Pengaruh Penggantian Agregat Kasar dengan Limbah Keramik terhadap Kuat Tekan Beton pada Berbagai Proporsi Campuran

Swandy Sitompul[1], Nurmaidah[2]
[1,2] Department of Civil Engineering, Universitas Medan Area
Jalan Kolam Nomor 1 Medan Estate / Jalan Gedung PBSI, Medan 20223
[1]E-mail: swandysitompul629@gmail.com

Abstract* — The development of the construction industry in Indonesia is increasingly rapid with the increasing need for sturdy, durable, and environmentally friendly infrastructure. Concrete, which is used in the construction of high-rise buildings, roads, and bridges, has the advantages of high compressive strength and good durability. However, concrete production requires large amounts of raw materials, such as cement and aggregates, which contribute to the degradation of natural resources and carbon emissions that are detrimental to the environment. One alternative material that can reduce the negative impact on the environment is ceramic waste, which is often considered waste. This study aims to analyze the effect of ceramic waste substitution on concrete quality, especially the compressive strength and workability of concrete. The study was conducted using a laboratory experimental method using concrete with variations in the addition of ceramic waste of 5%, 10%, and 15% as a substitute for coarse aggregate. Testing was carried out to determine changes in the compressive strength and workability of concrete as measured by the slump test. The results showed that the addition of ceramic waste increased the workability of concrete but reduced the compressive strength of concrete at the age of 14 days. At the age of 28 days, concrete with ceramic waste experienced an increase in compressive strength although lower than normal concrete. This study contributes to the use of ceramic waste as an alternative coarse aggregate in environmentally friendly concrete mixtures. It is expected that the results of this study can provide benefits in the sustainability of infrastructure development.
Keywords: ceramic waste; coarse aggregate; concrete; workability; compressive strength; concrete age.

Abstrak* — Perkembangan industri konstruksi di Indonesia semakin pesat dengan meningkatnya kebutuhan akan infrastruktur yang kokoh, tahan lama, dan ramah lingkungan. Beton, yang digunakan dalam pembangunan gedung bertingkat, jalan, dan jembatan, memiliki keunggulan berupa kekuatan tekan yang tinggi dan daya tahan yang baik. Namun, produksi beton membutuhkan bahan baku yang besar, seperti semen dan agregat, yang berkontribusi terhadap degradasi sumber daya alam dan emisi karbon yang merugikan lingkungan. Salah satu alternatif material yang dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan adalah limbah keramik, yang sering dianggap sampah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi limbah keramik terhadap kualitas beton, terutama kuat tekan dan workability beton. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen laboratorium menggunakan beton dengan variasi penambahan limbah keramik sebesar 5%, 10%, dan 15% sebagai pengganti agregat kasar. Pengujian dilakukan untuk mengetahui perubahan pada kuat tekan dan workability beton yang diukur melalui uji slump. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah keramik meningkatkan workability beton tetapi mengurangi kuat tekan beton pada umur 14 hari. Pada umur 28 hari, beton dengan limbah keramik mengalami peningkatan kuat tekan meskipun lebih rendah dibandingkan beton normal. Penelitian ini memberikan kontribusi pada penggunaan limbah keramik sebagai alternatif agregat kasar dalam campuran beton yang ramah lingkungan. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat dalam keberlanjutan pembangunan infrastruktur.
Kata-kata kunci: limbah keramik; agregat kasar; beton; workability; kuat tekan; umur beton.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri konstruksi di Indonesia semakin pesat seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan infrastruktur yang kokoh, tahan lama, dan ramah lingkungan. Beton, sebagai material utama dalam pembangunan berbagai struktur seperti gedung bertingkat, jalan, dan jembatan, memiliki berbagai keunggulan, antara lain kekuatan tekan yang tinggi dan daya tahan yang baik terhadap berbagai kondisi lingkungan. Namun, proses produksi beton membutuhkan bahan baku yang besar, seperti semen dan agregat, yang berkontribusi terhadap degradasi sumber daya alam serta meningkatkan emisi karbon yang berdampak buruk terhadap lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan alternatif material yang dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, tanpa mengorbankan kualitas beton yang dihasilkan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menggantikan sebagian bahan baku beton, khususnya agregat, dengan

material yang lebih ramah lingkungan, seperti limbah keramik. Limbah keramik, yang sering kali dianggap sebagai sampah, memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti agregat kasar pada campuran beton. Penelitian-penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa limbah keramik dapat memperbaiki sifat mekanik beton, namun masih terdapat perbedaan pendapat mengenai pengaruhnya terhadap kualitas beton, terutama pada umur dini beton (Pithaloka, 2021; Karimah & Rusdianto, 2021). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan limbah keramik ini sebagai bahan substitusi dalam campuran beton. Penelitian ini memiliki urgensi yang besar karena selain dapat mengurangi dampak lingkungan dari limbah keramik, juga berpotensi menurunkan biaya produksi beton dengan mengurangi ketergantungan pada bahan baku konvensional. Adapun variabel yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi pengaruh substitusi limbah keramik terhadap kuat tekan beton pada berbagai umur uji, perubahan workability beton yang diukur melalui uji slump, serta perbandingan performa struktural antara beton normal dan beton dengan variasi kandungan limbah keramik (Purnamasari & Fathurrahman, 2023; Danusaputra, Setiawan, & Yunus, 2024). Penelitian ini juga menawarkan novelty yang menarik, yaitu pemanfaatan limbah keramik sebagai alternatif agregat kasar dalam campuran beton dengan berbagai variasi konsentrasi, yang masih jarang dilakukan. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan bahan limbah pertanian atau limbah industri lainnya, penelitian ini menitikberatkan pada potensi limbah keramik sebagai bahan konstruksi yang ramah lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga berfokus pada standar pengujian internasional dan nasional untuk memastikan hasil yang dapat diterima dalam aplikasi industri (Sivakumar et al., 2022; Amin, Tayeh, & Agwa, 2020). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh pemanfaatan limbah keramik sebagai bahan pengganti sebagian agregat kasar dalam campuran beton terhadap kualitas beton, terutama kuat tekan dan workability beton. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan solusi alternatif yang ramah lingkungan dalam industri konstruksi dengan menggunakan limbah keramik sebagai material beton, yang diharapkan dapat memberikan manfaat bagi keberlanjutan pembangunan infrastruktur (Siddique, Shrivastava, & Chaudhary, 2019).

II. METODE

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan eksperimen laboratorium untuk menguji pengaruh substitusi limbah keramik terhadap kuat tekan dan workability beton. Beton yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari empat variasi, yaitu beton normal tanpa limbah keramik dan beton variasi dengan penambahan limbah keramik yang menggantikan sebagian agregat kasar pada persentase 5%, 10%, dan 15%. Campuran beton dirancang dengan mengacu pada standar SNI 7656:2012 untuk perancangan campuran beton, dan pengujian kuat tekan dilakukan sesuai dengan SNI 1974:2023. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi semen Portland sebagai bahan pengikat utama, agregat kasar yang memenuhi standar SNI 03-2467-2002, serta agregat halus yang sebagian digantikan dengan limbah keramik. Limbah keramik yang digunakan diperoleh dari penggilingan keramik, diolah, dan dipilih sesuai dengan standar yang berlaku. Air bersih yang digunakan dalam campuran beton memenuhi ketentuan SNI 03-2834-2000. Rancangan campuran beton dirancang untuk mencapai kuat tekan rencana f'c = 15 MPa (K-150). Rasio bahan dalam campuran dihitung berdasarkan perencanaan ACI (American Concrete Institute), dengan limbah keramik menggantikan sebagian agregat kasar pada tiga variasi persentase (5%, 10%, dan 15%). Pengujian material dilakukan dengan uji saringan untuk agregat kasar dan halus yang mengacu pada ASTM C 136-76 dan ASTM C 136-01, untuk menentukan gradasi dan modulus kehalusan (FM). Kadar air agregat kasar dan halus diuji menggunakan metode pengeringan sesuai dengan ASTM C 127-76 dan ASTM C 127-01, sementara kadar lumpur pada kedua jenis agregat diuji mengacu pada ASTM C 117-03. Berat jenis semen diuji menggunakan metode yang mengacu pada ASTM C 403M-99. Pencampuran beton dilakukan dengan cara memasukkan semua bahan secara teratur dalam mixer beton hingga diperoleh adukan beton yang homogen. Beton yang dihasilkan kemudian diuji dengan slump test untuk menentukan workability atau kelecakan adukan beton, yang mempengaruhi kemudahan pencampuran, pengangkutan, dan pengecoran. Pengujian slump

dilakukan sebanyak empat kali untuk masing-masing variasi campuran beton. Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan silinder beton yang diuji pada umur 14 hari dan 28 hari sesuai dengan prosedur yang ditetapkan oleh SNI 1974:2023 untuk memperoleh data kekuatan beton pada berbagai umur uji.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

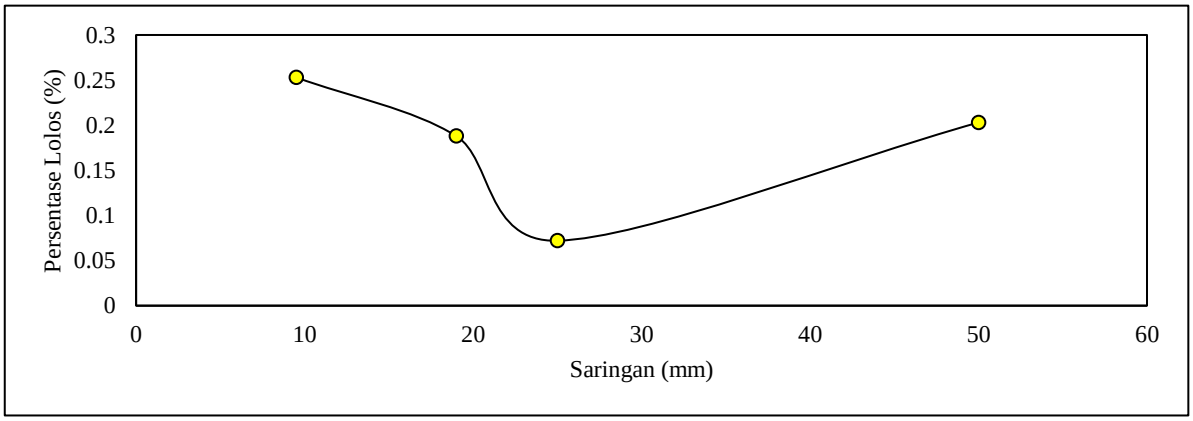
Pada penelitian ini, dilakukan berbagai pengujian terhadap bahan dan beton untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah keramik terhadap sifat-sifat mekanik beton. Hasil perhitungan dan pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, yang memberikan informasi lebih jelas tentang kualitas bahan dan performa beton.

Analisis Saringan Agregat Kasar

Hasil analisis saringan agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan distribusi partikel agregat pada berbagai ukuran saringan, yang penting untuk memastikan komposisi campuran beton yang sesuai. Tabel 1 menunjukkan persentase masing-masing ukuran agregat kasar setelah dilakukan pengujian. Hasil analisis menunjukkan bahwa distribusi ukuran agregat kasar berada dalam batas standar, yang dapat digunakan untuk memastikan kualitas beton yang optimal. Gambar 1 menggambarkan distribusi ukuran agregat kasar berdasarkan hasil analisis saringan yang dilakukan.

Tabel 1. Hasil analisis saringan agregat kasar

Saringan	Berat Tertahan (gram)	Berat Lolos Saringan (gram)	Persentase Lolos (%)
No. 3/8	134.27	45.72	0.253
No. 3/4	250.89	58.11	0.188
No. 1	350.45	25.36	0.072
No. 2	278.67	70.8	0.203



Gambar 1. Distribusi ukuran agregat kasar

Pengujian Penyerapan Air Agregat Kasar

Pemeriksaan penyerapan air pada agregat kasar dilakukan untuk memastikan bahwa kelembaban material tidak mempengaruhi campuran beton. Hasil pengujian penyerapan air untuk agregat kasar ditampilkan pada Tabel 2. Berdasarkan hasil pengujian, rata-rata penyerapan air agregat kasar adalah 0.0404%, yang berada dalam batas standar yang dapat diterima.

Tabel 2. Penyerapan air agregat kasar

Agregat Kasar	Penyerapan Air (%)
Kerikil 1	0.0142
Kerikil 2	0.0127
Kerikil 3	0.0135

Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pemeriksaan kadar lumpur pada agregat kasar dilakukan untuk mengidentifikasi kandungan material organik yang tidak diinginkan. Hasil pemeriksaan kadar lumpur untuk agregat kasar ditampilkan dalam Tabel 3. Kadar lumpur yang diperoleh adalah 0.03%, yang memenuhi batas yang ditetapkan untuk agregat kasar.

Tabel 3. Pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar

Agregat Kasar	Kadar Lumpur (%)
Kerikil 1	0.01
Kerikil 2	0.008
Kerikil 3	0.012

Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

Agregat kasar juga diuji untuk mengetahui nilai berat jenisnya, yang penting untuk menentukan kepadatan dan kelayakan agregat dalam campuran beton. Hasil pemeriksaan berat jenis agregat kasar ditampilkan dalam Tabel 4, dengan nilai berkisar antara 2.37 hingga 2.45 g/cm³, yang memenuhi standar untuk campuran beton.

Tabel 4. Pemeriksaan berat jenis agregat kasar

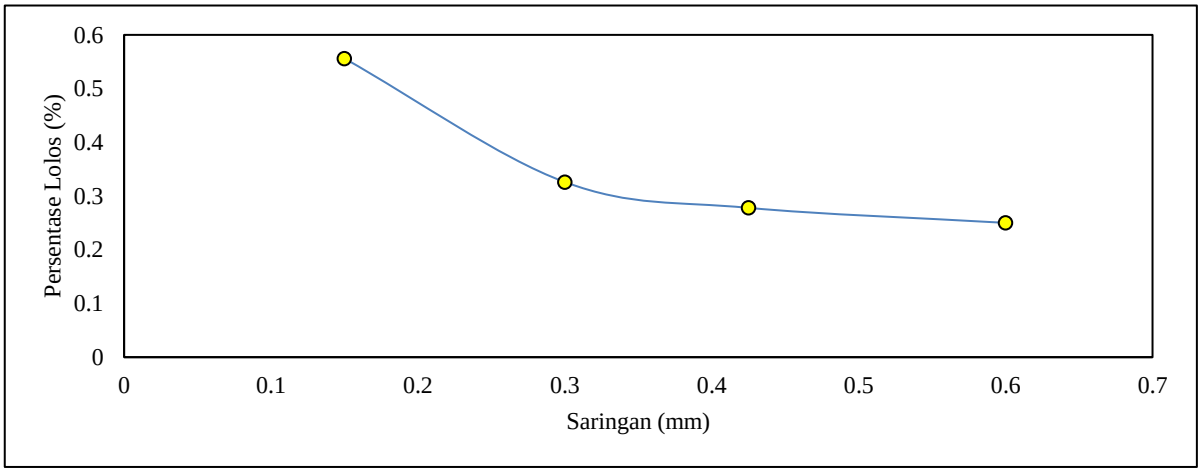
Agregat Kasar	Berat Jenis (g/cm³)
Kerikil 1	2.42
Kerikil 2	2.37
Kerikil 3	2.45

Analisis Saringan Agregat Halus

Pengujian saringan agregat halus dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butirannya. Tabel 5 menunjukkan hasil analisis saringan agregat halus, yang menunjukkan bahwa sebagian besar agregat halus tertahan di ayakan dengan ukuran tertentu, sesuai untuk campuran beton. Gambar 2 menunjukkan distribusi ukuran agregat halus berdasarkan hasil analisis saringan yang dilakukan.

Tabel 5. Analisis saringan agregat halus

Saringan	Berat Tertahan (gram)	Berat Lolos Saringan (gram)	Persentase Lolos (%)
No. 30	130.7	45.2	0.25
No. 40	110.5	30.7	0.278
No. 50	98.6	38.1	0.326
No. 100	56.3	70.8	0.556



Gambar 2. Distribusi ukuran agregat halus

Pengujian Penyerapan Air Agregat Halus

Pemeriksaan penyerapan air pada agregat halus dilakukan untuk mengetahui kadar kelembaban dalam agregat, yang dapat mempengaruhi campuran beton. Tabel 6 menunjukkan hasil pengujian penyerapan air pada agregat halus. Rata-rata penyerapan air untuk agregat halus adalah 0.0147%, yang masih dalam batas yang diperkenankan.

Tabel 6. Pengujian penyerapan air agregat halus

Agregat Halus	Penyerapan Air (%)
Pasir 1	0.0152
Pasir 2	0.0149
Pasir 3	0.0141

Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Pemeriksaan kadar lumpur pada agregat halus dilakukan untuk mengetahui kandungan bahan organik dalam agregat halus. Tabel 7 menunjukkan hasil pemeriksaan kadar lumpur pada agregat halus. Kadar lumpur pada kedua sampel adalah 5.0367%, yang masih memenuhi standar batas yang ditetapkan untuk campuran beton.

Tabel 7. Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus

Agregat Halus	Penyerapan Air (%)
Pasir 1	0.0152
Pasir 2	0.0149
Pasir 3	0.0141

Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

Pemeriksaan berat jenis agregat halus dilakukan untuk mengetahui kepadatan agregat tersebut, yang mempengaruhi jumlah agregat dalam campuran beton. Hasil pemeriksaan berat jenis pada agregat halus ditampilkan dalam Tabel 8, dengan nilai berkisar antara 2.53 g/cm³ hingga 2.60 g/cm³.

Tabel 8. Pemeriksaan berat jenis agregat halus

Agregat Halus	Berat Jenis (g/cm³)
Pasir 1	2.55
Pasir 2	2.53
Pasir 3	2.6

Mix Design

Perancangan campuran beton dilakukan berdasarkan standar SNI 7656:2012 untuk mencapai mutu beton K-200. Tabel 9 menunjukkan hasil rancangan campuran beton untuk beton normal dan beton variasi dengan limbah keramik pada 5%, 10%, dan 15%.

Tabel 9. Mix design beton normal (k200), limbah keramik 5%, 10%, dan 15%

Material	Proporsi (%) Beton Normal	Kuantitas (kg/m³) Beton Normal	Proporsi (%) Limbah Keramik 5%	Kuantitas (kg/m³) Limbah Keramik 5%	Proporsi (%) Limbah Keramik 10%	Kuantitas (kg/m³) Limbah Keramik 10%	Proporsi (%) Limbah Keramik 15%	Kuantitas (kg/m³) Limbah Keramik 15%
Semen	0.1	380	0.1	380	0.1	380	0.1	380
Air	0.1	190	0.1	190	0.1	190	0.1	190
Agregat Halus	0.35	740	0.35	740	0.35	740	0.35	740
Agregat Kasar	0.4	1110	0.38	1058	0.36	1000	0.34	940
Limbah Keramik	0	0	0.05	120	0.1	240	0.15	360

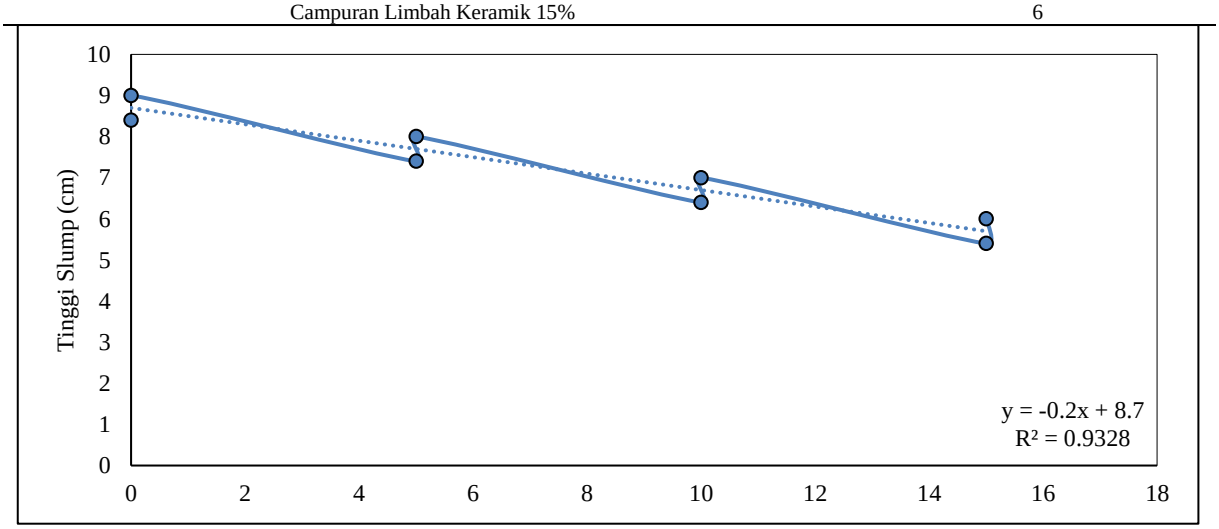
Hasil Pengujian Slump

Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton dengan limbah keramik memiliki nilai slump yang lebih tinggi dibandingkan beton normal, yang menunjukkan bahwa workability beton meningkat dengan penambahan limbah keramik. Persamaan linear yang diperoleh dari grafik hubungan antara jumlah limbah keramik dalam campuran beton dan nilai slump adalah $y = -0.2x + 8.7$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0.9328$. Persamaan ini mengindikasikan bahwa setiap peningkatan 1% jumlah limbah keramik dalam campuran beton akan mengurangi tinggi slump sebesar 0.2 cm. Nilai intercept sebesar 8.7 cm menunjukkan bahwa pada campuran beton tanpa limbah keramik ($x = 0$), tinggi slump yang dihasilkan adalah 8.7 cm. Dengan nilai $R^2 = 0.9328$, dapat disimpulkan bahwa hubungan antara jumlah limbah keramik dan tinggi slump sangat kuat, di mana lebih dari 93% variasi tinggi slump dapat dijelaskan oleh jumlah limbah keramik dalam campuran beton. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan jumlah limbah keramik dapat secara signifikan mempengaruhi workability atau kelecakan beton. Peningkatan workability ini juga berpotensi memberikan kemudahan dalam pengecoran beton di lokasi konstruksi, sehingga mengurangi potensi kesalahan dan memastikan proses pengecoran yang lebih lancar. Selain itu, hasil yang lebih konsisten pada kualitas campuran beton dapat dicapai, mengingat pengaruh limbah keramik yang positif terhadap homogenitas adukan beton. Namun demikian, meskipun workability

meningkat, perlu dipertimbangkan pengaruh lebih lanjut terhadap sifat fisik beton, seperti daya tahan dan kekuatan jangka panjangnya, untuk memastikan aplikasi praktis yang aman dan efisien. Oleh karena itu, riset lebih lanjut masih diperlukan untuk mengevaluasi dampak jangka panjang dari penggunaan limbah keramik dalam campuran beton. Tabel 10 menunjukkan hasil pengujian slump beton, dan Gambar 3 menggambarkan grafik hubungan antara jumlah limbah keramik dan nilai slump, yang lebih lanjut menggambarkan pentingnya pengaruh limbah keramik terhadap workability beton.

Tabel 10. Hasil pengujian slump beton

Jenis Campuran	Slump (cm)
Beton Normal (0%)	8.4
Beton Normal (0%)	9
Campuran Limbah Keramik 5%	7.4
Campuran Limbah Keramik 5%	8
Campuran Limbah Keramik 10%	6.4
Campuran Limbah Keramik 10%	7
Campuran Limbah Keramik 15%	5.4
Campuran Limbah Keramik 15%	6



Gambar 3. Grafik pengujian slump

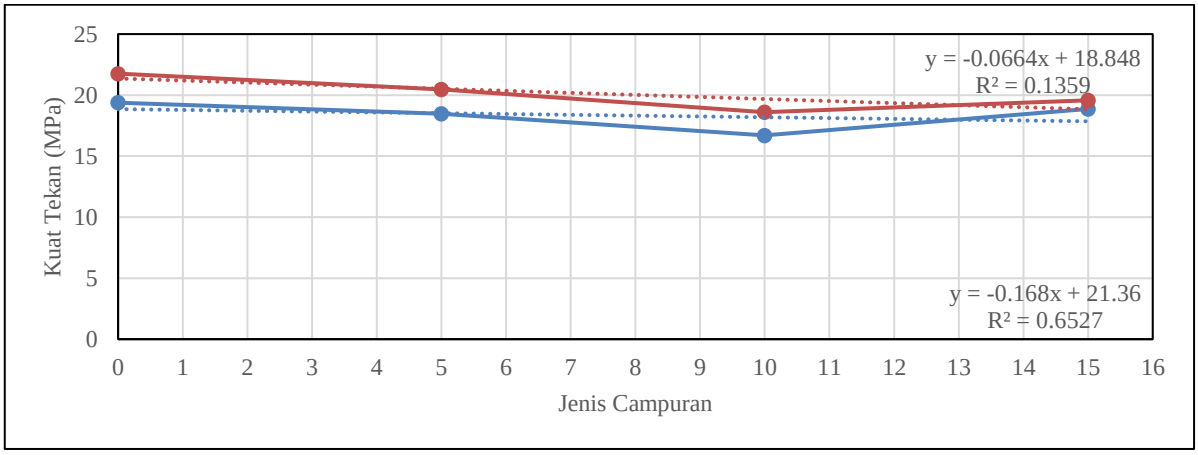
Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 14 hari dan 28 hari untuk mengetahui perkembangan kekuatan beton dengan substitusi limbah keramik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton dengan limbah keramik memiliki kekuatan tekan yang lebih rendah dibandingkan beton normal pada umur 14 hari, tetapi mengalami peningkatan pada umur 28 hari. Persamaan linear yang diperoleh untuk hubungan antara variasi limbah keramik dan kekuatan tekan beton pada umur 14 hari adalah $y = -0.0664x + 18.848$, dengan nilai $R^2 = 0.1359$. Persamaan ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1% jumlah limbah keramik dalam campuran beton akan mengurangi kuat tekan beton sebesar 0.0664 MPa pada umur 14 hari. Nilai intercept 18.848 MPa menunjukkan bahwa tanpa limbah keramik, kuat tekan beton pada umur 14 hari diperkirakan sebesar 18.848 MPa. Namun, nilai R^2 yang rendah, yaitu 0.1359, menunjukkan bahwa hubungan antara jumlah limbah keramik dan kuat tekan pada umur 14 hari lemah, dengan hanya 13.59% variasi kuat tekan yang dapat dijelaskan oleh persentase limbah keramik. Pada umur 28 hari, persamaan yang diperoleh adalah $y = -0.168x + 21.36$, dengan $R^2 = 0.6527$. Persamaan ini menunjukkan bahwa setiap peningkatan 1% jumlah limbah keramik dalam campuran beton akan mengurangi kuat tekan beton sebesar 0.168 MPa pada umur 28 hari, dengan intercept 21.36 MPa, yang berarti pada campuran tanpa limbah keramik, kuat tekan beton pada umur 28 hari diperkirakan sebesar 21.36 MPa. Nilai $R^2 = 0.6527$ menunjukkan bahwa hubungan antara variasi limbah keramik dan kuat tekan pada umur 28 hari lebih kuat dibandingkan dengan umur 14 hari, di mana 65.27% variasi kuat tekan dapat dijelaskan oleh jumlah limbah keramik dalam campuran beton. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan limbah keramik memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap kuat tekan

beton pada umur 28 hari dibandingkan pada umur 14 hari.

Tabel 11. Hasil pengujian kuat tekan beton

Jenis Campuran	Umur Beton (Hari)	Benda Uji 1 (MPa)	Benda Uji 2 (MPa)	Benda Uji 3 (MPa)	Benda Uji 4 (MPa)	Benda Uji 5 (MPa)	Rata-rata Kuat Tekan (MPa)
Beton Normal (0%)	14	19	19.5	19.3	19.7	19.4	19.38
Beton Normal (0%)	28	21.5	21.8	21.6	21.9	22	21.76
Campuran Limbah Keramik 5%	14	18.2	18.5	18.3	18.7	18.6	18.46
Campuran Limbah Keramik 5%	28	20.1	20.5	20.3	20.8	20.6	20.46
Campuran Limbah Keramik 10%	14	16.5	16.8	16.6	16.9	16.7	16.7
Campuran Limbah Keramik 10%	28	18.4	18.6	18.5	18.8	18.7	18.6
Campuran Limbah Keramik 15%	14	18.7	18.9	18.8	19	18.9	18.86
Campuran Limbah Keramik 15%	28	19.2	19.5	19.4	19.7	19.6	19.58



Gambar 4. Grafik pengujian kuat tekan beton

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis, penggunaan limbah keramik sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran beton dapat meningkatkan workability beton, yang ditunjukkan dengan peningkatan nilai slump. Namun, pengaruhnya terhadap kuat tekan beton bervariasi; pada umur 14 hari, beton dengan limbah keramik memiliki kekuatan tekan yang lebih rendah dibandingkan beton normal. Namun, pada umur 28 hari, beton dengan limbah keramik menunjukkan peningkatan kuat tekan meskipun lebih rendah daripada beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa limbah keramik dapat digunakan sebagai alternatif agregat kasar dalam campuran beton dengan mempertimbangkan sifat mekanik dan workability beton pada umur tertentu. Penelitian lebih lanjut masih diperlukan untuk meningkatkan kualitas beton pada umur dini dan mengevaluasi aplikasi praktisnya dalam industri konstruksi.

REFERENSI

Pithaloka, E. I. (2021). *Pengaruh penggantian sebagian agregat kasar dengan limbah genteng keramik terhadap kuat tekan, kuat tarik dan absorbsi pada beton bersilica fume*.

Purnamasari, E., & Fathurrahman, F. A. (2023). Pengaruh variasi penambahan limbah pecahan keramik terhadap kuat tekan beton. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, *11*(1), 88-94.

Karimah, R., & Rusdianto, Y. (2021). Pemanfaatan limbah keramik sebagai agregat halus pada beton ramah lingkungan. *Media Teknik Sipil*, *19*(1), 17-23.

Prayogi, A. W. (2021). *Pengaruh limbah timah (tin slag) sebagai bahan pengganti agregat kasar terhadap kuat tekan beton K-250* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Lamongan).

Hendarto, M. F. M., Nurchasanah, Y., Solikin, M., & Trinugroho, S. (2023, May). Pengaruh substitusi limbah pecahan keramik dan abu ampas tebu terhadap kuat tekan pada beton dan mortar. *In Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS* (pp. 146-150).

Pangestu, M. A. (2025). *Pengaruh substitusi agregat kasar dengan limbah keramik terhadap kuat tekan dan*

tarik beton (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).

Danusaputra, M., Setiawan, A., & Yunus, A. Y. (2024). Analisis penggunaan serbuk kaca dan pecahan keramik terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi*, *2*(1), 43-49.

Firdausa, F., Marpaung, R., Artini, S. R., Diba, A. F., Ria, V. W., & Iryani, A. W. (2020). Analisis pengaruh biji karet terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, *4*(1), 23-29.

Sudarman, C. S. (2022). Pengaruh pergantian sebagian pasir dengan limbah batu granit dan rambut terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton. *Formosa Journal of Multidisciplinary Research*, *1*(3), 803-818.

Hapsari, R. N. A., Hermawan, I. A., Riadi, F. R., & Aurenia, N. (2024). Inovasi beton ramah lingkungan dengan pemanfaatan limbah grabeka sebagai agregat substitusi. *Jurnal Teknik Sipil*, *17*(2), 128-139.

Purnama, S. A., & Sudibyo, T. (2018). Pengaruh limbah keramik dan abu terbang terhadap kuat tekan dan daya serap air bata beton. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, *3*(3), 161-170.

Adani, T., Handayani, D., & Ilonka, W. A. (2024). Pengaruh penambahan limbah serbuk kaca dan limbah serbuk keramik terhadap kuat tekan dan daya serap air paving block. *ENVIRO: Journal of Tropical Environmental Research*, *25*(2), 20-27.

Hasniar, H. (2024). *Perilaku beton yang menggunakan limbah batu bata tahan api tipe alumina sebagai pengganti agregat kasar di bawah pengujian kuat Tarik* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).

Suardikanata, I. K. (2019). *Pengaruh Limbah Batu Tabas Sebagai Substitusi Agregat Kasar Dan Limbah Pecahan Genteng Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton* (Doctoral dissertation, Universitas Ngurah Rai).

Putri, Y. T. (2022). Studi eksperimental pengaruh substitusi sebagian agregat kasar dengan Recycled Coarse Aggregate (RCA) terhadap kuat tekan dan kuat tarik belah beton mutu normal.

Putra, D. B. A., & Salim, M. A. (2018). Potensi limbah batu bata penggaron sebagai bahan alternatif pengganti agregat ringan pada pembuatan beton ringan mutu tinggi. *Prosiding Sains Nasional dan Teknologi*, *1*(1).

Ikponmwosa, E. E., & Ehikhuenmen, S. O. (2017). The effect of ceramic waste as coarse aggregate on strength properties of concrete. *Nigerian Journal of Technology*, *36*(3), 691-696.

Siddique, S., Shrivastava, S., & Chaudhary, S. (2019). Influence of ceramic waste on the fresh properties and compressive strength of concrete. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, *23*(2), 212-225.

Anderson, D. J., Smith, S. T., & Au, F. T. (2016). Mechanical properties of concrete utilising waste ceramic as coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, *117*, 20-28.

Sivakumar, A., Srividhya, S., Sathiyamoorthy, V., Seenivasan, M., & Subbarayan, M. R. (2022). Impact of waste ceramic tiles as partial replacement of fine and coarse aggregate in concrete. *Materials Today: Proceedings*, *61*, 224-231.

Khalid, F. S., Azmi, N. B., Sumandi, K. A. S. M., & Mazenan, P. N. (2017, October). Mechanical properties of concrete containing recycled concrete aggregate (RCA) and ceramic waste as coarse aggregate replacement. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1891, No. 1). AIP Publishing.

Amin, M., Tayeh, B. A., & Agwa, I. S. (2020). Effect of using mineral admixtures and ceramic wastes as coarse aggregates on properties of ultrahigh-performance concrete. *Journal of Cleaner Production*, *273*, 123073.

Gonzalez-Corominas, A., & Etxeberria, M. (2014). Properties of high performance concrete made with recycled fine ceramic and coarse mixed aggregates. *Construction and building materials*, *68*, 618-626.

Elemam, W. E., Agwa, I. S., & Tahwia, A. M. (2023). Reusing ceramic waste as a fine aggregate and supplemental cementitious material in the manufacture of sustainable concrete. *Buildings*, *13*(11), 2726.

Zareei, S. A., Ameri, F., Shoaei, P., & Bahrami, N. (2019). Recycled ceramic waste high strength concrete containing wollastonite particles and micro-silica: A comprehensive experimental study. *Construction and Building Materials*, *201*, 11-32.

Hasibuan, S. A. R. S., Prayuda, H., Zuhanda, M. K., & Anisa, Y. (2023). Enhancing concrete strength and sustainability: the role of Medan Barangan banana skin powder as a cement substitute. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, *10*(109), 1731.

Hasibuan, S. A. R. S., Zuhanda, M. K., & Hermanto, T. (2024). Inovasi mesin batu bata merah dan formulasi material ramah lingkungan. *IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, *6*(2), 321-326.

Hasibuan, S. A. R. S., Prayuda, H., & Muhathir, M. (2023, December). Optimization of amount of banana skin powder as cementitious materials in concrete using genetic algorithm. In *2023 International Workshop on Artificial Intelligence and Image Processing (IWAIIP)* (pp. 204-208). IEEE.