

## ANALISIS KETAHANAN LENTUR DAN KELAYAKAN LINGKUNGAN PADA PELAT BETON FEROSEMEN BERBAHAN LIMBAH SANDBLASTING DAN FLY ASH

Luqman Cahyono<sup>1\*</sup>, Wiwik Dwi Pratiwi<sup>2</sup>, Firda Fardina<sup>1</sup>, dan Dika Rahayu Widiana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi D4 – Teknik Pengolahan Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Magister Sains Terapan Teknik Keselamatan dan Resiko, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl.  
Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

\*luqmancahyono@ppns.ac.id

Masuk: 30-07-2024, revisi: 15-10-2024, diterima untuk diterbitkan: 23-01-2025

### ABSTRACT

*Presence of sandblasting waste produced from the shipbuilding industry and fly ash waste from industry and electric steam power plants in Indonesia is relatively high in quantity and has the potential to cause serious environmental pollution. This research aims to utilize sandblasting waste and fly ash into thin plate material applied to ferrocement concrete, where the silica and aluminum oxide content from fly ash replaces some of the cement, silica sand from sandblasting waste replaces sand, and additional wire mesh or wire mesh is added as reinforcement. The method used is a quantitative experiment, where the material to be used is tested for gradation, specific gravity, water absorption capacity, XRF, and TCLP. The finished ferrocement concrete is tested for flexural strength. The materials used in this research meet the gradation standards in SNI 03 2834 2000, the specific gravity and water absorption standards in SNI 03 1970 2008, as well as the XRF and TCLP test results which show that the B3 heavy metal content is Barium, Zinc and Copper. in sandblasting waste the value is below the quality standards of PP No. 22 of 2021 Appendix XI. All the results of the raw material characteristic tests used in this research are following regulations so that they can be used for ferrocement concrete mix designs. Furthermore, the mix design created has a composition with a ratio of 1 cement: 1.5 sandblasting waste, 1 cement: 1.5 sandblasting waste: 50 fly ash, 1 cement: 2 sandblasting waste, and 1 cement: 1 sandblasting waste: 50 fly ash. The flexural strength test results show that ferrocement concrete with 1 cement: 2 sandblasting waste has the highest average flexural strength, 18.87 MPa (K 100). This quality suits construction work that does not require too heavy vertical loads.*

*Keywords: Fly ash; sandblasting waste; ferrocement concrete; flexural strength*

### ABSTRAK

Keberadaan limbah *sandblasting* yang dihasilkan dari industri galangan kapal dan limbah abu terbang atau *fly ash* dari industri dan PLTU di Indonesia jumlahnya relatif tinggi dan bersifat B3 yang berpotensi menyebabkan pencemaran lingkungan serius. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah *sandblasting* dan *fly ash* menjadi material pelat tipis diaplikasikan pada beton ferosemen, di mana kandungan silika dan aluminium oksida dari *fly ash* menggantikan sebagian semen, pasir silika dari limbah *sandblasting* menggantikan pasir, dan diberi tambahan *wiremesh* atau kawat jala sebagai penguat. Metode yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif, di mana material yang akan digunakan diuji gradasi, berat jenis, daya serap air, XRF dan TCLP, lalu pada beton ferosemen yang sudah jadi dilakukan uji kuat lentur. Bahan-bahan yang diaplikasikan pada eksperimen ini memenuhi standar gradasi dalam SNI 03 2834 2000, standar berat jenis dan daya serap air dalam SNI 03 1970 2008, serta hasil uji XRF dan TCLP yang menunjukkan bahwa kandungan logam berat B3 berupa Barium, Seng, dan Copper dalam limbah *sandblasting* nilainya berada kurang dari baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 Lampiran XI. Keseluruhan hasil uji karakteristik *raw material* yang digunakan dalam penelitian ini sesuai dengan peraturan sehingga dapat dipakai untuk *mix design* beton ferosemen. Selanjutnya, *mix design* yang dibuat memiliki komposisi dengan rasio 1 semen : 1,5 limbah *sandblasting*, 1 semen : 1,5 limbah *sandblasting* : 50 *fly ash*, 1 semen : 2 limbah *sandblasting*, dan 1 semen : 1 limbah *sandblasting* : 50 *fly ash*. Hasil uji kuat lentur menunjukkan beton ferosemen dengan rasio 1 semen : 2 limbah *sandblasting* memiliki rata-rata kuat lentur tertinggi yaitu 18,87 MPa (K 100). Mutu tersebut cocok untuk pekerjaan konstruksi yang tidak memerlukan beban vertikal terlalu berat.

Kata kunci: *Fly ash*; limbah *sandblasting*; pelat beton ferosemen; kuat lentur

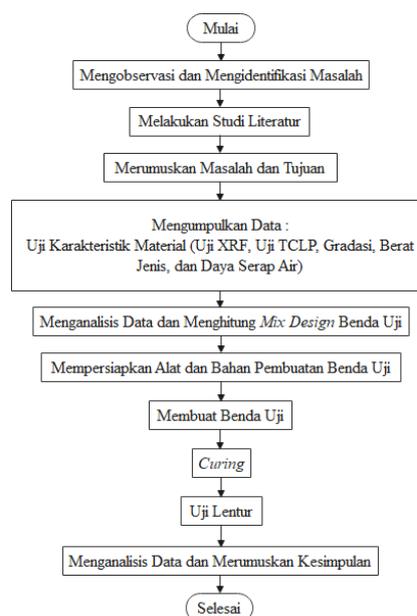
## 1. PENDAHULUAN

*Sandblasting* adalah metode menghilangkan karat dan biota laut pada peralatan logam dengan cara meledakkan pasir silika pada tekanan tinggi (Alifiadi & Slamet, 2022). Limbah *sandblasting* dapat mengandung unsur logam berat seperti Cr, Cu, Pb, dan Zn (Qi et al., 2021). Menurut Dewantara et al. (2017), jumlah maksimum limbah *sandblasting* yang dihasilkan per bulan pada suatu perusahaan galangan kapal adalah 12.100 kg, dan jumlah selama 3 bulan adalah 36.300 kg. Limbah *sandblasting* ini jika dimasukkan ke dalam wadah, volumenya mencapai 43,51 meter kubik. Di Indonesia, selain bahaya yang ditimbulkan oleh keberadaan limbah B3 dari *sandblasting*, juga terdapat bahaya yang ditimbulkan oleh adanya limbah *fly ash* atau abu terbang batu bara. Dalam SNI 03-6414-2002, abu terbang batubara diartikan sebagai produk limbah hasil pembakaran batubara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang berbentuk halus, bulat dan mempunyai sifat pozzolan. Unsur logam berat yang terkandung dalam abu terbang batubara antara lain Cu, Pb, Zn, Cd, dan Cr. Proses terjadinya pencemaran oleh limbah (khususnya dari industri) dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Proses langsung, yaitu polutan mempunyai dampak langsung terhadap keracunan, sehingga dapat mempengaruhi kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan, serta mempengaruhi keseimbangan ekologi air, udara dan tanah, sedangkan proses tidak langsung - Banyak bahan kimia bereaksi dengan air dan tanah, sehingga bahwa dalam hal ini pencemaran menimbulkan pencemaran (Nursabrina et al. 2021).

Berdasarkan PP Nomor 85 Tahun 1999, sisa hasil kegiatan proses *sandblasting* disebut sebagai limbah B3 dari sumber tertentu. Limbah ini tergolong limbah B3 karena memiliki kandungan logam berat yang sangat tinggi dan dapat menimbulkan ancaman bagi kesehatan dan ekosistem. Dampak lingkungan dari limbah *sandblasting* yang digunakan dalam penelitian ini ditentukan dengan pengujian spektrometri fluoresensi sinar-X (XRF) dan pengujian prosedur pelindian karakterisasi toksikologi (TCLP). Pengujian spektrometri fluoresensi sinar-X (XRF) adalah metode analisis untuk menentukan komposisi kimia suatu bahan dalam bentuk padat, bubuk, atau bentuk lainnya. Berdasarkan hasil uji XRF, kandungan logam berat barium (Ba) sebesar 0,06%, seng (Zn) sebesar 0,76%, dan tembaga (Cu) sebesar 1,83%. TCLP kemudian menguji ketiga logam berat tersebut untuk mengetahui kandungan logam masing-masing logam berat dan membandingkannya dengan standar mutu yang berlaku. Hasilnya, kandungan Ba pada limbah *sandblasting* sebesar 0,84 mg/L, kandungan Cu sebesar 5,86 mg/L, dan kandungan Zn sebesar 4,95 mg/L. Berdasarkan Lampiran Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021

Beton ferosemen sendiri adalah salah satu jenis konstruksi beton bertulang tipis di mana semen diperkuat dengan lapisan jaring berdiameter kecil yang berkesinambungan (*wiremesh*). Keunggulan utama dari *ferrocement* adalah mudah dalam pembuatannya, bahan baku mudah dicari, dan volume bahan yang digunakan relatif sedikit. Beton *ferrocement* dipilih karena mempunyai tingkat elastisitas dan ketahanan retak yang tinggi. Hal ini telah menghasilkan keberhasilan penerapan *ferrocement* dalam fabrikasi lambung kapal, konstruksi bangunan (perumahan berbiaya rendah), rehabilitasi struktur yang ada dan fabrikasi struktur laut terapung dan jaringan pipa saluran pembuangan limbah (Cheah & Ramli, 2013).

## 2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram alir

Eksperimen ini menggunakan metode eksperimen dengan alur seperti Gambar 1.

Dalam diagram alir dijelaskan material pasir akan digantikan dengan limbah *sandblasting* maka perlu dilakukan pengujian karakteristik awal material limbah *sandblasting*. Pada pengujian awal material tersebut untuk mengetahui karakteristik limbah *sandblasting* apakah sesuai dengan karakteristik pasir dan tentunya agar memenuhi standar kelayakan terhadap lingkungan sehingga material tersebut dapat dipakai *mix design*. Tahapan setelah *mix design* adalah uji lentur dimana produk beton ferrosemen agar memenuhi standar.

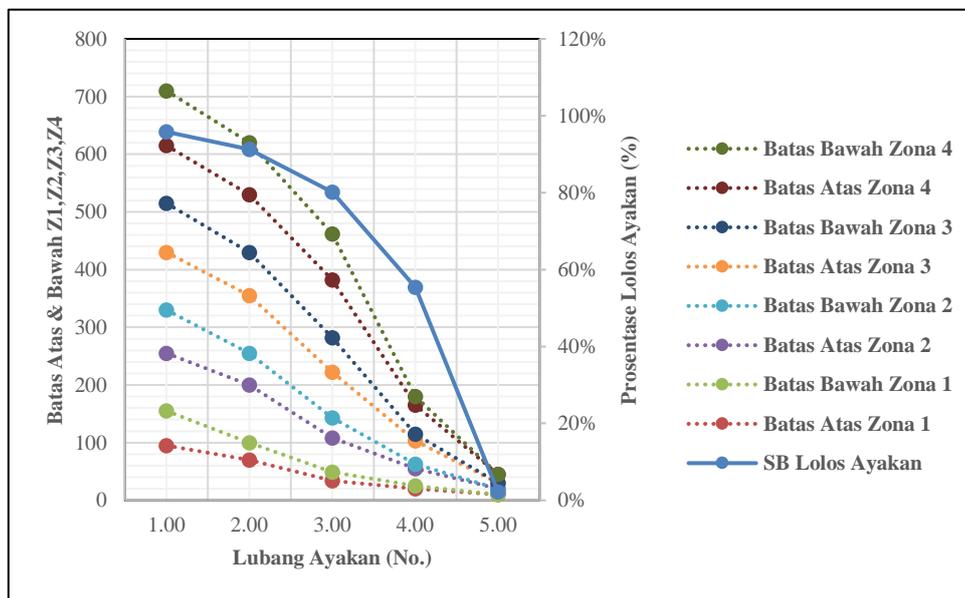
Penelitian ini melakukan 8 pengujian dengan uraian dan standar acuan sebagaimana yang dijabarkan di bawah ini.

Tabel 1. Standar acuan pengujian

No.	Nama Pengujian	Standar yang Dipakai
1	Gradasi Limbah <i>Sandblasting</i>	ASTM C-136 dan SNI 03
2	Gradasi Pasir	3834 2000
3	Berat Jenis Limbah <i>Sandblasting</i>	SNI 03 1970 2008
4	Berat Jenis Pasir	
5	Daya Serap Air pada Limbah <i>Sandblasting</i>	SNI 03 1970 2008
6	Daya Serap Air pada Pasir	
7	XRF dan TCLP	US EPA SW 846-1996 Method 6010 B
8	Uji Kuat Lentur	SNI 8299 2017

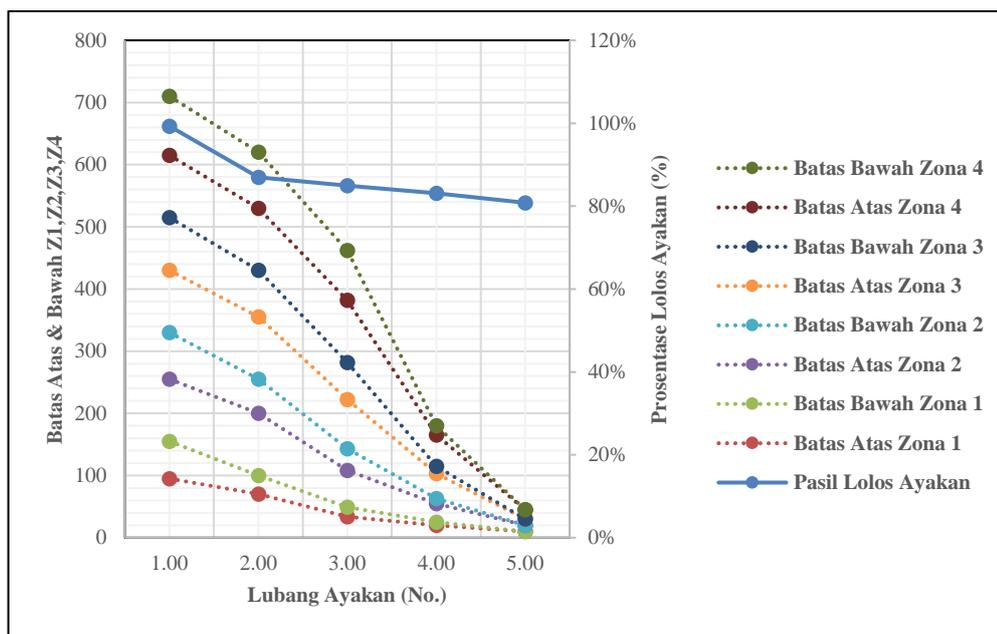
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Uji Gradasi



Gambar 2. Grafik gradasi limbah sandblasting terhadap zona 1,2,3, dan 4

Biasanya, limbah *sandblasting* bukanlah bahan yang umum digunakan untuk produksi beton. Namun karena endapannya yang besar, limbah *sandblasting* digunakan sebagai pengganti agregat halus dalam produksi beton *ferrocement*. Asumsikan bahan penggantinya sama dengan pasir. Standar yang digunakan untuk pengujian sama dengan standar untuk pasir. Gambar 3 menunjukkan bahwa proporsi serpihan *sandblast* yang melewati saringan (garis biru tebal) berada di antara batas atas dan bawah zona gradasi No. 4. Dari sini dapat disimpulkan bahwa limbah *sandblasting* yang digunakan berbutir halus. Dalam produksi beton *ferrocement* pada penelitian ini, limbah *sandblasting* yang lolos saringan no. 8 dengan ukuran butiran antara 2,38 – 1,18 mm.



Gambar 3. Grafik gradasi pasir terhadap zona 1,2,3, dan 4

Gambar 4 menunjukkan prosentase pasir yang lolos ayakan (garis tebal berwarna biru) berada di antara batas atas dan batas bawah pada zona gradasi no. 4, sehingga dapat disimpulkan bahwa pasir yang dipakai juga tergolong butiran halus sama seperti limbah *sandblasting*. Dengan mencermati hal tersebut, maka limbah *sandblasting* dapat digunakan dalam *mix design* beton ferosemen, mengingat hasil gradasinya yang menunjukkan kesamaan dengan pasir. Dalam pembuatan beton ferosemen pada penelitian ini, pasir yang digunakan adalah pasir yang lolos ayakan no. 8.

### Uji berat jenis

Tabel 2. Hasil uji berat jenis

	Uraian	Berat	Satuan
Limbah <i>Sandblasting</i>	Berat benda uji kering permukaan jenuh SSD (Bj)	500	gram
	Berat benda uji kering (Bk)	495	gram
	Berat piknometer berisi air (B)	1240	gram
	Berat piknometer + benda Uji (ssd) + air (Bt)	1550	gram
	Berat jenis SSD (Bj : B + Bj - Bt)	2,631	g/cm <sup>2</sup>
	Berat benda uji kering permukaan jenuh SSD (Bj)(Bj)	500	gram
Pasir	Berat benda uji kering (Bk)	490	gram
	Berat piknometer berisi air (B)	1240	gram
	Berat piknometer + benda Uji(ssd) = air(Bt)	1545	gram
	Berat jenis SSD (Bj : (B + Bj - Bt)	2,564	g/cm <sup>2</sup>

Uji berat jenis limbah *sandblasting* dan pasir dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui berat jenis dua agregat halus pada kondisi jenuh air pengeringan permukaan (SSD). Kerapatan permukaan (SSD kering) adalah perbandingan antara berat agregat kering yang jenuh di permukaan dengan berat kandungan distilat, yang pada suhu tertentu sama dengan berat agregat jenuh. Karena limbah *sandblasting* merupakan bahan yang jarang digunakan sebagai bahan beton, maka uji berat jenis ini didasarkan pada standar uji berat jenis pasir yaitu SNI 03-1970-2008, dengan menggunakan sampel yang mengandung 1000 ml air atau hidrometer isi setara. Itu dilakukan dengan menggunakan 1000cm<sup>3</sup>. Karena berat jenis agregat halus yang dipersyaratkan SNI 03-1970-2008 adalah antara 1,6 dan 3,2 g/cm<sup>3</sup>, maka dapat disimpulkan bahwa limbah *sandblasting* dan pasir yang diuji mempunyai nilai yang hampir sama dan memenuhi persyaratan.

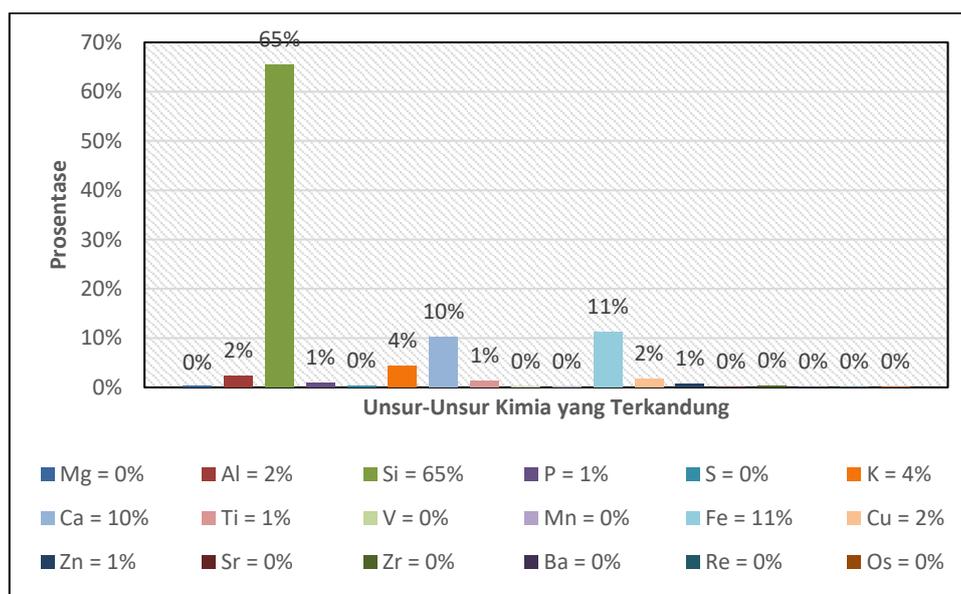
### Uji Daya Serap Air

Tabel 3. Hasil uji daya serap air

	Uraian	Berat	Satuan
Limbah <i>Sandblasting</i>	Berat benda uji kering permukaan jenuh SSD (Bj)	500	gram
	Berat benda uji kering oven (Bk)	495	gram
	Daya Serap Air		
	$\frac{Bj - Bk}{Bj} \times 100\%$	1	%
Pasir	Berat benda uji kering permukaan jenuh SSD (Bj)	500	gram
	Berat benda uji kering oven (Bk)	495	gram
	Daya Serap Air		
	$\frac{Bj - Bk}{Bj} \times 100\%$	2	%

Dari hasil pengujian daya serap air yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa kemampuan limbah *sandblasting* dalam menyerap air sebesar 1% dan pasir sebesar 2%. Limbah *sandblasting* dan pasir tersebut sudah memenuhi syarat yang ditetapkan dalam SNI 03 1970 2008, yaitu tidak melebihi 3%. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan kemampuan pasir dalam menyerap air sebesar 2%.

### Uji XRF



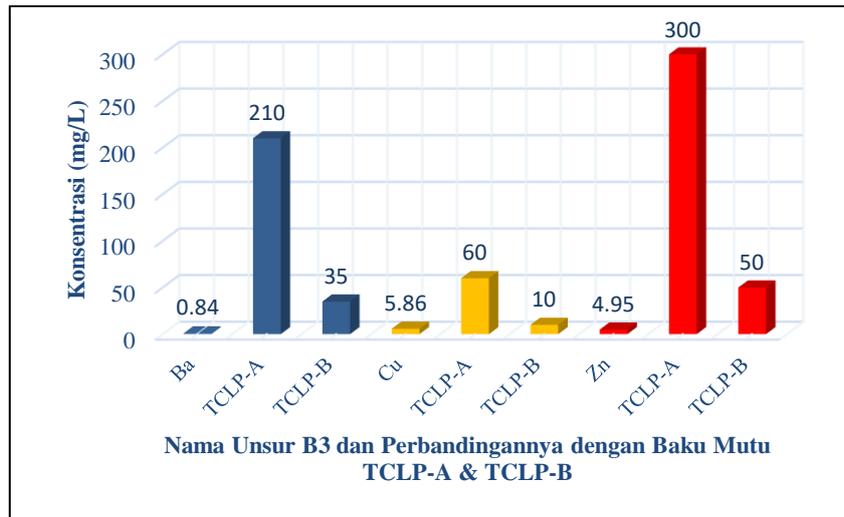
Gambar 4. Grafik hasil uji XRF

X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) merupakan cara analitik untuk menentukan komposisi kimia yang terkandung dalam bahan berbentuk padat, bubuk, atau bentuk lainnya. Pengujian XRF dilakukan pada row material limbah *sandblasting* karena dalam pembuatan beton ini hanya limbah *sandblasting* yang tergolong B3 sehingga perlu diuji kandungan melalui uji XRF setelah itu lanjut uji TCLP. Dari Gambar di atas diketahui unsur-unsur kimia yang tergolong logam berat antara lain:

- Barium (Ba) dengan kandungan sebesar 0,06%
- Seng (Zn) dengan kandungan sebesar 0,76%
- Copper (Cu) dengan kandungan sebesar 1,83%

Ba, Zn, dan Cu tergolong logam berat non esensial yang mempunyai sifat berbahaya dan beracun. Gejala keracunan logam berat mengakibatkan mual, muntah, diare, nyeri perut, hemolisis, kejang, dan kematian (Darmono, 2006). Karena bahaya kandungan logam berat telah dijelaskan, maka diperlukan uji TCLP untuk memastikan apakah kandungannya melebihi baku mutu atau standar kualitas.

### Uji TCLP



Gambar 5. Grafik hasil uji TCLP

Pengujian *Toxic Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) untuk unsur Ba, Cu, dan Zn dilakukan sesuai dengan US EPA SW 846-1996 Metode 6010 B. Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa limbah *sandblasting* mengandung 0,84 mg/L Ba, 5,86 mg/L Cu, dan 4,95 mg/L Zn. Berdasarkan Lampiran PerMen Nomor 22 Tahun 2021, limbah *sandblasting* pada Gambar di atas dapat dikatakan tidak melebihi baku mutu. Nilai konsentrasi baku mutu Cu pada TCLP-A dan TCLP-B masing-masing sebesar 60 mg/L dan 10 mg/L, sehingga nilai konsentrasi Cu pada limbah *sandblasting* tergolong tidak melebihi baku mutu. Nilai konsentrasi baku mutu Zn untuk TCLP-A dan TCLP-B masing-masing adalah 300 mg/L dan 50 mg/L, dan nilai konsentrasi Zn pada limbah *sandblasting* memenuhi baku mutu. Singkatnya, logam berat B3 dalam limbah *sandblasting* secara keseluruhan berada di bawah standar kualitas saat ini dan oleh karena itu layak digunakan dalam produksi pelat beton ferrocement.

### Mix Design

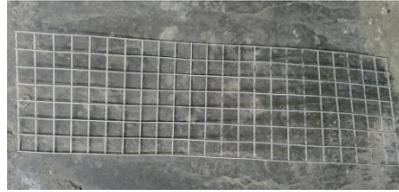
Berdasarkan uraian pengujian karakteristik di atas didapati bahwa material limbah *sandblasting* memenuhi kesamaan karakteristik material pasir dan didapati pula nilai ambang dibawah baku mutu layak aman bagi lingkungan. Selanjutnya rencana campuran *mix design* beton ferrosemen dengan menggantikan pasir dengan material limbah *sandblasting* ditentukan pada tabel berikut.

Tabel 4. Mix design beton ferosemen

No.	Nama Variasi	C	FA	Pasir	Limbah Sandblasting	SP	Air
1	1C : 1.5SB	600 g	0 g		900 g		
2	1C : 1.5SB : 50FA	420 g	180 g		900 g		
3	1C : 2SB	600 g	0 g	0 g	1200 g	12 mL	180 mL
4	1C : 1SB : 50FA	420 g	180 g		600 g		

\* C = *Cement*, FA = *Fly ash*, SB = Limbah *sandblasting*, SP = *Superplasticizer*

Pada campuran mortar ferosemen ditambahkan *admixture* berupa *superplasticizer* (sp) sebanyak 2% dari binder (semen dan/atau *fly ash*) dan w/c sebesar 0.30 dari binder. Benda uji yang dibuat berbentuk pelat balok dengan dimensi P 30 x L 10 x T 2 cm<sup>3</sup> sebanyak total 12 buah (3 spesimen per variasi). Benda uji yang sudah jadi selanjutnya dicuring selama 28 hari dengan ditutupi kain basah. Adapun tulangan *wiremesh* atau kawat jala yang dipakai adalah sebanyak 3 lapis per 1 benda uji dengan jarak antar kawat sebesar 0,5 cm. Kawat jala ini berfungsi sebagai tempat melekatnya mortar dan akan memberi kekuatan lentur pada beton ferosemen. Spesifikasi dari kawat jala yang dipakai memiliki diameter 0.5 cm dengan bukaan 1 x 1 cm<sup>2</sup> yang ditunjukkan seperti gambar di bawah ini.

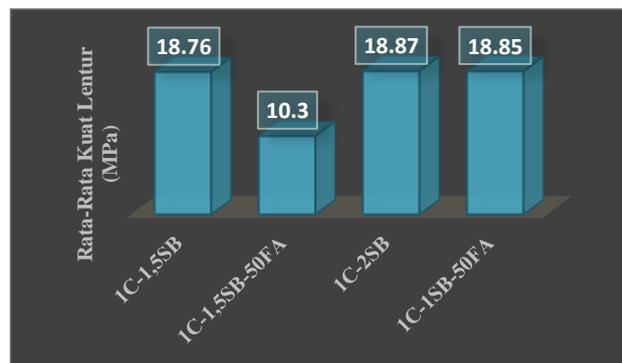


Gambar 6. Tulangan wiremesh

## Uji Kuat Lentur



Gambar 7. Uji lentur



Gambar 8. Grafik hasil uji rata-rata kuat lentur

Dari hasil uji kuat lentur diatas, benda uji nomor 4 menunjukkan nilai kuat lentur paling tinggi yaitu sebesar 18,87 MPa. Nilai kekuatan lentur tergantung pada warna buih *sandblasting* yang digunakan. IC-2SB merupakan varian dengan komposisi limbah *sandblasting* tertinggi. Berdasarkan hasil uji gradasi yang dilakukan, modulus kehalusan limbah *sandblasting* adalah 1,75, sedangkan modulus kehalusan pasir hanya 0,65. Faktor kekasaran butiran didefinisikan sebagai persentase kumulatif sisa ayakan pada ayakan dibagi 100 (Prasetyo, Y.E. & Widodo, S. 2015). Semakin tinggi koefisien kehalusan agregat maka semakin besar ukuran partikel agregat. Dalam produksi beton ferrocement, partikel limbah *sandblasted* berukuran besar diisi secara padat dan dikompresi menjadi rongga-rongga di dalam kotak atau jaring kawat, sehingga menghasilkan nilai yang lebih tinggi dalam uji kuat lentur. Sejalan dengan hasil penelitian ini terhadap pengaruh limbah *sandblasting* terhadap kuat lentur, Abdilah, Nn dan Muhabbah, Z (2019), dalam penelitiannya tentang pemanfaatan limbah *sandblasting* pasir silika sebagai bahan pengganti agregat halus untuk campuran beton, menyimpulkan pengaruh penggunaan limbah *sandblasting* sebagai bahan ganti agregat halus dalam campuran beton juga dapat meningkatkan kuat tekan beton, bahkan kuat tekan yang didapat lebih tinggi dari yang telah direncanakan. Sifat fisik pada limbah *sandblasting* agak halus sehingga butiran yang halus tersebut dapat mengisi pori-pori pada beton yang dapat membuat kuat tekanya semakin meningkat. Menurut SNI DT-91-2007, kuat lentur varian IC-2SB adalah 18,87 MPa. Kualitas ini cocok untuk pekerjaan konstruksi yang tidak memerlukan beban vertikal berlebihan.

## 4. KESIMPULAN

1. Hasil uji karakteristik material limbah *sandblasting* memiliki kesamaan material pasir dengan memenuhi standar gradasi, standar berat jenis dan daya serap air, pada uji XRF ada kandungan logam berat B3 berupa Barium, Seng, dan Copper, dan selanjutnya uji TCLP pada ketiga logam berat dari hasil XRF nilainya berada tidak melebihi baku mutu PP Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran XI. Sehingga dari hasil uji karakteristik material tersebut sesuai peraturan, layak dan dapat dipakai *mix design* dalam pembuatan Beton Ferosemen.
2. Beton ferosemen dengan rasio 1 semen : 2 limbah *sandblasting* memiliki rata-rata kuat lentur tertinggi yaitu 18,87 MPa. Mutu tersebut untuk pekerjaan konstruksi yang tidak memerlukan beban vertikal terlalu berat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, N., & Muhabbah, Z. (2019). Pemanfaatan limbah sandblasting pasir silika sebagai bahan pengganti agregat halus untuk campuran beton. *Jurnal Unitek*, 12(1), 10-16.
- Alifiadi, R., & Slamet, A. (2022). Utilization of sandblasting waste as an alternative material for paving blocks. *Jurnal Multidisiplin Madani*, 2(12), 4399-4407.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus* (SNI 03-1970-2008). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList>
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). *Metode pengujian waktu ikat awal semen portland dengan menggunakan alat vicat untuk pekerjaan sipil* (SNI 03-6827-2002). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList>
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal* (SNI 03-2834-2000). <http://sispk.bsn.go.id/SNI/DaftarList>
- Cahyono, L. C., Sinta, Y. R. D., Jannah, N. R., Fikriyah, I. A., Anwar, P. N., Putri, D. R. S., & Utomo, A. P. (2023). Pemanfaatan limbah abu cangkang kemiri industri makanan sebagai substitusi agregat halus paving block. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 6(3), 677-684.
- Cheah, C. B., & Ramli, M. (2013). The structural behaviour of HCWA ferrocement–reinforced concrete composite slabs. *Composites Part B: Engineering*, 51, 68-78.
- Darmono. (2006). *Lingkungan hidup dan pencemaran: hubungannya dengan toksikologi senyawa logam*. Universitas Indonesia.
- 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).
- Nursabrina, A., Joko, T., & Septiani, O. (2021). Kondisi pengelolaan limbah B3 industri di Indonesia dan potensi dampaknya: studi literatur. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 13(1), 80-90.
- Prasetyo, Y. E., & Widodo, S. (2015). Pengaruh cara perawatan terhadap kuat tekan dan kuat lentur high early strength fiber reinforced concrete. *INERSIA Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, 11(1), 46-52.
- Qi, C., Weinell, C. E., Dam-Johansen, K., & Wu, H. (2021). A review of blasting waste generation and management in the ship repair industry. *Journal of Environmental Management*, 300, 113714.