

Pemanfaatan Limbah *Sandblasting* sebagai Mortar dan *Glassfibre Reinforced Cement (GRC)*: Evaluasi Sifat Mekanik dan Penyerapan Air

Wanda Cahyaning Ati¹, Wiwik Dwi Pratiwi^{1*}, Nur Fajar Aprilia Sari¹

¹Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya 60111

*E-mail : wiwik.pratiwi@ppns.ac.id

Abstrak

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran IX, limbah *sandblasting* yang dihasilkan industri galangan kapal termasuk limbah bahan berbahaya dan beracun sehingga berpotensi mencemari lingkungan. Tujuan penelitian ini yaitu menganalisis limbah *sandblasting* sebagai pengganti agregat halus dalam pembuatan mortar dan *Glassfibre Reinforced Cement*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan karakterisasi material awal yaitu uji *X-Ray Fluorescence*, berat jenis, daya serap air, gradasi pasir dan kadar lumpur. Komposisi yang digunakan yaitu semen : agregat halus = 1 : 1, dengan variasi penambahan limbah *sandblasting* 0% dan 100%. Semua campuran menggunakan *superplasticizer* 1,5%, faktor air semen 0,31 dan serat kaca 3%. Variabel yang diuji meliputi uji kuat tekan (SNI 03-6825-2002), uji kuat lentur (ASTM C947-03) dan uji penyerapan air (ASTM C947-03) pada umur 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan pada mortar dengan 0% dan 100% limbah *sandblasting* adalah 26,53 MPa dan 65,87 MPa, sesuai klasifikasi mortar tipe M. Hasil kuat lentur 0% dan 100% limbah *sandblasting* adalah 9 MPa dan 6,6 MPa belum memenuhi standar *Glassfibre Reinforced Concrete Association* (2017), sedangkan penyerapan air sebesar 5,2% dan 9,1% telah memenuhi standar tersebut.

Keywords: *Glassfibre Reinforced Cement (GRC)*, Kuat Lentur, Kuat Tekan, Limbah *Sandblasting*, Penyerapan Air

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara maritim dengan luas wilayah 8,23 juta km² dan lebih dari 62% berupa perairan, memiliki sekitar 17.500 pulau dan garis pantai 81.000 km. Data ini menunjukkan pentingnya sektor maritim dalam perekonomian nasional (Meroja dkk., 2024). Pemerintah mendukung sektor ini melalui pembiayaan industri perkapalan, pembangunan pelabuhan, dan optimalisasi galangan kapal, sehingga membuka peluang bagi industri galangan kapal nasional. Letak geografis Indonesia yang terdiri atas kepulauan menyebabkan kadar garam air laut bervariasi, sehingga lambung kapal rentan mengalami korosi. Oleh karena itu, kapal perlu dirawat secara rutin agar masa operasionalnya lebih lama. Bagian lambung yang kontak langsung dengan air laut memerlukan perlindungan tambahan, seperti pengecatan berlapis. Agar cat menempel dengan baik, diperlukan proses *sandblasting* untuk membentuk profil pada permukaan logam (Kurniawan & Periyanto, 2018).

Blasting merupakan metode pembersihan permukaan material yang dilakukan dengan cara menyemprotkan udara bertekanan tinggi menggunakan berbagai jenis media, seperti pasir dan air. Proses blasting ini bertujuan untuk menghilangkan korosi yang menempel pada permukaan besi baja yang digunakan sebagai dinding kapal (Edy Lisdiyono, 2018). Salah satu jenis proses blasting yaitu menggunakan *sandblasting* (Bayduri & Ryadin, 2023). Pasir kuarsa yang telah digunakan jatuh ke tanah dan menumpuk sehingga luas permukaannya menjadi besar. Karena limbah *sandblasting* mengandung logam berat yaitu Cr, Cu, Pb dan Zn (Dermawan & Ashari, 2018). Maka, berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Lampiran XI menyatakan bahwa limbah hasil proses blasting diklasifikasikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Menurut Dewantara dkk. (2017), mengungkapkan bahwa limbah *sandblasting* di salah satu perusahaan galangan kapal adalah 12.100 kg/bulan dan 36.300 kg selama tiga bulan.

Glassfibre Reinforced Cement (GRC) adalah material komposit yang tersusun dari dua bahan dengan sifat berbeda. Campuran semen dan pasir yang telah mengeras memiliki kekuatan tekan yang tinggi, namun lemah dalam kekuatan lenturnya. Sebaliknya, serat gelas memiliki kekuatan lentur yang baik. Kombinasi keduanya menghasilkan material yang mampu menyatukan keunggulan beton dan serat kaca, sehingga memiliki ketahanan terhadap tekanan, kelenturan dan geseran (Hendrawati dkk., 2024). GRC dapat digunakan untuk membuat dinding tipis yang kuat dan tahan lama. Sehingga memungkinkan bangunan gedung untuk memiliki dinding yang lebih ringan dan lebih tipis, yang mana dapat meningkatkan efisiensi ruang dan mengurangi biaya konstruksi (Sasmitha Mulya & Suripto, 2023).

Berdasarkan penelitian Abdillah & Muhabbah (2020), tentang pemanfaatan limbah *sandblasting* pasir silika sebagai bahan pengganti agregat halus untuk campuran beton menghasilkan variasi optimal dengan campuran limbah *sandblasting* 20% dengan kuat tekan sebesar 35,1 MPa. Pada peneliti lainnya meneliti tentang penambahan pasir silika limbah *sandblasting* sebagai pengganti agregat halus pada beton *Structural Lightweight Foamed Concrete (SLFC)* mampu menghasilkan kuat tekan sebesar 37,3 MPa pada umur 28 hari dengan hasil TCLP

sebesar 0,067 mg/L sehingga memenuhi baku mutu TCLP dan layak sebagai material bangunan (Sugiartiningsih dkk., 2022). Berdasarkan permasalahan dan potensi di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan limbah sandblasting sebagai pengganti agregat halus dalam pembuatan mortar dan GRC.

Penelitian ini diharapkan dapat mengurangi timbulan limbah dan memberikan solusi material yang lebih ekonomis, ramah lingkungan, serta memiliki performa mekanis yang optimal. Sehingga dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan material ramah lingkungan dan efisien dalam bidang konstruksi. Sehingga dapat digunakan secara luas dan berkontribusi pada pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan.

2. METODE

Pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimen.

2.1 Material dan Karakterisasinya

Material yang diperlukan pada penelitian ini yaitu limbah *sandblasting* dari industri galangan kapal di Jawa Timur, semen jenis *Portland Composite Cement* (PCC), pasir yang berasal dari Lumajang, serat kaca tipe *E-glass* dan *superplasticizer* tipe HRWR dari Sika Viscocrete®3115N. Karakterisasi pada semen PCC sesuai SNI 7064:2014, limbah *sandblasting* dilakukan uji *X-Ray Flourescence* (XRF) dan pasir Lumajang dilakukan uji gradasi.

2.2 Perencanaan Mix Design

Variasi *mix design* yang digunakan pada penelitian ini yaitu variasi *sandblasting* sebagai pengganti agregat halus, perbandingan semen : agregat halus = 1 : 1, *superlasticizer* 1,5% terhadap semen, Faktor Air Semen (FAS) 0,31 dan serat kaca sebesar 3% terhadap campuran total. Variasi *mix design* dapat dilihat pada **Tabel 1**. Berikut ini.

Tabel 1. Mix Design

Kode Benda Uji	Umur (hari)	Komposisi Perbandingan Berat Campuran				SP (%) terhadap semen	Serat Kaca (%) terhadap campuran total
		Semen	Pasir Lumajang	<i>Sandblasting</i>	FAS		
SB ₀	28	1	1	0	0,31	1,5	3
SB ₁₀₀	28	1	0	1	0,31	1,5	3

Keterangan:

SB₀ = 0% substitusi *sandblasting*

SB₁₀₀ = 100% substitusi *sandblasting*

2.3 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Proses pembuatan dan perawatan benda uji dilakukan di Laboratorium Beton, Kampus Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Tahapan pembuatan benda uji kuat tekan, kuat lentur dan penyerapan air yaitu sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan seperti ember, sekop, mesin pengaduk, semen, pasir Lumajang, *sandblasting*, serat kaca, air dan *superplasticizer*;
2. Mencampurkan semua bahan dalam mesin pengaduk hingga merata;
3. Menyiapkan cetakan kubus 5 cm x 5 cm x 5 cm dan cetakan balok 62 cm x 46 cm x 1 cm olesi permukaan dengan oli;
4. Menaburkan tiga lapisan serat kaca di antara setiap lapisan adonan pada cetakan balok dan ratakan;
5. Menuangkan adonan ke cetakan per sepertiga volume, padatkan, dan ratakan permukaannya;
6. Menutup cetakan dengan karung atau kain basah untuk mencegah penguapan;
7. Menyimpan pada suhu $21,1 \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 48 jam, lalu lepaskan cetakan setelah beton mengeras;
8. Beri label sesuai komposisi, lalu lakukan perawatan (*curing*);
9. Memotong spesimen cetakan balok pada umur 7 hari menjadi dua ukuran, yaitu 47 cm x 5 cm x 1 cm untuk kuat lentur dan 15 cm x 5 cm x 1 cm untuk penyerapan air.

2.4 Pengujian Spesimen Benda Uji

Pengujian dilakukan pada benda uji mortar berumur 28 hari. Uji kuat tekan mengacu pada SNI 03-6825-2002 dengan rumus:

$$\sigma_m = \frac{P_{maks}}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

σ_m = Kekuatan tekan mortar, MPa

P_{maks} = Gaya tekan maksimum, N

A = Luas penampang benda uji, mm²

Pengujian kuat lentur dilakukan pada umur 28 hari. Uji kuat lentur mengacu pada ASTM C947-03 dengan rumus:

$$F_y = \frac{P_y L}{bd^2} \quad (2)$$

Keterangan :

F_y : Kuat lentur (MPa)

P_y : Gaya pada titik kurva gaya-defleksi di mana kurva menyimpang dari linearitas (N)

L : Rentang dukungan utama (mm)

b : Lebar spesimen (mm)

d : Kedalaman spesimen (mm)

Pengujian penyerapan air dilakukan pada umur 28 hari. Uji penyerapan air mengacu pada ASTM C948-81 dengan rumus:

$$\text{Penyerapan Air (\%)} = \frac{B - C}{C} \times 100 \quad (3)$$

Keterangan :

A = massa terendam dalam air, dalam gram (g)

B = massa jenuh permukaan kering, dalam gram (g)

C = massa kering oven, dalam gram (g).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Kimia dan Fisik Material

Pengujian material bertujuan untuk menganalisis karakteristik dari material yang digunakan. Mutu material ini sangat berpengaruh terhadap kualitas produk beton yang dihasilkan. Hasil uji karakterisasi kimia material pada limbah *sandblasting* dilakukan Uji XRF untuk mengidentifikasi unsur-unsur dan senyawa kimia yang terdapat dalam suatu material (Syahfiq, 2021). Hasil pengujian XRF dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Uji XRF Limbah *Sandblasting*

Oksida	% Massa
Silikon Dioksida (SiO_2)	87,93
Aluminium Trioksida (Al_2O_3)	2,28
Besi (III) Oksida (Fe_2O_3)	2,72
Kalsium Oksida (CaO)	1,64
Magnesium Oksida (MgO)	0,56
Sulfur Trioksida (SO_3)	0,21
Natrium Oksida (Na_2O)	0,18
Kalium Oksida (K_2O)	0,64
Titanium Dioksida (TiO_2)	0,31
Difosfor Pentoksida (P_2O_5)	0,02
Mangan (II) Oksida (MnO)	0,02
Chlorida (Cl)	0,16
Copper Oksida (CuO)	0,19
Chromium Trioksida (Cr_2O_3)	0,18

Berdasarkan **Tabel 2**, bahwa unsur kandungan tertinggi dalam limbah *sandblasting* adalah SiO_2 sebesar 87,93%, Al_2O_3 sebesar 2,28%, dan Fe_2O_3 sebesar 2,72%. Kadar SiO_2 sebesar 87,93% termasuk dalam kategori tinggi, karena limbah *sandblasting* umumnya mengandung SiO_2 antara 85% hingga 98%. Dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan semen (Triyanti, 2018). Penggunaan limbah *sandblasting* dalam campuran beton meningkatkan kekuatan tekan dan lentur karena sifat kimia fisiknya yang memperkuat struktur beton (W. Sutrisno dkk., 2024). Selain itu, jurnal lain menyatakan bahwa kandungan utama silika pada pasir silika limbah *sandblasting* menjadi alternatif pengganti agregat halus pada pembuatan beton ferosemen (Cahyono dkk., 2024). Pengujian karakterisasi fisik material mencakup pengujian berat jenis, daya serap air, gradasi pasir dan kadar lumpur. Hasil uji karakteristik fisik material dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Karakteristik Fisik Material

No	Pengujian	Spesifikasi	Limbah <i>Sandblasting</i>	Pasir Lumajang
1	Berat Jenis (gr/cm^3)	2,4 – 2,9 gram/cm^3 (SNI 1969:2008)	2,451	2,841
2	Daya Serap Air (%)	1% - 3% (SNI 03 1970:2008)	1,2	2,6
3	Kadar Lumpur (%)	Maks. 5% (SNI 03 2461:2002)	5%	3,3%
4	Modulus Kehalusan	1,50 – 3,80 (SNI S-04-1989-F)	1,56	2,07

Berdasarkan **Tabel 3**, menunjukkan bahwa hasil uji telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Kandungan lumpur pada agregat yang berlebihan dapat menghambat proses penyatuan antara pasta semen dan agregat, sehingga memerlukan lebih banyak air untuk mencapai tingkat kelecakan yang diinginkan (Faquhuddin dkk., 2021)

3.2 Analisis Hasil Uji Kuat Tekan, Kuat Lentur dan Penyerapan Air

Hasil pengujian kuat tekan mortar, kuat lentur dan penyerapan air dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Kuat Tekan, Kuat Lentur dan Penyerapan Air

No	Pengujian	Kode Benda Uji	
		SB ₀	SB ₁₀₀
1	Kuat Tekan (MPa)	65,87	26,53
2	Kuat Lentur (MPa)	9,00	6,6
3	Penyerapan Air (%)	5,2	9,1

Berdasarkan **Tabel 4**, diperoleh nilai kuat tekan tanpa limbah *sandblasting* adalah 65,87 MPa, sedangkan dengan limbah *sandblasting* sebesar 26,53 MPa. Nilai kuat tekan tersebut memenuhi standar yang ditetapkan dalam ASTM C270-80a, di mana mortar tipe M memiliki kuat tekan minimum sebesar 17,2 MPa. Mortar tipe M merupakan jenis adukan berkekuatan tekan tinggi yang digunakan pada konstruksi seperti dinding bata bertulang, pondasi, dinding penahan, serta pasangan pipa air limbah (Sihombing dkk., 2019). Kandungan lumpur dalam agregat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat tekan beton. Semakin rendah kadar lumpur, maka mutu beton akan meningkat (Purwanto & Priastiwati, 2017). Sehingga, peningkatan kuat tekan beton berhubungan erat dengan rendahnya kadar lumpur dalam agregat yang digunakan. Penambahan limbah *sandblasting* dalam campuran beton berdampak pada berkurangnya daya tahan terhadap tekanan karena meningkatnya sifat getas. Silika yang memantulkan cahaya tidak mendukung penyerapan oleh semen, sehingga struktur beton menjadi rentan terhadap keretakan saat dibebani (Pamungkas dkk., 2023). Kepadatan dan kekuatan beton yang tinggi menunjukkan porositas yang rendah, sehingga volume air yang dapat diserap menjadi lebih sedikit. Oleh karena itu, semakin tinggi kuat tekan maka semakin rendah tingkat penyerapan airnya (Pranata, 2018).

Nilai kuat lentur pada 0% dan 100% limbah *sandblasting* adalah 9 MPa dan 6,6 MPa sedangkan nilai penyerapan air yaitu 5,2% dan 9,1%. Nilai kuat lentur belum memenuhi standar yang ditetapkan oleh *Glassfibre Reinforced Concrete Association* (2017), sedangkan nilai penyerapan air telah memenuhi standar tersebut. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur bersifat berbanding lurus, di mana penurunan kuat tekan akan menurunkan nilai kuat lentur. Pada penelitian Dady YT. M. D. J. Sumajouw (2015), menunjukkan bahwa nilai kuat lentur rata-rata meningkat seiring dengan meningkatnya nilai kuat tekan rata-rata. Selama proses perawatan, air dalam beton menguap, menyebabkan penyusutan dan penurunan kekuatan. Reaksi hidrasi yang tertunda menjadi penyebab tambahan turunnya nilai kuat lentur (Pratiwi dkk., 2023). Peningkatan kuat lentur pada beton terjadi karena adanya tambahan serat kaca (*fiberglass*) yang berfungsi memperkuat struktur beton. Adanya serbuk kaca dalam campuran beton menyebabkan pori-pori di dalam beton terisi, sehingga struktur beton menjadi lebih rapat. Kepadatan yang meningkat ini memberikan pengaruh positif terhadap pembebanan lentur (Wijaya & Sudjarmiko, 2023).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan beton tanpa limbah *sandblasting* adalah 65,87 MPa, sedangkan dengan limbah *sandblasting* sebesar 26,53 MPa. Nilai kuat tekan tersebut memenuhi standar ASTM C270-80a dengan minimum 17,2 MPa untuk mortar tipe M. Nilai kuat lentur masing-masing sebesar 9 MPa dan 6,6 MPa, serta penyerapan air sebesar 5,2% dan 9,1%. Nilai kuat lentur belum memenuhi standar yang ditetapkan oleh *Glassfibre Reinforced Concrete Association* (2017), sedangkan nilai penyerapan air telah memenuhi standar tersebut.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang berkontribusi dalam penelitian ini. Kepada Laboratorium Beton PPNS, Laboratorium Beton DIV Teknik Sipil ITS, serta Laboratorium Beton Material Maju dan Komputasi Mekanik ITS yang telah membantu proses penelitian berlangsung.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, N., & Muhabbah, Z. (2020). Pemanfaatan Limbah Sandblasting Pasir Silika Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus Untuk Campuran Beton. *Jurnal Unitek*, 12(1), 10–16.
- Bayduri, I., & Ryadin, A. U. (2023). Pengaruh Putaran Blast Wheel Mesin Automatic Blasting Terhadap Kekasaran Pipa Baja Karbon Ct481. 6(1), 169–173.
- Cahyono, L., Carina, A., Pratiwi, W. D., Fardina, F., Widiani, D. R., Utomo, A. P., & Fahmi, M. R. (2024). Sustainable Materials Melalui Solidifikasi-Stabilisasi Limbah Sandblasting Menjadi Beton Fero semen. 04(02), 108–118.
- Dady Yt. M. D. J. Sumajouw, R. S. W. (2015). Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang. *Jurnal Sipil Statik*, 3(5), 341–350.

- 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. *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 15(1), 25.
- Dewantara, F. A., Setiani, V., & Rizal, M. C. (2017). Perancangan Tempat Penyimpanan Sementara (Tps) Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3) Pada Perusahaan Galangan Kapal. *Proceeding 1st Conference On Safety Engineering And Its Application*, 2581, 219–225.
- Edy Lisdiyono, R. (2018). Penerapan Asas Premium Remedium Dalam Perkara Pencemaran Lingkungan Hidup Akibat Limbah B3. *Bina Hukum Lingkungan*, 3(1), 1–12.
- Faqihuddin, A., Hermansyah, & Kurniati, E. (2021). Tinjauan Campuran Beton Normal Dengan Penggunaan Superplasticizer Sebagai Bahan Pengganti Air Sebesar 0%; 0,3%; 0,5% Dan 0,7% Berdasarkan Berat Semen. *Journal Of Civil Engineering And Planning*, 2(1), 34–45.
- GRCA. (2017). Specification For The Manufacture, Curing & Testing Of Glassfibre Reinforced Concrete (Grc) Products. *The International Glassfibre Reinforced Concrete Association (Grca)*, 2021(February), 1–17.
- Hendrawati, L. K., Khusna, L., Oktavina, D., & Teknik, R. (2024). *Glass Reinforced Concrete (Grc)*. 2(2), 209–218.
- Kurniawan, W. D., & Periyanto. (2018). *Proses Sandblasting Dan Coating Pada Kapal*. 44–53.
- Meroja, I., Zaini, A., & Prakoso, Lukman Yudho. (2024). *Peran Badan Keamanan Laut Republik Indonesia (Bakamla Ri) Dalam Mendukung Pertahanan Laut*. 11(10), 4431–4435.
- Pamungkas, G., Rahmawati, & Fadly, I. (2023). Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Dan Substitusi Pasir Kuarsa Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil Unkhair*, 15, 1–7.
- Pranata, A. A. (2018). Pengaruh Kuat Tekan, Penyerapan Air, Dan Ketahanan Aus Penggunaan Fly Ash Sebagai Substitusi Semen Pada Campuran Paving Block Dengan 50% Copper Slag Terhadap Pasir. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 3(1), 10–27.
- Pratiwi, W. D., Indriani, R. A., & Setiawan, A. (2023). Studi Kuat Lentur Penggunaan Fly Ash Sebagai Substitusi Semen Pada Papan Semen Dengan Penguat Serat Kaca. *Conference Proceeding On ...*, 6(2623), 39–44.
- Purwanto, & Priastiwi, Y. A. (2017). Pengaruh Kadar Lumpur Pada Agregat Halus Dalam Mutu Beton. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Diponegoro*, 33, 46–52. -
- Sasmita Mulya, E., & Suropto, Dan. (2023). *Pembuatan Cetakan Motif Dan Dinding Beton Grc Untuk Mendukung Problem Based Learning*. 2(1), 257–262.
- Sihombing, A. P., Afrizal, Y., & Gunawan, A. (2019). Pengaruh Penambahan Arang Batok Kelapa Terhadap Kuat Tekan Mortar. *Inersia, Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 31–38.
- Sugiartiningsih, S., Setiawan, A., & Sutrisno, W. (2022). Pemanfaatan Pasir Silika Limbah Sandblasting Sebagai Substitusi Agregat Halus Pada Structral Lightweight Foamed Concrete (Slfc). *Conference Proceeding On Waste Treatment Technology*, 5(1), 50–54.
- Sutrisno, W., Wulandari, K. D., Abidin, M. Z., & Rizal, M. N. (2024). Properties Of Concrete Mortar Incorporating Recycle Pulverized Sandblasting Waste As Additives. *Heliyon*, 10(4), E25623.
- Syahfiq, H. A. N. (2021). *Perbandingan Metode Uji Kadar Kalsium (Ca) Dalam Sampel Mortar Abu Vulkanik Dengan Titrasi Kompleksometri Dan X-Ray Flourescence (Xrf) Di Balai Konservasi Borobudur*.
- Triyanti, A. R. (2018). Studi Pemanfaatan Fly Ash Dan Limbah Sandblasting (Silica Fume) Pada Binder Geopolimer. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 132.
- Wijaya, S. P. I., & Sudjatmiko, A. (2023). Analisis Pengaruh Limbah Serbuk Kaca Pada Beton Terhadap Kuat Tekan, Kuat Lentur Dan Absorpsi. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 1(1), 53–54.