

Potensi dan Karakterisasi Limbah Metalurgi “*Slag Nikel Pig Iron*”

Atik Setyani^{1*}, Yasmina Amalia² dan Hendy Roesma Wardhana³

^{1,2,3} Prodi Teknik Metalurgi, Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas
Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta
Jl. Babarsari 2, Tambakbayan, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55281
E-mail: asetyani24@gmail.com¹

Abstrak

Pertumbuhan industri pengolahan material non fero seperti nikel, aluminium maupun tembaga berkembang sangat pesat dalam dekade terakhir ini. Hal ini secara tidak langsung berdampak terhadap peningkatan limbah metalurgi hasil pengolahan material tersebut. Di Indonesia, *slag* pengolahan logam diantaranya *slag Nikel Pig Iron* (NPI) merupakan salah satu limbah yang belum digunakan secara optimal. Disisi lain *slag* NPI diketahui mengandung unsur-unsur seperti Pb, Zn, As, Cd dan Co yang berpotensi mencemari lingkungan dan membahayakan manusia. Upaya pemanfaatan *slag* NPI menjadi produk yang lebih bernilai sangat penting dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomi dari limbah metalurgi dan meminimalisir pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, pada penelitian ini telah dilakukan karakterisasi *slag* NPI yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai geopolimer. Karakterisasi dilakukan menggunakan EDS mapping dan XRD pada *slag* NPI dengan ukuran 200 mesh. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa terdapat fasa *quartz*, *clinoenstatite*, *sillimanite*, *calcium peroxide*, *olivine*, *forsterite*, *fayalite* dan *hypothetical silika*. Fasa tersebut teridentifikasi melalui puncak-puncak difraktogram XRD pada sudut 20-70°. Hasil *mapping* mengindikasikan beberapa senyawa seperti silika, magnesium dan oksigen tersebar diarea yang sama dan merata.

Kata kunci: *Slag*, Nickel *Pig Iron*, karakterisasi, limbah metalurgi, identifikasi fasa

Abstract

In recent years, the growth of mineral processing industry is growing rapidly, including producing non-ferrous materials such as nickel, aluminum, and copper. This has an indirect impact on the increase in metallurgical waste resulting from the processing of these materials. In Indonesia, metal processing *slag*, including Nickel Pig Iron (NPI) *slag*, is a waste that has yet to be used optimally. On the other hand, NPI *slag* contains elements such as Pb, Zn, As, Cd, and Co, which have the potential to pollute the environment and harm humans. Therefore, it is necessary to utilize NPI *slag* as a more valuable product to increase the economic value of metallurgical waste and minimize environmental pollution. In this paper, studied characterization of NPI *slag* has the potential to be developed as a geopolymer. The characterization was carried out by EDS mapping and XRD on *slag* NPI with a size of 200 mesh. The characterization results show that there are phases of quartz, clinoenstatite, sillimanite, calcium peroxide, olivine, forsterite, fayalite, and hypothetical silica. The phase was identified through the peaks of the XRD diffractogram at an angle of 20-70. In addition, the mapping results indicate that several compounds, such as silica, magnesium, and oxygen, are scattered in the same area.

Kata kunci: *Slag*, Nickel *Pig Iron*, Characterization, Metallurgical Waste, Phase Identification

Pendahuluan

Perkembangan teknologi telah mendorong transisi penggunaan material non fero di berbagai sektor industri

strategis seperti energi, hankam maupun elektronik (Bobba dkk, 2020). Hal ini menyebabkan peminatan material logam non fero diantaranya nikel, aluminium

maupun tembaga meningkat secara drastis. Selain memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan ekonomi, perkembangan industri pengolahan mineral dapat memberikan dampak buruk (Marsh, 2021). Hal ini disebabkan karena peningkatan produksi material berbanding lurus dengan meningkatnya limbah hasil pengolahan yang berpotensi besar mencemari lingkungan dan membahayakan manusia.

Sebagai salah satu negara penghasil nikel terbesar di dunia sudah kita harus mempertimbangkan limbah pengelolaan limbah logam sehingga meminimalisir dampak buruk. Pada proses pengolahan nikel akan menghasilkan *slag* nikel yang merupakan hasil samping dan masuk dalam kategori limbah berbahaya. *Slag* nikel berpotensi melepaskan unsur-unsur beracun seperti Pb, Zn, As, Cd dan Co yang sangat berdampak buruk bagi lingkungan maupun manusia. *Slag* atau terak nikel merupakan produk sampingan dari produksi nikel (Katsiotis, 2015). *Slag* NPI diketahui masuk dalam kategori *slag* terbesar di dunia dari pengolahan material atau limbah metalurgi. Selain itu, dibandingkan dengan terak metalurgi lainnya, terak NPI termasuk belum diolah secara optimal (Xi., 2018). Hal tersebut menjadi tantangan dan menarik perhatian dari berbagai kalangan baik pemerintah, akademisi maupun peneliti untuk bersama-sama meminimalisir maupun mengurangi potensi pencemaran *slag*.

Di Indonesia sendiri *slag* nikel menjadi salah satu limbah produk samping dari pemrosesan mineral

dengan jumlah yang tinggi. Hal ini tidak lain karena Indonesia termasuk negara dengan kandungan nikel yang cukup tinggi. Deposit nikel terbesar di Indonesia salah satunya di Sulawesi Tenggara dalam bentuk *laterite ore* (Solihin, 2015; Setyabarata dkk, 2018). *Slag* NPI dihasilkan melalui pengolahan ekstraksi *Nickel Pig Iron* (NPI) selama pemrosesan pirometalurgi Ni pada suhu sekitar 1500–1600 °C (Maragos, 2009). Marsh, 2021 menyebutkan bahwa memproduksi 1 ton Ni dalam *flash smelting furnace* atau *electric arc furnace* akan menghasilkan sekitar 6–16 ton *slag*. Penelitian lebih lanjut menyebutkan bahwa kandungan *slag* yang dihasilkan sebagian besar kaya akan kandungan Mg, silica maupun alumina. Pernyataan tersebut didukung oleh Wang, 2018 yang menyebutkan bahwa komposisi kimia pada *slag nikel* mengandung banyak silika sekitar 50–55% dan juga mengandung Magnesium yang tinggi. Penelitian lain yang dilakukan oleh Amalia, 2018 menyebutkan bahwa *slag* nikel berpotensi untuk digunakan sebagai geopolimer maupun konsentrat. Selain itu *slag* nikel juga berpotensi untuk diaplikasikan sebagai material substitusi pada semen. Hasil pengujian menunjukkan penggunaan *slag* NPI memiliki sifat kuat tekan yang baik. Hal ini disebabkan karena adanya senyawa sementik yang dapat bereaksi dengan senyawa *Calcium Hydroxide* (CH) hasil reaksi hidrasi semen dengan air membentuk senyawa *Calcium Silicate Hydrate* (CSH) sebagai hasil dari hidrasi antara air dengan semen yang berperan

untuk meningkatkan daya rekat dan kuat tekan pada pasta semen (Amalia, 2018).

Upaya pemanfaatan *slag* nikel menjadi produk yang lebih bernilai menjadi sangat penting dilakukan sebagai langkah strategis untuk meningkatkan nilai ekonomi dari *slag* dan juga upaya meminimalisir pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, pada penelitian ini telah dilakukan karakterisasi *slag* NPI untuk mengetahui persebaran kandungan berbagai unsur yang didalamnya menggunakan SEM-EDS *Mapping* dan juga identifikasi fasa menggunakan XRD. Karakterisasi menjadi salah satu tahapan penting yang perlu dilakukan dalam upaya pengembangan potensi *slag* menjadi produk. Melalui penelitian ini, penulis berharap dapat ikut serta berkontribusi dalam upaya pengembangan material baru berbasis limbah menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi.

Metodologi Penelitian

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah *slag* NPI berupa serbuk berwarna putih dengan ukuran 200 mesh (Gambar 1) yang diperoleh dari PT Indoferro. Karakterisasi dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray Spectrometry* (SEM-EDS mapping) untuk mengetahui morfologi maupun persebaran dari kandungan unsur didalam *slag*. Karakterisasi juga dilakukan menggunakan instrumen X-Ray Diffraction (XRD) untuk mengidentifikasi fasa material. Karakterisasi *slag* NPI dilakukan di LPPT UGM. Secara lengkap, spesifikasi instrumen SEM-EDS *mapping* yang

digunakan adalah JSM 6510LA dengan detektor *Secondary Electron* (SE). Detektor SE memiliki keunggulan dapat memberikan topografi yang jelas pada permukaan material. Spesifikasi instrumen XRD yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tipe D8 Advance (Eco) dari Bruker AXS yang dilengkapi dengan detektor LYNXEYE XE-T dengan Cu K α . Instrumen SEM-EDS dan XRD yang digunakan dalam pengujian ditampilkan pada Gambar 2.

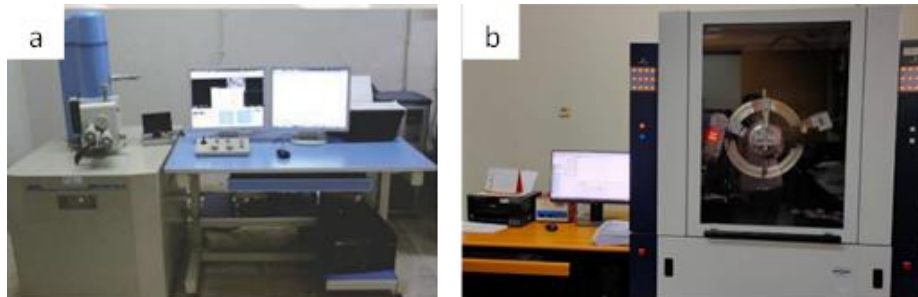
Pengujian XRD dilakukan dari sudut 0 sampai 70°. Analisis dan olah data dilakukan menggunakan *Highscore, match* dan *origin*. Pengujian menggunakan XRD ditujukan untuk mengidentifikasi fasa maupun senyawa yang terkandung pada suatu material. Prinsip pengujian XRD adalah dengan menggunakan sinar X yang merupakan radiasi gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang rendah, antara 0,5 - 2,5 Å dimana nilai ordernya sama dengan jarak antar bidang dalam kristal. Sinar X dihasilkan dari tumbukan antara elektron berkecepatan tinggi dengan logam sasaran yang memberikan radiasi karakteristik. Hamburan sinar kemudian ditangkap menggunakan detektor yang kemudian hasilnya dihitung menggunakan Hukum Bragg

$$n\lambda = 2d \sin \Theta \dots\dots\dots \text{(persamaan 1)}.$$

Pola XRD memberikan data berupa jarak interplanar (*d spacing*), sudut difraksi (2θ), intensitas relatif (I/I_0), indeks miller (*dhkl*), lebar puncak, parameter unit sel (*a, b, c, α, β dan γ*).



Gambar 1. Sampel *slag* NPI



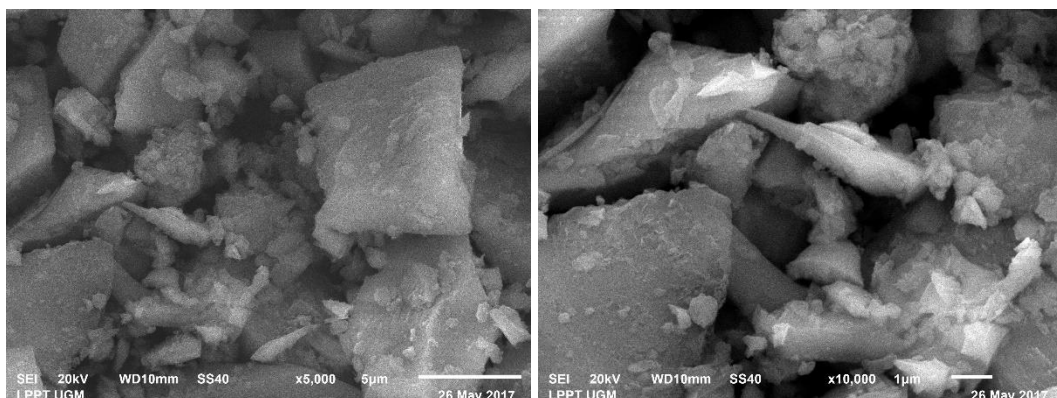
Gambar 2. Instrumen pengujian (a) SEM-EDS dan (b) XRD

Hasil dan Pembahasan

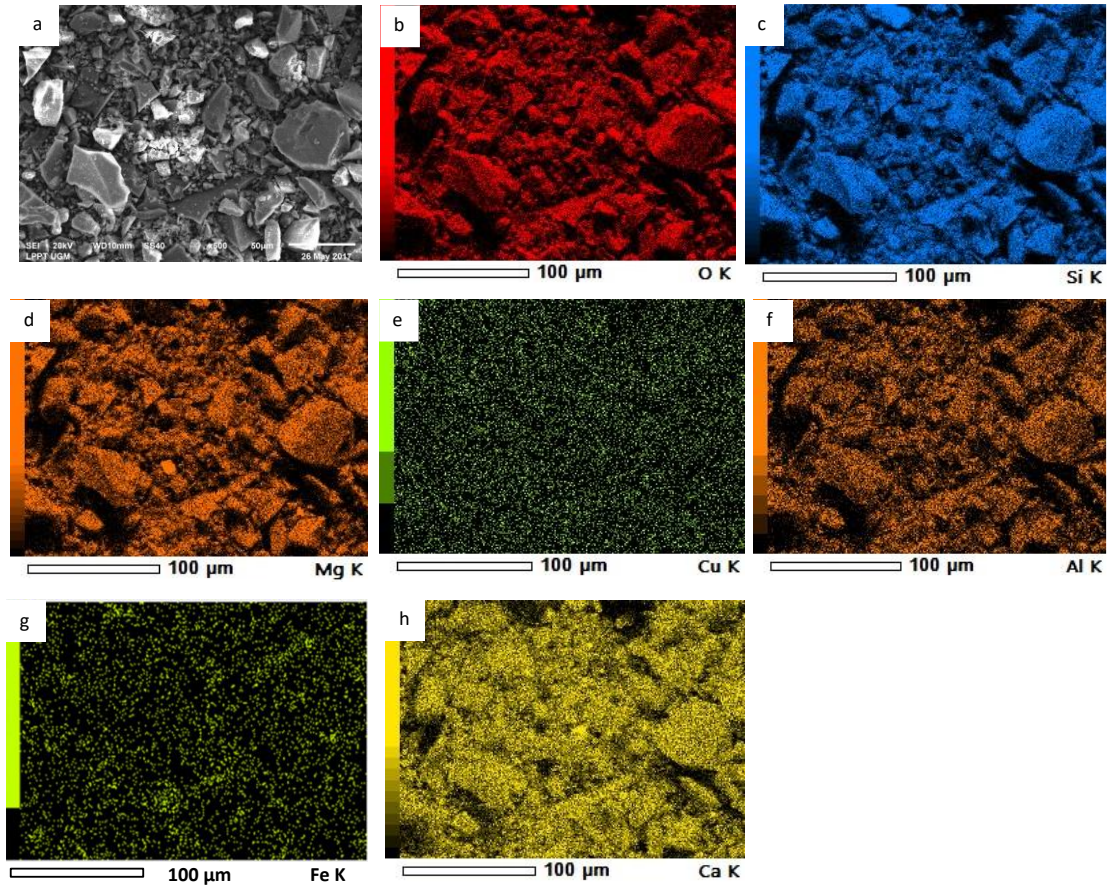
Karakterisasi EDS Mapping

Struktur mikro sampel NPI dikarakterisasi melalui observasi *scanning electron microscopy* menggunakan *secondary electron* (SE) dan juga dilakukan observasi *elemental mapping* untuk mengetahui persebaran partikel. Pengamatan dilakukan dengan beberapa perbesaran yaitu 5000x dan 10.000x. Dari hasil observasi SEM yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Mapping ditampilkan pada Gambar 4

terlihat bahwa silika, magnesium dan oksigen tersebar diarea yang sama. Hal ini menandakan adanya magnesium silikat hidrat. Selain itu juga terdapat Al dan Ca yang tersebar pada partikel yang merupakan partikel tipe spinel (Bru, 2022). Pengamatan lebih lanjut terlihat bahwa sampel terdiri atas partikel dengan ukuran yang cukup bervariasi yaitu 2-7 μm dan tidak terlihat adanya aglomerasi. Secara *morphology slag* memiliki bentuk menyerupai pentagonal dan *irregular plate*.

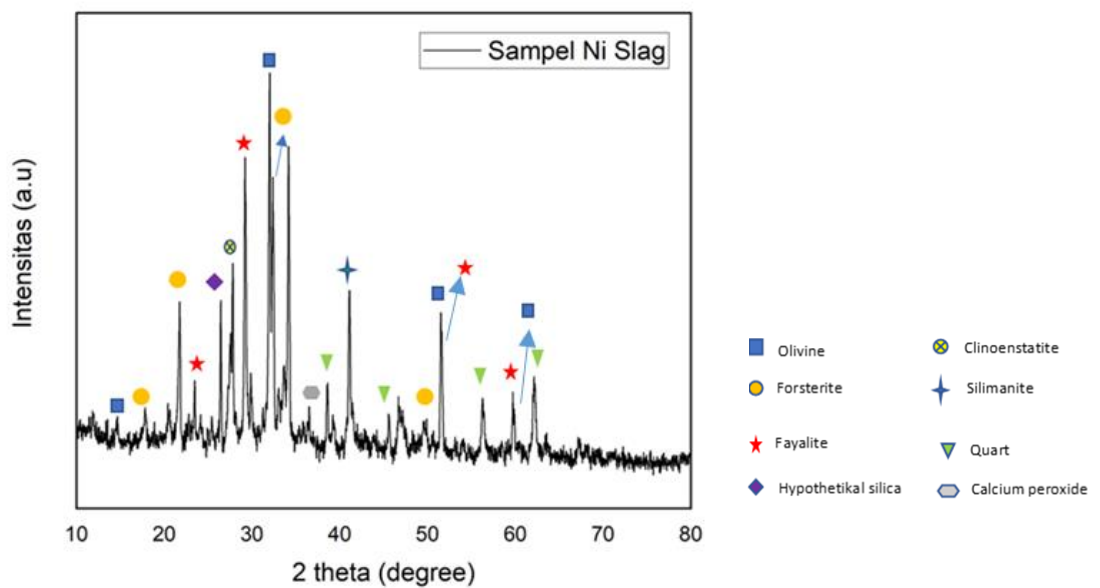


Gambar 3. Morphology *slag* NPI dengan perbesaran (a) 5000 x dan (b) 10.000 x



Gambar 4. Distribusi beberapa unsur kimia yang terkandung pada *slag* NPI (b) Oksigen, (c) Silika, (d) Magnesium, (e) Tembaga, (f) Alumunium, (g) Besi dan (h) Kalsium. Mapping dilakukan pada mikrostruktur *slag* NPI dengan perbesaran 500x.

Karakterisasi XRD



Gambar 5. Difraktogram XRD sampel *slag* NPI

Difraktogram XRD sampel *slag* NPI ditampilkan pada gambar 5. Dari hasil pengujian terlihat adanya puncak-puncak yang mengindikasikan adanya fasa *quartz*, *clinoenstatite*, *silimanite*, *calcium peroxide*, *olivine*, *forsterite*, *fayalite* dan *hypothetikal silika*. Puncak-puncak tersebut terlihat pada sudut 20-70 °. Identifikasi fasa pada sampel ini menyerupai hasil karakterisasi *slag* nikel pada penelitian Solihin, 2015; Setyabarata dkk, 2018. Pada *slag* NPI diketahui terkandung beberapa senyawa yang berpotensi untuk dikembangkan pada material geopolimer karena termasuk material yang kaya akan silika. Pada industri seperti *sement portland*, material NPI dapat digunakan sebagai campuran substitusi dan saat ini peminatan terhadap *slag* yang dapat digunakan untuk geopolimer meningkat terutama dari industri semen. (Maragkos, 2009; Edwin, 2019) dalam penelitiannya juga menyebutkan bahwa *slag* nikel sebagai salah satu limbah dengan jumlah besar berpotensi untuk diolah menjadi material yang memiliki nilai guna maupun ekonomi. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Amalia, 2018 bahwa *slag* nikel memiliki sifat yang baik saat digunakan sebagai campuran pasta semen. Dari hasil pengujian diperoleh kekuatan maksimum yang didapatkan saat mencampurkan *slag* nikel sebesar 15% fraksi volume.

Slag NPI menjadi salah satu limbah metalurgi yang memiliki prospek baik untuk dikembangkan menjadi material dengan nilai ekonomi tinggi. Hal ini dapat menjadi terobosan guna meminimalisir pencemaran lingkungan

seiring dengan peningkatan produksi logam. Selain itu pengolahan limbah NPI juga berpotensi meningkatkan nilai jual dari logam tersebut.

Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sampel *slag Nickel Pig Iron* (NPI) mengandung fasa-fasa *quartz*, *clinoenstatite*, *silimanite*, *calcium peroxide*, *olivine*, *forsterite*, *fayalite* dan *hypothetikal silika*. Kandungan tersebut diperlukan dan berpotensi untuk dikembangkan dalam produk geopolimer diantaranya sebagai pasta campuran semen. Pengolahan limbah metalurgi seperti *slag* sangat perlu dilakukan sehingga memberikan dampak baik pada *eco-envirounment*. Selain itu, dari hasil karakterisasi EDS-Mapping terlihat bahwa kandungan *element* kimia seperti O, Mg, Cu dan Si tersebar merata.

Acknowledgments

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi serta UPN Veteran Yogyakarta. Ucapan terimakasih juga kami sampaikan kepada PT. Indoferro yang telah mendukung penelitian ini melalui penyediaan sampel.

Daftar Pustaka

Amalia, Y., & Soepriyanto, S. (2019). Utilization of slag powder for cement substitution based on the compressive strength and penetration of chloride ions. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 20(2), 58-61.

- Bobba, S., Carrara, S., Huisman, J., Mathieux, F dan Pavel C. (2020). Critical raw materials for strategic technologies and sectors in the EU. ISBN 978-92-76-15337-5
- Bru, K., Seron, A., Morillon, A., Algermissen, D., Lerouge, C dan Menad, N. (2022). Characterization of a chromium-bearing carbon steel electric arc furnace *slag* after magnetic separation to determine the potential for iron and chromium recovery. *Journal Minerals*, Vol. 12, No. 47.
- Edwin, R S., Ngii, E., Talanipa, R., Masud, F dan Sriyani, R. (2019). Effect of nickel *slag* as a sand replacement in strength and workability of concret. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 615 012014
- Katsiotis, N S., Tsakiridis, P E., Velissariou, D., Katsiotis, M S., Alhassan, S M dan Beazi, M. (2015). Utilization of ferronickel *slag* as additive in portland cement: a hydration leaching study waste and biomass valorization. Vol. 6, PP 177–89.
- Maragkos, I., Giannopoulou, I P dan Panias, D. (2009). Synthesis of ferronickel *slag*-based geopolymers. *Journal Minerals Engineering*, Vol. 22, pp. 196-203.
- Marsh, A T M., Yang, T., Amankwah, S A dan Bernal, S A. (2021). “Utilization of metallurgical wastes as raw materials for manufacturing alkali-activated cements” In Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Waste and Byproducts in Cement-Based Materials. Pp. 335-383, ISBN 9780128205495
- Setyabrata, A C., Maksum, A., Prasetyo, A B., Priyono, B dan Soedarsono, J W. (2019). Effect Of Sodium Carbonate On The Reduction Process Of Nickel *Slag* From Sulawesi. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 553 012028
- Solihin. (2015). Synthesis of nickel containing pig iron (ncpi) by using limonite type of lateritic ore from south east sulawesi. *Ris.Geo.Tam* Vol. 25, pp. 31-36. ISSN 0125-9849
- Wang, George. (2016). *The Utilization of Slag in Civil Infrastructure Construction*. Woodhead Publishing is an imprint of Elsevier. ISBN: 978-0-08-100994-9
- Xi, B., Li, R., Zhao, X., Dang, Q., Zhang, D dan Tan, W.(2018). Constraints and opportunities for the recycling of growing ferronickel *slag* in China. *Journal Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 139, pp. 15-16.