

## Pemanfaatan *Sludge Smelter* Nikel Sebagai Material Dasar Pembuatan *Paving Block*

Yusup Hi Sergi<sup>1</sup>, Mufti Amir Sultan\*<sup>2</sup>, Muhammad Amin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Khairun

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Khairun

<sup>3</sup> Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,

Universitas Khairun

Jl. Jusuf Abdulrahman Kelurahan Gambesi Kota Ternate

Submitted : 28, September, 2023;

Accepted: 06, April, 2024

### Abstrak

*Smelting* atau peleburan adalah proses mengekstraksi bijih logam murni dari dalam tanah. Dengan kata lain, ini adalah proses pemisahan logam murni dari bijih yang mengandungnya. Untuk mengekstraksi logam, bijih dipanaskan hingga suhu tinggi (di atas titik lelehnya). Untuk proses ini digunakan *smelter* yang dalam prosesnya akan menghasilkan limbah cair dan limbah padat (*sludge*). *Sludge* tersebut biasanya digunakan sebagai penutup lubang bekas tambang. *Sludge* digunakan sebagai material dasar pembentuk *paving block* untuk mengurangi limbah dan peningkatan nilai ekonomis. Pada penelitian ini *sludge* atau lumpur digunakan sebagai pengganti pasir pada produksi *paving block*. Kadar *sludge* yang digunakan adalah 10%, 25% dan 50% menggantikan volume pasir, *paving block* tanpa *sludge* sebagai benda uji kontrol. Untuk mengetahui mutu *paving block* yang dihasilkan dilakukan pengujian kuat tekan dan penyerapan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *paving block* dengan kadar 10% menghasilkan *paving block* mutu B, pada kadar 25% dan 50% menghasilkan *paving block* mutu C.

**Kata Kunci :** kuat tekan; nikel; *paving block*; penyerapan; *sludge*

### Abstract

*Smelting is the process of extracting pure metal ore mined from the earth. In other words, it is the process of separating pure metals from the ores that contain them. For the metals to separate, the ore is heated to a high temperature (above its melting point). For this process, a smelter is used, which in the process will produce liquid waste and solid waste (sludge). The sludge is usually used as a cover for ex-mining holes. Sludge is used as a basic material for forming paving blocks to reduce waste and increase economic value. This research uses sludge as a substitute for sand in making paving blocks. The sludge content used was 10%, 25% and 50% to replace the volume of sand paving blocks without sludge as control test objects. The results showed that paving blocks with a*

*content of 10% produced paving blocks of quality B, and at levels of 25% and 50%, they made paving blocks of quality C.*

**Keywords :** *compressive strength; nickel; paving block; absorption; sludge*

## A. PENDAHULUAN

Industri pertambangan dan industri pengolahan nikel (peleburan) mempunyai pengaruh terhadap perkembangan perekonomian nasional baik secara langsung maupun tidak langsung. Manfaat yang dapat diraih adalah peningkatan devisa negara, lapangan kerja dan perkembangan ekonomi lainnya terkait penambangan bijih nikel. Hal ini menyebabkan peningkatan eksplorasi dan produksi nikel untuk memenuhi kebutuhan manusia. Selain produksi produk yang bernilai tambah, limbah baik limbah padat maupun cair juga dihasilkan selama kegiatan dilakukan.

Limbah industri pertambangan merupakan salah satu permasalahan bagi industri pertambangan yang dapat merugikan lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Pengelolaan limbah industri pertambangan cenderung menggunakan pendekatan reaktif dengan mengolah limbah untuk memenuhi baku mutu lingkungan dan peraturan perundang-undangan. Pengolahan limbah memerlukan biaya yang besar dan tidak menyelesaikan masalah limbah. Air limbah industri pertambangan yang mengandung bahan pencemar diolah secara fisik, kimia, dan biologis sehingga limbahnya memenuhi baku mutu lingkungan. Produk sampingan padat menjadi masalah lebih lanjut dan masih memerlukan pengelolaan yang tepat.

*Sludge* atau lumpur instalasi pengolahan air limbah yang dihasilkan pada saat produksi nikel merupakan limbah yang dihasilkan pada industri nikel. Limbah yang dihasilkan berupa pasir, air dan lumpur serta fraksi

hidrokarbon berat yang tidak dapat dikembalikan ke proses. *Sludge* IPAL termasuk limbah B3 dengan kode limbah A315-1 dan B315-2 yang pengelolaannya mengacu ke PP 101 tahun 2014 tentang limbah B3.

Pendekatan pengelolaan limbah proaktif memberikan manfaat finansial serta manfaat positif bagi lingkungan dengan memanfaatkan sampah menjadi produk. Maraves mengulas berbagai jenis limbah industri dan pertanian yang ditambahkan bahan baku dalam berbagai komposisi hingga menjadi produk batu bata penghasil limbah dengan tujuan konstruksi berkelanjutan (Maraveas, 2020). Kajian mengenai potensi daur ulang dan pemanfaatan sampah untuk menghasilkan bahan konstruksi dilakukan oleh Safiuddin, dkk., 2010; Zalaya, dkk., (2019) dengan penerapan langsung pada konstruksi. Daur ulang limbah padat untuk konstruksi berkelanjutan diselidiki oleh para peneliti (Safiuddin, dkk., 2010; Zalaya, dkk., 2019).

Sejak 18 Oktober 2022 Harita Nickel meresmikan pabrik PT. HJF unit bisnis *smelter* feronikel. PT. HJF menargetkan produksi feronikel sebesar 780.000 ton per tahun dan smelter feronikel ditargetkan mencapai kapasitas penuh pada tahun 2023 (Stevi Thomas, *Head of External Relations Harita Nickel*). Seiring dengan peningkatan produksi feronikel, semakin banyak lumpur atau *sludge* yang dihasilkan, maka dapat menyebabkan tumpukan lumpur atau *sludge* menumpuk. Untuk

menghindari penumpukan lumpur atau *sludge* yang terus menerus, maka dipandang perlu untuk mencari alternatif pembuangan lumpur atau *sludge* IPAL.

Para pengambil keputusan di bidang politik, ekonomi, dan sektor sosial kini secara serius menawarkan lebih banyak hal memperhatikan permasalahan lingkungan hidup. Oleh karena itu, perubahan mengenai konservasi sumber daya dan daur ulang limbah dengan pengelolaan yang tepat terus diteliti, dengan harapan dapat menggunakan kembali limbah dalam lingkungan dan cara yang berkelanjutan. Pemanfaatan limbah padat dari berbagai industri untuk penggunaan pada bahan konstruksi adalah salah satu upaya inovatif tersebut.

Harga bahan bangunan semakin meningkat dari hari ke hari karena tingginya permintaan, kelangkaan bahan baku, dan tingginya harga energi. Saat ini bahan bangunan semen seperti *paving block* banyak digunakan di berbagai tempat seperti trotoar, tempat parkir, trotoar, tempat parkir dan jalan pada kompleks perumahan. Meningkatnya kebutuhan bahan bangunan menimbulkan kebutuhan akan bahan baku lain sebagai alternatif produksi *paving block*. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh *paving block* sesuai kelas mutu yang disyaratkan dalam SNI 0691.

## **B. TINJAUAN PUSTAKA**

*Paving block* merupakan campuran material komposit yang terdiri dari bahan pengikat (biasanya campuran semen hidrolik dan air), agregat halus (biasanya pasir), dengan atau tanpa bahan tambahan. *Paving block* untuk jalan raya merupakan *paving block* dengan material agregat normal dengan berat volume 2200-2500 kg/m<sup>3</sup> (Gencel, dkk., 2012).

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang dirancang untuk lalu lintas darat. Permasalahan pada jalan saat ini adalah banjir yang disebabkan oleh hujan deras, karena jalan tradisional tidak dapat menyerap air secara maksimal, sehingga penggunaan *paving block* dapat menjadi solusi dari permasalahan yang muncul. Saat ini *paving block* sering digunakan sebagai alternatif lapisan permukaan (*surface layer*) struktur perkerasan jalan.

Perkerasan jalan *paving block* merupakan suatu susunan bahan-bahan di atas tanah yang permukaannya dibentuk oleh susunan *paving block* yang berfungsi menerima beban kendaraan dan didistribusikan di atas tanah.

Tujuan pembuatan lapisan perkerasan jalan adalah untuk mencapai suatu kekuatan tertentu sehingga mampu menahan beban lalu lintas serta mendistribusikan dan menyebarkan beban pada roda kendaraan dengan dasar yang dapat diterima.

Secara umum keuntungan penggunaan *paving block* adalah setiap *block* dapat dengan mudah diganti tanpa merusak keseluruhan struktur *paving*. Keunggulan *paving block* adalah mempunyai daya serap yang baik sehingga mampu menjaga keseimbangan air tanah. Selain kemampuannya lebih cepat menghilangkan air dari permukaan, *paving block* juga memiliki nilai estetika serta mudah dalam penerapan dan perawatannya.

Dalam prakteknya proses pembuatan *paving block* telah diteliti dengan mencari material alternatif dengan pemanfaatan limbah sebagai perekat atau pengisi *paving block* tersebut antara lain : penggunaan limbah plastik PP (*polypropylene*) yang dilelehkan

dengan metode pemanasan selanjutnya digunakan sebagai bahan perekat pengganti semen menghasilkan *paving block* mutu C (Sultan, dkk., 2020; Wanda, dkk., 2020; Yazid, dkk., 2023; Zulfi, dkk., 2021). Penggunaan limbah plastik PET (*polyethylene terephthalate*) dicacah dan digunakan sebagai bahan tambah menghasilkan *paving block* dengan mutu C (Ananda, 2022; Pirdaus & Raka, 2019), plastic PET dilelehkan sebagai bahan pengikat pengganti semen menghasilkan *eco-paving block* (Hasaya, dkk., 2021), Plastik PET dipotong dalam bentuk serat dengan panjang 5 cm pada kadar 0,5% dan *fly ash* 30% mampu menghasilkan *paving block* dengan kuat tekan 42,23% lebih besar dari *paving normal* (Sibuea & Tarigan, 2013)

Pemanfaatan limbah plastik kresek HDPE (*high density polyethylene*) sebagai *paving block* menghasilkan *paving block* mutu D yang dapat digunakan pada pedestrian taman ataupun area RTH (Ruang Terbuka Hijau) serta dapat diaplikasikan pada lintasan *jogging* (Sari & Nusa, 2019). Penelitian dengan menggunakan 100% tutup botol plastik jenis HDPE, menghasilkan *paving block* mutu B sehingga dapat digunakan sebagai pelataran parkir dan jalan dengan lalu lintas rendah (Mudjanarko, dkk., 2023). Limbah batu bara berupa abu terbang atau *fly ash* digunakan sebagai bahan tambah pada pembuatan *paving block*, persentase *fly ash* terhadap berat semen, menghasilkan *paving block* dengan mutu D (Harystama, dkk., 2020), *fly ash* digunakan sebagai bahan perekat dengan substitusi semen sampai kadar 15% menghasilkan *paving block* mutu B yang dapat digunakan untuk parkir

kendaraan (Sudjatmiko & Kholis, 2022). Pemanfaatan *bottom ash* limbah pembakaran batu bara dengan kadar kenaikan 10% sampai dengan 50% terhadap berat semen dipadukan dengan limbah kerang 2% terhadap berat semen, menghasilkan *paving block* mutu B sampai kadar 40%, pada kadar 50% diperoleh mutu D (Ghozali & Wardhono, 2018). Penggunaan *bottom ash* sebagai pengganti sebageaian pasir 10% sampai 50% terhadap volume pasir menghasilkan *paving block* mutu B sampai variasi 20%, namun setelah 30% mutu *paving block* termasuk mutu C (Togubu, dkk., 2019).

Beberapa material limbah yang juga digunakan dalam proses pembuatan *paving block* seperti limbah pabrik gula (Darwis, dkk., 2012), limbah marmer (Fauziah, dkk., 2018; Haslindah, dkk., 2020), limbah *slag* nikel (Jayakumar, P et al., 2013; Mustika et al., 2021) dan pencampuran tanah liat dengan semen (Pamungkas & Wasono, 2020).

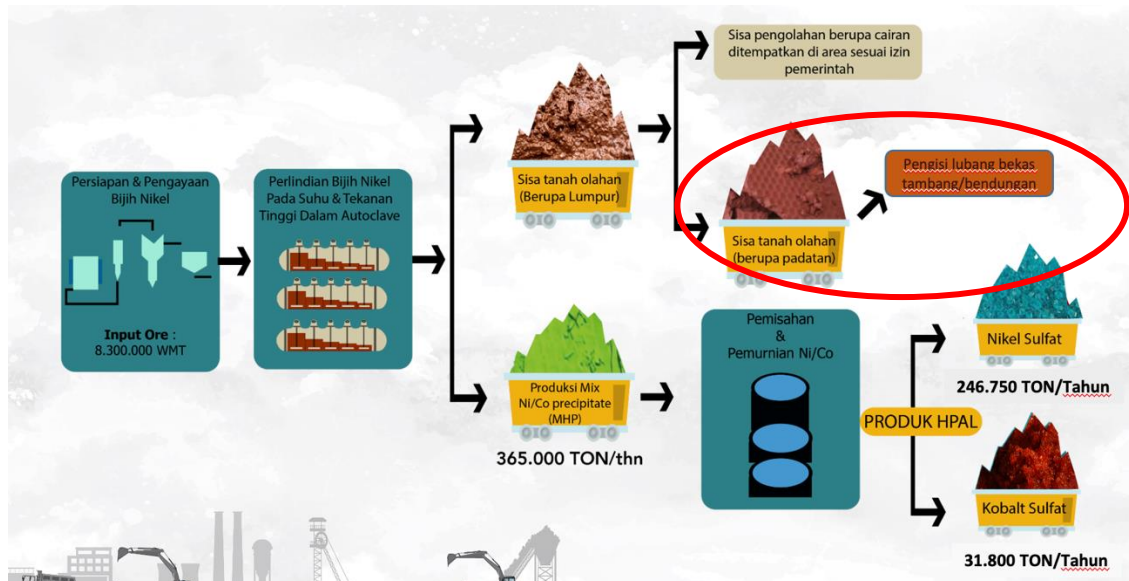
Penelitian ini menggunakan *sludge smelter* nikel sebagai material *paving block* dan digunakan sebagai bahan konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan dan penyerapan *paving block* dengan menggunakan campuran limbah *sludge smelter* nikel.

## C. METODE PENELITIAN

### 1. Material

Bahan baku yang digunakan terdiri dari pasir, semen dan limbah *smelter* nikel (*sludge*) serta air.

*Sludge* yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah hasil pengolahan *smelter* nikel seperti ditunjukkan pada gambar 1.



**Gambar 1.** *Sludge* produksi smelter nikel

*Sludge* yang diambil dari IPAL smelter masing mengandung air sekitar 30% sehingga sebelum digunakan sebagai material pembentuk *paving block* dilakukan pengeringan dengan menggunakan oven selanjutnya diayak dengan menggunakan saringan agregat halus (lolos saringan no 4), seperti ditunjukkan pada gambar 2.



**Gambar 2.** *Sludge* yang digunakan dalam penelitian

## 2. Peralatan

Cetakan benda uji mortar berbentuk kubus dengan ukuran (50×50×50) mm untuk pengujian mortar, seperti ditunjukkan pada gambar 3. Proses pembuatan sampel dikerjakan secara manual.



**Gambar 3.** Cetakan benda uji mortar

## 3. Pembuatan sampel

Perbandingan pasir dan semen adalah 1:2, pasir diganti secara parsial dengan *sludge* limbah smelter nikel 0%, 10%, 25% dan 50% terhadap volume campuran, rincian sampel ditunjukkan pada tabel 1.

**Tabel 1.** Rincian sampel

| Kode sampel      | Semen (kg/m <sup>3</sup> ) | Pasir (kg/m <sup>3</sup> ) | Sludge (kg/m <sup>3</sup> ) | Air (kg/m <sup>3</sup> ) | Jumlah sampel (buah) |
|------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------|
| MN               | 3,87                       | 7,77                       | 0,00                        | 1,94                     | 15                   |
| MS <sub>10</sub> | 3,87                       | 6,97                       | 0,77                        | 1,94                     | 15                   |
| MS <sub>25</sub> | 3,87                       | 5,81                       | 1,94                        | 1,94                     | 15                   |
| MS <sub>50</sub> | 3,87                       | 3,87                       | 3,87                        | 1,94                     | 15                   |

Keterangan:

- MN = sampel normal (100 pasir)  
 MS<sub>10</sub> = sampel 90% pasir dan 10% *sludge*  
 MS<sub>25</sub> = sampel 75% pasir dan 25% *sludge*  
 MS<sub>50</sub> = sampel 50% pasir dan 50% *sludge*

#### 4. Pengujian Sampel

Sampel diuji kuat tekan dan penyerapan setelah perawatan selama 28 hari. Digunakan alat uji tekan di laboratorium struktur dan bahan. Sampel dibebani sampai mencapai beban maksimum. Kuat tekan dihitung dengan persamaan (1) :

$$F = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

- F = Kuat tekan (MPa)  
 P = Beban tekan maksimum (N)  
 A = Luas penampang bidang tekan (mm<sup>2</sup>)

Uji penyerapan dengan menimbang sampel dalam keadaan basah, kemudian dikeringkan dalam oven dengan waktu 24 jam. Penyerapan dihitung dengan menggunakan persamaan (2):

$$P = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan :

- P = Penyerapan (%)  
 W<sub>s</sub> = Berat dalam keadaan kering oven (gram)  
 W<sub>d</sub> = Berat dalam kondisi SSD (gram)

Tabel 2 memperlihatkan klasifikasi mutu *paving block* yang mengacu ke SNI 0691.

Penggunaan *paving block* berdasarkan klasifikasi mutu adalah:

- Mutu A penggunaan untuk jalan raya
- Mutu B penggunaan untuk pelataran parkir
- Mutu C penggunaan untuk pejalan kaki
- Mutu D penggunaan untuk taman dan penggunaan lain

**Tabel 2.** Standar kelas *paving block*

| Mutu | Kuat tekan (MPa) |         | Rata-rata penyerapan air maksimum (%) |
|------|------------------|---------|---------------------------------------|
|      | Rata-rata        | Minimum |                                       |
| A    | 40               | 35      | 3                                     |
| B    | 20               | 17      | 6                                     |
| C    | 15               | 12,5    | 8                                     |
| D    | 10               | 8,5     | 10                                    |

(Sumber: SNI-03-0691, 1996)

## D. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Agregat Halus

Tabel 3 memperlihatkan *properties* agregat halus (pasir) *quarry* Kalumata.

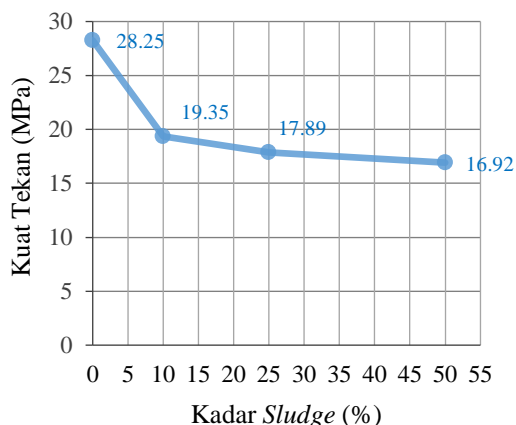
Dengan mengacu pada tabel 3 dapat terlihat bahwa *properties* agregat halus (pasir) *quarry* Kalumata sesuai standar SNI.

**Tabel 3.** *Properties* agregat halus *quarry* Kalumata dan *sludge*

| Sifat fisis                     | Hasil pengujian |               | Spesifikasi  |
|---------------------------------|-----------------|---------------|--------------|
|                                 | Agregat halus   | <i>Sludge</i> |              |
| Kadar air                       | 4,00%           | 27,07%        | 3,00 – 5,00% |
| Kadar lumpur                    | 3,50%           | 16,82%        | 0,20 – 5,00% |
| Berat volume                    |                 |               |              |
| a. Kondisi lepas                | 1,61            | 1,42          | 1,60 – 1,90  |
| b. Kondisi padat                | 1,62            | 1,23          | 1,60 – 1,90  |
| Berat jenis                     |                 |               |              |
| a. Berat jenis kering oven      | 2,99            | 1,49          | 1,60 – 3,20  |
| b. Berat jenis kering permukaan | 3,03            | 2,12          | 1,60 – 3,20  |
| c. Berat jenis semu             | 3,13            | 4,04          | 1,60 – 3,20  |
| Penyerapan                      | 1,53%           | 42%           | 0,2% - 2,0%  |
| Analisa saringan                | 2,95%           | 1,95          | 1,5% – 3,8%  |

### 2. Efek *Sludge* Terhadap Kuat Tekan

Penggantian pasir Kalumata dengan *sludge* menyebabkan penurunan kuat tekan *paving block*, di mana kuat tekan *paving block* normal sebesar 28,25 MPa. Setelah pasir disubstitusi secara parsial sebesar 10%, 25% dan 50% menyebabkan penurunan masing-masing sebesar 31,25%, 36,67% dan 40,12% sehingga kuat tekan menjadi 19,35 MPa, 17,89 MPa dan 16,92 MPa. Hasil pengujian ditunjukkan pada gambar 5.



**Gambar 5.** Kuat tekan *paving block*

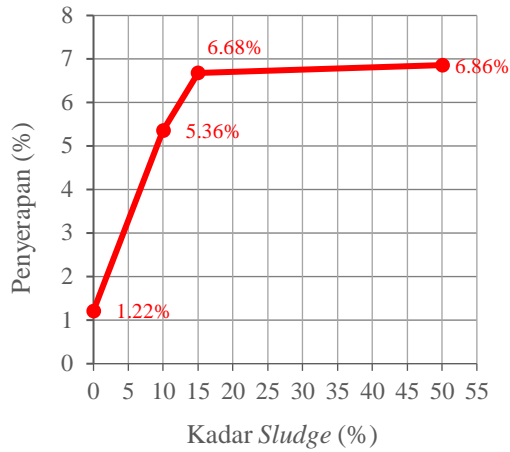
Hasil kuat tekan pada gambar 5 dan sifat material *sludge* yang ditunjukkan pada tabel 3, menunjukkan adanya hubungan kuat tekan dan karakteristik bahan yang digunakan, dimana hasil pemeriksaan material limbah *sludge* menunjukkan material ini diperlukan *pretreatment* sebelum dapat dipakai disebabkan masih ada karakteristik bahan yang tidak sesuai dengan syarat-syarat dari agregat halus, sehingga bahan ini hanya dapat digunakan sebagai bahan substitusi pembuatan *paving block*.

### 3. Efek *Sludge* Penyerapan

Hubungan tingkat penyerapan *paving block* dengan konsentrasi *sludge* ditunjukkan pada gambar 6.

Penggantian pasir Kalumata dengan *sludge* menyebabkan peningkatan penyerapan *paving block*, di mana penyerapan *paving block* normal sebesar 1,22 %, setelah pasir disubstitusi secara parsial sebesar 10%, 25% dan 50% menyebabkan peningkatan penyerapan masing-masing sebesar 5,36%, 6,68%

dan 6,86%. Penyebab peningkatan penyerapan karena *sludge* mempunyai daya serap yang lebih besar dibandingkan pasir Kalumata.

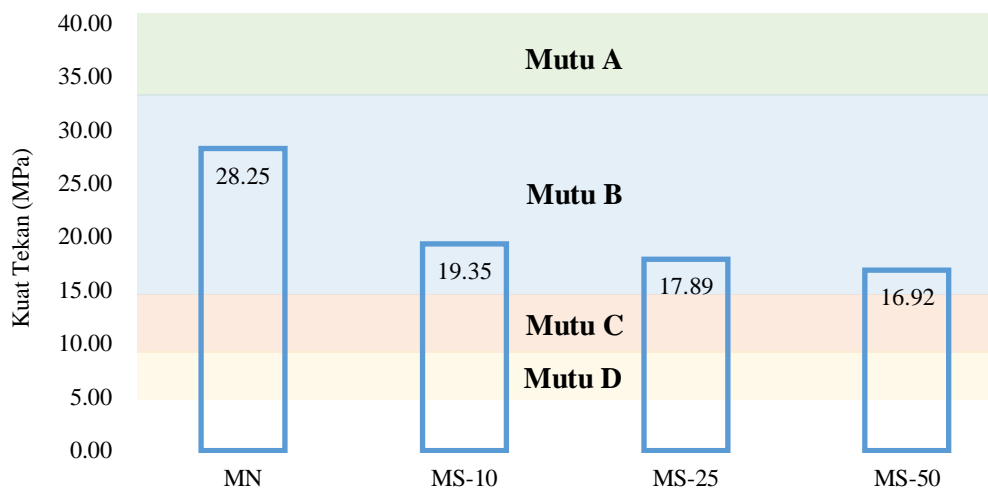


**Gambar 6.** Penyerapan *paving block*

#### 4. Mutu *Paving Block*

Klasifikasi kualitas *paving block* berdasarkan kuat tekan dan penyerapan ditunjukkan pada gambar 7 dan gambar 8.

Berdasarkan gambar 7 dan gambar 8, maka mutu *paving block* dengan material *sludge* dapat dikelompokkan: konsentrasi pengganti pasir dengan *sludge* sebesar 10% (MS-10) menghasilkan *paving block* dengan klas B (mutu B) yang dapat digunakan sebagai pelataran parkir, pada konsentrasi *sludge* sebesar 25% (MS-25) dan 50% (MS-50) menghasilkan *paving block* klas C (mutu C) yang dapat digunakan sebagai tempat pejalan kaki.



**Gambar 7.** Mutu *paving block* berdasarkan kuat tekan



**Gambar 8.** Mutu *paving block* berdasarkan tingkat penyerapan





**Gambar 9.** *Paving block* berbahan *sludge*

Visualisasi *paving block* dengan penambahan *sludge* menghasilkan jenis *paving block* dengan warna merah bata seperti ditunjukkan pada gambar 9, ini disebabkan oleh karena *sludge* produksi *smelter* nikel berwarna merah bata.

#### E. KESIMPULAN

Penggunaan *sludge* dari *smelter* nikel sebagai pengganti pasir pada proses pembuatan *paving block* menghasilkan *paving block* mutu B pada kadar 10% dan *paving block* mutu C pada kadar *sludge* 25% dan 50%.

#### F. SARAN

*Sludge* dari *smelter* nikel adalah termasuk golongan limbah sehingga perlu pengujian kandungan toksik sebelum digunakan sebagai material konstruksi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terima kasih disampaikan ke Direktorat Jenderal Perguruan Tinggi, Riset dan Teknologi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah membiayai penelitian ini melalui hibah PPS-PTM tahun 2023.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, R. A. P. (2022). Desain Campuran *Paving Block* Dengan Limbah Plastik Jenis PET - Polyethylene Terephthalate. *Rekayasa Teknik Sipil*, 10(2), 1–4.
- Darwis, Z., P, B. A., & Ashar, N. (2012). Pemanfaatan Blotong Untuk Bahan Baku Pembuatan *Paving Block*. *Jurnal Fondasi*, 1(1), 79–89.
- Fauziah, F., Nurmayanti, D., & Rohkmalia, F. (2018). Pemanfaatan Limbah Marmer Sebagai Bahan Campuran Untuk Pembuatan *Paving Block*. *Gema Kesehatan Lingkungan*, 16(1), 157–164.
- Gencil, O., Ozel, C., Koksall, F., Erdogmus, E., Martínez-Barrera, G., & Brostow, W. (2012). Properties Of Concrete *Paving Blocks* Made with Waste Marble. *Journal of Cleaner Production*, 21(1), 62–70.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.08.023>
- Ghozali, H. A., & Wardhono, A. (2018). Pengaruh Penggunaan Abu Dasar (Bottom Ash) Pada *Paving Block* Dengan Campuran Limbah Kerang Sebagai Substitusi Semen. *Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 49–55.
- Harystama, A., Al Fathoni, A. M. S., & Azizi, A. (2020). The Effect of Fly Ash Addition To Compressive Strength of *Paving Block*. *Civeng*, 1(1), 11–16.  
<http://dx.doi.org/10.30595/civeng.v1i1.9287>

- Hasaya, H., Masrida, R., & Firmansyah, D. (2021). Potensi Pemanfaatan Ulang Sampah Plastik Menjadi Eco- Paving Block. *Jurnal Jaring SainTek (JJST)*, 3(1), 25–31. <https://doi.org/10.31599/jaring-saintek.v3i1.478>
- Haslindah, A., Idrus, I., Basuki, T. A., & Saiful, S. (2020). Proses Pengelolaan Limbah Marmer Menjadi Produk Paving Block. *Journal Industrial Engineering and Management*, 1(1), 1–5. <http://dx.doi.org/10.47398/just-me.v1i1.490>
- Jayakumar P, T., Kumar R, R. V, Babu, S. R., & Kumar, M. M. (2013). Experimental Investigation on Paver Blocks Using Steel Slag as Partial Replacement of Aggregate and Sludge as Partial Replacement of Cement. *International Journal of Science and Research*, 2(5), 2319–7064. [www.ijsr.net](http://www.ijsr.net)
- Maraveas, C. (2020). Production of Sustainable Construction Materials Using Agro-Wastes. *Materials*, 13(2), 1–29. <https://doi.org/10.3390/ma13020262>
- Mudjanarko, S. W., Arshad, M. F. Bin, Harmanto, D., Nurmianto, E., Artaya, I. P., Rasidi, N., Safarizki, H. A., Mayestino, A. M., Mulyadi, I., Bahaswan, R., Ningsih, H., Wiwoho, F. P., Achmad, I. R., Maruli, S., & Tjahjono, P. (2023). Eksperimen Ecofriendly Paving Plastik HDPE. *Spirit Pro Patria*, 9(1), 47–58. <https://doi.org/10.29138/spirit.v9i1.2217>
- Mustika, W., Kadir, A., Ngii, E., & Nurdin, M. (2021). Properties of Concrete Paving Blocks Made with Nickel Slags. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 622(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/622/1/012033>
- Pamungkas, A. D., & Wasono, S. B. (2020). Comparison of Strong Pressure of Paving Block Using Sand Mix with Cement and Lime with Cement in Economic Event. *International Journal of Civil Engineering*, 5(2), 1–8.
- Pirdaus, P., & Raka, A. A. (2019). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Pada Paving Block. *Jurnal Tekno*, 16(1), 144–152.
- Safiuddin, M., Jumaat, Z. M., Salam, M. A., Islam, M. S., & Hashim, R. (2010). Utilization of Solid Wastes in Construction Materials. *International Journal of the Physical Sciences*, 5(13), 1952–1963. <http://www.academicjournals.org/IJPS>
- Sari, K. I., & Nusa, A. B. (2019). Pemanfaatan Limbah Plastik HDPE (High Density Polyethylene) Sebagai Bahan Pembuatan Paving Block. *Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 29–33.
- Sibuea, A. F., & Tarigan, J. (2013). Pemanfaatan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Eco Plafie (Economic Plastic Fiber) Paving Block Yang Berkonsep Ramah Lingkungan Dengan Uji Tekan , Uji Kejut Dan Serapan Air. *Jurnal Teknik Sipil USU*, 2(2), 1–8.

- SNI-03-0691. (1996). Bata beton (Paving Block). In *Standar Nasional Indonesia*. Badan Standardisasi Nasional.
- Sudjatmiko, A., & Kholis, H. (2022). Fly Ash Sebagai Substitusi Semen Pada Paving Block Terhadap Pengujian Kuat Tekan Dan Daya Serap Air Dengan Penekanan Menggunakan Desak Pyramid. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil 2022*, 37–42.
- Sultan, M. A., Tata, A., & Wanda, A. (2020). Penggunaan Limbah Plastik PP Sebagai Bahan Pengikat Pada Campuran Paving Block. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), 95–102.  
<https://doi.org/10.31849/siklus.v6i2.4552>
- Togubu, J., Imran, I., & Sultan, M. A. (2019). Klas Mutu Paving Block Yang Menggunakan Bottom Ash Limbah Batu Bara Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Agregat Pasir. *Jurnal Science and Engineering*, 2(2), 24–32.  
<https://doi.org/10.33387/josae.v2i2.1405>
- Wanda, A., Sultan, M. A., & Tata, A. (2021). Uji Sifat Mekanis Paving Block Geopolymer. *Clapeyron*, 2(2), 66–75.  
<https://doi.org/10.33387/clapeyron.v2i2.3905>
- Yazid, M., Husaini, R. R., & Gefry, G. (2023). Penggunaan Limbah Plastik Polypropylene Sebagai Substitusi Semen Pada Paving Block. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sipil*, 2(1), 34–38.  
<https://doi.org/10.56208/jtrs.v2.i1.hal34-38>
- Zalaya, Y., Handayani, P., & Lestari, I. W. (2019). Pengelolaan Limbah Hasil Konstruksi Pada Proyek Pembangunan Gedung. *Forum Ilmiah*, 16(1), 63–73.
- Zulfi, E. K., Zainuri, Z., & Soehardi, F. (2021). Kualitas Paving Block Dengan Menggunakan Limbah Plastik Polypropylene Terhadap Kuat Tekan. *Jurnal Teknik*, 15(2), 185–190.  
<https://doi.org/10.31849/teknik.v15i2.7435>



© 2024 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)