

LAPORAN
TEKNIS PENELITIAN

PENGOLAHAN FISIK SLAG BAJA SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN
PUPUK DAN AGREGAT MENGGUNAKAN JAW CRUSHER DAN BALL
MILL



Disusun oleh :

Anistasia Milandia, ST.,MT
Andinnie Juniarsih, ST.,MT
Nabilla Eka Putri

Jurusan Teknik Metalurgi Fakultas Teknik
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Juni 2023

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN PENELITIAN MANDIRI

PENGOLAHAN FISIK SLAG BAJA SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN
PUPUK DAN AGREGAT MENGGUNAKAN JAW CRUSHER DAN BALL
MILL

Di setujui oleh :

Ketua Jurusan
Teknik Metalurgi



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

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji hanya tercurah bagi ALLAH yang telah berkehendak. Sesungguhnya hanya dari kuasa dan kehendakNya semata, semua yang telah diupayakan dapat terlaksana. Dengan penuh ucapan syukur, Laporan Penelitian yang berjudul **“PENGOLAHAN FISIK SLAG BAJA SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN PUPUK DAN AGREGAT MENGGUNAKAN JAW CRUSHER DAN BALL MILL”** telah mampu diselesaikan.

Laporan penelitian ini dibuat sebagai pertanggungjawaban penulis terhadap kegiatan penelitian yang dilakukan pada semester genap 2022/2023. Dalam kesempatan ini ucapan terima kasih dan rasa hormat disampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dorongan hingga selesainya Laporan ini, terutama ditujukan kepada :

1. Ketua Jurusan Teknik Metalurgi, Bpk Adhitya Trenggono, S,T., M.Sc
2. Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Metalurgi, Bapak Faiz Rahman, ST., M.S
3. Mahasiswa yang membantu selama di Laboratorium

Semoga Laporan Penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang berkepentingan.

Cilegon, Juni 2023

Anistasia Milandia

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	
	Hal.
Halaman Sampul.....	i
Halaman Pengesahan.....	
Kata Pengantar.....	vi
Daftar Isi.....	vii
Bab I PENDAHULUAN.....	
Bab II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
Bab III METODE PENELITIAN.....	23
Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
Daftar Pustaka.....	43

BAB 1

PENDAHULUAN

Baja merupakan salah satu produk logam yang paling banyak dimanfaatkan di dunia. Hal tersebut membuat industri baja diharapkan menjadi basis untuk pengembangan industri mesin, industri alat angkut, industri elektronika dan telematika, sektor bangunan/infrastruktur yang memiliki peranan tinggi terhadap pembangunan nasional. Secara garis besar, proses produksi baja dibagi menjadi tiga proses, yaitu *ironmaking*, *steelmaking*, dan *metal forming*. Tentunya proses tersebut melibatkan pembentukan sejumlah besar produk hasil sisa yang menyebabkan volume aliran limbah yang besar terutama adalah limbah berupa *slag*. Terdapat berbagai jenis *steel slag* diantaranya yaitu *blast furnace slag* (*BF slag*) dan *slag* pembuatan baja (*steelmaking slag*).

Seiring dengan peningkatan pesat dalam produksi baja tersebut, sejumlah besar produk sampingan diantaranya limbah padat seperti *slag* dan debu terus dihasilkan. Produksi *steel slag* dunia tahun 2020 dapat diperkirakan 10% hingga 15% dari produksi baja mentah yaitu antara 180 juta dan 270 juta ton (Virginia, 2021). Total *steel slag* yang dihasilkan oleh pabrik - pabrik di Indonesia mencapai sekitar 2.200.000 ton/tahun (KEMENPERIN RI, 2020). *Slag* yang dihasilkan tersebut sebagian besar ditimbun di tempat pembuangan *slag*, yang mengakibatkan masalah terhadap lingkungan salah satunya adalah tempat pembuangan yang semakin berkurang. Oleh karena itu, pengembangan solusi yang efisien untuk pemanfaatan *slag* telah menarik banyak perhatian. Teknologi pengolahan *steel slag* berkembang dengan baik selama beberapa dekade terakhir, seperti digunakan sebagai bahan dasar granular atau *subbase* dalam skala besar. Dari segi mineralogi, *slag* mengandung bahan pengotor yang berharga seperti silikat dan kalsium-alumina-silikat, sehingga dapat dijadikan sebagai bahan baku sekunder yang ekonomis untuk produk di industri semen dan bahan konstruksi. Selain itu, *slag* juga mengandung sejumlah logam yang jika diperoleh kembali dapat menjadi sumber daya sekunder yang berharga.

Namun pada faktanya, tingkat pemanfaatan *steel slag* belum banyak digunakan dalam bidang konstruksi karena kurangnya parameter yang tepat dalam pengolahan *steel slag* (Ebrahim & Behiry, 2013). Tidak seperti limbah (*slag*) yang berasal dari *blast furnace*, pemanfaatan *steel slag* menjadi berbagai aplikasi lainnya memiliki beberapa kendala, diantaranya ketidakstabilan volume dengan adanya kandungan mineral seperti CaO dan MgO serta masih mengandung sejumlah oksida besi yang dapat mengganggu kinerja produk. Oleh karena itu untuk mengatasi kendala tersebut perlu dilakukan *pre-treatment* pada *steel slag* melalui beberapa proses diantaranya kominusi, *magnetic separation*, dan *aging*

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Steel slag*

Slag merupakan *by-product* dari proses ekstraksi dan pemurnian logam. Sebagian besar *slag* merupakan campuran oksida yang dihasilkan dalam proses peleburan atau pemurnian dan berasal dari bahan pengotor bijih, fluks tambahan, produk reaksi kimia, dan erosi refraktori besi (Yu, 2018). Dalam proses pembuatan baja, *steel slag* diproduksi dari *Basic Oxygen Furnace* (BOF *steel slag*) dan *Electric Arc Furnace* (EAF *steel slag*). Mineral umum yang terkandung dalam *steel slag* adalah olivin, merwinit, dikalsium silikat (C₂S), trikalsium silikat (C₃S), tetrakalsium aluminoferrit (C₄AF), dikalsium ferit (C₂F), fasa RO (larutan padat FeO–MgO–MnO–CaO) dan CaO bebas (Hou et al., 2019). Berikut merupakan komposisi kimia dan sifat fisik dari *steel slag* yang dapat dilihat pada tabel 2.1 dan 2.2 berikut.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia *Steel slag* (Yi et al., 2016)

Senyawa%	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅
<i>Steel slag</i>	45-60	10-15	1-5	3-9	7-20	3-13	2-6	1-4

Tabel 2.2 Sifat Fisik *Steel slag* (Piemonti et al., 2021)

Sifat Fisik	Satuan	Nilai
Massa jenis	Kg/m ³	3100-3600
Berat	Kg/m ³	2980-3580
Permukaan	Cm ² /g	4510-4530
Daya serap air	%	0,7-4,23
Kadar air	%	1,56-13
<i>Grindability index</i>	-	0,7
<i>Crushing value</i>	%	21

2.2 Pemanfaatan dan Kendala *Steel slag*

Slag memiliki beberapa sifat kimia, fisik, dan mekanik yang mirip dengan beberapa bahan rekayasa alami atau buatan. Karena hal tersebut, maka *slag* dapat digunakan sebagai pengganti bahan baku untuk berbagai aplikasi seperti bidang konstruksi, *road base*, dan pupuk. Dimana penggunaan *slag* tersebut, sejalan dengan meningkatnya perhatian tentang pembangunan berkelanjutan, emisi rumah kaca, dan penekanan pada pengurangan bahan, penggunaan kembali, dan daur ulang, dikembangkan untuk mengurangi dampak potensi lingkungan dan untuk sumber daya alam berkelanjutan. Terdapat dua fokus utama pengolahan *slag*, yaitu *recovery* elemen/mineral berharga dari *slag*, dan penggunaan kembali dalam aplikasi lain.

Slag memiliki komponen utama berupa besi (Fe) karena merupakan sisa proses peleburan besi. Selain itu, terdapat beberapa komponen lain yang utama seperti Kalsium (Ca), Silika, Magnesium dan Alumina yang merupakan sisa dari *flux* yang digunakan. Untuk memanfaatkan kembali *slag*, maka perlu dilakukan proses *magnetic separation* untuk memisahkan Fe, yang kemudian dapat dimanfaatkan sebagai tambahan bahan baku proses pembuatan baja kembali. Sisa komponen dalam *slag* hasil pemisahan magnetik akan didominasi oleh Kalsium (Ca) yang dapat dimanfaatkan sebagai agregat dan pupuk. Pemanfaatan *slag* sebagai bahan baku agregat beton menunjukkan bahwa kuat tekan beton *slag* meningkat seiring dengan penambahan limbah padat (*slag*) dalam beton. Selain itu, karena agregat *slag* mempunyai kekerasan yang tinggi digabungkan dengan sifat tidak *porous* tersebut menyebabkan agregat *slag* baik untuk bahan perkerasan jalan. Pemanfaatan *slag* sebagai pupuk karena *slag* mengandung komponen seperti FeO dan MnO yang menjadi nutrisi untuk tanaman.

Dalam pemanfaatan *steel slag* dalam berbagai aplikasi, terdapat batasan tertentu yang menghambat pemanfaatannya secara lengkap. Keterbatasan pemanfaatan langsung *steel slag* untuk aplikasi yang disebutkan di atas antara lain kandungan Fe yang masih terlalu tinggi sehingga tidak sesuai dengan standar untuk pemanfaatannya sebagai agregat beton, *road base* dan pupuk. Kemudian ekspansi

volume yang dihasilkan dari penyerapan uap air atau CO₂ oleh f -CaO dan f -MgO yang ada di *steel slag* menyebabkan pembentukan retak di struktur beton yang dihasilkan. Oleh karena itu *slag* harus dilakukan proses *aging* selama beberapa waktu untuk menstabilkan f -CaO dan f -MgO sebelum digunakan untuk bahan baku beton (Chattopadhyay, 2019).

2.3 Pre-Treatment

a. Kominusi

Kominusi atau pengecilan ukuran bertujuan untuk membebaskan (meliberasi) logam dan mineral yang mengandung *gangue* (mineral-mineral lain) yang terkandung dalam batuan induk serta menghasilkan ukuran dan bentuk partikel yang sesuai dengan kebutuhan pada proses berikutnya. Kominusi umumnya dibagi dalam dua tahapan, yaitu operasi peremukan (*crushing*) dan operasi penggerusan (*grinding*). Setelah proses tersebut maka akan diperoleh bermacam-macam ukuran partikel sehingga perlu dilakukan pemisahan berdasarkan ukuran partikel agar sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan pada proses pengolahan selanjutnya. Karena struktur dan kekerasannya yang seragam, *steel slag* umumnya keras (yaitu memakan energi) untuk dihancurkan dan digiling. Kombinasi kominusi dan *sizing* dikenal sebagai cara hemat biaya untuk memisahkan material (Yu Q, 2018). Penelitian yang dilakukan oleh Vu et al., 2022, menunjukkan waktu penggilingan dapat mempengaruhi ukuran partikel yakni semakin lama waktu proses *grinding* maka semakin tinggi persentase lolos (*passing*).

b. *Magnetic Separation*

Magnetic separation merupakan proses pemisahan mineral berdasarkan tingkah laku mineral terhadap medan magnet yang ditimbulkan oleh magnet permanen atau elektromagnet. Prinsip dari *magnetic separation* adalah memisahkan mineral berharga dari pengotornya berdasarkan atas sifatnya merespon medan magnet atau *magnetic susceptibility*. Besi yang terdapat pada *steel slag* dapat di-*recovery* dengan *magnetic separator* karena bersifat magnetik (Das et al., 2021). Pada penelitian *recovery* besi dari *slag* menggunakan *magnetic separator* dengan ukuran partikel sebesar 0,1; 0,5; 2;

3; dan 5 mm menggunakan intensitas medan magnet pada mineral magnetik kuat yaitu 400-2000 G, mencapai kondisi optimum pada 1000 G dengan kadar Fe yang diperoleh adalah 37,45% dan *recovery* 60,23% (Bölükbaşı & Tufan, 2014). Adapun untuk mineral magnetik lemah seperti wüstit, hematit, dan ilmenit dapat dipisahkan dengan intensitas medan magnet yang lebih tinggi dari 6000 G (Yu, 2018).

c. *Steam Aging*

Steam aging merupakan salah satu proses yang telah dikembangkan untuk mempercepat proses *aging* pada *steel slag* menggunakan uap. Jika dibandingkan dengan air, uap akan meresap lebih cepat melalui pori-pori kecil pada *slag* dan menghidrasi CaO dan MgO sehingga membuatnya stabil. Terdapat dua metode pada *steam aging*, pertama yaitu perlakuan *normal aging* dan kedua yaitu perlakuan *accelerated aging*. Pada metode perlakuan *normal aging*, proses hidrasi berlangsung secara alami menggunakan udara bebas, sedangkan pada perlakuan *accelerated aging* proses hidrasi lebih cepat, yaitu menggunakan tekanan dan temperatur udara yang tinggi (Kabir malhotra.2019). Sebuah penelitian *steam aging* menggunakan *autoclave* dengan tekanan 1,5 MPa menunjukkan bahwa semakin tinggi tekanan pada *autoclave* yang digunakan, maka persen kandungan CaO akan semakin berkurang sehingga persen CaO yang didapatkan akan semakin menurun dimana kandungan CaO dari sekitar 6% menjadi kurang dari 3,2% dalam waktu 3 jam (Han jiaxing dkk, 2016).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Riset

3.1.1 Waktu Pelaksanaan Riset

Waktu yang digunakan untuk melakukan riset ini dilaksanakan sejak bulan Maret hingga bulan April 2022.

3.1.2 Tempat Pelaksanaan Riset

Tempat pelaksanaan riset adalah di Laboratorium Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

3.2 Bahan dan Alat yang Digunakan

3.2.1 Bahan yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada riset kali ini yaitu *steel slag* yang berasal dari *Basic Oxygen Furnace* (BOF).

3.2.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan pada riset ini yaitu *jaw crusher*, *ball mill*, *sieving machine*, *magnetic separator*, *autoclave*, *stopwatch*, timbangan, dan wadah.

3.3 Variabel Riset

Pada riset kali ini terdapat dua jenis variabel, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas pada riset ini adalah variasi waktu *grinding*, intensitas medan magnet, kecepatan putaran drum, serta waktu dan tekanan *aging*. Untuk variabel terikat yaitu jumlah partikel yang dihasilkan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI), persen Fe, $f\text{-CaO}$, dan $f\text{-MgO}$ yang dapat diturunkan.

3.4 Tahapan Riset

Riset ini terdiri dari tiga tahapan, tahapan pertama ialah melakukan kominusi terhadap *steel slag* untuk menghasilkan ukuran yang sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI). Kemudian tahap kedua ialah melakukan pemisahan Fe yang terdapat pada *steel slag* menggunakan *magnetic separator*. Setelah itu tahap ketiga ialah melakukan proses *aging* untuk menurunkan kandungan $f\text{-CaO}$ dan $f\text{-MgO}$.

3.5 Prosedur Riset

3.5.1 Kominusi dan *Sieving*

Kominusi pada sampel *steel slag* sebanyak 5 kg dilakukan dengan proses *crushing* menggunakan alat *jaw crusher*. Setelah itu dilakukan proses *grinding* dengan variasi waktu *grinding* selama 10, 20, dan 30 menit. Hasil dari proses kominusi kemudian dilakukan pengayakan (*sieving test*). Seri ayakan yang digunakan yaitu 25, 50, 100, 160, dan 200#.

3.5.2 Karakterisasi awal

Pengamatan komposisi unsur/senyawa dilakukan dengan menggunakan pengujian *X-Ray Fluorescence (XRF)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*.