Indonesian Journal of Civil Engineering Study
Universitas Semarang
E-ISSN: 3110-0376
Journal homepage: https://journals.usm.ac.id/index.php/ijces

Analisis Substitusi Pecahan Keramik dan Kawat Bendrat sebagai Pengganti Agregat Kasar terhadap Kuat Tekan Beton

Dwi Candra Bintang Wicaksana [a], Yulius Dafid Kadang [b]*, Hani Purwanti [c], Trias Widorini [d]
[a,b,c,d] Program Studi Teknik Sipil, Universitas Semarang, Jl. Soekarno-Hatta, Tlogosari, Semarang
**Corresponding author, e*mail: yuliusdafidkadang@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:
Received July 18, 2026
Revised August 31, 2026
Accepted October 26, 2026
Available online October 27, 2026

Keywords:
K-200 Concrete
Ceramic Waste
Binding Wire
Concrete Compressive Strength
Construction Waste Utilization

ABSTRACT

Concrete is one of the most widely used construction materials, resulting in a continuously increasing demand for natural coarse aggregates. To reduce the consumption of natural resources and promote sustainable construction practices, ceramic waste can be utilized as a partial replacement for coarse aggregate, while binding wire waste can be incorporated as an additive in concrete mixtures. This study aims to analyze the effect of ceramic waste and binding wire on the compressive strength of concrete and to evaluate their potential as alternative construction materials. The research was conducted experimentally in a laboratory using K-200 concrete with a design compressive strength of 16.6 MPa. The ceramic waste was used as a partial replacement for coarse aggregate at substitution levels of 0%, 20%, and 50%, while binding wire was added at a constant proportion of 5%. The tests performed included the slump test and compressive strength tests at curing ages of 7, 14, and 28 days. The concrete specimens were prepared and tested to determine their workability and mechanical performance under the specified mixture variations. The results indicate that all concrete mixtures achieved a slump value of 10 cm, demonstrating consistent workability. At 28 days, the compressive strength of normal concrete reached 19.07 MPa, whereas concrete containing 20% and 50% ceramic waste attained compressive strengths of 18.74 MPa and 18.57 MPa, respectively. Although a slight reduction in compressive strength was observed compared with normal concrete, all mixtures satisfied the target compressive strength of 16.6 MPa. These findings suggest that ceramic waste and binding wire have considerable potential as alternative materials in concrete production while simultaneously supporting construction waste utilization and environmental sustainability.

© 2026 IJCES. Publishing Services by Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Semarang.

1. Pendahuluan

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang paling banyak digunakan karena memiliki kuat tekan yang tinggi, mudah dibentuk, serta relatif ekonomis dalam pelaksanaannya. Peningkatan pembangunan infrastruktur menyebabkan kebutuhan agregat kasar alami sebagai bahan penyusun beton terus meningkat dari tahun ke tahun. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan sehingga diperlukan inovasi dalam pemanfaatan material alternatif yang lebih berkelanjutan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah memanfaatkan limbah konstruksi sebagai bahan penyusun beton, baik sebagai pengganti agregat kasar maupun sebagai bahan tambah. Pemanfaatan limbah konstruksi tidak hanya mengurangi penggunaan material alami, tetapi juga mendukung konsep pembangunan berkelanjutan melalui penerapan prinsip *reduce, reuse*, dan *recycle*

This is an open acces article under the CC BY-NC license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

dalam bidang konstruksi.

Limbah pecahan keramik merupakan salah satu material yang memiliki sifat fisik berupa kekerasan dan ketahanan terhadap tekanan yang cukup baik sehingga berpotensi digunakan sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran beton. Selain itu, limbah kawat bendrat yang selama ini banyak dihasilkan dari pekerjaan pembesian juga masih memiliki sifat mekanis yang baik dan berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan tambah untuk meningkatkan kinerja beton. Kombinasi kedua material limbah tersebut diharapkan mampu menghasilkan beton yang memenuhi mutu rencana sekaligus memberikan alternatif pemanfaatan limbah konstruksi yang lebih ramah lingkungan.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa limbah keramik memiliki potensi sebagai pengganti sebagian agregat kasar pada beton. Penelitian yang dilakukan oleh Crista (2024) menunjukkan bahwa penggunaan limbah keramik pada beton mutu K-250 dengan variasi 25%–60% menghasilkan kuat tekan optimum pada substitusi 25%. Darmiyanti (2022) juga melaporkan bahwa substitusi limbah keramik sebesar 20% pada beton mutu K-300 masih mampu menghasilkan kuat tekan yang baik. Akan tetapi, menurut Sudarso (2023), penambahan variasi limbah keramik yang ditambahkan secara meningkat dalam campuran beton dapat menurunkan nilai slump dan kuat tekan. Sementara itu, Pangestuti (2026) menemukan bahwa penggunaan limbah keramik dengan variasi 5% memberikan pengaruh terhadap kuat tekan beton, meskipun belum dikombinasikan dengan material tambah lainnya.

Pada penelitian yang memanfaatkan kawat bendrat oleh Supriadi (2024) menunjukan penambahan kawat variasi 0,2% dapat menghasilkan kuat tekan beton 22,6 N/mm^2 pada usia beton 28 hari. Menurut Gunawan (2015), penambahan presentase 0,5% serat kawat bendrat terhadap berat beton menghasilkan kuat tekan maksimum 16,048 MPa dengan peningkatan sebesar 89,063 % dari beton normal. Selain itu, Hadi (2022) melaporkan bahwa variasi kadar kawat bendrat hingga 0,75% masih memberikan pengaruh positif terhadap sifat mekanis beton. Miswar. (2023) menunjukkan bahwa penambahan kawat bendrat memberikan peningkatan kuat tekan optimum pada kadar 5%. Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut masih dilakukan secara terpisah antara pemanfaatan limbah keramik dan kawat bendrat sehingga pengaruh kombinasi keduanya terhadap kuat tekan beton belum banyak dikaji.

Berdasarkan kajian literatur tersebut, terdapat *research gap* yang menunjukkan bahwa penelitian mengenai kombinasi pecahan keramik sebagai substitusi agregat kasar dan kawat bendrat sebagai bahan tambah pada beton mutu K-200 masih sangat terbatas. Sebagian besar penelitian terdahulu hanya berfokus pada penggunaan salah satu material dengan mutu beton yang berbeda-beda. Oleh karena itu, kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada penggunaan kombinasi limbah pecahan keramik dengan variasi substitusi sebesar 0%, 20%, dan 50% serta penambahan kawat bendrat sebesar 5% pada beton mutu K-200 untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan beton.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan pecahan keramik dan kawat bendrat terhadap kuat tekan beton mutu K-200, mengetahui nilai kuat tekan yang dihasilkan pada setiap variasi campuran, serta mengevaluasi potensi pemanfaatan limbah pecahan keramik dan kawat bendrat sebagai material alternatif yang mendukung pemanfaatan limbah konstruksi secara lebih efektif dan berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang dilaksanakan di Beton Budi Mulya dengan tujuan menganalisis pengaruh penggunaan pecahan keramik dan kawat bendrat sebagai material alternatif dalam campuran beton terhadap kuat tekan beton mutu K-200 (f'c 16,6 MPa). Variasi campuran yang digunakan terdiri atas substitusi pecahan keramik sebesar 0%, 20%, dan 50% terhadap agregat kasar serta penambahan kawat bendrat sebesar 5% pada setiap variasi campuran. Jumah benda uji untuk masing-masing variasi sebanyak 3 benda uji. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi semen *Portland Composite Cement* (PCC), agregat halus berupa pasir, agregat kasar berupa batu pecah (split), air, pecahan keramik sebagai substitusi sebagian agregat kasar, dan kawat bendrat sepanjang 4 cm sebagai bahan tambah campuran beton. Pecahan keramik yang digunakan berasal dari limbah keramik yang telah dihancurkan dan disesuaikan ukurannya agar memenuhi persyaratan agregat kasar. Kawat bendrat yang digunakan merupakan potongan kawat baja lunak yang dicampurkan ke dalam adukan beton dengan persentase sebesar 5%. Peralatan utama yang digunakan meliputi mesin uji tekan beton (*Compression Testing Machine*) untuk menentukan nilai kuat tekan beton, alat uji *slump* untuk mengetahui tingkat *workability*

campuran beton segar, cetakan benda uji beton berbentuk kubus berukuran 15 cm × 15 cm × 15 cm, serta *mixer* beton laboratorium yang digunakan untuk memperoleh campuran beton yang homogen.

Tahapan penelitian diawali dengan pengujian karakteristik material penyusun beton yang meliputi agregat halus dan agregat kasar. Selanjutnya dilakukan perancangan campuran beton (*mix design*) mutu K-200 sesuai standar yang berlaku. Pencampuran material berdasarkan variasi substitusi pecahan keramik dan penambahan kawat bendrat yang telah ditentukan. Beton segar yang dihasilkan kemudian diuji menggunakan uji *slump* untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan campuran beton. Benda uji beton selanjutnya dicetak menggunakan cetakan kubus dan dilakukan proses perawatan (*curing*) hingga mencapai umur pengujian, yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Setelah proses perawatan selesai, dilakukan pengujian kuat tekan menggunakan *Compression Testing Machine* untuk memperoleh nilai kuat tekan masing-masing variasi campuran beton. Nilai kuat tekan beton dihitung menggunakan persamaan 1.

$$f'c = \frac{P}{A} \tag{1}$$

dengan *f'c* adalah kuat tekan beton (MPa), *P* adalah beban maksimum yang diterima benda uji (N), dan *A* adalah luas penampang benda uji (mm^2).

Metode analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai slump dan kuat tekan beton yang diperoleh pada setiap variasi campuran terhadap kuat tekan rencana beton mutu K-200 sebesar 16,6 MPa. Hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh substitusi pecahan keramik dan penambahan kawat bendrat terhadap performa beton serta potensi pemanfaatannya sebagai material alternatif dalam konstruksi yang lebih berkelanjutan.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan menggunakan benda uji berbentuk silinder yang diberi beban aksial dari atas hingga beton mengalami kehancuran, sesuai dengan standar SNI 1974:2011 tentang cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Benda uji yang digunakan berupa silinder berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm, yang diberi beban tekan aksial pada laju pembebanan yang berada dalam batas yang ditentukan hingga terjadi kehancuran. Kuat tekan benda uji dihitung dengan membagi beban maksimum yang diterima selama pengujian dengan luas penampang benda uji. Hasil pengujian menunjukkan seberapa besar gaya tekan yang dapat ditahan beton sebelum hancur. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kualitas bahan penyusun, perbandingan air dan semen, ukuran dan gradasi agregat, cara pencampuran dan pemadatan, serta proses perawatan (*curing*). Apabila faktor-faktor tersebut dikontrol dengan baik, seperti ketepatan komposisi campuran dan proses perawatan beton, maka beton akan memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi dan lebih tahan terhadap kehancuran.

Dalam penelitian kuat Tekan beton dengan penambahan pecahan keramik, jumlah benda uji biasanya dirancang berdasarkan variasi kadar serat (misalnya 0%, 20%, 50% dari berat Agregat Kasar) dan umur pengujian 28 hari, diadaptasi dari studi eksperimental umum. Setiap variasi menggunakan 3 replikat. Adapun *mix design* campuran beton *f'c* 16.6 MPa untuk tiap m^3 adalah semen portland 352 kg, agregat kasar 1.031 kg, agregat halus 731 kg, dan air 215 liter.

Hasil Uji *Slump*

Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui tingkat *workability* atau kemudahan pengerjaan campuran beton segar pada setiap variasi campuran. Nilai *slump* menunjukkan kemampuan beton segar untuk dicetak, dipadatkan, dan dikerjakan tanpa mengalami segregasi maupun *bleeding* yang berlebihan. Pengujian ini penting dilakukan karena penggunaan material substitusi, seperti pecahan keramik dan kawat bendrat, berpotensi memengaruhi konsistensi dan homogenitas campuran beton. Semakin besar perubahan karakteristik material penyusun beton, semakin besar pula kemungkinan terjadinya perubahan nilai slump yang dapat memengaruhi kualitas beton yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengujian *slump* digunakan sebagai parameter awal untuk mengevaluasi apakah variasi campuran yang digunakan masih memiliki tingkat *workability* yang sesuai dengan perencanaan campuran beton.

Hasil pengujian *slump* pada setiap variasi campuran disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Slump* Beton

No	Variasi Campuran	Nilai *Slump* (cm)
1	0% Keramik	10
2	20% Keramik + 5% Kawat Bendrat	10
3	50% Keramik + 5% Kawat Bendrat	10

(Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian tabel 1, seluruh variasi campuran memiliki nilai *slump* sebesar 10 cm. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan pecahan keramik dan kawat bendrat pada proporsi yang digunakan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) beton segar. Nilai slump yang relatif konstan mengindikasikan bahwa komposisi campuran masih mampu menghasilkan adukan beton yang homogen dan memenuhi nilai slump yang direncanakan.

Temuan ilmiah yang diperoleh menunjukkan bahwa penggunaan pecahan keramik hingga 50% dan kawat bendrat sebesar 5% tidak menyebabkan penurunan *workability* yang berarti. Hal tersebut diduga karena proporsi air dan semen yang digunakan dalam campuran beton masih mampu mengakomodasi perubahan karakteristik material pengganti sehingga konsistensi adukan tetap terjaga.

Hasil Uji Kuat Tekan Beton

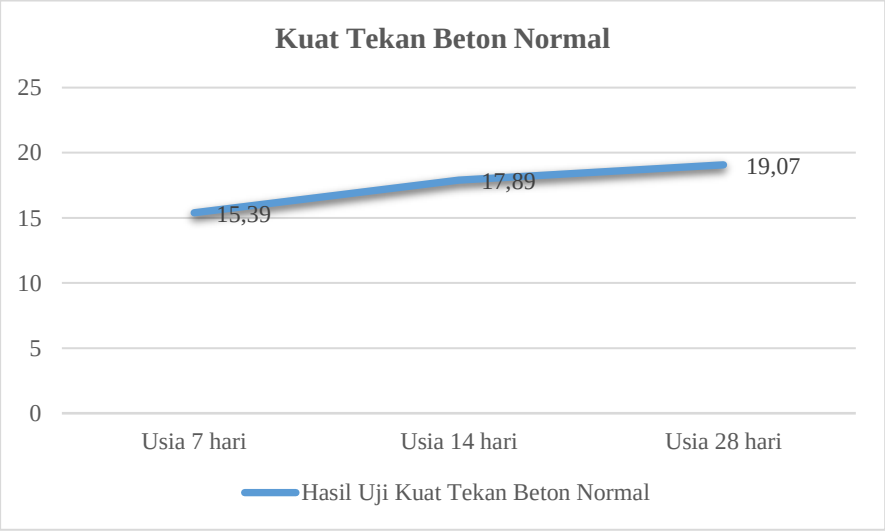
Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Pecahan Keramik 0%

Variasi pertama merupakan sampel beton normal tanpa ada subtitusi campuran pecahan keramik. Ada 3 benda uji pada kuat tekan beton normal. Hasil pengujian kuat tekan pada sampel beton normal atau dengan kandungan keramik 0% tersaji pada Tabel 2 dan Gambar 1.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Normal

No	Umur Uji (Hari)	Mutu	Berat (kg)	Kuat Tekan (MPa)
1	7	f'c 16,6	11,99	15,39
2	14	f'c 16,6	11,97	17,89
3	28	f'c 16,6	11,96	19,07

(Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2026)



Gambar 1. Hasil Uji Kuat Tekan Beton Normal Variasi 1
(Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton normal pada tabel 2 dan gambar 1 dengan mutu rencana f'c sebesar 16,6 MPa yang dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari, terlihat bahwa nilai kuat tekan benda uji beton normal mengalami peningkatan secara bertahap seiring bertambahnya umur beton, yaitu dari 15,39 MPa pada umur 7 hari, meningkat 16,24% menjadi 17,89 MPa pada umur 14 hari, dan meningkat 6,59% menjadi 19,07 MPa pada umur 28 hari. Pola kenaikan ini sejalan dengan sifat alami beton, di mana proses hidrasi semen yang terus berlangsung menyebabkan kekuatan beton terus bertambah hingga mendekati umur 28 hari, meskipun laju pertambahannya semakin melambat setelah umur 14 hari. Jika dibandingkan dengan mutu rencana, kuat tekan pada umur 7 hari belum mampu mencapai target f'c yang ditetapkan, namun pada umur 14 hari beton telah berhasil melampaui nilai rencana tersebut, dan pada umur 28 hari kuat tekan yang dicapai melebihi target 16,6 MPa dengan selisih sekitar 14,87%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa proporsi campuran (*mix design*) yang digunakan pada beton normal ini telah tepat dan mampu menghasilkan mutu beton yang memenuhi, bahkan melampaui, kuat tekan rencana yang disyaratkan.

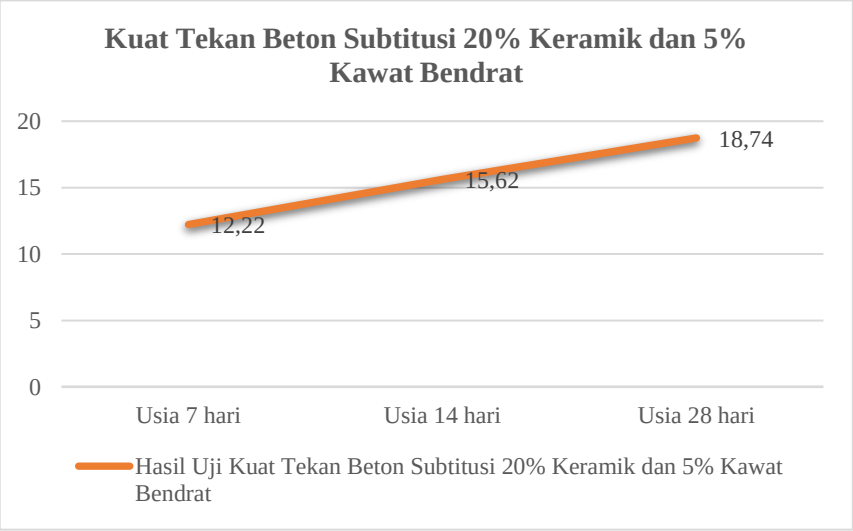
Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Pecahan Keramik 20%

Variasi kedua merupakan campuran beton subtitusi pecahan keramik 20% dan kawat bendrat 5% terhadap agregat. Hasil pengujian kuat tekan pada sampel beton pecahan keramik 20% dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Pecahan Keramik 20%

No	Umur Uji (Hari)	Mutu	Berat (kg)	Kuat Tekan (MPa)
1	7	f'c 16,6	12,50	12,22
2	14	f'c 16,6	12,50	15,62
3	28	f'c 16,6	11,90	18,74

(Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2026)



Gambar 2. Hasil Uji Kuat Tekan Variasi 2
(Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton tabel 3 dengan campuran substitusi pecahan keramik sebesar 20% terhadap mutu rencana f'c 16,6 MPa, diketahui bahwa kuat tekan benda uji pecahan keramik 20% juga mengalami peningkatan secara bertahap seiring bertambahnya umur beton, yaitu dari 12,22 MPa pada umur 7 hari, meningkat 27,82% menjadi 15,62 MPa pada umur 14 hari, dan meningkat 16,64% menjadi 18,74 MPa pada umur 28 hari. Pola peningkatan ini menunjukkan bahwa proses hidrasi pada campuran dengan substitusi pecahan keramik 20% tetap berlangsung dengan baik, meskipun pada umur awal (7 dan 14 hari) kuat tekan yang dihasilkan masih berada di bawah mutu rencana f'c 16,6 MPa. Pada umur 28 hari, kuat tekan benda uji pecahan keramik 20% berhasil

melampaui mutu rencana dengan capaian sebesar 18,74 MPa, atau sekitar 112,9% dari target f'c 16,6 MPa. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan substitusi pecahan keramik sebesar 20% pada campuran beton masih dapat memenuhi bahkan melampaui kuat tekan rencana pada umur 28 hari, meskipun perkembangan kekuatannya pada umur awal (7 dan 14 hari) relatif lebih lambat dibandingkan beton normal (BN). Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan bahan substitusi tersebut berpengaruh terhadap laju pengerasan awal beton, namun tidak menghalangi tercapainya mutu beton yang disyaratkan pada umur standar 28 hari.

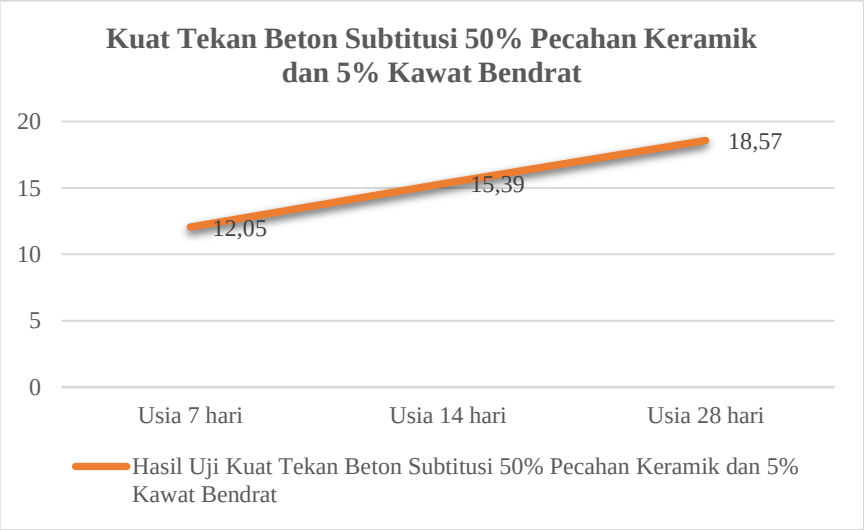
Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Pecahan Keramik 50%

Variasi ketiga merupakan campuran beton subtitusi pecahan keramik 50% dan kawat bendrat 5% terhadap agregat. Hasil pengujian kuat tekan pada sampel beton pecahan keramik 50% dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Pecahan Keramik 50% dan 5% Kawat Bendrat

No	Umur Uji (Hari)	Mutu	Berat (kg)	Kuat Tekan (MPa)
1	7	f'c 16,6	12,03	12,05
2	14	f'c 16,6	11,96	15,39
3	28	f'c 16,6	12,05	18,57

(Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2026)



Gambar 3. Hasil Uji Kuat Tekan Variasi 3
(Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2026)

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada tabel 4 dan gambar 3 dengan campuran substitusi pecahan keramik sebesar 50% terhadap mutu rencana f'c 16,6 MPa, diketahui bahwa kuat tekan benda uji pecahan keramik 50% juga menunjukkan pola peningkatan yang konsisten seiring bertambahnya umur beton, yaitu dari 12,05 MPa pada umur 7 hari, meningkat 27,71% menjadi 15,39 MPa pada umur 14 hari, dan meningkat 17,12% menjadi 18,57 MPa pada umur 28 hari. Pola ini mengindikasikan bahwa proses hidrasi semen pada campuran dengan substitusi pecahan keramik 50% tetap berjalan dengan baik meskipun proporsi bahan substitusi yang digunakan cukup besar. Jika dibandingkan dengan target f'c 16,6 MPa, kuat tekan pada umur 7 dan 14 hari masih berada di bawah mutu rencana yang disyaratkan. Namun, pada umur 28 hari, benda uji pecahan keramik 50% berhasil melampaui mutu rencana dengan capaian kuat tekan sebesar 18,57 MPa. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan substitusi pecahan keramik sebesar 50% pada campuran beton masih mampu memenuhi bahkan melampaui kuat tekan rencana pada umur 28 hari, meskipun perkembangan kekuatan pada umur awal (7 dan 14 hari) berlangsung lebih lambat dibandingkan beton normal (BN) maupun pecahan keramik 20%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar persentase substitusi pecahan keramik yang digunakan, semakin lambat pula laju pengerasan awal beton,

namun capaian akhir pada umur 28 hari tetap dapat memenuhi persyaratan mutu struktural yang direncanakan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan pecahan keramik sebagai substitusi sebagian agregat kasar dan penambahan kawat bendrat pada beton mutu f'c 16,6 MPa berpengaruh terhadap kuat tekan beton tanpa mengurangi kemampuannya untuk memenuhi mutu rencana. Persentase penggunaan pecahan keramik subtitusi 20% menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dari pada 50%. Semakin besar persentase substitusi pecahan keramik yang digunakan, nilai kuat tekan beton cenderung mengalami penurunan akibat perbedaan karakteristik fisik material yang memengaruhi kualitas ikatan antara agregat dan pasta semen. Meskipun demikian, seluruh variasi campuran masih menunjukkan kinerja yang baik dan memenuhi persyaratan kuat tekan beton mutu f'c 16,6 MPa. Selain itu, penggunaan pecahan keramik dan kawat bendrat tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap *workability* campuran beton segar sehingga kemudahan pengerjaan beton tetap terjaga. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa limbah pecahan keramik dan kawat bendrat memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai material alternatif dalam campuran beton sekaligus mendukung upaya pemanfaatan limbah konstruksi yang lebih berkelanjutan.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji variasi persentase substitusi pecahan keramik dan penambahan kawat bendrat yang lebih beragam serta melakukan pengujian sifat mekanis lainnya, seperti kuat tarik belah dan kuat lentur beton, sehingga diperoleh komposisi campuran yang lebih optimum dan informasi yang lebih komprehensif mengenai kinerja beton yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

Arif, A. A. F., Darmayasa, I. G. N. P., & Ariana, K. A. (2023). Pemanfaatan Limbah Keramik Sebagai Bahan Alternatif Campuran Agregat Kasar Pada Beton. *Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management, 2*(2), 74–86.

Azhar, M., Kusumawati, I., & Siregar, H. F. (2022). Rekayasa Material Limbah Keramik Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Komposit. *C-Line: Jurnal Teknik Sipil, 11*(2), 56–63.

Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1974:2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standardisasi Nasional.

Crista, N. H., Widorini, T., Rahmawati, D., Herva S, R., Yusuf, M. B., Marcellino, M. I., & Putri, M. R. (2024). Pemanfaatan Limbah Pecahan Keramik Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton. *Bangun Rekaprima, 10*(1), 19–23.

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.

Darmiyanti, L., dkk. (2022). Analisis Kuat Tekan Beton Menggunakan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar. *Jurnal Sipil Krisna, 8*, 11–20.

Gunawan, P., Prayitno, S., Aldoko, W. (2015). Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Pada Beton Ringan Dengan Teknologi Gas Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas. *E-Journal Matriks Teknik Sipil,* 611-619.

Hadi, S. (2022). Pengaruh Penambahan Serat Kawat Terhadap Kuat Tekan Beton. *Media Bina Ilmiah 17*(1), .

Hakim, C. B., Arifiya, P. T. N., & Wijayanti, M. (2023). Analisa Penggunaan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Agregat Kasar dan Agregat Halus Pada Beton. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri, 4*(2), 75–79.

Hendarto, M. F. M., Nurchasanah, Y., Solikin, M., & Trinugroho, S. (2023). Pengaruh Substitusi Limbah Pecahan Keramik Dan Abu Ampas Tebu Terhadap Kuat Tekan Pada Beton Dan Mortar. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS*, 146–150.

Miswar, K., dkk. (2023). Pengaruh Penambahan Serat Kawat Bendrat Pada Beton Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Belah. *Jurnal Rekayasa Teknik dan Teknologi (Rekatek), 7*(1), 12–17.

Pangestuti, P. A., Patria, A. S. N., Yahya, A. S. (2026). Pengaruh Substitusi Pecahan Limbah Keramik Terhadap Kekuatan Beton K-250. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang dan Teknik Sipil, 4*(2), 106-115.

Pratama, L. A., Mundias, A. H. R., & Riyadi, M. (2021). Kinerja serat kawat bendrat sebagai bahan tambah beton FAS 0,4. *Construction and Material Journal, 3*(1), 33–40.

Sudarso, S. (2023). Analisis workabilitas dan kuat tekan beton dengan campuran limbah keramik sebagai material alternatif. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang dan Teknik Sipil, 1*(3).

Supriadi, S., Fadhli, A., Wijaya, H. (2024). Pengaruh Limbah Kawat Bendrat dari Proyek Konstruksi pada Campuran Beton terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Journal of Applied Engineering Scienties, 7*(2),