



Pemanfaatan Serbuk Terak Nickel Pig Iron untuk Aplikasi Material Struktural

Utilization of Nickel Pig Iron Slag Powder for Structural Material Applications

YASMINA AMALIA

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta,
Jl. Padjajaran Jl. Ring Road Utara No. 104, Condongcatur, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55283, Indonesia
Email: yasminaamalia@upnyk.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 19 March 2022

Accepted 23 April 2024

Published 31 July 2024

Keywords:

Nickel Pig Iron (NPI)

Slag

Zeolite

Compressive strength

Chloride ion

ABSTRACT

The amount of nickel slag waste is increasing over time as a result of the nickel mining and processing process. Slag must be processed properly so as not to damage the environment. So far, the slag has not been processed properly so it has only been piled up. In fact, slag can be reused for various sectors, one of which is construction. The aim of this research is to obtain a slag and zeolite-based cement formulation that meets ASTM for building and bridge construction. The method used in this research is quantitative experimental. This method approaches quantitative data and through laboratory experiments. This research mixed Nickel Pig Iron slag, cement and zeolite to obtain better compressive strength and sea water resistance values. The substitute cement is printed with a size of 10 cm x 5 cm. All ingredients are put into the mold until the mixture solidifies and forms. From the research that has been carried out, the substitute paste has the highest compressive strength, namely with 40% slag mixing compared to other experiments ranging from 15% to 60% mixing. Apart from that, the addition of 10% zeolite also increases the compressive strength of slag cement compared to without the addition of zeolite. Next, tests were carried out on the sea water environment. As a result, the substitutes for slag, cement, and zeolite have higher compressive strength and resistance to marine environments than the cement control.

INFORMASI ARTIKEL

Histori artikel:

Diterima 19 Maret 2022

Disetujui 23 April 2024

Diterbitkan 31 Juli 2024

Kata kunci:

Nickel Pig Iron (NPI)

Terak

Zeolit

Kuat tekan

Ion klorida

ABSTRAK

Jumlah limbah terak nikel semakin lama semakin meningkat akibat dari proses penambangan dan pengolahan nikel. Terak harus diolah dengan baik agar tidak merusak lingkungan. Selama ini terak belum diolah dengan baik sehingga hanya dilakukan penimbunan saja. Padahal, terak dapat dimanfaatkan kembali untuk berbagai sektor, salah satunya konstruksi. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan formulasi semen berbasis terak dan zeolit yang memenuhi ASTM untuk konstruksi bangunan maupun jembatan. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen kuantitatif. Metode ini melakukan pendekatan secara data kuantitatif dan melalui percobaan di laboratorium. Penelitian ini mencampurkan terak *Nickel Pig Iron* (NPI), semen, dan zeolit untuk mendapatkan nilai kuat tekan dan ketahanan air laut lebih baik. Semen substitusi dicetak dengan ukuran 10 cm x 5 cm. Seluruh bahan dimasukkan ke dalam cetakan sampai campuran memadat dan membentuk. Dari penelitian yang telah dilakukan, pasta substitusi yang memiliki kekuatan tekan tertinggi yaitu dengan pencampuran terak sebesar 40% dibandingkan dengan percobaan lainnya mulai dari pencampuran 15% hingga 60%. Selain itu penambahan zeolit 10% juga meningkatkan kuat tekan semen terak daripada tanpa penambahan zeolit. Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap lingkungan air laut. Hasilnya substitusi dari terak, semen, dan zeolit memiliki kekuatan tekan dan ketahanan terhadap lingkungan laut yang lebih tinggi daripada kontrol semen.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Terak merupakan hasil sampingan dan limbah yang timbul selama proses pengolahan bijih logam (Lübeck *et al.*, 2012). Pengolahan dan pemanfaatan kembali terak menjadi topik menarik untuk diteliti dan dibahas karena terak memiliki potensi untuk didaur ulang atau dimanfaatkan kembali sebagai bahan baku sekunder di beberapa sektor, seperti dalam industri konstruksi (Ashad & Gunawan, 2022). Selain itu, jika terak hanya dibuang atau ditimbun, akan memiliki dampak negatif pada lingkungan. Hal ini sesuai dengan Peraturan Pemerintah (PP) No. 101 tahun 2014, yang mengatur Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, 2014). Dalam peraturan tersebut, terak yang mengandung fosfor dari proses dengan teknologi *electric furnace* diklasifikasikan sebagai limbah berbahaya kategori 2. Oleh karena itu, pengolahan dan pemanfaatan terak yang baik dan benar dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Kim *et al.*, 2017).

Limbah dari ekstraksi *Blast Furnace Nickel Pig Iron* (NPI) adalah Terak NPI. Terak NPI yang sudah mengalami pembakaran memiliki unsur kapur, silika, dan alumina yang memiliki komposisi kimia tidak berbeda dengan bahan mineral alami termasuk bahan hidrasi seperti semen (Li *et al.*, 2022). Akibatnya, penggantian 50% terak dengan semen Portland dalam beton mungkin menyebabkan penurunan sekitar 0,5 ton CO₂ (Zhao *et al.*, 2015). Ketika tingkat penggantian semen naik 30%, maka tegangan luluh akan meningkat, tetapi terjadi penurunan viskositas plastis (Adjoudj *et al.*, 2014). Menurut Kovac *et al.* (2018), terak dapat meningkatkan ketahanan abrasi, mengurangi air, ion klorida, dan permeabilitas gas. Dalam beberapa penelitian yang dilakukan oleh Huang *et al.*, (2013); Tang *et al.*, (2013); Siddique, (2014), keretakan beton lebih banyak terjadi pada beton tanpa terak daripada beton dengan terak. Siddique (2014), menyatakan bahwa beton dengan terak biasanya lebih rentan terhadap serangan magnesium sulfat daripada natrium sulfat.

Menurut Nonat *et al.* (2014), komposisi silika yang cukup besar pada terak nikel, diharapkan proses hidrasi yang terjadi antara air dan semen mampu mengikat agregat yang lebih sempurna, sehingga keretakan pada beton tidak terjadi. Menurut penelitian dari Zhao *et al.* (2015), semen terak 40% memiliki nilai kuat tekan paling tinggi daripada semen terak pada percampuran lainnya. Lee & Yoon (2015), melakukan penelitian selama 6 tahun dan mendapatkan hasil bahwa penambahan terak hingga 70% memiliki kuat tekan tetap lebih tinggi daripada tanpa terak. Chen *et al.* (2012), menyatakan bahwa difusi klorida beton dengan terak jauh lebih rendah daripada beton tanpa terak. Oleh sebab itu, perlu pengolahan lebih lanjut untuk terak nikel. Terak yang dihasilkan harus diolah dan dikelola dengan baik dan benar. Hasil dari analisis ini diharapkan memberikan solusi berkaitan dengan masalah pengelolaan limbah terak nikel.

1.2 Tujuan Penelitian

Polusi udara akibat sektor transportasi diperkirakan Penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis persentase optimal dari substitusi semen, terak, dan zeolit terhadap kuat

tekan dan penetrasi ion klorida, sehingga mampu menghasilkan formulasi semen berbasis terak dan zeolit yang memenuhi persyaratan ASTM agar dapat dimanfaatkan dalam bidang konstruksi bangunan maupun jembatan.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Percobaan dimulai dengan melakukan *mix design* dari terak NPI PT. Indoferro, Semen PT. Holcim Indonesia, dan zeolit dari Klaten, Jawa Tengah. Sampel yang sudah memenuhi waktu *curing* lalu dilakukan pengujian kuat tekan. Hasil tertinggi dari uji kuat tekan lalu dilanjutkan dengan uji penetrasi ion klorida. Peralatan yang digunakan adalah *X-ray fluorescence* dengan merek RIGAKU yang digunakan untuk analisis kuat tekan dan *Salt Tester* yang digunakan untuk analisis ion klorida.

2.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah kuantitatif eksperimental. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui akibat dari perlakuan yang diberikan terhadap suatu hal yang sedang diteliti (Keskinilic, 2019). Pembuatan sampel dimulai dengan mencampur bahan dan semen selama 90-120 detik, diikuti dengan menuangkan larutan air. Proses pencampuran berlanjut sampai campuran tersebut dihomogenkan dengan cukup. Jumlah masing-masing campuran yang digunakan cukup untuk mentransmisikan spesimen. Silinder yang digunakan adalah paralon yang dipotong dengan dimensi tinggi 100 mm dan diameter 50 mm. Setelah itu, semua spesimen ditutupi dengan kain basah selama satu malam. Selanjutnya, hari berikutnya spesimen dikeluarkan dari cetakan dan ditempatkan dalam kondisi kering sampai saat pengujian. Dalam penelitian ini, dua seri campuran dibuat, yaitu semen dan terak. Percobaan dirancang untuk mengevaluasi kinerja campuran yang terbaik dengan uji kekuatan terhadap tekanan dan ketahanan terhadap ion klorida. Variabel eksperimental mencakup *curing time*, jumlah terak dalam campuran, dan ada tidaknya campuran zeolit dalam sampel.

Waktu *curing* adalah 3, 7, 28, dan 56 hari (Adiwijaya *et al.*, 2017). Setelah waktu *curing* cukup, maka uji kekuatan terhadap tekanan dapat dilakukan menurut *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens 1* (ASTM, 1999), mengenai *standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens*. Hasil terbaik akan dilakukan uji ketahanan terhadap ion klorida dengan jenis kondisi yang berbeda menurut *Designation_C1152_C1152M_04_Reapproved_2* (ASTM, 2004) mengenai *standard test method for acid-soluble chloride in mortar and concrete*. Selanjutnya, dilakukan penelitian pada dua jenis kondisi, yaitu sampel yang direndam di air laut dan sampel yang terkena paparan atmosfer air laut untuk mengetahui ketahanan terhadap ion klorida.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Serbuk terak yang digunakan dalam percobaan bukan berasal dari bahan tambang, tetapi merupakan hasil dari bahan yang sudah dilakukan pembakaran di dalam *Blast*

Furnace. Serbuk terak yang dihasilkan lalu dilakukan substitusi bersama dengan semen untuk menjadikan pasta semen terak dengan kuat tekan yang tinggi dan penetrasi ion klorida yang rendah.

Komposisi senyawa yang terkandung pada terak akan berpengaruh terhadap sifat pasta semen. Dengan membandingkan komposisi senyawa pada terak, semen, dan zeolit, maka dapat diketahui peran terak dan zeolit terhadap substitusi semen. Data XRF pada Tabel 1 menjelaskan kandungan senyawa terak, zeolit, dan semen. Kandungan senyawa pada terak dan zeolit memiliki persamaan dengan senyawa yang ada dalam kandungan semen, hanya saja besarnya persentase komposisi pada masing-masing senyawa tersebut berbeda. Senyawa SiO₂ pada terak dan zeolit memiliki persentase komposisi tinggi. Senyawa SiO₂ tersebut berperan untuk meningkatkan kekuatan pada pasta semen. Dari data tersebut, dapat diketahui juga bahwa kuat tekan pasta semen terak tanpa zeolit lebih kecil daripada pasta semen terak dengan zeolit, dikarenakan zeolit memiliki SiO₂ yang sangat tinggi.

Sementara itu, komposisi komponen pada terak dan zeolit memiliki kadar CaO yang lebih rendah dibandingkan CaO pada semen. Komponen CaO berpengaruh terhadap panas hidrasi untuk membentuk senyawa C-S-H. Dengan kadar CaO yang rendah pada zeolit dan terak, maka dapat menurunkan panas hidrasi yang terjadi, sehingga dibutuhkan pengerasan dalam waktu yang lama. Senyawa pada CaO dan Al₂O₃ merupakan senyawa penyusun *ettringite* (3CaO.Al₂O₃.CaSO₄.12H₂O) yang berperan untuk menurunkan panas akibat reaksi hidrasi agar tidak terjadi retakan pada pasta semen. Selanjutnya, untuk senyawa Fe₂O₃

pada terak, semen, dan zeolit memiliki komposisi yang hampir sama. Senyawa tersebut membentuk senyawa C4AF (*Tetracalcium aluminoferrite*) yang juga berperan untuk memperlambat proses hidrasi, sehingga tidak terjadi retakan pada pasta semen.

Menurut Syafpoetri *et al.* (2013), senyawa MgO yang berlebihan menyebabkan semen mudah retak dan kuat tekan rendah. Pada kenyataannya, terak memiliki nilai senyawa MgO yang lebih tinggi daripada semen dan zeolit, tetapi senyawa MgO dapat dikendalikan apabila senyawa tersebut diikat oleh silika, sehingga keretakan dan kuat tekan rendah tidak terjadi.

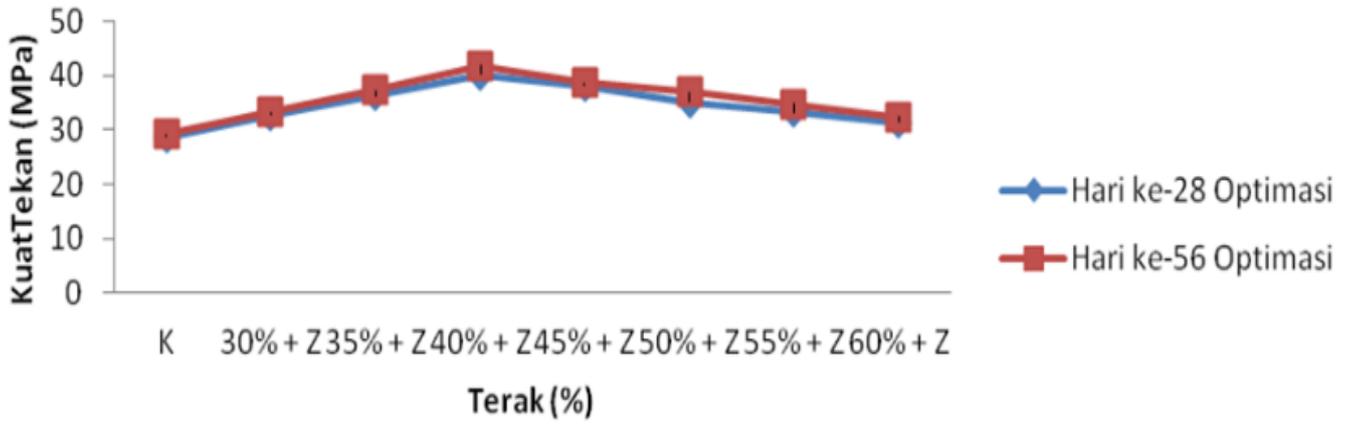
Pengujian kuat tekan pasta dilakukan dengan dua tahap, yaitu sebelum optimasi dan dengan optimasi. Pengujian pada tahap sebelum optimasi terbagi menjadi empat kali pencampuran, yaitu 15%, 30%, 45%, dan 60% terak. Setelah mendapatkan hasil kuat tekan dari pengujian tersebut, lalu dilakukan optimasi dengan pencampuran 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, dan 60% terak. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Özbay *et al.* (2016), disimpulkan bahwa penambahan zeolit sebesar 10% berhasil meningkatkan kekuatan pada semen. Selain itu, pengujian ini juga dilakukan dalam empat tahap, yaitu pada umur 3, 7, 28, dan 56 hari. Pasta dibuat sebanyak 3 benda uji untuk setiap umur dan variasi zeolit alam yang diberikan. Hasil rekapitulasi pengujian kuat tekan pasta pada Tabel 2, menyatakan bahwa nilai tertinggi ada pada pencampuran lebih dari 30% terak dengan zeolit 10%. Oleh karena itu, penelitian ini dilanjutkan dengan optimalisasi pencampuran 30%, 35%, 40%, 45%, 50%, 55%, dan 60% terak dengan zeolit 10%.

Tabel 1. Komposisi kimia komponen

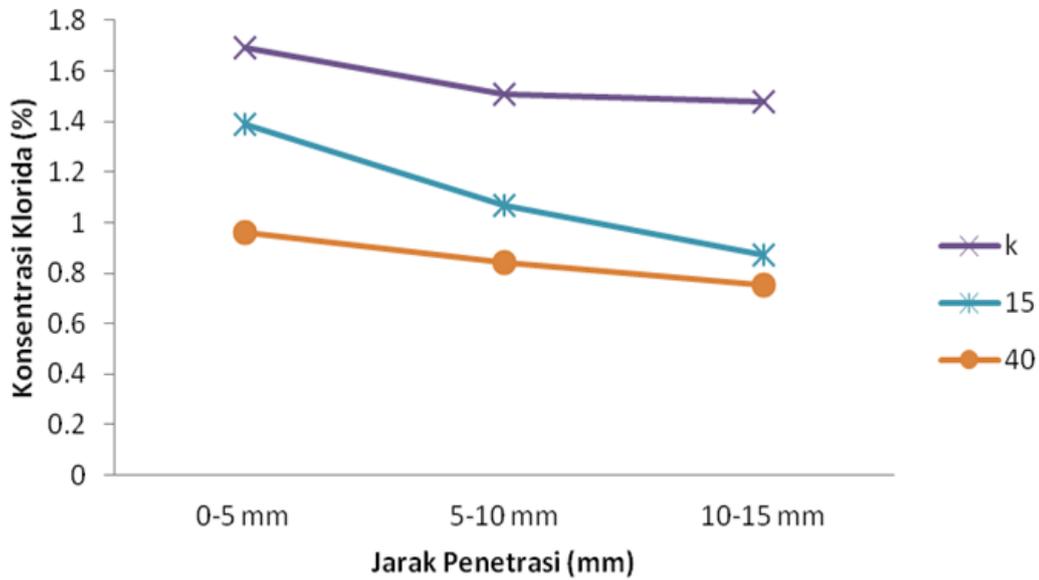
No.	Komponen (%)	Semen PT. Holcim Indonesia	Terak NPI	Zeolit Klaten
1	SiO ₂	21,4	42,3	70,8
2	CaO	63,56	28,1	2,48
3	Al ₂ O ₃	6,75	8,4	15,7
4	MgO	2,52	16,8	2,04
5	Fe ₂ O ₃	2,98	3,6	3,29
6	Lainnya	2,79	0,8	5,69

Tabel 2. Rekapitulasi pengujian kuat tekan pasta

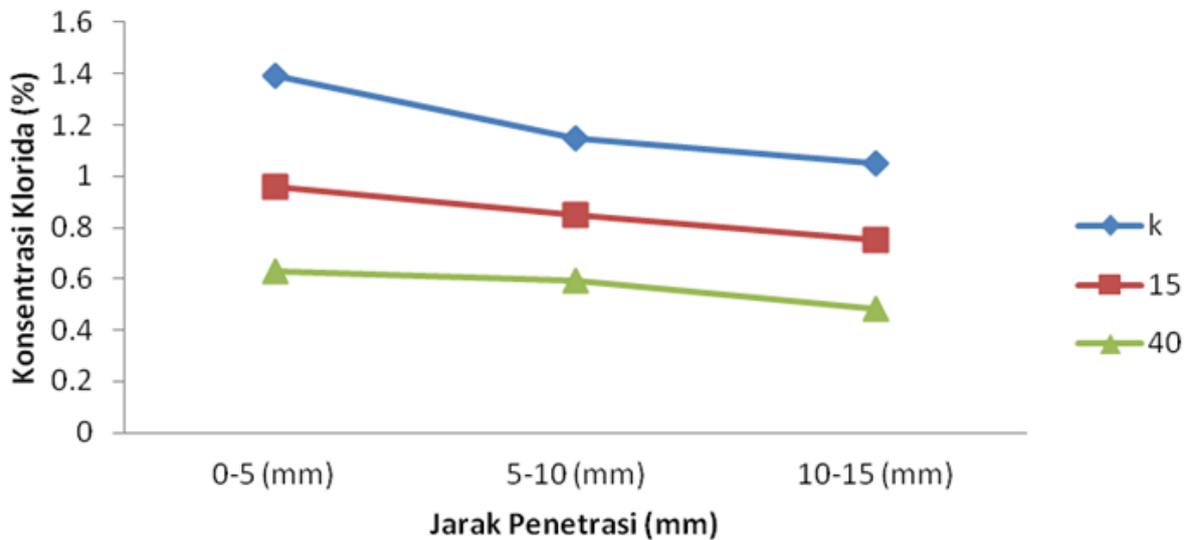
Umur Sampel	Pencampuran	Tanpa Zeolit	Dengan Zeolit 10%
3	15%	17,1662	18,7122
	30%	17,8109	20,3084
	45%	18,5826	20,7845
	60%	15,7816	16,3205
7	15%	22,1463	22,8064
	30%	22,3601	25,4103
	45%	24,0031	27,4984
	60%	20,4503	24,5355
28	15%	29,2665	31,4976
	30%	30,8609	32,7099
	45%	34,2877	38,1216
	60%	28,7598	31,4621
56	15%	31,1285	32,6907
	30%	32,2161	33,2471
	45%	34,8433	38,644
	60%	30,4635	32,3469



Gambar 1. Kuat tekan pasta terak dan zeolit



Gambar 2. Konsentrasi Cl perlakuan masuk air laut



Gambar 3. Konsentrasi Cl perlakuan dekat air laut

Hasil rekapitulasi pengujian kuat tekan pasta optimalisasi disajikan pada grafik uji tekan umur 28 hari dan 56 hari pada Gambar 1 dengan hasil kuat tekan tertinggi sebesar 40,1 MPa dan persentase 40% terak dengan 10% zeolit. Dilihat dari hasil pada Tabel 2, zeolit memiliki peran cukup penting untuk meningkatkan nilai dari kuat tekan suatu pasta. Selanjutnya, pada pasta semen NPI dilakukan perbandingan dengan pasta semen kontrol untuk membandingkan nilai klorida yang masuk ke dalam pasta. Klorida yang diteliti ada pada semen substitusi terak 15%, zeolit 10%, semen substitusi terak 40% zeolit 10%, dan semen 100% (semen kontrol). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa klorida substitusi terak 40% dan zeolit 10% memiliki konsentrasi klorida lebih kecil dari konsentrasi klorida kontrol, baik itu perlakuan pada air laut ataupun perlakuan dekat dengan air laut (Gambar 2 dan 3). Dengan demikian, dapat dikatakan jika substitusi dari semen dan terak memiliki ketahanan laut lebih baik daripada semen kontrol. Selain itu, penambahan terak terbukti dapat menurunkan penetrasi ion klorin (Cl⁻), sehingga semen substitusi atau campuran beton dengan terak sangat cocok untuk digunakan pada lokasi yang dekat atau terpapar air laut.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penggunaan substitusi pasta yang memiliki kuat tekan tertinggi yaitu dengan menyubstitusi 40% terak dan 10% zeolit, yang mampu memiliki kuat tekan sebesar 40,1 MPa. Selain itu, semen yang disubstitusi dengan terak akan tahan terhadap air laut yang lebih baik daripada semen pada umumnya sebesar 0,96% dan 1,39%.

PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan atas dana riset yang diberikan, UPN Yogyakarta, ITB Bandung, Prof. Syoni atas dukungan ilmunya, dan keluarga atas doa-doanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwijaya, Hamada, H., Sagawa, Y., & Yamamoto, D. (2017). *Influence of seawater mixing and curing on strength characteristics and porosity of ground granulated blast-furnace slag concrete*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 271(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/271/1/012070>
- Adjoudj, M., Ezziane, K., Kadri, E. H., Ngo, T. T., & Kaci, A. (2014). *Evaluation of rheological parameters of mortar containing various amounts of mineral addition with polycarboxylate superplasticizer*. *Construction and Building Materials*, 70, 549–559. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.111>
- Ashad, H., & Gunawan, A. B. (2022). *Penggunaan Terak Nikel Sebagai Bahan Alternatif Pengganti Agregat Kasar Beton Mutu Tinggi*. *Jurnal Teknik Sipil*, 29(3). <https://doi.org/10.5614/jts.2022.29.3.7>
- ASTM C1218/C1218M-20.2020. *Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete*. USA: Annual Books of ASTM Standards.
- ASTM C39/C39M. 2023. *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. USA: Annual Books of ASTM Standards.
- Chen, H. J., Huang, S. S., Tang, C. W., Malek, M. A., & Ean, L. W. (2012). *Effect of curing environments on strength, porosity and chloride ingress resistance of blast furnace slag cement concretes: A construction site study*. *Construction and Building Materials*, 35, 1063–1070. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.052>
- Huang, D., Chen, S. H., & Mon, H. H. (2013). *The preliminary study on Re-utilization of Ferrous-Nickel slag to replace conventional construction material for road construction (Sub-grade layer improvement)*. *Advanced Materials Research*, 723, 694–702. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.723.694>
- Keskinilic, E. (2019). *Nickel laterite smelting processes and some examples of recent possible modifications to the conventional route*. In *Metals* (Vol. 9, Issue 9). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/met9090974>
- Kim, J., Na, S., Zhang, W., Sagawa, T., & Hama, Y. (2017). *Effect of limestone powder and gypsum on the compressive strength mixture design of blast furnace slag blended cement mortar*. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 15(2), 67–80. <https://doi.org/10.3151/jact.15.67>
- Kovac, M., Sicakova, A., & Spak, M. (2018). *Testing the Supplementary Cementitious Material Based on GGBFS and Zeolite for Prediction of the Activity Index*. 1287. <https://doi.org/10.3390/proceedings2201287>
- Lee, J. H., & Yoon, Y. S. (2015). *The effects of cementitious materials on the mechanical and durability performance of high-strength concrete*. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 19(5), 1396–1404. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0658-0>
- Li, Y., Lv, M., Li, R., & Liu, Z. (2022). *Life cycle assessment of melting reduction treatment for iron and steel waste slag: A case study in Tangshan, China*. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200108>
- Lübeck, A., Gastaldini, A. L. G., Barin, D. S., & Siqueira, H. C. (2012). *Compressive strength and electrical properties of concrete with white Portland cement and blast-furnace slag*. *Cement and Concrete Composites*, 34(3), 392–399. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.11.017>
- Nonat, A., Stephant, S., Chomat, L., & Nonat, A. (2014). *Study of the hydration of cement with high slag content* (Vol. 189). <https://www.researchgate.net/publication/280740599>
- Özbay, E., Erdemir, M., & Durmuş, H. I. (2016). *Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties - A review*. In *Construction and Building Materials* (Vol. 105, pp. 423–434). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.153>
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia (2014). *Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Diundangkan di Jakarta, 17 Oktober 2014.
- Siddique, R. (2014). *Utilization (recycling) of iron and steel industry by-product (GGBS) in concrete: Strength and durability properties*. In *Journal of Material Cycles and Waste Management* (Vol. 16, Issue 3, pp. 460–467).

- Springer-Verlag Tokyo.
<https://doi.org/10.1007/s10163-013-0206-x>
- Syafpoetri, N. A., Olivia, M., Darmayanti, L., Jurusan, M., Sipil, T., & Jurusan, D. (2013). Pemanfaatan Abu Kulit Kerang (Anadara Grandis) Untuk Pembuatan Ekosemen.
<http://repository.unri.ac.id:80/handle/123456789/2014>
- Tang, K., Millard, S., & Beattie, G. (2013). *Technical and economic aspects of using GGBFS for crack control mitigation in long span reinforced concrete structures*. *Construction and Building Materials*, 39, 65–70.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.05.012>
- Zhao, H., Sun, W., Wu, X., & Gao, B. (2015). *The properties of the self-compacting concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag mineral admixtures*. *Journal of Cleaner Production*, 95, 66–74.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.050>