



Pengaruh Ukuran Partikel dan Waktu *Steam Aging* Terhadap Kandungan f-CaO Pada *Steel Slag*

Matlaul Anwar^a, Anistasia Milandia^a, Andinnie Juniarsih^{a,1}

^aJurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Jl. Jendral Sudirman Km 3, Kotabumi Kec. Purwakarta, Kota Cilegon, Banten, 42435, Indonesia

¹E-mail: andinnie.juniarsih@untirta.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 10 Desember 2023

Direvisi pada 20 Januari 2024

Disetujui pada 15 Februari 2024

Tersedia daring pada 10 Mei 2024

Kata kunci:

Steel slag, f-CaO, Agregat, *Accelerated aging*, *Steam aging treatment*

Keywords:

Steel slag, f-CaO, Aggregate, *Accelerated aging*, *Steam aging treatment*.

ABSTRAK

Steel slag merupakan produk limbah utama yang terjadi dalam proses *steelmaking* pada *furnace* yang berasal dari hasil reaksi *smelting* besi dengan oksidator. Limbah *steel slag* dapat dimanfaatkan sebagai agregat, pupuk dan semen, tetapi dalam pemanfaatannya terdapat masalah karena kandungan kalsium oksida bebas (f-CaO) yang tinggi pada *steel slag*. Kandungan tersebut mengakibatkan ketidakstabilan volume ekspansi yang menyebabkan terjadinya pemuaihan dan keretakan pada bahan bangunan dan jalan. Untuk mengurangi kandungan f-CaO pada *steel slag* dapat dilakukan dengan *natural aging* tetapi membutuhkan waktu yang cukup lama. Untuk itu dilakukan metode *accelerated aging* agar dapat mempersingkat waktu. Salah satu metodenya yaitu dengan *steam aging treatment*. *Steam aging* adalah sebuah proses *aging* menggunakan uap air untuk menurunkan kandungan f-CaO. Pada penelitian ini dilakukan proses *steam aging* menggunakan *steamer* dengan waktu *aging* selama 8 jam; 10 jam; 12 jam dan dengan ukuran partikel -20+35#, -35+50# dan -50+100#. Kemudian dilakukan proses titrasi volumetri untuk mengetahui mengetahui berapa % kandungan f-CaO pada sampel serta apakah kandungan f-CaO pada *steel slag* ini telah menurun atau berkurang. Dari hasil pengujian *steam aging* diperoleh % kandungan f-CaO secara berurutan sebesar 0,36 ; 0,31 ; 0,26 ; dan 0,24. Berdasarkan hasil tersebut, dapat dibuktikan bahwa proses *steam aging* dapat digunakan untuk mengurangi kandungan %f-CaO pada *steel slag* sebanyak 30%.

ABSTRACT

Steel slag is the main waste product that occurs in the *steelmaking* process in the *furnace* which comes from the reaction of *smelting* iron with oxidizers. Waste *steel slag* can be used as aggregate, fertilizer and cement, but there are problems in its utilization due to the high content of free calcium oxide (f-CaO) in *steel slag*. This content results in volume expansion instability that causes expansion and cracking in building and road materials. To reduce the f-CaO content in *steel slag*, *natural aging* can be done but it takes a long time. For this reason, an *accelerated aging* method is carried out in order to shorten the time. One of the methods is *steam aging treatment*. *Steam aging* is an *aging* process using water vapor to reduce the f-CaO content. In this study, the *steam aging* process was carried out using a *steamer* with an *aging* time of 8 hours; 10 hours; 12 hours and with particle sizes of -20+35#, -35+50# and -50+100#. Then the volumetric titration process is carried out to find out what % of f-CaO content in the sample and whether the f-CaO content in this *steel slag* has decreased or decreased. From the *steam aging* test results, the % f-CaO content was obtained sequentially as 0.36; 0.31; 0.26; and 0.24. Based on these results, it can be proven that the *steam aging* process can be used to reduce the % f-CaO content in *steel slag* by 30%.



1. Latar Belakang

Slag adalah limbah yang dihasilkan dari proses peleburan logam pada furnace yang berasal dari hasil reaksi smelting besi dengan oksidator. Bongkahan slag baja mempunyai kekerasan yang tinggi dan permukaan lebih kasar dari pada agregat lain. Steel slag merupakan limbah padat yang berasal dari proses pembuatan baja dan menyumbang sekitar 15% dari total produksi crude steel.[1] Secara umum, proses pembuatan baja dibagi menjadi tiga, yaitu: ironmaking, steelmaking, dan proses metalforming. Berdasarkan proses pembentukannya pada furnace, slag dari industri besi baja dikelompokkan atas blast furnace slag (BF slag) dan steel-making slag / Basic oxygen furnace (BOF slag). Proses pembuatan baja dilakukan dengan metode basic oxygen furnace dan electric arc furnace. Berdasarkan metode tersebut, slag pembuatan baja diklasifikasikan atas basic oxygen furnace slag (BOF slag), dan electric arc furnace slag (EAF slag).

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang sedang memajukan teknologi dalam bidang industri. Dengan banyaknya kebutuhan baja dan besi di Indonesia untuk berbagai macam aplikasi, maka total *steel slag* yang diproduksi oleh pabrik-pabrik di Indonesia mencapai 2.200.000 ton/tahun. Sampai saat ini *slag* tersebut belum banyak dimanfaatkan pada bidang pertanian dan konstruksi di Indonesia. Bijih besi yang diolah menjadi besi dan baja menghasilkan limbah hasil peleburan yang cukup banyak. Dengan hasil limbah tersebut perlu upaya dalam memanfaatkan limbah *slag*, maka perusahaan penghasil limbah mencari solusi dalam pemanfaatan limbah *slag* [3]. Limbah padat *steel slag* mempunyai butiran partikel berpori pada permukaannya. Limbah ini merupakan material dengan kekerasan yang baik, dengan variasi ukuran partikel yang berbeda-beda. Sebagian besar *steel slag* ditimbun, ditumpuk dan dibiarkan begitu saja sehingga memerlukan lahan yang cukup luas, selain itu penumpukan *steel slag* yang terlalu lama dalam jumlah banyak menyebabkan logam berat dapat larut ke lingkungan sekitar, terutama timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), kromium (Cr), dan arsen (As)[2]. Akibat terjadi proses pelindian logam berat dari *steel slag*, pembuangan langsung atau penimbunan *steel slag* ditempat pembuangan akan menyebabkan pencemaran serius bagi lingkungan sekitar.

Penanganan terhadap limbah ini harus segera dilakukan, salah satu metodenya yaitu dengan mendaur ulang limbah ini dan mempertimbangkan konsep pembangunan berkelanjutan. Terdapat upaya yang dilakukan untuk membuat *steel slag* dapat digunakan kembali dan bermanfaat secara efektif dengan mengurangi potensi resikonya. Secara umum pengolahan *steel slag* tahap awal yakni diolah dengan penghancuran (*crushing*), pemisahan magnetik (*magnetic separation*), *screening* dan *Aging*[2]. *Steel slag* akan mempunyai nilai ekonomis dan tidak mengotori lingkungan apabila dimanfaatkan untuk berbagai tujuan salah satunya adalah menjadikan *steel slag* sebagai bahan baku agregat, pupuk pertanian dan semen.

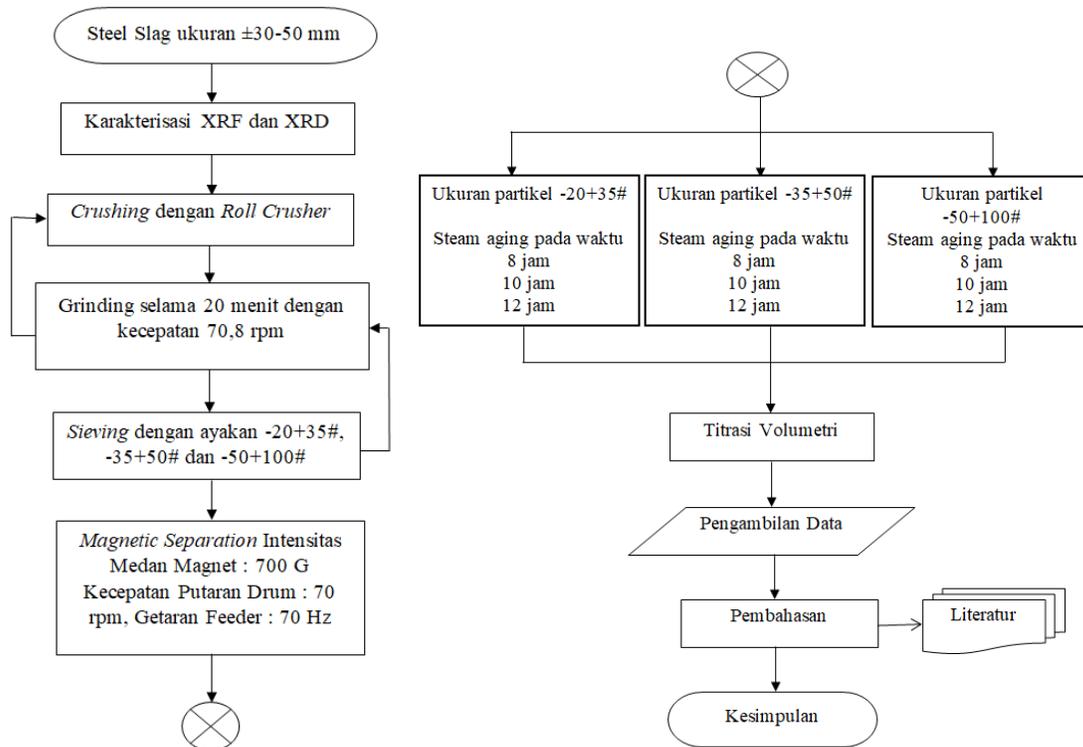
Pemanfaatan *slag* sudah banyak dilakukan salah satunya sebagai agregat, tetapi hasil dari pemanfaatan tersebut masih terdapat masalah yaitu keberadaan kandungan kalsium oksida bebas (f-CaO) yang berlimpah. f-CaO pada *steel slag* menjadi penyebab utama terjadinya pemuaihan dan keretakan pada agregat karena adanya kandungan unsur f-CaO. Kandungan f-CaO yang tinggi dapat mengakibatkan ketidakstabilan volume ekspansi yang akan menyebabkan keretakan pada beton bahan bangunan dan jalan yang menyebabkan terjadi kegagalan dalam jumlah besar pada pengaplikasian dalam industri konstruksi, sehingga mempengaruhi kualitas agregat yang dihasilkan. Untuk menurunkan kandungan f-CaO dapat dilakukan dengan proses *natural aging* yaitu proses penuaan secara alami dengan menggunakan air hujan dan udara bebas, tetapi proses tersebut membutuhkan waktu yang cukup lama. Untuk itu dilakukan proses *steam aging* agar dapat mempercepat proses penurunan kandungan f-CaO[4].



Untuk mendapatkan hasil yang baik, maka *steel slag* ini harus diberikan *treatment* atau dilakukan sebuah perlakuan terlebih dahulu. Salah satu perlakuan yang dapat diberikan untuk mendapatkan hasil yang baik pada *steel slag* adalah dengan *steam aging*. Pada penelitian ini dilakukan proses *aging* dengan variasi waktu 8,10, 12 jam dan ukuran partikel -20+35#, -35+50#, -50+100#. *Steam aging* merupakan proses *aging* yang dilakukan dengan menggunakan uap air untuk menurunkan kandungan f-CaO menggunakan panci uap. Dengan dilakukannya *steam aging*, diharapkan dapat menurunkan kandungan senyawa f-CaO. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan pengembangan dengan proses *steam aging* untuk mengurangi kandungan f-CaO[3][4].

2. Metode Penelitian

Secara umum, prosedur penelitian yang akan dilakukan meliputi proses persiapan alat dan bahan, komposisi, karakterisasi, *steam aging* dan titrasi volumetri untuk mengetahui kandungan f-CaO. Diagram alir penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 1



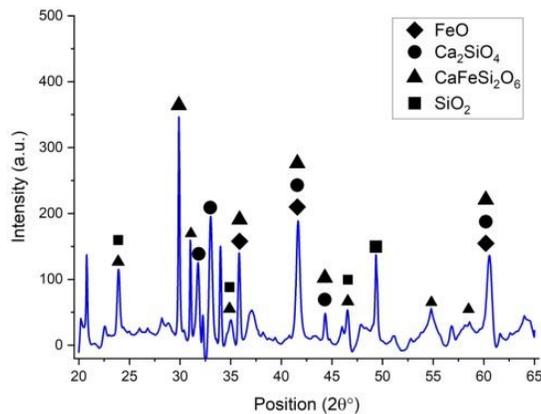
Gambar 1. Diagram Alir Percobaan



3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakterisasi Awal *Steel Slag*

Analisa XRD dan XRF untuk mengetahui senyawa yang dominan dan komposisi senyawa yang terkandung didalam slag. Hasil analisa XRD dapat dilihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa senyawa yang terkandung didalam steel slag adalah FeO, Ca₂SiO₄, CaFeSi₂O₆, dan SiO₂. Unsur yang terkandung didalam steel slag ini seperti kalsium, silikon, fosfor, besi, dan elemen lainnya begitu diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Sedangkan untuk agregat dan semen, kandungan tersebut tidak diperlukan.



Gambar 2. Hasil Analisa XRD

Agar mendapatkan komposisi senyawa yang lebih lengkap, maka dilakukan karakterisasi menggunakan analisa XRF. Hasil analisa XRF dapat dilihat pada Tabel 1. Pada Tabel 1 terlihat bahwa senyawa yang dominan terkandung didalam *steel slag* pada sampel ini adalah Fe₂O₃ yaitu sebanyak 28,4%. Dan senyawa lain yang mempunyai presentase senyawa yang cukup besar adalah CaO yaitu sebanyak 27,3% dan SiO₂ yaitu sebanyak 23,9%.

Tabel 1 Hasil Analisa XRF

Senyawa	Kandungan (%)
Fe ₂ O ₃	28,4
CaO	27,3
SiO ₂	23,9
Al ₂ O ₃	8,04
P ₂ O ₅	6,66
MnO	2,53
TiO ₂	0,566
SO ₃	0,399



Senyawa	Kandungan (%)
V ₂ O ₅	0,175
Cr ₂ O ₃	0,114
NiO	0,106
f-CaO	0,36

3.2 Hasil Steam Aging pada Steel Slag

Steam aging merupakan salah satu proses *accelerated aging* yaitu mempercepat proses *aging* menggunakan uap dengan temperatur tinggi[5]. Proses *steam aging* pada *steel slag* ini dilakukan untuk menurunkan kandungan senyawa f-CaO yang terkandung didalam *steel slag* [5][6]. Proses *steam aging* dilakukan dengan *steamer* dengan variasi waktu yaitu 8 jam, 10 jam, 12 jam dan variasi ukuran partikel yaitu -20+35#, -35+50# dan -50+100#. Berikut hasil f-CaO pada *steel slag* setelah dilakukan proses *steam aging* dapat dilihat pada Tabel 2. Pada Tabel 2 Hasil sampel pengujian *steam aging* terhadap %f-CaO pada *steel slag* setelah dilakukan perlakuan *steam aging*.

Tabel 2 Hasil % f-CaO Pada Sampel

Ukuran Partikel	Kadar f-CaO dan Variasi waktu <i>steam aging</i>			
	0 Jam	8 Jam	10 Jam	12 Jam
-25+35#	0,36%	(B)0,31%	(E)0,26%	(H)0,26%
-35+50#	0,36%	(C)0,31%	(F)0,26%	(I)0,24%
-50+100#	0,36%	(D)0,26%	(G)0,31%	(J)0,24%

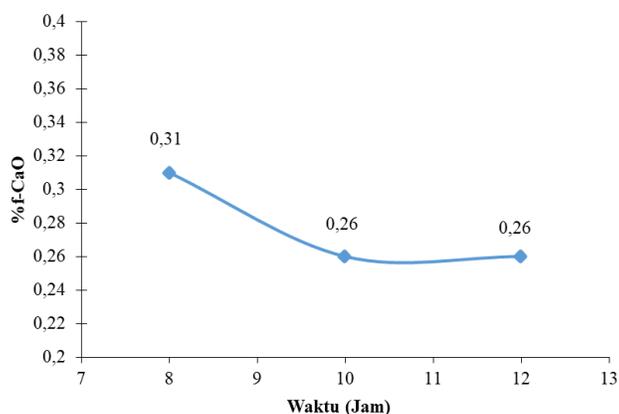
Penelitian ini dilakukan menggunakan 2 variasi yaitu waktu dan ukuran partikel. Untuk variasi waktu yaitu menggunakan waktu 8 jam, 10 jam, 12 jam dan untuk variasi ukuran partikel yaitu -20+35#, -35+50# dan -50+100#. Pada sampel A yaitu sampel Non-Treatment tidak dilakukan *steam aging* didapatkan hasil %f-CaO sebesar 0,36. Pada sampel B yaitu dengan variasi -20+35# selama 8 jam didapatkan hasil %f-CaO sebesar 0,31. Pada sampel C yaitu dengan variasi -35+50# selama 8 jam didapatkan hasil %f-CaO sebesar 0,31. Pada sampel D dengan variasi -50+100# selama 8 jam didapatkan hasil %f-CaO sebesar 0,36. Pada sampel E dengan variasi -20+35# selama 10 jam didapatkan hasil %f-CaO sebesar 0,26. Pada sampel F dengan variasi -35+50# selama 10 jam didapatkan hasil %f-CaO sebesar 0,26%. Pada sampel G dengan variasi -50+100# selama 10 jam didapatkan hasil %f-CaO sebesar 0,31%. Pada sampel H dengan variasi -20+35# selama 12 jam didapatkan hasil %f-CaO sebesar 0,31. Pada sampel I dengan variasi -35+50# selama 12 jam didapatkan hasil %f-CaO sebesar 0,24. Dan pada sampel J dengan variasi -50+100# selama 12 jan didapatkan hasil %f-CaO sebesar 0,24%.

3.3 Pengaruh kandungan %f-CaO terhadap waktu *aging* pada ukuran partikel -20+35#

Pada Hasil pengujian *steam aging* pada *steel slag* dengan sampel ukuran partikel -20+35# dengan variasi waktu 8 jam, 10 jam dan 12 jam. Terlihat pada Gambar 3 yaitu dengan sampel berukuran -20+35#, pada waktu 8 jam *steam aging* didapatkan kandungan %f-CaO yaitu 0,31. Pada waktu 10 jam didapatkan kandungan %f-CaO yaitu 0,26. Dan pada waktu 12 jam didapatkan kandungan %f-CaO yaitu 0,26. Dapat dilihat pada sampel -20+35# ini terjadi pengurangan pada kandungan f-CaO dari waktu *aging* 8 jam sampai ke waktu *aging* 10 jam, kandungan %f-CaO yang didapatkan yaitu 0,31 pada waktu *aging* 8 jam dan 0,26 pada waktu *aging* 10 jam sehingga terjadinya pengurangan kandungan %f-CaO dari 8 jam ke 10 jam yaitu 0,5%. Sedangkan dari waktu *aging* 10 jam ke waktu *aging* 12 jam tidak terjadi pengurangan karena jumlah kandungan %f-CaO yang sama. Sehingga secara keseluruhan



terjadi pengurangan pada sampel *aging* -20+35# jam yaitu sebesar 0,5%. Dari penelitian pada Gambar 3 terjadi penurunan kandungan %f-CaO. Hasil yang diperoleh pada ukuran partikel -20+35# sesuai dengan penelitian yang dilakukan menyatakan kandungan f-CaO pada *slag* menurun akibat periode *aging*. Meskipun tidak terjadi pengurangan dari waktu *aging* 10 jam ke 12 jam, tetapi pada ukuran partikel ini terjadi pengurangan dari waktu *aging* 8 jam ke 10 jam yang menandakan telah terjadinya proses pengurangan kandungan f-CaO karena proses dari *steam aging*.

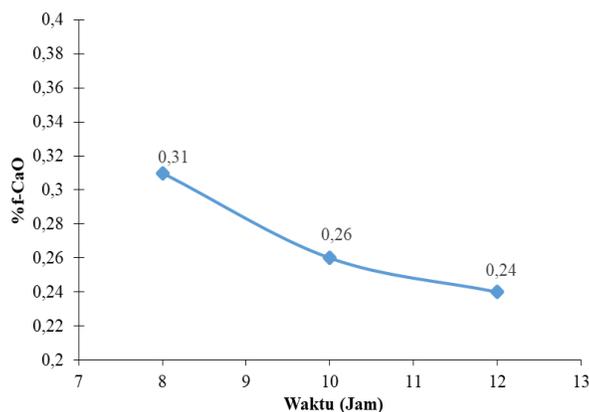


Gambar 3. Pengaruh kandungan %f-CaO terhadap waktu pada ukuran partikel -20+35#

3.4 Pengaruh kandungan %f-CaO terhadap waktu *aging* pada ukuran partikel -35+50#

Hasil pengujian *steam aging* pada *steel slag* dengan sampel ukuran partikel -35+50# dengan variasi 8 jam, 10 jam dan 12 jam dapat dilihat pada Gambar 4 terlihat pada gambar tersebut menunjukkan terjadinya pengurangan kandungan %f-CaO pada setiap waktu *aging*. Pada waktu 8 jam *steam aging* didapatkan kandungan %f-CaO yaitu 0,31. Pada waktu 10 jam *steam aging* didapatkan kandungan %f-CaO yaitu 0,26. Dan pada waktu 12 jam didapatkan kandungan %f-CaO yaitu sebesar 0,24%. Dari waktu *steam aging* 8 jam, 10 jam dan 12 jam terjadi pengurangan kandungan %f-CaO yaitu sebesar 0,7%. Dari penelitian tersebut terjadi pengurangan kandungan %f-CaO pada waktu *aging* yang digunakan.

Berdasarkan Pada sampel fraksi ukuran -35+50# yang sudah dilakukan *steam aging* ini menunjukkan bahwa dengan dilakukannya perpanjangan waktu *aging* maka semakin menurunkan kandungan %f-CaO pada *steel slag*. Hasil yang diperoleh pada ukuran partikel -35+50# sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu dengan memperpanjang waktu *treatment steam aging* dari 8 jam menjadi 12 jam dapat menurunkan kandungan f-CaO[7]. Dimana dihasilkan kandungan %f-CaO yang semakin berkurang seiring dengan penambahan waktu *aging*. Dapat dilihat pada Gambar 4 pada kurva terlihat terjadinya pengurangan kandungan %f-CaO dari 8 jam ke 10 jam dan dari 10 jam ke 12 jam.

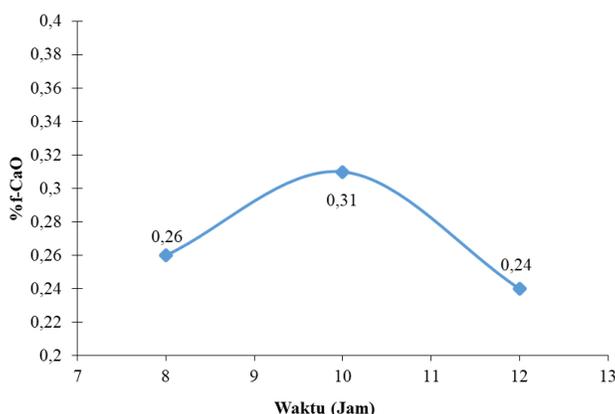


Gambar 4. Pengaruh kandungan %f-CaO terhadap waktu pada ukuran partikel -35+50#

3.5 Pengaruh kandungan %f-CaO terhadap waktu aging pada ukuran partikel -50+100#

Pada Hasil pengujian *steam aging* pada *steel slag* dengan sampel ukuran partikel -50+100# dengan variasi waktu 8 jam, 10 jam dan 12 jam. Terlihat pada Gambar 5 yaitu dengan sampel berukuran -50+100# menunjukkan kandungan %f-CaO yaitu 0,26 pada waktu 8 jam *steam aging*. Pada waktu 10 jam didapatkan kandungan %f-CaO yaitu 0,31. Dan pada waktu 12 jam didapatkan kandungan %f-CaO yaitu 0,24. Dapat dilihat, saat dilakukan penambahan waktu *aging* dari 8 jam ke 10 jam yang terjadi kandungan %f-CaO lebih besar dari waktu *steam aging* 8 jam yaitu sebesar 0,31%. Sedangkan saat dilakukan perpanjangan waktu *steam aging* ke 12 jam terjadi pengurangan kandungan %f-CaO, didapatkan kandungan %f-CaO yaitu sebesar 0,24%. Hasil yang diperoleh tidak sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (LUN Yunxia, 2008) yaitu dengan memperpanjang waktu *steam aging* dari 8 jam ke 12 jam dapat menurunkan kandungan f-CaO. Semakin lama waktu *aging* pada *slag* maka kandungan f-CaO akan menurun, tetapi pada sampel hasil *aging* 10 jam lebih besar dari pada sampel *aging* 8 jam. Ketidaksesuaian pada sampel -50+100# 10 jam dengan literatur ini dianalisa akibat beberapa faktor sebagai berikut:

1. Pada saat melakukan *aging*, sampel yang disebarakan pada wadah ketebalannya tidak merata sehingga sampel dengan permukaan yang tebal tidak mengalami hidrasi yang sempurna oleh uap karena terhalang oleh sampel-sampel yang berada dibawahnya
2. Akibat dari sampling saat pengambilan sampel hasil proses *aging* tidak benar sehingga hasil sampel yang diambil tidak merata belum mewakili keseluruhan sampel.



Gambar 5. Pengaruh kandungan %f-CaO terhadap waktu pada ukuran partikel -50+100#

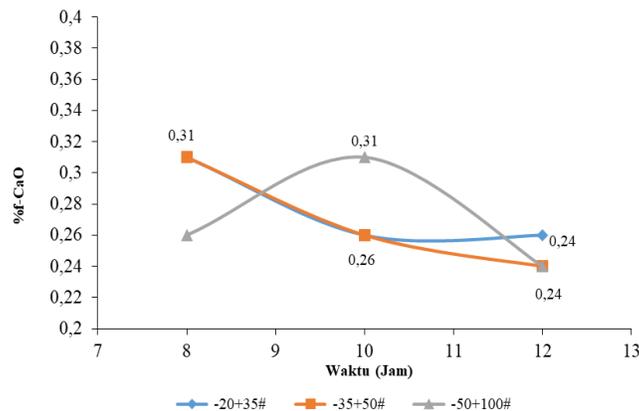
3.6 Perbandingan Hasil Kandungan %f-CaO Setiap Variabel Percobaan

Pengukuran Hasil proses *aging* menggunakan *steam aging* dengan variasi waktu aging 8 jam, 10 jam dan 12 jam pada sampel ukuran partikel -20+35#, -35+50# dan -50+100# dapat dilihat pada gambar 4.6 Dengan sampel *non treatment* dihasilkan kandungan %f-CaO yaitu sebesar 0,36. Pada ukuran partikel -20+35# didapatkan kandungan %f-CaO sebesar 0,31 dengan waktu aging 8 jam kemudian menurun saat waktu aging ditambahkan menjadi 10 jam dengan didapatkan hasil %f-CaO sebesar 0,26, lalu saat ditambahkan kembali waktu aging 12 jam hasil yang didapatkan tidak mengalami perubahan sebesar 0,26. Pada ukuran partikel -35+50# didapatkan kandungan %f-CaO sebesar 0,31 dengan waktu *aging* 8 jam kemudian menurun saat waktu *aging* ditambahkan menjadi 10 jam dengan hasil %f-CaO didapatkan sebesar 0,26, lalu saat waktu *aging* diperpanjang kembali menjadi 12 jam terjadi pengurangan kandungan %f-CaO pada sampel dengan diperoleh kandungan %f-CaO sebesar 0,24%. Pada ukuran partikel -50+100# didapatkan kandungan %f-CaO sebesar 0,26 dengan waktu aging 8 jam. Lalu saat dilakukan penambahan waktu *aging* menjadi 10 jam, tidak terjadi pengurangan kandungan %f-CaO dan hasil yang didapatkannya lebih besar dari *aging* dengan 8 jam yaitu sebesar 0,31%. Lalu saat waktu aging diperpanjang menjadi 12 jam terjadi pengurangan pada kandungan %f-CaO pada sampel dengan didapatkan hasil yaitu sebesar 0,24%. Pada hasil percobaan ini terdapat hasil yang tidak sesuai pada 1 sampel yaitu pada ukuran partikel -50+100# dengan waktu *aging* 10 jam. Hasil yang didapatkan tidak sesuai dengan penelitian (LUN Yunxia, 2008) yaitu dengan memperpanjang waktu *steam aging* dari 8 jam ke 12 jam dapat menurunkan kandungan f-CaO. Pada ukuran partikel -50+100# ini hasil yang didapatkan menurun, tetapi pada waktu aging 10 jam hasil yang didapatkan lebih besar dari pada hasil *steam aging* dengan 8 jam seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab 3.5 sebelumnya.

Berdasarkan Untuk hasil hasil yang lain yaitu pada ukuran partikel -20+35# dan -35+50#, hasil yang didapatkan sesuai dengan penelitian (Lee et al, 2016) menyatakan kandungan f-CaO pada slag menurun akibat periode *aging*. Hal ini disebabkan karena semakin menurunnya kandungan %f-CaO dari setiap percobaannya. Kandungan %f-CaO yang menurun disebabkan oleh uap yang meresap kedalam pori-pori *slag* dan menghidrasi



kandungan f-CaO. Selain itu, hasil yang didapatkan pada percobaan ini juga sesuai dengan penelitian (Longhua Wei, 2017) menyatakan salah satu cara yang efektif untuk mengurangi kandungan f-CaO yaitu *treatment* dengan *steam aging* untuk meningkatkan pemanfaatan pada *steel slag*. Dapat dilihat pada Tabel 2 Sampel *non treatment* mempunyai kandungan f-CaO sebesar 0,36, tetapi setelah dilakukan *steam aging* kandungan f-CaO berkurang menjadi 0,32; 0,26; dan 0,24.



Gambar 6. Perbandingan Hasil Kandungan % f-CaO Setiap Variabel Percobaan

Untuk hasil terbaik dari ketiga fraksi ukuran tersebut, diperoleh hasil terbaik yaitu pada fraksi ukuran -35+50# yang dapat dilihat pada Gambar 6, dimana pada gambar tersebut terlihat kurva yang menurun seiring dengan penambahan waktu aging 8 jam, 10 jam dan 12 jam. Sesuai yang dilakukan dalam penelitian sebelumnya yaitu dengan memperpanjang waktu treatment steam aging dari 8 jam menjadi 12 jam dapat menurunkan kandungan f-CaO [7]. Selain itu, dihasilkan pengurangan kandungan f-CaO tertinggi dari pada fraksi ukuran lainnya yaitu berkurang sebesar 0,7%. Hal tersebut menandakan bahwa pada fraksi ukuran ini lebih baik dari pada fraksi ukuran lainnya. Hasil pada fraksi ukuran ini juga dapat menjelaskan bahwa dengan semakin bertambahnya waktu *aging* pada *steel slag* maka kandungan f-CaO akan terhidrasi oleh uap sehingga menghasilkan kandungan f-CaO yang jauh lebih rendah. Hasil ini juga sudah membuat steel slag lebih stabil dan mengurangi pemuai volume karena sudah dilakukan *steam aging* [7]. Steam aging merupakan metode yang paling sederhana serta efektif untuk menghilangkan pemuai volume pada *steel slag*.

3.7 Persentase Penurunan f-CaO Pada Sampel

Tabel 3 Persentase Penurunan f-CaO Pada Sampel

Sampel	Ukuran Partikel	Waktu	Persentase Penurunan(%)
B	-20+35#	8 Jam	13,8
C	-35+50#	8 Jam	13,8
D	-50+100#	8 Jam	27,7

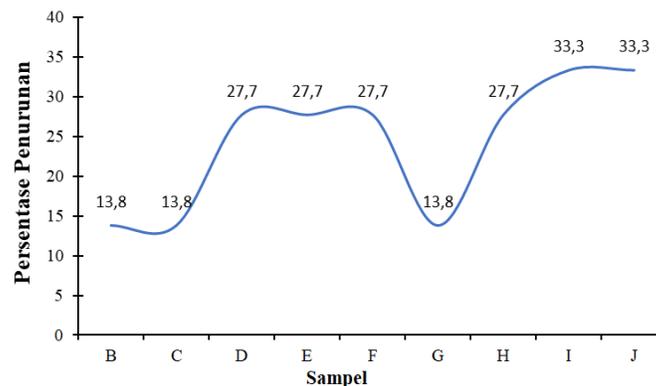


Sampel	Ukuran Partikel	Waktu	Persentase Penurunan(%)
E	-20+35#	10 Jam	27,7
F	-35+50#	10 Jam	27,7
G	-50+100#	10 Jam	13,8
H	-20+35#	12 Jam	37,7
I	-35+50#	12 Jam	33,3
J	-50+100#	12 Jam	33,3

Pada bagian ini akan dibahas persentase penurunan kadar f-CaO akibat pengaruh waktu *steam aging* 8 jam, 10 jam dan 12 jam dengan ukuran partikel -20+35# ; -35+50# ; -50+100#. Dilakukan perhitungan persentase penurunan f-CaO dengan menggunakan rumus[8] :

$$\text{persentase (\%)} = \frac{\text{Kadar f. CaO awal (sebelum aging)} - \text{kadar f. CaO akhir (setelah Aging)}}{\text{Kadar f. CaO awal (sebelum aging)}} \times 100$$

Pada tahap *steam aging* terjadi penurunan kadar f-CaO. Diketahui nilai kandungan f-CaO pada sampel ini sebelum dilakukan *steam aging* yaitu 0,36. Setelah dilakukan perhitungan persentase penurunan f-CaO, didapatkan pada sampel B persentase penurunan yaitu 13,8%. Pada sampel C persentase penurunan yaitu 13,8%. Pada sampel D persentase penurunan yaitu 27,7%. Pada sampel E persentase penurunan yaitu 27,7%. Pada sampel F persentase penurunan yaitu 27,7%. Pada sampel G persentase penurunan yaitu 13,8%. Pada sampel H persentase penurunan yaitu 37,7%. Pada sampel I persentase penurunan yaitu 33,3%. Dan pada sampel J persentase penurunan yaitu 33,3%.



Gambar 7. Kurva Persentase Penurunan f-CaO Pada Sampel Hasil *Steam Aging*

Berdasarkan Pada Gambar 7 menunjukkan persentase penurunan kadar f-CaO. Dapat dilihat kandungan f-CaO yang terkandung pada *steel slag* setelah melalui proses *steam aging* tidak terjadi kenaikan persentase



penurunan yang signifikan. Data *steam aging* yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya didapatkan nilai kandungan %f-CaO 0,36 sebelum dilakukan *treatment* dan 0,24 untuk hasil terbaik setelah dilakukan *treatment steam aging*. Hasil penelitian yang telah dilakukan, berdasarkan nilai persentase penurunan kadar f-CaO setelah dilakukan *steam aging* menggunakan *steamer* ternyata tidak memberikan pengaruh yang besar. Dimana nilai persentase penurunan kadar f-CaO ini berkisar 13,8% hingga 33,3%. Persentase penurunan kadar f-CaO pada *steel slag* ini terlihat tidak mengalami kenaikan persentase penurunan yang signifikan dan hanya pada beberapa kadar f-CaO yang mengalami pengurangan signifikan akibat proses *steam aging*.

Hasil *steam aging* menunjukkan terdapat pengaruh waktu *aging* yang nyata terhadap persentase penurunan kadar f-CaO pada *steel slag*. Hasil *steam aging* menunjukkan bahwa waktu *aging* 8 jam dengan waktu *aging* 12 jam begitu berbeda dapat dilihat pada Tabel 3. Dapat dilihat pada Tabel 3 terdapat persentase penurunan terbesar yaitu pada *steel slag* sampel I (-35+50#, 12 Jam) dan sampel J (-50+100# 12 jam) dengan hasil persentase pengurangan sebesar 33,3 %. Kedua sampel tersebut merupakan sampel dengan pengurangan kadar f-CaO terendah hasil proses *steam aging* yaitu 0,36% sebelum dilakukan *treatment* menjadi 0,24 % f-CaO setelah dilakukan *treatment* dengan variasi waktu *aging* 12 jam. Persentase penurunan dengan waktu *aging* 12 jam lebih tinggi dibandingkan dengan waktu *aging* 8 jam dan 10 jam. Dengan semakin berkurangnya kandungan f-CaO yang dihasilkan maka persentase penurunan akan semakin tinggi. Dengan memperpanjang waktu *steam aging* dari 8 jam menjadi 12 jam dapat menurunkan kandungan f-CaO dan pada waktu *aging* 12 jam kandungan f-CaO yang dihasilkan lebih rendah[7]. Dari penelitian *steam aging* menggunakan uap yang sudah dilakukan dan kandungan f-CaO yang didapatkan, hasil yang diperoleh kurang maksimal dimana kandungan f-CaO yang berkurang hanya sedikit saja. Hal ini dapat diketahui bahwa jika hanya menggunakan uap dan temperatur rendah, kandungan f-CaO yang berkurang didalam *steel slag* tidak begitu banyak. Uap yang meresap ke dalam pori-pori *steel slag* tidak begitu maksimal untuk menghidrasi kandungan f-CaO di dalam *steel slag*.

Pada penelitian ini terjadinya penurunan kandungan f-CaO disebabkan oleh adanya pengaruh dari proses *steam aging* pada *steel slag*. Proses tersebut menggunakan uap air untuk mengurangi kandungan f-CaO yang menyebabkan terjadinya penurunan pada setiap percobaan *steam aging*. Prinsip dari *steam aging* yaitu saat dilakukan proses *steam* pada *steel slag*, uap akan menghidrasi kandungan f-CaO yang terdapat pada *steel slag* melalui pori-pori pada *steel slag*. Saat menggunakan *aging* dengan uap pada temperatur yang tinggi dan dengan menggunakan waktu akan mengurangi kandungan f-CaO. Sehingga semakin berjalannya waktu, uap akan menghidrasi kandungan f-CaO dan dengan semakin lamanya waktu *aging* maka akan semakin banyak untuk menurunkan kandungan tersebut .

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui waktu dan ukuran partikel *Steam Aging* terhadap kandungan f-CaO pada *Steel Slag*, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Kadar f-CaO pada *steel slag* berhasil diturunkan menggunakan tahapan *aging treatment*. Metode yang digunakan untuk melakukan proses *aging* yaitu *accelerated aging* menggunakan *steam aging*.



FURNACE: JURNAL METALURGI DAN MATERIAL

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



2. Hasil *steam aging* pada *steel slag* menunjukkan kandungan f-CaO dengan variasi ukuran partikel dan waktu *steam aging* pada sampel A, B, C, D, E, F, G, H, I, J secara berurutan yaitu 0,36% ; 0,31% ; 0,31% ; 0,26% ; 0,26% ; 0,26% ; 0,31% ; 0,31% ; 0,24% ; 0,24%.
3. Pengurangan kandungan f-CaO terbaik didapatkan pada ukuran partikel -35+50# dengan masing-masing kandungan 0,31% pada 8 jam, 0,26% pada 10 jam dan 0,24% pada 12 jam. Sedangkan nilai persentase penurunan f-CaO tertinggi diperoleh dengan waktu *steam aging* 12 jam pada ukuran partikel -35+50# dan -50+100# dengan persentase penurunan 33,3% dengan kandungan f-CaO 0,24%.

Ucapan Terima Kasih :

Kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi untuk pembiayaan penelitian ini melalui Program Kreativitas Mahasiswa dan juga kepada Tim PKM Optimuslag 2004 atas kerjasamanya.

Daftar Pustaka

- [1] Annunziata, T. & Coll, V., 2012, '*Possible Uses of Steelmaking Slag in Agriculture: An Overview*', Material Recycling - Trends and Perspectives. doi: 10.5772/31804
- [2] Ma Zhao, Zhao Feng-qing, Li Peng-guan, 2014, *Improving the Volume Stability of Steel Slag for Construction and building Materials*. Advanced materials research vol.936. Hebei University of Science & Technology, Shijiazhuang 050018, PR China
- [3] Suwarno., 2010 '*Pemanfaatan Steel Slag Indonesia Di Bidang Pertanian*', Jurnal Tanah dan Lingkungan, 12(1), pp. 36–41.
- [4] Longhua Wei, Xianjin Qi, Zing Zhu, Hua Wang, Bin Hu, Yuan Xu, Yong li, Xun li, 2017. *Influence of Pretreatment on the F-CaO in Steel Slag*. Faculty of Chemical Engineering, Kunming University of Science and Technology, vol.904, China
- [5] . Tsuyoshi sasaki, Takuzi hamazaki, 2015., *Development of Steam-aging Process for Steel Slag*, NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL TECHNICAL REPORT No.109
- [6] Yi, H. et al., 2012, '*An Overview of Utilization of Steel Slag*', Procedia Environmental Sciences, 16, pp. 791–801. doi: 10.1016/j.proenv.2012.10.108
- [7] LUN Yunxia, ZHOU mingkai, CAI Xiao, XU Fang, 2008, *Methods for Improving Volume Stability of Steel Slag as Fine Aggregate*. Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed. Oct, Vol.23 No.5.
- [8] Kabir malhotra., 2019, *Iron and Steel Slag Utilization: A Comprehensive Analysis*. International Journal of Engineering Science Invention (IJESI). Volume 8 Issue 08 Series. I
- [9] Horii, K. et al., 2015 '*Overview of iron/steel slag application and development of new utilization technologies*', Nippon Steel & Sumitomo Metal Technical Report, 109(109), pp. 5–11.