

PENGARUH PERLAKUAN KOMPRESI TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS MORTAR POLIMER BERBASIS LIMBAH KACA DAN PLASTIK

Yusar Dievar Rizaldi¹, Aulia Rahman²

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang²

yusard30@gmail.com¹, aulia.rahman@polinema.ac.id²

ABSTRAK

Mortar polimer adalah jenis material berkelanjutan yang sepenuhnya bebas dari semen dan air sebagai bahan pengikatnya. Dalam mortar polimer semen tradisional sepenuhnya digantikan oleh resin polimer sebagai pengikat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perlakuan kompresi pada proses pencetakan terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas mortar polimer berbasis limbah kaca dan plastik. Metode yang diterapkan adalah pembuatan spesimen dengan menambahkan mortar sebanyak 2 kali berat dari berat spesimen normal yang direncanakan akan dijadikan satu benda uji dalam cetakan 5 cm dengan cara memberi beban tekan hingga batas maksimum. Komposisi yang digunakan membedakan penggunaan variasi rasio limbah kaca dan plastik. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan kompresi memberikan peningkatan kuat tekan yang terutama pada variasi dengan rasio limbah kaca yang tinggi. Nilai kuat tekan tertinggi tercatat pada RUN 1.2X sebesar 41,68 MPa pada umur 28 hari, meningkat dari 36,33 MPa pada RUN 1.1X tanpa kompresi. Demikian pula, nilai modulus elastisitas meningkat dengan nilai maksimum sebesar 2532,8 MPa pada RUN 1.2X. Penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan kompresi berpengaruh terhadap kekuatan dan kekakuan mortar polimer, sehingga direkomendasikan untuk diterapkan dalam pembuatan material struktural yang ringan.

Kata kunci : mortar polimer; limbah kaca; limbah plastik; kuat tekan; modulus elastisitas

ABSTRACT

Polymer mortar is a type of sustainable material that is completely free from cement and water as its binding agents. In polymer mortar, traditional cement is entirely replaced by polymer resin as the binder. This research aims to analyze the effect of compression treatment during the molding process on the compressive strength and elastic modulus of polymer mortar based on glass and plastic waste. Where the method applied is the creation of specimens by adding mortar equal to twice the weight of the normal specimen, which is planned to be made into a single test object in a 5 cm mold by applying a compressive load up to the maximum limit. The composition used differentiates the use of varying ratios of glass and plastic waste. The results show that the compression treatment provides an increase in compressive strength, especially in variations with a high glass waste ratio. The highest compressive strength value was recorded at RUN 1.2X at 41.68 MPa at 28 days, an increase from 36.33 MPa at RUN 1.1X without compression. Similarly, the elastic modulus value increased with a maximum value of 2532.8 MPa at RUN 1.2X. This study shows that compression treatment affects the strength and stiffness of polymer mortar, thus it is recommended for use in the production of lightweight structural materials.

Keywords : polymer mortar; glass waste; plastic waste; compressive strength; elastic modulus

1. PENDAHULUAN

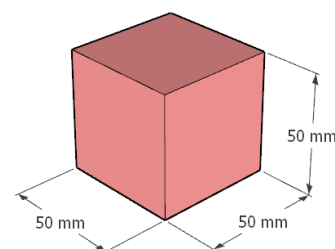
Kebutuhan material bangunan yang efisien, kuat, dan ramah lingkungan mendorong berkembangnya inovasi dalam teknologi mortar dan beton. Salah satu isu utama pada beton konvensional adalah tingginya emisi karbon dari produksi semen, yang menyumbang sekitar 5 dari total emisi CO₂ global [1]. Untuk mengatasi hal ini, mortar polimer menjadi alternatif menarik dengan menggantikan semen menggunakan resin polimer, khususnya unsaturated polyester (UP), yang memiliki keunggulan dalam kekuatan, ketahanan kimia, dan efisiensi pengerasan [2]. Selain resin, bahan pengisi seperti fly ash banyak dimanfaatkan dalam mortar polimer karena sifat pozzolanik dan kemampuannya meningkatkan kepadatan mikrostruktur [3].

Seiring meningkatnya limbah anorganik seperti kaca dan plastik, penelitian terkini mengarah pada pemanfaatannya sebagai agregat alternatif yang dapat memperkuat struktur mortar dan mengurangi dampak lingkungan. Kaca memberikan kontribusi kekakuan dan kekuatan melalui kandungan silika tinggi [4], sedangkan plastik berpotensi menurunkan berat jenis dan meningkatkan daktilitas material [5]. Namun, sifat polimer yang viskoelastis sering menghasilkan struktur berpori dan kurang padat. Mortar polimer yang bereaksi secara polimerisasi dengan katalis menunjukkan bahwa pada sistem polimer murni, 60% kekuatan terbentuk dalam 1 hari dan 80% dalam 3 hari, dengan peningkatan kecil setelah 14 hari [6].

Metode kompresi pada resin poliester dapat meningkatkan kualitas mekanik dan mengurangi porositas secara signifikan [7]. [8] Menyatakan bahwa compression molding efektif dalam meningkatkan homogenitas dan kepadatan material termoplastik daur ulang seperti rPP dan rHDPE.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium dengan dua perlakuan utama, yaitu spesimen tanpa kompresi dan spesimen dengan kompresi. Benda uji dicetak dalam bentuk kubus berukuran 5 cm × 5 cm × 5 cm dengan total 12 variasi campuran berdasarkan rasio limbah kaca dan plastik.



Gambar 1. Benda Uji Kubus 5x5x5cm



Gambar 2 Cetakan Trigang Kubus

Bahan Penelitian

Bahan utama dalam penelitian ini meliputi resin poliester tak jenuh Yukalac FW-21-EXL sebagai pengikat utama mortar, fly ash tipe F sebagai filler, serta limbah kaca berukuran partikel 0,07 mm dan limbah plastik jenis PET yang telah dihancurkan menjadi bentuk serbuk halus. Resin digunakan sebesar 15% dari total berat campuran, sedangkan sisanya merupakan kombinasi dari filler dan bahan tambahan seperti styrene monomer, katalis MEKP, dan akselerator kobalt (Co). Proporsi campuran divariasikan berdasarkan rasio LK:LP mulai dari 5:1 hingga 1:5.

Variasi Komposisi Campuran

Penelitian ini menggunakan 6 variasi campuran mortar polimer, yang terdiri dari kombinasi rasio limbah kaca dan limbah plastik dengan pola kenaikan dan penurunan bertahap sebesar 4%. Komposisi awal dimulai dari 25% limbah kaca : 5% limbah plastik, 21% : 9%, dan seterusnya, untuk melihat pengaruh rasio terhadap sifat mekanik mortar. Masing-masing variasi dibuat sebanyak 3 benda uji dengan bentuk kubus 5 × 5 × 5 cm. Persentase material pada Tabel 1 direncanakan untuk pembuatan benda uji tahap spesimen tanpa kompresi dan spesimen dengan kompresi.

Tabel 1 Rancangan komposisi Benda Uji

Komposisi Spesimen (%)							
RUN	UP	MEKP	Co	SM	FA	LK	LP
1.1X	80.7	3.5	1.5	14.3	55.0	25.0	5.0
2.1X	80.7	3.5	1.5	14.3	55.0	21.0	9.0
3.1X	80.7	3.5	1.5	14.3	55.0	17.0	13.0
4.1X	80.7	3.5	1.5	14.3	55.0	5.0	25.0
5.1X	80.7	3.5	1.5	14.3	55.0	9.0	21.0
6.1X	80.7	3.5	1.5	14.3	55.0	13.0	17.0

Perlakuan Kompresi

Sebagian benda uji diberikan perlakuan kompresi pada saat awal pembuatan, yaitu sebelum mortar mengeras. Kompresi dilakukan menggunakan mesin press hidrolik dengan tekanan sebesar 15–20 kN. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kepadatan internal mortar, mengurangi porositas, dan memperbaiki distribusi partikel pengisi dalam matriks resin.



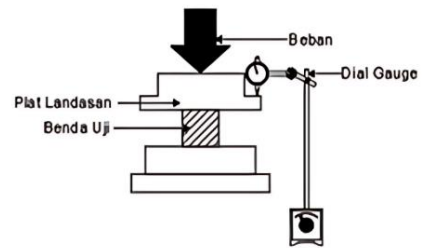
Gambar 3. Kompresi Benda Uji

Proses Pembuatan Mortar

Seluruh bahan dicampurkan secara homogen, dimulai dari pencampuran filler (fly ash, limbah kaca, dan plastik), kemudian ditambahkan resin poliester, katalis, dan akselerator. Campuran dimasukkan ke dalam cetakan kubus. Untuk benda uji dengan perlakuan kompresi, tekanan diberikan setelah pencetakan sebelum proses pengerasan. Spesimen kemudian didiamkan pada suhu ruang hingga waktu pengujian.

Pengujian Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Pengujian dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari. Kuat tekan diuji menggunakan mesin compression test, dan deformasi dicatat menggunakan dial gauge yang terpasang untuk mengukur perubahan dimensi vertikal. Nilai kuat tekan dihitung berdasarkan standar SNI 03-6825-2002 [9]. Sementara itu, modulus elastisitas diperoleh dari kurva tegangan-regangan dengan pendekatan linear Young's Modulus dan Modulus Chord pada bagian elastis awal, sesuai standar ASTM E111-17 [10]. Selain nilai kuat tekan dan modulus elastisitas, dilakukan juga pengukuran dimensi aktual pasca-kompresi untuk menentukan nilai efektivitas kompresi. Nilai ini dihitung dari perbandingan tinggi cetakan dengan tinggi akhir spesimen setelah pengeringan.



Gambar 4. Skema Pengujian Kuat Tekan Kubus dan Modulus Elastisitas

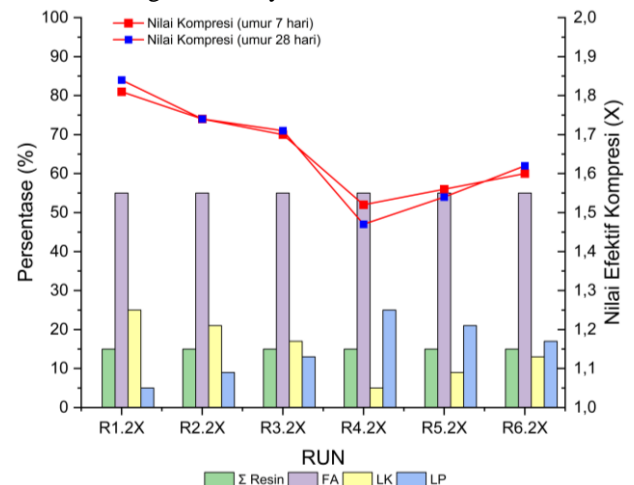
$$\sigma = \frac{P_{maks}}{A} \quad (1)$$

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad (2)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Efektivitas Perlakuan Kompresi

Efektivitas kompresi dihitung dari perbandingan tinggi spesimen setelah kompresi dengan tinggi rencana benda uji, yaitu 5 cm. Nilai efektivitas tertinggi dicapai oleh variasi 1.2x dengan persentase limbah kaca 25% dan plastik 5%. sebesar 1,84 kali pada umur 28 hari, diikuti oleh variasi 2.2x sebesar 1,74 kali. Tren ini menunjukkan bahwa perlakuan kompresi paling efektif jika proporsi limbah kaca lebih dominan. Sebaliknya, pada variasi dengan plastik dominan pada variasi 4.2x sampai 6.2x peningkatan kuat tekan akibat kompresi tidak terlalu signifikan hanya berkisar 1,47–1,62 kali.

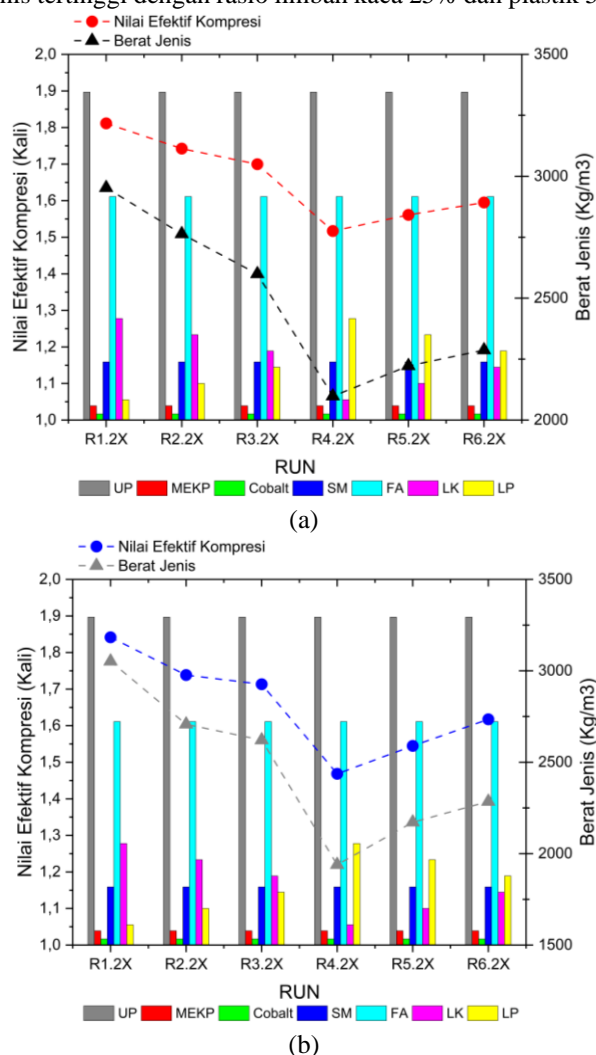


Gambar 5 Grafik Pengaruh Komposisi Terhadap Nilai Efektif Kompresi

Pengaruh Nilai Efektif Kompresi dengan Berat Jenis Spesimen

Nilai efektifitas kompresi yang meningkat selaras dengan peningkatan berat jenis. Hasil kompresi bergantung pada variasi limbah kaca dan plastik yang digunakan. Pada

RUN 1.2X didapatkan nilai efektifitas kompresi dan berat jenis tertinggi dengan rasio limbah kaca 25% dan plastik 5%.



Gambar 6 (a) Hubungan Nilai Efektif Kompresi Terhadap Berat Jenis Umur 7 Hari (b) Hubungan Nilai Efektif Kompresi Terhadap Berat Jenis Umur 28 Hari

Kuat Tekan Mortar Polimer

Hasil pengujian kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari menunjukkan bahwa penambahan limbah kaca dan plastik memberikan pengaruh signifikan terhadap kekuatan mortar polimer. Pada spesimen tanpa perlakuan kompresi, nilai kuat tekan tertinggi pada umur 28 hari dicapai oleh variasi 1.1x (25% kaca, 5% plastik) dengan rata-rata 36,33 MPa, diikuti oleh variasi 2.1x (21% kaca, 9% plastik) sebesar 36,14 MPa. Nilai ini menurun secara bertahap seiring dengan peningkatan proporsi limbah plastik dan penurunan kandungan limbah kaca.

Pada spesimen dengan perlakuan kompresi, nilai kuat tekan meningkat secara umum pada semua variasi. Peningkatan tertinggi terjadi pada variasi 1.2x, dengan kuat tekan umur 28 hari mencapai 41,68 MPa, meningkat sekitar 15% dibandingkan spesimen tanpa kompresi dengan komposisi yang sama

Tabel 2 Hasil Pengujian Kuat Tekan

RUN	Tanpa Kompresi		Dengan Kompresi	
	7 Hari	28 Hari	7 Hari	28 Hari
1.1X	34.03	36.33	36.90	41.68
2.1X	33.54	36.14	36.51	37.22
3.1X	29.38	35.07	34.84	35.67
4.1X	26.86	27.07	30.59	28.65
5.1X	27.33	30.89	30.63	34.82
6.1X	29.17	32.39	32.69	35.22

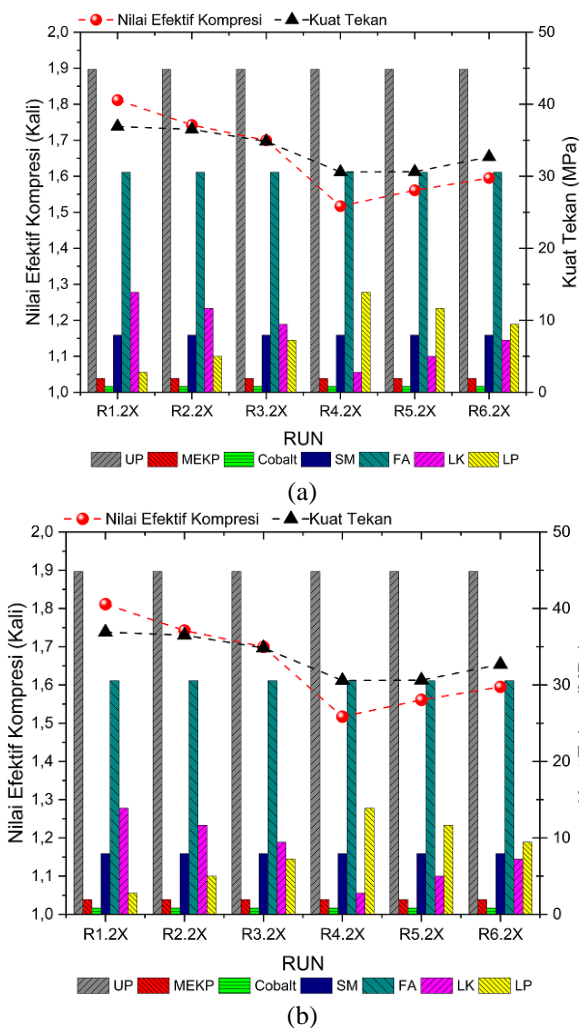
Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas menunjukkan peningkatan yang tidak selalu linier. Pada spesimen tanpa kompresi, nilai modulus tertinggi pada umur 28 hari tercatat pada variasi 2.1x dengan nilai 2.483,5 MPa, bahkan sedikit lebih tinggi dari variasi 1.1x 2.434,6 MPa, meskipun kuat tekan variasi 1.1x lebih besar.

Pada spesimen dengan perlakuan kompresi, rata-rata modulus elastisitas meningkat, terutama pada variasi 3.2x dan 1.2x, dengan nilai 2.301,2 MPa dan 2.186,6 MPa pada umur 28 hari. Namun, terdapat anomali pada variasi 2.2x dan 5.2x, di mana nilai modulus lebih rendah dari ekspektasi meskipun kuat tekannya tinggi.

Tabel 3 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

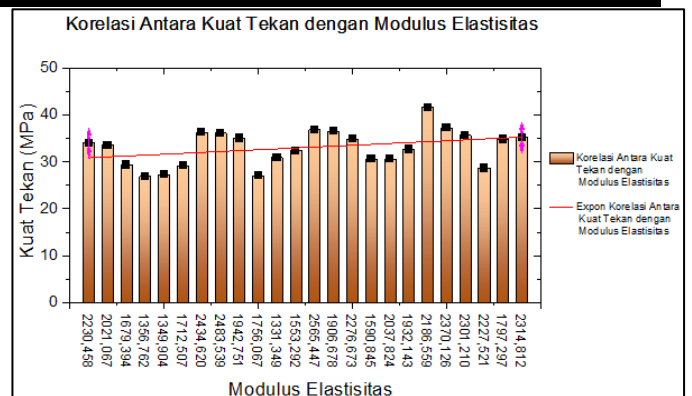
RUN	Tanpa Kompresi		Dengan Kompresi	
	7 Hari	28 Hari	7 Hari	28 Hari
1.1X	2230.458	2434.620	2565.447	2186.559
2.1X	2021.067	2483.539	1906.678	2370.126
3.1X	1679.394	1942.751	2276.673	2301.210
4.1X	1356.762	1756.067	1590.845	2227.521
5.1X	1349.904	1331.349	2037.824	1797.297
6.1X	1712.507	1553.292	1932.143	2314.812



Gambar 7 (a) Hubungan Nilai Efektif Kompresi Terhadap Kuat Tekan Umur 7 Hari (b) Hubungan Nilai Efektif Kompresi Terhadap Kuat Tekan Umur 28 Hari

Korelasi antara Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Terdapat korelasi antara kuat tekan dan modulus elastisitas pada mortar polimer ini. Variasi dengan nilai kuat tekan tinggi umumnya memiliki modulus yang lebih besar. Namun demikian, tidak semua variasi mengikuti tren linier secara sempurna.



Gambar 8 Grafik Korelasi Antara Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Mortar

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah dilakukan dapat dijabarkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan limbah kaca dan plastik pada mortar polimer berpengaruh terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas, dengan rasio limbah kaca lebih dominan menghasilkan nilai mekanik yang lebih tinggi.
2. Variasi rasio limbah terbaik tanpa perlakuan kompresi adalah komposisi 25% limbah kaca dan 5% limbah plastik, dengan kuat tekan tertinggi 36,33 MPa dan modulus elastisitas 2434,62 MPa pada umur 28 hari.
3. Perlakuan kompresi sebesar 15–20 kN sebelum pengerasan meningkatkan kuat tekan hingga 15% dan modulus elastisitas rata-rata 10–20%, terutama pada campuran dengan dominasi limbah kaca.
4. Komposisi optimal dengan perlakuan kompresi adalah 25% limbah kaca dan 5% limbah plastik, dengan kuat tekan mencapai 41,68 MPa dan efektivitas kompresi sebesar 1,84 pada umur 28 hari.
5. Hubungan antara kuat tekan dan modulus elastisitas menunjukkan kecenderungan positif, meskipun tidak sepenuhnya linier, dipengaruhi oleh distribusi partikel, kerapatan struktur, dan interaksi antar bahan.

Saran

1. Menggunakan pengujian modulus elastisitas dinamis atau menggunakan strain gauge untuk meningkatkan akurasi pengukuran deformasi, karena penggunaan dial gauge rentan terhadap kesalahan baca manual.
2. Melakukan analisis mikroskopis (SEM atau XRD) untuk mengamati distribusi partikel filler (kaca dan

plastik) dalam matriks resin, serta mengidentifikasi adanya rongga mikro atau retakan awal.

3. Menambahkan pengujian sifat fisik lain seperti serapan air, porositas, dan densitas untuk menguatkan hubungan antara perlakuan kompresi dengan perubahan mikrostruktur mortar.
4. Mengkaji pengaruh jenis resin lain seperti epoxy atau vinyl ester terhadap sifat mekanik mortar, serta membandingkannya dengan resin UP.
5. Menyusun variasi proporsi fly ash secara eksplisit dalam campuran untuk melihat kontribusi langsung fly ash terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas, karena perannya dalam sistem polimer masih dapat dioptimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Worrell, Ernst & Price, Lynn & Martin, Nathan & Hendriks, Chris & Ozawa-Meida, Leticia. (2001). *"Carbon Dioxide Emission from the Global Cement Industry"*, <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.26.1.303>.
- [2] Salami, B. A., Bahraq, A. A., Haq, M. M. U., Ojelade, O. A., Taiwo, R., Wahab, S., Adewumi, A. A., & Ibrahim, M. (2024). *"Polymer-enhanced concrete: A comprehensive review of innovations and pathways for resilient and sustainable materials"*. *Next Materials*, 4, 100225, <https://doi.org/10.1016/j.nxmte.2024.100225>.
- [3] Lakhiar, M. T., Bai, Y., Wong, L. S., Paul, S. C., Anggraini, V., & Kong, S. Y. (2021). *"Mechanical and durability properties of epoxy mortar incorporating coal bottom ash as filler"*. *Construction and Building Materials*, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125677>.
- [4] Małek, M., Łasica, W., Jackowski, M., & Kadela, M. (2020). *"Effect of waste glass addition as a replacement for fine aggregate on properties of mortar"*. *Materials*, 13(14), 3189, <https://doi.org/10.3390/ma13143189>.
- [5] Hamada, H. M., Al-Attar, A., Abed, F., Beddu, S., Humada, A. M., Majdi, A., Yousif, S. T., & Thomas, B. S. (2024). *"Enhancing sustainability in concrete construction: A comprehensive review of plastic waste as an aggregate material"*. *Sustainable Materials and Technologies*, 40, e00877, <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2024.e00877>.
- [6] Joanna, J. S. (2020). *"Long-Term Compressive Strength of Polymer Concrete-like Composites with Various Fillers"*. *Materials*, 13(5), <https://doi.org/10.3390/ma13051207>.
- [7] Chang, C., & Chen, W. (2018). *"Influence of processing variables on quality of unsaturated polyester/E-glass fiber composites manufactured by double-bag progressive compression method"*. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(9), <https://doi.org/10.1177/1687814018798531>.
- [8] Wu, M., Centea, T., & Nutt, S. R. (2018). *"Compression molding of reused inprocess waste – effects of material and process factors"*. *Advanced Manufacturing Polymer & Composites Science*, 4(1), <https://doi.org/10.1080/20550340.2017.1411873>.
- [9] SNI 03-6835-2002 : Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil (2002) Standar Nasional Indonesia Badan Standardisasi Nasional Metode pengujian kekuatan tekan mortar semen portland untuk pekerjaan sipil.
- [10] ASTM E111–17 Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus.