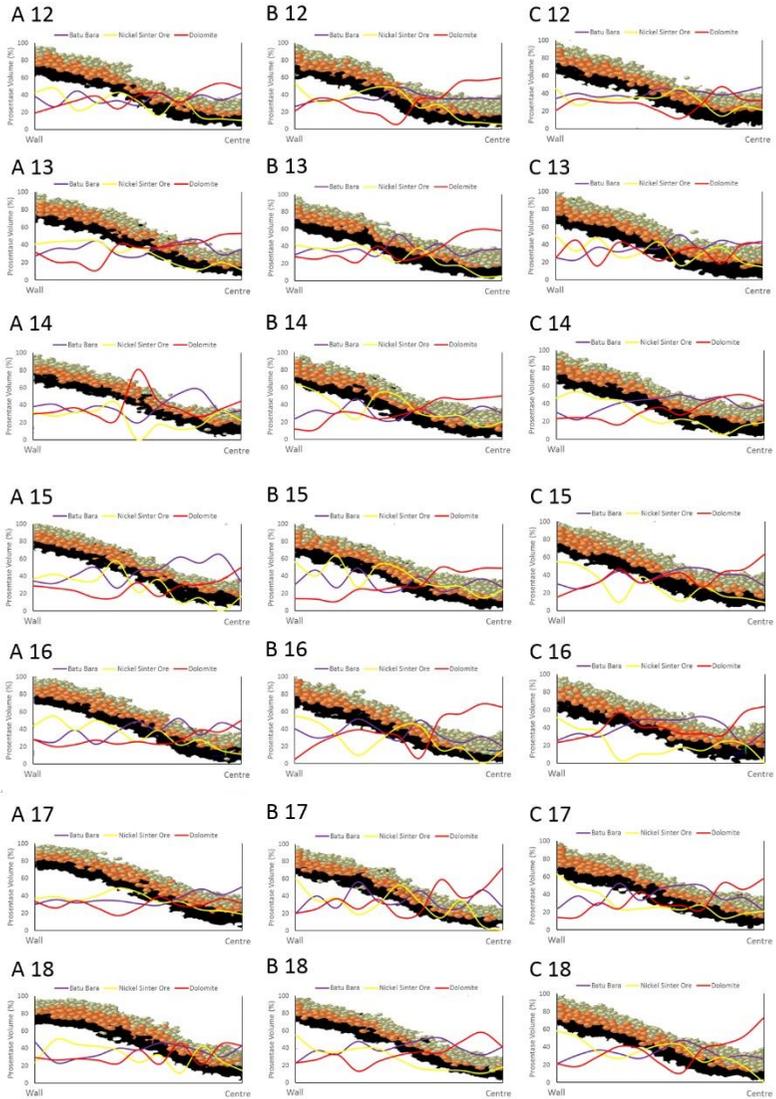
Persebaran fraksi *burden materials* di dalam MBF untuk masing-masing variabel ditampilkan oleh Gambar 4.9, Gambar 4.10 dan Gambar 4.11. Batu bara, *nickel sinter ore* dan *dolomite* ditampilkan dengan warna hitam, merah bata dan putih. Kode A, B dan C pada gambar menunjukkan variabel 1, 2 dan 3. Sedangkan angka setelahnya menunjukkan layer. Sebagai contoh, A1 menunjukkan persebaran fraksi *burden materials* untuk variabel 3:10 pada layer 1. Kemudian garis ungu pada grafik menunjukkan fraksi batu bara, garis kuning menunjukkan fraksi *nickel sinter ore* dan garis merah menunjukkan fraksi *dolomite*.



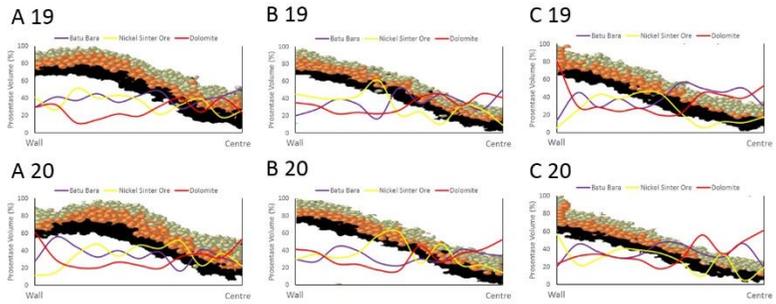
Gambar A.1 Persebaran Fraksi Burden Materials pada Layer 1-4



Gambar A.2 Persebaran Fraksi Burden Materials pada Layer 5-11



Gambar A.3 Persebaran Fraksi Burden Materials pada Layer 12-18



Gambar A.4 Persebaran Fraksi Burden Materials pada Layer 19-20

Lampiran B

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
= $20.833,33 / 2 = 10.416,67 \text{ kg}$
- Massa *charging Conditioned Ore* per layer (terdiri dari 20 layer) = $10.416,67 \text{ kg} / 20 = 520,833 \text{ kg}$
- Perbandingan massa conditioned ore : batu bara : *dolomite* = 25 : 17 : 16
- Massa *charging* batu bara per layer = $17/25 \times 520,833 \text{ kg} = 354,1667 \text{ kg}$
- Massa *charging dolomite* per layer = $16/25 \times 520,833 \text{ kg} = 333,333 \text{ kg}$

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan dan ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah ikut berperan serta terhadap penulisan tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Nabi Besar Muhammad SAW yang melalui keringat beliau penulis mengerti makna dan tujuan hidup.
2. Alm. Mujiadi dan Siti Aminah selaku bapak dan ibu penulis yang selalu memberikan usaha terbaik dan doa yang tak pernah putus untuk kebahagiaan serta kesuksesan anaknya.
3. Bapak Agung Purniawan ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Departemen Teknik Material FTI ITS yang telah banyak memberikan motivasi pada penulis.
4. Bapak Sungging Pintowantoro ST., MT., Ph.D dan Bapak Mas Irfan P. Hidayat ST., M.Sc., Ph.D sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan banyak ilmu dan arahan demi kesuksesan anak didiknya.
5. Bapak Fakhreza Abdul yang diibaratkan sebagai dosen pembimbing 3 yang selalu menyempatkan waktunya untuk memberikan arahan dan ilmu kepada penulis.
6. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material yang telah memberikan banyak pelajaran kepada penulis.
7. Seluruh Ustadz dan Ustadzah Pondok Pesantren Darussalam Keputih yang telah banyak mengajarkan makna dan tujuan hidup.
8. Mbak lina sebagai kakak penulis yang selalu ada untuk adiknya.
9. Rekan Seperjuangan dalam hal pengerjaan Tugas Akhir Hamzah Syaifullah yang tak punya rasa takut untuk memperjuangkan apa yang diyakininya benar.
10. Rekan Seperjuangan Lab Pengolahan Mineral Wasik, Ridwan, Farid, Kemplu, Domo, Bima, Fiqri, Orlando, Anggiat dan Rahmania yang tak hentinya memberikan dukungan dan semangat.

11. Teman-teman Pondok Pesantren Darussalam Keputih yang
12. Teman-teman Mahasiswa Angkatan 2013 (MT 15), yang selalu bersama dalam suka dan duka.
13. Seluruh pihak yang telah memberikan kontribusi atas penulisan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan, namun dibalik itu terdapat niat tulus untuk berbagi pengetahuan bagi sesama. Penulis berharap bahwa laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap **Mohammad Rizki Febrianto**, Pria kelahiran Jombang, 08 Februari 1995, merupakan anak kedua dari pasangan Alm. Mujiadi dan Siti Aminah. Memulai Pendidikan formal di MI Muhammadiyah 2 Jambu, Pendidikan Dilanjutkan di SMP Negeri 1 Jombang, SMA Negeri 2 Jombang, Kemudian Melanjutkan studi S1 Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi

Industri, Institut Teknologi Sepuluh Noember.

Penulis Aktif dalam berbagai kegiatan organisasi mahasiswa kampus, diantaranya yaitu staff BSO Material Techno Club, Staff JMMI dan Sekretaris Jenderal LDJ Ash-Haabul Kahfi. Penulis sepat mendapatkan beberapa penghargaan kompetisi tingkat nasional, yaitu Medali Emas Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional ke-27, Juara 1 LKTIN ITS Expo 2016 , dan Juara 2 Lomba Karya Ilmiah Ocean Ovolution ITB.

Dalam hal keprofesian, Mahasiswa melakukan kerja perktek di PT Newmont Nusa Tenggara dengan judul penelitian “Analisis Pengaruh Ukuran Partikel Produk Terhadap *Recovery* dan *Grade* pada *Column Cleaner Flotation* untuk *Fresh Ore*” dan mengambil tugas akhir Laboratorium pengolah Mineral dan Material dengan judul “ 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*”

Email : mohammadrizkifebrianto1@gmail.com

(Halaman ini sengaja dikosongkan)