

Analisis Perbandingan Kuat Tekan Beton f'_c 22,5 MPa pada Beton Normal dengan Beton Campuran Limbah Keramik

Rizky Tri Amalia¹ & Erik Maulana²

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional
"Veteran" Jawa Timur, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya,
Indonesia

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan limbah keramik sebagai pengganti sebagian agregat kasar yaitu sebesar 30% dalam campuran beton dengan mutu f'_c 22,5 MPa yang umumnya digunakan untuk konstruksi rumah tinggal dan bangunan gedung 2 lantai. Dalam penelitian ini digunakan metode DOE (Department of Environment) yang mengacu pada SNI 2834:2000 untuk perencanaan campuran beton dan uji fisik komponen penyusun beton. Proporsi campuran beton normal per m^3 adalah 349 kg semen, 185 kg air, 718 kg pasir, dan 1.148 kg kerikil, sedangkan campuran beton dengan 30% penggantian kerikil menggunakan keramik adalah 349 kg semen, 185 kg air, 718 kg pasir, 803,6 kg kerikil, dan 344,4 kg keramik. Hasil uji kuat tekan beton normal rata-rata adalah 20,29 MPa, sedangkan beton dengan penggantian 30% kerikil dengan keramik menghasilkan kuat tekan rata-rata 16,01 MPa. Hasil studi menunjukkan bahwa limbah keramik berpotensi digunakan sebagai agregat tambahan pada beton non-struktural.

Kata Kunci: Limbah Keramik, Kuat Tekan Beton, f'_c 22,5 MPa, DOE, Campuran Beton.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the use of ceramic waste as a substitute for 30% of coarse aggregate in a concrete mix with a strength of 22.5 MPa, which is commonly used for residential construction and two-story buildings. This study used the DOE (Department of Environment) method, which refers to SNI 2834:2000 for concrete mix design and physical testing of concrete components. The proportion of normal concrete mix per m^3 is 349 kg of cement, 185 kg of water, 718 kg of sand, and 1,148 kg of gravel, while the concrete mixture with 30% gravel replacement using ceramic is 349 kg of cement, 185 kg of water, 718 kg of sand, 803.6 kg of gravel, and 344.4 kg of ceramic. The average compressive strength test result for normal concrete is 20.29 MPa, while concrete with 30% of gravel replaced with ceramic produced an average compressive strength of 16.01 MPa. The results of the study show that ceramic waste has the potential to be used as an additional aggregate in non-structural concrete.

Keywords: AC-WC, Asphalt Pavement, Immersion Test, Marshall Characteristics, Waterlogging



This article is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

*Corresponding Author:

E-Mail : Rizky_tri.ts@upnjatim.ac.id

Address : Jl. Raya Rungkut Madya No. 1, Gunung
Anyar, Surabaya, 60294

Page: 65-74



PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur dan gedung, seperti pembangunan Gedung At-Taawun Universitas Muhammadiyah Surabaya pada tahun 2022 menghasilkan berbagai jenis limbah bangunan, salah satunya adalah limbah keramik. Limbah ini, jika tidak dikelola dengan baik, akan menambah volume sampah dan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan [1]. Seringkali, limbah keramik dari proyek suatu konstruksi tidak dikelola dengan baik dan berakhir di tempat pembuangan akhir [2]. Oleh karena itu, diperlukan solusi untuk memanfaatkan limbah keramik tersebut. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan mensubstitusi penggunaan agregat kasar dalam beton dengan limbah keramik tersebut [3], mengingat sifat fisik keramik yang dapat serupa dengan agregat alami seperti kerikil.

Keramik memiliki beberapa sifat fisik yang hampir sama dengan kerikil, khususnya dalam hal berat jenis, kekerasan, dan durability [4]. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa keramik memiliki sifat mekanis yang baik dan ketahanan aus yang tinggi sebagaimana kerikil [5]. Namun, keramik memiliki kekurangan yaitu permukaan yang lebih halus dan nilai penyerapan air yang lebih tinggi dibandingkan kerikil. Hal ini dapat mempengaruhi ikatan antara pasta semen dan agregat yang berujung pada kekuatan tekan beton itu sendiri.

Penelitian terdahulu telah banyak mengkaji pemanfaatan limbah keramik dalam campuran beton. Hasil penelitian oleh Rosbi, dkk. [6] menunjukkan kuat tekan rata-rata untuk persentase limbah keramik 30% sebesar 29,44 MPa, untuk persentase limbah keramik 20% sebesar 30,1 MPa, untuk persentase limbah keramik 22% sebesar 29,631 MPa, untuk persentase limbah keramik 24% sebesar 29,25 MPa, dan untuk persentase limbah keramik 26% sebesar 29,06 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa substitusi limbah keramik sampai dengan 26% masih menghasilkan kuat tekan yang relatif stabil. Namun, tren penurunan kuat tekan teramati seiring dengan meningkatnya persentase limbah keramik

Penelitian lain oleh Samutra & Mulyadi [7], yang menggantikan agregat kasar dengan limbah keramik dalam campuran beton dengan kuat tekan beton K-200 menunjukkan bahwa kuat tekan pada beton normal umur 28 hari sebesar 200,78 kg/cm², sedangkan kuat tekan beton dengan campuran keramik umur 28 hari dengan persentase berurut 20%, 40%, dan 60% adalah 194,74 kg/cm², 188,70 kg/cm², dan 175,12 kg/cm². Penelitian ini menunjukkan bahwa seiring dengan kenaikan persentase campuran keramik maka kuat tekan beton juga semakin menurun. Namun demikian, dari kedua penelitian tersebut di atas, dapat dilihat bahwa persentase keramik optimal yaitu sekitar 30%.

Berdasarkan pertimbangan di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penggunaan limbah keramik sebagai pengganti sebagian agregat kasar dalam beton dengan kadar 30%. Pemilihan kadar 30% keramik sebagai campuran dalam beton dipilih sebagai konsentrasi optimum dalam penelitian ini. Hal ini didukung oleh analisis GAP (*Growth Analysis and Performance*) yang menunjukkan bahwa pada kadar penggantian 30%, beton dengan keramik mampu mencapai kuat tekan yang serupa

dengan beton normal, bahkan pada umur 28 hari. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mengurangi limbah konstruksi sekaligus mengoptimalkan penggunaan material alternatif berkelanjutan.

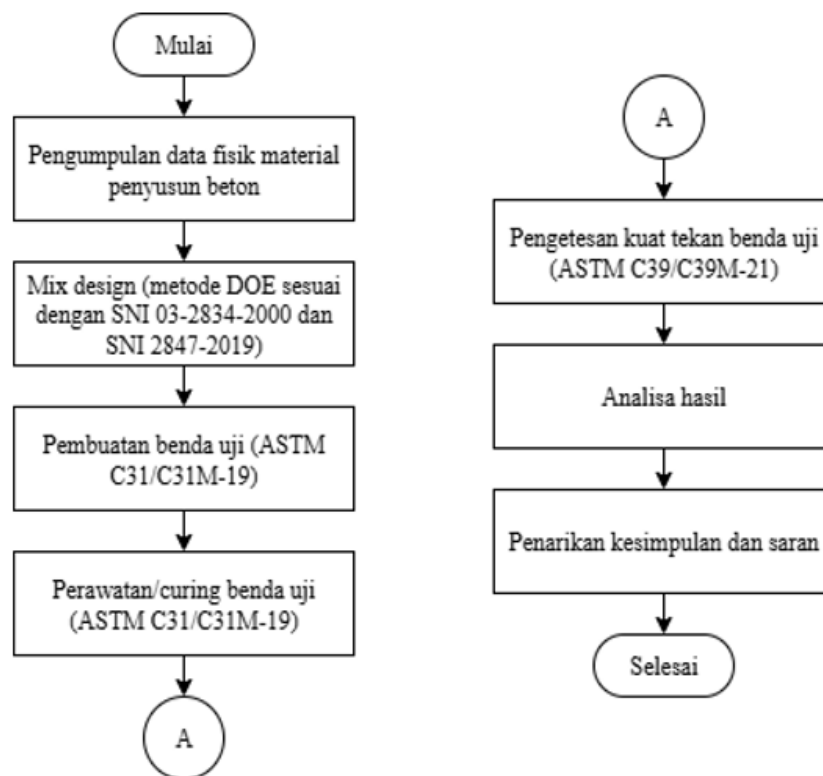
METODE

Secara garis besar alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Pertama, penelitian ini diawali dengan pengumpulan data fisik komponen penyusun beton, yaitu agregat kasar (kerikil dan limbah keramik), agregat halus (pasir), semen, dan air. Pengujian fisik komponen penyusun beton dilakukan sesuai standar SNI dan ASTM yang berlaku meliputi pengujian gradasi, berat jenis dan penyerapan air, serta kadar air. Seluruh material dipersiapkan dalam kondisi kering dan bersih sebelum dilakukan pengujian.

Tahap kedua yaitu perancangan proporsi campuran beton (mix design). Proses ini dilakukan menggunakan metode DOE yang mengacu pada SNI 2834-2000 [8] dan SNI 2847-2019 [9]. Proporsi campuran yang dirancang yaitu untuk beton normal dan beton dengan substitusi campuran keramik sebagai pengganti agregat kasar sebesar 30% sebagaimana disebutkan sebelumnya.

Tahap ketiga yaitu pembuatan dan perawatan benda uji. Pembuatan benda uji dilakukan sesuai dengan standar ASTM C31/C31M-19 [10] menggunakan silinder dengan ukuran 15 cm x 30 cm. Total benda uji yang dibuat yaitu 18 buah, dimana beton dipersiapkan untuk diuji pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Pada masing-masing umur, benda uji beton disiapkan sebanyak 6 buah dengan rincian 3 buah adalah beton dengan campuran agregat kasar berupa kerikil 100% dan 3 buah lainnya adalah beton dengan agregat kasar berupa kerikil 70% dan limbah keramik 30%. Proses pembuatan benda uji dilakukan menggunakan molen mixer kapasitas 30 liter dengan pengujian nilai slump setelahnya. Kemudian, benda uji menjalani proses curing dalam air hingga umur pengujian.

Tahap keempat yaitu pengujian kuat tekan beton. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan berdasarkan prosedur ASTM C39/C39M [11] pada usia 7, 14, dan 28 hari. Pengujian dilakukan menggunakan mesin tekan hidrolik yang terkalibrasi dengan prosedur pembebanan yang terkontrol. Setelah pengujian tekan dilakukan, seluruh data yang telah diperoleh dari pengujian dianalisa. Setiap tahapan dalam penelitian ini direkam dalam bentuk dokumentasi yang cermat.



Gambar 1. *Flowchart Tahapan Penelitian*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Fisik Material Penyusun Beton

Pengujian sifat fisik material penyusun beton dilakukan pada agregat kasar berupa kerikil dan keramik, agregat halus berupa pasir, dan semen. Pengujian yang dilakukan yaitu: (1) berat jenis dan penyerapan; (2) kadar air; (3) analisa saringan; dan (4) waktu ikat semen. Masing-masing pengujian dilakukan sebanyak dua kali sesuai dengan SNI 1969-2008 [12]. Hasil yang diperoleh yaitu agregat kasar (kerikil) memiliki berat jenis 2,909 t/m³ dengan penyerapan air rata-rata 2,041%, sementara agregat halus (pasir) memiliki berat jenis 2,597 t/m³ dengan penyerapan air rata-rata 7,876%. Karakteristik limbah keramik menunjukkan berat jenis yang lebih tinggi yaitu 3,249 t/m³ dengan penyerapan air rata-rata 6,922%.

Hasil pemeriksaan kadar air menunjukkan kerikil memiliki kadar air rata-rata 1,42%, pasir 3,306%, dan keramik 1,436%. Kadar air agregat kasar baik kerikil maupun keramik telah memenuhi persyaratan sebagaimana [13] dimana kadar air yang disyaratkan untuk agregat kasar memiliki batas antara 0,2 – 4,0%. Sedangkan, kadar air pasir tidak memenuhi persyaratan sebagaimana [13] dimana kadar air agregat halus yang disyaratkan yaitu 0 – 1%.

Hasil analisa saringan menunjukkan kerikil masuk kedalam ukuran agregat maksimum 40 mm yang dilihat dari hasil analisa saringan yang lolos ayakan berada di antara batas grafik 9 pada SNI 2834-2000 [8]. Sedangkan nilai modulus kehalusan (F_m) kerikil yaitu 7,22%, hal ini telah memenuhi persyaratan dimana nilai batasan F_m untuk agregat kasar

adalah 5 – 8%. Pasir masuk kedalam zona gradasi nomor 2 sebagaimana hasil lolos ayakan berada di antara batas pada grafik 4 pada SNI 2834-2000 [8]. Nilai F_m pasir yaitu 3%, nilai ini merupakan nilai yang ideal dimana disyaratkan tingkat F_m untuk agregat halus yaitu 1,5 – 3,8%. Sama halnya dengan kerikil, keramik masuk dalam kategori ukuran agregat maksimum 40 mm karena hasil analisa lolos ayakan berada pada batas grafik 9 pada SNI 2834-2000 [8]. Namun, nilai F_m keramik yang diperoleh yaitu 2,912%, hal tersebut tidak memenuhi persyaratan. Meskipun begitu, hasil pemeriksaan pada kerikil, pasir, dan keramik digunakan pada tahap penentuan proporsi campuran.

Hasil pengujian waktu ikan semen dilakukan dengan variasi kandungan air yaitu 24 – 28%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semen mencapai konsistensi normal pada kandungan air 28% hal ini ditunjukkan dari nilai penurunan yang memenuhi syarat, artinya semen yang digunakan memerlukan kandungan air sebesar 28% untuk mencapai konsistensi ideal untuk campuran beton. Dari pengujian ini diperoleh informasi bahwa waktu ikat awal semen adalah 7 jam, yang artinya beton harus segera digunakan dalam rentang waktu 7 jam setelah pembuatan untuk menghindari penurunan kualitas ikatan semen dan *workability* beton.

Perancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Proses perancangan campuran beton dilakukan dengan metode DOE yang mengacu pada SNI 03-2834-2000. Data yang digunakan dalam proses ini yaitu data hasil pemeriksaan fisik agregat sebagaimana disebutkan pada bagian sebelumnya. Hasil rekapitulasi data dapat dilihat pada Tabel 1.

Tahap pertama proses ini diawali dengan menentukan kuat tekan beton yang direncanakan $f'_c = 22,5$ MPa serta menetapkan jenis semen yang digunakan yaitu tipe Portland Composite Cement (PCC). Selain itu, ditetapkan pula nilai slump sebesar 10 ± 2 cm. Langkah berikutnya adalah menghitung parameter standar deviasi (S) sesuai SNI 2847-2013 Pasal 5.3.2.2 dimana dalam penelitian ini ditetapkan $S = 7$ MPa. Berdasarkan nilai deviasi standar tersebut dihitung margin (M) sesuai (1) yaitu $M = 12$ MPa, sehingga kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) sesuai (2) adalah 35 MPa.

$$M = 1,64 \times S$$

$$f'_{cr} = f'_c + M$$

Selanjutnya ditentukan faktor air semen (FAS) dengan mengacu pada tabel 2 pada [8] diperoleh nilai FAS = 0,53. Nilai FAS digunakan untuk menetapkan kebutuhan semen sesuai (3) perkiraan kebutuhan air bebas berdasarkan tabel 2 pada [8] yaitu 185 kg/m³ yang kemudian digunakan untuk menghitung jumlah semen sesuai (3). Diperoleh jumlah semen sebesar 349 kg/m³.

FAS = Kadar air bebas : Jumlah semen

Kadar agregat gabungan = Berat isi beton – Jumlah semen – kadar air bebas

Tabel 1. Data Fisik Material Penyusun Beton

Agregat Sifat	Pasir	Kerikil
Berat Jenis (SSD/Kering permukaan)	2,597	2,909
Penyerapan Air (%)	7,876	1,868
Kadar Air (%)	3,306	1,420

Sumber: Data Diolah

Tabel 2. Proporsi Campuran Beton

Proporsi campuran	100% Agregat Berupa Kerikil			30% Agregat Berupa Keramik			
	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Keramik (kg)
Tiap m ³	349	718	1448	349	718	803,6	344,4

Sumber: Data Diolah

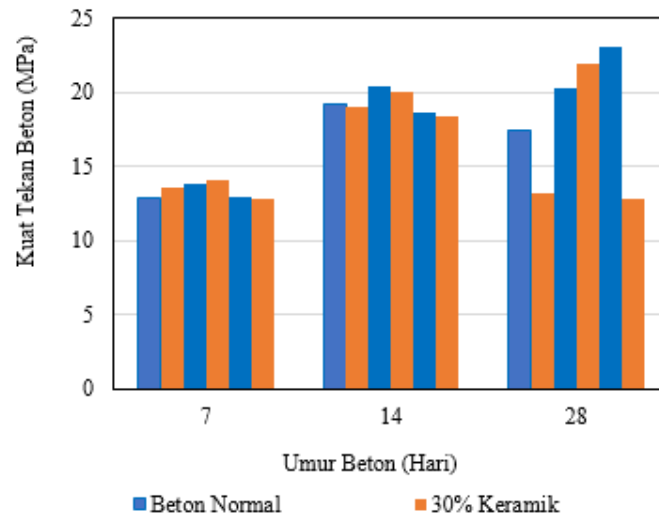
Perhitungan selanjutnya yaitu penentuan proporsi agregat, dimana persentase agregat halus ditetapkan sesuai nilai slump yang direncanakan dan nilai FAS sesuai grafik 15 pada [8]. Diperoleh kadar agregat halus 38% dari total agregat. Oleh karena itu, kadar agregat kasar ditetapkan sebesar 62%. Berikutnya, diperoleh berat isi beton sesuai grafik 16 pada [8] yaitu 2540 kg/m³. Sesuai (4) diperoleh kadar agregat 2006 kg/m³. Berdasarkan persentase agregat yang telah ditetapkan sebelumnya, diperoleh proporsi campuran beton yang dirangkum dalam Tabel 2.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

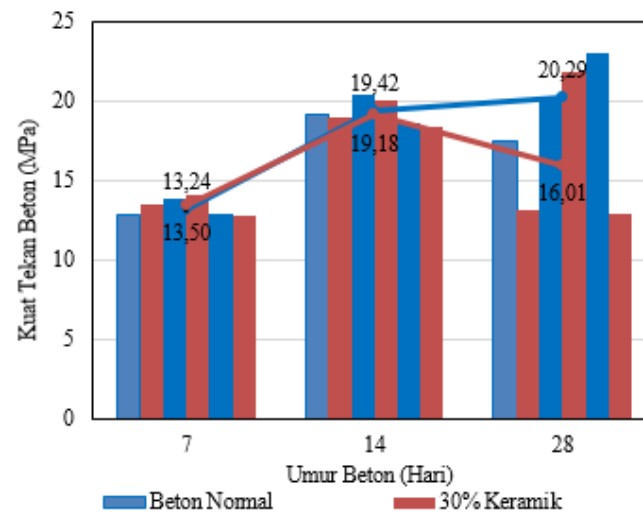
Pengujian kuat tekan dilakukan pada beton umur 7, 14, dan 28 hari. Umur 7 hari dan 14 hari digunakan untuk memprediksi kuat tekan beton pada umur 28 hari, sedangkan beton umur 28 hari digunakan sebagai penentuan kuat tekan beton yang dicapai. Terdapat masing-masing 6 sampel untuk setiap umur uji, dimana tiga sampel adalah beton dengan komposisi agregat kasar berupa kerikil 100% dan 3 sampel lainnya adalah beton dengan agregat kasar campuran berupa kerikil 70% dan keramik 30%.

Hasil uji masing-masing uji beton pada masing-masing umur disajikan dengan Tabel 3 – Tabel 4. Dari kedua tabel tersebut hasil kuat tekan beton dapat divisualisasikan ke dalam grafik sebagaimana Gambar 1 dan Gambar 2. Hasil pengujian pada umur 7, 14, dan 28 hari menunjukkan kuat tekan yang berbeda antara beton normal dan beton dengan substitusi keramik. Pada umur 7 hari, beton normal mencapai kuat tekan rata-rata 13,24 MPa, sementara beton dengan 30% keramik menunjukkan nilai yang sedikit lebih besar yaitu 13,50 MPa. Pola ini berlanjut pada umur 14 hari dengan beton normal 19,42 MPa dan beton keramik 19,18 MPa. Namun, pada umur 28 hari terjadi perubahan signifikan dimana beton normal mencapai kuat tekan 20,29 MPa, sedangkan beton dengan substitusi keramik hanya mencapai 16,01 MPa. Penurunan kekuatan sebesar 21% ini menunjukkan bahwa substitusi agregat kasar berupa keramik mempengaruhi perkembangan kuat tekan jangka panjang.

Fenomena ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pertama, karakteristik permukaan keramik yang berbeda dengan kerikil (agregat alam) mempengaruhi ikatan antara pasta semen dan agregat. Kedua, nilai penyerapan air yang lebih tinggi pada keramik (6,922%) dibanding kerikil (1,436%) mempengaruhi rasio air-semen efektif dalam campuran. Ketiga, bentuk dan tekstur permukaan keramik yang mungkin kurang optimal untuk membentuk ikatan mekanis dengan pasta semen.



Gambar 1. Grafik hasil kuat tekan beton normal dan beton 30% keramik.



Gambar 2. Grafik hasil kuat tekan rata-rata beton normal dan beton 30% keramik.

Tabel 3. Hasil Kuat Tekan Beton Normal

Tanggal Buat	Tanggal Test	Umur (hari)	Tekanan (kN)	Tegangan Hancur (kg/cm ²)	Tegangan Hancur (MPa)	Rata- Rata (MPa)
18/04/2024	25/04/2024		228	131.60	12.90	
18/04/2024	25/04/2024	7	245	141.41	13.86	13.24
18/04/2024	25/04/2024		229	132.18	12.95	
20/05/2024	03/06/2024		339	195.67	19.18	
20/05/2024	03/06/2024	14	361	208.37	20.42	19.42
20/05/2024	03/06/2024		330	190.48	18.67	
27/06/2024	25/07/2024		309	178.36	17.48	
27/06/2024	25/07/2024	28	359	207.22	20.31	20.29
27/06/2024	25/07/2024		408	235.50	23.08	

Sumber: Data Diolah

Tabel 4. Hasil Kuat Tekan Beton dengan Substitusi Keramik 30%

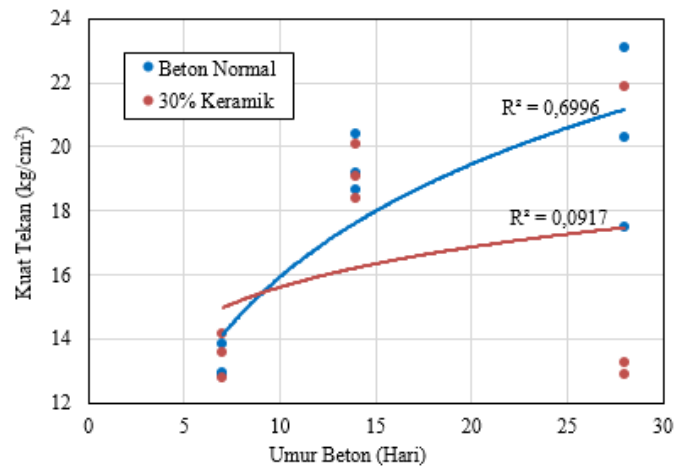
Tanggal Buat	Tanggal Test	Umur (hari)	Tekanan (kN)	Tegangan Hancur (kg/cm ²)	Tegangan Hancur (MPa)	Rata- Rata (MPa)
19/04/2024	26/04/2024		240	138.53	13.58	
19/04/2024	26/04/2024	7	250	144.30	14.14	13.50
19/04/2024	26/04/2024		226	130.45	12.78	
21/05/2024	04/06/2024		337	194.52	19.06	
21/05/2024	04/06/2024	14	355	204.91	20.08	19.18
21/05/2024	04/06/2024		325	187.59	18.38	
28/06/2024	26/07/2024		234	135.07	13.24	
28/06/2024	26/07/2024	28	387	223.38	21.89	16.01
28/06/2024	26/07/2024		228	131.60	12.90	

Sumber: Data Diolah

Analisa Korelasi Umur Beton dan Kuat Tekan Beton

Hasil pengujian kuat tekan umur 7 hari dan 14 hari dikonversi terhadap umur 28 hari mengacu pada faktor konversi ASTM C1074 [14]. Dimana pada usia 7 hari beton mencapai kekuatan 65% sedangkan usia 14 hari yaitu 80%. Prediksi kuat tekan pada umur 28 hari dari hasil pengujian umur 7 dan 14 hari menunjukkan konsistensi dengan hasil aktual untuk beton normal. Grafik logaritmik dari hasil kuat tekan untuk dua jenis beton dengan jumlah total sampel sebanyak 18 buah dapat dilihat pada Gambar 3. Analisis korelasi menggunakan persamaan logaritmik menunjukkan nilai R^2 sebesar 0,6996 untuk beton normal yang mengindikasikan hubungan yang kuat antara umur beton dan perkembangan kuat tekan.

Sebaliknya, beton dengan substitusi keramik menunjukkan nilai R^2 hanya 0,0917, yang menunjukkan lemahnya hubungan antara umur beton dan perkembangan kuat tekan. Hal ini mengindikasikan bahwa adanya material keramik mempengaruhi pola hidrasi dan perkembangan kekuatan beton secara signifikan.



Gambar 3. Grafik korelasi beton normal dengan campuran 30% keramik dengan persamaan logaritmik.

Keterbatasan dan Saran untuk Penelitian Lanjutan

Beberapa keterbatasan dalam penelitian ini antara lain tidak dilakukannya pengujian keausan pada keramik dan variasi proporsi campuran keramik hanya pada satu level (30%). Untuk penelitian lanjutan, disarankan untuk melakukan variasi persentase substitusi keramik yang lebih beragam. Disarankan pula untuk dilakukan pengujian tambahan seperti durabilitas, permeabilitas, ataupun modulus elastisitas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu hasil kuat tekan rata-rata dari beton normal pada umur 7, 14, dan 28 hari berturut-turut yaitu 13,24 MPa, 19.42 MPa, dan 20.29 Mpa, sedangkan beton dengan campuran keramik 30% sebesar 13,50 MPa, 19,18 MPa, dan 16,01 MPa. Kaitannya antara kuat tekan dan umur beton, menunjukkan bahwa hubungan kuat tekan beton dengan umur beton menunjukkan tren kenaikan untuk beton normal, sedangkan untuk beton dengan campuran 30% keramik tren kenaikan terlihat pada umur 7 dan 14 hari sedangkan pada umur 28 hari kuat tekan menurun. Faktor yang mempengaruhi terjadinya penurunan kuat tekan beton pada beton dengan campuran keramik 30% dibandingkan dengan beton normal diantaranya, yaitu: karakteristik permukaan keramik yang berbeda dengan kerikil, nilai penyerapan air yang lebih tinggi pada keramik dibanding kerikil, bentuk dan tekstur permukaan keramik yang mungkin kurang optimal untuk membentuk ikatan mekanis dengan pasta semen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. K. Mohajan, "Impacts of Construction and Demolition Waste on Environment: An Overview," *Stud. Soc. Sci. Humanit.*, vol. 4, no. 3, pp. 1–5, 2025, doi: 10.63593/sssh.2709-7862.2025.05.001.

- [2] A. Akhtar and A. K. Sarmah, "Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective," *J. Clean. Prod.*, vol. 186, pp. 262–281, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.03.085.
- [3] C. Medina, M. Frías, and M. I. Sánchez De Rojas, "Microstructure and properties of recycled concretes using ceramic sanitary ware industry waste as coarse aggregate," *Constr. Build. Mater.*, vol. 31, pp. 112–118, 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.075.
- [4] B. Zegardło, M. Szeląg, and P. Ogrodnik, "Ultra-high strength concrete made with recycled aggregate from sanitary ceramic wastes – The method of production and the interfacial transition zone," *Constr. Build. Mater.*, vol. 122, pp. 736–742, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.06.112.
- [5] M. Turi Gerin, A. Sales, and S. De Nardin, "Mechanical and Physical Properties of Recycled Aggregates Concrete," *Rev. Tecnológica*, vol. 29, no. 1, pp. 259–274, 2020, doi: 10.4025/revtecnol.v29i1.51289.
- [6] M. E. Rosbi Setiawan, H. Lutfi, ST., MT, dan Auliya Isti Makrifa, "Pengganti Sebagian Agregat Kasar Untuk Beton," pp. 1–10, 2023.
- [7] A. Samutra and A. Mulyadi, "Analisis Limbah Pecahan Keramik Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton K.200," *J. Tek. Sipil*, vol. 7, no. 2, pp. 8–14, 2019, doi: 10.36546/tekniksipil.v7i2.238.
- [8] SNI-03-2834, "Tata Cara Pembuatan Rencana Beton Normal," 2002.
- [9] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan," Bandung Badan Stand. Nas., no. 8, pp. 1–695, 2019.
- [10] ASTM C31/C31M, "C31/C31M - Standard Specification for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field," *ASTM Stand.*, vol. 04:01, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1520/C0031.
- [11] ASTM C 39/C 39M – 21, "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens 1," *ASTM Stand. B.*, vol. i, no. March, pp. 1–5, 2021.
- [12] 2008 SNI 1970, "SNI 1969:2008 Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar," 1970 Sni, 2008.
- [13] ASTM C 70-94, "Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate (Reapproved 2001)," *ASTM Stand.*, vol. 94, no. Reapproved, p. 3, 2001.
- [14] ASTM 1074, "Estimating Concrete Strength by the Maturity Method 1. ASTM C 1074-04," pp. 1–9, 2004.