

## Inovasi Perkerasan Jalan Berbasis Paving Berlubang dari Limbah *Sandblasting* untuk Mengurangi Limpasan Air Hujan

Fauzi Agil<sup>2</sup>, Luqman Cahyono<sup>1</sup>, dan Denny Dermawan<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Perancangan & Konstruksi Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

\*E-mail: [luqmancahyono24@ppns.ac.id](mailto:luqmancahyono24@ppns.ac.id)

### Abstrak

Timbulan limbah *sandblasting* dalam jumlah besar menimbulkan permasalahan lingkungan, terutama karena limbah ini tergolong sebagai limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3). Industri galangan kapal menghasilkan limbah *sandblasting* sekitar 12.100 kg per bulan, yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Di sisi lain, permasalahan banjir kerap terjadi di kawasan padat penduduk akibat minimnya lahan resapan air. Salah satu alternatif solusi untuk mengatasi kedua permasalahan tersebut adalah dengan memanfaatkan limbah *sandblasting* sebagai bahan substitusi dalam pembuatan *paving block* berlubang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas *paving block* berlubang dengan substitusi limbah *sandblasting* dan abu batu, ditinjau dari kuat tekan dan laju infiltrasi. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi perbandingan campuran 1:4 serta metode perawatan menggunakan karung goni basah (*moist curing*). Hasil uji *X-Ray Fluorescence* (XRF) menunjukkan bahwa limbah *sandblasting* mengandung logam berat berupa Barium (Ba) sebesar 0,06%, Tembaga (Cu) sebesar 1,67%, Seng (Zn) sebesar 0,76%, dan silika (SiO<sub>2</sub>) sebesar 78,5%, sehingga dinilai layak sebagai bahan campuran beton. Hasil uji *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) menunjukkan bahwa ketiga parameter logam berat tersebut tidak melebihi baku mutu yang tercantum dalam PP No. 22 Tahun 2021, Lampiran XI. Nilai kuat tekan tertinggi pada variasi campuran 1:4 sebesar 39,16 MPa memenuhi mutu A berdasarkan SNI 03-0691-1996. Selain itu, hasil uji infiltrasi menunjukkan nilai sebesar 150,66 mm/jam, yang menunjukkan kemampuan resapan air yang baik.

**Keywords:** Kuat Tekan, Limbah *Sandblasting*, Paving Berlubang, TCLP, XRF

### 1. PENDAHULUAN

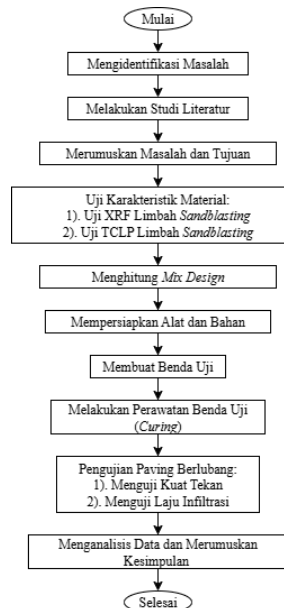
Kegiatan produksi tidak lepas dari limbah, limbah merupakan bentuk buangan dari proses produksi atau industri. Seberapa besar limbah yang dihasilkan oleh proses produksi adalah limbah B3 dan limbah padat, contohnya limbah *sandblasting*. Menurut PP No. 22 Tahun 2021 Lampiran IX dan Lampiran XI, limbah *sandblasting* dikategorikan limbah B3 dengan kategori bahaya II bersifat tidak akut atau memberi dampak tidak langsung namun, sangat berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan sekitar. *Sandblasting* adalah metode penyemprotan pasir dengan tekanan tinggi untuk membersihkan karat maupun biota laut yang menempel dipermukaan logam (Rezasyah Alifiadi & Agus Slamet, 2022). Dewantara dkk., (2017) mengungkapkan bahwa industri galangan kapal menghasilkan limbah *sandblasting* sebesar 12.100 kg per bulan. Limbah *sandblasting* mengandung unsur logam berat seperti, Kromium (Cr), Tembaga (Cu), Timbal (Pb), dan Seng (Zn). Selain kandungan logam berat, limbah *sandblasting* memiliki kandungan silika (SiO<sub>2</sub>) mencapai 85% hingga 98%, limbah *sandblasting* dapat digunakan untuk campuran semen maupun bahan campuran pembuatan beton dan mampu meningkatkan kualitas beton (Triyanti, 2018).

Abu batu adalah pasir buatan mesin atau pasir batu pecah. Abu batu tergolong limbah yang tidak beracun memiliki butiran halus seperti pasir (Hidayawanti dkk., 2022). Abu batu merupakan buangan dari proses penghancuran bongkahan batu, dengan jumlah yang cukup besar maka perlu adanya upaya pemanfaatan untuk meningkatkan nilai ekonomis serta mengurangi penggunaan pasir sungai dalam campuran beton (Mhd Almahi, Yelfidar, 2023).

Salah satu solusi untuk menangani permasalahan dari keberadaan limbah *sandblasting* dan abu batu adalah dengan memanfaatkannya sebagai substitusi material agregat halus dalam pembuatan paving berlubang untuk mengurangi limpasan air hujan. Hasil penelitian Faizin dkk., (2024) menyebutkan bahwa limbah *sandblasting* berperan dalam meningkatkan nilai kuat tekan paving, dengan variasi perbandingan 1:4 mampu menghasilkan nilai kuat tekan sebesar 27,4 MPa. Paving berlubang adalah salah satu inovasi yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah lingkungan dan bencana banjir. Paving berlubang dirancang memiliki kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan *pervious paving* konvensional, namun tetap memiliki sifat porositas tinggi yang memungkinkan air hujan atau sumber air lainnya dapat melewatinya. Sehingga mampu mengurangi limpasan air hujan maupun air lainnya serta dapat meningkatkan muka air tanah.

## 2. METODE

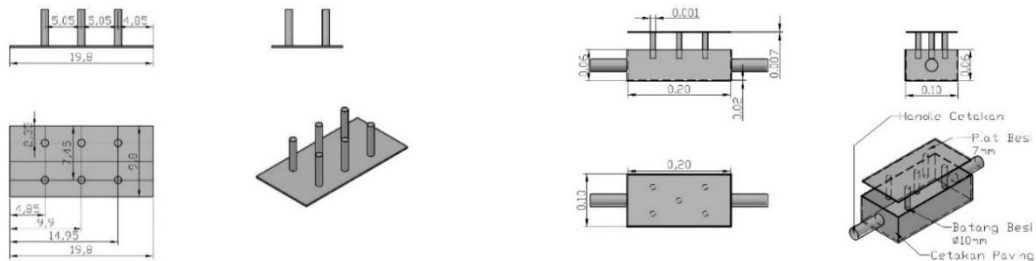
Metode penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan metode pendekatan eksperimen dengan alur sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

### 2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan cetakan manual yang telah dimodifikasi dengan penambahan batang besi pada bagian tutup atas untuk membentuk lubang, dimensi cetakan 20 cm x 10 cm x 6 cm.



Gambar 2. Cetakan Paving Berlubang

Bahan yang digunakan dalam pembuatan paving berlubang yaitu limbah *sandblasting* yang diperoleh dari industri galangan kapal, abu batu dari industri pemecah batu, semen PCC dengan merek Semen Gresik.

### 2.2 Mix Design

Benda uji paving berlubang dibuat dengan perbandingan semen : agregat halus 1 : 4 dengan masing-masing variasi penambahan lubang yang berbeda.

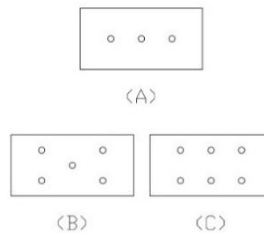
Tabel 1. Mix Design Paving Berlubang

| Kode Benda Uji | Perbandingan Semen : Agregat Halus | Semen (gr) | Sandblasting (gr) | Abu Batu (gr) | Faktor Air Semen (FAS) | Jumlah Lubang (Buah) |
|----------------|------------------------------------|------------|-------------------|---------------|------------------------|----------------------|
| PC1            | 1 : 4                              | 1          | 1,5               | 2,5           | 0,4                    | 3                    |
| PC2            |                                    | 1          | 1,5               | 2,5           |                        | 5                    |
| PC3            |                                    | 1          | 1,5               | 2,5           |                        | 6                    |
| Kode Benda Uji | Perbandingan Semen : Agregat Halus | Semen (gr) | Sandblasting (gr) | Abu Batu (gr) | Faktor Air Semen (FAS) | Jumlah Lubang (Buah) |
| PC1            | 1 : 4                              | 576 gr     | 864 gr            | 1440 gr       | 0,4                    | 3                    |
| PC2            |                                    | 576 gr     | 864 gr            | 1440 gr       |                        | 5                    |
| PC3            |                                    | 576 gr     | 864 gr            | 1440 gr       |                        | 6                    |

### 2.3 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Pembuatan benda uji paving berlubang dilakukan secara manual menggunakan tenaga manusia, dengan

cetakan yang telah dilakukan modifikasi. Kebutuhan material dalam pembuatan benda uji disesuaikan dengan kebutuhan yang ada pada *mix design*. Metode perawatan benda uji paving berlubang menggunakan metode *moist curing* atau metode perawatan dengan menutup benda uji dengan karung goni yang telah dibasahi selama 28 hari dan akan dilanjutkan pengujian benda uji. Proyeksi *paving block* berlubang dapat dilihat pada **Gambar 3**.



**Gambar 3.** *Paving block* berlubang

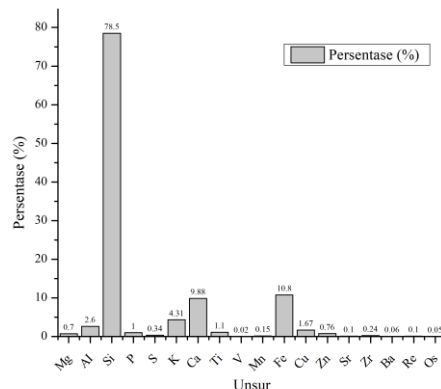
## 2.4 Pengujian *Paving Block* Berlubang

Benda uji yang telah melalui proses perawatan (*curing*) akan dilakukan pengujian, yaitu pengujian kuat tekan sesuai dengan SNI 03-0691-1996, Setelah pengujian kuat tekan maka dapat dilakukan pengkategorian nilai mutu *paving block* berdasarkan Standard yang berlaku. laju infiltrasi mengacu pada standard ASTM C1701/ASTM C1781

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF)

Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur kimia yang terkandung dalam limbah sandblasting. Hasil pengujian ini menjadi dasar dalam menentukan parameter logam berat yang perlu dianalisis lebih lanjut menggunakan metode TCLP. Hasil pengujian kandungan limbah *sandblasting* dapat dilihat pada **Gambar 4**.



**Gambar 4.** Grafik Hasil Uji XRF Limbah *Sandblasting*

X-Ray Fluorescence (XRF) merupakan metode pengujian yang digunakan untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu bahan. Dalam penelitian ini, pengujian XRF bertujuan menentukan parameter logam berat yang akan diuji lebih lanjut dengan metode TCLP. Limbah sandblasting digolongkan sebagai limbah B3 sehingga perlu dilakukan pengujian TCLP (Cahyono dkk., 2024). Dari **Gambar 4**, unsur logam berat yang teridentifikasi meliputi Barium (Ba), Tembaga (Cu), dan Seng (Zn). Unsur-unsur tersebut kemudian diuji menggunakan TCLP untuk mengetahui apakah kandungan logam beratnya melebihi baku mutu atau tidak.

### 3.2 Hasil Pengujian *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP)

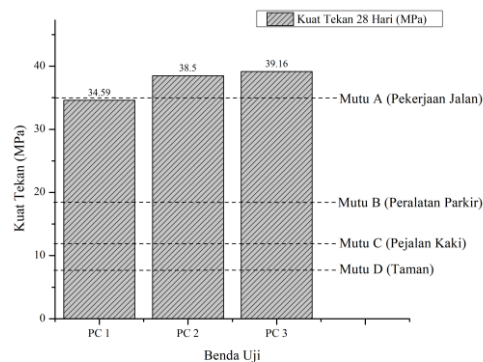
**Tabel 2.** Hasil Uji TCLP Limbah *Sandblasting*

| Parameter    | Satuan | PP No.22 Tahun 2021 |        | Hasil Uji TCLP |
|--------------|--------|---------------------|--------|----------------|
|              |        | TCLP-A              | TCLP-B |                |
| Barium (Ba)  | mg/L   | 210                 | 35     | 0,84 mg/L      |
| Tembaga (Cu) | mg/L   | 60                  | 10     | 5,86 mg/L      |
| Seng (Zn)    | mg/L   | 300                 | 50     | 4,95 mg/L      |

Pengujian *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) pada unsur logam berat yaitu Barium (Ba), Tembaga (Cu), dan Seng (Zn) dilakukan dengan metode US EPA SW 846-2018 Method 6010 D. Hasil pengujian pada **Tabel 2**. Menunjukkan kandungan (Ba) dalam limbah *sandblasting* sebesar 0,84 mg/L, (Cu) sebesar 5,86 mg/L, dan (Zn) sebesar 4,95 mg/L. keseluruhan kandungan logam berat dalam limbah *sandblasting* tidak melebihi baku mutu berdasarkan PP No. 22 Tahun 2021 yang tertera pada Lampiran XI. Hal ini sama dengan yang dijelaskan oleh (Dermawan & Ashari, 2018) kandungan logam berat dalam limbah *sandblasting* dibawah baku mutu TCLP dapat dinyatakan aman dari segi lingkungan atau kelayakan lingkungan dan diperbolehkan untuk digunakan sebagai bahan campuran beton atau bangunan.

### 3.3 Kuat Tekan Paving Berlubang

Berdasarkan SNI 03-0691-1996 tentang bata beton (*paving block*), pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui mutu *paving block* berlubang berdasarkan nilai kuat tekannya. Hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada **Gambar 5**.



**Gambar 5.** Grafik Kuat Tekan Paving Berlubang

Keterangan:

PC1 = 1 Semen : 2,5 Abu Batu : 1,5 *Sandblasting* : 3 Lubang.

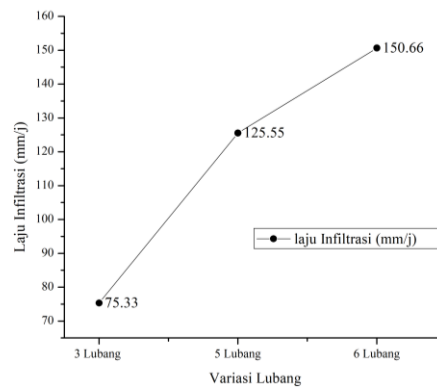
PC2 = 1 Semen : 2,5 Abu Batu : 1,5 *Sandblasting* : 5 Lubang.

PC3 = 1 Semen : 2,5 Abu Batu : 1,5 *Sandblasting* : 6 Lubang.

**Gambar 5.** Menunjukkan bahwa nilai kuat tekan relatif tinggi termasuk kedalam kategori mutu A dan B, memenuhi persyaratan SNI 03-0691-1996. Perbedaan nilai kuat tekan disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain: perbedaan komposisi campuran dan umur benda uji. Benda uji dengan umur 28 hari menghasilkan nilai kuat tekan yang tinggi, karena nilai kuat tekan meningkat seiring dengan bertambahnya umur benda uji, umur 28 hari adalah umur maksimal paving mencapai mutu maksimal dan tidak akan mengalami proses hidrasi (Wajdi dkk., 2023). Nilai kuat tekan yang tinggi juga dipengaruhi oleh kepadatan dan kerapatan pada saat proses pemadatan. proses pemadatan yang baik adalah pemadatan dengan menggunakan mesin *press* dibandingkan dengan proses pemadatan secara manual, hal ini dikarenakan proses pemadatan secara manual akan menghasilkan tingkat kepadatan yang berbeda dengan paving satu dengan yang lainnya (pemadatan yang tidak konstan). Sehingga lebih baik menggunakan mesin *press* karena hasil pemadatan sama dan maksimal (Sebayang dkk., 2011).

### 3.4 Laju Infiltrasi Paving Berlubang

Pengujian laju infiltrasi bertujuan untuk mengetahui kecepatan penyerapan atau pengeringan air yang meresap melalui lubang drainase yang ada pada *paving block* berlubang. Infiltrasi merupakan kemampuan paving dalam meloloskan air atau mengaliskan air kedalam tanah (Mayasari dkk., 2022). Pengujian infiltrasi dilakukan berdasarkan standard ASTM C1701 dengan meletakkan sebuah cincin (*ring*) pada permukaan paving yang diberi *sealed* pada sisi samping *ring* agar air tidak keluar. Hasil pengujian laju infiltrasi dapat dilihat pada **Gambar 6**.



**Gambar 6.** Grafik Laju Infiltrasi

**Gambar 6.** Menunjukkan hasil pengujian laju infiltrasi mengalami peningkatan. Laju infiltrasi meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah lubang pada paving berlubang, hal ini dibuktikan dengan semakin tinggi laju infiltrasi yang dihasilkan yang menunjukkan bahwa laju infiltrasi sangat dipengaruhi oleh rongga atau lubang pada *paving block*. Dari hasil infiltrasi masih jauh dari minimal laju infiltrasi yang ada pada standard ASTM C1781, *range* laju infiltrasi berdasarkan ASTM C1781 sebesar 762,0 mm/h – 4.064.762,0 mm/h.

#### 4. KESIMPULAN

Proses cetak manual berpengaruh terhadap nilai kuat tekan yang menghasilkan nilai kuat tekan yang berbeda-beda, dengan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 39,16 MPa. Jumlah lubang mempengaruhi laju infiltrasi, laju infiltrasi semakin besar seiring dengan bertambahnya jumlah lubang dengan laju infiltrasi tertinggi sebesar 150,66 mm/jam. Limbah *sandblasting* dapat digunakan sebagai bahan campuran dalam pembuatan paving dapat dinyatakan aman dari hasil pengujian TCLP.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Alifiadi, R., & Slamet, A. (2022). *Utilization of sandblasting waste as an alternative material for paving blocks*. Jurnal Multidisiplin Madani (MUDIMA), 2(12).
- Almahi, M., Yelfidar, Y., & Rawi, S. H. (2023). *Pengaruh Penambahan Abu Batu Terhadap Mix Design Campuran Beton Program Studi Teknik Sipil, Institut K-225*. Jurnal Sipil Terapan, 1(1), 141-150.
- Amrulloh, M. F. I., Cahyono, L., & Pratiwi, W. D. (2024, November). *Kajian Kelayakan Material Pasir Silika Limbah Blasting untuk Menggantikan Material Pasir pada Produk Paving Block*. In Conference Proceeding on Waste Treatment Technology (Vol. 7, No. 1).
- Cahyono, L., Pratiwi, W. D., Fardina, F., Widiana, D. R., Utomo, A. R. P., & Fahmi, M. R. (2024). *Sustainable Materials Melalui Solidifikasi-Stabilisasi Limbah Sandblasting Menjadi Beton Ferosemen*. DEARSIP: Journal of Architecture and Civil, 4(02), 108-118.
- Dermawan, D., & Ashari, M. L. (2018). *Studi Komparasi Kelayakan Teknis dan Lingkungan Pemanfaatan Limbah B3 Sandblasting terhadap Limbah B3 Sandblasting dan Fly Ash sebagai Campuran Beton*. J. Presipitasi Media Komun. dan Pengemb. Tek. Lingkung, 25-30.
- Dewantara, F. A., Setiani, V., & Rizal, M. C. (2017). *Perancangan Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) Pada Perusahaan Galangan Kapal*. In Conference on Safety Engineering and Its Application (Vol. 1, No. 1, pp. 220-225).
- Indonesia, B. S. N. (1996). *Bata beton (Paving block)*. Badan Standardisasi Nasional, Bandung.
- Mayasari, D., Yuhanah, T., & Zuriatni, Y. (2022). *Analisis Laju Infiltrasi dan Kekuatan Porous Paving Block Substitusi Fly Ash dan Cangkang Kerang Darah*. Potensi: Jurnal Sipil Politeknik, 24(2), 78-85.
- Sebayang, S., Diana, I. W., & Purba, A. (2011). *Perbandingan mutu paving block produksi manual dengan produksi masinal*. Rekayasa: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung, 15(2).
- Triyanti, A. R. (2017). *Studi Pemanfaatan Fly Ash Dan Limbah Sandblasting (Silica Fume) Pada Binder Geopolimer*. Proyek Akhir Terapan, Program Studi Diploma IV Teknik Sipil Lanjut Jenjang Jurusan Bangunan Gedung, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh November.
- Wajdi, B. A. (2023). *Pengaruh lamanya perendaman terhadap absorpsi, ketahanan aus, dan kuat tekan paving block* (Master's thesis, Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia)).
- Widjoyo, I., & Febriany, H. N. F. (2022, May). *Komparasi Abu Batu Sebagai Substitusi Pasir Untuk Mengurangi Harga Pokok Produksi Dalam Pembuatan Beton*. In Forum Mekanika (Vol. 11, No. 1, pp. 22-28).