

Ceramic Waste Feasibility as Coarse Aggregate in Concrete: Kelayakan

Penggunaan Aggregat Buatan PET–Pasir untuk Aplikasi Beton

M. Firman Firdiansyah^{1*}, Budwi Harsono²

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Coresponding Author Email: Budwiharsono@umsida.ac.id

Abstract

Peningkatan jumlah limbah plastik jenis Polyethylene Terephthalate (PET) yang sulit terurai secara alami menimbulkan permasalahan lingkungan serius. Salah satu alternatif pemanfaatannya adalah menjadikan limbah plastik PET dengan campuran pasir sebagai agregat buatan pengganti agregat kasar pada beton. Limbah plastik PET dan pasir diproses melalui pemanasan dan pencetakan menjadi butiran berukuran 2 cm. Pengujian meliputi Impact Test Value, Los Angeles Abrasion Test, berat jenis, resapan air, dan berat volume agregat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pencampuran limbah plastik (PET) dengan pasir memenuhi syarat kelayakan sebagai agregat kasar berdasarkan standar SNI dan ASTM yang digunakan. Nilai rata-rata Impact Test 8,5%, keausan Los Angeles 34,73%, berat jenis bulk 2,49, SSD 2,53, dan resapan air 1,71% dinyatakan memenuhi standar.

Keywords: Ketahanan Tumbukan; Abrasi Los Angeles; Berat Jenis; Resapan Air

Pendahuluan

Konstruksi beton merupakan bagian vital dalam pembangunan infrastruktur modern. Beton adalah material bangunan yang umum digunakan dalam konstruksi, terdiri dari semen, agregat, dan air. Penambahan bahan kimia, pozolan, atau serat menghasilkan beton khusus dengan karakteristik melebihi beton normal [1]. Di antara komponen tersebut, agregat kasar menyumbang sekitar 50–70% dari volume total beton, sehingga ketersediaan dan mutu agregat kasar sangat menentukan kualitas dan keberlanjutan produksi beton. Namun, seiring meningkatnya permintaan agregat alam, terjadi eksploitasi besar-besaran terhadap sumber daya batuan, yang dalam jangka panjang menimbulkan dampak lingkungan serius seperti degradasi lahan, kerusakan ekosistem, dan penurunan cadangan material alam. Di sisi lain, pertumbuhan industri keramik menghasilkan limbah padat berupa pecahan ubin dan produk gagal produksi yang jumlahnya terus meningkat. Limbah keramik ini hingga kini belum termanfaatkan secara maksimal dan sebagian besar hanya menjadi beban lingkungan. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah keramik sebagai agregat kasar beton merupakan langkah strategis untuk mendukung pembangunan berkelanjutan dan mengurangi dampak lingkungan[2].

Beberapa studi sebelumnya telah mengkaji potensi limbah keramik dalam campuran beton. Penelitian oleh Daniyal dan Ahmad (2015) menunjukkan bahwa penggunaan limbah ubin keramik sebagai pengganti sebagian agregat kasar mampu meningkatkan kuat tekan beton pada kadar optimal 30% [3]. Kurniawan dan Sudjati (2012) juga melaporkan bahwa substitusi agregat kasar dengan limbah keramik hingga 30% menghasilkan kuat tekan dan kuat tarik yang kompetitif terhadap beton normal [4]. Sementara itu, studi oleh Astri Mulyadi dan Alex Sanutra (2017)

<https://sice.umsida.ac.id/>, published by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Copyright © Author (s). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY)

menyatakan bahwa penggunaan limbah keramik dengan variasi 20%, 40%, dan 60% tidak menunjukkan peningkatan signifikan dalam mutu beton K-200 [5].

Meskipun banyak penelitian telah dilakukan mengenai penggunaan limbah keramik sebagai pengganti agregat, sebagian besar studi masih fokus pada performa beton secara keseluruhan (kuat tekan, tarik, dan workability) tanpa melakukan evaluasi mendalam terhadap karakteristik fisik material keramik sebagai agregat. Selain itu, belum banyak kajian yang secara khusus membandingkan parameter kelayakan material seperti Impact Test Value, keausan Los Angeles, berat jenis, resapan air, dan berat volume untuk mengetahui apakah limbah keramik memenuhi standar teknis agregat kasar sesuai SNI dan ASTM. Gap ini menunjukkan perlunya kajian khusus yang menilai kelayakan fisik limbah keramik sebagai agregat sebelum digunakan dalam campuran beton. Penelitian ini menjadi penting untuk menjawab kebutuhan data teknis awal serta mendukung pengembangan material alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan di bidang konstruksi.

Metode

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan eksperimental laboratorium untuk mengevaluasi kelayakan limbah keramik sebagai agregat kasar dalam campuran beton. Penelitian dilaksanakan dalam beberapa tahapan sistematis untuk mencapai tujuan kajian, yaitu menilai karakteristik fisik limbah keramik berdasarkan uji laboratorium standar. Tahap pertama adalah pengumpulan dan persiapan material, yakni limbah keramik dikumpulkan dari sisa produksi industri keramik PT. Kuda Laut Mas di Sidoarjo. Limbah tersebut kemudian dibersihkan, dikeringkan dalam oven bersuhu $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Proses ini bertujuan untuk mensimulasikan kondisi agregat kasar yang sesuai dengan spesifikasi campuran beton menurut SNI.

Tahap kedua adalah pengujian kelayakan material, yang mencakup empat jenis pengujian utama. Pertama, dilakukan uji Impact Test Value untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap tumbukan [6]. Kedua, uji Los Angeles Abrasion untuk mengukur keausan dan ketahanan gesek agregat [7]. Ketiga, dilakukan uji berat jenis dan penyerapan air untuk menilai kerapatan serta porositas agregat [8]. Keempat, uji berat volume agregat dilakukan untuk mengetahui massa jenis dalam kondisi lepas dan padat. Semua pengujian ini dilaksanakan mengacu pada standar SNI dan ASTM yang berlaku [9].

Tahap ketiga adalah analisis hasil pengujian, yang dilakukan secara deskriptif kuantitatif. Data dari setiap pengujian dibandingkan dengan nilai ambang batas kelayakan agregat kasar menurut standar nasional maupun internasional. Penilaian kelayakan dilakukan berdasarkan parameter teknis seperti batas maksimum keausan, nilai resapan air, dan berat jenis minimum yang dipersyaratkan untuk agregat kasar beton[10].

Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan, yaitu menyusun interpretasi akhir dari data uji untuk menentukan apakah limbah keramik dari masing-masing ukuran pecahan memenuhi syarat sebagai pengganti agregat kasar. Tahapan ini juga sekaligus mengidentifikasi ukuran pecahan keramik mana yang memiliki sifat fisik paling sesuai untuk diaplikasikan dalam konstruksi beton ramah lingkungan.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menghasilkan beberapa temuan ilmiah yang berkaitan dengan karakteristik fisik limbah keramik sebagai pengganti agregat kasar dalam beton. Pengujian dilakukan pada tiga variasi ukuran pecahan limbah keramik (1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm) dengan lima parameter utama: Impact Test Value (ITV), Los Angeles Abrasion, berat jenis (*bulk, SSD, apparent*), penyerapan air, dan berat volume agregat. Hasil yang diperoleh dianalisis secara komprehensif untuk menjelaskan sifat mekanik dan fisik material serta keterkaitannya dengan kelayakan teknis menurut standar SNI dan ASTM.

A. Ketahanan terhadap tumbukan/ *Impact Test Value (ITV)*

Salah satu temuan penting dari penelitian ini adalah bahwa seluruh variasi ukuran limbah keramik menunjukkan nilai Impact Test Value di bawah 30%, yang merupakan ambang batas maksimum menurut BS 812 (1975)[6]. Nilai ITV yang rendah menunjukkan bahwa material keramik memiliki ketahanan cukup baik terhadap gaya tumbuk. Hal ini disebabkan oleh struktur mikroskopis keramik yang bersifat padat dan telah melalui proses *sintering* (pembakaran suhu tinggi), sehingga menghasilkan kekakuan dan kekerasan yang tinggi.

Tabel 1. Nilai Uji Tumbukan

No	Pecahan Keramik	Rata-rata nilai (%)
1	1 cm	2,10
2	1,5 cm	3,67
3	2 cm	3,75

Secara ilmiah, ketahanan terhadap tumbukan dipengaruhi oleh sifat *brittleness* (kerapatan dan kerapuhan) dari bahan. Meskipun keramik memiliki modulus elastisitas tinggi dan sedikit deformasi plastis, kekuatannya terhadap tumbukan tetap baik karena kristalisasi yang terbentuk selama proses pembakarannya. Dibandingkan dengan batu pecah alami, keramik memiliki karakteristik yang lebih getas, namun nilai ITV-nya tetap berada dalam batas layak. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Daniyal & Ahmad (2015)[3], yang juga melaporkan bahwa limbah keramik memiliki daya tahan tumbukan yang setara dengan agregat konvensional pada persentase pengganti tertentu.

B. Keausan Material/ *Los Angeles Abrasion Test*

Hasil uji abrasi Los Angeles menunjukkan nilai keausan berada dalam kisaran 28–30% untuk semua ukuran pecahan, sehingga masih memenuhi syarat maksimal 50% berdasarkan SNI 2417-2008[7]. Hal ini menunjukkan bahwa limbah keramik cukup tahan terhadap aus akibat gesekan dalam proses pencampuran beton. Ketahanan ini berasal dari densitas dan kekompakan partikel keramik yang telah mengalami vitrifikasi parsial, yakni perubahan sebagian struktur menjadi amorf atau kaca selama pembakaran[11].

Secara fisik, proses penggilasan dalam drum Los Angeles meniru beban dinamis saat pencampuran atau saat beton mengalami getaran dan tekanan. Pecahan keramik berukuran kecil (2 cm) menunjukkan nilai keausan sedikit lebih tinggi karena luas permukaannya lebih besar, sehingga kontak antar partikel meningkat. Namun secara umum, tren keausan tidak menunjukkan deviasi ekstrem di antara variasi ukuran[12].

Tabel 2. Nilai Uji Abrasi Los Angeles

No	Pecahan Keramik	Rata-rata nilai (%)
1	1 cm	29,24
2	1,5 cm	29,8
3	2 cm	29,94

Hasil ini sesuai dengan studi Kurniawan & Sudjiati (2012)[4], yang menunjukkan bahwa limbah keramik memiliki ketahanan abrasi yang sebanding dengan agregat alam hingga pada substitusi 30%. Namun berbeda dengan temuan Astri & Mulyadi (2017)[5], yang mencatat keausan tinggi pada campuran dengan proporsi 60%. Ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah keramik

<https://sice.umsida.ac.id/>, published by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Copyright © Author (s). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY)

sebaiknya diawali dengan uji kelayakan material, bukan langsung digunakan dalam beton tanpa seleksi teknis.

C. Berat Jenis dan Penyerapan Air

Temuan lain yang signifikan adalah bahwa limbah keramik memiliki berat jenis bulk antara 2,69 - 2,63 dan nilai penyerapan air rata-rata 0,22 - 0,47%. Berdasarkan SNI 03-2834-2000[13], agregat kasar dinyatakan layak jika berat jenisnya $\geq 2,5$ dan penyerapan air $\leq 3\%$. Ukuran keramik 2 cm menunjukkan berat jenis paling tinggi dan penyerapan air paling rendah di antara tiga variasi, yang menjadikannya kandidat paling ideal untuk digunakan dalam campuran beton.

Tabel 3. Nilai Berat Jenis dan Resapan Air

No	Pecahan Keramik	Nilai Bulk	Nilai SSD	Nilai Apparent	Resapan Air (%)
1	1 cm	2,59	2,6	2,62	0,47
2	1,5 cm	2,61	2,62	2,64	0,37
3	2 cm	2,63	2,63	2,64	0,22

Secara ilmiah, berat jenis berkaitan dengan kerapatan struktur internal agregat. Material dengan pori-pori mikroskopik lebih kecil akan memiliki berat jenis lebih tinggi dan kemampuan menyerap air yang lebih rendah. Proses pembakaran dalam pembuatan keramik menyebabkan sebagian besar pori tertutup oleh fasa kaca, sehingga mengurangi kemampuan material menyerap air. Namun, beberapa mikroretakan tetap terbentuk akibat pendinginan cepat atau tekanan internal saat produksi, yang menjelaskan mengapa penyerapan air limbah keramik masih lebih tinggi dibanding batu pecah alami[14].

Penyerapan air yang masih dalam batas toleransi penting untuk menjaga workability beton. Bila terlalu tinggi, agregat akan menyerap air dari campuran dan mengganggu rasio air-semen (fas), yang berdampak pada kekuatan dan kekompakan beton. Oleh karena itu, meskipun masih dalam ambang wajar, nilai ini harus diperhatikan dalam desain mix beton berbahan limbah keramik.

D. Berat Volume Agregat

Hasil pengujian berat volume (*density packing*) menunjukkan bahwa agregat keramik memiliki berat volume dalam kondisi lepas sekitar 1,3 - 1,4 Kg/L dan kondisi padat 1,45 - 1,48 Kg/L. Nilai ini sedikit lebih rendah dibandingkan agregat alam, yang umumnya berada pada kisaran 1,6–1,8 kg/L. Hal ini mengindikasikan bahwa limbah keramik cenderung memiliki massa jenis agregat yang ringan[15].

Tabel 4. Nilai Berat Volume

No	Pecahan Keramik	Nilai Kondisi Lepas (Kg/L)	Nilai Kondisi Padat (Kg/L)
1	1 cm	1,38	1,45
2	1,5 cm	1,44	1,46
3	2 cm	1,43	1,48

Fenomena ini dapat dijelaskan melalui teori packing density, yaitu keterisian volume oleh agregat. Agregat alami umumnya memiliki bentuk bulat dan permukaan kasar yang mendukung

<https://sice.umsida.ac.id/>, published by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Copyright © Author (s). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY)

pengisian ruang antar butiran. Sebaliknya, pecahan keramik memiliki bentuk tidak beraturan dan permukaan relatif halus akibat proses pembakaran dan pemecahan, sehingga menyisakan lebih banyak rongga udara saat dipadatkan. Hal ini menyebabkan nilai berat volume keramik lebih rendah.

Temuan ini memberikan implikasi penting bagi penggunaan limbah keramik sebagai agregat alternatif dalam beton ringan non-struktural, seperti beton pracetak ringan, panel dinding, atau elemen arsitektural. Penggunaan limbah keramik dapat mengurangi berat jenis beton secara keseluruhan, sehingga menguntungkan untuk efisiensi struktur tanpa mengorbankan ketahanan tekan secara signifikan (jika dikombinasikan dengan desain campuran yang tepat).

E. Interpretasi Umum dan Keterkaitan dengan Penelitian Sebelumnya

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa limbah keramik, dalam variasi ukuran yang diteliti, memiliki karakteristik fisik yang layak digunakan sebagai agregat kasar dalam campuran beton berdasarkan standar teknis. Ketahanan terhadap tumbukan dan abrasi cukup baik, nilai berat jenis dan penyerapan air berada dalam batas wajar, serta berat volume menunjukkan potensi sebagai agregat ringan.

Dibandingkan dengan penelitian terdahulu, temuan ini mengonfirmasi hasil-hasil sebelumnya yang menyebutkan bahwa limbah keramik dapat menggantikan sebagian agregat kasar dalam beton. Namun, pendekatan penelitian ini berbeda karena berfokus secara khusus pada analisis kelayakan fisik material, bukan pada kinerja akhir beton. Pendekatan ini memberi kontribusi baru dalam memastikan bahwa material yang akan digunakan dalam beton telah lolos seleksi teknis sebelum masuk ke tahap desain campuran (mix design).

Dengan demikian, penelitian ini menutup gap yang ada dalam studi-studi sebelumnya yang langsung mengevaluasi performa beton tanpa melakukan evaluasi kelayakan agregat terlebih dahulu. Hal ini penting dalam memastikan keandalan dan konsistensi mutu beton hasil substitusi, khususnya untuk aplikasi yang menuntut kekuatan tekan tinggi atau lingkungan agresif.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa limbah keramik dari hasil industri memiliki karakteristik fisik yang memenuhi kriteria teknis sebagai agregat kasar dalam campuran beton. Seluruh variasi ukuran pecahan (1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm) menunjukkan ketahanan yang baik terhadap tumbukan dan keausan, berat jenis berada dalam rentang yang disyaratkan, serta nilai penyerapan air masih dalam batas kelayakan. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengevaluasi kelayakan limbah keramik sebagai substitusi agregat kasar secara teknis telah tercapai.

Temuan ini memperkuat hipotesis bahwa limbah keramik, jika melalui proses seleksi ukuran dan pengolahan yang tepat, dapat dimanfaatkan sebagai material alternatif yang berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap agregat alam sekaligus membantu mitigasi limbah industri.

Sebagai pengembangan selanjutnya, penelitian dapat diarahkan pada evaluasi performa mekanik beton yang menggunakan limbah keramik sebagai agregat kasar, serta pengujian durabilitas jangka panjang dalam berbagai lingkungan eksposur. Selain itu, analisis dampak lingkungan dan efisiensi biaya juga menjadi aspek penting untuk mendukung implementasi material ini dalam skala konstruksi yang lebih luas.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo atas dukungan fasilitas dan akses laboratorium yang telah memungkinkan terlaksananya penelitian ini. Penghargaan juga diberikan kepada PT. Kuda Laut Mas, Sidoarjo, yang telah menyediakan limbah keramik sebagai bahan utama dalam pengujian material. Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada seluruh teknisi laboratorium serta rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil angkatan 2021 yang turut membantu dalam proses pengambilan data, terutama pada dalam proses pengujian di laboratorium. Dukungan dan bantuan dari berbagai pihak selama proses penelitian ini sangat berarti dalam menyelesaikan kajian ini dengan baik. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi material bangunan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Referensi

- [1] B. Harsono dkk, *Bahan Bangunan*. Padang: CV. HEI PUBLISHING INDONESIA, 2025.
- [2] S. Kumar and M. Chaudhary, “Effect on Strength of Immersed Solution of Ceramic Waste Used In Concrete,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, pp. 19–24, 2018.
- [3] M. Daniyal and S. Ahmad, “Application of Waste Ceramic Tile Aggregates in Concrete,” *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol. (An ISO*, vol. 4, no. 12, pp. 12808–12815, 2015, doi: 10.15680/IJIRSET.2015.0412128.
- [4] K. Dwi Wicaksono and J. Januar Sudjati, “PEMANFAATAN LIMBAH KERAMIK SEBAGAI AGREGAT KASAR DALAM ADUKAN BETON,” *Univ. Trisakti*, p. 6, 2012.
- [5] A. Mulyadi and A. Sanutra, “ANALISIS LIMBAH PECAHAN KERAMIK SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR TERHADAP KUAT TEKAN BETON K.200,” *Univ. Palembang*, vol. 200, pp. 8–14, 2019.
- [6] BS812-112, “Methods for determination of aggregate impact value (AIV),” *Br. Stand. Inst. (BSI)*., no. 1, 1990.
- [7] SNI 2417-2008, “Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles,” *Standar Nas. Indones.*, p. 20, 2008, [Online]. Available: [http://nspkjembatan.pu.go.id/public/uploads/TahapPelaksanaan/SNI/1510486929\(259\)_sni_2417-2008.pdf](http://nspkjembatan.pu.go.id/public/uploads/TahapPelaksanaan/SNI/1510486929(259)_sni_2417-2008.pdf)
- [8] SNI-1969-2016, “Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar,” *Standar Nas. Indones.*, p. 20, 2016, [Online]. Available: <https://pu.go.id/pustaka/biblio/sni-1969-2016-metode-uji-berat-jenis-dan-penyerapan-air-agregat-kasar/KB19B>
- [9] D. S. Y. Kartika, M. A. Bimantara, R. Aminullah, P. N. C. Rahmadani, I. N. H. Zuhriyah, and N. E. N. Hayati, *BUKU PETUNJUK PRAKTIKUM TEKNOLOGI BETON*, vol. 02. 2023.
- [10] K. M. B, REZA PRIMADI, “PEMANFAATAN LIMBAH PECAHAN KERAMIK SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR PADA BETON,” *Univ. Semarang*, 2020.
- [11] Revisdah and U. Ririn, “PEMANFAATN LIMBAH KERAMIK TERHADAP KUAT TEKAN

- [12] ASTM C496, "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens," *ASTM Stand. B.*, pp. 545-545–3, 2008, doi: 10.1520/C0496.
- [13] SNI-03-2834-2000, "Tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal," *Standar Nas. Indones.*, vol. 3, p. 2834, 2000.
- [14] T. Mulyono, *Teknologi Beton*. Yogyakarta: CV. ANDI OFFSET, 2005.
- [15] I. Dipohusodo, *Struktur Beton Betulang*. Jakarta, 1994.

- [13] SNI-1969-2016, “Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar,” *Standar Nas. Indones.*, p. 20, 2016, [Online]. Available: <https://pu.go.id/pustaka/biblio/sni-1969-2016-metode-uji-berat-jenis-dan-penyerapan-air-agregat-kasar/KB19B>
- [14] D. S. Y. Kartika, M. A. Bimantara, R. Aminullah, P. N. C. Rahmadani, I. N. H. Zuhriyah, and N. E. N. Hayati, *BUKU PETUNJUK PRAKTIKUM TEKNOLOGI BETON*, vol. 02. 2023.
- [15] M. F. Firdiansyah, B. Harsono, and I. Pendahuluan, “Analysis Of Material Feasibility Testing Of Ceramic Waste Fractions As A Substitute For Coarse Aggregates In Concrete,” *Univ. Muhammadiyah Sidoarjo*, pp. 1–6, 2025.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.