



Jurnal Teknologi Lingkungan

e-ISSN: 2548-6101 p-ISSN: 1411-318X
ejournal.brin.go.id/JTL

Tangerang Selatan, 2 Mei 2024

Nomor : B-48/JTL/BRIN/05/2024
Perihal : Penerbitan Naskah

Kepada Yth.
Ibu Yasmina Amalia
Program Studi Teknik Metalurgi
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Di
Tempat

Dengan hormat,

Bersama ini kami sampaikan informasi bahwa naskah Bapak / Ibu dengan judul :
"Pemanfaatan Serbuk Terak Nickel Pig Iron untuk Aplikasi Material Struktural", dinyatakan
telah diterima dan diproyeksikan untuk masuk pada terbitan Jurnal Teknologi Lingkungan
Edisi 25.2 Juli 2024, yang nantinya dapat diunduh pada laman baru kami di :
<https://ejournal.brin.go.id/JTL>.

Untuk mendukung kebutuhan pengelolaan jurnal, disampaikan bahwa setiap naskah akan
dikenakan biaya penerbitan sebesar Rp.1.000.000,- (satu juta rupiah) dan mohon dikirim ke
rekening **BRI 176001001129503 a.n Iif Miftahul Ihsan. Konfirmasi bukti transfer dapat
menghubungi nomor 0815 8926 594 / 088 10 100 41900**. Kami sangat berharap biaya
penerbitan ini dapat kami terima selambat-lambatnya tanggal 9 Mei 2024.

Demikian pemberitahuan ini disampaikan, atas perhatian dan kerjasama Bapak / Ibu kami
ucapkan terima kasih.

Jurnal Teknologi Lingkungan
Ketua Dewan Editor,



Dr. Joko Prayitno Susanto, M.Eng.



Sekretariat:
Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih
Organisasi Riset Hayati dan Lingkungan
Badan Riset dan Inovasi Nasional
Gedung 820 Geosystem Technology (Geotech),
Kawasan KST B. J. Habibie (ex-Puspipetek)
Tangerang Selatan 15314,
Narahubung: jtl@brin.go.id; +62 881 0100 41900



Dokumen ini ditandatangani
secara elektronik menggunakan
sertifikat dari BSrE, silahkan
lakukan verifikasi pada dokumen
elektronik yang dapat diunduh
dengan melakukan scan QR Code

Pemanfaatan Serbuk *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

ABSTRACT

Every year, the amount of waste from the nickel pig iron ore smelting process in the form of slag continues to increase. Slag will have a negative impact on the environment when not properly treated. This research aims to analyze the optimal percentage of cement substitution with slag and zeolite concerning compressive strength and chloride ion penetration, resulting in a cement formulation based on slag and zeolite that meets ASTM requirements for utilization in the construction of buildings and bridges. The method used in this research is quantitative experimental. The research involves making a paste from a mixture of Nickel Pig Iron (NPI) slag from PT. Indoferro to be used as a substitute in cement paste production. The materials used in this research are cement, nickel slag, water, and zeolite. Cement paste is made with dimensions of 10 cm x 5 cm, with each slag used as a reinforcement in the paste by mixing slag and zeolite. Each material is weighed according to the mixture design and then mixed after homogenization; the material is placed into molds and allowed to set and harden for 2 hours; after 2 hours it is removed from the mold and then cured at room temperature. Based on the conducted research, the highest compressive strength is achieved by using 40% slag and 10% zeolite as a mixture, which results in a compressive strength of 40.1 MPa. Furthermore, the substituted cement paste has better resistance to the marine environment compared to the control paste, with a lower chloride content than the control paste, which is 0.96% and 1.39%, respectively.

Keywords: *Nickel Pig Iron (NPI), slag, zeolite, compressive strength, chloride ion*

ABSTRAK

Jumlah limbah dari proses peleburan bijih nikel *pig iron* dalam bentuk terak semakin bertambah setiap tahunnya. Terak akan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan ketika tidak dapat diolah dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis persentase optimal dari substitusi semen, terak, dan zeolite 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. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah kuantitatif eksperimental. Penelitian ini melakukan pembuatan pasta dari campuran terak *Nickel Pig Iron* (NPI) dari PT. Indoferro untuk digunakan sebagai substitusi dalam produksi pasta semen. Bahan yang digunakan adalah semen, terak nikel, air, dan zeolit. Pasta semen dibuat dengan dimensi 10 cm x 5 cm dengan masing-masing terak digunakan sebagai penguat pada pasta dengan pencampuran terak dan zeolit. Masing-masing bahan ditimbang sesuai desain campuran lalu bahan dicampur setelah dihomogenkan. Selanjutnya, bahan dimasukkan ke dalam cetakan dan dibiarkan selama 2 jam sampai campuran memadat dan mengeras. Setelah melewati dua jam dalam proses pencetakan, sampel tersebut kemudian dikeluarkan dari cetakan dan disimpan pada suhu kamar. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penggunaan substitusi pasta yang memiliki kuat tekan tertinggi yaitu dengan pencampuran 40% terak dan 10% zeolit yang mampu memiliki kuat tekan 40,1 MPa. Selain itu, pasta semen substitusi memiliki ketahanan terhadap lingkungan laut yang lebih baik daripada pasta kontrol. Jumlah klorida pada pasta semen substitusi lebih kecil daripada pasta kontrol, yaitu 0,96% dan 1,39%.

Kata kunci: *Nickel Pig Iron, terak, zeolit, kuat tekan, ion klorida*

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. Dengan dasar tersebut, maka perlu penanganan yang lebih serius terhadap terak. Terak yang dihasilkan harus ditangani atau dimanfaatkan dengan benar karena dapat berpotensi menimbulkan masalah lingkungan, tetapi juga bisa sangat bermanfaat apabila dikelola dengan baik dan benar. Hasil dari analisis ini diharapkan dapat memberikan solusi terhadap beberapa masalah yang dihadapi berkaitan dengan masalah pengelolaan limbah metalurgi. Pemahaman tersebut sangat bermanfaat untuk keilmuan maupun industri semen di Indonesia termasuk kaitannya dengan aspek lingkungan. Dari permasalahan tersebut, maka penelitian ini berfokus membahas tentang substitusi bahan semen dengan terak *nikel pig iron* dan penambahan zeolit sebagai substitusi pasta semen yang fungsinya mampu menggantikan peran semen pada umumnya.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah 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 (XRF)* RIGAKU - NEX QC+QuanTEZ. XRF digunakan untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung di dalamnya. *Compression Testing Machine* (CTM) dengan merk ELE digunakan untuk analisis kuat tekan, lalu SaltTester 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 (Keskinkilic,

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 SiO_2 pada terak dan zeolit memiliki persentase komposisi tinggi. Senyawa SiO_2 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 SiO_2 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 Al_2O_3 merupakan senyawa penyusun *ettringite* ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) yang berperan untuk menurunkan panas akibat reaksi hidrasi agar tidak terjadi retakan pada pasta semen. Selanjutnya, untuk senyawa Fe_2O_3 pada terak, semen, dan zeolit memiliki komposisi yang hampir sama. Senyawa tersebut membentuk senyawa C_4AF (Tetrakalsium Alumino Ferrit) yang juga berperan untuk memperlambat proses hidrasi, sehingga tidak terjadi retakan pada pasta semen.

Menurut Syafoetri 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 percampuran, 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%.

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 bahwa pasta semen substitusi memiliki ketahanan terhadap lingkungan laut lebih baik daripada pasta 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 pencampuran 40% terak dan 10% zeolite, yang mampu memiliki kuat tekan sebesar 40,1 MPa. Selain itu, pasta semen substitusi memiliki ketahanan terhadap *Marine Environment* yang lebih baik daripada pasta kontrol dengan jumlah klorida yang lebih kecil daripada pasta kontrol, yaitu 0,96% dan 1,39%.

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. 1999. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens 1. ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. p. 5.
- ASTM. 2004. Designation: C 1152/C 1152M – 04: Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. p. 2.
- 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>
- Keskinkilic, 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>
- Syafoetri, 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>

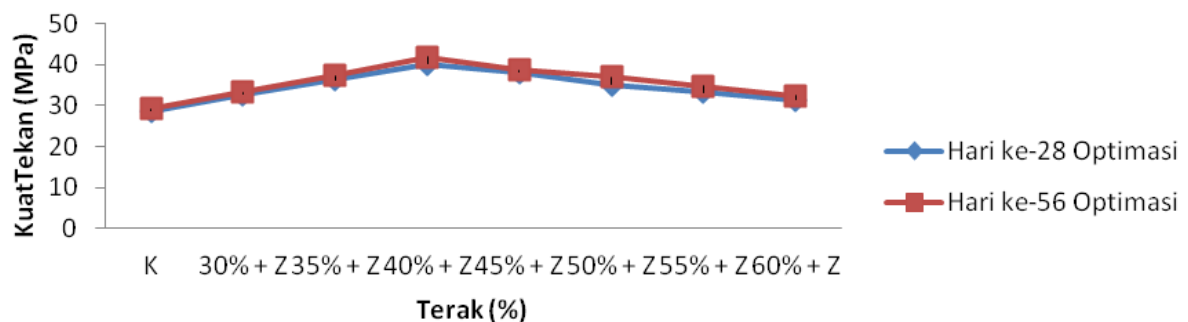
LAMPIRAN GAMBAR DAN TABEL

Tabel 1. Komposisi kimia komponen

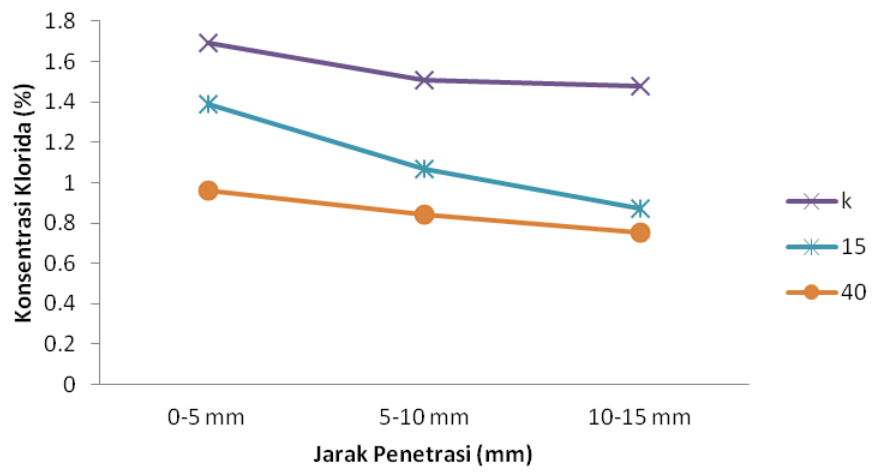
No	Komponen (%)	Semen	Terak	Zeolit
1	Silicone dioxide (SiO ₂)	21,4	42,3	70,8
2	Calcium oxide (CaO)	63,56	28,1	2,48
3	Aluminium trioxide (Al ₂ O ₃)	6,75	8,4	15,7
4	Magnesium oxide (MgO)	2,52	16,8	2,04
5	Iron trioxide (Fe ₂ O ₃)	2,98	3,6	3,29
6	Lain-lain	2,79	0,8	5,69

Tabel 2. Rekapitulasi pengujian kuat tekan pasta

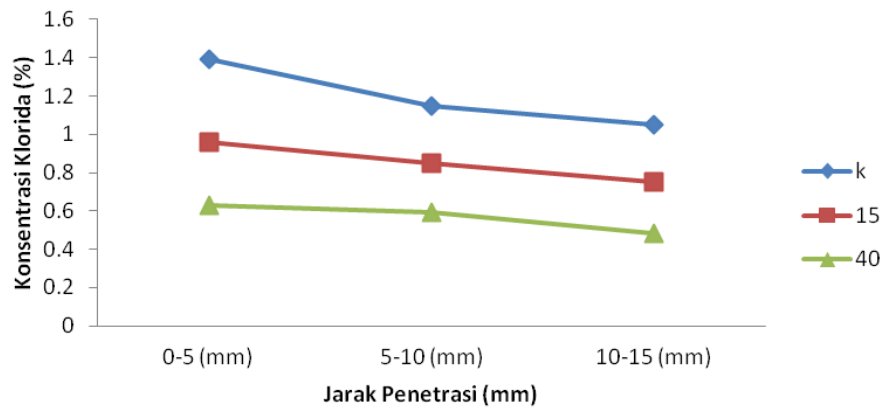
Umur Sampel	Percampuran	Tanpa Zeolit	Dengan Zeolit 10%
3	15%	17.1662	18.7122
	30%	17.8109	20.3084
	45%	18.5826	20.7845
	60%	15.7816	16.3205
7	15%	22.1463	22.8064
	30%	22.3601	25.4103
	45%	24.0031	27.4984
	60%	20.4503	24.5355
28	15%	29.2665	31.4976
	30%	30.8609	32.7099
	45%	34.2877	38.1216
	60%	28.7598	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