

**PENGARUH UKURAN PARTIKEL BATU KAPUR DAN *SLAG*
BLAST FURNACE SERTA KOMPOSISI KERTAS HABIS
PAKAI DAN *SLAG BLAST FURNACE* TERHADAP
POROSITAS, KUAT TEKAN, DAN *SHATTER TEST SLAG*
*DEPRESSANT***

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh

Muhammad Farid Budi Prakoso

3334170054

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON - BANTEN
2023**

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut :

Judul : Pengaruh Ukuran Partikel Batu Kapur dan *Slag Blast Furnace* Serta Komposisi Ketas Habis Pakai dan *Slag Blast Furnace* Terhadap Porositas, Kuat Tekan, dan *Shatter Test Slag Depressant*

Nama Mahasiswa : Muhammad Farid Budi Prakoso

NIM : 3334170054

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan dalam lembar ini.

Cilegon, 18 Oktober 2023



Muhammad Farid Budi Prakoso

NIM 3334170054

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH UKURAN PARTIKEL BATU KAPUR DAN *SLAG*
BLAST FURNACE, KOMPOSISI KERTAS HABIS PAKAI DAN
SLAG BLAST FURNACE TERHADAP POROSITAS,
KETAHANAN BENTUR, KANDUNGAN ZAT TERBANG, DAN
KUAT TEKAN *SLAG DEPRESSANT***

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Disetujui Untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh :


Pembimbing I

Pembimbing II



Ir. Soesaptri Oediyani, M. E.

NIP. 196006232003122001



Bening Nurul H. K., ST., MT

NIP. 199008292020122013

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH UKURAN PARTIKEL BATU KAPUR DAN *SLAG*
BLAST FURNACE SERTA KOMPOSISI KERTAS HABIS
PAKAI DAN *SLAG BLAST FURNACE* TERHADAP
POROSITAS, KUAT TEKAN, DAN *SHATTER TEST SLAG*
*DEPRESSANT***

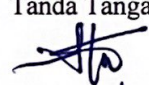
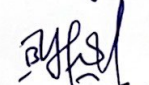

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh :

Muhammad Farid Budi Prakoso

3334170054

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal : 18 Oktober 2023

	Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
Penguji I	: Ir. Soesaptri Oediyani, M. E.	
Penguji II	: Bening Nurul H. K., ST., MT	
Penguji III	: Anistasia Milandia, S.T., M.T.	

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Adhitva Trenggono, S.T., M.Sc.

NIP.19780102003121001

THE EFFECT OF LIMESTONE PARTICLES AND SLAG BLAST FURNACE AND THE COMPOSITION OF USED PAPER AND SLAG BLAST FURNACE ON POROSITY, COMPRESSIVE STRENGTH AND SHATTER TEST OF SLAG DEPRESSANT

Soesaptri Oediyani¹, Bening Nurul Kambuna², Muhammad Farid Budi Prakoso³

Metallurgical Engineering Departement, Faculty Of Engineering, Sultan Ageng Tirtayasa University, Jenderal Sudirman Street KM 03 Cilegon-Banten 42435, Indonesia

Abstract

About 72% of steel is produced using the BF-BOF route. There is a phenomenon called slag foam is the formation of foam or gas bubbles during the steel production process. Uncontrolled slag foam will cause a slopping phenomenon, namely the overflow of slag foam out of the furnace which will reduce furnace productivity. To control the formation of slag foam if there is too much, an additive substance, namely slag depressant, is used. When using slag depressant, a new problem arises, namely slag settling depressant builds up in the hopper due to low slag capacity depressant to withstand pile loads and friction loads. Slag depressant it is expected to be able to withstand stacked loads during its use inside a hopper with a slag depressant compressive strength of more than 1500N/cm². In 2020, Kusnadi and Della conducted research related to slag depressants which have a high porosity value. Because the research was carried out by varying the grain size of limestone and blast furnace slag -40+60#, -60+80#, and -80+100# to improve the porosity value while still having a compressive strength value of more than 1,500N/cm². Apart from that, variations in paper composition were also carried out in consumables 60%, 50%, 40%, and 30%, and blast furnace slag 10%, 20%, 30%, and 40%. The research was carried out by mixing consumable paper, limestone, slag blast furnace, and molasses. After that, the slag depressant formed a cylindrical shape using the compaction method and dried in an oven at using temperature of 100°C for 5 hours. Then the shatter test, volatile matter, porosity, and compressive strength were carried out. The highest compressive strength is 2200.71 N/cm² with a porosity value of 14.96% for the sample with particle size -80+100# and raw material composition of 60% consumable paper and 10% blast furnace slag.

Keywords: Slag Depressant, Slag Foam, Compression Test, Porosity, Volatile Matter, Shatter Test

**PENGARUH UKURAN PARTIKEL BATU KAPUR DAN SLAG BLAST
FURNACE SERTA KOMPOSISI KERTAS HABIS PAKAI DAN SLAG BLAST
FURNACE TERHADAP POROSITAS, KUAT TEKAN, DAN SHATTER TEST
SLAG DEPRESSANT**

Soesaptri Oediyani¹, Bening Nurul Kambuna², Muhammad Farid Budi Prakoso³

Departmen Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng
Tirtayasa Jl. Jenderal Sudirman KM 03 Cilegon-Banten 42435, Indonesia

Abstrak

Sekitar 72% baja dihasilkan dengan menggunakan jalur BF-BOF. Terdapat fenomena yang dinamakan slag foam yakni terbentuknya busa atau gelembung gas selama proses produksi baja. Slag foam yang tidak terkendali akan menyebabkan fenomena slopping, yaitu meluapnya slag foam keluar dari furnace sehingga akan mengurangi produktivitas furnace. Untuk mengendalikan pembentukan slag foam yang berlebih, maka digunakanlah bahan adiktif yaitu slag depressant. Pada saat penggunaan slag depressant, terjadi permasalahan baru yaitu mengendapnya slag depressant yang menumpuk di dalam hopper karena rendahnya kemampuan slag depressant untuk menahan beban tumpuk dan beban gesek. Slag depressant diharapkan mampu menahan beban tumpuk selama penggunaannya di dalam hopper dengan memiliki kuat tekan slag depressant lebih dari 1500N/cm². Pada 2020, Kusnadi dan Della melakukan penelitian terkait slag depressant namun memiliki nilai porositas yang tinggi. Oleh karena dilakukan suatu penelitian dengan memvariasikan ukuran butir batu kapur dan slag blast furnace - 40+60#, -60+80#, dan -80+100# untuk memperbaiki nilai porositas dengan tetap memiliki nilai kuat tekan lebih dari 1.500N/cm². Selain itu dilakukan juga variasi komposisi kertas habis pakai 60%, 50%, 40% dan 30% serta slag blast furnace 10%, 20%, 30%, dan 40%. Penelitian dilakukan dengan pencampuran kertas habis pakai, batu kapur, slag blast furnace dan molase. Setelahnya dilakukan pembentukan slag depressant berbentuk silinder dengan metode kompaksi dan dikeringkan di dalam oven dengan temperatur 100 °C selama 5 jam. Lalu dilakukan pengujian shatter test, volatile matter, porositas dan kuat tekan. Kuat tekan tertinggi sebesar 2200,71 N/cm² dengan nilai porositas sebesar 14,96% dimiliki oleh sampel dengan ukuran partikel -80+100# dan komposisi bahan baku sebanyak 60% kertas habis pakai dan 10% slag blast furnace.

Kata Kunci: *Slag Depressant, Slag Foam, Uji Tekan, Porositas, Volatile Matter, Shatter Test*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Tujuan dari dibuatnya skripsi ini adalah untuk memenuhi persyaratan mata kuliah wajib di jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi FT UNTIRTA.
2. Ibu Ir. Soesaptri Oediyani, M.E. sebagai pembimbing pertama skripsi saya.
3. Ibu Bening Nurul H. K., ST., MT. sebagai pembimbing kedua skripsi saya.
4. Bapak Rahman Faiz Suwandana, ST., M.S. sebagai kepala laboratorium teknik metalurgi sekaligus anggota dosen peneliti dalam *Paper Waste Team*.
5. Arief Yusuf Budiharto, S.T. sebagai rekan penelitian saya.
6. Rekan-rekan *Paper Waste Team*, Bintang, Ali, Siti, dan Naufal, yang sudah berkolaborasi.

Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga penulisan skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan umumnya bagi pembaca.

Cilegon, Oktober 2023

Muhammad Farid Budi Prakoso

DAFTAR ISI

	Halaman
COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN COVER	ii
LEMBAR PERSETUJUAN COVER	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Proses Pembuatan Baja di <i>BOF (Basic Oxygen Furnace)</i>	7
2.2 <i>Slag Foaming</i>	10
2.3 <i>Slag Depressant</i>	13
2.4 Bahan Baku <i>Slag Depressant</i>	15
2.4.1 <i>Slag Blast Furnace</i>	16
2.4.2 Batu Kapur.....	18
2.4.3 Limbah Kertas Habis Pakai	19

2.4.4	<i>Binder</i>	20
2.5	Pengujian <i>Slag Depressant</i>	22
2.5.1	Pengujian XRF	22
2.5.2	<i>Volatile Matter</i>	24
2.5.3	Porositas	25
2.5.4	<i>Shatter Test</i>	25
2.5.5	Uji Tekan	26
BAB III METODE PENELITIAN		27
3.1	Diagram Alir	27
3.2	Alat dan Bahan	28
3.2.1	Alat	28
3.2.2	Bahan	29
3.3	Prosedur	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		35
4.1	Karakterisasi Bahan Baku	35
4.2	Pengaruh ukuran partikel batu kapur dan slag blast furnace terhadap volatile matter.....	35
4.3	Pengaruh ukuran partikel batu kapur dan slag blast furnace terhadap porositas	39
4.4	Pengaruh ukuran partikel batu kapur dan slag blast furnace terhadap nilai shatter test	41
4.5	Pengaruh ukuran partikel batu kapur dan slag blast furnace terhadap nilai kuat tekan	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		44
5.1	Kesimpulan	44
5.2	Saran	44

DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN	49
LAMPIRAN B DATA HASIL PENGUJIAN	55
LAMPIRAN C GAMBAR ALAT DAN BAHAN	65

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Reaksi Utama yang Terjadi Pada BF.....	8
2.2 Spesifikasi <i>Slag Depressant</i>	12
2.3 Komposisi <i>Slag Depressant</i>	14
2.4 Komposisi Kimia <i>BF Slag</i>	15
2.5 Komposisi Kimia Limbah Kertas.....	18
2.6 Komposisi Kimia Molase.....	19
4.1 Hasil Karakterisasi Kertas Habis Pakai, <i>Slag BF</i> , Batu Kapur, dan Molase.....	34
A1 Komposisi Sampel.....	48
B1 Hasil Karakterisasi Awal Bahan Baku Padat.....	54
B2 Hasil Karakterisasi Awal <i>Binder</i>	56
B3 Variasi Komposisi <i>Slag Depressant</i>	58
B4 Data Hasil Pengujian Pengujian Kadar Air.....	60
B5 Data Hasil Pengujian <i>Volatile Matter</i>	62
B6 Data Hasil Pengujian <i>Shatter Test</i>	64
B7 Data Hasil Pengujian Porositas.....	66
B8 Data Hasil Pengujian Tekan.....	68

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 <i>Basic Oxygen Furnace</i>	7
2.2 <i>Slag Foam Phenomenon</i>	9
2.3 <i>Slag Depressant</i>	11
2.4 <i>Slag Blast Furnace</i>	14
2.5 Batu Kapur.....	16
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	22
3.2 Kertas Habis Pakai.....	23
3.3 Molase.....	24
3.4 Batu Kapur.....	24
3.5 <i>Slag BF</i>	25
3.6 <i>Alat Press</i>	27
3.7 Sampel <i>Slag Depressant</i>	28
3.8 Mesin Uji Tekan.....	29
3.9 Alat Uji Jatuh.....	32
4.1 Diagram pengaruh ukuran partikel terhadap nilai <i>volatile matter slag depressant</i>	35
4.2 Diagram Pengaruh Porositas Terhadap Kuat Tekan <i>Slag Depressant</i> Pada Setiap Ukuran Partikel.....	37
4.3 Hubungan porositas dan kuat tekan.....	38

4.4	Diagram pengaruh ukuran partikel terhadap porositas <i>slag depressant</i>	38
4.5	Diagram hubungan ukuran partikel dengan <i>shatter index</i>	40
4.6	Foto mikroskop <i>slag depressant</i> KHP 60% SBF 10% dengan ukuran partikel -80+100#.....	40
4.7	Diagram hubungan ukuran partikel dengan nilai kuat tekan.....	41
C.1	Alat Uji Jatuh.....	72
C.2	Ayakan 4 <i>Mesh</i>	73
C.3	Ayakan 3/8 <i>Mesh</i>	74
C.4	Ayakan 80 <i>Mesh</i>	75
C.5	Cawan Porselen.....	76
C.6	<i>Electric Stove</i>	77
C.7	Jangka Sorong.....	78
C.8	Mesin Uji Tekan.....	79
C.9	<i>Slag Blast Furnace</i>	80
C.10	Wadah Aluminium.....	81
C.11	X-ray Fluorescence Spectrometer.....	82
C.12	Serbuk Batu Kapur.....	83

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut World Steel Association pada tahun 2022, sekitar 72% atau 1.880,78 juta ton baja dihasilkan dengan menggunakan jalur *Blast Furnace-Basic Oxygen Furnace*. *Basic Oxygen Furnace (BOF)* adalah sebuah alat yang digunakan pada pembuatan baja primer. Oksigen murni dihembuskan dari atas *BOF* guna menyesuaikan komposisi C, Si, Mn, Ti, V, P dan S (Brooks et al., 2011). Selama proses pemurnian besi menggunakan *converter* terdapat gelembung *slag (slag foam)* yang terbentuk dari reaksi oksigen dengan *hot metal*. *Slag foam* yang terbentuk dapat tumpah sehingga dapat menyebabkan kehilangan logam cair dan menurunkan produktivitas. Fenomena tersebut dinamakan *slopping* yaitu fenomena meluap dan tumpahnya terak yang berupa silika dari dalam *BOF* (S. K. Gupta et al., 2015). *Slopping* adalah istilah yang digunakan pada proses pembuatan baja untuk menggambarkan suatu fenomena ketika *slag* atau terak yang berbentuk busa (*slag foam*) tidak dapat tertampung dalam suatu bejana proses (*converter*) dan meluap keluar bejana proses. *Slopping* ini memiliki temperatur 1.300-1.650°C sehingga apabila tumpah, maka akan mengakibatkan kerusakan pada peralatan di sekitarnya yang disebabkan oleh korosi temperatur tinggi terhadap bejana proses sehingga diperlukannya *maintenance* yang menyebabkan berkurangnya produktivitas baja (Matsuzawa, 2008). *Slopping* ini dapat terjadi akibat tidak terkontrolnya

pembentukan *slag foam* yang berlebihan karena banyaknya gas yang dihasilkan baik dari proses yang terjadi maupun dari gas yang diinjeksi dari *oxygen lance* pada *BOF* (Brämning, 2010). Untuk mengurangi pembentukan busa pada *slag* maka diperlukan suatu bahan yang disebut dengan *slag depressant*. *Slag depressant* berfungsi untuk memecah *slag foam* yang timbul selama proses pemurnian sehingga gas dapat terbebas keluar (Brämning, 2010).

Slag depressant yang digunakan pada umumnya menggunakan bahan baku sesuai dengan *patent* yang digunakan yakni JP2001032007A berupa bubuk limbah pabrik kertas, kalsium karbonat, dan *slag* (Kanamori & Nashiwa, 2001). Salah satu bahan utamanya yakni bubuk limbah pabrik kertas digunakan karena bahan tersebut mudah terbakar. Penggunaan bubuk limbah pabrik kertas dilakukan sebagai bentuk pemanfaatan limbah. *Slag depressant* digunakan dengan cara menumpuk atau menampung *slag depressant* di dalam sebuah *hopper* yang berbentuk kerucut yang berada tepat di atas *BOF*, sehingga diharapkan *slag depressant* dapat tertuang secara bertahap.

Tersumbatnya *slag depressant* di dalam *hopper* terjadi akibat menggumpalnya *slag depressant*. *Slag depressant* menggumpal karena rendahnya nilai kekuatan tekan atau *compressive strength* yaitu kurang dari 1500 N/cm², sehingga *slag depressant* mudah hancur dan menyumbat *hopper*. Upaya untuk mengatasi masalah tersumbatnya *slag depressant* di dalam *hopper*, dilakukan suatu penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tekan pada *slag depressant*. Peningkatan kekuatan tekan *slag depressant* dilakukan dengan cara menambahkan limbah padat pembuatan baja yang disebut *slag* sebagai *reinforced*

(Miyamoto, 2015). Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu uji tekan, uji jatuh dan uji porositas. Pada tahun 2020 dilakukan penelitian serupa dengan variasi bentuk geometri serta komposisi dari *slag depressant* oleh Della Izzaty dan penambahan molase, *slag BF*, dan kertas habis pakai oleh Kusnadi. Pada penelitian tersebut, didapatkan nilai kuat tekan sebesar $1760,98\text{N/cm}^2$ namun memiliki nilai porositas yang tinggi sebesar 45,29% hal ini disebabkan oleh ukuran partikel yang masih besar yaitu sekitar -40#. Sehingga didapati beberapa saran perbaikan untuk mendapatkan nilai kuat tekan *slag depressant* yang lebih baik dengan memvariasikan ukuran bahan baku agar menjadi homogen dan mencari komposisi kertas habis pakai serta *slag blast furnace* setelah mendapatkan variasi ukuran partikel batu kapur dan *slag blast furnace*. Penelitian lanjutan ini dilakukan untuk menghasilkan *slag depressant* dengan nilai kuat tekan, *volatile matter*, porositas, dan *shatter index* yang sesuai dengan *patent JP2001032007A* sehingga dapat menghindari penggumpalan pada *hopper* dan juga bertujuan untuk memanfaatkan limbah kertas habis pakai dan molase yang diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan *slag foaming* dengan variasi ukuran partikel batu kapur dan *slag BF*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang akan dilihat pada penelitian ini antara lain:

1. Pada tahun 2020, Kusnadi menggunakan komposisi bahan kertas habis pakai 60%, batu kapur 27%, *slag blast furnace* 10%, dan 3% molase dengan ukuran partikel batu kapur dan *slag blast furnace* sebesar -40#

menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 1760,98 N/cm² namun memiliki porositas sekitar 45,29%. Hal tersebut berbeda dari literatur dimana menurut Cheng pada tahun 2008 bahwa semakin rendah porositas suatu bahan, maka semakin tinggi kekuatan tekan bahan tersebut. Oleh karena itu divariasikan ukuran partikel *slag BF* dan batu kapur sebesar -40+60#, -60+80#, dan -80+100#.

2. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari penelitian Kusnadi 2020, dilakukan variasi kembali terhadap komposisi dari *slag blast furnace* dan kertas habis pakai untuk mendapatkan komposisi yang baik dengan ukuran partikel yang sesuai. Divariasikan komposisi 10%, 20%, 30%, dan 40% *slag blast furnace* dan 60%, 50%, 40%, dan 30% kertas habis pakai.

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut ini adalah tujuan penelitian yang ingin dicapai:

- 1 Mendapatkan nilai porositas *slag depressant* dibawah 40%, *shatter index* diatas 80%, *volatile matter* diatas 20%, dan kuat tekan diatas 1500N/cm² dengan memvariasikan ukuran butir batu kapur dan *slag blast furnace*.
- 2 Medapatkan komposisi *slag depressant* yang tepat sesuai dengan standar yaitu *shatter index* diatas 80%, *volatile matter* diatas 20%, dan kuat tekan diatas 1500N/cm².

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Slag depressant* yang digunakan terdiri dari 20 –70% *slag*, 20 –70% material organik seperti limbah kertas, dan 5 –50% kalsium karonat. sesuai dengan *Patent* No. JP2001032007A, 2001
2. Menggunakan komposisi batu kapur 27% dan molase 3%.
3. Pengujian awal bahan menggunakan XRF
4. *Slag depressant* berbentuk silinder, dibuat dengan metode kompaksi
5. Pengeringan *slag depressant* selama 4 jam menggunakan oven dengan temperatur $103\pm 2^{\circ}\text{C}$.
6. Pengujian sampel *slag depressant* yang dilakukan adalah uji tekan, porositas, *shatter test*, dan *volatile matter*.
7. Penelitian dilakukan di Laboratorium Metalurgi Teknik Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini terdiri atas lima bab. Bab I menjelaskan tentang latar belakang dilakukannya penelitian mengenai *slag depressant*, lalu ada rumusan masalah yang merupakan dasar penelitian ini dilakukan, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan. Bab II menjelaskan tentang teori mengenai proses pembuatan baja pada *basic oxygen furnace*, permasalahan *slag foam* pada *basic oxygen furnace*, penggunaan *slag depressant* pada industri baja, dan bahan baku *slag depressant* seperti: batu kapur, limbah kertas habis pakai, *slag blast furnace*, dan *binder* molase. Bab III berisi metodologi penelitian yang

menjelaskan mengenai diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan saat penelitian, prosedur penelitian yang akan dilakukan. Bab IV merupakan hasil dan pembahasan dari data yang sudah didapatkan melalui beberapa pengujian dan analisis untuk mencapai tujuan yang. Bab V berisikan kesimpulan dan saran dari penelitian yang sudah dilakukan. Daftar pustaka menyebutkan literatur yang digunakan sebagai dasar dan penunjang penelitian. Lampiran berisi beberapa contoh perhitungan data hasil penelitian, gambar alat serta bahan yang digunakan dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM E1621-13. *Standard Guide For Elemental Analysis By Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry*

Almeida, R. A., Vieira, D., Bielefeldt, W. V., & Vilela, A. C. (2017). Slag foaming fundamentals - A critical assessment. *Materials Research*, 20(2), 474-480. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-mr-2016-0059>

Arfah, M. 2017. *Pemanfaatan Limbah Kertas Menjadi Kertas Daur*. 13

Aziz, M. 2010. Batu kapur dan peningkatan nilai tambah serta spesifikasi untuk industri. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 6, 116–131.

Brooks, G., Dogan, N., Ramdhani, M. A., & Alam, M. (2011). *Development of Dynamic Models for Oxygen Steelmaking*.

Cheng, A. S., Yen, T., Liu, Y. W., & Sheen, Y. N. (2008). Relation between porosity and compressive strength of slag concrete. *Proceedings of the 2008 Structures Congress - Structures Congress 2008: Crossing the Borders*, 314. [https://doi.org/10.1061/41016\(314\)310](https://doi.org/10.1061/41016(314)310)

Dicker, Jonathan, "*Monitoring of Slag Foaming and Other Performance Indicators in an Electric Arc Furnace*", *School of Materials Science and Engineering*, M.Sc(June). 2014.

Federation of Piling Specialists – January 2006 (2nd edition) (first published April 2000). <http://www.fps.org.uk/fps/guidance/technical/otherguidance/Bentonite-%20Jan%202006.pdf>

Fruehan, R. J. (2012). *The Making, Shaping and Treating of Steel: Steelmaking and Refining Volume* (R. J. Fruehan (ed.); 11nd ed.). The AISE Steel Foundation. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Ghosh, Ahindra, “*Ironmaking and Steelmaking Theory and Practice*”, New Delhi, 2001.

Gupta, R. C. (2010). *Theory and Laboratory Experiments in Ferrous Metallurgy*. PHI Learning Private Limited.

Gupta, S. K., Prasad, A., Chatterjee, A., Kumar, M., Ghosh, S., & Datta, R. (2015). Adoption of Sinter Addition in Steelmaking Converter to Control Spitting. *Journal of Metallurgy*, 1–5. <https://doi.org/10.1155/2015/187042> 39

Hassan, A., Arif, M., & Shariq, M. (2020). *Influence of Microstructure of Geopolymer Concrete on Its Mechanical Properties — A Review* *Influence of Microstructure of Geopolymer Concrete on Its Mechanical Properties — A Review* (Issue January). Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-7480-7>

Indonesia Eximbank Institute. (2018). Analisa Rantai Pasok (Supply Chain) Komoditas Unggulan Ekspor Indonesia : Pulp & Kertas. In *Analisa Rantai Pasok (Supply Chain) Komoditas Unggulan Ekspor Indonesia*. LEMBAGA PENGEMBANGAN BISNIS DAN INKUBASI UNIVERSITAS AIRLANGGA.

Kanamori, T., & Nashiwa, H. (2001). *Depressant for Foaming of Iron and Steel Slag* (Patent No. JP2001032007A).

Khrisna, Vincentius; Setiawan, A. P. (2017). Papan Partisi Dari Limbah Kertas. *Jurnal Intra*, 5(2), 802–810. www.vandiraha.wordpress/2013/11

R. Kumar, A. Das, A. Agarwal, and A. K. Mishra, "Effect of Molasses on Mechanical Properties of Fly Ash-Based Geopolymer Concrete," *Materials Today: Proceedings*, vol. 5, no. 2, Part 2, pp. 6180-6186, 2018.

Matsuzawa, Reihiro. “*Slag Foaming Killing Material, and Slag Foaming Killing Method*”, South Korea Patent No. 101234483B1. 2008.

Miyamoto, T., Akahane, K., Torii, K., & Hayashiguchi, S. (2015). Production and Use of BF Slag Aggregate for Concrete. *NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL TECHNICAL REPORT No. 109 JULY 2015*, 109, 102–108.

Molla, Razin Sazzad. (2018). A study on Manufacturing of Deformed Bar (G 60-400W) at Elite Iron and Steel Industries. 10.13140/RG.2.2.24320.33289.

Nexhip, Colin. (1997). Fundamentals of Foaming in Molten Slag Systems. 10.13140/RG.2.1.2126.7441.

Ortega-Zavala, D. E., Santana-Carrillo, J. L., Burciaga-Díaz, O., & Escalante-García, J. I. (2019). An initial study on alkali activated limestone binders. *Cement and Concrete Research*, 120, 267–278.

Rosenqvist, T. (2010). *Principles of Extractive Metallurgy* (2nd ed.). Tapir Academic Press.

Ruifang Wang, Bo Zhang. (2021). Study on Splashing Mechanism in Basic Oxygen Furnace Based on Slag Foaming Modeling. *Journal of Iron and Steel Research International*. <https://doi.org/10.1002/srin.202100318>

Ruuska, J. (2012). *Special measurements and control models for a basic oxygen furnace (BOF)*. University of Oulu, Faculty of Technology, Department of Process and Environmental Engineering.

World Steel Association. (2019). Energy Use in the Iron and Steel Industry. In *Energy Use in Steel Industry*. worldsteel.org

Yanfen, L., & Xiaoqian, M. (2010). Thermogravimetric analysis of the co-combustion of coal and paper mill sludge. *Applied Energy*, 87(11), 3526–3532. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.05.008>

Yi, H. *et al.* (2012) ‘An Overview of Utilization of Steel Slag’, *Procedia Environmental Sciences*, 16, pp. 791–801. doi: 10.1016/j.proenv.2012.10.108.

Yildirim, I. Z. and Prezzi, M. (2011) ‘Chemical, mineralogical, and morphological properties of steel slag’, *Advances in Civil Engineering*, 2011. doi:

10.1155/2011/463638.

Yuksel, I. (2018) *Blast-furnace slag, Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete: Characterisation, Properties and Applications*. Elsevier Ltd. doi: 10.1016/B978-0-08-102156-9.00012-2.