

Pemanfaatan Pasir Silika Limbah *Sandblasting* sebagai Substitusi Agregat Halus pada *Structural Lightweight Foamed Concrete* (SLFC)

Sri Sugiartiningsih¹, Adhi Setiawan¹, dan Wahyuniarsih Sutrisno^{2*}

¹Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan, ITS, Surabaya

*E-mail: niar1206@gmail.com

Abstrak

Pasir silika limbah *sandblasting* dihasilkan dari proses *blasting* untuk mencegah terjadinya korosi pada permukaan logam. Berdasarkan Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 Lampiran IX, limbah *sandblasting* merupakan limbah B3 sehingga tidak dapat dibuang langsung ke lingkungan. Oleh karena itu, pada penelitian ini berfokus pada pemanfaatan limbah *sandblasting* sebagai material pengganti agregat halus pada *Structural Lightweight Foamed Concrete* (SLFC) dengan metode solidifikasi. Sampel beton yang digunakan yaitu tanpa pasir limbah *sandblasting* dan 100% dengan limbah *sandblasting* yang kemudian di uji kelayakan teknisnya dengan uji kuat tekan yang mengacu pada ACI 357R-14 dan uji kelayakan lingkungan menggunakan TCLP berdasarkan PP No 22 Tahun 2021. Hasil pengujian kuat tekan pada beton penambahan limbah *sandblasting* sebesar 0% dan 100% menghasilkan kuat tekan sebesar 19,9 MPa dan 37,3 MPa di umur 28 hari. Berdasarkan hasil uji TCLP pada beton SLFC dengan konsentrasi limbah *sandblasting* 100% sebagai pengganti agregat halus terbukti layak teknis dan lingkungan.

Keywords: limbah *sandblasting*, karakteristik, kuat tekan, uji TCLP

1. PENDAHULUAN

Kapal merupakan sarana transportasi penghubung dan infrastruktur ekonomi antarpulau. Material logam yang digunakan pada pembuatan kapal terdiri dari unsur Fe dan C yang kemudian diberi bahan pelindung karat dan *mill scale* yang terdiri dari FeO₂, Fe₃O₄, dan FeO (Utomo dkk., 2019). Kadar garam yang terkandung pada air laut memiliki konsentrasi yang berbeda – beda, sehingga mengakibatkan korosi (Kurniawan dan Periyanto, 2018). Salah satu cara untuk mencegah terjadinya korosi pada pelat baja dilakukan dengan cara menembakan *abrasive material* yang berupa pasir silika dengan tekanan tinggi pada permukaan pelat atau yang disebut dengan proses *sandblasting* (Hendrawan dkk., 2020 dan Sisworo, 2018).

Berdasarkan lampiran IX Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021, bahwa limbah hasil proses *blasting* ditetapkan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Limbah *sandblasting* terindikasi mengandung logam berat sehingga dikategorikan sebagai limbah B3. Berdasarkan penelitian sebelumnya, bahwa pada limbah *sandblasting* memiliki kandungan logam besi (Fe), seng (Zn), dan Aluminium (Al) (Lipska dkk., 2019). Pemanfaatan limbah *sandblasting* dapat dijadikan koagulan, *paving block*, beton, dan beton aspal (Sukmana dkk., 2019).

Pada penelitian sebelumnya pemanfaatan limbah *sandblasting* sebagai pengganti agregat halus untuk campuran beton menghasilkan kuat tekan 35,1 MPa dengan persentase limbah 20% di umur 28 hari lebih besar dari kuat tekan yang direncanakan yaitu 25 MPa (Abdillah dan Mubahabbah, 2019). Teknologi beton kini memunculkan beton busa atau yang dikenal dengan *foamed concrete* yang dicirikan dengan strukturnya yang berpori dan memiliki densitas kurang dari 1.900 kg/m³ (Allouzi dkk., 2020). Oleh karena itu, pada penelitian ini pasir silika limbah *sandblasting* dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat halus pada *Structural Lightweight Foamed Concrete* (SLFC). Tujuan dari penelitian ini membahas tentang pengaruh substitusi pasir silika limbah *sandblasting* sebagai pengganti agregat halus pada beton SLFC terhadap kelayakan teknis serta lingkungan.

2. METODOLOGI

Pasir silika limbah *sandblasting* yang digunakan pada penelitian ini berasal dari industri galangan kapal yang berlokasi di Lamongan, Jawa Timur. Pengambilan sampel limbah *sandblasting* dilakukan dalam TPS limbah B3. Sebelum digunakan sebagai pengganti agregat halus limbah *sandblasting* tersebut dilakukan proses *treatment* atau pengolahan terlebih dahulu. Limbah *sandblasting* dicuci dengan menggunakan akuades sampai air terlihat jernih kembali. Tujuan pencucian tersebut adalah untuk mengurangi kadar lumpur dan minyak yang terkandung didalam pasir silika limbah *sandblasting*. Pemanfaatan pasir silika limbah *sandblasting* sebagai agregat halus menggunakan metode solidifikasi. Berikut ini tahapan pembuatan *Structural Lightweight Foamed Concrete*.

a. Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan beton SLFC sebagai berikut:

1. Neraca
2. Mixer
3. Cetakan Ø10 x 20 cm
4. Palu karet
5. Plastik
6. *Foamed generator*
7. Pasir silika limbah *sandblasting*
8. Pasir Lumajang
9. PVA Fiber
10. Air Suling
11. Semen PCC
12. *HRWR admixture*
13. *Foaming agent*

b. Prosedur

Mix design yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada *ACI Material Journal* hasil penelitian Allouzi dkk., 2020. Pembuatan beton SLFC tidak menggunakan agregat kasar dan digantikan oleh PVA Fiber. Berikut ini pada **Tabel 1**, merupakan mix design dari SLFC.

Tabel 1. Mix Design *Structural Lightweight Foamed Concrete*

Material	Kode Sapel	
	SLFC 0	SLFC 100
Ratio Semen : Pasir	1:1	1:1
Rasio w/c	0,41	0,41
PVA Fiber (%)	2	2
Cement Content (kg)	666,67	666,67
Pasir (%)	100	100
Pasir Silika (%)	0	0
Water (kg)	208,90	208,90
Foaming Agent (L)	1,33	1,33
Air untuk Foam (L)	44,40	44,40
HRWR Admixture (kg)	9,75	9,75

Mix design untuk menentukan jumlah material yang digunakan berdasarkan **Tabel 1**, tersebut. Pembuatan benda uji beton SLFC dalam skala laboratoorium mengacu pada ACI 532. Berikut ini tahapan pembuatan beton SLFC.

1. Cuci pasir silika limbah *sandblasting* dengan air suling atau akuades sampai bersih dan tidak ada kadar minyak dan lumpurnya berkurang.
2. Oven pasir silika limbah *sandblasting* pada temperatur 100°C selama 24 jam, kemudian dinginkan pada temperatur ruang.
3. Saring pasir dengan ayakan No 4 dan gunakan pasir yang telah lolos ayakan.
4. Timbang masing – masing material sesuai hasil perhitungan material yang dibutuhkan.
5. Masukkan agregat halus dan semen kedalam *mixer* aduk secara pelan sampai tercampur merata.
6. Masukkan air sedikit demi sedikit dengan kondisi *mixer* tetap berputar dan pastikan adonan beton teraduk rata.
7. Masukkan *HRWR admixture* sedikit demi sedikit dengan kondisi *mixer* tetap berputar dan pastikan adonan beton teraduk rata, kemudian aduk selama 15 menit.

8. Setelah 15 menit, masukan fiber sedikit demi sedikit dengan kondisi mixer tetap berputar dan pastikan adonanbeton teraduk rata selama 3 menit.
9. Buatlah *foamed* menggunakan *foaming agent* yang sudah dilaurtkan dengan air suling dengan perbandingan *foaming agent*:air suling 1:33.
10. Masukan *foaming agent* kedalam *foamed generator* dengan tekanan 80 bar selama 2 menit.
11. Setelah *foamed* didapatkan, masukan ke dalam adonan beton secara bertahap dengan kondisi *mixer* tetapberputar dan aduk secara merata selama 3 – 5 menit.
12. Masukan adonan beton ke dalam cetakan dengan cara diketuk dengan palu karet sampai cetakan terisi penuh dan ratakan permukaan.
13. Tutup permukaan beton dengan menggunakan plastik agar tidak terjadi penguapan dan terbentuknya ronggapada beton SLFC.
14. Simpan pada temperatur $21,1 \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam, setelah itu keluarkan beton dari cetakan.

Setelah tahapan pembuatan benda uji, tahapan selanjutnya yaitu proses perawatan benda uji atau yang disebut dengan *curing*. Proses *curing* beton mengacu pada ASTM 495 yang bertujuan untuk menjaga beton agar tidak cepat kehilangan air dan menjaga kelembaban untuk meningkatkan kualitas mutu beton. Berikut ini tahapan proses perawatan atau *curing* pada beton SLFC:

1. Tutup benda uji dengan menggunakan kain basah.
2. Simpan pada temperatur $21,1 \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam, setelah itu keluarkan beton dari cetakan selama umur pengujian beton.

c. Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan pada beton SLFC 0 dan SLFC 100 pada umur 7 dan 28 hari. Prosedur pengujian kuat tekan tersebut mengacu pada ASTM C39. Proses pengujian kuat tekan benda uji perlu dilakukan proses capping untuk meratakan permukaan benda uji sehingga distribusi beban aksial dapat merata.

d. Pengujian TCLP

Pengujian TCLP dilakukan bertujuan untuk menentukan konsentrasi kandungan limbah B3 setelah proses solidifikasi/stabilisasi (S/S). Metode pengujian TCLP mengacu pada SNI 8808-2019. Sampel uji TCLP dipilih dari sampel yang memiliki hasil uji kuat tekan maksimum dengan parameter uji TCLP berdasarkan hasil uji XRF. Selanjutnya hasil pengujian tersebut dibandingkan dengan baku mutu TCLP limbah B3 sesuai Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021.

3. HASIL ADAN PEMBAHASAN

3.1 Karakterisasi Pasir Silika Limbah *Sandblasting*

Pengolahan limbah *sandblasting* dengan metode solidifikasi/stabilisasi bertujuan untuk mengubah zat kontaminan menjadi stabil dengan menambahkan zat pengikat untuk mereduksi perlindian kontaminan baik secara fisik maupun secara kimiawi (Salleh, 2018). Hasil pengujian material pasir silika limbah *sandblasting* yang dilakukan di Laboratorium Beton Material Maju dan Komputasi Mekanik dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Analisis Material

No	Analisis	Pasir Silika Limbah <i>Sandblasting</i>	Pasir Lumajang
1	Berat Jenis (kg/m^3)	2.663	2.662
2	Penyerapan (%)	4,2	2,5
3	Kadar Lumpur (%)	12,5	0,75
4	Zat Organik	No 3	No 1

Berdasarkan **Tabel 2**, bahwa hasil analisa material pasir lumajang dan pasir silika limbah *sandblasting* memiliki karakteristik yang hampir sama seperti nilai berat jenis. Hasil penelitian serupa menunjukkan bahwa pasir silika memiliki karakteristik hampir sama dengan pasir biasa dengan nilai berat jenis sebesar $2.592 \text{ kg}/\text{m}^3$ (Nathan, 2018). Namun, pasir silika limbah *sandblasting* memiliki kadar lumpur yang tinggi sehingga untuk menurunkannya diperlukan pengolahan sebelum digunakan sebagai pengganti agregat halus, salah satunya dengan cara pencucian dengan menggunakan air suling. Hasil dari proses pencucian tersebut menunjukkan adanya perubahan baik secara fisik maupun secara kimia, perubahan secara fisik dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Pasir Silika Limbah *Sandblasting* (a) Setelah Dicuci dan (b) Sebelum Dicuci

Berdasarkan **Gambar 1.** menunjukkan adanya perubahan warna dari pasir silika limbah *sandblasting* yang semula berwarna kuning kecoklatan menjadi pudar. Hal tersebut dapat diindikasikan bahwa kadar lumpur dan minyak dari proses tersebut telah berkurang.

3.2 Analisa Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan pada beton SLFC dilakukan pada beton yang memiliki umur 7 dan 28 hari. Pengujian kuat tekan dilakukan bertujuan untuk mengontrol komposisi campuran bahan penyusun terutama adanya substitusi pasir silika limbah *sandblasting* pada *Structural Lightweight Foamed Concrete* (SLFC). Hasil pengujian kuat tekan beton SLFC disajikan pada **Tabel 3.**

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton SLFC

No	Kode Sampel	Hasil Kuat Tekan	
		Umur 7 Hari (MPa)	Umur 28 Hari (MPa)
1.	SLFC 0	11,9	19,9
2.	SLFC 100	23,9	37,3

Tabel 3. menunjukkan hasil pengujian kuat tekan dari beton SLFC dengan pasir silika 100% dan tanpa limbah *sandblasting* di umur 7 dan 28 hari. Pada umur 7 hari beton SLFC dengan campuran limbah *sandblasting* 100% dan tanpa limbah *sandblasting* memiliki kuat tekan 23,9 MPa dan 11,9 MPa, sedangkan pada umur 28 hari beton SLFC dengan campuran limbah *sandblasting* 100% memiliki kuat tekan optimum sebesar 37,3 MPa. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan pasir silika dalam pembuatan beton normal dapat meningkatkan kuat tekan. Pada penelitian Nursyamsi dan Maulana (2019) penambahan pasir silika dengan campuran 50% dengan ukuran 80 – 100 mesh dan 50% dengan ukuran 325 mesh memiliki kuat tekan 42,03 MPa dan 53,07 MPa. Peningkatan kuat tekan pada beton dengan penambahan limbah *sandblasting* terjadi karena ukuran partikel pasir silika limbah *sandblasting* yang lebih halus daripada pasir biasa mampu mengisi rongga atau pori – pori pada beton (Abdillah dan Muhabbah, 2019 dan Qomariah dkk., 2020). Berdasarkan kemampuan limbah *sandblasting* tersebut dapat digunakan sebagai substitusi agregat halus pada pembuatan beton. Selain itu, kuat tekan yang dihasilkan oleh beton SLFC 100 yang mencapai 37,3 MPa pada umur 28 hari telah memenuhi persyaratan kuat tekan untuk bangunan laut berdasarkan ACI 357R-14.

3.3 Analisa Hasil Uji TCLP

Pengujian TCLP dilakukan bertujuan untuk mengetahui konsentrasi kandungan logam berat pada beton SLFC yang mengandung limbah *sandblasting*. Beton yang memiliki konsentrasi logam berat di bawah baku mutu TCLP berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 dapat dinyatakan aman dilingkungan sehingga diperbolehkan untuk digunakan sebagai material bangunan. Hasil penguji TCLP disajikan pada **Tabel 4.**

Tabel 4. Hasil Uji TCLP Cr⁶⁺ Beton SLFC

No	Kode Sampel	Satuan	Baku Mutu			Hasil
			TCLP A	TCLP B	TCLP C	
1.	SLFC 100	mg/L	15	2,5	1	0,067

Tabel 4. menunjukkan, bahwa kandungan logam berat pada campuran beton SLFC 100 memiliki nilai dibawah baku mutu TCLP. Hal tersebut bahwa logam Cr yang terkandung didalam pasir silika limbah *sandblasting* mengalami pengendapan yang baik sehingga mobilitas logam Cr menjadi lebih rendah, sehingga reaksi pengikatan antara Cr dan bahan pengikat bereaksi dengan baik (Pamayo dan Trihadiningrum, 2015 dan Nindyapuspa dan Alfiah, 2018). Kandungan bahan B3 dapat terikat dan mengendap dengan metode solidifikasi, kandungan logam yang dapat mengendap dengan baik karena adanya reaksi antara metal ionic

(Mⁿ⁺) dengan senyawa basa dan karbonat yang terdapat pada semen (Faisal, 2015). Oleh karena itu, beton SLFC 100 memiliki kelayakan teknis yang aman bagi lingkungan dan dapat digunakan sebagai alternatif sebagai material bangunan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi pasir silika limbah *sandblasting* memiliki berat jenis sebesar 2.663 kg/m³ yang hampir sama dengan pasir biasa. Selain itu, berdasarkan hasil uji XRF komposisi kimia terbesar dari limbah *sandblasting* yaitu SiO₂. Penambahan pasir silika limbah *sandblasting* sebagai pengganti agregat halus pada beton SLFC mampu menghasilkan kuat tekan sebesar 37,3 MPa pada umur 28 hari dengan hasil TCLP sebesar 0,067 mg/Lsehingga memenuhi baku mutu TCLP dan layak sebagai material bangunan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pihak industri galangan kapal dan Laboratorium Beton Material Maju dan Komputasi Mekanik Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah membantu penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, N. dan Z. Muhabbah. (2019). Pemanfaatan Limbah Sandblasting Pasir Silika Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus untuk Campuran Beton. *UNITEK*, 12 (1), pp. 10 – 16.
- Allouzi, R., A. A. Qatawna, dan T. A. Kasasbeh. (2020). Lightweight Foamed Concrete Mixture for Structural Use. *ACI Materials Journal*, 117 (3), pp. 99 – 109.
- Faisal, S. (2015). *Studi Pemanfaatan Tanah Tercemar Merkuri Simulasi Menggunakan Semen Portland dan Fly Ash*. Research Paper. Surabaya : Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS.
- Hendrawan, A., Lusiani, dan R. Apriliani. 2020. *Sandblasting pada Kapal MV. Berlian Indah*. Jurnal Saintara, 4 (2), pp. 25 – 32.
- Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia PP Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan*. Jakarta.
- Kurniawan, W. D. dan Periyanto. 2018. Proses Sandblasting dan Coating pada Kapal di PT. Dok Perkapalan Surabaya. *Otopro Journal of Mechanical Engineering and Applications*, 13 (2), pp.44 – 53.
- Lipska, J. B., M. Techman, dan S. Skibicki. (2019). *Use of Contaminated Sand Blasting Grit for Production of CementMortar*. IOP Conference WMCAUS 2018, 10 (1), pp. 1 – 6, Prague.
- Nathan, L. S. (2018). Study on Structural Behavior of Silica Sand in Concrete. *Journal of Engineering and Applied Science*, 14 (13), pp. 10837 – 10838.
- Nindyapuspa, A. dan T. Alfiah. (2018). *Penurunan Kadar Cu dalam Proses Solidifikasi Limbah Oli Bekas 15% Menggunakan Semen Portland dan Bentonit*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan IV, Oktober. Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Nursyamsi N. dan I. Maulana. (2019). *Effect The Silica Sand Percentage As Substitution of Fine Agregate On The Concrete Compressive Strength*. IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. Juni 03. Hubei, China : 1 – 8.
- Pamayo, I. A. dan Y. Trihadiningrum. (2015). Stabilisasi/Solidifikasi Timbunan Tailing Penambangan Emas RakyatKulon Progo Menggunakan Semen Portland. *Jurnal Teknik ITS*, 5 (2), pp. 242 – 247.
- Qi, C., C. E. Weinell, K. D. Johansen dan Hao Wu. (2021). A review of Blasting Waste Generation and Management In The Ship Repair Industry. *Journal of Environmental Management*, Vol.1, No.1, pp. 1 – 14. Technical University of Denmark, Lyngby.
- Qomariah, Q., S. Sugiharti, dan S. Riyanto. (2020). *The Utilization of Sandblasting Sand Waste for Mortar and Normal Concrete*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Januari 28.
- Salleh, S. (2018). *Evaluation of Sandblasting and Stabilized Shipyard Abrasive Blasting Waste as Construction Material*. Ph.D's Thesis of University of Malaya, Malaysia.
- Sisworo, S. J. 2018. Studi Komparasi Proses Abrasive Blasting pada Pembangunan Kapal Dikaji dari Segi Teknis dan Ekonomis. *Jurnal Kapal*, pp. 25 – 32.
- Sukmana, N. C., M. S. Melati, M. I. Setyawan, E. Prayogi dan U. Anggraini. (2019). *Optimizing of Cellular Lightweight Concrete Using Silica Sand of Sandblasting Waste Based on Factorial Experimental Design*. IOP Conference 13th Joint Conference on Chemistry (13th JCC), 1, pp. 1 – 6, Semarang.
- Utomo, B., S. Sugeng, Sulaiman dan A. Windyandari. 2019. Aplikasi Teknik Pembersihan Plat Baja Karbon Pada Lambung Kapal dengan Metode *Sandblasting*. *Jurnal Pengabdian Vokasi*, 1 (2), pp. 78 – 82.