

Skripsi_Arief Yusuf Budiharto_3334180066.docx

by 1 1

Submission date: 26-Mar-2024 10:18PM (UTC-0400)

Submission ID: 2326694840

File name: Skripsi_Arief_Yusuf_Budiharto_3334180066.docx (4.49M)

Word count: 12493

Character count: 71928

**PENGARUH KERTAS HABIS PAKAI DENGAN PENAMBAHAN
SERBUK KAYU DAN *BINDER* MOLASE TERHADAP *SLAG*
DEPRESSANT BERBENTUK SILINDER DAN KUBUS**

SKRIPSI

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



Oleh:

Arief Yusuf Budiharto
3334180066

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

LEMBAR PENGESAHAN

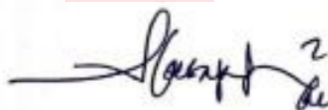
**PENGARUH KERTAS HABIS PAKAI DENGAN PENAMBAHAN
SERBUK KAYU DAN *BINDER* MOLASE TERHADAP *SLAG*
DEPRESSANT BERBENTUK SILINDER DAN KUBUS**

SKRIPSI

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada Jurusan
Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

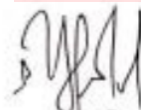
Disetujui Untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Ir. Soesaptri Oedivani, M.E.
NIP. 196006232003122001

Pembimbing II



Bening Nurul H. K. S.T., M.T.
NIP. 199008292020122013

LEMBAR PERSETUJUAN

²
**PENGARUH KERTAS HABIS PAKAI DENGAN PENAMBAHAN
SERBUK KAYU DAN *BINDER* MOLASE TERHADAP *SLAG*
DEPRESSANT BERBENTUK SILINDER DAN KUBUS**


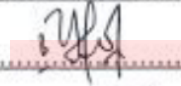


SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh

Arief Yusuf Budiharto

3334180066

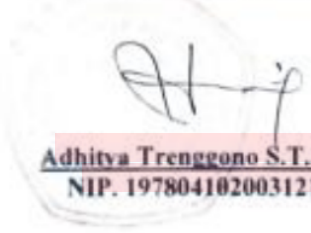
¹
Telah disidangkan di depan Dewan Penguji pada tanggal 28 Juli 2023

	Susunan Dewan Penguji	Tanda Tangan
Penguji I (Ketua Sidang)	: <u>Ir. Soesaptri Oediyani, M.E.</u>	
Penguji II	: ¹¹ <u>Bening Nurul H. K. S.T., M.T.</u>	
Penguji III	: <u>Rahman Faiz S, S.T., M.Sc.</u>	
Penguji IV	: ¹ <u>Anistasia Milandia, S.T., M.T.</u>	

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

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi


Adhitya Trenggono S.T., M.Sc.
NIP. 197804102003121001

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis skripsi berikut :

Judul : Pengaruh Kertas Habis Pakai Dengan Penambahan Serbuk Kayu dan Binder Molase Terhadap Slag *Depressant* Berbentuk Silinder dan Kubus

Nama : Arief Yusuf Budiharto

NIM : 3334180066

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, Juli 2023


MATERIAL TEMPEL
Arief Yusuf Budiharto
NIM. 3334180066

ABSTRAK

Slag foam dalam *basic oxygen furnace* merupakan fenomena terbentuknya busa atau gelembung gas selama proses produksi baja. Jika *slag foam* yang terbentuk tidak dihentikan dapat menimbulkan *slopping*, yaitu fenomena meluapnya *slag foam*. Untuk mengurangi pembentukan *slag foam*, maka diperlukan suatu bahan yang disebut dengan *slag depressant*. Pada saat penggunaan *slag depressant* terjadi masalah baru yaitu mengendapnya serpihan *slag depressant* di dalam *hopper*. Hal ini terjadi dikarenakan rendahnya kemampuan *slag depressant* menahan beban dan kuat tekan *slag depressant* kurang dari 1500N/cm². *Slag depressant* diharapkan mampu menahan beban tumpuk selama penggunaannya di dalam *hopper*. Upaya untuk menjawab permasalahan tersebut maka dilakukan suatu penelitian dengan penambahan variasi komposisi molase : *slag blast furnace* 5% : 25%, 10% : 30%, dan 15% : 15% serta bahan organik sebanyak 40% dengan variasi komposisi serbuk kayu : kertas habis pakai, 5% : 35%, 10% : 30%, 15% : 25%. Selain itu dilakukan penelitian perbandingan antara bentuk geometri silinder dan kubus untuk mengetahui pengaruhnya terhadap spesifikasi *slag depressant*. Penelitian dilakukan dengan pencampuran bahan baku berupa bahan organik, batu kapur, *slag blast furnace* dan molase. Setelahnya dilakukan pembentukan *slag depressant* berbentuk silinder dan kubus 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. Berdasarkan pengujiannya, *shatter test* memiliki nilai tertinggi 98,24% pada penambahan 5% serbuk kayu dan 15% molase dengan bentuk geometri silinder, pengujian *volatile matter* memiliki nilai tertinggi 38,10% pada penambahan 15% serbuk kayu dan nilai porositas terkecil 16,40% dengan pada penambahan serbuk kayu 5% dan 15% molase pada bentuk geometri silinder. Penambahan molase meningkatkan kekuatan pada *slag depressant*. *slag depressant* memiliki nilai tertinggi 98,24% pada pengujian *shatter test* dan memiliki nilai kuat tekan tertinggi 2247,91 N/cm² pada penambahan 15% molase dan 5% serbuk kayu dengan bentuk silinder. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan molase sebagai *binder* dan serbuk kayu sebagai bahan organik serta bentuk geometri silinder memberikan pengaruh yang terbaik terhadap nilai *shatter test*, uji tekan, porositas, dan *volatile matter slag depressant*.

Kata Kunci: *Slag depressant*, *slopping*, *slag foam*, *shatter test*, *volatile matter*, porositas, uji tekan

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala berkat dan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Kertas Habis Pakai Dengan Penambahan Serbuk Kayu dan *Binder* Molase Terhadap *Slag Depressant* Berbentuk Silinder dan Kubus”. Penulis menyadari dalam menyusun skripsi ini banyak mendapatkan dukungan, bimbingan, bantuan, dan kemudahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi dan Koordinator Skripsi.
2. Ibu Ir. Soesaptri Oediyani, M.E. dan Ibu Bening Nurul H. K., ST., MT selaku Dosen Pembimbing 1 dan Dosen Pembimbing 2 atas bimbingan, saran, tantangan dan motivasi yang diberikan.
3. Kelapa Laboratorium Metalurgi dan Kepala Laboratorium Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah mengizinkan untuk menggunakan sarana penelitian.
4. Segenap Dosen Prodi Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan ilmu kepada penulis.
5. Adik, Kakak, dan Orang tua atas doa, kasih sayang, serta dukungan baik moril maupun materil.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak luput dari kekurangan, sehingga kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak diharapkan guna memperbaiki segala kekurangan dalam penyusunan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi pembaca pada umumnya.

Cilegon, Juli 2023

Arief Yusuf Budiharto

1 **DAFTAR ISI**

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Ruang Lingkup Masalah	6
1.5 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Proses Pemurnian di BOF (<i>Basic Oxygen Furnace</i>)	8
2.2 <i>Slag Blast Furnace</i>	10
2.3 <i>Slag Foaming</i>	13
2.4 <i>Slag Depressant</i>	17
2.5 Bahan Organik	20

2.6	Limbah Serbuk Kayu	21
2.7	Limbah Kertas	22
2.8	Binder Molase	25
2.9	Batu Kapur	27
2.10	Bentuk Geometri	28
	BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1	Diagram Alir	31
3.2	Alat dan Bahan	32
3.2.1	Alat	32
3.2.2	Bahan	33
3.3	Prosedur Penelitian	34
	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1	Karakterisasi Bahan Baku	45
4.2	Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu Terhadap Nilai <i>Volatile Matter Slag Depressant</i>	46
4.3	Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu dan Molase Terhadap <i>Shatter Index Slag Depressant</i>	49
4.4	Pengaruh Penambahan Molase Terhadap Kuat Tekan <i>Slag Depressant</i>	41
	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1	Kesimpulan	58
5.2	Saran	58
	DAFTAR PUSTAKA	60
	LAMPIRAN A PERHITUNGAN	67
	LAMPIRAN B DATA HASIL PENELITIAN	69
	LAMPIRAN C GAMBAR ALAT DAN BAHAN	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Reaksi Terjadi pada BOF dengan <i>software</i> CSH	9
Tabel 2.2	Komposisi Kimia <i>Slag Blast Furnace</i>	12
Tabel 2.3	<i>Physical Characteristic Blast Furnace Slag</i>	13
Tabel 2.4	Komposisi <i>Slag Depressant</i>	18
Tabel 2.5	Spesifikasi <i>Slag Depressant</i>	19
Tabel 2.6	Komposisi Kimia Serbuk Kayu	22
Tabel 2.5	Komposisi Kertas Habis Pakai	24
Tabel 2.6	Komposisi Molase	26
Tabel 2.7	Komposisi Batu Kapur	28
Tabel 3.1	Variasi Komposisi <i>Slag Depressant</i>	38
Tabel 4.1	Hasil Karakterisasi Awal Bahan Baku Padat	44
Tabel 4.2	Hasil Karakterisasi Awal Bahan Baku Cairan.	45
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Analisis Proksimat pada Serbuk Kayu.	45
Tabel B.1	Hasil Karakterisasi Awal Bahan Baku Padat.	70
Tabel B.2	Hasil Karakterisasi Awal Bahan Baku Cairan.	71
Tabel B.3	Variasi Komposisi <i>Slag Depressant</i>	71
Tabel B.4	Data Hasil Analisis <i>Volatile Matter Slag Depressant</i> Bentuk Silinder	72
Tabel B.5	Data Hasil Analisis <i>Volatile Matter Slag Depressant</i> Bentuk Kubus	73

Tabel B.6	Data Hasil Pengujian Porositas <i>Slag Depressant</i> Bentuk Silinder	74
Tabel B.7	Data Hasil Pengujian Porositas <i>Slag Depressant</i> Bentuk Kubus	74
Tabel B.8	Data Hasil Pengujian <i>Shatter Test Slag Depressant</i> Bentuk Silinder	75
Tabel B.9	Data Hasil Pengujian <i>Shatter Test Slag Depressant</i> Bentuk Kubus	76
Tabel B.10	Data Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Slag Depressant</i> Bentuk Kubus	77
Tabel B.11	Data Hasil Pengujian Kuat Tekan <i>Slag Depressant</i> Bentuk Silinder	78
Tabel B.12	Data Hasil Pengujian Analisis Proksimat pada Serbuk Kayu	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rute Pembuatan Baja	8
Gambar 2.2	<i>Basic Oxygen Furnace Vessel</i>	14
Gambar 2.3	Bentuk Geometri <i>Slag Depressant</i> dalam Industri.....	19
Gambar 2.4	Limbah Industri Kayu	21
Gambar 2.5	Limbah Kertas	23
Gambar 2.6	Molase	25
Gambar 2.7	Cetakan Silinder	29
Gambar 2.8	Cetakan Kubus	29
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3.2	<i>X-Ray Fluoroscence</i>	35
Gambar 3.3	<i>Slag Blast Furnace</i>	35
Gambar 3.4	Batu Kapur	36
Gambar 3.5	Bubur Kertas Habis Pakai	36
Gambar 3.6	Molase	37
Gambar 3.7	Cetakan Silinder	39
Gambar 3.8	Cetakan Kubus	40
Gambar 4.1	Pengaruh Penambahan Molase dan Serbuk Kayu Terhadap <i>Volatile Matter Depressant</i> Bentuk Silinder.....	47
Gambar 4.2	Pengaruh Penambahan Molase dan Serbuk Kayu Terhadap <i>Volatile Matter Depressant</i> Bentuk Kubus	47

Gambar 4.3	Pengaruh Penambahan <i>Binder</i> Molase dan Serbuk Kayu Terhadap <i>Shatter Index Slag Depressant</i> Bentuk Silinder.....	49
Gambar 4.4	Pengaruh Penambahan <i>Binder</i> Molase dan Serbuk Kayu Terhadap <i>Shatter Index Slag Depressant</i> Bentuk Kubus.....	50
Gambar 4.5	Pengaruh Penambahan Molase dan Serbuk Kayu Terhadap Nilai Kuat Tekan <i>Slag Depressant</i> Bentuk Silinder	51
Gambar 4.6	Pengaruh Penambahan Molase dan Serbuk Kayu Terhadap Nilai Kuat Tekan <i>Slag Depressant</i> Bentuk Kubus.....	52
Gambar 4.7	Pengaruh Penambahan Molase Terhadap Porositas <i>Slag Depressant</i> Bentuk Silinder	54
Gambar 4.8	Pengaruh Penambahan Molase Terhadap Porositas <i>Slag Depressant</i> Bentuk Kubus	54
Gambar 4.9	Foto Mikro Porositas Spesimen Variasi Penambahan Molase 15% Dengan Serbuk Kayu 5% pada <i>Slag Depressant</i> Silinder	55
Gambar 4.10	Foto Mikro Porositas Spesimen Variasi Penambahan Molase 15% Dengan Serbuk Kayu 5% pada <i>Slag Depressant</i> Kubus	56
Gambar C.1	Alat <i>Shatter Test</i>	83
Gambar C.2	Ayakan 4 <i>mesh</i>	83
Gambar C.3	Ayakan 3/8 <i>mesh</i>	84
Gambar C.4	Ayakan 80 <i>mesh</i>	84
Gambar C.5	Ayakan 100 <i>mesh</i>	85
Gambar C.6	Cetakan Silinder.....	85
Gambar C.7	Cetakan Kubus	86
Gambar C.8	Cawan Porselen	86

Gambar C.9 <i>Electric Stove</i>	87
Gambar C.10 Jangka Sorong.	87
Gambar C.11 Kertas Habis Pakai.	88
Gambar C.12 Mesin Uji Tekan.....	88
Gambar C.13 Serbuk Kayu.....	89
Gambar C.14 <i>Slag Blast Furnace</i>	89
Gambar C.15 Serbuk Batu Kapur	90
Gambar C.16 Wadah Alumunium.	90
Gambar C.17 <i>X-ray Fluorescence Spectrometer</i>	91

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam proses pengolahan baja primer menggunakan *Basic Oxygen Furnace* (BOF), terjadi pembentukan gelembung *slag* (*slag foam*). Salah satu permasalahan pada penggunaan BOF adalah *slopping*, yaitu fenomena meluap dan tumpahnya *slag foam* dari dalam BOF (S. K. Gupta et al., 2015). *Slopping* ialah suatu istilah yang digunakan pada proses pembuatan baja untuk menggambarkan suatu fenomena *slag* yang berbentuk gelembung atau buih (*slag foam*) tidak mampu tertampung dalam BOF. Upaya untuk mencegah fenomena *slopping*, digunakan sebuah bahan yang disebut *slag depressant*.

Slag depressant berfungsi untuk memecah *slag foam* yang timbul selama proses pemurnian di BOF agar dapat mengeluarkan gas yang terjebak dalam gelembung tersebut sehingga keluar (Gugyeonghoe, 2007). Penggunaan *slag depressant* dilakukan dengan cara menampung *slag depressant* tersebut di dalam sebuah *hopper* berbentuk kerucut yang berada tepat di atas BOF, sehingga *slag depressant* dijatuhkan secara bertahap. *Slag depressant* diharapkan mampu menahan beban tumpuk selama penggunaannya di dalam *hopper*. Selain itu, *slag depressant* yang digunakan juga dapat terurai pada temperatur kurang dari 1000 °C agar tidak merubah atau mengotori baja cair yang terdapat pada BOF. Untuk memenuhi kriteria tersebut *slag depressant* harus

memiliki nilai *shatter test* lebih dari 80%, kekuatan tekan lebih dari 1500N/cm² dan nilai *volatile matter* lebih dari 20% (Kanamori & Nashiwa, 2001).

Namun saat penggunaannya pada industri baja, terjadi permasalahan yaitu mengendap dan menggumpalnya serpihan ¹² *slag depressant* di dalam *hopper*. Hal ini terjadi dikarenakan rendahnya nilai kekuatan tekan *slag depressant* (kurang dari 1500N/cm²). *Slag depressant* yang memiliki nilai kekuatan tekan atau *compressive strength* di bawah 1500 N/cm² memiliki permasalahan pada saat proses penggunaan di antaranya, *slag depressant* mudah hancur karena sulit untuk menahan beban tumpuk, mudah menggumpal akibat kelembaban udara di dalam wadah penyimpanan (*hopper*). Hal ini menyebabkan tidak optimalnya *slag depressant* dalam memecah *slag foam*. Berdasarkan paten Jepang tahun 2001 (JP2001032007A), *slag depressant* terbuat dari campuran *slag*, bahan organik, dan kalsium karbonat dengan komposisi masing – masing, 20% - 70% *slag*, 20% - 70% bahan organik, dan 5% - 50% kalsium karbonat (Kanamori & Nashiwa, 2001). Selain itu, *slag depressant* dapat dibuat dengan menggunakan limbah plastik dan serbuk kayu sebagai bahan baku (Nimoto, 2016).

Upaya untuk mengatasi masalah tersumbatnya *slag depressant* di dalam *hopper*, dilakukan suatu penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tekan pada *slag depressant*. Peningkatan ¹² kekuatan tekan *slag depressant*, dilakukan dengan cara menambahkan *slag* sebagai *reinforced* (Miyamoto, 2015). Penambahan *binder* molase pada *slag depressant* juga dapat meningkatkan kuat tekan pada *slag depressant*. *Binder* yang ditambahkan sekitar 5-15% dari total massa sehingga limbah kertas dan *slag* dapat memiliki kekuatan pengikat yang lebih kuat (Kim Min Kyun, 2013).

Pada tahun 2020 dilakukan penelitian serupa dengan variasi bentuk geometri, yaitu bentuk kubus, silinder, dan bola pada *slag depressant* oleh Della Izzaty¹² didapatkan hasil kuat tekan tertinggi pada bentuk silinder. Penambahan *binder molase*, *slag blast furnace*, dan kertas habis pakai oleh Kusnadi dengan variasi komposisi 0%; 10%; 20%; 30%; *slag blast furnace*, 10%; 20%; 30%; 40% batu kapur dan 0%; 2%; 3%; 4% molase didapatkan hasil kuat tekan tertinggi pada 8432,7 N/cm², akan tetapi nilai porositas yang didapat berbanding terbalik dan tidak sesuai dengan literatur. Upaya untuk mengatasi ketidaksesuaian nilai porositas terhadap kuat tekan dari hal tersebut, maka dilakukan penelitian lanjutan dengan menyeragamkan ukuran butir *slag blast furnace* dan batu kapur, penambahan *binder molase* dengan variasi komposisi sebesar 5%, 10% 15% dan bahan organik serbuk kayu dengan variasi komposisi 5%, 10%, 15%.³⁰ Bahan organik yang digunakan pada penelitian ini ialah bubur kertas habis pakai dan serbuk kayu.

Penggunaan serbuk kayu pada *slag depressant* diharapkan dapat menjadi alternatif solusi pemanfaatan limbah di Indonesia. Timbunan limbah di Indonesia mencapai 34 juta ton pada Tahun 2022, dengan 12,3 juta ton/tahun limbah yang tidak terkelola sebanyak 13,3% atau 1,6 juta ton adalah limbah kayu (SIPSN Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2022). Penggunaan *slag depressant* dibutuhkan 500Kg per satu ton baja cair yang diproduksi, BOF berproduksi 30 *heat batch* per harinya yang satu kali produksi menghasilkan 360 ton baja cair. Hal ini, berarti *slag depressant* yang digunakan sebanyak 180 ton pada satu kali produksi. BOF dapat memproduksi lebih dari 4 juta ton baja cair per tahun (Britanica, 2023). Maka dari itu

slag depressant yang digunakan sebanyak lebih dari 2 juta ton per tahun, yang dimana sebanyak 5-15% komposisi *slag depressant* ialah serbuk kayu. Pada penelitian ini, dilakukan penyeragaman fraksi ukuran dan penambahan serbuk kayu serta molase pada komposisi *slag depressant* diharapkan memiliki nilai porositas dengan kuat tekan yang sesuai literatur, nilai *shatter test*, dan *volatile matter slag depressant* sesuai dengan paten JP2001032007A.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang, *slag depressant* memiliki permasalahan pada kekuatan tekan, hasil nilai porositas dan nilai kuat tekan yang tidak sesuai dengan literatur, serta pemanfaatan limbah serbuk kayu sebagai campuran bahan organik, maka indentifikasi masalah pada penelitian ini ialah :

1. Pada penelitian yang dilakukan oleh Della (2020), dilakukan variasi bentuk geometri pada *slag depressant* dan didapatkan hasil kuat tekan tertinggi dengan bentuk geometri silinder. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pengujian kembali untuk mengetahui pengaruh bentuk geometri terhadap *slag depressant* dengan penambahan bahan baku molase dan serbuk kayu.
2. *Slag depressant* terbentuk dari campuran *slag*, bahan organik, dan kalsium karbonat. *Slag depressant* dapat dibuat menggunakan serbuk kayu sebagai bahan baku organik (Nimoto, 2016). Pada penelitian ini digunakan serbuk kayu sebagai pemanfaatan limbah kayu. Serbuk kayu sebagai campuran

bahan baku organik tambahan dengan kertas habis pakai. Massa total bahan organik sebesar 40%. Variasi komposisi bahan organik serbuk kayu : kertas habis pakai adalah 5% : 35%, 10% : 30%, 15% : 25%.

3. Penambahan *binder* molase dan *slag blast furnace* dengan massa total 30%, untuk melihat pengaruh terhadap nilai kekuatan yang dihasilkan. Adapun variasi komposisi *binder* molase : *slag depressant* adalah 5% : 25%, 10% : 20%, 15% : 15%.

1.3 Tujuan Penelitian

Secara umum tujuan penelitian ini adalah meningkatkan kualitas kekuatan *slag depressant*. Secara khusus, tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh bentuk geometri silinder dan kubus terhadap nilai *shatter test*, porositas, *volatile matter*, dan uji tekan *slag depressant*.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah serbuk kayu terhadap nilai *shatter test*, porositas, *volatile matter*, dan uji tekan *slag depressant* sebagai alternatif bahan baku campuran.
3. Mengetahui pengaruh variasi komposisi *binder* molase terhadap nilai kekuatan *slag depressant* yang sesuai dengan standar.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang Lingkup penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. *Slag blast furnace* yang digunakan dari PT. Krakatau Steel, batu kapur dari PT. Krakatau Posco Chemtech *Calcination*, dan molase, kertas habis pakai

- serta serbuk kayu yang digunakan berasal dari Cilegon.
2. Proses preparasi sampel dan penelitian dilakukan di ¹ Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
 3. Karakterisasi awal sampel dilakukan di PT Multi Hanna Kreasindo dan PT tekMIRA.
 4. Pengujian dilakukan di Laboratorium Metalurgi dan Laboratorium Sipil ¹⁰⁵ Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

¹⁴ 1.5 Sistematika Penulisan

¹⁴ Sistematika penulisan skripsi penelitian ini terdiri atas lima bab. Bab I menjelaskan tentang latar belakang dilakukannya penelitian mengenai *Slag depressant*, lalu ada identifikasi masalah yang ¹⁴ merupakan dasar penelitian ini dilakukan, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan. Bab II menjelaskan tentang teori mengenai proses pembuatan baja di BOF, *slag*, *ironmaking slag*, *slag foaming*, *slag depressant*, limbah serbuk kayu, limbah kertas, dan bahan pengikat. ¹⁴ Bab III berupa metodologi penelitian yang menjelaskan mengenai diagram alir pembuatan *slag depressant*, alat dan bahan yang digunakan saat penelitian, dan prosedur penelitian karakterisasi awal sampel, preparasi sampel, pengeringan *slag depressant*, pengujian *volatile matter*, pengujian porositas, pengujian tekan dan uji jatuh. Bab IV menjelaskan mengenai hasil karakterisasi bahan baku, hasil penelitian dan analisis dari data pengujian pengaruh penambahan serbuk kayu dan molase terhadap nilai *shatter test*, porositas, *volatile matter*, dan uji tekan *slag depressant*. Bab V merupakan kesimpulan

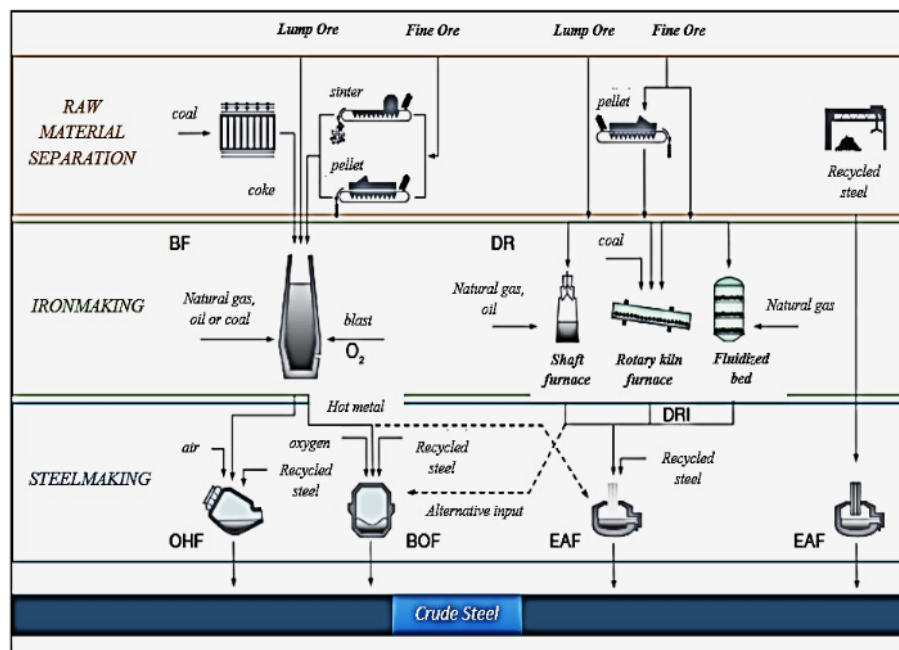
yang didapatkan dari hasil pengaruh penambahan serbuk kayu terhadap nilai *shatter test*, *volatile matter*, porositas dan uji tekan *slag depressant* serta mengetahui pengaruh molase terhadap nilai kekuatan tekan *slag depressant* dan saran untuk penelitian lebih lanjut. Daftar pustaka berisi buku, jurnal, dan web yang digunakan sebagai referensi dalam penyusunan laporan penelitian ini. Lampiran berisi contoh perhitungan dari data hasil penelitian yang telah dilakukan, gambar alat, dan bahan yang digunakan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proses Pemurnian di BOF (*Basic Oxygen Furnace*)

Baja menjadi salah satu material paling banyak digunakan pada saat ini. Menurut *World Steel Association*, 70% produksi baja di dunia di produksi melalui rute *blast furnace – basic oxygen furnace* (*World Steel Association*, 2022). Bahan baku utama pada pembuatan baja ialah besi. Proses pembuatan baja diawali dengan *raw material preparation* dan *ironmaking*. Baja diproduksi melalui rute *blast furnace-basic oxygen furnace* dan rute *electric arc furnace* seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rute Pembuatan Baja (WSA, 2022)

Pada proses penghembusan oksigen dari atas bagian *basic oxygen furnace*, terjadi berbagai reaksi seperti reaksi pembentukan gas, reaksi oksidasi senyawa pada *slag*, reaksi pelarutan dalam logam, reaksi oksidasi unsur logam. Reaksi – reaksi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Ruuska, 2012).

Tabel 2.1 Reaksi Utama pada BOF dengan *software HSC Chemistry* (Ruuska, 2012)

Jenis Reaksi	Reaksi	ΔH (Kj/mol)	ΔS (Kj/mol)	ΔG (Kj/mol)
	$O_2 (g) \rightleftharpoons 2O$	0	0	0
Pelarutan oksigen ke dalam logam	$(FeO) \rightleftharpoons Fe + O$	-60,03	-13,58	-33,22
	$(Fe_2O_3) \rightleftharpoons 2(FeO) + O$	-197,79	-61,87	-75,72
	$CO_2 (g) \rightleftharpoons CO (g) + O$	162,76	36,19	91,36
Oksida unsur dalam logam	$C + O \rightleftharpoons CO(g)$	93,56	29,63	35,09
	$Fe + O \rightleftharpoons (FeO)$	-60,03	-13,58	-33,22
	$Si + 2O \rightleftharpoons (SiO_2)$	-225,89	-47,10	-132,96
	$Mn + O \rightleftharpoons (MnO)$	-97,21	-21,13	-55,53
	$2P + 5O \rightleftharpoons (P_2O_5)$	-340,53	-95,26	-152,57
Oksida senyawa dalam <i>slag</i>	$2(FeO) + \frac{1}{2}O_2 (g) \rightleftharpoons (Fe_2O_3)$	-197,79	-61,87	-75,72
	$2(FeO) + CO_2 (g) \rightleftharpoons (Fe_2O_3) + CO$	-197,79	-61,87	-75,72
Reaksi <i>flux</i>	$MgO (s) \rightleftharpoons (MgO)$	-145,36	-27,49	-91,11
	$CaO (s) \rightleftharpoons (CaO)$	-153,95	-26,99	-100,70
Reaksi gas	$CO (g) + \frac{1}{2}O_2 (g) \rightleftharpoons CO_2$	162,76	36,19	91,3

Pada Tabel 2.1 diketahui bahwa gas CO terbentuk dari reaksi karbon dalam logam cair dengan oksigen yang dihembuskan melalui *nozzle*, dan *slag* terbentuk karena reaksi antar unsur Fe, P, Si, Mn pada logam cair dengan oksigen. *Slag* akan mengapung di atas baja cair dikarenakan memiliki densitas yang lebih kecil dibandingkan dengan baja cair. Pada proses produksi baja di *basic oxygen furnace* terdapat suatu fenomena terbentuknya gelembung *slag* atau *slag foam*. *Slag foam* adalah fenomena terbentuknya gelembung pada *slag* yang diakibatkan oleh gas CO yang terperangkap dalam *basic oxygen furnace*. Saat proses *pretreatment* logam panas, reaksi karbon dengan oksigen di dalam logam panas akan menghasilkan gelembung gas CO. Ketika gas CO meningkat, gas tersebut akan terperangkap dan tertahan di dalam *slag* sehingga membentuk gelembung gas (Matsuzawa, 2008).

Volume *slag foam* akan bertambah atau berkurang sesuai dengan jumlah gas yang dihasilkan dan viskositas baja cair. Salah satu permasalahan pada penggunaan *basic oxygen furnace* adalah *slopping* (S. K. Gupta et al., 2015), yaitu fenomena meluap dan tumpahnya *slag* dalam *basic oxygen furnace*. *Slopping* terjadi akibat tidak ter kendalinya pembentukan *slag foam* (Bramming, 2010).

2.2 *Slag Blast Furnace*

Terak atau *slag* dihasilkan selama produksi besi dan baja. *Slag blast furnace* didefinisikan sebagai produk non-logam dengan komponen utama yang terdiri dari CaO, SiO₂, Al₂O₃, MgO, Fe₂O₃, MnO, dan S (Yildirim, 2011). Terdapat tiga jenis *blast furnace slag* yaitu *granulated*, *air-cooled*, dan *expanded*.

Granulated blast furnace slag didapatkan dengan dilakukannya pendinginan cepat pada *slag* cair dengan menggunakan pancaran air bertekanan tinggi. *Granulated blast furnace slag* yang dihasilkan memiliki ukuran partikel yang lebih kecil dari 5 mm dan sering digunakan setelah diproses lebih lanjut hingga berupa *fine powder*. *Granulated blast furnace slag* biasanya digunakan sebagai pengganti dari semen.

Berbeda dengan *Granulated blast furnace slag*, *air-cooled blast furnace slag* terbentuk ketika *slag* cair didinginkan dengan udara, dimana *slag* akan diarahkan ke lubang atau *ground bay* sehingga terjadi pemadatan di bawah kondisi atmosfer yang berlaku. *Air-cooled blast furnace slag* memiliki massa seperti batu berstruktur kristal. ABFS merupakan bahan yang agak keras dan padat, dan biasanya digunakan sebagai pemberat rel kereta api dan agregat beton.

Expanded slags dihasilkan dengan menggunakan alat mekanis dan air pendingin dalam jumlah yang relatif kecil sehingga membentuk bahan kering yang ringan. Pada umumnya, *expanded slags* digunakan dalam pembuatan batu bata, insulasi, dan sebagai agregat dalam produksi beton ringan (Yuksel, 2018).

Pada Tabel 2.2 dapat dilihat bahwa pada komposisi *slag blast furnace* memiliki komposisi kandungan tertinggi pada komponen CaO, maka dari itu *slag blast furnace* dapat digunakan sebagai agregat pada pembuatan beton (Karim et al., 2018). Selain itu, reaksi hidrasi akan dialami oleh *slag* dan membentuk senyawa CSH (Kalsium Silika Hidrat). Senyawa CSH berfungsi sebagai bahan perekat (Karim et al., 2018).

Tabel 2.2 Komposisi Kimia *Slag Blast Furnace* (Yildirim, 2011)

Komponen	Komposisi rata-rata (%)
CaO	39,40
SiO ₂	11,90
Al ₂ O ₃	2,16
MgO	9,70
Fe ₂ O ₃	30,20
MnO	2,70
SO ₃	0,12
P ₂ O ₅	1,00
Na ₂ O	0,25
K ₂ O	0,05
TiO ₂	0,40
S	1,40

Jika pada komposisi *slag depressant* ditambahkan lebih dari 70% *slag blast furnace*, maka hal ini mengakibatkan ketidaksesuaian komposisi oksida anorganik. Maka dari itu, rasio penambahan *slag blast furnace* ke dalam *slag depressant* memiliki ambang batas maksimal 70% (Kanamori & Nashiwa, 2001). Dapat dilihat pada Tabel 2.3 terdapat beberapa *physical properties of blast furnace slag* seperti *specific gravity*,

bulk density, crushing value, abrasion value, impact value, dan water absorption (Palankar, 2015).

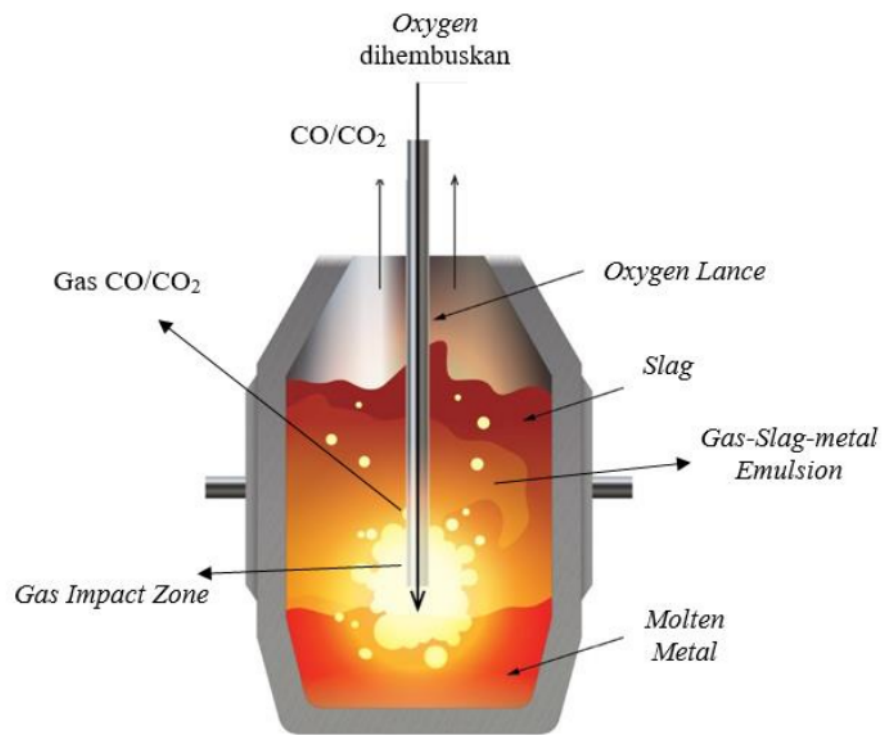
Tabel 2.3 *Physical Characteristic Blast Furnace Slag* (Palankar, 2015)

<i>Properties</i>	<i>Value</i>
<i>Specific Gravity</i>	3,35 g/cm ³
<i>Bulk Density</i>	1726 kg/m ³
<i>Crushing Value</i>	21%
<i>Abrasion value</i>	18%
<i>Impact value</i>	16%
<i>Water Absorption</i>	2%

2.3 *Slag Foaming*

Slag foaming adalah fenomena terbentuknya gelembung pada *slag* yang diakibatkan oleh gas CO yang terperangkap dalam *basic oxygen furnace*. Saat proses *pretreatment* logam panas, reaksi karbon dengan oksigen di dalam logam panas akan menghasilkan gelembung gas CO. Ketika gas CO meningkat, gas tersebut akan terperangkap dan tertahan di dalam *slag* sehingga membentuk gelembung gas kecil. *Slag foam* akan mengakibatkan pertumbuhan gelembung *slag* yang tinggi dan lama

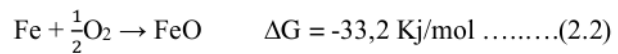
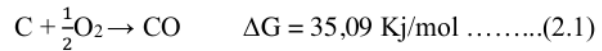
kelamaan meluap dan tumpah (*slopping*) dari *basic oxygen furnace*. *Slag* yang tumpah ini memiliki temperatur 1300-1650°C sehingga apabila *slag* ini tumpah, maka akan mengakibatkan kerusakan pada peralatan di sekitarnya dan dapat menurunkan produktivitas dari *basic oxygen furnace* (Matsuzawa, 2008). *Slag foam* yang terbentuk dalam *basic oxygen furnace* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Basic Oxygen Furnace Vessel* (Mick J Pates, 2012)

Proses pembentukan *slag foam* dapat bervariasi tergantung pada proses dan kondisi pembuatan baja tertentu. Langkah-langkah umum yang terjadi dalam pembentukan *slag foam* adalah sebagai berikut (Almeida, 2017):

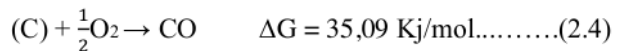
1. Pada tahap pertama, oksigen diinjeksi ke dalam logam cair. Oksigen ini bereaksi dengan karbon yang ada, membentuk gelembung karbon monoksida (CO). Oksigen juga bereaksi dengan besi yang ada di *basic oxygen furnace*.



2. Pada langkah selanjutnya, karbon diinjeksi ke dalam *slag*. Karbon ini bereaksi dengan oksida besi (FeO) dalam *slag*, menghasilkan gas CO₂. Gas CO yang dihasilkan berkontribusi pada pembentukan *slag foam*.



3. Pada tahap ini, oksigen diinjeksikan ke dalam *slag*. Oksigen yang dihembuskan bereaksi dengan gelembung karbon monoksida dan komponen *slag* lainnya, yang selanjutnya mendorong pembentukan dan stabilisasi *slag foam*.



Berikut ialah hubungan antara *superficial gas velocity* dan pembentukan *slag foam* yang disebut dengan *slag foaming index*.

$$\Sigma = \frac{\Delta H}{\Delta V_g^s} \dots \dots \dots (2.5)$$

Slag foaming index, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (2.5), adalah rasio antara perubahan *slag height* dalam cm (H) dan perubahan *superficial gas velocity* dalam cm/s (V_g^s) (Heenatimulla, 2022). Beberapa sifat penting yang ditemukan untuk mempengaruhi pembentukan busa pada *slag* adalah ukuran gelembung, dan keasaman/kebasaan *slag*. *Foaming index* didasarkan pada sifat fisik *slag* seperti, viskositas, tegangan permukaan dan densitas *slag* (Almeida, 2017).

Untuk proses pembentukan gelembung pada *slag* atau *foaming slag*, keberadaan gelembung CO diperlukan, dengan jumlah gelembung yang tinggi bersama dengan stabilitas yang baik dapat membentuk *foaming slag* yang lebih efisien. Kecepatan gas *superficial* berpengaruh dalam pembentukan *foaming slag*. Perbedaan yang signifikan terjadi pada *foam* yang dihasilkan oleh kecepatan gas tinggi dan rendah. Hal ini masing-masing disebut *foamy slag* dan *expanded slag*. Perbedaan utama antara *foaming slag* dan *expanded slag* adalah:

- a. *Foamy slag* ialah adanya dua lapisan berbeda dan lapisan *foam* di atas lapisan *slag* dengan sedikit celah. Sebagian besar *foam* memiliki dinding tipis sehingga memberikan stabilitas yang baik, dimana *foam* membutuhkan waktu yang lama untuk hancur bahkan ketika penyemburan

gas menurun secara signifikan.

- b. *Expanded slag*: lapisan yang seragam dan tercampur yang memiliki fraksi celah bervariasi. Lapisan pada *slag foam* memiliki celah besar, sehingga menyebabkan stabilitas yang rendah. Stabilitas yang rendah terjadi ketika penambahan gas berkurang dan *slag* mulai berkurang secara signifikan.

Hal ini dapat disimpulkan bahwa ketika *superficial gas velocity* meningkat, laju peningkatan ketinggian *slag* menurun drastis. Hal ini terjadi ketika sejumlah *slag* yang tidak berbentuk *foam* menyebabkan perubahan mekanisme yang menyebabkan *foam* menjadi kurang stabil (Almeida, 2017).

2.4 *Slag Depressant*

Slag depressant adalah suatu bahan aditif yang digunakan untuk mencegah terjadinya *slopping* pada *basic oxygen furnace*. *Slag depressant* dapat mencegah *slopping* dengan cara memecah *slag foam*, sehingga gas yang terjebak dalam gelembung tersebut dapat terbebas keluar. *Slag depressant* juga dapat mengontrol pembentukan *slag foam*. Kalsium karbonat atau batu kapur digunakan sebagai bahan pengikat atau binder pada pembuatan *slag depressant*. Selain itu, kalsium karbonat pada *slag depressant* juga berperan sebagai pembentuk *slag* CaO. Semakin besar jumlah CaO yang terbentuk maka semakin kecil nilai viskositas *slag*. Densitas dari *slag depressant* harus lebih besar dari densitas *slag* atau paling tidak densitas *slag depressant* sama dengan densitas *slag*. Hal ini bertujuan agar *slag depressant* tidak hanya bereaksi pada permukaan *slag foam* saja tetapi dapat menembus dan memecah

slag foam yang terbentuk selama proses pemurnian (Yucheoljong, 2008). *Slag depressant* yang digunakan pada *basic oxgen furnace* diharapkan dapat dengan mudah terurai sehingga tidak mengubah atau mengotori komposisi baja cair yang ada di dalam *basic oxygen furnace*. Komposisi *slag depressant* dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 4 Komposisi *slag depressant* (Kanamori & Nashiwa, 2001)

Bahan	Komposisi (%)
<i>Slag</i>	20 – 70
Bahan Organik	20 – 70
Kalsium Karbonat	5 - 50

Penggunaan *slag depressant* pada proses pembuatan baja dilakukan dengan cara menampung *slag depressant* tersebut di dalam sebuah *hopper* berbentuk kerucut yang berada tepat di atas *basic oxygen furnace*, sehingga tertuang secara bertahap. *Slag depressant* diharapkan mampu menahan beban tumpuk selama penggunaannya di dalam *hopper*. Selain itu, *slag depressant* yang digunakan juga dapat terurai pada temperatur kurang dari 1000°C agar tidak mengubah atau mengotori baja cair yang terdapat pada *basic oxygen furnace*. Untuk memenuhi kriteria tersebut maka spesifikasi *slag depressant* yang dibutuhkan oleh salah satu perusahaan baja di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 5 Spesifikasi *Slag depressant* (Yucheoljong, 2008)

Spesifikasi	Besaran
Densitas	1,5-2 kg/cm ²
Kuat Tekan	1500 N/cm ²
Kadar Abu (<i>Ash</i>)	45-75%
<i>Volatile Matter</i>	> 20%

Penggunaan pada pabrik pembuatan baja, *slag depressant* yang ada pada saat ini dibuat dari bubur limbah industri kertas sebesar 60% dan kalsium karbonat sebesar 40% dengan bentuk geometri kubus berukuran sisi 5cm. Namun pada penelitian ini geometri bentuk kubus dan silinder digunakan sebagai variasi geometri untuk mengetahui pengaruh bentuk geometri terhadap kuat tekan *slag depressant*. Berikut *slag depressant* yang digunakan dalam industri saat ini dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bentuk Geometri *Slag Depressant* dalam Industri

Bubur limbah industri kertas digunakan sebagai bahan organik pada pembuatan *slag depressant* karena sifatnya yang mudah terbakar. Selain itu, penggunaan bubur limbah industri kertas pada pembuatan *slag depressant* juga ditujukan sebagai bentuk pemanfaatan limbah industri. Kalsium karbonat atau batu kapur digunakan sebagai bahan pengikat atau *binder* pada pembuatan *slag depressant*. Selain itu, *slag depressant* dapat dibuat dengan menggunakan serbuk kayu sebagai bahan baku (Nimoto, 2016).

2.5 Bahan Organik

⁷ Bahan organik dapat didefinisikan sebagai semua bahan yang berasal dari jaringan tanaman dan hewan baik yang masih hidup maupun yang telah mati. Bahan organik tanah adalah bahan yang kompleks dan dinamis, berasal dari sisa tanaman dan hewan di dalam tanah dan mengalami perombakan secara terus menerus. Bahan organik mengacu pada bahan yang ¹⁰¹ terdiri dari senyawa organik yang berasal dari kotoran dan sisa-sisa organisme seperti tumbuhan dan hewan, atau dari reaksi kimia yang melibatkan kehidupan. ⁷ Bahan organik merupakan suatu sistem kompleks dan dinamis, yang bersumber dari sisa tanaman atau binatang yang terdapat di dalam tanah yang terus menerus mengalami perubahan bentuk, karena dipengaruhi oleh faktor ³² fisika, biologi, dan kimia. Senyawa organik terutama berasal dari aktivitas makhluk hidup, sedangkan senyawa anorganik diperoleh dari proses alami yang tidak terkait dengan bentuk kehidupan apa pun di bumi atau hasil percobaan manusia yang dilakukan di laboratorium (Nangaro, 2020).

2.6 Limbah Serbuk Kayu

Limbah utama dari industri kayu adalah potongan kecil dan serpihan kayu dari hasil penggergajian serta debu dan serbuk gergaji. Di Indonesia ada tiga macam industri kayu yang secara masif mengkonsumsi kayu, yaitu penggergajian, vinir/kayu lapis, dan *pulp*/kertas. Limbah industri kayu dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Limbah Serbuk Kayu

Industri penggergajian kayu menghasilkan limbah sebesar 40,48% volume, terdiri atas 22,32% sebetan; 9,39% potongan kayu; dan 8,77% serbuk gergaji. Sedangkan limbah industri kayu lapis sebesar 54,81% volume dengan rincian 3,69% potongan dolok; 18,25% sisa kupasan dolok; 8,50% venir basah; 3,69% penyusutan; 9,60% venir kering; 1,90% pengurangan tebal; 3,90% potongan tepi kayu lapis; 2,2% serbuk gergaji; dan 3,07% debu kayu lapis (Djoko Purwanto 2009). Produksi kayu di

Indonesia mencapai 2,6 juta m³/tahun (*Forestry Statistics of Indonesia*), maka jika limbah yang terbentuk dari produksi pabrik kayu sebesar 40,48% dihasilkan limbah kayu sebanyak 1,1 juta m³ per tahun, limbah kayu yang didapat mencapai hampir sekitar separuh dari hasil produksi kayu. Limbah kayu digunakan menjadi campuran bahan organik pada *slag depressant* sebagai alternatif tambahan bahan organik untuk mempercepat pembakaran pada *slag depressant* dan sebagai pemanfaatan limbah. Komposisi kimia pada serbuk kayu dapat dilihat pada Tabel 2.5.

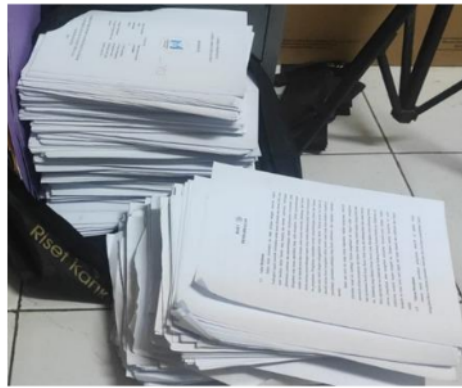
Tabel 2. 6 Komposisi Kimia Serbuk Kayu (Horisawa, 2009)

Komponen	Komposisi rata-rata (%)
<i>Extractives</i>	3,3
<i>Klason lignin</i>	29,3
<i>Hollocellulose</i>	83,8
<i>Carbon (C)</i>	61,58
<i>Hydrogen (H)</i>	5,38
<i>Oxygen (O)</i>	33,04

2.7 Limbah Kertas

Terdapat 62 perusahaan di Indonesia yang bergerak di industri pembuatan kertas. Produksi kertas pada industri pembuat kertas mencapai 13 juta ton per tahun

(Indonesia Eximbank Institute, 2018). Satu ton kertas yang diproduksi menghasilkan 30 Kg limbah pabrik kertas (Maschio et al., 2009). Selain limbah kertas yang dihasilkan oleh industri kertas, adapun penggunaan kertas yang digunakan pada kehidupan sehari – hari seperti limbah kertas atau kertas habis pakai yang dihasilkan oleh rumah tangga, sekolah, dan perkantoran. Penggunaan kertas sering ditemui khususnya pada kebutuhan akademisi atau lingkungan kampus. Hal ini menjadi fokus utama pemanfaat limbah kertas pada pembuatan *slag depressant* yang dibuat pada penelitian ini. Limbah kertas dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Limbah Kertas

Penambahan kertas habis pakai sebagai bahan organik pada pembuatan *slag depressant* bertujuan untuk mempercepat pembakaran pada *slag depressant* dan menghasilkan gas CO pada temperatur tinggi. Pada penambahan kurang dari 20% bubuk kertas menyebabkan tidak hancurnya *slag foam* yang terbentuk di BOF. Jika bubuk kertas yang ditambahkan lebih dari 70% dapat menyebabkan ketidak sesuaian

komposisi pada *slag* (Kanamori & Nashiwa, 2001). Maka kertas habis pakai yang dicampurkan memiliki variasi komposisi sebesar 25%, 30% dan 35%. Untuk komposisi kimia dari kertas habis pakai dapat dilihat pada Tabel 2.6

Tabel 2. 7 Komposisi Kimia Kertas Habis Pakai (Kambuna, 2021)

Komponen	Komposisi (%)
Si	0,5150
P	0,2950
S	0,0899
Cl	0,0512
K	0,0971
Ca	6,5300
Ti	0,0368
⁹⁰ V	0,0053
Cr	0,0065
Mn	0,0056
Fe	0,1150
Co	0,0020
Ni	0,0019
Cu	0,0039
Zn	0,0161

2.8 *Binder* Molase

Pada proses pembuatan *pellet* bijih besi umumnya ditambahkan suatu zat aditif dalam jumlah yang sedikit dengan salah satu tujuannya adalah meningkatkan kekuatan mekaniknya. Zat tersebut disebut sebagai *binder* atau bahan pengikat. Bahan pengikat yang ditambahkan dapat berupa material organik maupun anorganik (Rosenqvist, 2010). Bahan pengikat organik seperti, tepung kanji, gula tetes, dan dekstrin. Sedangkan bahan pengikat anorganik yang biasa ditambahkan dapat berupa semen, NaOH, Na₂CO₃, K₂O₃, dan FeSO₄ (R. C. Gupta, 2010). Bahan pengikat yang digunakan pada *slag depressant* pada penelitian ini berupa bahan organik yaitu molase. kelebihan bahan pengikat organik pada *slag depressant* karena sifatnya yang mudah terbakar, namun hal ini tidak serupa dengan penambahan bahan pengikat anorganik, karena penambahan bahan pengikat anorganik pada *slag depressant* beresiko mengakibatkan ketidaksesuaian komposisi oksida anorganik tersebut pada baja cair. (Kanamori & Nashiwa, 2001).



Gambar 2.6 Molase

Gambar 2.6 merupakan gambaran dari gula tetes atau sering disebut dengan molase. Molase merupakan limbah yang dihasilkan dari proses kristalisasi gula yang berulang ulang dan tidak dapat dimanfaatkan kembali menjadi gula yang bisa di konsumsi sehari-hari (Tarigan, 2014). Molase dapat digunakan sebagai *binder* atau bahan pengikat dan berguna untuk meningkatkan nilai kuat tekan pada pembuatan cetakan pasir untuk pengecoran. Molase dapat digunakan secara efektif pada komposisi lebih dari 2,25% (Srinivasarao & Birru, 2017). Molase adalah jenis *binder* yang berbentuk cairan kental dan tidak memiliki serat kasar sehingga memungkinkan daya tarik antar molekul untuk membentuk ikatan yang lebih kuat. Molase akan menempel pada permukaan partikel padat agar terjadi ikatan kuat pada benda uji. (Syahri et al., 2018; Yusmadi et al., 2015). Komposisi kimia molase dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 8 Komposisi Molase (Zhai et al., 2018).

Komponen	Komposisi (%)
Karbon	47,40
Oksigen	41,97
Hidrogen	7,87
Nitrogen	2,63
<i>Sulfur</i>	0,33

2.9 Batu Kapur

⁹⁹ *Limestone* atau batu kapur adalah jenis batuan karbonat. Batu kapur ialah mineral anorganik dengan penyusun utama CaCO_3 (Lukman, 2012). ⁴ Secara umum, yang terkandung dalam batu kapur adalah kalsium karbonat sebesar 95%, dolomit 3% dan mineral *clay* 2% (Apriliani, 2012). Batu kapur dapat digunakan sebagai binder pembuatan beton pada komposisi tertentu. Kekuatan mekanik beton dapat di tingkatkan karena ion Ca^{2+} pada batu kapur mampu meningkatkan kekuatan produk (Ortega-Zavala et al., 2019). Penggunaan batu kapur bertujuan untuk meningkatkan *specific gravity* pada *slag depressant* sehingga mampu menembus lapisan *slag foam* (Geum Chang Hoon, 2012). *Slag depressant* yang memiliki *specific gravity* terlalu tinggi, akan tenggelam ke dasar dan mengurangi efek menghilangkan *slag foam*. Oleh karena itu penambahan batu kapur dibatasi hingga 50% (Yucheoljong, 2008).

Penambahan batu kapur pada *slag depressant* dapat menurunkan temperatur dan viskositas dari *slag* hal ini disebabkan oleh penyerapan panas yang dilakukan oleh batu kapur yang kemudian terurai menjadi CaO dan CO_2 (Gugyeonghoe, 2007). Jika batu kapur yang ditambahkan ke dalam pembuatan *slag depressant* kurang dari 5%, maka kalsium karbonat yang terdapat pada batu kapur tidak mampu berperan sebagai zat pendingin dan menurunkan viskositas. Jika batu kapur ditambahkan lebih dari 50%, maka peran kalsium karbonat menjadi jenuh. Oleh karena itu, penambahan kalsium karbonat pada pembuatan *slag depressant* diatur pada komposisi 5-50% (Kanamori & ²³ Nashiwa, 2001). Komposisi kimia batu kapur dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.9 Komposisi Batu Kapur (Kambuna, 2021)

Komponen	Komposisi (%)
Al	2,5400
Si	1,7400
P	1,3900
S	0,1960
Cl	0,0468
K	0,4190
Ca	47,5000
Ti	0,0715
V	0,0219
Cr	0,0326
Mn	0,0514
Fe	1,0800
Co	0,0145
Ni	0,0098
Cu	0,0077
Zn	0,0072

2.10 Bentuk Geometri

Bentuk geometri memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan *slag*

depressant. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan luas permukaan yang dimiliki masing-masing bentuk geometri. Nilai kekuatan tekan yang harus dimiliki *slag depressant* harus melebihi 1500N/cm^2 agar bisa menahan beban tumpuk dan tidak menyumbat *hopper* dikarenakan hancur dan menggumpal akibat kelembapan udara (Kim Min Kyun, 2017). *Slag depressant* yang diproduksi pada industri saat ini berbentuk geometri kubus dengan panjang sisi 5cm. Berikut ialah Gambar bentuk cetakan pada *slag depressant*.



Gambar 2.7 Cetakan Silinder



Gambar 2.8 Cetakan Kubus

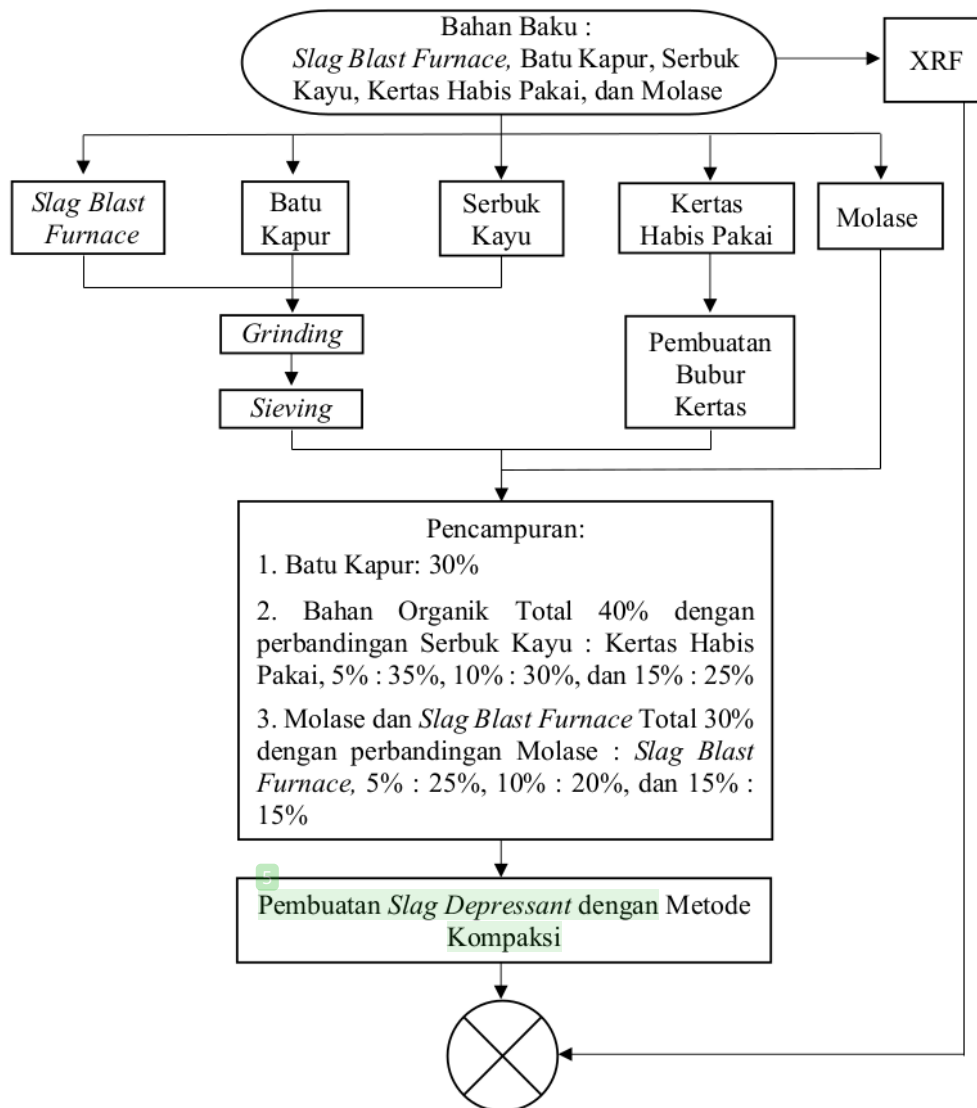
Pada penelitian ini digunakan cetakan dengan bentuk geometri silinder dan kubus. Kedua bentuk cetakan dapat dilihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8. Cetakan silinder memiliki diameter dalam, tinggi, dan tebal dinding sebesar 41 mm, 50 mm, 3 mm, sedangkan untuk cetakan dengan geometri kubus memiliki panjang sisi senilai 40 mm.

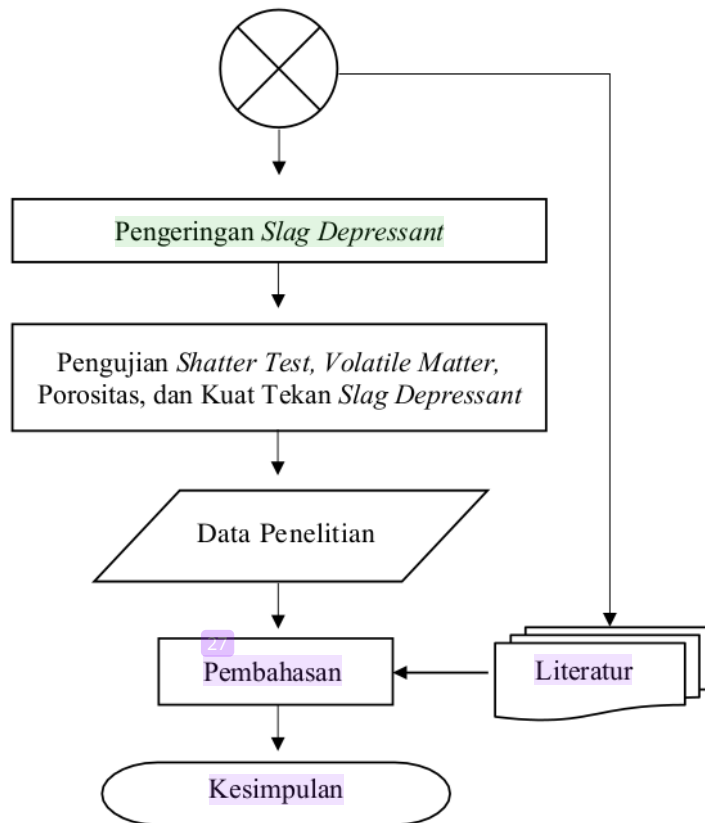
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Adapun prosedur penelitian ini secara singkat digambarkan dapat dilihat pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

Berikut ini merupakan alat yang digunakan untuk penelitian ini :

1. Alat *shatter test*
2. Ayakan 3/8 *mesh*
3. Ayakan 4 *mesh*
4. Ayakan 80 *mesh*

5. Ayakan 100 *mesh*
6. *Ball mill*
7. Cawan porselin
8. Cetakan
9. *Electric stove*
10. *Furnace*
11. Gelas beker
12. Jangka sorong
13. Mesin uji tekan
14. *Oven*
15. Timbangan
16. Wadah aluminium
17. *X-ray fluorescence spectrometer*

54

3.2.2 Bahan

Berikut ini merupakan bahan yang digunakan untuk penelitian ini :

1. Serbuk kayu
2. Kertas habis pakai
3. *Binder* molase
4. Batu kapur
5. *Slag blast furnace*

3.3 Prosedur Penelitian

1 Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Untuk pengujian tekan dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Karakterisasi *X-Ray Fluorescence* di TekMIRA. 23 Berikut adalah tahapan prosedur penelitian yang dilakukan terdiri dari beberapa tahap 82 sebagai berikut, yaitu :

1. Karakterisasi Awal Bahan Baku

Pengujian *X-Ray Fluorescence* dilakukan guna mengetahui kandungan unsur awal yang terkandung pada setiap bahan baku sesuai dengan standar ASTM E-1621. Prinsip kerja dari *X-Ray Fluorescence* yaitu menembakan radiasi foton elektromagnetik ke material yang akan diteliti. Prosedur penggunaan *X-Ray Fluorescence* diantaranya yaitu:

1. Masing – masing sampel yang terdiri dari *slag blast furnace*, batu kapur, serbuk kayu, kertas habis pakai dan molase disiapkan.
- 13 2. *Holder* disiapkan, kemudian bagian bawah *holder* ditutup dengan plastik transparan lalu sampel dimasukkan ke dalam *holder*.
3. Mesin *x-ray Fluorescence*.
4. Perangkat lunak yang akan digunakan dipilih untuk melakukan analisis.
5. Analisis sampel dengan *x-ray fluorescence* dilakukan.



Gambar 3.2 X-Ray Fluorescence

2. Preparasi Bahan Baku

Slag blast furnace dan batu kapur di-grinding menggunakan *ball mill*.

Setelahnya pengayakan *slag blast furnace* dan batu kapur dengan ayakan 80# dan 100# untuk memperoleh partikel *slag blast furnace* dan batu kapur berukuran -80# +100#. *Slag blast furnace* dan batu kapur yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.3 dan 3.4

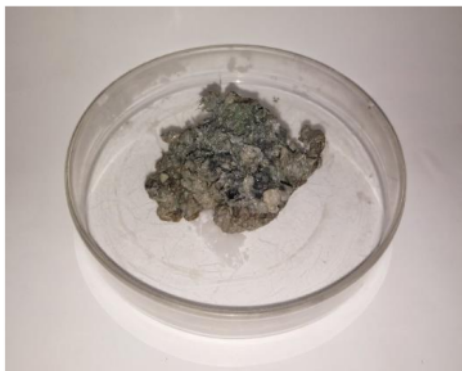


Gambar 3.3 Slag Blast Furnace



Gambar 3.4 Batu Kapur

Persiapan pembuatan bubur kertas habis pakai mula – mula ukuran kertas diperkecil dengan cara disobek lalu dimasukkan ke dalam wadah berisi air panas dan diamkan selama 2 hari, setelahnya kertas dihancurkan hingga menjadi bubur kertas. Bubur kertas yang digunakan dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3.5 Bubur Kertas Habis Pakai

Serbuk kayu sebagai campuran bahan baku organik diayak dengan menggunakan ayakan 80# dan 100# untuk memperoleh ukuran partikel serbuk kayu sebesar -80# +100#. Serbuk kayu yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 Serbuk Kayu

3. Pencampuran Bahan Baku

Penambahan *slag blast furnace* berfungsi sebagai agregat atau penguat (Miyamoto et al., 2015). Di dalam penelitian ini digunakan *slag blast furnace* 5%, 10%, dan 15% dari massa total bahan baku dan ditambahkan serbuk batu kapur 30% dari massa total bahan baku, dengan masing – masing ukuran partikel sebesar -80 +100#. Bahan organik yang digunakan adalah serbuk kayu yang bersumber dari limbah pabrik kayu sebanyak 5%, 10% dan 15% dari massa total bahan baku serta kertas habis pakai sebanyak 25%, 30% dan 35% dari massa total bahan organik

yaitu 40% dan dicampur dengan *binder*. Pada penelitian menggunakan *binder* molase dengan penambahan sebanyak 5%, 10%, dan 15%. Kemudian setelah pencampuran semua bahan baku pada pembuatan *slag depressant*, dilakukan pengadukan sampel hingga homogen. Variasi komposisi dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Variasi Komposisi *Slag Depressant*

Sampel	Total 30% S-BF : M (%)	BK (%)	Total 40% KHP : SK (%)
Sampel 1-A	15 : 15	30	35 : 5
Sampel 1-B	15 : 15	30	30 : 10
Sampel 1-C	15 : 15	30	25 : 15
Sampel 2-A	20 : 10	30	35 : 5
Sampel 2-B	20 : 10	30	30 : 10
Sampel 2-C	20 : 10	30	25 : 15
Sampel 3-A	25 : 5	30	35 : 5
Sampel 3-B	25 : 5	30	30 : 10
Sampel 3-C	25 : 5	30	25 : 15

S-BF : *Slag Blast Furnace*

KHP : Kertas Habis Pakai

M : Molase

SK : Serbuk Kayu

BK : Batu Kapur

1 : Molase 15%

A : Serbuk Kayu 5%

2 : Molase 10%

B : Serbuk Kayu 10%

3 : Molase 5%

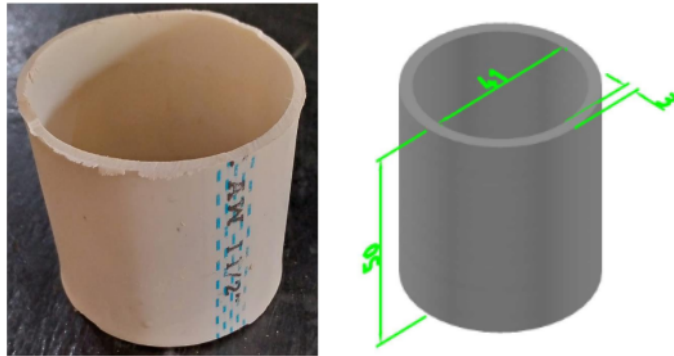
C : Serbuk Kayu 15%

Keterangan :

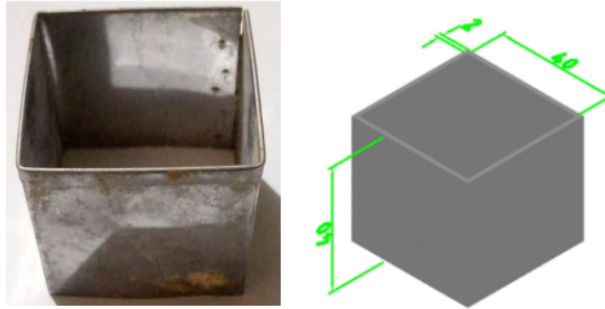
Penamaan sampel angka ditandai berdasarkan variasi komposisi *binder* dan *slag blast furnace* yang digunakan. Sedangkan penamaan sampel huruf menunjukkan variasi bahan organik. Sebagai contoh, sampel 2-B berarti *binder* dan *slag blast furnace* yang digunakan masing – masing sebesar 10% dan 20% serta bahan organik yang digunakan masing – masing sebesar 30% kertas habis pakai dan 10% serbuk kayu serta ditambahkan 30% batu kapur.

4. Pembentukan *slag depressant* dengan metode kompaksi

Bahan baku yang dicampurkan hingga homogen kemudian langkah selanjutnya dilakukan proses kompaksi atau pemadatan dalam benda cetak berukuran silinder dan kubus.



Gambar 3.7 Cetakan Silinder



Gambar 3.8 Cetakan Kubus

5. Pengeringan.

Proses pengeringan dilakukan agar kadar *moisture* pada *slag depressant* berkurang yaitu kurang dari 15%. Pengeringan dilakukan menggunakan oven dengan temperatur 100 ° C selama 5 jam.

78

6. Pengujian Tekan

Pengujian tekan atau *compressive strength* dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan tekan maksimum atau *compressive strength* pada *slag depressant* yang mampu diterima suatu bahan padat. Nilai kekuatan tekan yang diharapkan adalah lebih dari 1500 N/cm². Pengujian tekan dilakukan dengan cara meletakkan *slag depressant* ke dalam mesin uji tekan kemudian dilakukan pembebanan sampai *slag depressant* tersebut hancur. Kekuatan tekan *slag depressant* dapat diketahui dengan cara membagi gaya yang terukur pada mesin uji tekan dengan luas penampang *slag depressant*. Nilai kekerasan diketahui berdasarkan persamaan.

$$\text{Kuat Tekan} = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(3.1)$$

Pada persamaan diatas nilai kuat tekan dihitung dengan membagi besarnya beban maksimum yang dapat diterima oleh sampel (F) dalam satuan N dengan luas penampang sampel (A) dalam satuan cm². (ASTM E9-9, 2000).

Keterangan:

F : Beban maksimum yang diterima oleh sampel (N)

A : Luas Penampang Sampel (cm²)

7. Uji *Volatile Matter*

Uji *volatile matter slag depressant* dilakukan dengan peralatan berupa cawan porselin dan *furnace*. Penentuan nilai *volatile matter slag depressant* dilakukan dengan cara meletakkan sampel *slag depressant* ke dalam porselin kemudian dimasukkan ke dalam *furnace* temperatur 850 °C selama tujuh menit. Kemudian sampel didinginkan sampai kondisi stabil dan ditimbang. Nilai kadar *volatile matter slag depressant* diketahui berdasarkan persamaan (ASTM D 3172, 2021).

$$\text{Kadar volatile matter} = \frac{B-C}{W} \times 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan:

B = Berat sampel setelah dikeringkan (gram)

C = Berat sampel setelah dipanaskan dalam *furnace* (gram)

W = Berat sampel sebelum pengujian (gram)

8. Pengujian Porositas

Pengujian porositas dalam penelitian ini dilakukan dengan metode *water boiling*. Mula – mula *slag depressant* ditimbang massa awal di udara sebagai nilai M1 (gram), lalu dimasukan pada gelas beker yang telah berisi air mendidih selama 30 menit. Nilai M2 (gram) merupakan massa sampel yang ditimbang dalam air mendidih. Setelah pemanasan dihentikan, air akan masuk ke dalam pori dari sampel kemudian permukaan sampel dikeringkan menggunakan kain lalu massanya diukur sebagai M3 (gram) (R. C. Gupta, 2010). Perhitungan nilai porositas *slag depressant* pada persamaan 3.2 (ASTM C20-00, 2015).

$$\text{Porositas (\%)} = \frac{M_3 - M_1}{M_3 - M_2} \times 100\% \dots \dots \dots (3.3)$$

9
Keterangan :

M₁= Berat awal sampel (gram)

M₂= Berat sampel dalam air (gram)

M₃= Berat sampel setelah dikeluarkan (gram)

9. Pengujian *shatter test*

Pengujian *shatter test* dilakukan untuk mengetahui tingkat kerusakan dan jumlah *slag depressant* yang hilang akibat proses penuangan *slag*

depressant dari ketinggian saat penanganan (*handling*) dan transportasi *slag depressant*. Pengujian *shatter test* dilakukan berdasarkan standar IS 9963-1981 dengan menjatuhkan sampel dengan massa 20 kg dari ketinggian 2 meter sebanyak 4 kali. Di bagian bawah terdapat pelat (*plate base*) berbentuk persegi dengan panjang sisi sebesar 1,5 meter dan tebal 10 mm. Kemudian sampel yang telah dijatuhkan diayak dengan menggunakan ayakan berukuran 10 mm (3/8#) dan 5mm (4#). Nilai *shatter index* diperoleh menggunakan persamaan 3.3 (Samant, 1981).

$$SI = \frac{M_2}{M_1} \times 100\% \dots \dots \dots (3.4)$$

Keterangan :

SI = *Shatter Index* (%)

M₁ = Berat awal (gram)

M₂ = Berat sampel tertahan di ayakan 10mm (gram)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Bahan Baku

Pada penelitian ini, dilakukan karakterisasi awal bahan baku menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) pada masing – masing sampel yang terdiri dari *slag blast furnace*, batu kapur, kertas habis pakai dan molase serta dilakukan analisis proksimat pada serbuk kayu. Pada tahap karakterisasi XRF, bahan baku dibagi menjadi dua jenis yakni bentuk padatan dan cairan. Hasil karakterisasi kedua jenis bahan baku tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 serta hasil analisis proksimat dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.1 Hasil Karakterisasi XRF Bahan Baku Padat

No.	Komponen	Hasil (% Massa)		
		Kertas Habis Pakai	Slag Blast Furnace	Batu Kapur
1	Al	0,442	5,442	0,294
2	Si	0,382	13,776	0,287
3	S	-	0,574	-
4	Cl	0,207	0,026	0,030
5	K	-	0,476	-
6	Ca	94,586	74,022	98,643
7	Ti	0,133	1,535	0,040
8	V	-	0,018	0,003
9	Cr	0,094	0,018	0,026
10	Mn	-	0,485	0,066

Tabel 4.1 Hasil Karakterisasi XRF Bahan Baku Padat

No.	Komponen	Hasil (% Massa)		
		Kertas Habis Pakai	Slag Blast Furnace	Batu Kapur
11	Fe	2,068	3,443	0,482
12	Cu	0,809	-	0,043
13	Y	-	0,037	-
14	Zr	-	0,148	0,001
15	Sr	-	-	0,032
16	Sn	1,278	-	0,052
Jumlah (%)		99,999	100,000	99,999

Tabel 4.2 Hasil Karakterisasi XRF Bahan Baku Cairan

No.	Komponen	Komposisi Molase (% massa)
1	Al	0,244
2	Si	0,022
3	P	0,131
4	S	0,054
5	Cl	0,320
6	K	0,552
7	Ca	0,350
8	Oil	98,300
Jumlah (%)		99,973

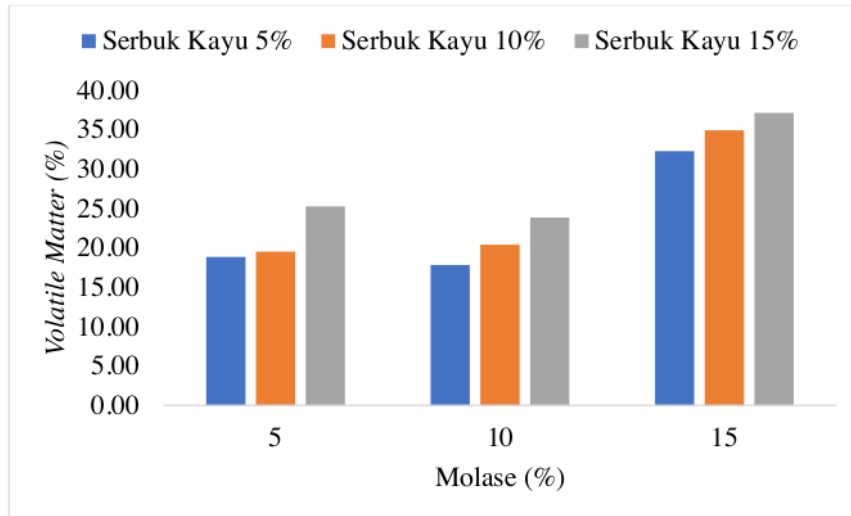
Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Analisis Proksimat pada Serbuk Kayu

Sampel	Moisture (%)	Ash (%)	Volatile Matter (%)
Serbuk Kayu	14,320	3,000	65,600

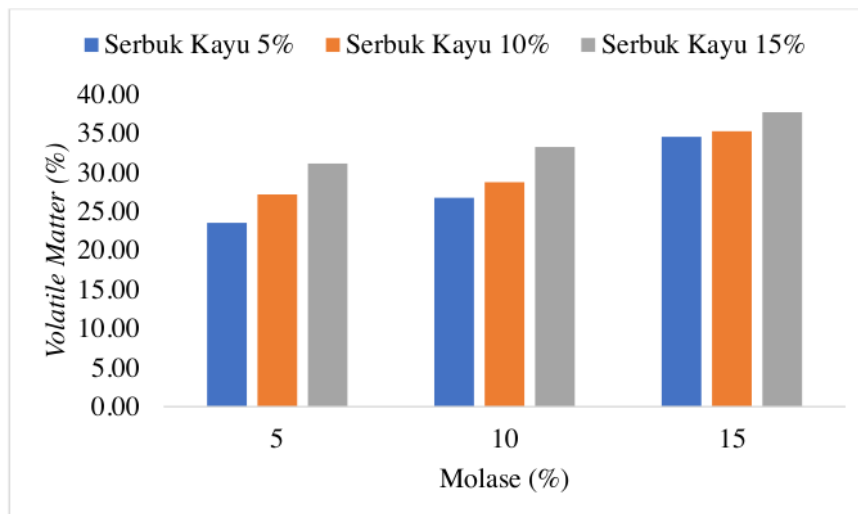
Pada Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa unsur utama pada batu kapur adalah Ca sebesar 98,643% massa. Pada data tersebut, batu kapur yang digunakan pada penelitian ini adalah kalsit (CaCO_3), unsur utama pada *slag blast furnace* adalah Ca sebesar 74,022% massa, kertas habis pakai memiliki unsur utama Ca sebesar 94,586%.
28 Bahan baku cairan yang digunakan ialah *binder*, pada penelitian ini *binder* yang digunakan ialah molase. Data hasil karakterisasi molase dapat dilihat pada Tabel 4.2.
69 Pada Tabel 4.2 diketahui bahwa unsur utama pada molase adalah Ca, K dan *oil* yang masing – masing memiliki nilai sebesar 0,350%, 0,552%, dan 98,3% massa. Hasil analisis proksimat pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa *volatile matter* pada bahan baku serbuk kayu memiliki nilai 65,600%

4.2 Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu Terhadap Nilai *Volatile Matter Slag Depressant*

Nilai *volatile matter* akan mempengaruhi laju proses pembakaran sehingga *slag depressant* memiliki kemampuan bakar tinggi agar mampu terbakar dengan cepat (Sunghyun, 2007). Teori ini juga di perkuat oleh Fernandez Anez pada tahun 2014 bahwa jika kandungan *volatile matter* semakin tinggi, maka suatu bahan akan semakin mudah terbakar (Fernandez Anez 2014). *Slag depressant* yang digunakan diharapkan dapat terurai pada temperatur kurang dari 1000°C saat proses, agar tidak mengubah atau mengotori baja cair yang terdapat pada *basic oxgen furnace*. Untuk memenuhi kriteria dari spesifikasi *slag depressant*, nilai *volatile matter* yang harus dimiliki oleh *slag depressant* harus lebih dari 20% (Sunghyun, 2007).



Gambar 4.1 Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu Terhadap Nilai *Volatile Matter Slag Depressant* Bentuk Silinder



Gambar 4.2 Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu Terhadap Nilai *Volatile Matter Slag Depressant* Bentuk Kubus

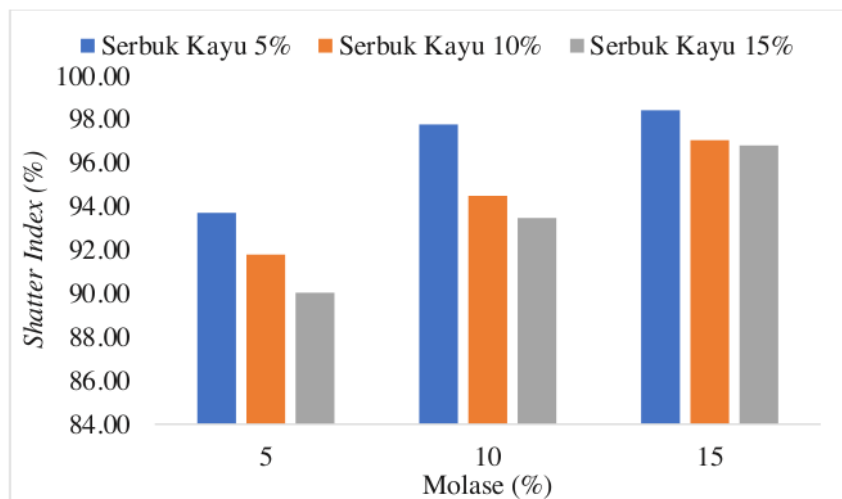
Pada Gambar 4.1 diketahui bahwa pada bentuk geometri silinder terdapat tiga sampel yang bernilai kurang 20%, nilai *volatile matter* ini tidak sesuai dengan yang tertera pada tabel 2.5 bahwa spesifikasi *slag depressant* memiliki nilai *volatile matter* lebih dari 20%, hal ini terjadi karena kurangnya komposisi bahan organik pada campuran *slag depressant*, yang mana *slag depressant* terbuat dari 60% bahan organik dan 40% kalsium karbonat (Kanamori & Nashiwa, 2001). Pada *slag depressant* dengan penambahan 10% serbuk kayu dan 5% molase memiliki nilai *volatile matter* sebesar 19,56%; serta pada penambahan 5% serbuk kayu dengan masing – masing penambahan 5% dan 10% molase memiliki nilai 18,91% dan 17,46%. Ketiga sampel ini memiliki nilai *volatile matter* dibawah 20%. Nilai *volatile matter* pada *slag depressant* yang memiliki nilai kurang dari 20% terjadi karena dipegaruhi penambahan pada pencampuran komposisi *slag blast furnace* pada *slag depressant* sehingga menurunkan nilai *volatile matter* pada *slag depressant*. Hal ini terjadi karena menurut Kanamori dkk bahwa kandungan utama pada *slag blast furnace* adalah oksida CaO, SiO₂, dan Al₂O₃ yang sulit terbakar dan dapat menurunkan nilai dari *volatile matter* (Kanamori & Nashiwa, 2001). Hal ini sesuai dengan paten Jepang, bahwa penambahan *slag blast furnace* yang berlebihan pada *slag depressant* dapat mengakibatkan ketidaksesuaian komposisi oksida anorganik pada baja cair.

Namun pada Gambar 4.2, pada bentuk geometri kubus nilai *volatile matter* sesuai dengan literatur yaitu diatas 20%, hal ini dipengaruhi oleh bentuk geometri kubus yang memiliki luas permukaan lebih besar dari bentuk geometri silinder. Dapat diketahui pada bentuk geometri silinder dan kubus terdapat peningkatan nilai *volatile*

matter dikarenakan penambahan serbuk kayu. Pada penambahan serbuk kayu 15% memiliki nilai *volatile matter* lebih dari 20%, *slag depressant* memiliki spesifikasi nilai *volatile matter* lebih dari 20% (Yucheoljong, 2008). Hal ini dikarenakan serbuk kayu memiliki nilai *volatile matter* 65,600%, hal mampu meningkatkan nilai *volatile matter* pada *slag depressant*.

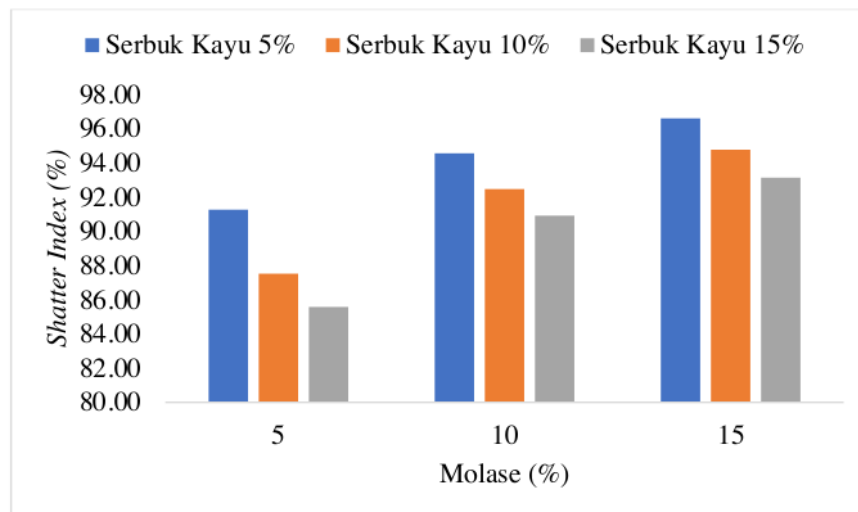
4.3 Pengaruh Penambahan Molase dan Serbuk Kayu Terhadap *Shatter Index Slag Depressant*

Pengujian *shatter test* dilakukan sesuai dengan standar IS 9963 – 1981, *shatter test* dilakukan untuk mengetahui kerusakan yang terjadi pada *slag depressant* dan jumlah berat *slag depressant* yang berkurang saat proses *handling* dan transportasi, hingga mendapatkan nilai SI (*Shatter Index*).



Gambar 4.3 Pengaruh Penambahan *Binder* Molase dan Serbuk Kayu Terhadap *Shatter Index Slag Depressant* Bentuk Silinder

9 Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa pada bentuk silinder memiliki *shatter index* tertinggi terdapat pada penambahan molase sebanyak 15% dengan 5% serbuk kayu dan *shatter index* terendah didapat pada penambahan 5% molase dengan penambahan 15% serbuk kayu. Dapat dilihat pada Gambar 4.4 hal serupa terjadi, bahwa penambahan molase 15% dengan penambahan serbuk kayu 5% memiliki *shatter index* tertinggi dan pada penambahan molase 5% dengan penambahan 15% serbuk kayu memiliki *shatter index* terendah.



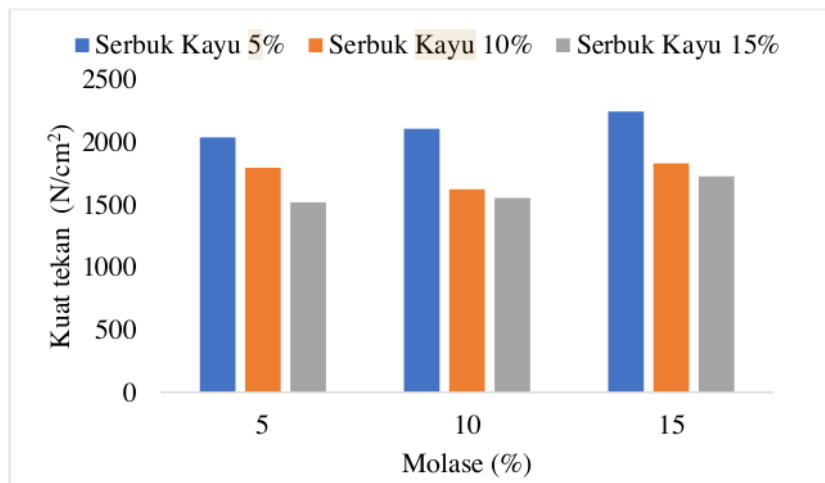
Gambar 4.4 Pengaruh Penambahan *Binder* Molase dan Serbuk Kayu Terhadap *Shatter Index Slag Depressant* Bentuk Kubus

Hal ini terjadi karena *binder* molase yang berbentuk cairan kental dan tidak memiliki serat kasar sehingga memungkinkan daya tarik antar molekul untuk membentuk ikatan yang lebih kuat. Molase akan menempel pada permukaan pada permukaan partikel padat agar terjadi ikatan kuat pada benda uji. (Syahri et al., 2018;

Yusmadi et al., 2015). Hal ini berbanding terbalik dengan penambahan serbuk kayu pada *slag depressant*, makin banyaknya penambahan serbuk kayu maka semakin rendah hasil dari *shatter index* yang didapatkan. Namun pada penelitian ini hasil nilai persentase dari *shatter index* lebih dari 80% yang mana sesuai dengan *Indian Standard 9963* pada tahun 1981, maka dapat diketahui bahwa penambahan serbuk kayu dan molase terhadap *slag depressant* dikategorikan mampu menahan beban tumpuk pada saat proses *handling* (R. C. Gupta, 2010).

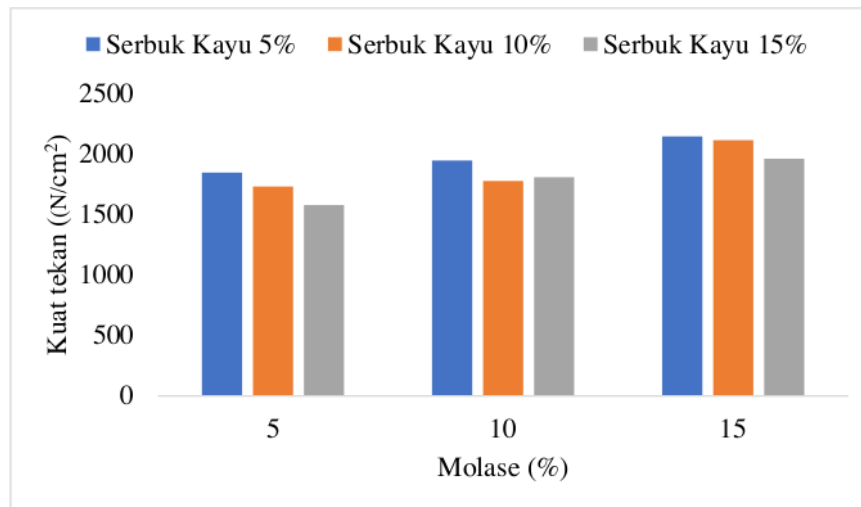
4.4 Pengaruh Penambahan Molase dan Serbuk Kayu Terhadap Kuat Tekan dan Porositas *Slag Depressant*

Dalam penelitian ini, dilakukan penambahan variasi komposisi *binder* berupa molase untuk melihat pengaruhnya terhadap kuat tekan *slag depressant*. Pengaruh penambahan molase terhadap kuat tekan dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Pengaruh Penambahan Molase Terhadap Nilai Kuat Tekan *Slag Depressant* Bentuk Silinder

3 Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa, pada bentuk geometri silinder penambahan molase memiliki pengaruh peningkatan terhadap nilai kuat tekan *slag depressant*. Nilai tertinggi didapat pada penambahan 15% molase dengan nilai kuat tekan 2247,91 N/cm². Pada Gambar 4.6 dapat dilihat pada bentuk geometri kubus, terjadi hal serupa dengan bentuk geometri silindir yang dimana terjadi peningkatan nilai kuat tekan pada *slag depressant* dengan nilai tertinggi 2144,61 N/cm².

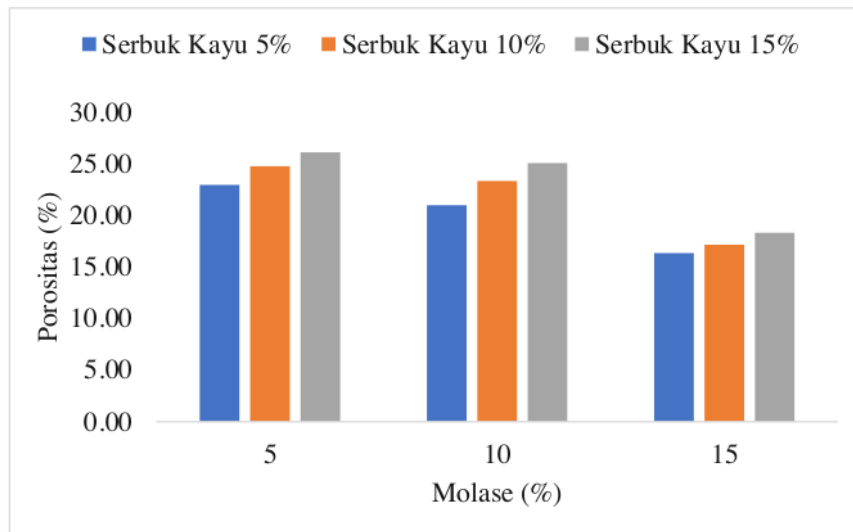


Gambar 4.6 Pengaruh Penambahan Molase Terhadap Nilai Kuat Tekan *Slag Depressant* Bentuk Silinder

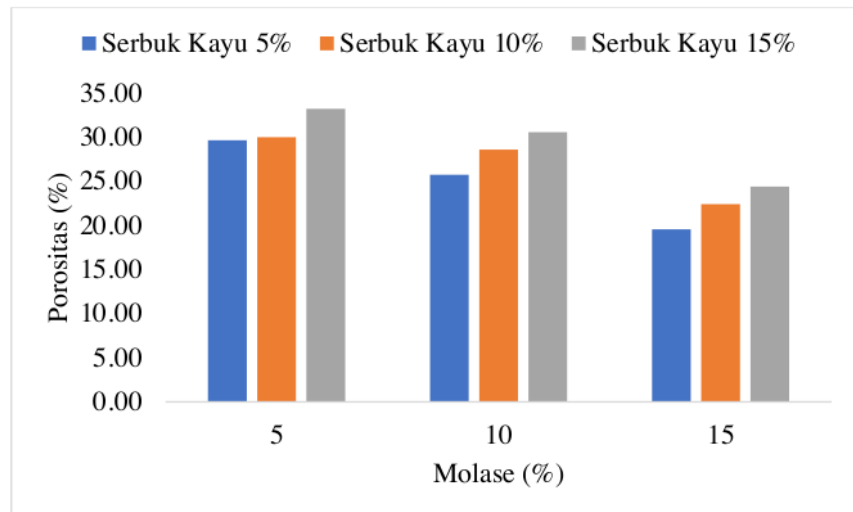
Hal ini disebabkan oleh penambahan molase yang berpengaruh kepada penambahan kuat tekan dikarenakan molase pada *slag depressant* berfungsi untuk mengikat antar partikel dan menutup pori pada *slag depressant* (Syahri et al., 2018; Yusmadi et al., 2015). Pada Gambar 4.5 Terjadi penurunan nilai kuat tekan pada *slag depressant* pada penambahan 10% serbuk kayu dan 10% molase, namun nilai kuat

tekan *slag depressant* yang dihasilkan lebih dari 1500 N/cm². Hal ini sesuai dengan literatur bahwa *slag depressant* yang digunakan pada *basic oxygen furnace* harus memiliki nilai kuat tekan lebih dari 1500 N/cm² (Yucheoljong, 2008). Pada Gambar 4.5 dan Pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa hasil tertinggi didapat dengan nilai 2247,91 N/cm² dan 2144,61 N/cm². Dengan nilai tertinggi didapatkan pada *slag depressant* bentuk geometri silinder. Dalam penelitian ini luas penampang pada silinder memiliki nilai sebesar 14,45 cm² dan spesimen bentuk kubus yaitu 16,32 cm². Kuat tekan dapat suatu bahan dapat dipengaruhi oleh luas spesimen suatu benda uji, semakin besar luas penampangnya maka akan semakin kecil nilai kuat tekan yang dihasilkan. Menurut Che dkk, kuat tekan pada benda dengan bentuk kubus memiliki nilai kuat tekan lebih tinggi dari silinder (Che *et al*, 2011). Namun pada penelitian ini didapat nilai kuat tekan tertinggi pada bentuk geometri silinder. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Gustavo Pedroti pada tahun 2018 bahwa kuat tekan spesimen bentuk silinder lebih besar 1% sampai 26% dari spesimen bentuk kubus.

Pengujian porositas *slag depressant* dilakukan untuk melihat pengaruhnya terhadap kekuatan tekan. Kuat tekan suatu bahan sangat di pengaruhi oleh nilai porositas, apabila porositas suatu material meningkat, maka kekuatan suatu material akan menurun juga berlaku sebaliknya bahwa apabila porositas suatu material menurun, maka kekuatan suatu material akan meningkat. Hasil pengujian porositas pada *slag depressant* dengan penambahan molase pada bentuk geometri silinder dan kubus dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.

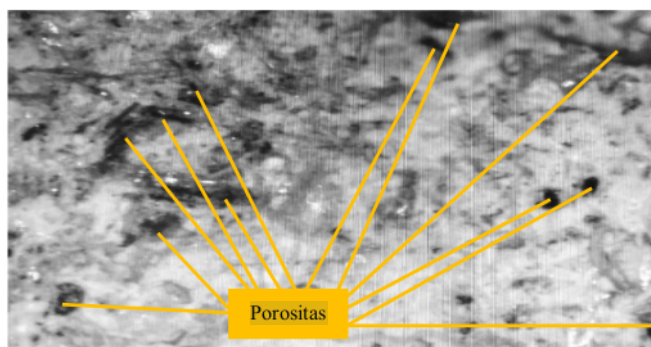


Gambar 4.7 Pengaruh Penambahan Molase Terhadap Porositas *Slag Depressant* Silinder



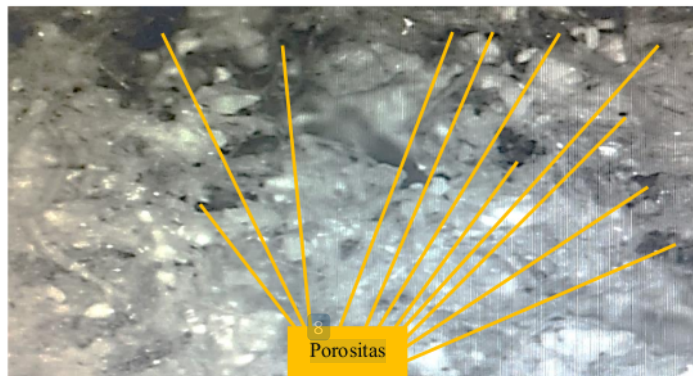
Gambar 4.8 Pengaruh Penambahan Molase Terhadap Porositas *Slag Depressant* Bentuk Kubus

Pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8 diatas dapat dilihat bahwa penambahan molase pada slag depressant mampu mengurangi nilai porositas yang dimana nilai porositas terendah dengan nilai 16,40% terdapat pada penambahan binder molase sebesar 15% pada bentuk geometri silinder dan nilai porositas terbesar dengan nilai 26,15% terdapat pada penambahan binder molase sebesar 5% pada bentuk geometri silinder. Lalu pada bentuk geometri kubus memiliki nilai porositas dengan nilai 19,87% pada penambahan 15% molase dan nilai porositas tertinggi dengan nilai 31,90% terdapat pada penambahaha 5% molase. Hal ini dikarenakan molase adalah jenis binder yang berbentuk cairan kental dan tidak memiliki serat kasar sehingga memungkinkan mampu menutupi pori yang ada pada slag depressant. Molase akan menempel pada permukaan partikel padat agar terjadi ikatan kuat pada benda uji. (Syahri et al., 2018; Yusmadi et al., 2015). Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa, penambahan molase mampu menurunkan nilai porositas pada slag depressant. Untuk lebih menguatkan data pengukuran, dilakukan uji foto mikro dengan perbesaran sebesar 100x dan hasil fotonya sebagai berikut:



Gambar 4.9 Foto Mikro Porositas Spesimen Variasi Penambahan Molase 15% Dengan Serbuk Kayu 5% pada Slag Depressant Silinder

Pada Gambar 4.9 spesimen variasi penambahan molase 15% dengan serbuk kayu 5% pada *Slag Depressant* Silinder menunjukkan susunan porositas yang cukup banyak. Terlihat bahwasanya terdapat beberapa susunan porositas dengan ukuran yang cukup besar.



Gambar 4.10 Foto Mikro Porositas Spesimen Variasi Penambahan Molase 15% dengan Serbuk Kayu 5% pada *Slag Depressant* Kubus

Pada Gambar 4.10 spesimen variasi penambahan molase 15% dengan serbuk kayu 5% pada *Slag Depressant* bentuk geometri silinder menunjukkan susunan porositas yang sangat banyak. Terlihat bahwasanya terdapat beberapa susunan porositas dengan ukuran yang sangat besar.

⁸ Data-data yang diperoleh pada penelitian terhadap nilai cacat porositas menunjukkan adanya perubahan pada penurunan nilai porositas setelah dilakukan penambahan molase yang lebih banyak. Dapat dilihat adanya pengaruh penambahan molase dan penambahan serbuk kayu terhadap nilai porositas, nilai porositas terkecil

dengan penambahan molase sebesar 15% dan penambahan serbuk kayu 5% pada geometri silinder dan kubus sebesar 16,40% dan 19,87% dan nilai porositas terbesar terdapat pada penambahan molase sebesar 5% dan penambahan serbuk kayu 15% pada geometri silinder dan kubus sebesar 26,15% dan 31,90%. Berikut ialah data hasil pengukuran porositas menggunakan *software image-j*.

Tabel 4.4 Data Hasil Pengukuran Porositas Menggunakan *Software Image-J*

<i>Slice</i>	<i>Count</i>	<i>Total Area (pixel)</i>	<i>Avarange Size</i>	Porosity (%)
Silinder	605	24142	39,90	13,76
Kubus	342	17376	37,32	20,88

Pada Tabel 4.4 dapat diketahui hasil dari pengukuran *software image-j*, nilai porositas pada bentuk geometri silinder memiliki nilai 13,76% dan pada bentuk geometri kubus memiliki nilai porositas sebesar 20,88%. Hal ini dapat disimpulkan bahwa nilai porositas bentuk geometri silinder lebih kecil dari nilai porositas bentuk geometri kubus.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini kesimpulan dapat diperoleh sebagai berikut:

1. Bentuk geometri memiliki pengaruh pada *slag depressant*. Pada pengujiannya, nilai kuat tekan tertinggi didapat 2247,91 N/cm² pada bentuk geometri silinder, *volatile matter* tertinggi didapat 38,10% pada bentuk geometri silinder, porositas terendah didapat 16,40% pada bentuk geometri silinder, dan nilai *shatter test* tertinggi didapat 98,24% pada bentuk geometri silinder.
2. Penambahan bahan organik serbuk kayu dapat mempengaruhi kualitas *slag depressant*. Pada setiap pengujiannya, penambahan 5% serbuk kayu memiliki nilai tertinggi 98,24% pada pengujian *shatter test*. Penambahan 15% serbuk kayu memiliki nilai 38,10% pada pengujian *volatile matter*. Penambahan serbuk kayu 5% memiliki nilai porositas terkecil 16,40% dan nilai kuat tekan tertinggi 2247,91 N/cm² pada penambahan 5% serbuk kayu.
3. *Slag depressant* memiliki nilai tertinggi 98,24% pada pengujian *shatter test* dan memiliki nilai kuat tekan sesuai spesifikasi *slag depressant* dengan nilai tertinggi 2247,91 N/cm² pada penambahan 15% molase.

5.2 Saran

Saran yang diberikan dalam penelitian ini diantaranya yaitu:

1. Menggunakan variasi waktu pengeringan untuk melihat pengaruhnya terhadap hasil pengujian *shatter test*, *volatile matter*, porositas dan kuat tekan.
2. Pematatan *slag depressant* dengan variasi beban kompaksi yang berbeda.
3. Menggunakan variasi jenis *binder* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan *slag depressant*.

DAFTAR PUSTAKA

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>.

Apriliani, N. F. "Pengaruh Penambahan Larutan MgCl₂ pada Sintesis Kalsium Karbonat Presipitat Berbahan Dasar Batu Kapur dengan Metode Karbonasi", *Sains dan Seni ITS*, 1(1), pp. B30–B34. 2012.

ASTM C20-00. (2015). Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water. *American Society for Testing and Materials*, 00(Reapproved 2015), 1–3. <https://doi.org/10.1520/C0020-00R10.2>.

ASTM D1762-84 (2013) Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. ASTM International, West Conshohocken. <http://www.astm.org/Standards/D1762.htm>.

ASTM D 5142-02., 1994, "Standard Test Methods for Proximate Analysis of the Analysis Sample of Coal and Coke by Instrumental Procedures", *Society*, pp. 1–6.

ASTM E9 – 9 (2000). Test methods of compression testing of metallic materials at room temperature. (n.d.). <https://doi.org/10.1520/e0009-89ar95>.

Brämning, M. (2010). Avoiding Slopping in Top-Blown BOS Vessels. Luleå University of Technology Department of Chemical Engineering and Geosciences

Division of Extractive Metallurgy SE-971 87 Luleå Sweden.

https://pure.ltu.se/portal/files/5159297/Mats_Bramming_Lic2010.pdf.

³¹ 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, ⁸⁸ 314. [https://doi.org/10.1061/41016\(314\)310](https://doi.org/10.1061/41016(314)310).

¹⁹ Che, Y., Ban, S. L., Cui, J. Y., Chen, G., & Song, Y. P. (2010). Effect of specimen shape and size on compressive strength of concrete. Advanced Materials Research, 163-167, 1375-1379. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.163-167.1375>.

⁴⁸ Ciocan, A., 2012, "Assessment of Blast Furnace Slag Transformation Into value Added by-Products on Basis on Knowledge of Slag Characteristics", pp. 38–48.

⁶³ Dicker, Jonathan., 2014, "Monitoring of Slag Foaming and Other Performance Indicators in an Electric Arc Furnace", School of Materials Science and Engineering.

¹³ Djoko Perwonto., 2009, "Analisa Jenis Limbah Kayu Pada Industri Pengolahan Kayu" https://www.researchgate.net/publication/314241565_ANALISA_JENIS_LIMBAH_KAYU_PADA_INDUSTRI_PENGOLAHAN_KAYU.

¹ Fernandez-Anez, "Flammability Properties of Thermally Dried Sewage Sludge", Fuel. Elsevier Ltd, 134. 2014.

Geum Chang Hoon, "Matters for Depressing Slag" Korea Patent No. 101485033B1, 2012.

⁵ Gugyeonghoe., 2007, “*Matters for Depressing Slag Foaming and the Method for Adding It*”, South Korea Patent No. 100946375B1.

⁶⁰ Gupta, R. C., 2010, *Theory and Laboratory Experiments in Ferrous Metallurgy*. PHI Learning Private Limited.

⁵ 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>.

³³ Heenatimulla, J., Brooks, G. A., Dunn, M., Sly, D., Snashall, R., & Leung, W. (2022). Acoustic analysis of slag foaming in the BOF. *Metals*, 12(7), 1142. <https://doi.org/10.3390/met12071142>.

¹⁸ Horisawa, S., Sunagawa, M., Tamai, Y., Matsuoka, Y., Miura, T., & Terazawa, M. (1999). Biodegradation of nonlignocellulosic substances II: Physical and chemical properties of sawdust before and after use as artificial soil. *Journal of Wood Science*, 45(6), 492-497. <https://doi.org/10.1007/bf00538959>.

⁴³ Indonesia Eximbank Institute. (2018). Analisa Rantai Pasok (Supply Chain) Komoditas Unggulan Ekspor Indonesia : Pulp & Kertas. In ⁴³ Analisa Rantai Pasok (Supply Chain) Komoditas Unggulan Ekspor Indonesia. LEMBAGA PENGEMBANGAN BISNIS DAN INKUBASI UNIVERSITAS AIRLANGGA.

³⁸ James Pandiangan, R. K., 2015, "Perbandingan Pengaruh Penggunaan Steel Slag Sebagai Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Dan Lentur Pada Beton Bertulang Dengan Beton Normal (Studi Eksperimental)".

¹
Kambuna, B. N., Oediyani, S., Salman, D. I., & Kusnadi, K. (2021). The effect of composition and shape variations on compressive strength slag depressant. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 17(2), 211. <https://doi.org/10.36055/tjst.v17i2.12371>.

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

¹⁰
Karim, G. A., Susilowati, E., & Pratiwi, W., 2018, Pengaruh Ground Granulated Blast Furnace Slag Terhadap Sifat Fisika Semen Portland Jenis-I the Effect of Ground Granulated Blast Furnace Slag on Physical Properties of Portland Cement Type I. *Jurnal Teknologi Bahan Dan Barang Teknik*, 47–52.

⁵
Kyun, K. M., 2017, *Deslopping agent of Converter having waste red mud and method for manufacturing the same* (Patent No. KR101736625B1).

²²
Maschio, S., Furlani, E., Tonello, G., Faraone, N., Aneggi, E., Minichelli, D., Fedrizzi, L., Bachiorrini, A., & Bruckner, S. (2009). Fast firing of tiles containing paper mill sludge, glass cullet and clay. *Waste Management*, 29 (11), 2880–2885. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.016>.

³⁴
Matsuzawa, Reihiro., 2008, “*Slag Foaming Killing Material, and Slag Foaming Killing Method*”, South Korea Patent No. 101234483B1.

³⁷
Miyamoto, T., Akahane, K., Torii, K., & Hayashiguchi, S., 2015, Production and Use of Blast Furnace Slag Aggregate for Concrete. *NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL TECHNICAL REPORT No. 109 JULY 2015*, 109, 102–108.

⁴⁷
Nangaro, R. A., Tamod, Z. E., & Tinah, T. (2020). *ANALISIS KANDUNGAN BAHAN*

ORGANIK TANAH DI KEBUN TRADISIONAL DESA SEREH KABUPATEN
KEPULAUAN TALAUD.

¹⁰⁰
<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/cocos/article/view/32111/30488>.

Nimoto, Kenichi. "Forming Inhibitor", Japanese Patent No. 2016009186A. 2016.

Nemati, K. M, "Strength of concrete", *Nature*, 132(3345), p. 2015.

²⁶
Ortega-Zavala, D. E., Santana-Carrillo, J. L., Burciaga-Díaz, O., & EscalanteGarcía, J. I. (2019). An initial study on alkali activated limestone binders. *Cement and Concrete Research*, 120, 267–278. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.04.002>.

²¹
Palankar, N., Ravi Shankar, A., & Mithun, B. (2015). Studies on eco-friendly concrete incorporating industrial waste as aggregates. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 4(2), 378-390. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2015.05.002>.

Palmonari, A., Cavallini, D., Sniffen, C., Fernandes, L., Holder, P., Fagioli, L., Fusaro, I., Biagi, G., Formigoni, A., & Mammi, L. (2020). Short communication: Characterization of molasses chemical composition. *Journal of Dairy Science*, 103(7), 6244-6249. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17644>.

⁷⁵
Rosenqvist, T., 2010, *Principles of Extractive Metallurgy* (2nd ed.). Tapir Academic Press.

¹⁵
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.

56
Samant, L. D. (1981). Method of Determination of Shatter Index of Iron Ore Lumps, Sinters, and Pellets (Patent No. Indian Standard IS 9963-1981).

29
Srinivasarao, P., & Birru, A. K., 2017, Effect of Mechanical Properties with Addition of Molasses and FlyAsh in Green SandMoulding. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 1186–1192. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.01.136>.

1
Sunghyun, Taman “*Manufacturing Method of Converter Slag and Converter Slag Thereof*”, Korea Patent No. 100880527B1. 2007.

42
Syahri, M., Retnani, Y., & Khotijah, L. (2018). Evaluasi Penambahan Binder Berbeda terhadap Kualitas Fisik Mineral Wafer Abstrak. *Buletin Makanan Ternak*, 16(1), 24–35.

65
Tarigan, A. P. S. M. A. P. H. J. (2014). Pemanfaatan Limbah Pabrik Gula (Gula Tetes) Sebagai Bahan Tambah dalam Campuran Beton. 1, 0–4.

55
Winata, A., 2013, *Karakteristik Biopellet dari Campuran Serbuk Kayu Sengon dengan Arang Sekam Padi Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan*.

59
World Steel Association., 2022, *Energy Use in the Iron and Steel Industry*. In *Energy Use in Steel Industry*. worldsteel.org.

Wing, M., 2010, "The making of Iron and Steel", *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 35(6), pp. 5–7.

35
Yildirim, I. Z., & Prezzi, M. (2011). Chemical, mineralogical, and morphological properties of steel slag. *Advances in Civil Engineering*, 2011, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2011/463638>.

Yucheoljong., 2008, “³⁴*Deslopping Agent of Converter and Producing Method of The Same*”, Korea Patent No. 101008157B1.

Yuksel, Isa., ²¹2018, "*Blast-Furnace Slag, Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete: Characterisation, Properties and Applications*". Elsevier Ltd.

²⁵Yusmadi, Khairi, & Suryani. (2015). Pengaruh Pemakaian CaCO₃ dan Molase terhadap Peningkatan Kualitas Daya Ikat dan Lama Pengerasan Mineral Blok. *Jurnal Ilmiah Peternakan*, 3(2), 39–43.

⁶Zhai, Y., Wang, T., Zhu, Y., Peng, C., Wang, B., Li, X., Li, C., & Zeng, G. (2018). Production of fuel pellets via hydrothermal carbonization of food waste using molasses as binder. *WasteManagement*, 77,185-194. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.022>.

1

LAMPIRAN A

CONTOH PERHITUNGAN

Lampiran A. Contoh Perhitungan

A.1 Perhitungan *Shatter Test*

M1 = Massa awal sampel (gram)

M2 = Massa sampel yang tertahan pada ayakan ukuran 10 mm (gram)

SI = *Shatter Index*

Diketahui:

Sampel 1-A dengan komposisi 15% *slag blast furnace*, 15% molase, 30% batu kapur, 35% kertas habis pakai, dan 5% serbuk kayu

M1 = 81,90 gram

M2 = 80,30 gram

Berdasarkan standar IS 9963 – 1981, *shatter index* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan A.1.

$$\text{Shatter Index (SI) \%} = \frac{M_2}{M_1} \times 100\% = \frac{80,30}{81,90} \times 100 = 98,05\%$$

LAMPIRAN B
DATA HASIL PENELITIAN

Lampiran B. Data Hasil Penelitian

B.1 Data Hasil Karakterisasi Awal Bahan Baku

Tabel B.1 Hasil Karakterisasi Awal Bahan Baku Padat

Komponen	Hasil (% Massa)		
	Kertas Habis Pakai	Slag Blast Furnace	Batu Kapur
Al	0,442	5,442	0,294
Si	0,382	13,776	0,287
S	-	0,574	-
Cl	0,207	0,026	0,030
K	-	0,476	-
Ca	94,586	74,022	98,643
Ti	0,133	1,535	0,040
V	-	0,018	0,003
Cr	0,094	0,018	0,026
Mn	-	0,485	0,066
Fe	2,068	3,443	0,482
Cu	0,809	-	0,043
Y	-	0,037	-
Zr	-	0,148	0,001
Sr	-	-	0,032
Sn	1,278	-	0,052
Jumlah (%)	99,999	100,000	99,999

Tabel B.2 Hasil Karakterisasi Awal Bahan Baku Cairan

Komponen	Komposisi Molase (Persen massa)
Al	0,244
Si	0,022
P	0,131
S	0,054
Cl	0,320
K	0,552
Ca	0,350
Oil	98,300
Jumlah (%)	99,973

Tabel B.3 Variasi Komposisi *Slag Depressat*

Sampel	S-BF : M (%)	BK (%)	KHP : SK (%)
Sampel 1-A	15 : 15	30	35 : 5
Sampel 1-B	15 : 15	30	30 : 10
Sampel 1-C	15 : 15	30	25 : 15
Sampel 2-A	20 : 10	30	35 : 5
Sampel 2-B	20 : 10	30	30 : 10
Sampel 2-C	20 : 10	30	25 : 15
Sampel 3-A	25 : 5	30	35 : 5
Sampel 3-B	25 : 5	30	30 : 10
Sampel 3-C	25 : 5	30	25 : 15

Keterangan :

S-BF : *Slag Blast Furnace* KHP : Kertas Habis Pakai
M : Molase SK : Serbuk Kayu
BK : Batu Kapur

Penamaan sampel angka ditandai berdasarkan variasi komposisi *binder* dan *slag blast furnace* yang digunakan. Sedangkan penamaan sampel huruf menunjukkan variasi bahan organik. Sebagai contoh, sampel 2-B berarti *binder* dan *slag blast furnace* yang digunakan masing – masing sebesar 10% dan 20% serta bahan organik yang digunakan masing – masing sebesar 30% kertas habis pakai dan 10% serbuk kayu serta ditambahkan 30% batu kapur.

B.2 Data Hasil Pengujian *Volatile Matter*

Tabel B.4 Data Hasil Analisis *Voaltile Matter Slag Depressant* Bentuk Silinder

Sampel	M ₁ (g)		M ₂ (g)		<i>Volatile Matter</i> Rata-Rata (%)
	1	2	1	2	
Sampel 1-A	85,80	85,20	58,10	57,40	32,45
Sampel 1-B	85,00	82,30	55,30	53,50	34,96
Sampel 1-C	82,40	86,00	51,80	52,40	38,10
Sampel 2-A	84,20	82,40	69,20	68,30	17,46
Sampel 2-B	83,80	84,50	66,70	67,20	20,44

Tabel B.4 Data Hasil Analisis *Voaltile Matter Slag Depressant* Bentuk Silinder (Lanjutan)

Sampel	M ₁ (g)		M ₂ (g)		Volatile Matter Rata-Rata (%)
	1	2	1	2	
Sampel 2-C	83,00	81,40	63,20	62,50	23,54
Sampel 3-A	81,70	81,20	66,30	65,80	18,91
Sampel 3-B	83,50	83,10	67,20	66,80	19,56
Sampel 3-C	83,10	84,30	62,10	62,80	25,38

Tabel B.5 Data Hasil Analisis *Voaltile Matter Slag Depressant* Bentuk Kubus

Sampel	M ₁ (g)		M ₂ (g)		Volatile Matter Rata-Rata (%)
	1	2	1	2	
Sampel 1-A	91,70	92,10	45,40	45,00	34,85
Sampel 1-B	91,40	90,10	43,80	40,80	34,63
Sampel 1-C	68,20	70,20	15,80	16,40	38,00
Sampel 2-A	83,90	84,00	47,80	48,10	26,66
Sampel 2-B	88,40	89,10	45,30	46,40	28,60
Sampel 2-C	86,70	87,60	37,50	38,60	33,17
Sampel 3-A	77,30	78,00	42,70	43,80	23,40
Sampel 3-B	88,70	86,90	49,30	47,30	27,24
Sampel 3-C	88,90	87,70	44,40	43,60	30,98

B.3 Data Hasil Pengujian Porositas

Tabel B.6 Data Hasil Pengujian Porositas *Slag Depressant* Bentuk Silinder

Sampel	M ₁ (g)		M ₂ (g)		V(cm ³)		Porositas Rata-Rata (%)
	1	2	1	2	1	2	
Sampel 1-A	82,50	85,60	93,20	96,30	65,30	65,20	16,40
Sampel 1-B	83,10	80,80	94,70	92,30	67,40	67,10	17,17
Sampel 1-C	84,60	83,90	97,20	96,60	68,60	68,30	18,48
Sampel 2-A	83,80	80,90	98,20	95,30	68,40	68,70	21,00
Sampel 2-B	81,00	80,60	97,40	96,90	70,10	70,40	23,27
Sampel 2-C	80,50	83,30	98,50	101,50	71,60	71,30	25,33
Sampel 3-A	82,20	80,20	98,30	96,20	69,90	69,20	23,07
Sampel 3-B	84,40	82,80	102,30	100,50	72,10	72,80	24,57
Sampel 3-C	80,80	82,50	100,20	101,80	74,10	73,90	26,15

Tabel B.7 Data Hasil Pengujian Porositas *Slag Depressant* Bentuk Kubus

Sampel	M ₁ (g)		M ₂ (g)		V(cm ³)		Porositas Rata-Rata (%)
	1	2	1	2	1	2	
Sampel 1-A	86,5	88,6	102,2	105,3	80	83	19,87

Tabel B.7 Data Hasil Pengujian Porositas *Slag Depressant* Bentuk Kubus (Lanjutan)

Sampel	M ₁ (g)		M ₂ (g)		V(cm ³)		Porositas Rata-Rata (%)	
	1	2	1	2	1	2	1	2
	Sampel 1-B	86,1	83,8	103,7	101,3	78	80	22,22
Sampel 1-C	87,6	86,9	106,2	105,6	76	80	23,92	
Sampel 2-A	86,8	83,9	107,2	104,3	79	82	25,35	
Sampel 2-B	84,0	83,6	106,4	105,9	78	79	28,47	
Sampel 2-C	83,5	86,3	107,5	110,5	78	80	30,51	
Sampel 3-A	85,2	83,2	107,3	105,2	74	79	28,85	
Sampel 3-B	87,4	85,8	111,3	109,5	79	82	29,57	
Sampel 3-C	83,8	85,5	109,2	109,8	76	80	31,90	

B.4 Data Hasil Pengujian *Shatter Test***Tabel B.8** Data Hasil Pengujian *Shatter Index Slag Depressant* Bentuk Silinder

Sampel	M ₁ (g)		M ₂ (g)		SI Rata-Rata (%)
	1	2	1	2	
Sampel 1-A	81,90	82,80	80,30	81,50	98,24
Sampel 1-B	84,90	82,10	82,40	80,21	97,38
Sampel 1-C	81,60	82,60	79,00	80,10	96,89

Tabel B.8 Data Hasil Pengujian *Shatter Index Slag Depressant* Bentuk Silinder (Lanjutan)

Sampel	M ₁ (g)		M ₂ (g)		SI Rata-Rata (%)
	1	2	1	2	
Sampel 2-A	82,00	81,10	80,20	79,30	97,79
Sampel 2-B	81,80	82,90	77,30	78,10	94,35
Sampel 2-C	85,90	82,70	80,30	77,10	93,35
Sampel 3-A	84,70	82,60	79,60	77,41	93,85
Sampel 3-B	85,20	83,70	78,21	77,23	92,03
Sampel 3-C	83,40	80,70	75,10	73,25	90,41

Tabel B.9 Data Hasil Pengujian *Shatter Index Slag Depressant* Bentuk Kubus

Sampel	M ₁ (g)		M ₂ (g)		SI Rata-Rata (%)
	1	2	1	2	
Sampel 1-A	63,40	78,30	61,20	75,70	96,60
Sampel 1-B	84,70	85,30	81,30	79,80	94,77
Sampel 1-C	78,20	69,70	71,50	66,10	93,13
Sampel 2-A	86,10	86,60	81,30	82,00	94,56
Sampel 2-B	85,20	91,00	79,20	83,70	92,47
Sampel 2-C	79,40	87,90	73,10	78,90	90,91

Tabel B.9 Data Hasil Pengujian *Shatter Index Slag Depressant* Bentuk Kubus (Lanjutan)

Sampel	M ₁ (g)		M ₂ (g)		SI Rata-Rata (%)
	1	2	1	2	
Sampel 3-A	62,10	87,70	56,70	80,00	91,26
Sampel 3-B	63,30	83,90	55,80	72,90	87,52
Sampel 3-C	60,00	86,90	50,70	75,30	85,57

B.5 Data Hasil Pengujian Tekan

Tabel B.10 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan *Slag Depressant* Bentuk Kubus

Sampel	Luas Penampang (cm ²)	Kuat Tekan (N)		Kuat Tekan Rata-Rata (N/cm ²)
		1	2	
Sampel 1-A	16,32	32.500	37.500	2.144,61
Sampel 1-B	16,32	34.000	35.000	2.113,97
Sampel 1-C	16,32	31.500	32.500	1.960,78
Sampel 2-A	16,32	34.000	29.500	1.945,47
Sampel 2-B	16,32	29.000	29.000	1.776,96
Sampel 2-C	16,32	31.500	27.500	1.807,60

Tabel B.10 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan *Slag Depressant* Bentuk Kubus (Lanjutan)

Sampel	Luas Penampang (cm ²)	Kuat Tekan (N)		Kuat Tekan Rata-Rata (N/cm ²)
		1	2	
		Sampel 3-A	16,32	
Sampel 3-B	16,32	27.500	29.000	1.731,00
Sampel 3-C	16,32	22.500	29.000	1.577,82

Tabel B.11 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan *Slag Depressant* Bentuk Silinder

Sampel	Luas Penampang (cm ²)	Kuat Tekan (N)		Kuat Tekan Rata-Rata (N/cm ²)
		1	2	
		Sampel 1-A	14,45	
Sampel 1-B	14,45	31.000	30.000	2.109,58
Sampel 1-C	14,45	29.000	30.000	2.040,41
Sampel 2-A	14,45	27.000	26.000	1.832,91
Sampel 2-B	14,45	23.000	24.000	1.625,41
Sampel 2-C	14,45	28.000	24.000	1.798,33
Sampel 3-A	14,45	24.000	26.000	1.729,16

Tabel B.11 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan *Slag Depressant* Bentuk Silinder (Lanjutan)

Sampel	Luas Penampang (cm ²)	Kuat Tekan (N)		Kuat Tekan Rata-Rata (N/cm ²)
		1	2	
Sampel 3-B	14,45	22.000	23.000	1.556,25
Sampel 3-C	14,45	23.000	21.000	1.521,66

Tabel B.12 Data Hasil Pengujian Analisis Proksimat pada Serbuk Kayu

Sampel	Moisture (%)	Ash (%)	Volatile Matter (%)
Serbuk Kayu	14,32	3,00	65,60

Tabel B.13 Data Hasil Pengujian Kadar Abu *Slag Depressant* bentuk Kubus

Sampel	M ₁ (g)		M ₂ (g)		Kadar Abu Rata-Rata (%)
	1	2	1	2	
Sampel 1-A	85,91	89,32	53,56	52,41	60,50
Sampel 1-B	85,73	84,35	55,73	56,15	65,82
Sampel 1-C	87,66	86,93	60,85	60,88	69,69
Sampel 2-A	86,82	83,91	60,30	59,82	70,20
Sampel 2-B	84,23	83,67	62,16	60,96	73,39
Sampel 2-C	83,55	86,34	56,72	57,35	67,15
Sampel 3-A	85,21	83,22	63,31	61,38	73,99

Tabel B.13 Data Hasil Pengujian Kadar Abu *Slag Depressant* bentuk Kubus (Lanjutan)

Sampel	M ₁ (g)		M ₂ (g)		Kadar Abu Rata-Rata (%)
	1	2	1	2	
Sampel 3-B	87,45	85,83	60,17	57,96	68,12
Sampel 3-C	83,82	85,52	62,83	61,84	73,61

Tabel B.14 Data Hasil Pengujian Kadar Abu *Slag Depressant* bentuk Silinder

Sampel	M ₁ (g)		M ₂ (g)		Kadar Abu Rata-Rata (%)
	1	2	1	2	
Sampel 1-A	83,1	86,2	54,2	55,4	64,75
Sampel 1-B	83,6	81,8	53,7	53,9	65,06
Sampel 1-C	84,7	83,9	55,8	56,3	66,49
Sampel 2-A	84,4	82,1	66,5	68,1	80,87
Sampel 2-B	82,1	81,6	62,1	60,9	75,14
Sampel 2-C	82,5	82,7	59,7	58,9	71,79
Sampel 3-A	81,9	80,2	68,3	65,3	82,41
Sampel 3-B	85,1	83,4	65,9	65,9	78,23
Sampel 3-C	80,9	81,5	58,8	59,4	72,78

11

LAMPIRAN C

GAMBAR ALAT DAN BAHAN

Lampiran C. Gambar Alat dan Bahan



Gambar C.1 Alat Uji Jatuh



Gambar C.2 Ayakan 4 Mesh



Gambar C.3 Ayakan 3/8 Mesh



Gambar C.4 Ayakan 80 Mesh



Gambar C.5 Ayakan 100 Mesh



Gambar C.6 Cetakan Silinder



Gambar C.7 Cetakan Kubus



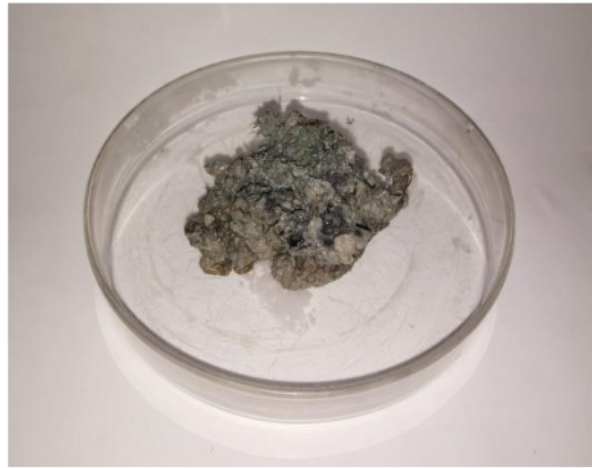
Gambar C.8 Cawan Porselen



Gambar C.9 *Electric Stove*



Gambar C.10 *Jangka Sorong*



Gambar C.11 Kertas Habis Pakai



Gambar C.12 Mesin Uji Tekan



Gambar C.13 Serbuk Kayu



Gambar C.14 *Slag Blast Furnace*



Gambar C.15 Serbuk Batu Kapur



Gambar C.16 Wadah Aluminium



Gambar C.17 *X-ray Fluorescence Spectrometer*



Gambar C.18 *Slag Depressant*

ORIGINALITY REPORT

24%

SIMILARITY INDEX

24%

INTERNET SOURCES

12%

PUBLICATIONS

12%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	eprints.untirta.ac.id Internet Source	3%
2	doaj.org Internet Source	1%
3	repository.its.ac.id Internet Source	1%
4	repository.ub.ac.id Internet Source	1%
5	jurnal.untirta.ac.id Internet Source	1%
6	ir.jkuat.ac.ke Internet Source	1%
7	ejournal.unsrat.ac.id Internet Source	1%
8	lib.unnes.ac.id Internet Source	1%
9	text-id.123dok.com Internet Source	<1%

10	123dok.com Internet Source	<1 %
11	pdfcoffee.com Internet Source	<1 %
12	repository-ft.untirta.ac.id Internet Source	<1 %
13	digilib.unila.ac.id Internet Source	<1 %
14	Submitted to Universitas Pamulang Student Paper	<1 %
15	kipdf.com Internet Source	<1 %
16	repositori.usu.ac.id:8080 Internet Source	<1 %
17	Submitted to Universitas Andalas Student Paper	<1 %
18	bonndoc.ulb.uni-bonn.de Internet Source	<1 %
19	dergipark.org.tr Internet Source	<1 %
20	journal.ipb.ac.id Internet Source	<1 %
21	link.springer.com Internet Source	<1 %

22	Tianpeng Li, Jiebing Li, Tingting Sun, Zhengqing Wang, Zhan Chen, Pengpeng Jiao. "Effect of additives on the properties of ceramsite from solid wastes", Journal of Material Cycles and Waste Management, 2024 Publication	<1 %
23	www.scribd.com Internet Source	<1 %
24	Submitted to Universiti Malaysia Pahang Student Paper	<1 %
25	etd.repository.ugm.ac.id Internet Source	<1 %
26	Nailia R. Rakhimova. "Recent advances in blended alkali-activated cements: a review", European Journal of Environmental and Civil Engineering, 2020 Publication	<1 %
27	Submitted to Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Student Paper	<1 %
28	docplayer.info Internet Source	<1 %
29	Submitted to Universiti Teknikal Malaysia Melaka Student Paper	<1 %

30	es.scribd.com Internet Source	<1 %
31	hdl.handle.net Internet Source	<1 %
32	perbedaannya.com Internet Source	<1 %
33	www.mdpi.com Internet Source	<1 %
34	patents.google.com Internet Source	<1 %
35	zone.biblio.laurentian.ca Internet Source	<1 %
36	digilib.uinsby.ac.id Internet Source	<1 %
37	Zainul Faizien Haza, M. Afif Shulhan, Karolus Boromeus Kadis, Arbianto. "Characteristic of melted slag from wrought iron industry as green concrete material", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020 Publication	<1 %
38	eprints.ums.ac.id Internet Source	<1 %
39	snsb.upnjatim.ac.id Internet Source	<1 %

40	www.ecorfan.org Internet Source	<1 %
41	repositori.uma.ac.id Internet Source	<1 %
42	repository.uin-suska.ac.id Internet Source	<1 %
43	repository.upnvj.ac.id Internet Source	<1 %
44	www.scirp.org Internet Source	<1 %
45	repository.pnb.ac.id Internet Source	<1 %
46	"5th International Symposium on High-Temperature Metallurgical Processing", Wiley, 2014 Publication	<1 %
47	publishing-widyagama.ac.id Internet Source	<1 %
48	index.ugal.ro Internet Source	<1 %
49	moveindonesia.files.wordpress.com Internet Source	<1 %
50	repository.unj.ac.id Internet Source	<1 %

51	vdocuments.site Internet Source	<1 %
52	www.jgenng.com Internet Source	<1 %
53	S.S. Dash, Z.Y. Liu, Y. Zou, D.J. Li, X.Q. Zeng, D.Y. Li, D.L. Chen. "Strengthening mechanisms and work hardening in a heterostructured cast aluminum alloy under compressive loading: Correlation with nanomechanical properties", Journal of Alloys and Compounds, 2023 Publication	<1 %
54	repository.uinsu.ac.id Internet Source	<1 %
55	repository.um-palembang.ac.id Internet Source	<1 %
56	Submitted to University of Johannesburg Student Paper	<1 %
57	embundaun.wordpress.com Internet Source	<1 %
58	eprints.walisongo.ac.id Internet Source	<1 %
59	repository.poltekeskupang.ac.id Internet Source	<1 %
60	Submitted to Staffordshire University	

<1 %

61

dosen.univpancasila.ac.id

Internet Source

<1 %

62

repository.teknokrat.ac.id

Internet Source

<1 %

63

repository.uamerica.edu.co

Internet Source

<1 %

64

Submitted to Universitas Jenderal Soedirman

Student Paper

<1 %

65

Submitted to Universitas 17 Agustus 1945
Surabaya

Student Paper

<1 %

66

Submitted to Universitas Budi Luhur

Student Paper

<1 %

67

Submitted to Universitas Pelita Harapan

Student Paper

<1 %

68

Utomo, Didik Meining Prasetyo. "Model Peningkatan Kinerja Sumber Daya Manusia Berbasis Kecerdasan Emosional dan Karakter Karyawan", Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia), 2023

Publication

<1 %

69

eprints.perbanas.ac.id

Internet Source

<1 %

70	eprints.undip.ac.id Internet Source	<1 %
71	id.scribd.com Internet Source	<1 %
72	repository.uinbanten.ac.id Internet Source	<1 %
73	www.slideshare.net Internet Source	<1 %
74	eprints.itn.ac.id Internet Source	<1 %
75	jurnal.tekmira.esdm.go.id Internet Source	<1 %
76	komstar.wordpress.com Internet Source	<1 %
77	repository.umy.ac.id Internet Source	<1 %
78	Aprilia Erryani. "SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN MAGNESIUM BERPORI DENGAN VARIASI KOMPOSISI AGEN PENGEMBANG DAN TEMPERATUR SINTER UNTUK APLIKASI IMPLAN MAMPU LURUH", Metalurgi, 2019 Publication	<1 %
79	id.123dok.com Internet Source	<1 %

80	patentimages.storage.googleapis.com Internet Source	<1 %
81	pustaka.unpad.ac.id Internet Source	<1 %
82	sastrasia.blogspot.com Internet Source	<1 %
83	ejournal.unib.ac.id Internet Source	<1 %
84	repository.unej.ac.id Internet Source	<1 %
85	tsabirel-araby.blogspot.com Internet Source	<1 %
86	Weni Mandasari, Berlian Sitorus, RudiyanSyah RudiyanSyah. "Adsorpsi Logam Cd Menggunakan α -Selulosa dari Kulit Buah Nanas", Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah, 2023 Publication	<1 %
87	aran.library.nuigalway.ie Internet Source	<1 %
88	bctp.knuba.edu.ua Internet Source	<1 %
89	coek.info Internet Source	<1 %

etheses.whiterose.ac.uk

90	Internet Source	<1 %
91	feas.fr Internet Source	<1 %
92	journal.stikeskendal.ac.id Internet Source	<1 %
93	ojs.ummetro.ac.id Internet Source	<1 %
94	repository.poliupg.ac.id Internet Source	<1 %
95	www.kemenperin.go.id Internet Source	<1 %
96	www.tib.eu Internet Source	<1 %
97	Sari Utama Dewi, M. Enriko Tosulpa, Farendra Subekti. "PENGARUH LIMBAH KULIT KELAPA SEBAGAI CAMPURAN MATERIAL PAVING BLOCK (DITINJAU DARI KUAT TEKAN DAN KADAR AIR)", TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi) : Jurnal Program Studi Teknik Sipil, 2023 Publication	<1 %
98	Wajdi, Bina Arumbinang. "Pengaruh lamanya perendaman terhadap absorpsi, ketahanan aus, dan kuat tekan paving block", Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia), 2023	<1 %

99	ejournal.unesa.ac.id Internet Source	<1 %
100	etheses.uin-malang.ac.id Internet Source	<1 %
101	fadhlipandy.blogspot.com Internet Source	<1 %
102	idoc.pub Internet Source	<1 %
103	metalurgi.untirta.ac.id Internet Source	<1 %
104	ppjp.ulm.ac.id Internet Source	<1 %
105	stutzartists.org Internet Source	<1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off