

Tinjauan Kelayakan Material *Sandblasting* dan *Fly Ash* sebagai Matrik *Ferrocement Concrete*

Luqman Cahyono^{1*}, Wiwik Dwi Pratiwi², Firda Fardina³, Dika Rahayu Widiana⁴,

Agung Prasetyo Utomo⁵, Alma Vita Shopia⁶

^{1,3,6}Program Studi D4-Teknik Pengolahan Limbah, ^{2,4,5}Program Studi S2-Teknik Keselamatan dan Resiko,

^{1,2,3,4,5,6}Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,

Jl. Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

Email: luqmancahyono@ppns.ac.id¹

Abstrak

Timbulan limbah *sandblasting* yang dihasilkan dari industri galangan kapal dan limbah *fly ash* dari PLTU di Indonesia jumlahnya relatif tinggi, serta mengandung bahan beracun dan berbahaya (B3) yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang serius. Penelitian ini berupaya untuk memanfaatkan limbah *sandblasting* dan *fly ash* tersebut menjadi bahan material matriks pada beton, di mana sebagian semen digantikan dengan kandungan silika dan aluminium oksida dari *fly ash*, dan agregat halus digantikan dengan pasir silika dari limbah *sandblasting*. Metode yang digunakan adalah metode eksperimen kuantitatif berupa uji *X-Ray Fluorescence Spectrometer* (XRF) dan uji *Toxicological Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) pada limbah *sandblasting*, dan uji kuat tekan pada mortar yang sudah jadi. Hasil uji XRF menunjukkan adanya kandungan logam berat B3 berupa barium (Ba) sebesar 0,06%, Seng (Zn) sebesar 0,76%, dan Copper (Cu) sebesar 1,83%. Berdasarkan uji TCLP yang telah dilakukan, ketiga logam berat tersebut nilainya berada di bawah baku mutu PP No. 22 Tahun 2021 Lampiran XI. Pada penelitian ini, mortar beton yang dibuat memiliki komposisi dengan rasio 1 semen : 1,5 limbah *sandblasting* (1C-1,5SB) dan 1 semen : 1,5 limbah *sandblasting* : 50 *fly ash* (1C-1,5SB-50FA). Mortar 1C-1,5SB menghasilkan kuat tekan rata-rata yang lebih besar, yaitu 31,50 MPa (setara mutu K-350), yang cocok untuk pembuatan landasan pesawat, sedangkan 1C-1,5SB-50FA menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 23,43 MPa (setara mutu K-275) yang cocok untuk penyusunan rangka pada struktur baja.

Kata kunci: *Fly ash*, limbah *sandblasting*, TCLP, uji kuat tekan, XRF

Abstract

The generation of *sandblasting* waste produced from the shipbuilding industry and *fly ash* waste from electric steam power plants in Indonesia is relatively high. It contains hazardous materials which can cause serious environmental pollution. This research attempts to utilize *sandblasting* and *fly ash* waste as matrix material for concrete, where some of the cement is replaced with silica and aluminum oxide content from *fly ash*, and the fine aggregate is replaced with silica sand from *sandblasting* waste. The method used is a quantitative experimental method in the form of an *X-ray fluorescence Spectrometer* (XRF) test and *Toxicological Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) test on *sandblasting* waste and a compressive strength test on the finished mortar. The XRF test results showed the heavy metal content of B3 in the form of barium (Ba) at 0.06%, Zinc (Zn) at 0.76%, and Copper (Cu) at 1.83%. Based on the TCLP test that has been carried out, the values of the three heavy metals are below the quality standards of PP No. 22 of 2021 Appendix XI. In this research, the concrete mortar made had a composition with a ratio of 1 cement:1.5 *sandblasting* waste (1C-1.5SB) and 1 cement:1.5 *sandblasting* waste:50 *fly ash* (1C-1.5SB-50FA). Mortar 1C-1.5SB produces a greater average compressive strength, namely 31.50 MPa (equivalent to K-350 quality), which is suitable for making aircraft runways, while 1C-1.5SB-50FA produces an average compressive strength of 23.43 MPa (equivalent to K-275 quality) which is suitable for constructing frames in steel structures.

Keywords: Compressive strength test, *fly ash*, *sandblasting* waste, TCLP, XRF

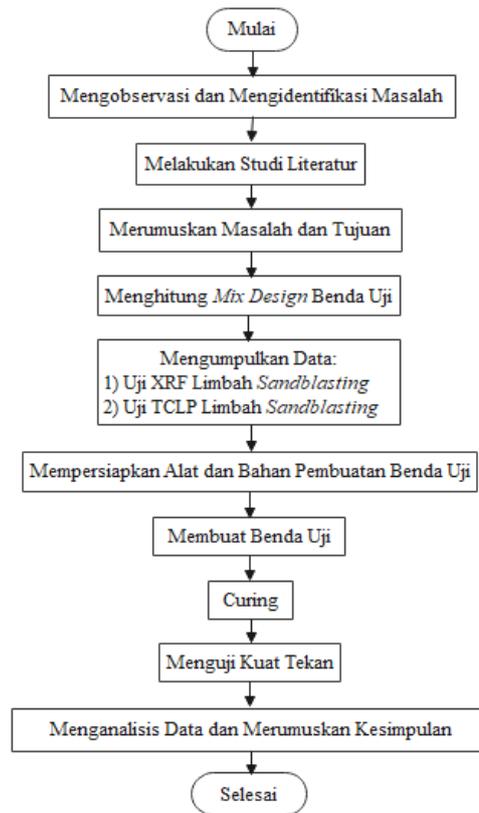
1. Pendahuluan

Timbulan limbah *sandblasting* yang dihasilkan dari industri galangan kapal dan limbah *fly ash* dari PLTU di Indonesia jumlahnya relatif tinggi, serta mengandung bahan beracun dan berbahaya (B3) yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang serius. *Sandblasting* adalah metode peledakan pasir silika dengan tekanan tinggi untuk menghilangkan karat dan biota laut pada peralatan logam (Alifiadi, R. dan Slamet, A., 2022). Limbah hasil *sandblasting* dapat mengandung unsur logam berat seperti Cr, Cu, Pb, dan Zn (Qi et al., 2021). Dewantara et al. (2017) mengungkapkan bahwa pada salah satu perusahaan galangan kapal, jumlah terbesar limbah *sandblasting* per bulan yang dapat dihasilkan adalah sebesar 12.100 kg, sedangkan jumlah untuk tiga bulan sebesar 36.300 kg. Limbah *sandblasting* ini jika dimasukkan ke dalam sebuah bak kontainer, maka akan memiliki volume sebesar 43,51 m³. Selain bahaya dari keberadaan limbah B3 dari *sandblasting*, Indonesia juga menghadapi bahaya dari keberadaan limbah *fly ash* atau abu terbang batu bara. Dalam SNI 03-6414-2002, abu terbang batu bara didefinisikan sebagai limbah hasil pembakaran batu bara pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang berbentuk halus, bulat, dan mempunyai sifat *pozzolan*. Unsur logam berat yang terkandung pada abu terbang batu bara antara lain Cu, Pb, Zn, Cd, dan Cr. Proses pencemaran limbah B3 (khususnya dari industri) bisa terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Proses langsung, yaitu pencemar berdampak langsung pada keracunan, sehingga dapat mempengaruhi kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan, serta dapat mempengaruhi keseimbangan ekologi air, udara dan tanah, sedangkan proses tidak langsung dimana banyak bahan kimia bereaksi dengan air dan tanah yang menyebabkan polusi hingga menimbulkan pencemaran (Nursabrina, A., Joko, T., & Septiani, O. 2021).

Salah satu cara untuk menanggulangi bahaya dari keberadaan limbah *sandblasting* dan *fly ash* adalah dengan memanfaatkannya menjadi material matriks pada beton *ferrocement*. Hasil penelitian Fathoni, H., dkk. (2022) menyebutkan bahwa kandungan silika dan alumina pada *fly ash* dapat berperan sebagai bahan pengikat dalam produksi beton atau sebagai bahan *pozzolan* dan pemanfaatan limbah pasir silika hasil *sandblasting* sebagai agregat halus dapat menambah kekuatan pada beton dan digunakan sebagai bahan pengikat. Beton *ferrocement* sendiri adalah salah satu jenis konstruksi beton bertulang tipis di mana semen hidrolik 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, C. B., & Ramli, M. 2013).

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan alur sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Adapun *mix design* yang dipakai dipaparkan dalam tabel berikut ini.

Tabel 1. *Mix Design*

No.	Kode Benda Uji	C (gram)	FA (gram)	Pasir (gram)	Limbah Sandblasting (gram)	SP (ml)	Water (ml)
Variabel Kontrol							
1	1C-1.5NS	600	0	900	0	12	180
Variabel Bebas							
2	1C-1.5SB	600	0	0	900	12	180
3	1C-1.5SB-50FA	420	180	0	900		

Keterangan:

1C-1.5NS = 1 semen : 1.5 *natural sand* (40% semen : 60% pasir)

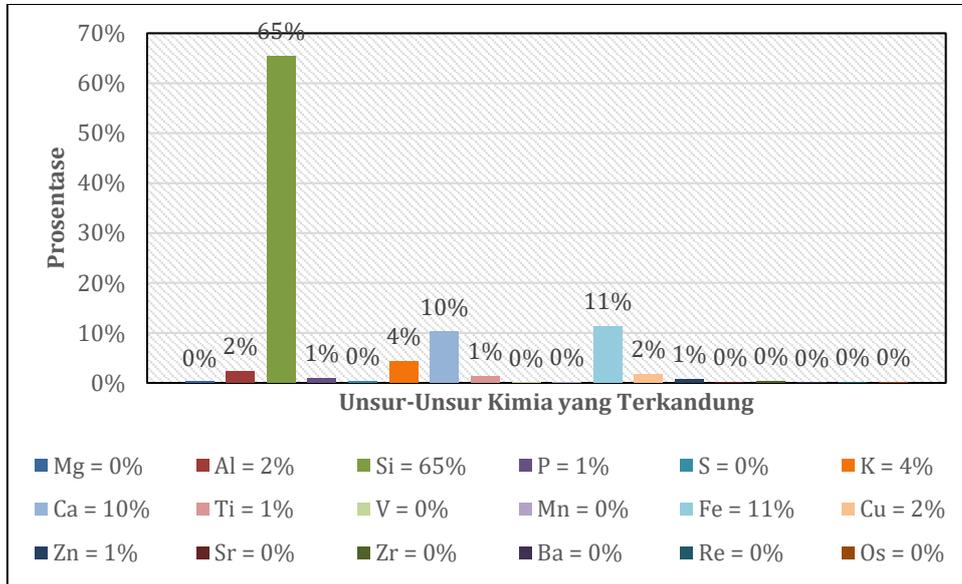
1C-1.5SB = 1 semen : 1.5 limbah *sandblasting* (40% semen : 60% limbah *sandblasting*)

1C-1.5SB-50FA = 1 semen : 1.5 limbah *sandblasting* : 50 *fly ash* (20% semen : 20% *fly ash* : 60% limbah *sandblasting*)

Dalam campuran mortar ditambahkan *admixture* berupa *superplasticizer* (sp) sebanyak 2% dari semen dengan FAS sebesar 0.30. Benda uji yang dibuat berbentuk kubus dengan dimensi 5x5x5 cm³ sebanyak total 15 buah. Benda uji yang sudah jadi selanjutnya dicuring selama 28 hari dengan ditutupi kain basah.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Hasil Pengujian XRF



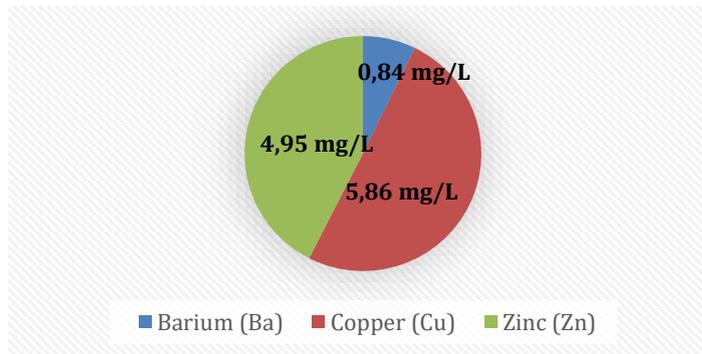
Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian XRF

X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF) adalah metode analitik yang digunakan untuk menentukan komposisi kimia yang terkandung dalam bahan berbentuk padat, bubuk, atau bentuk lainnya. Dalam penelitian ini XRF, dilakukan dengan tujuan agar memudahkan dalam menentukan parameter apa saja yang akan diuji dalam pengujian TCLP. Pengujian XRF dilakukan hanya pada material limbah *sandblasting* karena dalam pembuatan beton ini hanya limbah *sandblasting* yang tergolong B3 sehingga perlu diuji dengan TCLP. Dari Gambar 2 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 dalam logam berat non-esensial, yaitu logam berat yang beracun. Ba dalam konsentrasi yang besar menyebabkan kelumpuhan dan kematian, sedangkan dalam konsentrasi kecil menyebabkan kesulitan bernafas, tekanan darah meningkat, perubahan irama atau detak jantung, iritasi lambung, kelemahan otot, pembengkakan hati dan ginjal, gangguan syaraf dan kerusakan jantung. Sedangkan di perairan Ba sangat mudah larut di dalam air, sehingga mudah menyebar di perairan (Mukono, 2002). Zn diperlukan tubuh untuk proses metabolisme, tetapi dalam konsentrasi tinggi dapat bersifat menjadi racun. Kelebihan Zn sampai sepuluh kali AKG mempengaruhi metabolisme kolesterol, mengubah nilai lipoprotein, dan tampaknya dapat mempercepat timbulnya aterosklerosis. Konsentrasi yang rendah seng dapat menyebabkan muntah, diare, demam, kelelahan yang sangat, anemia, dan gangguan reproduksi (Mukono, 2002). Cu dapat menimbulkan gejala keracunan pada setiap tumbuhan pada konsentrasi larutan di atas 0,1 ppm. Bersifat racun bagi domba pada konsentrasi di atas 20 ppm dengan tingkat mobilitas yang sangat lambat karena ikatan yang sangat kuat dengan material organik dan mineral tanah liat. Gejala keracunan tembaga ditandai dengan timbulnya mual-mual, muntah, diare, sakit perut, hemolisis darah, kejang dan kematian (Darmono, 2006). Dari penjelasan bahaya masing-masing logam berat tersebut, maka perlu dilakukan uji TCLP untuk mengetahui besarnya kandungan apakah melebihi baku mutu atau tidak.

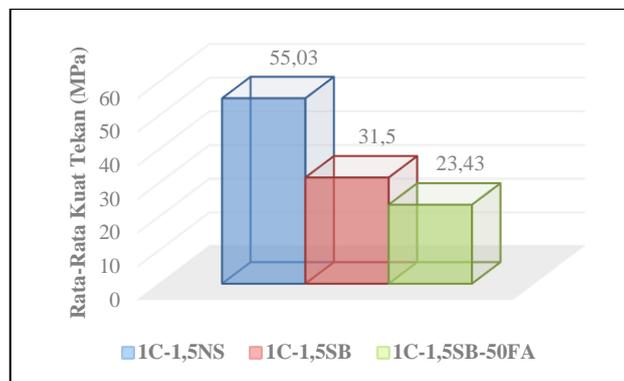
3.2. Hasil Pengujian TCLP



Gambar 3. Grafik Pie Hasil Pengujian TCLP

Pengujian *Toxicological Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) pada unsur Ba, Cu, dan Zn dilakukan dengan menurut prosedur US EPA SW 846-1996 metode 6010 B. Hasil pengujian pada Gambar 3 menunjukkan bahwa Ba yang terkandung pada limbah *sandblasting* sebesar 0,84 mg/L, Cu sebesar 5,86 mg/L, dan Zn sebesar 4,95 mg/L. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Lampiran XI tentang Baku Mutu Karakteristik Beracun melalui uji TCLP untuk Penetapan Kategori Limbah B3, nilai konsentrasi baku mutu Ba untuk TCLP-A dan TCLP-B berturut-turut 210 mg/L dan 35 mg/L, sehingga nilai konsentrasi Ba pada limbah *sandblasting* pada Gambar 3 dapat dikatakan tidak melebihi baku mutu. Nilai konsentrasi baku mutu Cu untuk TCLP-A dan TCLP-B berturut-turut 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 berturut-turut 300 mg/L dan 50 mg/L, sehingga nilai konsentrasi Zn pada limbah *sandblasting* memenuhi baku mutu. Kesimpulannya, logam berat B3 dalam limbah *sandblasting* secara keseluruhan berada di bawah baku mutu yang berlaku sehingga dapat digunakan pada pembuatan beton *ferrocement*.

3.3. Hasil Uji Kuat Tekan



Gambar 4. Grafik Rata-Rata Kuat Tekan Setiap Variasi Benda Uji (MPa)

Dari Gambar 4 didapatkan hasil bahwa benda uji tanpa campuran *fly ash* memiliki nilai rata-rata kuat tekan yang lebih tinggi daripada benda uji yang mengandung campuran *fly ash*. Hal ini terlihat dari kode benda uji 1C-1,5SB yang memiliki nilai rata-rata kuat tekan sebesar 31,5 MPa dan benda uji 1C-1,5SB-50FA yang menghasilkan nilai rata-rata kuat tekan sebesar 23,43 MPa. Dalam SNI DT-91-2007, hasil kuat tekan 1C-1,5SB setara dengan mutu beton K-350. Kualitas tersebut cocok untuk digunakan dalam pembangunan konstruksi struktural, terutama konstruksi yang memiliki penahanan beban tinggi. Sedangkan hasil kuat tekan 1C-1,5SB-50FA setara dengan mutu K-275 yang cocok untuk penyusunan rangka pada struktur baja.

Pada penelitian ini material yang diselidiki pengaruhnya terhadap kuat tekan beton adalah limbah *sandblasting* dan *fly ash*. Efrilia Rahmadona, et al. (2024) menyebutkan bahwa limbah *sandblasting* pada proses produksi beton dapat bereaksi secara kimia dengan cairan alkali pada suhu tertentu, sehingga membentuk bahan campuran yang memiliki sifat merekatkan seperti semen. Namun, penambahan limbah *sandblasting* di atas 10% dan *fly ash* di atas

20% sebagai pengganti semen kurang efektif untuk meningkatkan kuat tekan beton. Hal ini dikarenakan nilai resapan air akan berkurang seiring dengan peningkatan prosentase limbah *sandblasting* di atas 10% dan *fly ash* di atas 20%, di mana pengikatan antara bahan pengikat (binder) dengan agregat menjadi berkurang. Sejalan dengan hasil penelitian tersebut, Sinulingga (2014) juga menyebutkan bahwa mortar beton dengan campuran limbah *sandblasting* 10% dan *fly ash* 15% menghasilkan nilai kuat tekan yang menyamai kekuatan mortar beton normal. Hasil kuat tekan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa beton dengan campuran *fly ash*, yaitu 1C-1,5SB-50FA, memiliki nilai kuat tekan yang relatif rendah. Hal ini disebabkan campuran beton 1C-1,5SB-50FA mengandung 60% limbah *sandblasting*. Berdasarkan hasil penelitian Efrilia Rahmadona, et al. (2024) dan Sinulingga (2014) di atas, maka dapat disimpulkan bahwa substitusi pasir dengan limbah *sandblasting* dan penggantian semen dengan *fly ash* dapat meningkatkan kuat tekan beton apabila konsentrasinya tidak melebihi 20%.

4. Kesimpulan

Substitusi pasir dengan limbah *sandblasting* dan penggantian semen dengan *fly ash* dapat meningkatkan kuat tekan beton apabila konsentrasinya tidak melebihi 20%.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada pihak Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah membiayai seminar ini menggunakan dana DIPA 2024.

Daftar Pustaka

- Alifiadi, R., & Slamet, A. (2022). Utilization of *Sandblasting* Waste as an Alternative Material for Paving Blocks. *Jurnal Multidisiplin Madani*, 2(12), 4399-4407.
- Darmono. 2006. Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam. UI Pres. Jakarta. Institut Pertanian Bogor.
- Dewantara, F.A., Setiani, V., dan Rizal, M.C. 2017. Perancangan Tempat Penyimpanan Sementara (TPS) Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) Pada Perusahaan Galangan Kapal. *Proceeding the 1st Conference on Safety Engineering and Its Application*.
- Fathoni, H., Pratiwi, W. D., Setiani, V., & Sutrisno, W. (2022). Pemanfaatan Limbah Padat Pasir Silika Limbah *Sandblasting* dan *Fly Ash* untuk Beton HVFA-SCC. In *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology* (Vol. 5, No. 1).
- Mukono, H.J. 2002. *Epidemiologi Lingkungan*. Airlangga University Press. Surabaya.
- 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.
- Qi, C., Weinell, C.E., Dam-Johansen, K. & Wu, H. 2021. *Journal of Environmental Management*. Vol. 300. Hal. 1-13.
- Rahmadona, E., Amalia, KR, Ulfah, L., & Praditya, N. (2024). Analisis Kuat Tekan Beton Menggunakan Silica Fume dan *Fly Ash* Sebagai Pengganti Parsial Semen. *Jurnal Bakat Sipil*, 7 (1), 217-223.
- Sinulingga, K. (2014). Pengaruh penambahan abu sekam padi dan abu boyler kelapa sawit terhadap efisiensi penggunaan semen pada kontruksi beton. *Jurnal Sainatika*, 14(1), 54–63