

Evaluasi Perilaku Mekanik Mortar Berkelanjutan Menggunakan Butiran Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) Sebagai Substitusi Agregat Halus

Misel Boro Allo^{*1a*}, Bayu Rahmat Ramadhan^{*1b}, Suci Amalia Namira Wahidin^{*1c}, Novacharisma V. Verucha^{*1d}, Sri Nur Akifa^{*1e} Sugira Said^{*2}, Seril Boroallo^{*3}

Submit:
10 Juni 2025

Review:
23 Juni 2025

Revised:
26 Juni 2025

Published:
29 Juni 2025

^{*1} Civil Engineering Departement, Faculty of Engineering, Tadulako University, Palu, Indonesia, misel.boroallo@gmail.com^{1a}, bayurramadhan@gmail.com^{1b}, scnamira@untad.ac.id^{1c}, novacharismavindiantri.v06@gmail.com^{1d}, srinurakifa@gmail.com^{1e}

^{*2} Civil Engineering Departement, Faculty of Engineering, Pohnuato University, Gorontalo, Indonesia, sugirasaaid17@gmail.com

^{*3} Civil Engineering Departement, Faculty of Engineering, Paulus Christian University of Indonesia, Makassar, Indonesia, lusi36943@gmail.com

^{1a*}Corresponding Author: misel.boroallo@gmail.com

Abstrak

Transformasi penggunaan material tidak terbarukan menjadi terbarukan menjadi material inovatif yang berkelanjutan. Limbah plastik tahunan meningkat dan memperparah kerusakan lingkungan. Peningkatan limbah plastic yang sulit terurai, dan menimbulkan gas beracun saat di bakar dapat merusak alam. Memanfaatkan sampah ini dalam produksi beton dapat membantu melestarikan sumber daya bangunan. Penelitian ini untuk menguji perilaku mekanik mortar dengan pengantian agregat menggunakan limbah plastic PET (butiran) dengan variasi 0%, 3% dan 5% dari berat pasir. Pengujian dilakukan pada umur 7 dan 28 hari. Penelitian ini mengevaluasi *flow* mortar, *density*, dan kuat tekan. Penggantian agregat halus menggunakan agregat plastik PET sampai 5% dalam campuran mortar menunjukkan dampak positif pada nilai kuat tekan mortar dan material dapat menyerap energi yang baik. Penelitian ini menunjukkan peningkatan kekuatan tekan mortar hingga 1.16 kali dibandingkan campuran kontrol saat menggunakan 5% agregat limbah PET sebagai agregat limbah plastik PET dalam campuran mortar sehingga mendukung pengembangan bahan konstruksi yang berkelanjutan

Kata kunci: *Flow mortar, densitas, kuat tekan, PET (Polyethylene Terephthalate)*

Abstract

Transformation of non-renewable materials into renewable materials into sustainable innovative materials. Annual plastic waste increases and worsens environmental damage. The increase in plastic waste, which is difficult to decompose and produces toxic gases when burned, can harm the environment. Utilizing this waste in concrete production can help conserve building resources. This study is to test the mechanical behavior of mortar by replacing aggregates using PET plastic waste (granules) with variations of 0%, 3%, and 5% of the weight of sand. Testing was carried out at the age of 7 and 28 days. This study evaluated mortar flow, density, and compressive strength. Replacing fine aggregates using PET plastic aggregates up to 5% in the mortar mixture showed a positive impact on the compressive strength of the mortar, and the material can absorb energy well. This study shows that when 5% PET waste aggregate is added to the mortar, its compressive strength can increase by up to 1.16 times compared to the regular mixture, making it a good option for sustainable construction.

Keywords: *Flow mortar, density, compressive strength, and PET (Polyethylene Terephthalate)*

PENDAHULUAN

Saat ini, pengelolaan limbah menjadi isu penting yang mendapat perhatian global. Gaya hidup modern dan kemajuan teknologi telah menyebabkan peningkatan signifikan dalam produksi limbah plastik, yang berdampak besar terhadap permasalahan limbah. Pada tahun 2020, total limbah plastik di seluruh dunia diperkirakan mencapai sekitar 7.000 juta metrik ton dan diproyeksikan akan meningkat hingga 26.000 juta metrik ton pada tahun 2050 [1]. Oleh sebab itu, peningkatan inovasi beton dan mortar menjadi tantangan dalam pemenuhan kebutuhan konstruksi [2]. Sejak tahun 1950, penggunaan plastik telah menjadi fenomena yang semakin meluas, dimana produksi tahunan plastik menunjukkan pertumbuhan yang luar biasa, hampir mencapai 200 kali lipat, dengan total mencapai 380 juta ton pada tahun 2015 [3]. Polietilen tereftalat (PET) merupakan salah satu jenis polimer sintetis yang paling luas dimanfaatkan dalam produksi botol plastik, karena memiliki karakteristik biaya produksi yang rendah, massa jenis yang ringan, serta kemudahan dalam proses penanganan dan pengolahannya [4]. Saat ini pengelolaan limbah plastik belum cukup untuk mengurangi limbah plastik yang dihasilkan, oleh sebab itu limbah plastik dibuang secara tidak efisien [5]. Meskipun berbagai kemajuan telah dicapai dalam metode daur ulang konvensional selama beberapa dekade terakhir, tingkat daur ulang limbah PET masih tergolong rendah, yaitu hanya sekitar 7%, sementara sebagian besar sisanya tetap berakhir di tempat pembuangan akhir [6]. Kim et al. [7] mengevaluasi perilaku lentur balok beton bertulang yang diberi tambahan serat PET dalam variasi volume sebesar 0.5%, 0.75%, dan 1.0%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas lentur ultimit meningkat secara signifikan, masing-masing sebesar 25%, 31%, dan 32% dibandingkan dengan balok tanpa penambahan serat PET. Selain itu, balok yang mengandung serat PET menunjukkan peningkatan duktilitas lendutan sekitar 7,56 hingga 10,34 kali lebih tinggi daripada spesimen kontrol. Peningkatan ini dikaitkan dengan kemampuan serat PET dalam meningkatkan ketahanan tarik beton serta menunda terbentuknya retak makro. Al-Hadithi dan Abbas [8] melakukan investigasi terhadap kapasitas geser balok beton bertulang yang diberi tambahan serat PET dalam variasi volume antara 0,25% hingga 1,5%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan geser meningkat seiring bertambahnya kandungan serat PET hingga 1%, dengan peningkatan maksimum sebesar 8,4% pada balok dengan 1% serat PET dibandingkan balok kontrol, sebelum mengalami penurunan pada kadar yang lebih tinggi. Selain itu, penambahan serat PET terbukti meningkatkan duktilitas lendutan balok, yang dikaitkan dengan kemampuan serat PET dalam menjembatani retak. Namun, hingga saat ini, kajian mengenai kekuatan ikatan antara beton yang mengandung limbah PET dan tulangan baja masih terbatas. Limbah PET yang telah dicacah dengan ukuran partikel 1–6 mm ke dalam campuran beton sebagai fraksi volume sebesar 0 – 4,5% [9]. Hasil studi menunjukkan bahwa kekuatan ikatan mengalami peningkatan moderat sebesar 9% dan 7% pada spesimen yang mengandung limbah PET masing-masing sebesar 1,5% dan 3%, dibandingkan dengan spesimen kontrol, dengan nilai optimal dicapai pada kandungan PET 1.5%. Saxena et al. [10], meneliti beton dengan berbagai persentase limbah plastik PET dievaluasi sebagai agregat kasar dan agregat halus (5, 10, 15, dan 20%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa keberadaan plastik mengurangi kekuatan tekan. Agregat halus pada (2,62%, 4,49%, 23,58%, dan 79,77%) dan agregat kasar pada (8,23%, 40,07%, 71,91%, dan 74,15%) limbah plastik. Perkembangan retak dan kegagalan spesimen akhir berkurang sebagai akibat dari sifat elastis dan tahan retak agregat plastik yang lebih tinggi. Penggunaan limbah plastik dalam bentuk apapun, baik agregat halus, kasar, atau sebagai serat, meningkatkan ketahanan benturan spesimen dan memperbaiki perilaku struktural anggota struktur karena penambahan plastik dalam bentuk apapun membuat beton lebih lentur [11]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji perilaku mekanik mortar dengan daya sebar mortar (*flow*), berat isi (*density*) dan kuat tekan dengan variasi komposisi limbah plastik sebagai pengganti sebagian pasir agar dapat lebih memahami perilaku fisik mortar semen dalam kondisi yang keras.

METODOLOGI

A. Material

1. Semen

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen jenis tipe PCC yang tersedia secara umum di pasaran. Gambar 1(a) menunjukkan semen yang digunakan dalam penelitian ini semen yang digunakan memiliki berat jenis 3,04 dan memenuhi SNI 7064-2004 [12] dalam penggunaannya sebagai bahan pengikat.

2. Pasir

Pasir sungai yang memiliki berat jenis SSD of 2,68 *water absorption* 2,87 %, dan modulus kehalusan 2,91 adalah agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini dan memenuhi SNI ASTM C136 2012 [13] dalam pencampuran mortar yang ditunjukkan dalam Gambar 1(b).

3. PET Granular (Butiran PET)

Gambar 1(c) menunjukkan butiran *polyethylene terephthalate* (PET) yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis polimer sintesis yang memiliki sifat fisik dan mekanik yang cukup baik, dengan densitas ringan sebesar 831 kg/m³, dan ketahanan tarik menengah. PET memiliki ketahanan yang tinggi terhadap degradasi kimia dan memiliki tingkat serapan air yang rendah.



(a) Semen



(b) Pasir



(c) Butiran PET

Gambar 1. Material Penyusun Mortar

B. Mix Design

Tabel 1 menyajikan komposisi campuran mortar kontrol dan mortar yang mengacu pada SNI 6825-2002 [14] dengan menggunakan limbah plastik PET (butiran) sebagai substitusi agregat halus, dengan proporsi sebesar 0%, 3% dan 5% dari berat agregat halus dengan *flow mortar control* direncanakan 20 ± 1 cm. Setelah 24 jam proses pengecoran, spesimen dikeluarkan dari cetakan dan dilakukan proses *curing* melalui perendaman dalam air hingga waktu pengujian. 18 mortar kubus di uji kekuatan tekan yang dilaksanakan pada umur 7 dan 28 hari.

Tabel 1. *Mix Design* Mortar

Kode	Variasi (%)	Air (gr)	Semen (gr)	Pasir (gr)	PET (gr)
MC	0	484	1000	2750,0	0
PET 3%	3	484	1000	2667,5	82,5
PET 5%	5	484	1000	2612,5	137,5

C. Metode Pengujian

1. Density

Pengaruh substitusi agregat menggunakan limbah plastik PET (butiran) terhadap *density* mortar berdasarkan ASTM D6023-16 [15]. Analisis visual juga dilakukan terhadap *workability* dari mortar.

2. Kuat Tekan

Sampel mortar berbentuk kubus dengan dimensi 50 mm diuji menggunakan mesin uji kuat tekan sesuai dengan standar ASTM C109 [16]. Spesimen diletakkan secara simetris di atas pelat dasar mesin. Pengujian dilakukan dengan laju pembebanan konstan sebesar 1.35 kN/s, dan mesin dilengkapi dengan sensor pengukur waktu. Pengujian dilanjutkan hingga spesimen mengalami keruntuhan total. Nilai kuat tekan diperoleh dengan menggunakan persamaan (1).

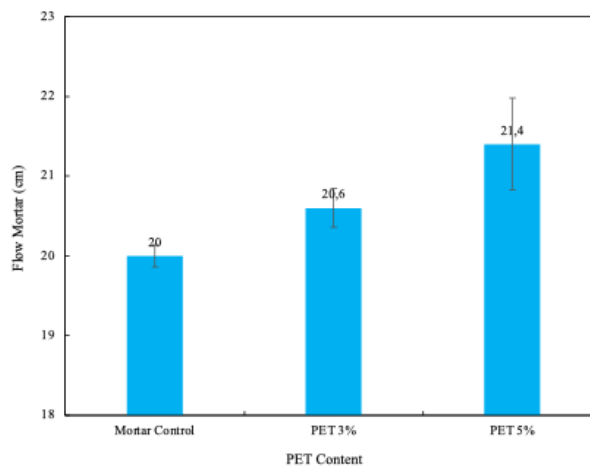
$$f_m = P/A \quad (1)$$

dimana f_m adalah kuat tekan mortar (MPa), P adalah beban maksimum (N) dan A adalah luas penampang mortar (mm²).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Flow Mortar

Hasil pengujian kuat tekan mortar *control* dan variasi mortar campuran dengan limbah plastik ditunjukkan pada Gambar 2. Peningkatan *workability* dengan penggantian 3% dan 5% agregat halus menggunakan PET plastik adalah 0,5%, dan 2,75% dari mortar kontrol. Penelitian sebelumnya juga menunjukkan peningkatan *workability* terhadap peningkatan penggantian agregat menggunakan limbah plastic PET yang sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Al-Kerttani et. al [17] dan Almeshal et. al [18]. Butiran plastik yang berbentuk bulat menghasilkan lebih sedikit permukaan kontak dan gesekan antar campuran, yang mengurangi konsumsi air dan meningkatkan kemampuan kerja, sehingga meningkatkan aliran *slump*.

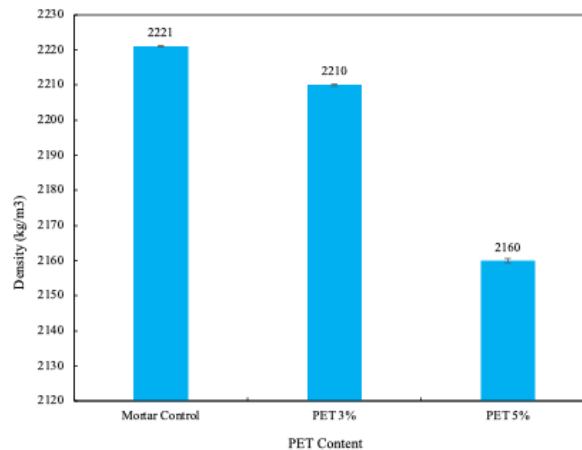


Gambar 2. Hasil Pengujian *Flow Mortar*

2. Densitas

Pengujian *density mortar control* dan variasi mortar campuran dengan limbah plastik ditunjukkan pada Gambar 3. Penurunan nilai *density* dengan penggantian 3% dan 5% agregat halus menggunakan granular plastik PET adalah 3.00% dan 7.00% dari mortar kontrol. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang

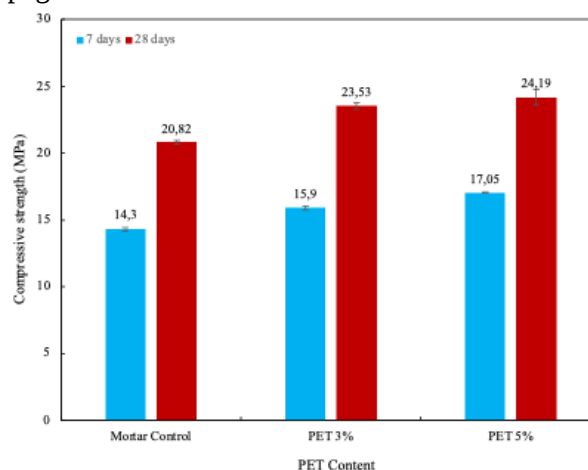
dilakukan oleh Gideon et. al [19]. Berat jenis butiran plastik PET yang lebih rendah dibandingkan agregat halus bahan penyusun mortar menyebabkan penurunan berat jenis dibandingkan mortar *control*. Hal ini dikarenakan berat jenis butiran plastik PET lebih rendah dibandingkan pasir, sehingga peningkatan proporsi penggantian plastik menyebabkan penurunan berat satuan pada benda uji.



Gambar 3. Hasil Pengujian *Density* Mortar

3. Kuat Tekan

Gambar 4 menyajikan hasil pengujian kuat tekan mortar kontrol dan berbagai variasi mortar yang menggunakan limbah daur ulang plastik PET (butiran / *granular*) sebagai substitusi agregat halus. Pada umur 7 hari, pada campuran dengan penggantian agregat halus menggunakan butiran PET sebesar 3% dan 5% terjadi peningkatan kuat tekan sebesar masing-masing 1,11 dan 1,19 kali dibandingkan dengan mortar kontrol. Kecenderungan serupa juga diamati pada umur 28 hari, pada campuran dengan penggantian agregat halus menggunakan butiran PET sebesar 3% dan 5% terjadi peningkatan kuat tekan sebesar masing-masing 1,13 dan 1,16 kali dibandingkan dengan mortar kontrol. Peningkatan ini konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya yang di laporkan oleh Eyni Kangavar et al. [20] dan dapat dikaitkan dengan perbaikan rongga mortar akibat kemampuan butiran PET untuk mengisi rongga mikro antar butiran pasir, sehingga menghasilkan struktur mikro yang lebih padat dan homogen. Selain itu, pada kadar rendah, butiran PET dapat berfungsi sebagai mikro-penulangan (*micro-reinforcement*) yang membantu meredam propagasi retakan mikro.



Gambar 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah plastik PET sebagai substitusi agregat halus dalam mortar memberikan efek positif terhadap sifat-sifat mortar, khususnya dalam aspek *flow mortar* (*workability*), densitas, dan kuat tekan. Penggantian agregat halus dengan limbah plastik PET sebesar 3% dan 5% menghasilkan :

1. Peningkatan kemampuan alir (*flowability*) sampai 2,75% dibandingkan mortar *control*, menunjukkan bahwa bentuk bulat dan permukaan halus dari butiran PET secara signifikan menurunkan gesekan antar partikel sehingga memperbaiki *workability* mortar. Hal ini merupakan kontribusi orisinal dari penelitian ini yang memperjelas peran geometri butiran PET terhadap performa alir mortar, khususnya dalam sistem campuran dengan rasio air-semen tetap.
2. Penurunan densitas mortar sampai 7.00% akibat rendahnya berat jenis PET dibandingkan agregat halus. Penurunan densitas ini mengindikasikan potensi mortar ringan berbasis PET yang dapat digunakan untuk aplikasi bangunan yang memerlukan pengurangan beban mati.
3. Peningkatan kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari, masing-masing mencapai hingga 1,19 dan 1,16 kali dari mortar kontrol, menunjukkan bahwa butiran PET mampu memberikan kontribusi penguatan mikro melalui mekanisme pengisian pori mikro (*internal*) dan efek mikro-penulangan.

REFERENSI

- [1] A. J. Babafemi, B. Šavija, S. C. Paul, and V. Anggraini, "Engineering Properties of Concrete with Waste Recycled Plastic: A Review," Oct. 25, 2018, *MDPI*. doi: 10.3390/su10113875.
- [2] M. B. Allo, H. Parung, and J. Mara', "Pemanfaatan Agregat Sungai To Puang Kabupaten Tana Toraja Sebagai Bahan Campuran Beton," *Paulus Civil Engineering Journal (PCEJ)*, vol. 4, no. 3, pp. 577–586, Dec. 2021.
- [3] R. Geyer, J. R. Jambeck, and K. L. Law, "Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made," 2017. doi: 10.1126/sciadv.1700782.
- [4] M. Frigione, "Recycling of PET Bottles As Fine Aggregate in Concrete," *Waste Management*, vol. 30, no. 6, pp. 1101–1106, Jun. 2010, doi: 10.1016/j.wasman.2010.01.030.
- [5] Md. G. Kibria, N. I. Masuk, R. Safayet, H. Q. Nguyen, and M. Mourshed, "Plastic Waste: Challenges and Opportunities to Mitigate Pollution and Effective Management," *Int J Environ Res*, vol. 17, no. 1, p. 20, 2023, doi: 10.1007/s41742-023-00507-z.
- [6] H. Aslani, P. Pashmtab, A. Shaghaghi, A. Mohammadpoorasl, H. Taghipour, and M. Zarei, "Tendencies Towards Bottled Drinking Water Consumption: Challenges Ahead of Polyethylene Terephthalate (PET) Waste Management," *Health Promot Perspect*, vol. 11, no. 1, pp. 60–68, Feb. 2021, doi: 10.34172/hpp.2021.09.
- [7] S. B. Kim, N. H. Yi, H. Y. Kim, J.-H. J. Kim, and Y.-C. Song, "Material and Structural Performance Evaluation of Recycled PET Fiber Reinforced Concrete," *Cem Concr Compos*, vol. 32, no. 3, pp. 232–240, 2010, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.11.002>.
- [8] A. Al-Hadithi and M. Ahmed, "The Effects of Adding Waste Plastic Fibers on the Mechanical Properties and Shear Strength of Reinforced Concrete Beams.," *Iraqi Journal of Civil Engineering*, vol. 12, no.1, Jan. 2019.
- [9] J. J. Assaad, J. M. Khatib, and R. Ghanem, "Bond to Bar Reinforcement of PET-Modified Concrete Containing Natural or Recycled Coarse Aggregates," *Environments - MDPI*, vol. 9, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.3390/environments9010008.
- [10] R. Saxena, S. Siddique, T. Gupta, R. K. Sharma, and S. Chaudhary, "Impact Resistance and Energy Absorption Capacity of Concrete Containing Plastic Waste," *Constr Build Mater*, vol. 176, pp. 415–421, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.019>.

- [11] T. K. Mohammed and S. M. Hama, "Effect of Combination of Waste Glass Powder and Plastic Aggregate on Structural Behavior of Reinforced Concrete Beams," *Structures*, vol. 52, pp. 83–103, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.03.160>.
- [12] SNI 15-7064-2004, *Semen Portland Komposit*. Badan Standardisasi Nasional. 2004.
- [13] SNI ASTM C136-2012, *Metode Uji untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar*. Badan Standardisasi Nasional. 2012.
- [14] SNI 03-6825-2002, *Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil*. Badan Standardisasi Nasional. 2002.
- [15] ASTM D6023-16, *Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, Cement Content, and Air Content (Gravimetric) of Controlled Low-Strength Material*.
- [16] ASTM C109, *Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*. United States.
- [17] O. M. G. Al-Kerttani, N. Hilal, S. M. Hama, N. H. Sor, Q. S. Banyhussan, and T. A. Tawfik, "Durability and Hardened Characteristics of Cement Mortar Incorporating Waste Plastic and Polypropylene Exposed to MgSO₄ Attack," *Results in Engineering*, vol. 24, p. 103310, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103310>.
- [18] I. Almeshal, B. Tayeh, R. Alyousef, H. Alabduljabbar, and A. Mohamed, "Eco-friendly Concrete Containing Recycled Plastic as Partial Replacement for Sand," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.02.090.
- [19] G. O. Bamigboye, K. Tarverdi, A. Umoren, D. E. Bassey, U. Okorie, and J. Adediran, "Evaluation of Eco-Friendly Concrete Having Waste PET As Fine Aggregates," *Cleaner Materials*, vol. 2, p. 100026, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clema.2021.100026>.
- [20] M. E. Kangavar, W. Lokuge, A. Manalo, W. Karunasena, and T. Ozbakkaloglu, "Development of Sustainable Concrete Using Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) Granules As Fine Aggregate," *Developments in The Built Environment*, vol. 15, p. 100192, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100192>.