

KARAKTERISTIK PASIR SILIKA LIMBAH SANDBLASTING GALANGAN KAPAL SEBAGAI PENYUSUN MATERIAL KONSTRUKSI

Kiki Dwi Wulandari^{1,3)}, Widya Emilia Primaningtyas²⁾, Benedicta Dian Alfanda²⁾,
Wahyuniarsih Sutrisno³⁾

¹⁾Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,
Surabaya, Jawa Timur, Indonesia, 60111

²⁾Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya,
Surabaya, Jawa Timur, Indonesia, 60111

³⁾Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya,
Surabaya, Jawa Timur, Indonesia, 60111

Email: kikidwi@ppns.ac.id

Abstrak

Pasir silika sebagai sisa dari kegiatan *sandblasting* menjadi penyumbang utama dari volume limbah yang dihasilkan industri perkapalan. Berdasarkan survey yang dilakukan selama tahun 2020-2022, limbah pasir silika yang dihasilkan pada sebuah industri perkapalan menengah di Jawa Timur, kurang lebih sebanyak 450 ton/tahun. Sebagai limbah industri, pasir silika memiliki potensi pemanfaatan berdasarkan karakteristik materialnya yang mirip dengan pasir alami pada material konstruksi. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik pasir silika limbah *sandblasting* sebagai penyusun material konstruksi. Beberapa pengujian yang dilakukan meliputi karakteristik fisik (ukuran dan bentuk partikel, berat jenis, kadar air, penyerapan, kadar lumpur, bobot isi, dan kadar organik) dan karakteristik kimia (pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX)). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pasir silika limbah *sandblasting* memiliki rata-rata ukuran partikel sebesar $548.93 \pm 6.46 \mu\text{m}$, berat jenis sebesar 2.730 t/m^3 , bentuk partikel *angular medium sphericity*, kadar air sebesar 0.06%, penyerapan sebesar 3.381%, kadar lumpur sebesar 1.22%, bobot isi sebesar 0.09 kg/liter, dan larutan berwarna bening pada pengujian kadar organik. Kandungan kimia yang dimiliki yaitu SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan CaO , berturut-turut sebesar 93.02%, 1.02%, 2%, dan 0.63%. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa limbah *sandblasting* galangan kapal memiliki karakteristik yang dapat digunakan sebagai agregat halus penyusun material konstruksi berkelanjutan.

Kata Kunci: Pasir Silika, Limbah *Sandblasting*, Agregat Halus, Material Konstruksi

Abstract

Silica sand as by-product waste is a major contributor to the volume of waste generated by sandblasting activities in the shipping industry. Based on a survey conducted during 2020-2022, silica sand in the shipping industry in East Java is around 450 tons/year. Silica sand has potential utilization based on its material characteristics, similar to natural sand in construction materials. This research analyzed the characteristics of silica sand from sandblasting waste to develop as construction material. The tests carried out included physical properties (particle size and shape, specific gravity, moisture content, absorption, mud content, specific gravity, and organic content) and chemical properties (X-Ray Fluorescence (XRF) and Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray tests (SEM-EDX)). The results show that silica sand from sandblasting waste has $548.93 \pm 6.46 \text{ m}$ average particle size, 2.730 t/m^3 specific gravity angular grain with medium sphericity, 0.06% water content, 3.381% absorption capacity, 1.22% mud content, 0.09 kg/liter bulk density, and a clear solution on the organic content test. As chemical content of sandblasting waste, the amount of SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , and CaO are 93.02%, 1.02%, 2%, and 0.63%, respectively. This research concluded that shipyard sandblasting waste has characteristics that can be used as fine aggregate for sustainable building construction materials.

Keywords : Silica Sand, Sandblasting, By-Product Waste, Fine Aggregate, Construction Material

1. PENDAHULUAN

Kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan, mendukung perkembangan industri perkapalan yang menyebar dari Sabang sampai Merauke. Industri menghasilkan limbah dari kegiatan produksi

yang dilakukan. Pasir silika sebagai sisa dari kegiatan *sandblasting* menjadi penyumbang utama dari volume limbah yang dihasilkan industri tersebut. Berdasarkan survey yang dilakukan selama tahun 2020-2022, limbah pasir silika yang dihasilkan industri perkapalan kurang lebih sebanyak 450

ton/tahun, sehingga berpotensi terjadi penumpukan di area galangan kapal. Limbah pasir silika ini termasuk limbah (Bahan Berbahaya dan Beracun) B3, karena mengandung unsur logam berat yang melebihi baku mutu [1]. Penimbunan limbah ini akan menimbulkan dampak terhadap aspek ekonomi, sosial, dan pencemaran lingkungan. Salah satu upaya pengolahan limbah pasir silika yang dapat dilakukan adalah memanfaatkannya sebagai material konstruksi seperti paving, beton, dan berbagai bahan bangunan lainnya [2-18]. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis karakteristik pasir silika limbah sandblasting dari industri perkapalan sebagai penyusun material konstruksi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan limbah pasir silika dapat meningkatkan kuat tekan dan properti lain yang dimiliki oleh material konstruksi yang dihasilkan [8-18]. Upaya solidifikasi terhadap pasir silika limbah sandblasting menjadi material yang lebih bermanfaat, akan menjadi nilai tambah tersendiri untuk penyelamatan lingkungan di sekitar pesisir pantai. Sedangkan dari aspek sosial, pemanfaatan limbah pasir silika ini akan mendukung upaya *circular economy* yang dapat dilakukan industri terkait, masyarakat sekitar lokasi industri, serta semua *stakeholder*, sehingga menjadi manfaat yang menjanjikan, berkesinambungan, dan berkelanjutan di masa mendatang. Hasil penelitian ini dapat menunjang penyerapan pasir silika limbah *sandblasting* industri perkapalan sebagai material konstruksi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, terkait dengan pemenuhannya dalam pembangunan infrastruktur di Indonesia.

2. METODE

Metode penelitian yang dilakukan terbagi pada beberapa tahapan sebagai berikut :

- 1.) Tahap pertama adalah pengambilan pasir silika limbah *sandblasting* pada *quarry* di galangan kapal di Lamongan, Jawa Timur;
- 2.) Tahap kedua adalah melakukan *pre-treatment* terhadap pasir silika limbah *sandblasting* yaitu diayak menggunakan ayakan no.8 dengan ukuran butiran maksimal 2.36 mm;
- 3.) Tahap ketiga adalah analisis karakteristik fisik meliputi pengujian ukuran partikel, pengujian berat jenis dan penyerapan (ASTM C128), pengujian kadar air (ASTM C556), pengujian bobot isi dan rongga (ASTM C29/C29M), kadar lumpur (ASTM C117), dan pengujian kadar organik (ASTM C40);
- 4.) Tahap keempat adalah analisis karakteristik kimia meliputi pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX);
- 5.) Tahap kelima adalah analisis data yang didapatkan dari tahapan ketiga dan keempat;
- 6.) Tahap keenam adalah penarikan kesimpulan dari analisis data yang telah dilakukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dari tahapan pengujian untuk mendapatkan karakteristik fisik dan kimia dari pasir silika limbah *sandblasting*, dapat dilihat sebagai berikut :

3.1 Karakteristik Fisik

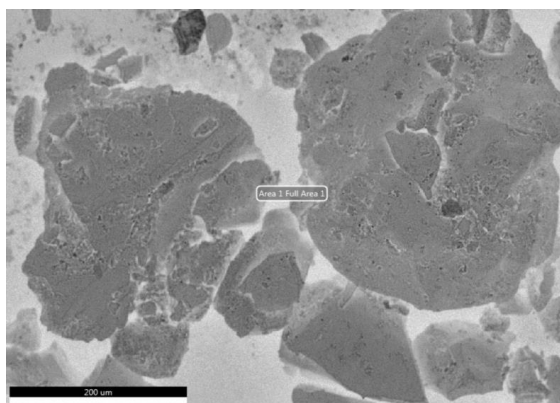
3.1.1 Ukuran Partikel

Ukuran partikel sangat mempengaruhi potensi pemanfaatan yang digunakan sebagai penyusun material konstruksi. Analisis distribusi ukuran partikel *pre-treated* pasir silika limbah *sandblasting* dilakukan dengan mesin *laser diffraction particle size analyzer* Horiba LA-960. Hasil yang diperoleh dari tiga kali pengujian menghasilkan rata-rata ukuran partikel sebesar $548.93 \pm 6.46 \mu\text{m}$. Ukuran partikel agregat halus dapat mempengaruhi kuat tekan yang dimiliki material konstruksi yang dihasilkan. Hal itu terjadi karena

kehalusan dan luasan permukaan partikel yang besar dapat memenuhi kebutuhan silika terlarut di dalam material konstruksi yang dihasilkan. [19]

3.1.2 Bentuk Partikel

Hasil pengujian SEM dapat dilihat pada Gambar 1. Bentuk partikel pasir silika limbah *sandblasting* berupa *angular grain* dengan *medium sphericity*.

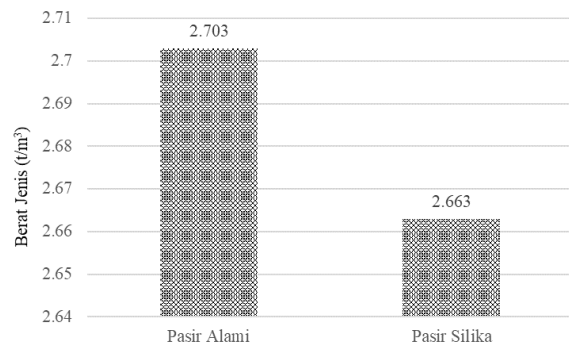


Gambar 1. Hasil SEM-EDX Pasir Silika Limbah Sandblasting

Pada Gambar 1 terlihat bahwa partikel pasir silika limbah *sandblasting* memiliki bentuk menyudut namun memiliki kelengkungan di beberapa bagiannya. Tingkat kekuatan butiran pasir salah satunya ditentukan oleh bentuk partikel yang dimiliki [20].

3.1.3 Berat Jenis

Berdasarkan ASTM C128 mengenai berat jenis agregat halus yang diperbolehkan berkisar antara 1.6 t/m^3 - 3.2 t/m^3 . Sedangkan, dari percobaan diperoleh berat jenis pasir silika limbah *sandblasting* sebesar 2.703 t/m^3 , sebagaimana pada Gambar 2 berikut.

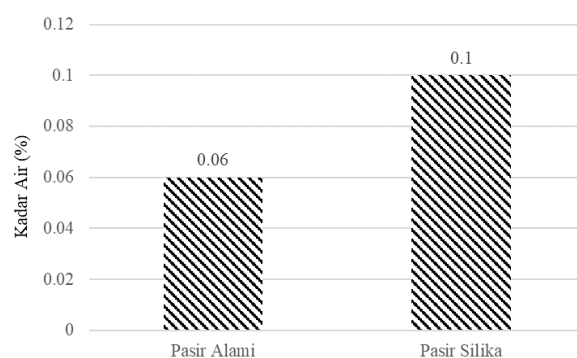


Gambar 2. Perbandingan Berat Jenis

Pada Gambar 2 dapat ditarik kesimpulan bahwa pasir silika limbah *sandblasting* memiliki berat jenis yang lebih rendah daripada pasir alami sebagai agregat halus. Nilai tersebut masih dalam rentang keberterimaan ASTM C128 dalam penggunaan pasir silika limbah *sandblasting* sebagai agregat halus penyusun material konstruksi.

3.1.4 Kadar Air

Berdasarkan hasil pengujian merujuk pada ASTM C556, kadar air didapatkan sebesar 0,1%, sebagaimana disajikan pada Gambar 3.

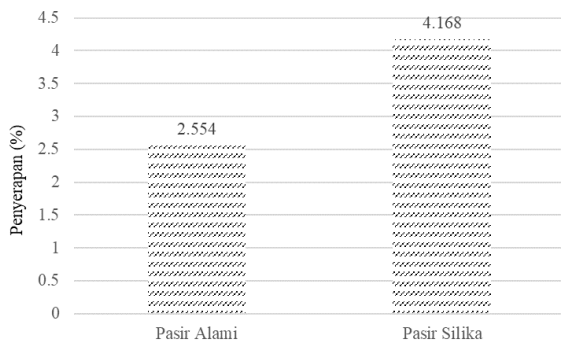


Gambar 3. Perbandingan Kadar Air

Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa kadar air pasir silika limbah *sandblasting* lebih besar daripada pasir alami. Semakin tinggi kadar air pasir, maka kebutuhan air pada beton akan semakin sedikit, begitupun sebaliknya [21].

3.1.5 Penyerapan

Berdasarkan ASTM C128 tentang kadar untuk air resapan pasir yang diperbolehkan berkisar antara 1% sampai 4%. Sedangkan, dari pengujian diperoleh kadar air resapan pasir silika limbah *sandblasting* sebesar 4.168%, sebagaimana pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Perbandingan Penyerapan

Dapat ditarik kesimpulan pada Gambar 4, penyerapan yang dimiliki pasir silika lebih besar dari pasir alami. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penyerapan pasir silika melebihi standar ASTM C128. Sifat bawaan pasir silika memang memiliki kemampuan menyerap kelembaban yang besar [21]. Sebagai penyusun material konstruksi, penyerapan air agregat halus akan berpengaruh pada perencanaan campuran beton, dimana semakin besar penyerapan air, maka kebutuhan air pada beton akan semakin meningkat []. Kemampuan penyerapan air pada pasir silika limbah *sandblasting* yang besar, masih dapat dikontrol lebih lanjut pada saat penambahan air ketika proses pengecoran. Dengan demikian, pasir silika limbah *sandblasting* hasil industri perkapalan masih dapat digunakan sebagai agregat halus.

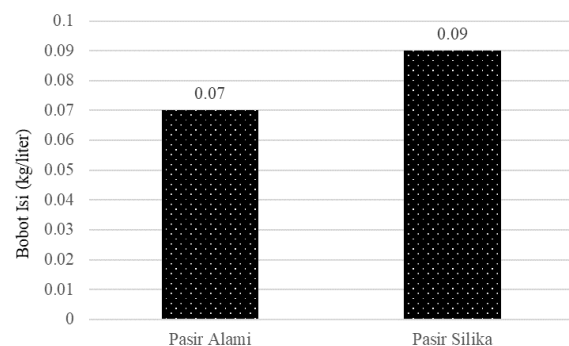
3.1.6 Kadar Lumpur

Pada hasil pemeriksaan kadar lumpur terhadap limbah *sandblasting*, didapatkan nilai sebesar 12.5% yang lebih tinggi standar ASTM C117 sebesar 5%. Kontak langsung pasir silika sebagai material abrasif yang

dimanfaatkan pada proses *sandblasting* menghasilkan limbah yang bercampur baik dengan debu maupun cat pada vesel kapal, menjadi material halus pengganggu pada material limbah *sandblasting* yang dihasilkan. Kadar lumpur tersebut dapat diturunkan dengan cara dilakukan pencucian menggunakan air suling, sehingga pasir silika limbah *sandblasting* masih dapat dimanfaatkan sebagai agregat halus.

3.1.7 Bobot Isi

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data bahwa bobot isi pasir silika limbah *sandblasting* sebesar 0.09 kg/liter sebagaimana tersaji pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Perbandingan Bobot Isi

Bobot isi yang disyaratkan ASTM C29 sebesar 0.14 kg/liter, sehingga bobot isi yang dimiliki pasir silika limbah *sandblasting* tidak melebihi yang disyaratkan, namun masih diatas bobot isi pasir alami. Berdasarkan penelitian sebelumnya, semakin besar bobot isi, maka kualitas beton akan semakin meningkat, sehingga pasir silika limbah *sandblasting* berpotensi untuk menggantikan pasir alami sebagai agregat halus penyusun material konstruksi [4,12-19].

3.1.8 Kadar Organik

Hasil pemeriksaan kadar organik yang dilakukan berdasarkan ASTM C40, larutan NaOH berubah menjadi warna kuning, sedangkan standarnya adalah warna bening.

Namun kondisi tersebut bisa dijernihkan dengan cara melakukan pencucian menggunakan air suling.

3.2 Karakteristik Kimia

3.2.1 Analisis XRF

Hasil pengujian kandungan kimi dengan metode XRF dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kandungan Kimia Pasir Silika Limbah *Sandblasting* Berdasarkan Hasil XRF

Parameter	Hasil Tes (%)
SiO ₂	93.02
Al ₂ O ₃	1.02
Fe ₂ O ₃	2
CaO	0.63
MgO	0.43
Na ₂ O	0.24
K ₂ O	0.39
TiO ₂	0.07

Dapat dilihat pada Tabel 1, kandungan kimia terbesar yang dimiliki oleh pasir silika limbah *sandblasting* adalah SiO₂. Hasil tersebut didukung penelitian sebelumnya, pasir silika bukan limbah memiliki kandungan SiO₂ lebih dari 97%, disusul oleh Al₂O₃ dengan rentang 0.8-1.1%, dan Fe₂O₃ dengan rentang 0.1-0.25% [19]. Dari hasil *pengujian X-Ray Diffraction*, pasir silika mengandung 100% mineral *quartz* yang bermanfaat untuk durabilitas beton sebagai material konstruksi [4,9-10,19].

3.2.2 Analisis SEM-EDX

Pengujian SEM menunjukkan bentuk partikel pasir silika limbah *sandblasting* berupa butiran menyudut dengan lengkungan pada beberapa bagian seperti pada Gambar. Hasil EDX menunjukkan bahwa kandungan

kimia pasir silika limbah *sandblasting* dengan sampel yang diuji sebagaimana pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Kandungan Kimia Pasir Silika Limbah *Sandblasting* Berdasarkan Hasil SEM-EDX

Unsur	Massa (%)
O	48.02
Na	1.28
Mg	0.69
Al	6.15
Si	31.58
Cl	0.93
K	2.39
Ca	1.71

Pada Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa kandungan kimia yang dominan adalah unsur Si dan O, dengan massa 48.02% dan 31.58% pada titik sampel yang diuji. Unsur-unsur yang terdapat didalamnya kemudian membentuk senyawa oksida seperti SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, dan K₂O [21]. Hasil ini sesuai dengan kandungan kimia yang didapatkan berdasarkan pengujian XRF dan beberapa penelitian sebelumnya yang menyebutkan bahwa kandungan kimia dominan adalah Silika Oksida [2-19], yang bermanfaat untuk peningkatan durabilitas, kuat tekan, dan properti mekanik lain pada material konstruksi yang dihasilkan.

4. KESIMPULAN

Karakteristik fisik pasir silika limbah *sandblasting* memenuhi persyaratan material untuk dimanfaatkan menjadi agregat halus, meliputi ukuran dan bentuk partikel, berat jenis, dan bobot isi, tanpa perlu perlakuan pencucian awal. Kadar sesuai dengan sifat pasir silika yang dapat menyerap kelembaban. Kadar lumpur dan kadar organik yang melebihi standar ASTM menunjukkan bahwa ada material pengotor yang

perlu diberi perlakuan pencucian sebelum digunakan menjadi agregat halus. Kandungan kimia dominan yang dimiliki pasir silika limbah *sandblasting* adalah Silika air dan penyerapan yang tinggi telah Oksida (SiO_2) dengan jumlah lebih dari 90%. Dengan demikian, pasir silika limbah *sandblasting* dapat digunakan sebagai agregat halus penyusun material konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pemerintah Indonesia, Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, Peraturan Pemerintah, Jakarta, 2014.
- [2] G. K. Attri, R. C. Gupta, and S. Shrivastava, "Sustainable precast concrete blocks incorporating recycled concrete aggregate, stone crusher, and silica dust," *J Clean Prod*, vol. 362, Aug. 2022.
- [3] S. Ramdani, A. Guettala, M. L. Benmalek, and J. B. Aguiar, "Physical and mechanical performance of concrete made with waste rubber aggregate, glass powder and silica sand powder," *Journal of Building Engineering*, vol. 21, pp. 302–311, 2019.
- [4] H. Binici and O. Aksogan, "Durability of concrete made with natural granular granite, silica sand and powders of waste marble and basalt as fine aggregate," *Journal of Building Engineering*, vol. 19, pp. 109–121, 2018.
- [5] S. G. M. and J. P., "Assessment of usage of manufactured sand and recycled aggregate as sustainable concrete: A review," *Mater Today Proc*, vol. 64, pp. 1029–1034, 2022.
- [6] S. He, C. Jiao, Y. Niu, and S. Li, "Utilizing of coral/sea sand as aggregates in environment-friendly marine mortar: Physical properties, carbonation resistance and microstructure," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 16, p. e00981, 2022.
- [7] Sunita, "Effect of biomass Ash, foundry sand and recycled concrete aggregate over the strength aspects of the concrete," *Mater Today Proc*, vol. 50, pp. 2044–2051, 2022.
- [8] A. Gholampour, J. Zheng, and T. Ozbakkaloglu, "Development of waste-based concretes containing foundry sand, recycled fine aggregate, ground granulated blast furnace slag and fly ash," *Constr Build Mater*, vol. 267, p. 121004, 2021.
- [9] M. A. de Barros Martins, R. M. Barros, G. Silva, and I. F. S. dos Santos, "Study on waste foundry exhaust sand, WFES, as a partial substitute of fine aggregates in conventional concrete," *Sustain Cities Soc*, vol. 45, pp. 187–196, 2019.
- [10] R. Dharmaraj, S. Maruthivenkatesh, K. Narayanan, M. Ramalingam, Y. Aarthi, and P. Rajalinggam, "Resilience and sturdiness of the foundry sand as a result of the partial substitution of cement and fine aggregate," *Mater Today Proc*, 2022.
- [11] L.-Y. Xu, B.-T. Huang, J.-C. Lao, and J.-G. Dai, "Tailoring strain-hardening behavior of high-strength Engineered Cementitious Composites (ECC) using hybrid silica sand and artificial geopolymer aggregates," *Mater Des*, vol. 220, p. 110876, 2022.

- [12] R. Malathy et al., "Use of Industrial Silica Sand as a Fine Aggregate in Concrete—An Explorative Study," *Buildings*, vol. 12, no. 8, Aug. 2022.
- [13] S. K. Sharma and H. Gupta, "Development of Paver Block by Using Foundry Sand Based Geopolymer Concrete," *Journal of Today's Ideas - Tomorrow's Technologies*, vol. 3, no. 2, pp. 129–144, Dec. 2015.
- [14] Y. E. Putra dan Sutikno, "Pemanfaatan Limbah Sandblasting sebagai Bahan Campuran Paving Block." *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*. 01(01): 81-86, 2016.
- [15] P. R. de Matos, M. F. Marcon, R. A. Schankoski, and L. R. Prudêncio Jr., "Novel applications of waste foundry sand in conventional and dry-mix concretes," *J Environ Manage*, vol. 244, pp. 294–303, 2019.
- [16] S. Kulkarni and V. Katti, "Article ID: IJCIET_08_09_058 Pavers," *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, vol. 8, no. 9, pp. 498–505, 2017.
- [17] G. Yogha Luthfizar, F. Sri PujiP, and T. Akbari, "Pemanfaatan Limbah Pasir Silika sebagai Bahan Pengganti Pasir untuk Pembuatan Paving Block," 2019.
- [18] K. Jitendra and V. C. Khed, "Optimization of concrete blocks with high volume fly ash and foundry sand," *Mater Today Proc*, vol. 27, pp. 1172–1179, 2020.
- [19] K. D. Wulandari and J. J. Ekaputri, "An Investigation of Damage Factors in Industrial Scale of Light-Weight Bricks Production," in *MATEC Web of Conferences*, Dec. 2017, vol. 138.
- [20] J. C. Santamarina, "Soil behaviour: The role of particle shape," 2004.
- [21] P. Manurung and P. Karo-Karo, "Analisis dan Karakterisasi Kandungan Silika (SiO_2) sebagai Hasil Ekstraksi Batu Apung (Pumice)," 2017.