

**PENGARUH DEOXIDIZING AGENT PADA MATERIAL ADDITION
LADLE FURNACE DI PT GUNUNG RAJA
PAKSI, CIKARANG BARAT**

Muhammad Fendy Saputra¹, Sudaryanto²

^{1,2}Program Studi Teknik Metalurgi, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral,
UPN "Veteran" Yogyakarta, Jl. Babarsari 2, Tambakbayan, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55281

Email: mfendysaputra27@gmail.com¹

(+62 881-2617-598)¹

Abstract

PT. Gunung Raja Paksi is engaged in the steel smelting and grinding industry (Furnace & Steel Rolling), which includes the production of Steel Bars, Sheet Steel and Rolled Steel, namely Slab, Billet, Beam Blank, Bloom and their derivatives such as Hot Rolled Plate & Coil and their derivatives, Profile Steel. such as Angle, WF, H-Beam and their derivatives. In smelting, there are processes, namely Primary Steelmaking (Smelting), Secondary Steelmaking (Purification), Casting (Casting). Secondary Steelmaking is a molten steel refining process carried out in Ladle Furnace (LF) to serve process electric furnaces and provide raw material for molten steel to continuous casting machines (CCM). The main activities in the ladle furnace are: setting the accurate temperature of molten steel as raw material for casting. improvement of steel cleanliness through deoxidation and desulfurization. homogenization of temperature and chemical composition by using Argon gas; and add alloys to get the desired specifications. Additional materials for aluminum killed steel are aluminum ingot, aluminum wire, aluminum mix, CaSi wire, CaO, CaF₂, carbon riser/calcined petroleum coke, FeSi, SiMn with a close casting method. Meanwhile, the additional material for silicon killed steel is FeSi, SiMn, CaO, CaF₂ powder, carbon riser/calcined petroleum coke, with the casting method in the form of open casting.

Keywords: *Steel, Secondary Steelmaking, Deoxidation, Ladle Furnace, Killed Steel*

Abstrak

PT Gunung Raja Paksi bergerak dibidang industri peleburan dan penggilingan baja (Furnace & Steel Rolling), yang meliputi produksi Baja Batangan, Baja Lembaran dan Baja Gulungan yaitu *Slab, Billet, Beam Blank, Bloom* serta turunannya seperti *Hot Rolled Plate & Coil* serta turunannya, Baja Profil seperti *Angle, WF, H-Beam* dan turunannya. Dalam peleburan memiliki proses yaitu *Primary Steelmaking* (Peleburan), *Secondary Steelmaking* (Pemurnian), *Casting* (Pengecoran). *Secondary Steelmaking* adalah proses pemurnian baja cair yang dilakukan di *Ladle Furnace* (LF) untuk melayani dapur listrik proses dan menyediakan bahan baku baja cair ke mesin pengecoran kontinyu (CCM). Aktivitas utama di dalam *ladle furnace* adalah: mengatur temperatur baja cair yang akurat sebagai bahan baku untuk pengecoran. peningkatan kebersihan baja melalui deoksidasi dan desulfurisasi. homogenisasi temperatur dan komposisi kimia dengan menggunakan gas Argon; dan menambahkan *alloy* untuk mendapatkan spesifikasi yang diinginkan. *Material addition* pada *aluminium killed steel* adalah *aluminium ingot, aluminium wire, aluminium mix, CaSi wire, CaO, CaF₂, carbon riser/calcined petroleum coke, FeSi, SiMn* dengan metode *casting* berupa *close casting*. Sedangkan *material addition* pada *silicon killed steel* adalah serbuk *FeSi, SiMn, CaO, CaF₂, carbon riser/calcined petroleum coke*, dengan metode *casting* berupa *open casting*.

Kata Kunci : *Baja, Secondary Steelmaking, Deoksidasi, Ladle Furnace, Killed Steel*

1. Pendahuluan

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai *grade*-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (*manganese*), krom (*chromium*), vanadium, dan tungsten. (Tarkono, Siahaan, G. dan Zulhanif, 2012)

Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tariknya (*tensile strength*), namun di sisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*).

Pengaruh utama dari kandungan karbon dalam baja adalah pada kekuatan, kekerasan, dan sifat mudah dibentuk. Kandungan karbon yang besar dalam baja mengakibatkan meningkatnya kekerasan tetapi baja tersebut akan rapuh dan tidak mudah dibentuk (Davis, 1982).

Besi kasar masih mengandung karbon sekitar 3 – 5% C. Sedangkan baja tanpa paduan tidak boleh lebih dari 1,7 % C. Selain itu besi kasar masih mengandung silisium(Si), Mangan(Mn), Belerang(S) dan Fosfor(P). Proses besi mentah menjadi baja dengan cara mengatur kandungan karbon dalam besi kasar tersebut. Untuk itu dibutuhkan proses lanjut melalui dapur dapur “pembuatan baja”, misalnya Dapur Bessemer, Dapur Oksigen, Dapur Siemens Martin. Dapur Elektro/listrik dan lain lain yang biasa disebut *primary steelmaking*. (M., Iskandar. 2018)

Secondary Steelmaking adalah proses pemurnian baja cair yang dilakukan di *Ladle Furnace* (LF) untuk melayani dapur listrik proses dan menyediakan bahan baku baja

cair ke mesin pengecoran kontinyu (CCM). Aktivitas utama di dalam *ladle furnace* adalah: mengatur temperatur baja cair yang akurat sebagai bahan baku untuk pengecoran. peningkatan kebersihan baja melalui deoksidasi menggunakan agen deoksidasi dan desulfurisasi. homogenisasi temperatur dan komposisi kimia dengan menggunakan gas Argon; dan menambahkan *alloy* untuk mendapatkan spesifikasi yang diinginkan. (Ghosh, Ahindra dan Amit Chatterjee, 2008.)

Killed steel adalah baja yang teroksidasi sehingga tidak ada evolusi gas selama pemadatan. Agen deoksidasi (*deoxidizing agent*) dalam proses yaitu; Alumunium, Silicon, Mangan. Dalam beberapa aplikasi, CaSi atau pengoksidasi kuat lainnya juga digunakan untuk meminimalisir pemipaan, hampir seluruh *killed steel* dicetak dalam tundish. (Nesbitt Brian, 2007)

Alumunium killed steel adalah jenis baja dimana proses deoksidasi (penghilangan oksigen) dibantu dengan penambahan alumunium untuk meminimalkan atau menghilangkan keberadaan oksigen ke tingkat paling rendah sehingga tidak ada proses kimia yang menghasilkan oksigen dan karbon selama proses pemadatan baja. (Fan Xingle. 2022)

Silicon killed steel adalah jenis baja dimana proses deoksidasi (penghilangan oksigen) dibantu dengan penambahan silika untuk meminimalkan atau menghilangkan keberadaan oksigen ke tingkat paling rendah sehingga tidak ada proses kimia yang menghasilkan oksigen dan karbon selama proses pemadatan baja. (Rao MB Venkata dkk. 2015)

PT Gunung Raja Paksi merupakan salah satu perusahaan swasta yang bergerak dibidang *steelmaking* yang terletak di Cikarang Barat, Bekasi, Jawa Barat. Pada proses pembuatan *semi finished product* nya dilakukan di *Steel Melting Shop* 1 dan 2

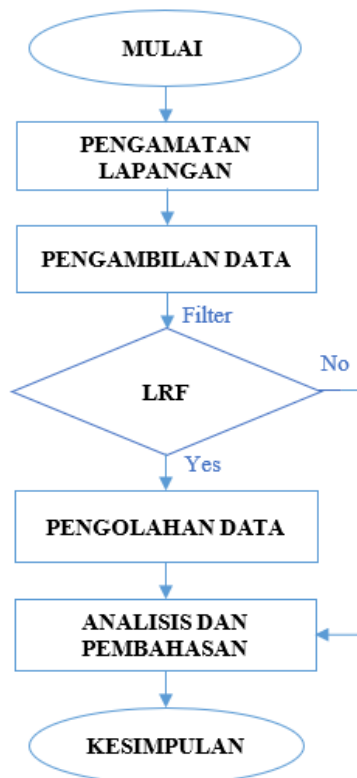
Proses yang dilakukan yaitu; *primary steelmaking* menggunakan *electric arc furnace*, *secondary steelmaking* dengan *ladle furnace*, dan *casting* dengan *continuous casting machine*. (Andre, Sudaryanto. 2022)

Pada divisi SMS di PT Gunung Raja Paksi menggunakan 2 oksidator yaitu Aluminium dan Silicon yang memiliki fungsi dan tujuan yang berbeda. Penggunaan *deoxidizing agent* ini mempengaruhi *material addition*, dan juga metode casting pada CCM.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan mengamati secara langsung proses refining dan juga mengambil data dari *logsheet* yang dilakukan divisi LRF SMS-1 dan SMS-2.

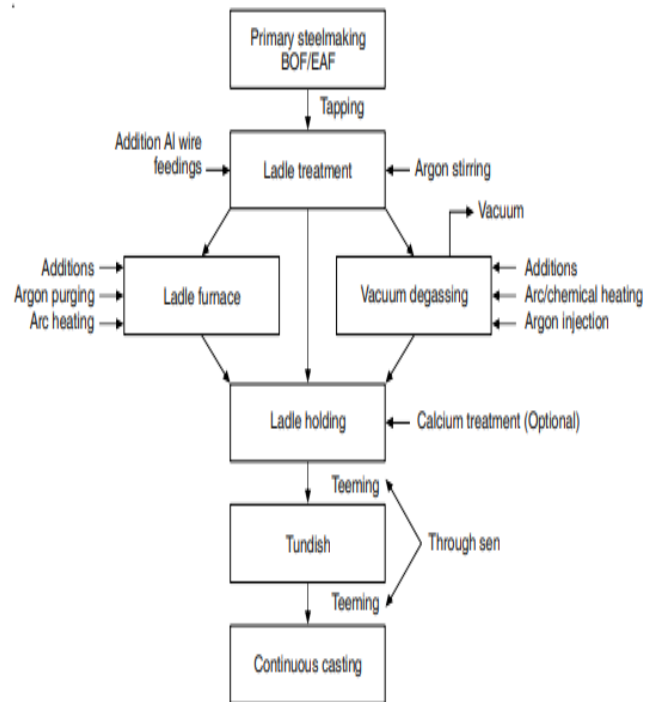
Adapun *flowchart* yang digunakan dalam kerja praktek ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart kerja praktek

Proses Pemurnian LF PT Gunung Raja Paksi

Tahapan kerja pada divisi LRF di PT Gunung Raja Paksi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Kerja Divisi LRF

1. Proses Tapping dan Pengecekan Slag

Proses *tapping* yaitu proses mengeluarkan molten iron dari Electric Arc Furnace (EAF) kedalam ladle yang kemudian akan dikirim ke divisi LRF untuk proses pemurnian agar sesuai dengan komposisi yang diharapkan. Pada saat proses *tapping molten iron* dari *Electric Arc Furnace* kedalam *ladle*, penambahan *material addition* diperlukan.

Pada *silicon killed steel*, *tapping addition* berupa: FeSi, SiMn, CaO. Pada *aluminium killed steel*, *tapping addition* berupa: Al Ingot, CaO, FeSi, SiMn

Setelah proses *tapping*, pekerja melakukan pengamatan pada slag di molten iron yang bertujuan untuk menentukan *treatment* yang akan diambil dikarenakan jika slag terlalu banyak akan membuat

refractory cepat terkikis sehingga *slag* harus dibuang terlebih dahulu.

2. Pengukuran Suhu dan Komposisi Kimia Sampel

Setelah *molten iron* dituang pada ladle dan masuk kedalam ladle furnace, pekerja melakukan pengukuran temperature dan komposisi kimia pada *molten iron*, hal tersebut dilakukan guna untuk mengetahui jumlah material (*material addition*) yang diperlukan pada *proses refining*.

3. Material Addition

Material addition merupakan, material yang harus ditambahkan dalam proses refining. Di PT Gunung Raja Paksi SMS-1 menggunakan *silicon killed steel*, sedangkan SMS-2 menggunakan *aluminium killed steel*.

Pada *silicon killed steel* material yang dimasukkan pada saat *refining (Ladle Furnace)* adalah: FeSi, SiMn, FeMn, CaO, CaF₂, *carbon riser/calcined petroleum coke*.

Sedangkan *aluminium killed steel* material yang dimasukkan pada saat *refining* adalah: *aluminium ingot, aluminium wire, CaSi wire*, CaO, CaF₂, FeSi, FeMn, SiMn, *carbon riser/calcined petroleum coke*.

Proses didalam Ladle Furnace

1. Ladle Stiring

Ladle stirring adalah proses pengadukan baja cair yang ada di dalam biasanya dilakukan untuk membantu kelancaran berlangsungnya proses desulfurisasi, homogenisasi suhu dan komposisi kimia, pengeluaran inklusi proses *vacuum degassing* dll. Pengadukan baja cair terjadi sebagai akibat peniupan gas Argon ke dalam baja cair. Penginjeksian atau peniupan gas biasanya dilakukan dengan dua cara, yakni dengan cara peniupan bawah atau dengan cara peniupan atas. Alasan penggunaan Argon karena sifatnya yang tidak bereaksi dan tidak larut dengan dan di

dalam baja cair. (Alia Najib. 2019)

2. Homogenisasi Suhu

Homogenisasi suhu merupakan upaya untuk mempertahankan suhu cairan pada ladle *furnace*. Proses ini dilakukan dengan cara menambahkan gas argon sehingga proses *stirring* terjadi dan juga *arc* sehingga dapat mempertahankan suhu. Suhu merupakan factor kritis pada setiap proses didalam *refining* maupun pada proses *casting*. Pada saat akhir proses *refining* suhu cairan dijaga sekitar 1600°C. (Cahyaningtias, Sari dan Evita Purnaningrum. 2019)

3. Deoksidasi

Deoksidasi adalah proses pembuangan kelebihan oksigen dari cairan logam. Proses ini melibatkan penambahan materi yang memiliki afinitas yang tinggi terhadap oksigen sehingga oksigen dapat diikat. Dari hasil pengikatan gas tersebut akan menghasilkan kotoran. Pada proses pembuatan baja, cairan logam harus dilakukan deoksidasi setelah kandungan karbon tercapai untuk mencegah antara oksigen dan karbon lebih lanjut. Ada beberapa elemen yang digunakan untuk deoksidasi pada baja, diantaranya: Mn, Si, dan Al dengan kemurnian 98%. (Total Materia, 2008)

Proses deoksidasi pada *aluminium killed steel* menggunakan aluminium, sehingga reaksinya: $2Al + 3FeO = Al_2O_3 + 3Fe$. Pada *aluminium killed steel* fungsi dari FeMn, FeSi, SiMn untuk proses *alloying*, hal itu disebabkan oleh aluminium yang lebih mudah berikatan (bereaksi) dengan oksigen.

Sedangkan proses deoksidasi pada *silicon killed steel* menggunakan silicon, sehingga reaksinya: $Si + 2FeO = SiO + 2Fe$. Pada *silicon killed steel* fungsi dari FeMn, FeSi, SiMn untuk proses *deoxidation* dan *alloying*.

4. Desulfurisasi

Desulfurisasi adalah proses penurunan kadar sulfur dari cairan logam yang bertujuan untuk menurunkan kadar sulfur karena dapat mengurangi sifat mekanis baja, dan juga dapat mempercepat proses pemadatan baja pada saat proses *casting*. Proses ini merupakan slag handling, yang mana sulfur akan diikat oleh flux sehingga akan menjadi kotoran. flux yang digunakan biasanya CaO. (Schrama, Frank NH. 2017)

5. Alloying

Alloying adalah proses penambahan material ferro alloy dan material *additive* pada *molten iron* yang bertujuan untuk mencapai komposisi kimia pada grade yang telah ditentukan. Proses *alloying* dilakukan pada saat *refining* atau juga pada saat baja sudah berada di *ladle*. Penambahan didalam *ladle* dilakukan dengan tujuan menghindari terjadinya reaksi didalam *ladle* dan untuk memaksa keluar gas-gas yang bereaksi material. Jenis *ferro alloy*: FeSi, FeMn.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengaruh *Deoxidizing Agent* Terhadap *Material Addition*.

Deoxidizing merupakan suatu proses peningkatan kebersihan baja dengan cara membuang kelebihan gas oksigen didalam cairan baja menggunakan deoksidator. Hal ini dilakukan supaya tidak ada evolusi gas selama pemadatan. Agen deoksidasi (*deoxidizing agent*) dalam proses yaitu; Alumunium, Silicon, Mangan.

Di PT Gunung Raja Paksi menggunakan dua jenis oksidator (*deoxidizing agent*) yaitu; Silicon pada SMS-1 dan Alumunium pada SMS-2. Deoksidasi baja menggunakan silicon biasa disebut *silicon killed steel*, sedangkan deoksidasi baja menggunakan alumunium biasa disebut *alumunium killed steel*.

Pada *silicon killed steel material addition* dan juga *tapping addition* menggunakan: FeSi, SiMn, FeMn, CaO, CaF₂, *carbon riser/calcined petroleum coke*. Pada *silicon killed steel, tapping addition*. fungsi dari FeMn, FeSi, SiMn untuk proses *deoxidation* dan *alloying*. Dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 3.

Tabel 1. Tapping Addition SMS-1

Tapping Addition SMS-1		
SiMn	FeSi	Lime
501	102	465
500	100	500
495	105	486
502	100	500

Sumber: LRF SMS-1 PT. Gunung Raja Paksi (2021)

Tabel 3. Material Addition SMS-1

CaO	CaF ₂	Coke	FeSi	SiMn
763	30	10	208	1056
800	34		218	1067
607			234	956
766	43	12	220	1043

Sumber: LRF SMS-1 PT. Gunung Raja Paksi (2021)

Sedangkan pada *aluminium killed steel* material yang dimasukkan pada saat *refining* dan juga pada saat *tapping* adalah: *aluminium ingot, aluminium wire, CaSi wire, CaO, CaF₂, FeSi, FeMn, SiMn, carbon riser/calcined petroleum coke.* fungsi dari

FeMn, FeSi, SiMn untuk proses *alloying*, hal itu disebabkan oleh aluminium yang lebih mudah berikatan (bereaksi) dengan oksigen. Dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 4.

Tabel 2. *Tapping Addition SMS-2*

Tapping Addition SMS-2			
SiMn	FeSi	Lime	Al-Bar
0	0	700	250
1200	0	600	220
1200	0	600	220
400	0	200	600
400	0	200	600
400	50	200	600

Sumber: LRF SMS-2 PT. Gunung Raja Paksi (2021)

Tabel 4. *Material Addition SMS-2*

SiMn	FeSi	Carbon	FeMn	Lime	Al-Bar	Al-Wire	CaSi-Wire	Al-mix	CaF ₂
49	0	0	0	1528	253	175	63		
560	120	130	0	900	220	25	33		
93	0	0	0	1472	247	169	58		
169	0	5	0	1106	250	110	50	20	15
1800	40	100	0	1000	220	75	30		

Sumber: LRF SMS-2 PT. Gunung Raja Paksi (2021)

Dapat dilihat dari tabel 1, tabel 2, tabel 3, tabel 4 bahwa *material addition* dan juga *tapping addition pada aluminium killed steel* dan *silicon killed steel* secara garis besar sama, hanya pada *aluminium killed steel* terdapat penambahan basis aluminium (*Al ingot, Al wire, CaSi wire*).

Penambahan CaSi pada *aluminium killed steel* dikarenakan inklusi pada *aluminium killed steel* (Al₂O₃) lebih banyak dibandingkan dengan *silicon killed steel*, dan berbentuk padatan dibawah cairan. Hal ini menimbulkan masalah penyumbatan *nozzel* dalam pengecoran kontinu karena menempelnya inklusi alumina ke dinding bagian dalam *nozzel* pengecoran. (Deng Xiaoxuan. 2018)

Perlakuan kalsium pada tahap akhir dalam *ladle* atau *tundish* telah ditemukan untuk menghilangkan ini, karena produk deoksidasi adalah cairan yang terdiri dari CaO dan Al₂O₃, kadang-kadang dengan sejumlah SiO₂. Oleh karena itu penambahan CaSi pada metode *aluminium killed steel*. Pada awalnya bentuk inklusi alumina (Al₂O₃) serpih menjadi Oksida globular (12CaO.7Al₂O₃) bulat, atau semula alumina (Al₂O₃) menjadi Pxi-sulfida globular (Ca, Mn) S. (Zhiyin Deng and Miaoyong Zhu. 2012)

Pengaruh Deoxidizing Agent Terhadap Metode Casting

Casting adalah proses manufaktur yang paling sederhana, yaitu dengan cara

mencairkan logam kemudian menuangkannya (mengecor) ke dalam cetakan pasir yang memiliki rongga sesuai dengan bentuk produk yang kita inginkan.

Pada *aluminium killed steel* metode *casting* yang digunakan adalah *close casting*, hal tersebut dilakukan karena *melting point* Al sebesar 660°C dan sifat kimia Al yang mudah bereaksi dengan oksigen jika kontak dengan udara. *Close casting* bertujuan agar cairan tidak kontak dengan udara yang dapat mengakibatkan aluminium berkontak dengan O₂ dan menjadi (padatan Al₂O₃) yang dapat mengakibatkan penyumbatan pada *nozzle*.

Berbeda dengan *aluminium killed steel*, pada *casting Silicon Killed Steel* menggunakan metode *open casting*. Hal ini didasari pada *melting point* silicon yang tinggi 1414°C, sifat kimia *silicon* yang tidak mudah bereaksi jika kontak dengan udara, dan juga inklusi dari *silicon* sehingga pada saat *casting* walaupun cairan terkena kontak udara tidak terlalu mempengaruhi perubahan komposisi kimia.

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Proses yang terjadi pada *ladle furnace* adalah: deoksidasi, desulfurisasi, *stirring*, *alloying*, modifikasi inklusi.
2. Material addition *aluminium killed steel* (*deoxidizing* menggunakan aluminium) adalah: Al basis (Al ingot atau Al wire, *Al mix*), CaSi, CaO, CaF₂, FeSi, SiMn, FeMn, *carbon riser/calced petroleum coke*.
3. Material addition *silicon killed steel* (*deoxidizing* menggunakan silicon) adalah: Si basis (FeSi dan SiMn), FeMn, CaO, CaF₂, *carbon riser/calced petroleum coke*.
4. Perbedaan material addition pada *deoxidizing agent* menggunakan aluminium dan silicon terletak pada terdapat

penambahan basis aluminium (*Al ingot, Al wire, CaSi wire*).

5. Penambahan CaSi pada *deoxidizing* menggunakan aluminium berfungsi untuk mengubah bentuk inklusi alumina dari serpih menjadi bulat.
6. Metode *casting aluminium killed steel* adalah *close casting*
7. Metode *casting silicon killed steel* adalah *open casting*
8. Kelebihan dari *aluminium killed steel* adalah: waktu deoksidasi dan desulfurisasi lebih cepat.
9. Kekurangan dari *aluminium killed steel* adalah: harga produksi lebih mahal, dapat menyebabkan penyumbatan pada *nozzel* jika modifikasi inklusi dan metode *casting* tidak tepat.
10. Kelebihan dari *Silicon killed steel* adalah: harga produksi lebih murah, tidak menyebabkan penyumbatan pada *nozzel*.
11. Kekurangan dari *silicon killed steel* adalah: waktu deoksidasi dan desulfurisasi lebih lama.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada: PT. Gunung Raja Paksi, Program Studi Teknik Metalurgi Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta dan seluruh pihak yang telah memberikan penulis kesempatan dalam penelitian dan penulisan jurnal ini.

Daftar Pustaka

- Alia, Najib. 2019. *Optimal Control of Ladle Stirring*. Berlin. Freie Universität Berlin.
- Andre Muhammad Jhony, Sudaryanto. 2022. Pengaruh Metode *Charging Material* Terhadap *Electrical Power* pada Proses Peleburan Electric Arc Furnace di SMS-1 Dan SMS-2 PT. Gunung Raja Paksi Cikarang Barat Bekasi. Yogyakarta: *Journal of*

- Metallurgical Engineering and Processing Technology*.
- Cahyaningtias, Sari dan Evita Purnaningrum. 2019. Optimasi Suhu *Ladle Refining Furnace (LRF)* pada Pengolahan Baja Karbon Tinggi dengan Menerapkan Metode Fuzzy Mamdani. Surabaya: Jurnal Ilmiah Soulmath
- Dahar, Rosfian Arsyah. 2006. Upaya Pencegahan Terbentuknya Inklusi Silikat Fasa Padat pada Permukaan *Bilet* Baja Karbon Rendah. Jakarta: Universitas Trisakti
- Davis, 1982. *Evaluation of the Tentative JI-R Curve Testing Procedure by Round Robin Tests of HY130 Steel*. *Journal of Testing and Evaluation* 10, no. 6 (1982): 252-262. <https://doi.org/10.1520/JTE10263J>
- Deng Xiaoxuan, Chenxi Ji, Shunkuan Guan, Leichuan Wang, Jianfei Xu, Zhihong Tian & Yang Cui. 2018. *Inclusion Behaviour in Aluminium-Killed Steel During Continuous Casting*. China: *Institute of Materials, Minerals, and Mining*
- Fan Xingle, Lifeng Zhang, Ying Ren, Wen Yang, and Songjie Wu. 2022. *The Effect of Aluminum Addition on the Evolution of Inclusions in an Aluminum-Killed Calcium-Treated Steel*
- Ghosh, Ahindra dan Amit Chatterjee. 2008. *Ironmaking and Steelmaking: Theory and Practice*. India: PHI Learning Private Limited.
- M., Iskandar. 2018. Materi Kuliah Peleburan dan Pemasukan 2 Teknik Metalurgi UNJANI.
- Nesbitt, Brian. 2007. *Handbook of Valves and Actuators: Valves Manual International*. Elsevier Science.
- Rao MB Venkata, Kanan Sahoo, Veera Babu, Phani S Karamched, dan Ranjam Pathak. 2015. *Modification of Oxide Inclusions by Calcium Treatment in Si Killed Steel*. India: *Visakhapatnam Steel Plant*
- Schrama, Frank NH, Elisabeth Maria Beunder, Bart Van den Berg, Yongxiang Yang, Rob Boom. 2017. *Sulphur Removal in Ironmaking and Oxygen Steelmaking*. *Journal Iron & Steelmaking: Processes, Product, and Applications Volume 44 Issue 5*. ISSN: 0301-9233
- Tarkono, Siahaan, G. dan Zulhanif, 2012. Studi penggunaan elektroda las yang berbeda terhadap sifat mekanik pengelasan SMAW baja AISI1045. *Jurnal mechanical*. 3 (2)
- Zhiyin Deng and Miaoyong Zhu. 2012. *Evolution Mechanism of Non-metallic Inclusions in Al-Killed Alloyed Steel during Secondary Refining Process*. *ISIJ International*, Vol. 53 (2013), No. 3, pp. 450–458..
- Total Materia, 2008. *Steel Deoxidation: Part: Two*. <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&LN=DE&NM=216>