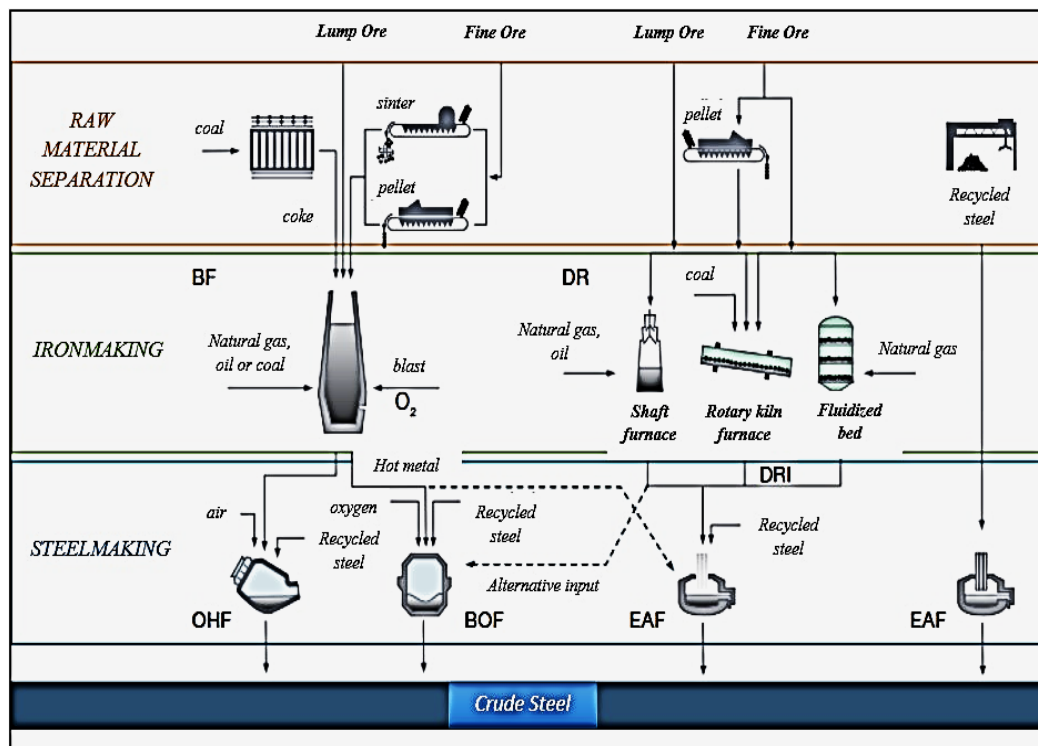


BAB II

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 diproduksi 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)
	$O_2(g) \rightleftharpoons 2\underline{O}$	0	0	0
Pelarutan oksigen ke dalam logam	$(FeO) \rightleftharpoons \underline{Fe} + \underline{O}$	-60,03	-13,58	-33,22
	$(Fe_2O_3) \rightleftharpoons 2(FeO) + \underline{O}$	-197,79	-61,87	-75,72
	$CO_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + \underline{O}$	162,76	36,19	91,36
Oksida unsur dalam logam	$\underline{C} + \underline{O} \rightleftharpoons CO(g)$	93,56	29,63	35,09
	$\underline{Fe} + \underline{O} \rightleftharpoons (FeO)$	-60,03	-13,58	-33,22
	$\underline{Si} + 2\underline{O} \rightleftharpoons (SiO_2)$	-225,89	-47,10	-132,96
	$\underline{Mn} + \underline{O} \rightleftharpoons (MnO)$	-97,21	-21,13	-55,53
	$2\underline{P} + 5\underline{O} \rightleftharpoons (P_2O_5)$	-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 terkendalinya 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 valuen, dan water absorption (Palankar, 2015).

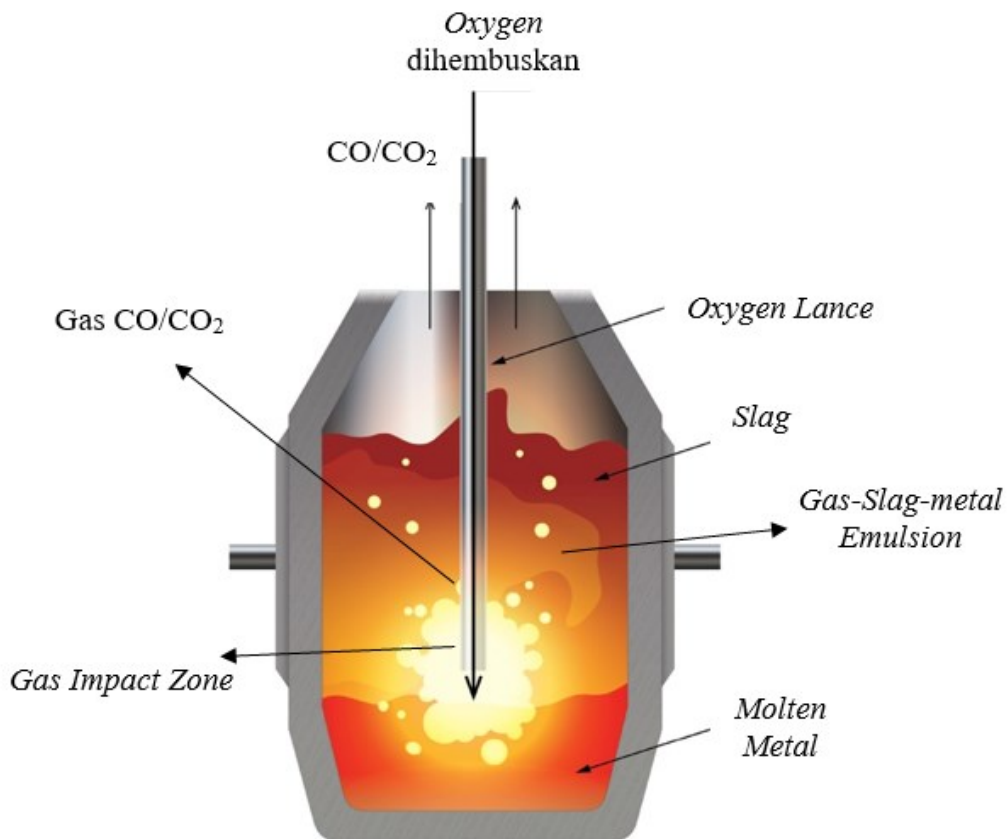
Tabel 2.3 *Physical Characteristic Blast Furnace Slag* (Palankar, 2015)

<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

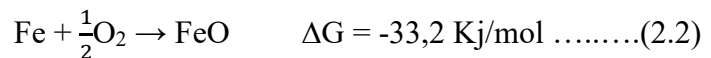
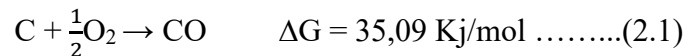
kelamaan meluap dan tumpah (*slopping*) dari *basic oxygen furnace*. *Slag* yang tumpah ini memiliki temperatur 1300-1650°C sehingga apabila *slag* ini tumpah, maka akan mengakibatkan kerusakan pada peralatan di sekitarnya dan dapat menurunkan produktivitas dari *basic oxygen furnace* (Matsuzawa, 2008).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



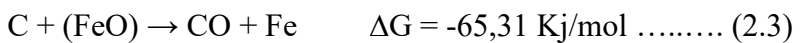
Gambar 2.2 *Basic Oxygen Furnace Vessel* (Mick J Pates, 2012)

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):

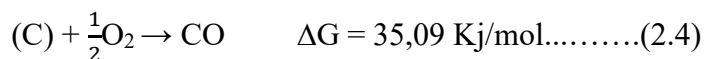
1. Pada tahap pertama, oksigen diinjeksi ke dalam logam cair. Oksigen ini bereaksi dengan karbon yang ada, membentuk gelembung karbon monoksida (CO). Oksigen juga bereaksi dengan besi yang ada di *basic oxygen furnace*.



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 bubuk 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

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 terdiri dari senyawa organik yang berasal dari kotoran dan sisa-sisa organisme seperti tumbuhan dan hewan, atau dari reaksi kimia yang melibatkan kehidupan. 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 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 pemanfaatan 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
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

Limestone atau batu kapur adalah jenis batuan karbonat. Batu kapur ialah mineral anorganik dengan penyusun utama CaCO_3 (Lukman, 2012). 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 & 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.