



Peningkatan Kekuatan Tekan *Slag Depressant* dengan Penambahan Molase, *Slag Blast Furnace* dan Kertas Habis Pakai

Bening Nurul Hidayah Kambuna^{a,1}, Soesaptri Oediyani^{a,2}, Kusnadi^{a,3}, Della Izzati Salman^{a,4}

^aJurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon

¹E-mail: bening.kambuna@untirta.ac.id

²E-mail: s_oediyani@untirta.ac.id

³E-mail: kusnadihasan45@gmail.com

⁴E-mail: dellaizzatysalman@gmail.com

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 14 Desember 2023

Direvisi pada 10 Januari 2024

Disetujui pada 01 Februari 2024

Tersedia daring pada 24 Mei 2024

Kata kunci:

Sloppin, Depresan terak, Limbah pabrik kertas, Porositas, Kekuatan tekan.

Keywords:

Sloppin, Slag depressant, Paper mill waste, Porosity, Compressive strength.

ABSTRAK

Slopping adalah fenomena ketika terak tidak dapat ditampung di dalam bejana proses karena pembentukan busa terak yang tidak terkendali. Dalam upaya mencegah terjadinya *slopping*, digunakanlah *slag depressant*, yaitu zat aditif untuk memecah dan mengontrol pembentukan *slag foam*, tetapi hal tersebut menimbulkan masalah baru, yaitu terjadinya pengendapan *slag depressant* di dalam *hopper*. Hal ini terjadi karena rendahnya kekuatan tekan dari *slag depressant*. Dalam upaya meningkatkan kuat tekan *slag depressant*, maka dilakukan penelitian tentang penambahan *slag blast furnace* dan molasses. Selain itu, dilakukan pula studi komparasi penggunaan limbah pabrik kertas dan kertas bekas sebagai bahan utama *slag depressant*. Penelitian dilakukan dengan cara mencampurkan bahan baku. Kemudian *slag depressant* dibentuk silinder dan dikeringkan selama delapan hari. Kemudian dilakukan analisis proksimat, pengujian tekan, porositas, dan uji jatuh. Berdasarkan pengujian ini, kuat tekan tertinggi ditunjukkan pada penambahan 10% SBF, yaitu sebesar 862,08 N/cm². Pada *slag depressant* yang menggunakan limbah pabrik kertas, kuat tekan tertinggi diperoleh pada penambahan 4% molase, yaitu sebesar 8423,70 N/cm². Sedangkan pada *slag depressant* yang menggunakan kertas bekas, kuat tekan tertinggi sebesar 1760,98 N/cm² diperoleh pada penambahan molase 3%. Berdasarkan hasil kuat tekan, kadar abu dan *volatile matter*, kertas bekas layak digunakan sebagai bahan organik pengganti limbah pabrik kertas.

ABSTRACT

Slopping is a phenomenon when slag cannot be accommodated in a process vessel due to uncontrolled formation of slag foam. In an effort to prevent *slopping*, slag depressants were used, namely additives to break and control the formation of slag foam, but it created a new problem, namely the deposition of slag depressant in the hopper. This occurs due to the low compressive strength of the slag depressant. In an effort to increase the compressive strength of slag depressants, a study was conducted on the addition of slag blast furnace and molasses. In addition, a comparative study was conducted on the use of paper mill waste and used paper as the main material of slag depressants. The research was conducted by mixing raw materials. Then the slag depressant was formed to form a cylinder and dried for eight days. Then performed a proximate analysis, compressive testing, porosity, and drop test. Based on this test, the highest compressive strength was shown in the addition of 10% SBF, that is 862.08 N/cm². In the slag depressant that uses paper mill waste, the highest compressive strength is obtained at the addition of 4% molasses, which is 8423.70 N/cm². While the slag depressant that uses used paper, the highest compressive strength of 1760.98 N/cm² is obtained in the addition of 3% molasses. Based on the results of compressive strength, ash content and volatile matter, used paper is suitable for use as an organic material to replace paper mill waste.



1. Pendahuluan

Basic Oxygen Furnace (BOF) adalah sebuah alat yang digunakan pada pembuatan baja primer. Oksigen murni dihembuskan dari atas BOF guna menyesuaikan komposisi C, Si, Mn, Ti, V, P dan S [1]. Salah satu masalah pada penggunaan BOF adalah *slopping* [2], yaitu fenomena meluap dan tumpahnya terak yang berupa silika dari dalam BOF. *Slopping* adalah istilah yang digunakan pada proses pembuatan baja untuk menggambarkan suatu fenomena ketika *slag* atau terak yang berbentuk busa (*slag foam*) tidak dapat tertampung dalam suatu bejana proses (*converter*). *Slopping* dapat mengurangi produktivitas proses pembuatan baja. *Slopping* terjadi akibat tidak terkontrolnya pembentukan *slag foam* [3]. Fenomena ini sering terjadi pada beberapa perusahaan pembuatan baja. Upaya untuk mengurangi fenomena *slopping*, digunakan sebuah bahan yang dapat mengurangi *slag foam* yang disebut sebagai *slag depressant*.

Slag depressant adalah bahan aditif sebagai pemecah dan pengontrol pembentukan *slag foam*. *Slag depressant* yang digunakan menggunakan bahan baku berupa bubuk limbah pabrik kertas dan batu kapur. Bubuk limbah pabrik kertas digunakan karena bahan tersebut mudah terbakar. Penggunaan bubuk limbah pabrik kertas dilakukan sebagai bentuk pemanfaatan limbah. Perusahaan baja menggunakan *slag depressant* dengan cara menumpuk atau menampung *slag depressant* di dalam sebuah *hopper* yang berbentuk kerucut yang berada tepat di atas BOF, sehingga diharapkan *slag depressant* dapat tertuang secara bertahap. Penggunaan *slag depressant* di perusahaan baja justru menimbulkan masalah baru, yaitu tersumbatnya *slag depressant* di dalam *hopper*. Tersumbatnya *slag depressant* di dalam *hopper* terjadi akibat menggumpalnya *slag depressant*. *Slag depressant* menggumpal karena rendahnya nilai kekuatan tekan atau *compressive strength* yaitu kurang dari 1500 N/cm², sehingga *slag depressant* mudah hancur. Upaya untuk mengatasi masalah tersumbatnya *slag depressant* di dalam *hopper*, dilakukan suatu penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan tekan pada *slag depressant*. Peningkatan kekuatan tekan *slag depressant* dilakukan dengan cara menambahkan limbah padat pembuatan baja yang disebut *slag* (*slag blast furnace* sebagai *reinforced*) seperti yang dilakukan Miyamoto pada tahun 2015 [4], dan penambahan molase sebagai *binder* seperti yang telah dilakukan Srinivasarao pada tahun 2017 [5]. Selain menggunakan limbah pabrik kertas, dilakukan pula penelitian menggunakan bahan limbah kertas habis pakai sebagai pembanding, yang hasilnya diharapkan sesuai dengan spesifikasi *slag depressant* berdasarkan patent JP2001032007A tahun 2001.

Material dan Metode

Material

Bahan – bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah limbah pabrik kertas, limbah tersebut berbentuk *sludge* atau limbah padat akhir dari pengelolaan limbah cair pada industri kertas yang tidak dapat dimanfaatkan lagi, lalu bahan lain adalah limbah kertas habis pakai yaitu sampah kertas yang sudah tidak terpakai, Molase, Serbuk batu kapur, dan *Slag blast furnace*. Alat – alat yang akan digunakan pada penelitian ini sebagai berikut Alat uji jatuh (*Shatter test*), Ayakan 10 mm, Ayakan 5 mm, Ayakan 0,4 mm, Cawan porselin, *Electric stove*, Jangka sorong, Mesin uji tekan, Pipa (Cetakan), Wadah aluminium, *X-ray fluorescence spectrometer*.

Metode

Pada tahap awal, dilakukan karakterisasi bahan baku menggunakan metode *x-ray fluorescence* (XRF) guna mengetahui komposisi kimia pada bahan baku tersebut. Penelitian dilakukan dengan pencampuran bahan baku berupa bahan organik (limbah pabrik kertas atau kertas habis pakai), batu kapur, *slag blast furnace*, dan molase. Selanjutnya dilakukan pembentukan *slag depressant* membentuk silinder dan dikeringkan selama delapan hari. Pengeringan dilakukan dengan menggunakan cahaya matahari. Setelah sampel kering dilakukan beberapa pengujian yaitu analisa proksimat, pengujian tekan, porositas, dan uji jatuh *slag depressant*. Analisa Proksimat dilakukan untuk menentukan nilai zat terbang atau *volatile matter*. Pengujian tekan dilakukan dengan menggunakan *compression testing machine* yang telah memiliki SNI (Standar Nasional Indonesia) untuk mengetahui kekuatan tekan. Uji jatuh atau *Shatter test* dilakukan berdasarkan standar IS 9963–1981 untuk mengetahui kekuatan jatuh. Pengujian porositas *slag depressant* dilakukan dengan Metode *Water Boiling*. Penelitian ini dibagi menjadi dua tahap. Tahap pertama, bahan baku utama pembuatan *slag depressant* (yaitu 60% limbah pabrik kertas dan 40% batu kapur) hanya ditambahkan *slag blast furnace*. Komposisi *slag blast furnace* yang ditambahkan yaitu 0%, 10%, 20% dan 30%. Penambahan *slag blast furnace* dilakukan seiring dengan pengurangan komposisi batu kapur. Selanjutnya, berdasarkan nilai kekuatan tekannya maka diperoleh komposisi efektif penambahan *slag blast furnace* yang kemudian digunakan pada tahap kedua. Pada tahap kedua dilakukan penambahan molase dan penggantian limbah pabrik



kertas menggunakan kertas habis pakai. Komposisi molase yang ditambahkan yaitu 0%, 2%, 3% dan 4%. Penambahan molase juga dilakukan seiring dengan pengurangan komposisi batu kapur sebagai bahan baku.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristi bahan baku

Pada tahap karakterisasi ini, bahan baku dibagi berdasarkan bentuknya menjadi dua jenis yaitu padat dan cairan. Hasil karakterisasi kedua jenis bahan baku tersebut dapat dilihat pada Tabel 1. dan Tabel 2.

Pada Tabel 1. terlihat bahwa unsur utama pada limbah pabrik kertas adalah Ca sebesar 6,53% massa dan pada kertas habis pakai, sebesar 10,20% massa. Unsur utama pada batu kapur adalah Ca sebesar 47,50% massa. Data tersebut menunjukkan bahwa batu kapur yang digunakan adalah CaCO_3 (kalsit). Sedangkan unsur utama pada *slag blast furnace* adalah Ca, Si dan Al yang masing – masing sebesar 24,80%, 7,22% dan 3,53% massa. Adapun data hasil karakterisasi molase dapat dilihat pada Tabel 2, bahwa unsur utama pada molase adalah *oil*, K dan Ca yang masing – masing sebesar 98,3%, 0,552% dan 0,350% massa.

Tabel 1. Komposisi Bahan Baku Padat.

No.	Komponen	Hasil (persen massa)			
		Limbah Pabrik Kertas	Kertas Habis Pakai	Slag Blast Furnace	Batu Kapur
1	Al	-	-	3,5300	2,5400
2	Si	0,5150	0,2760	7,2200	1,7400
3	P	0,2950	0,5160	0,9590	1,3900
4	S	0,0899	0,1960	0,4380	0,1960
5	Cl	0,0512	0,1500	0,0534	0,0468
6	K	0,0971	0,1280	0,5470	0,4190
7	Ca	6,5300	10,2000	24,8000	47,5000
8	Ti	0,0368	0,0809	0,2390	0,0715
9	V	0,0053	0,0086	0,0083	0,0219
10	Cr	0,0065	0,0118	0,0501	0,0326
11	Mn	0,0056	0,0084	0,1320	0,0514
12	Fe	0,1150	0,0581	0,7300	1,0800
13	Sb	0,1170	0,3430	0,8000	1,3300

Pada Tabel 2. terlihat bahwa hasil pengujian molase adalah sebesar 98,3 % terdiri dari oli atau minyak dengan tambahan bahan lain dengan komposisi yang relatif rendah.

Tabel 2. Komposisi Bahan Baku Cairan.

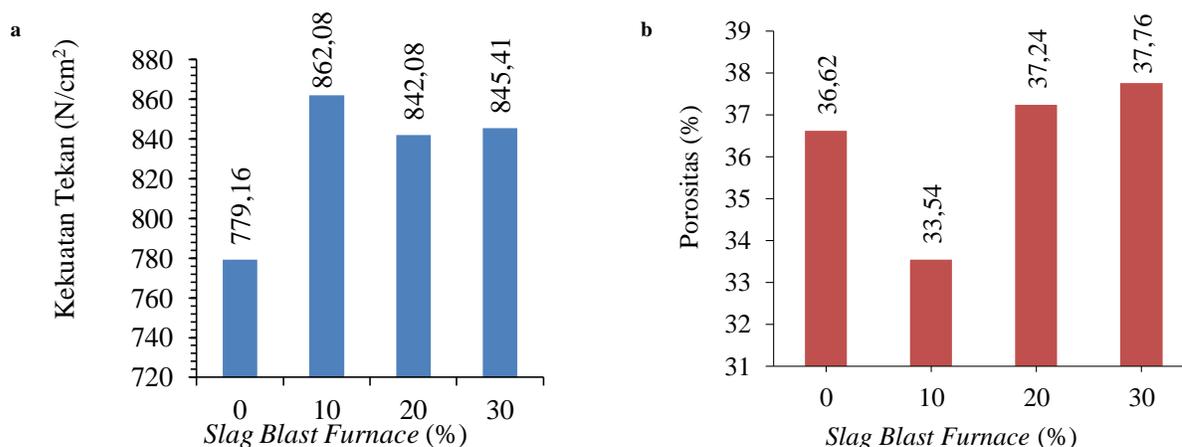
No.	Komponen	Komposisi (%)
1	<i>Oil</i>	98,3000
2	Al	0,2440
3	Si	0,0223
4	P	0,1310



No.	Komponen	Komposisi (%)
5	S	0,0547
6	Cl	0,3200
7	K	0,5520
8	Ca	0,3500
9	Other	0,0260

Pengaruh penambahan slag blast furnace dan molase terhadap kekuatan tekan slag depressant

Pengaruh penambahan slag blast furnace dan molase terhadap kekuatan tekan slag depressant dapat dilihat pada Gambar 1. berikut.

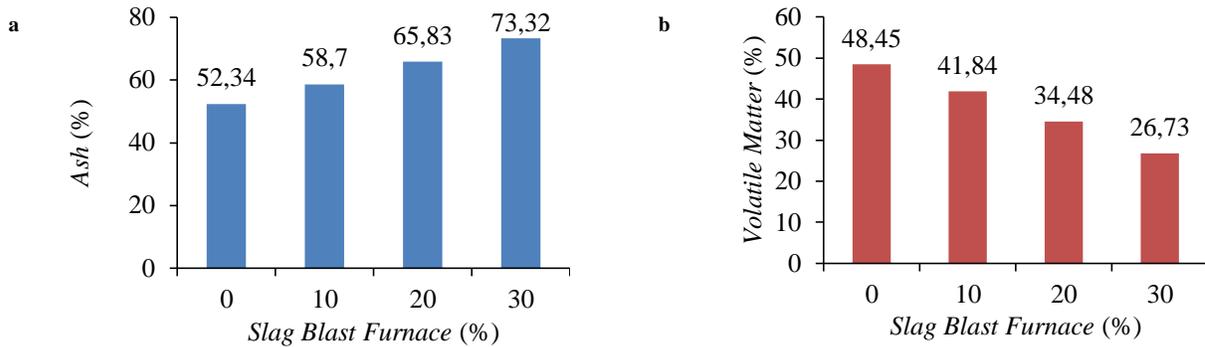


Gambar 1. Pengaruh Penambahan Slag Blast Furnace terhadap (a) Kekuatan Tekan dan; (b) Porositas Slag Depressant.

Pada Gambar 1. terlihat bahwa kekuatan tekan tertinggi terdapat pada slag depressant dengan penambahan 10% slag blast furnace. Variasi komposisi 0%, 10%, 20% dan 30% diharapkan menunjukkan peningkatan kekuatan tekan dengan bertambahnya komposisi slag blast furnace. Pada penambahan slag blast furnace sebesar 10% dapat meningkatkan kekuatan tekan, tetapi pada variasi 20% dan 30% menurunkan kekuatan tekan slag depressant. Hal ini terjadi karena berdasarkan penelitian Karim dkk pada tahun 2018 bahwa penambahan 10% slag blast furnace dapat menurunkan pemuaihan (memperbesar penyusutan) suatu bahan [6], yang mengakibatkan bahan tersebut semakin padat. Hal ini pula dapat terjadi karena saat penambahan 10%, slag blast furnace dapat menutupi pori pada struktur slag depressant yang dibuktikan dengan rendahnya nilai porositas seperti terlihat pada Gambar 1. (b). Menurut penelitian Cheng pada tahun 2008 bahwa semakin rendah porositas suatu bahan, maka semakin tinggi kekuatan tekan bahan tersebut [7]. Nilai porositas ini berbanding terbalik dengan kekuatan tekan, sehingga dengan nilai porositas yang kecil akan menghasilkan kekuatan tekan yang besar, inilah yang diharapkan pada penelitian.

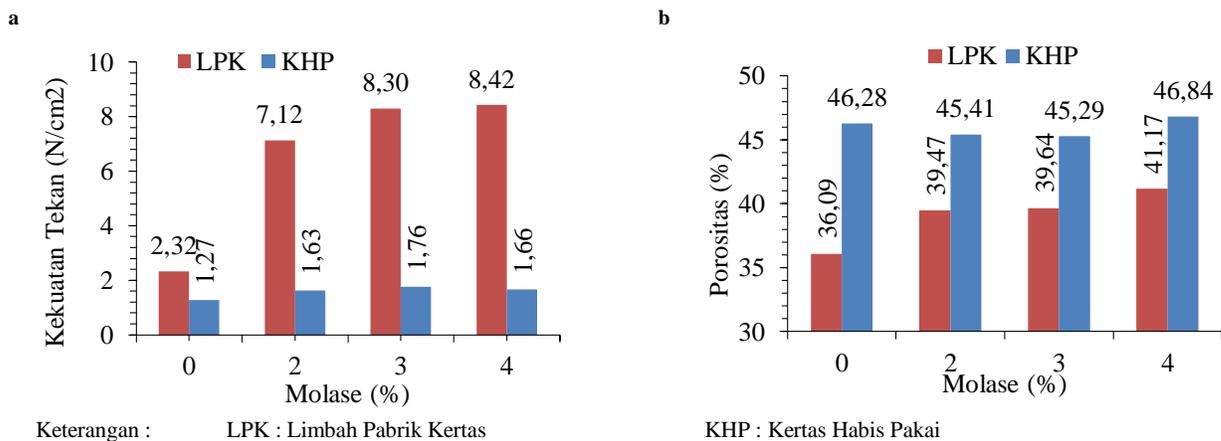
Pada penelitian ini, dengan penambahan slag blast furnace diatas 10% yaitu variasi 20% dan 30% kadar Ca dan Si yang ada dalam slag blast furnace meningkat dan berikatan dengan air membentuk senyawa C-S-H sehingga menyebabkan porositas [8], [9]. Unsur Ca dan Si pada slag blast furnace akan berikatan dengan air membentuk senyawa kalsium silika hidrat (CSH) yang dapat berfungsi sebagai bahan perekat [6]. Semakin banyak slag blast furnace yang digunakan maka semakin banyak unsur Ca dan Si dan semakin banyak air yang berikatan yang justru dapat menyebabkan terbentuknya atau membesarnya pori dibuktikan dengan naiknya porositas pada penambahan 20% dan 30% slag blast furnace. Hal tersebutlah yang menyebabkan penurunan nilai kekuatan tekan sehingga variasi terbaik pada penelitian ini adalah penambahan slag blast furnace sebesar 10%

Pengaruh penambahan slag blast furnace terhadap kandungan abu dan volatile matter slag depressant dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh Penambahan Slag Blast Furnace terhadap (a) Kandungan Abu dan; (b) Volatile Matter Slag Depressant.

Pada Gambar 2. terlihat bahwa seluruh sampel sesuai dengan spesifikasi kadar abu dan volatile matter yang diharapkan. Pada Gambar 2. terlihat bahwa penambahan slag blast furnace dapat meningkatkan kandungan abu dan menurunkan kandungan volatile matter. Hal ini terjadi karena menurut Kanamori dkk bahwa kandungan utama slag blast furnace adalah oksida CaO, SiO₂ dan Al₂O₃ [10] yang sulit terbakar dan menghasilkan abu. Menurut penelitian Fernandez Anez pada tahun 2016, semakin besar kandungan volatile matter maka semakin kecil energi dan temperatur pengapian (*energy and temperature ignition*). Sebaliknya, semakin besar kandungan abu, maka semakin besar energi dan temperatur pengapian (lebih sulit terbakar) [11]. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa penambahan slag blast furnace dapat mengakibatkan slag depressant lebih sulit terbakar. Hal ini sesuai dengan Paten Jepang, bahwa penambahan slag blast furnace yang terlalu besar dapat mengakibatkan ketidaksesuaian komposisi oksida anorganik pada baja cair dan jika terlalu sedikit maka efek yang didapatkan tidak dapat terlihat sehingga penambahannya diatur pada komposisi 20 – 70% [10]. Setelah slag depressant memecah slag foam, slag depressant tersebut diharapkan mudah terbakar untuk terhindar dari resiko perubahan komposisi logam cair. Oleh karena itu, slag depressant diharapkan memiliki kandungan volatile matter yang tinggi (lebih dari 20%). Sedangkan pengaruh penggantian bahan organik menggunakan kertas habis pakai terhadap kekuatan tekan slag depressant dapat dilihat pada Gambar 3.

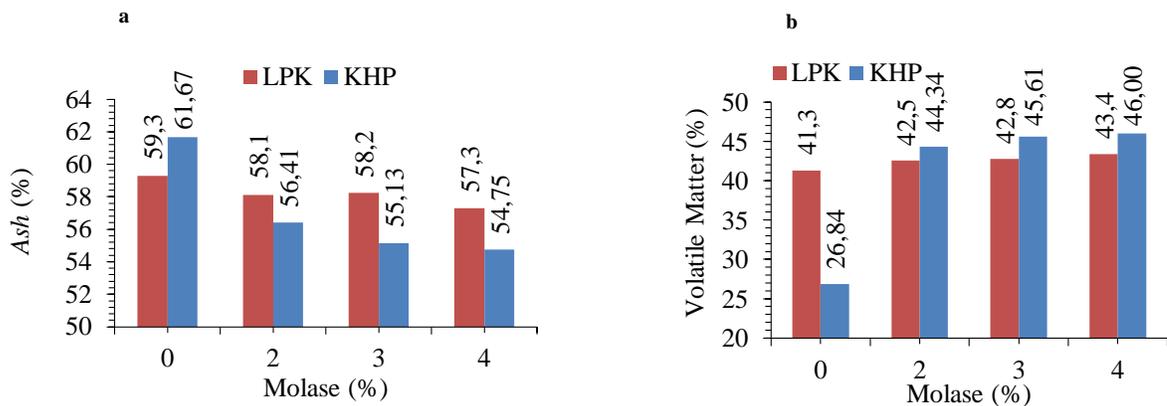


Gambar 3. Pengaruh Penambahan Molase dan Kertas Habis Pakai terhadap (a) Kekuatan Tekan dan; (b) Porositas Slag Depressant.



Pada Gambar 3. terlihat bahwa molase dapat meningkatkan kekuatan tekan *slag depressant* yang menggunakan limbah pabrik kertas secara signifikan tetapi tidak pada *slag depressant* yang menggunakan kertas habis pakai. Hal ini dapat terjadi karena kertas habis pakai memiliki kandungan silika yang lebih rendah dibandingkan dengan limbah pabrik kertas yang dapat mempengaruhi besarnya kekuatan tekan. Peningkatan kekuatan tekan tersebut sesuai dengan penelitian Yusmadi dkk. pada tahun 2015 bahwa semakin banyak penggunaan molase maka akan semakin kuat daya ikat struktur suatu bahan. Molase merupakan jenis *binder* 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 untuk menghasilkan ikatan kuat yang mirip dengan jembatan padat [12], [13]. Menurut Cheng, peningkatan kekuatan tekan suatu bahan umumnya diiringi dengan penurunan porositas bahan tersebut [7], namun dalam penelitian ini tidak demikian. Penambahan molase justru meningkatkan porositas *slag depressant* seperti pada Gambar 3 (b). Hal ini terjadi karena tingginya kandungan minyak pada molase, sehingga molase tersebut dapat memperlambat proses pengeringan *slag depressant* [14].

Pada Gambar 3. kurva kekuatan tekan *slag depressant* yang menggunakan kertas habis pakai terlihat bahwa kekuatan tekan *slag depressant* yang menggunakan kertas habis pakai tertinggi pada penambahan 3% molase, dan setelah itu kekuatan tekannya menurun. Hal ini terjadi karena pada komposisi tersebut memiliki nilai porositas terendah. Setelah penambahan 3% molase, kekuatan tekan *slag depressant* menurun dan porositasnya meningkat. Hal tersebut terjadi karena tingginya kadar minyak (*oil*) pada molase sehingga memperlambat proses pengeringan *slag depressant*. Fakta tersebut juga telah dibuktikan oleh penelitian Hartanto pada tahun 2016 bahwa molase dapat memperlambat waktu pengeringan beton [14].

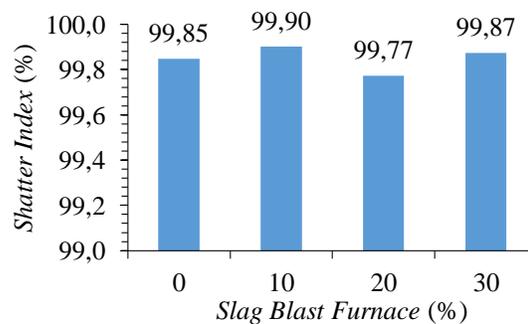


Gambar 4. Pengaruh Penambahan Molase dan Kertas Habis Pakai terhadap (a) Kandungan Abu dan; (b) *Volatile Matter Slag Depressant*.



Pada Gambar 4. terlihat bahwa kandungan abu dan *volatile matter* sesuai dengan spesifikasi *slag depressant* yang diharapkan. Pada Gambar 4. terlihat bahwa penambahan molase dapat menurunkan kandungan abu dan meningkatkan kandungan *volatile matter slag depressant*. Hal ini terjadi karena molase memiliki kandungan minyak yang tinggi, sehingga dapat menyebabkan *slag depressant* mudah terbakar. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Chirchir dkk pada tahun 2013 molase dapat menyebabkan briket mudah terbakar karena molase dapat meningkatkan kandungan *volatile matter* [15]. *Slag depressant* yang menggunakan kertas habis pakai memiliki kandungan abu yang lebih rendah dan *volatile matter* yang lebih besar dibandingkan dengan *slag depressant* yang menggunakan limbah pabrik kertas. Hal ini terjadi karena limbah pabrik kertas memiliki kandungan silika yang lebih besar dibandingkan dengan kertas habis pakai. Silika merupakan salah satu unsur utama yang terdapat pada abu, sehingga *slag depressant* yang menggunakan limbah pabrik kertas memiliki kandungan abu yang lebih besar.

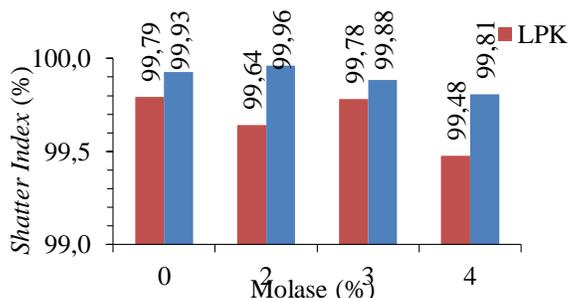
Pengaruh penambahan slag blast furnace dan molase terhadap shatter index slag depressant Pengujian *shatter test* dilakukan berdasarkan standar IS 9963 – 1981 sehingga diperoleh nilai SI (*shatter index*). Nilai *shatter index* diperoleh dari perbandingan berat dari sampel yang hancur (berat sampel yang lolos dari ayakan ukuran 5mm) dibanding dengan sampel sebelumnya yang masih utuh (berat sampel yang tertinggal dari ayakan ukuran 10mm). *Shatter index* menunjukkan nilai ketahanan sampel terhadap beban jatuh.



Gambar 5. Pengaruh Penambahan Slag Blast Furnace terhadap Shatter index Slag Depressant.

Pada Gambar 5. terlihat bahwa hasil *shatter index* untuk setiap variasi *slag blast furnace* yang ditambahkan memiliki nilai diatas 99%, hal tersebut menunjukkan bahwa sampel hasil penelitian pada semua variasi *slag blast furnace* menunjukkan hasil yang tidak signifikan. Seperti yang disebutkan dalam standar *Indian Standard* 9963-1981 bahwa sampel yang sesuai standar adalah yang hasil berat sampel hancur tidak lebih dari 1% *massa*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil *shatter index* lebih besar dari 99%. Hal ini membuktikan bahwa hasil *shatter index* tidak dipengaruhi oleh variasi *slag blast furnace*. Variasi *slag blast furnace* ternyata berpengaruh terhadap nilai kekuatan tekan saja tetapi tidak mempengaruhi hasil uji jatuh. Hal ini disebabkan sampel hasil penelitian sudah cukup kuat untuk menerima beban jatuh meskipun tanpa *slag blast furnace*.

Gambar 6. terlihat bahwa seluruh *slag depressant* memiliki *shatter index* lebih dari 80% yang syarat *shatter index* yang baik untuk suatu bahan berdasarkan *Indian Standard* 9963 tahun 1981. Pada Gambar 3.6 terlihat bahwa penambahan molase cenderung dapat menurunkan *shatter index slag depressant*. Pada *slag depressant* yang menggunakan limbah pabrik kertas, penambahan molase 2% dapat menurunkan *shatter index* tetapi pada penambahan 3% molase *shatter index* meningkat dan setelah itu turun kembali. Sedangkan *slag depressant* yang menggunakan kertas habis pakai, penambahan molase mulanya meningkatkan *shatter index* tetapi setelah penambahan 2% molase *shatter index* menurun. Hal ini terjadi karena semakin banyak molase yang ditambahkan maka semakin besar kuat tekan dan kekerasan *slag depressant*. Semakin keras *slag depressant*, maka semakin rapuh struktur *slag depressant*. Hal ini tidak menjadi masalah yang serius, karena menurut *Indian Standard* 9963 tahun 1981 apabila suatu bahan memiliki *shatter index* lebih dari 80% maka bahan tersebut mampu menahan beban tumpuk pada saat proses *handling* [16].



Gambar 6. Pengaruh Penambahan Molase dan Kertas Habis Pakai terhadap Shatter index Slag Depressant.

Kesimpulan

Pada penelitian ini dapat diperoleh kesimpulan berikut:

1. Penambahan slag blast furnace dapat mempengaruhi kekuatan tekan slag depressant. Kekuatan tekan tertinggi sebesar 862,08 N/cm² diperoleh pada penambahan 10% slag blast furnace.
2. Penambahan molase dapat meningkatkan kekuatan tekan slag depressant. Slag depressant yang menggunakan limbah pabrik kertas, kekuatan tekan tertinggi sebesar 8423,70 N/cm² diperoleh pada penambahan 4% molase. Sedangkan slag depressant yang menggunakan kertas habis pakai, kekuatan tekan tertinggi sebesar 1760,98 N/cm² diperoleh pada penambahan 3% molase.
3. Limbah kertas habis pakai layak digunakan sebagai bahan organik pada pembuatan slag depressant, karena kandungan abu, volatile matter dan kekuatan tekan yang dihasilkan sesuai dengan kriteria yang diharapkan. Hal ini berarti limbah kertas habis pakai dapat digunakan sebagai alternatif bahan pengganti limbah pabrik kertas.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memfasilitasi alat dan tempat untuk melakukan penelitian

• DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Brooks, N. Dogan, M. A. Ramdhani, and M. Alam, "Development of Dynamic Models for Oxygen Steelmaking," 2011.
- [2] S. K. Gupta, A. Prasad, A. Chatterjee, M. Kumar, S. Ghosh, and R. Datta, "Adoption of Sinter Addition in Steelmaking Converter to Control Spitting," *Journal of Metallurgy*, pp. 1–5, 2015, doi: 10.1155/2015/187042.
- [3] M. Brämning, *Avoiding Stopping in Top-Blown BOS Vessels*. Luleå, Sweden: Luleå University of Technology Department of Chemical Engineering and Geosciences Division of Extractive Metallurgy SE-971 87 Luleå Sweden, 2010.
- [4] T. Miyamoto, K. Akahane, K. Torii, and S. Hayashiguchi, "Production and Use of Blast Furnace Slag Aggregate for Concrete," *NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL TECHNICAL REPORT No. 109 JULY 2015*, no. 109, pp. 102–108, 2015.
- [5] P. Srinivasarao and A. K. Birru, "Effect of Mechanical Properties with Addition of Molasses and FlyAsh in Green Sand Moulding," *Materials Today: Proceedings*, vol. 4, no. 2, pp. 1186–1192, 2017, doi: 10.1016/j.matpr.2017.01.136.
- [6] G. A. Karim, E. Susilowati, and W. Pratiwi, "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*, pp. 47–52, 2018.
- [7] A. S. Cheng, T. Yen, Y. W. Liu, and Y. N. Sheen, "Relation between porosity and compressive strength of slag concrete," *Proceedings of the 2008 Structures Congress - Structures Congress 2008: Crossing the Borders*, vol. 314, 2008, doi: 10.1061/41016(314)310.
- [8] W. Chen and H. J. H. Brouwers, "The hydration of slag, part I: Reaction models for alkali-activated slag," *Journal of Materials Science*, vol. 42, no. 2, pp. 428–443, 2007, doi: 10.1007/s10853-006-0873-2.



FURNACE: JURNAL METALURGI DAN MATERIAL

Homepage jurnal: <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jf>



- [9] A. Hassan, M. Arif, and M. Shariq, *Influence of Microstructure of Geopolymer Concrete on Its Mechanical Properties — A Review*, no. January. Springer Singapore, 2020. doi: 10.1007/978-981-13-7480-7.
- [10] T. Kanamori and H. Nashiwa, “Depressant for Foaming of Iron and Steel Slag,” JP2001032007A, 2001
- [11] M. de las N. Fernández Áñez, “Analysis of the flammability properties of solid fuels,” Universidad Politécnica de Madrid Escuela, 2016. doi: 10.20868/UPM.thesis.44414.
- [12] Yusmadi, Khairi, and Suryani, “Pengaruh Pemakaian CaCO₃ dan Molase terhadap Peningkatan Kualitas Daya Ikat dan Lama Pengerasan Mineral Blok,” *Jurnal Ilmiah Peternakan*, vol. 3, no. 2, pp. 39–43, 2015.
- [13] M. Syahri, Y. Retnani, and L. Khotijah, “Evaluasi Penambahan Binder Berbeda terhadap Kualitas Fisik Mineral Wafer Abstrak,” *Buletin Makanan Ternak*, vol. 16, no. 1, pp. 24–35, 2018.
- [14] T. D. T. Hartanto, “Pengaruh Variasi Konsentrasi Bahan Tambah Limbah Tetes Tebu Terhadap Kuat Tekan Beton,” Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2016.
- [15] D. K. Chirchir, D. M. Nyaanga, and J. M. Githeko, “Effect of Binder Types and Amount on Physical and Combustion Characteristics,” *International Journal of Engineering Research and Science and Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 12–20, 2013.
- [16] R. C. Gupta, *Theory and Laboratory Experiments in Ferrous Metallurgy*. New Delhi: PHI Learning Private Limited, 2010.