

TINJAUAN KUAT TEKAN BETON DAN ABSORPSI BETON DENGAN CAMPURAN LIMBAH KERAMIK TERHADAP PENGARUH SUHU TINGGI

Ilham Nur Habibi¹, Qomariah²

Mahasiswa Teknologi Rekayasa Kontruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang²

Email: habibiilham2003@gmail.com ¹, qomariah@polinema.ac.id ²

ABSTRAK

Limbah pecahan keramik merupakan hasil dari kegiatan industri dan konstruksi yang jumlahnya melimpah dan seringkali dibuang tanpa pemanfaatan, sehingga berpotensi mencemari lingkungan. Salah satu upaya untuk mengurangi dampak tersebut adalah memanfaatkan limbah keramik sebagai bahan substitusi dalam campuran beton. Di sisi lain, beton sebagai material utama dalam konstruksi memiliki kelemahan berupa penurunan kekuatan saat terpapar suhu tinggi. Penelitian dilakukan secara eksperimental mengacu pada SNI 03-2834-2000 di laboratorium dengan benda uji silinder Ø15 x 30 cm, menggunakan variasi limbah keramik sebesar 0%, 10%, 15%, dan 20%, dan umur rencana 7, 14, dan 28 hari, suhu pembakaran 300°C durasi 2 jam. Uji absorpsi pada umur 28 hari, dengan jumlah benda uji 80 sampel, masing-masing variasi berjumlah 20 sampel beton. Hasil penelitian mendapatkan nilai rata-rata Kuat tekan umur 28 hari beton normal (BN) 32,87 MPa, beton variasi keramik 10% (BVK10%) 23,76 MPa, (BVK15%) 24,45 MPa, dan (BVK20%) 27,46 MPa, penggunaan limbah keramik hingga 15% masih menghasilkan kuat tekan yang sesuai dengan mutu beton rencana. Nilai absorpsi beton terkecil (BVK15%) mendapatkan hasil rata-rata 4,30%, absorpsi cenderung menurun seiring bertambahnya kadar limbah, menunjukkan peningkatan kerapatan dan durabilitas. Beton campuran limbah keramik juga menunjukkan performa lebih stabil setelah pembakaran dibandingkan beton konvensional. Hasil sisa kuat tekan (BN) 25,41 MPa, hasil beton variasi keramik pasca bakar (BVKPB 10%) 20,13 MPa, nilai (BVKPB 15%) 22,34 MPa, dan (BVKPB 15%) 23,38 MPa. Dibandingkan dengan beton 28 hari, beton dengan variasi keramik 15% pasca pembakaran mendapatkan hasil penurunan terkecil sebesar 2,11 MPa atau sebesar 9,43%. Dengan demikian, limbah keramik dapat dimanfaatkan sebagai bahan alternatif ramah lingkungan dalam campuran beton.

Kata Kunci: Absorpsi, kuat tekan, limbah keramik, suhu tinggi

ABSTRACT

Ceramic shard waste is the result of industrial and construction activities that are abundant and often disposed of without utilization, thus potentially polluting the environment. One effort to reduce this impact is to utilize ceramic waste as a substitute material in concrete mixtures. On the other hand, concrete as the main material in construction has a weakness in the form of a decrease in strength when exposed to high temperatures. The research was conducted experimentally referring to SNI 03-2834-2000 in the laboratory with cylindrical specimens Ø15 x 30 cm, using ceramic waste variations of 0%, 10%, 15%, and 20%, and planned ages of 7, 14, and 28 days, firing temperature of 300°C for a duration of 2 hours. Absorption test at the age of 28 days, with a total of 80 samples, each variation amounted to 20 concrete samples. The results obtained the average value of 28-day compressive strength of normal concrete (BN) 32.87 MPa, 10% ceramic variation concrete (BVK10%) 23.76 MPa, (BVK15%) 24.45 MPa, and (BVK20%) 27.46 MPa, the use of ceramic waste up to 15% still produces compressive strength in accordance with the quality of concrete plan. The smallest concrete absorption value (BVK15%) obtained an average result of 4.30%, absorption tends to decrease as the waste content increases, indicating an increase in density and durability. The ceramic waste mix concrete also showed more stable performance after firing than conventional concrete. The result of residual compressive strength (BN) is 25.41 MPa, the result of post-combustion ceramic variation concrete (BVKPB 10%) is 20.13 MPa, the value of (BVKPB 15%) is 22.34 MPa, and (BVKPB 15%) is 23.38 MPa. Compared to 28-day concrete, concrete with 15% post-fired ceramic variation obtained the smallest decrease of 2.11 MPa or 9.43%. Thus, ceramic waste can be utilized as an environmentally friendly alternative material in concrete mixtures.

Keywords: Absorption, compressive strength, ceramic waste, high temperature

1. PENDAHULUAN

Bagi khalayak umum, keramik bukan merupakan hal yang asing. Keramik adalah barang pecah belah dari tanah liat yang dibakar pada suhu tinggi, dengan bahan utama berupa tanah dan batuan silikat. Di Indonesia, tanah lempung sangat melimpah sehingga industri keramik berkembang pesat. Namun, industri ini juga menghasilkan limbah, salah satunya potongan sisa keramik dari pekerjaan konstruksi. Limbah ini dapat dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian agregat kasar dalam campuran beton (Muzaki & Bastian, 2020).

Beton merupakan material utama dalam struktur bangunan, terdiri dari campuran agregat halus, agregat kasar, semen, dan air. Perkembangan teknologi terus mendorong inovasi beton agar lebih kuat, awet, dan efisien. Beton memiliki keunggulan tidak meleleh pada suhu tinggi, seperti 800 °C, serta konduktivitas panas yang rendah karena strukturnya yang padat. Namun, paparan suhu ekstrem seperti kebakaran dapat menyebabkan penurunan kekuatan mekanis beton dan kerusakan yang sulit dipulihkan (Holan et al., 2020).

Beton memiliki dampak lingkungan signifikan karena tingginya kebutuhan sumber daya alam. Untuk itu, banyak penelitian mencari alternatif ramah lingkungan, seperti menggunakan limbah keramik dari konstruksi dan industri sebagai pengganti sebagian agregat. Menurut Chouhan et al. (2024), di dalam bisnis bangunan, konsep keberlanjutan dan manufaktur hijau mendorong penggunaan berbagai produk limbah industri sebagai pengganti bahan baku, termasuk agregat alami dan bahan semen tambahan. Pendekatan ini setidaknya dapat mengurangi biaya konstruksi yang terkait dengan pengelolaan limbah dan mempromosikan teknik bangunan yang lebih ramah lingkungan.

Dengan kondisi saat ini, permintaan akan material yang ramah akan lingkungan sangatlah penting, karena sumber daya alam akan semakin terbatas. Beton unggul sedang dikembangkan sebagai tanggapan atas permintaan bangunan ramah lingkungan. Proses pembuatan beton dengan menggunakan sampah pecahan keramik, bertujuan mempromosikan keberlanjutan global melalui pengelolaan limbah yang lebih efisien dan mengetahui mutu kuat tekan dengan menggunakan sebagian campuran limbah pecahan keramik membandingkan dengan beton konvensional diharapkan mampu memenuhi kebutuhan konstruksi yang memperhatikan agregat dan bahan penyusun beton tanpa menggunakan 100% agregat alami.

Perencanaan campuran beton dengan limbah pecahan keramik untuk mutu beton $F_c' 20$ adalah untuk mendukung kelestarian lingkungan sekaligus menurunkan kebutuhan agregat alami dalam konstruksi. Dengan variasi 10%, 15%, dan 20% pada kombinasi limbah keramik, limbah pecahan keramik merupakan salah satu bahan tambahan yang digunakan sebagai pengganti sebagian agregat kasar alami. Proporsi campuran *workability* atau kelecakan beton yang tepat harus diikuti saat menggunakan limbah pecahan keramik untuk menjamin bahwa kemampuan kerja beton tetap terjaga dan tidak ada masalah yang muncul selama proyek berlangsung. Mengontrol kemungkinan perubahan kualitas beton, termasuk mengatur *setting time*, sebagai akibat dari penambahan komponen tambahan juga diperlukan. Analisis terhadap pengaruh limbah keramik terhadap kekuatan tekan, daya tahan, dan sifat mekanis beton juga harus dilakukan untuk memastikan hasil campuran memenuhi standar mutu yang diharapkan.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental bertujuan menganalisis pengaruh variasi kadar limbah pecahan keramik terhadap kuat tekan beton absorpsi beton dan terhadap pembakaran suhu tinggi 300°C. Benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dibuat dengan variasi limbah keramik 0%, 10%, 15% dan, 20% dengan masing-masing variasi sebanyak 20 sampel dan total sampel sebanyak 80 sampel.

Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang. Perencanaan campuran berdasarkan SNI 03-2834-2000 dengan mutu rencana 30 MPa. Pengujian agregat berdasarkan acuan SNI 1972:2008, dan perawatan umur beton umur 7, 14 dan 28 hari.

Pengujian kuat tekan menggunakan mesin tekan sesuai SNI 1974:2011. Pengujian absorpsi beton berdasarkan SNI 03-6433-2000. Analisis dilakukan berdasarkan analisis deskriptif untuk mengetahui pengaruh masing masing variable dan interaksinya terhadap kekuatan beton.

Tabel 2.1 Rencana Jumlah Sampel Pengujian

Variasi Keramik	Umur Perawatan			
	7 Hari	14 Hari	28 Hari	28 Hari Pembakaran
0%	5	5	5	5
10%	5	5	5	5
15%	5	5	5	5
20%	5	5	5	5

1. Persiapan Bahan Baku

- **Bahan Utama:** Semen tipe PCC, pasir Lumajang, batu pecah Pasuruan ukuran maksimal 20 mm, dan air (PDAM)
- **Bahan Tambahan:** Limbah pecahan keramik dari PT. Sun Power Ceramics Ngoro Industri sebagai substitusi agregat kasar sebanyak 0%, 10%, 15%, dan 20% dari total volume agregat kasar.

2. Pengujian Fisik Material

Dilakukan pengujian terhadap seluruh bahan menggunakan standar SNI dan ASTM, meliputi:

- Kadar air (SNI 1971:2011)
- Berat jenis dan penyerapan air (SNI 1969:2008)
- Gradasi agregat (ASTM, 2012)
- Kadar organik pasir (SNI 2816:2014)
- Keausan agregat kasar (SNI 2417:2008)

3. Mix Design

Perhitungan campuran beton mengacu pada SNI 03-2834-2000 dengan target mutu beton f_c' 20 MPa.

4. Pembuatan Adukan Beton

Seluruh bahan ditimbang sesuai komposisi campuran. Pencampuran dilakukan dalam mesin *mini concrete mixer* hingga homogen.

5. Pengujian Slump Test

Slump test dilakukan pada beton segar untuk mengukur tingkat kelecakan menggunakan slump cone sesuai prosedur SNI 1972:2008. Nilai slump dicatat untuk memastikan campuran sesuai perencanaan.

6. Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

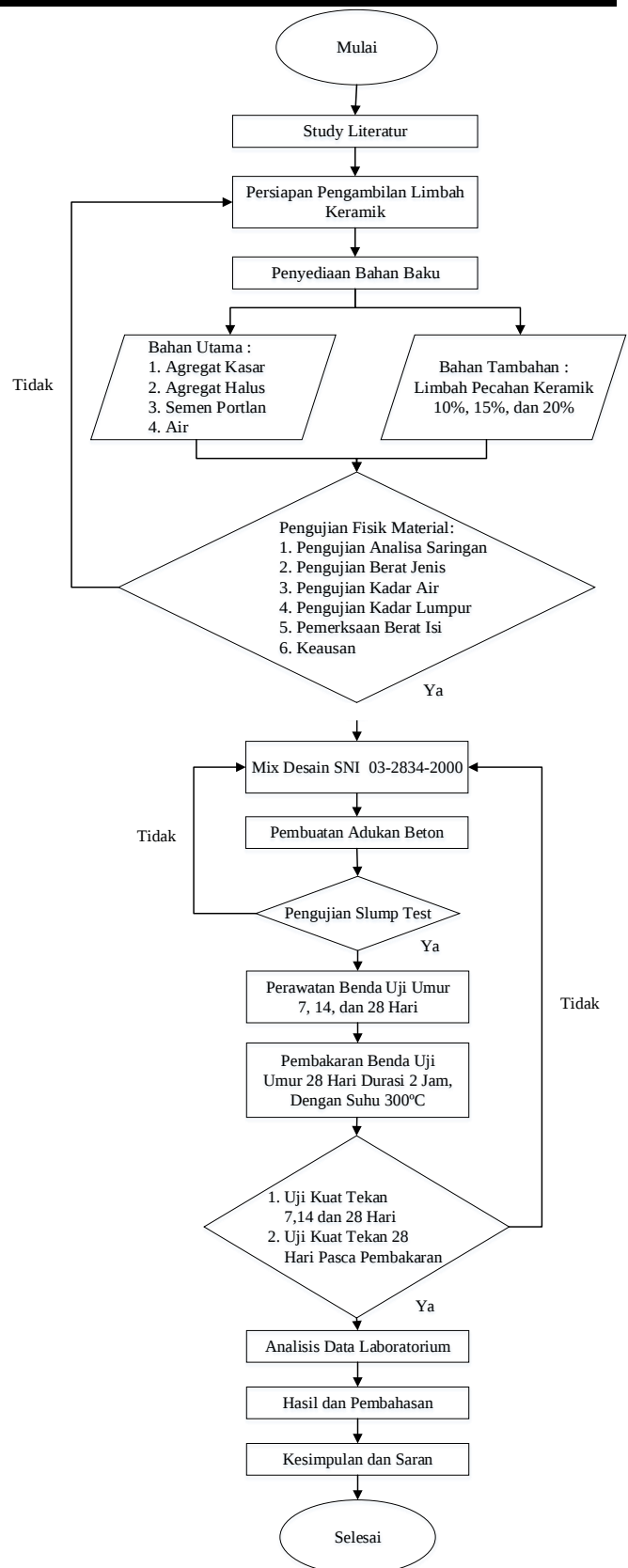
Beton dimasukkan ke dalam cetakan silinder ukuran $\varnothing 15$ cm $\times$ 30 cm dalam tiga lapisan, dipadatkan dan diratakan. Setelah 24 jam, benda uji direndam dalam air selama 7, 14, dan 28 hari. Sesuai umur untuk pengujian kuat tekan beton.

7. Pembakaran Benda Uji Umur 28 Hari

Pada umur 28 hari, benda uji dibakar dalam tungku industri keramik dengan suhu 300°C dengan durasi 2 jam. Setelah itu didinginkan secara alami pada suhu ruang.

8. Pengujian Kuat Tekan dan Kuat Tekan Pasca Pembakaran

- Uji kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari dengan mesin uji tekan sesuai SNI 1974:2011.
- Setelah pembakaran, benda uji diuji tekan untuk mengetahui pengaruh suhu tinggi terhadap kekuatan beton dengan menganalisis kuat tekan antara benda uji 28 hari dengan 28 hari pasca pembakaran.



Gambar 2.1 Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Karakteristik Material

Pengujian karakteristik material dilakukan untuk mengetahui mutu dan kesesuaian material terhadap standar yang berlaku sebelum digunakan dalam campuran beton. Agregat halus dan kasar diuji berdasarkan parameter fisik seperti kadar air, berat jenis, berat isi, kadar organik, keausan, dan gradasi

Agregat Halus

Agregat halus penelitian menggunakan pasir Lumajang yang selanjutnya dilakukan pengujian fisik agregat. Berikut lampiran hasil pengujian sifat fisik agregat halus pasir Lumajang. Berikut hasil pengujian fisik agregat halus.

Tabel 3.1 Hasil Uji Fisik Agregat Halus Pasir Lumajang

No	Uraian	Hasil	Satuan	Spesifikasi
1	Analisa Gradasi	2.83	%	Gradasi No. 2
2	Berat Jenis	2.634	gr/cm ₃	2,5-2,7
	Penyerapan	1.017	%	2-10%
	Berat Isi			
	-Lepas	1.45	kg/cm ₃	≤ 1,2
3	-Tumbuk	1.47	kg/cm ₃	≤ 1,6
	-Goyang	1.58	kg/cm ₃	≤ 1,6
4	Kadar Air	5.90	%	5-10%
5	Kadar Organik	Warna No. 1 Bening		< Warna No. 3 (Coklat)

Agregat Kasar

Agregat kasar penelitian menggunakan kerikil pasuruan yang selanjutnya dilakukan pengujian fisik agregat. Berikut lampiran hasil pengujian sifat fisik agregat kasar kerikil Pasuruan. Berikut hasil pengujian fisik agregat kasar.

Tabel 3.2 Hasil Uji Fisik Agregat Kasar Pasuruan

No	Uraian	Hasil	Satuan	Spesifikasi
1	Analisa Saringan (MHB)	Ukuran Butir 20	mm	-
	Modulus Halus Butir	5.48	%	Gradasi No. 2
2	Berat gJenis	2.832	gr/cm ³	2,5-2,7
	Penyerapan	1.474	%	2-10%
3	Berat Isi			
	-Lepas	1.34	kg/cm ³	≤ 1,2

	-Tumbuk	1.43	kg/cm ³	≤ 1,6
	-Goyang	1.41	kg/cm ³	≤ 1,6
4	Kadar Air	1.40	%	5-10%
5	Keausan	17.43	%	≤ 40%

Agregat Keramik

Agregat kasar penelitian menggunakan agregat tambahan limbah keramik PT. Sun Power Ceramics Ngoro Industri yang selanjutnya dilakukan pengujian fisik agregat. Berikut lampiran hasil pengujian sifat fisik agregat kasar limbah keramik. Berikut hasil pengujian fisik agregat kasar limbah keramik.

Tabel 3.3 Hasil Uji Fisik Agregat Keramik

No	Uraian	Hasil	Satuan	Spesifikasi
1	Analisa Saringan (MHB)	Ukuran Butir 20	mm	-
	Modulus Halus Butir	6.29	%	Gradasi No. 2
2	Berat Jenis	2.497	gr/cm ³	2,5-2,7
	Penyerapan	0.682	%	2-10%
	Berat Isi			
3	-Lepas	1.27	kg/cm ³	≤ 1,2
	-Tumbuk	1.37	kg/cm ³	≤ 1,6
	-Goyang	1.39	kg/cm ³	≤ 1,6
4	Kadar Air	0.07	%	5-10%

B. Perencanaan Mix Desain

Perencanaan Mix Desain dimana nantinya untuk menentukan proporsi material penyusun beton guna mencapai mutu target secara efisien dan ekonomis. Mengacu berdasarkan SNI 03-2834-2000, dengan mutu rencana sebesar 20 MPa pada umur 28 hari.

Tabel 3.4 Hasil Perhitungan Mix Desain

No	Uraian	Tabel/grafik	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan yang disyaratkan	ditetapkan	20	Mpa
2	Deviasi Standart	ditetapkan	4.2	MPa
4	Kuat tekan rata rata yang hendak dicapai	20 + 4.5	24.5	MPa
5	Jenis Semen	ditetapkan	PCC	merk Gresik
6	Jenis Agregat yang digunakan	Contoh ditetapkan		
	Pasir Lumajang	Alami		
	Kerikil Pasuruan	Batu Pecah		
	Keramik	Limbah		
7	Faktor Air Semen	Mutu Rencana	0.62	Grafik Fas

No	Uraian	Tabel/ grafik	Nilai	Satuan
8	Faktor air semen koreksi	SNI	0.50	
9	Nilai Slump	Tabel	60-180	mm
10	Ukuran agregat maksimum	ditetapkan dalam tabel	20	mm
11	Kadar air bebas	-	205	kg/m3
12	Menghitung Kadar Semen	Kadar Semen 1	410	kg/m3
		Kadar Semen 2	330.65	
		Kadar Semen 3	275	
13	Kadar semen maximum	-	Tidak ditetapkan	
14	Kadar semen minimum	FAS = 0.60	275	kg/m3
15	Kadar semen yang digunakan	FAS = 0.50	410	kg/m3
16	FAS yang digunakan		0.50	
17	Susunan Butir Agregat Halus	Gradasi no 2		
18	Berat Jenis Agregat	Pasir Lumajang	2.634	Lab
		Kerikil Pasuruan	2.832	
		Limbah Keramik	2.497	
19	Persen Agregat Halus	-	40.63	%
20	Berat Jenis Relatif Agregat (Gabungan) SSD	Beton Normal	2.7516	kg/m3
		BV 10%	2.7317	
		BV 15%	2.7218	
		BV 20%	2.7118	
21	Berat Isi Beton	Beton Normal	2446.22	kg/m3
		BV 10%	2433.10	
		BV 15%	2426.47	
		BV 20%	2419.85	
22	Kadar Agregat Gabungan	Beton Normal	1831.22	kg/m3
		BV 10%	1818.10	
		BV 15%	1811.47	
		BV 20%	1804.85	
23	Kadar Agregat Halus	Beton Normal	744.025	kg/m3
		BV 10%	738.694	
		BV 15%	736.000	
		BV 20%	733.311	
24	Kadar Agregat Kasar	Beton Normal	1087.195	kg/m3
		BV 10%	971.465	
		BV 15%	914.149	

No	Uraian	Tabel/ grafik	Nilai	Satuan
25	Proporsi Campuran Teoritis	BV 20%	857.231	kg/m3
		Beton Normal	2446.22	
		BV 10%	2433.10	
		BV 15%	2426.47	
		BV 20%	2419.85	

Berikut untuk penjelasan perhitungan mix desain berat jenis relatif no.20, perhitungan proporsi campuran teoritis no.25, dan perhitungan proporsi campuran material terkoreksi per M³.

Berat Jenis Relatif Agregat (Gabungan) SSD

1. Rumus Perhitungan Beton Normal:

$$\begin{aligned}
 \text{BJ Ag.Gab} &= (\text{Persen Ag.Halus} \times \text{BJ Ag.Halus}) + (100\% - \text{Persen Ag.Halus}) \times \text{BJ Ag.Kasar}) \\
 \text{BJ Ag.Gab} &= (40,63\% \times 2,634) + (100\% - 40,63\%) \times 2,832 \\
 &= 2,7516 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

2. Rumus Perhitungan Beton Variasi Keramik:

$$\begin{aligned}
 \text{BJ Ag.Gab} &= (\text{Persen Ag.Halus} \times \text{BJ Ag.Halus}) + (100\% - \text{Persen Ag.Halus}) \times \text{BJ Ag.Keramik}) \\
 \text{BJ Ag.Gab} &= (40,63\% \times 2,634) + (100\% - 40,63\%) \times 2,497 \\
 &= 2,5527 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

3. Rumus Perhitungan Beton Gabungan BV 10% Keramik:

$$\begin{aligned}
 \text{BJ Ag.Gab} &= (\text{Persen Ag.Halus} \times \text{BJ Ag.Halus}) + (100\% - \text{Persen Variasi}) \times (100\% - \text{Persen Ag.Halus}) \times \text{BJ Ag.Kasar}) + (\text{Persen Variasi} \times 100\% - \text{Persen Ag.Halus}) \times \text{BJ Ag.Keramik}) \\
 \text{BJ Ag.Gab} &= (40,63\% \times 2,634) + (100\% - 10\%) \times ((100\% - 40,63\%) \times 2,832) + ((10\% \times (100\% - 40,63\%) \times 2,497)) \\
 &= 2,7318 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Proporsi Campuran Teoritis

1. Beton Normal:

$$\begin{aligned}
 \text{BIB} &= (\text{KA} + \text{KS}) + (\text{KP} + \text{KK}) \\
 2446,22 &= (205 + 410) + (744,025 + 1087,195) \\
 2446,22 &= 2446,22
 \end{aligned}$$

2. Beton Variasi Keramik 10%:

$$\begin{aligned}
 \text{BIB} &= (\text{KA} + \text{KS}) + (\text{KP} + \text{KKR} + \text{KK}) \\
 2433,10 &= (205 + 410) + (738,694 + 107,941 + 971,465) \\
 2433,10 &= 2433,10
 \end{aligned}$$

Keterangan: BIB = Berat Isi Beton
 KP = Kadar Pasir
 KK = Kadar Kerikil

KKR = Kadar Keramik
 KA = Kadar Air
 KS = Kadar Semen

Proporsi Campuran Material Terkoreksi Per M³

1. Rumus Air

$$= B - (Ck - Ca) \times C/100 - (DKr - Dar) \times E/100 - (Dk - Da) \times D/100$$

$$= 205 - (5,90 - 1,017) \times 738,69/100 - (0,07 - 0,682) \times 107,94/100 - (1,40 - 1,474) \times 971,47/100$$

$$= 170,309 \text{ liter}$$
2. Mencari Agregat Halus

$$= C + (Ck - Ca) \times C/100$$

$$= 738,694 + (5,90 - 1,017) \times 738,69/100$$

$$= 774,764 \text{ kg}$$
3. Mencari Semen
 Semen Tetap Sebesar = 410 kg
4. Mencari Agregat Kasar

$$= D + (Dk - Da) \times D/100$$

$$= 971,47 + (1,40 - 1,474) \times 971,47/100$$

$$= 970,746 \text{ kg}$$
5. Mencari Agregat Keramik

$$= E + (DKr - Dar) \times E/100$$

$$= 107,94 + (0,07 - 0,682) \times 107,94/100$$

$$= 107,280 \text{ kg}$$

Keterangan:

B = Jumlah Air
 C = Jumlah Agregat Halus
 D = Jumlah Agregat Kasar
 E = Jumlah Agregat Keramik
 Ca = Absorpsi Agregat Halus %
 Da = Absorpsi Agregat Kasar %
 Dar = Absorpsi Agregat Keramik %
 Ck = Kandungan Air Agregat Halus %
 Dk = Kandungan Air Agregat Kasar %
 Dkr = Kandungan Air Agregat Keramik %

Tabel 3.4 Proporsi Campuran Material Terkoreksi

Variasi	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Keramik (kg)
BN	410	169.470	780.360	1086.390	0
BV10%	410	170.309	774.764	970.746	107.280
BV15%	410	170.725	771.939	913.473	160.334
BV20%	410	171.138	769.119	856.597	212.996

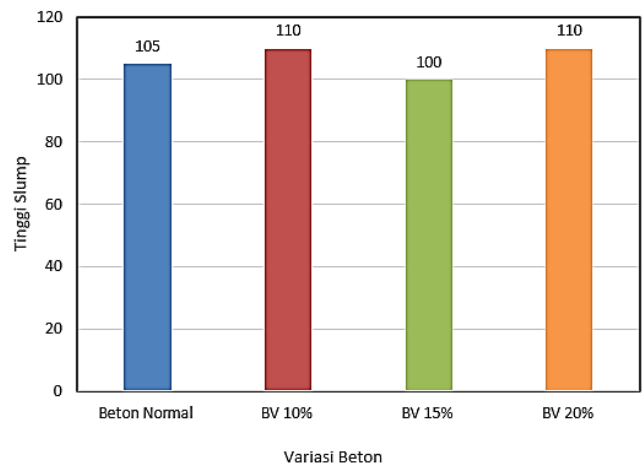
C. Nilai Slump

Setelah material beton tercampur dan dirasa sudah homogen maka dilakukan uji slump test, hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi keramik mempengaruhi nilai

kelecekan (*workability*) beton segar, dengan perubahan nilai slump yang tidak bersifat linier (fluktuatif).

Tabel 3.5 Hasil Uji Slump

No	Variasi Campuran Beton	Nilai Slump Test	Satuan	Perencanaan
1	Beton Normal	105	mm	60-180 mm
2	Beton Variasi 10% Keramik	110	mm	60-180 mm
3	Beton Variasi 15% Keramik	100	mm	60-180 mm
4	Beton Variasi 20% Keramik	110	mm	60-180 mm



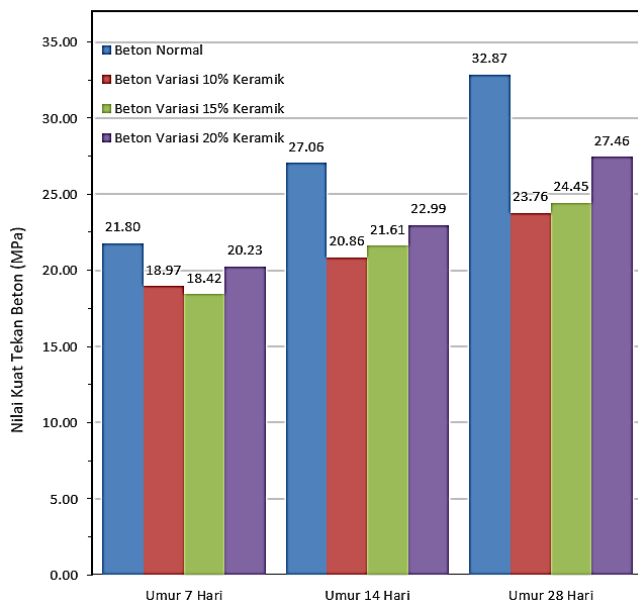
Gambar 3.1 Grafik Uji Slump Beton

D. Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan tertinggi diperoleh pada variasi beton variasi 20% limbah keramik sebesar 27,46 MPa, tidak dapat melampaui beton normal (tanpa limbah keramik) sebesar 32,87 MPa pada pengujian umur 28 hari penurunan kuat tekan diakibatkan oleh mutu dari agregat kasar kerikil dan keramik yang memiliki perbedaan berat jenis.

Tabel 3.6 Rekap Hasil Kuat Tekan Beton

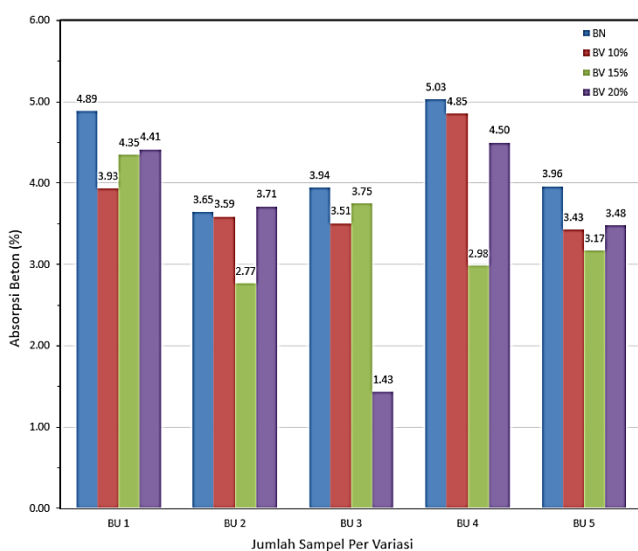
No	Variasi Beton	Umur 7 Hari	Umur 14 Hari	Umur 28 Hari
1	Beton Normal	21,80	27,06	32,87
2	Beton Variasi 10% Keramik	18,97	20,86	23,76
3	Beton Variasi 15% Keramik	18,42	21,61	24,45
4	Beton Variasi 20% Keramik	20,23	22,99	27,46



Gambar 3.2 Grafik Uji Kuat Tekan Beton

E. Pengujian Absorpsi Beton

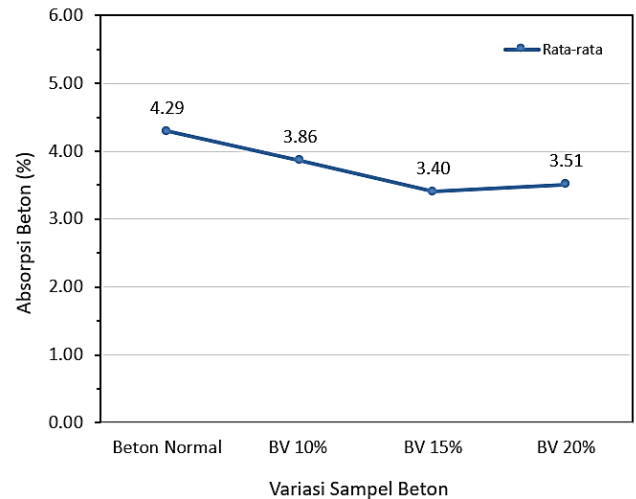
Gambar 3.3 menunjukkan nilai absorpsi terkecil pada benda uji nomor tiga pada beton variasi keramik 20% (BVK 20%) dengan nilai penyerapan sebesar 1,43%, berikutnya pada benda uji nomor dua pada beton variasi keramik 15% (BVK 15%) dengan nilai penyerapan sebesar 2,77%, kemudian pada benda uji nomor lima pada beton variasi keramik 10% (BVK 10%) dengan nilai penyerapan sebesar 3,43%, dan yang terakhir pada benda uji nomor dua pada beton normal (BN) dengan nilai penyerapan sebesar 3,65%.



Gambar 3.3 Rekap Grafik Uji Absorpsi

Nilai rata-rata absorpsi yang diperoleh dari pengujian per lima benda uji beton yang dilakukan pada laboratorium politenik negeri malang pada umur 28 hari mendapatkan penyerapan air dalam beton paling sedikit terdapat pada

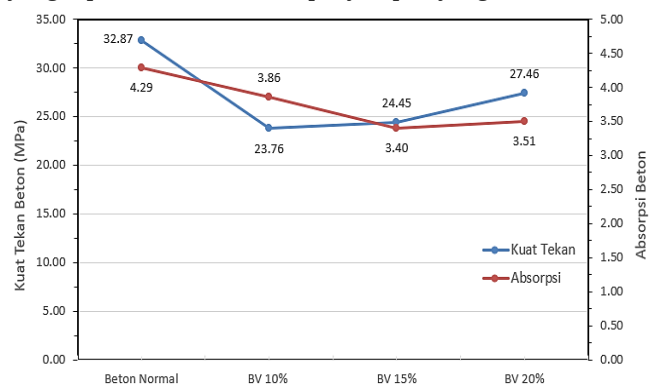
beton variasi 15% keramik dengan rata-rata absorpsi 3,40%, hal tersebut dimungkinkan terjadi dikarenakan keramik yang dipakai memiliki nilai uji material fisik yang kecil dalam penyerapan.



Gambar 3.4 Grafik Rata-Rata Uji Absorpsi

F. Hasil Uji Kuat Tekan dan Absorpsi Beton

Nilai kuat tekan beton normal berbanding terbalik dengan absorpsi beton. Beton variasi 20% mendapatkan hasil kuat tekan rata-rata yang optimal namun belum cukup mampu untuk melampaui kuat tekan pada beton normal, hal tersebut dapat terjadi dikarenakan sifat keramik yang tergolong getas, namun mendapatkan nilai absorpsi yang optimal jika dibandingkan dengan beton normal dikarenakan keramik yang dipakai memiliki nilai penyerapan yang rendah.



Gambar 3.5 Grafik Uji Kuat Tekan dan Absorpsi

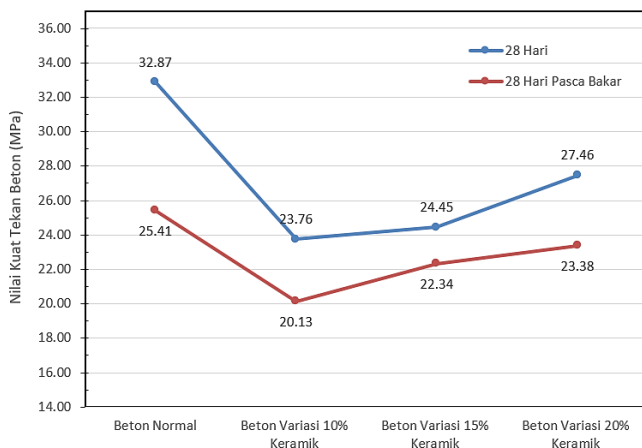
Hasil pada beton normal memiliki nilai kuat tekan sebesar (BN) = 32,87 MPa kemudian memiliki absorpsi beton dengan nilai sebesar 4,29%. Hasil yang didapat pada beton variasi 10% keramik (BVK 10%) memperoleh kuat tekan sebesar 23,76 MPa, kemudian memiliki absorpsi beton dengan nilai sebesar 3,86%. Hasil yang di dapat pada beton variasi 15% keramik (BVK 15%) menghasilkan kuat tekan beton dengan nilai sebesar 24,45 MPa, dan memperoleh hasil dari pengujian absorpsi dengan nilai sebesar 3,40%. Hasil pada

beton dengan variasi keramik sebesar 20% (BVK 20%) menghasilkan nilai rata-rata kuat tekan beton sebesar 27,46 MPa, dan mendapatkan hasil rata-rata pada pengujian absorpsi dengan nilai sebesar 3,51%.

G. Hasil Uji Perbandingan Kuat Tekan 28 Hari dan 28 Hari Pasca Bakar

Nilai kuat tekan pengujian umur 28 hari dari seluruh pengujian kuat tekan dan kuat tekan pasca pembakaran suhu 300°C beton normal dan beton yang menggunakan variasi keramik 10%, 15% dan, 20% dengan lima benda uji setiap variasi, nilai kuat tekan rata-rata dari beton sebesar BN= 32,87 Mpa, kemudian BVK 10%= 23,76 MPa, berikutnya sebesar BVK 15%= 24,45 MPa, terakhir beton dengan variasi keramik BVK 20%= 27,46 MPa.

Hasil dari beton yang dilakukan pembakaran pada suhu 300°C dengan code PB (Pasca Bakar) didapatkan hasil sebesar pada beton normal pasca bakar (BNPB)= 25,41 MPa dengan penurunan 7,46 MPa atau 29,37%, didapatkan hasil dari sisa kuat tekan beton variasi keramik 10% pasca bakar (BVKPB)= 20,13 MPa dengan penurunan 3,62 MPa atau 18,00%, kemudian untuk variasi 15% keramik pasca bakar (BVKPB)= 22,34 MPa dengan penurunan 2,11 MPa atau 17,43%, dan sisa kuat tekan beton variasi keramik 20% pasca bakar (BVKPB)= 23,38 MPa dengan penurunan kuat tekan 4,08 MPa atau 17,43%.



Gambar 3.5 Grafik Uji Kuat Tekan dan Absorpsi

Nilai beton normal menjadi nilai terbesar dalam penurunan kuat tekan sebesar 29,37% atau sebesar 7,46 MPa hal ini diakibatkan beton tersebut tanpa adanya kandungan keramik, sedangkan beton dengan penurunan terkecil terdapat pada beton 15% keramik sebesar 9,43% penurunan atau sebesar 3,62 MPa, dikarenakan kandungan keramik yang telah mengalami pembakaran lebih dari 1000°C, memungkinkan untuk beton bertahan ketika menerima suhu yang tinggi dibandingkan dengan agregat alami.

H. Hasil Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) bertujuan untuk memastikan bahwa biaya pada proyek tersebut dapat diperhitungkan seluruhnya. Pada RAB penelitian ini hanya berisi material. Berikut rekap biaya yang dikeluarkan dalam pembuatan beton campuran limbah keramik per m³, menggunakan acuan harga satuan biaya tenaga kerja dan bahan bangunan untuk Kota Malang tahun 2024.

Tabel 3.7 Rencana Anggaran Biaya Beton Normal

Uraian	Kode	Vol	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
BN 0%				
Ag. Halus	M.003.b	780.36	Rp 455.00	Rp 355,063.80
Ag. Kasar	M.020.a	1086.39	Rp 282.49	Rp 306,894.31
Semen Gresik	M.030.f	410	Rp1,508.00	Rp 618,280.00
Air	M.230.a	169.47	Rp 14.00	Rp 2,372.58
			Total Harga	Rp 1,282,610.69

Tabel 3.8 Rencana Anggaran Biaya Beton Variasi 10% Keramik

Uraian	Kode	Vol	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
BV 10%				
Ag. Halus	M.003.b	774.764	Rp 455.00	Rp 352,517.62
Ag. Kasar	M.020.a	970.746	Rp 282.49	Rp 274,226.04
Limbah Keramik	-	107.28	Rp -	Rp -
Semen Gresik	M.030.f	410	Rp1,508.00	Rp 618,280.00
Air	M.230.a	170.31	Rp 14.00	Rp 2,384.34
			Total Harga	Rp 1,247,408.00

Tabel 3.9 Rencana Anggaran Biaya Beton Variasi 10% Keramik

BV 15%			Total Harga	
			Rp 1,229,949.46	

Tabel 3.10 Rencana Anggaran Biaya Beton Variasi 10% Keramik

BV 20%			Total Harga	
			Rp 1,212,606.46	

Tabel 3.11 Rencana Anggaran Biaya Lain-Lain

Uraian	Kode	Vol	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Lain-lain				
Pekerja	L.01	2 OH	Rp 125,000.00	Rp 250,000.00
Mobilisasi	-	- ls	Rp 500,000.00	Rp 500,000.00
Belarang	-	48 kg	Rp 10,000.00	Rp 160,000.00
Oli	M.233	16 L	Rp 32,000.00	Rp 170,666.67

Bakar Tungku	-	1 Kali	Rp 400,000.00	Rp 400,000.00
Total Harga Keseluruhan			Rp6,053,241.28	

KESIMPULAN

Adapun hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan adalah sebagai berikut, yang menggambarkan temuan-temuan utama serta analisis yang mendalam berdasarkan data yang telah diperoleh selama proses penelitian berlangsung.

1. Penggunaan limbah pecahan keramik sebagai substitusi sebagian agregat kasar pada beton memberikan pengaruh terhadap karakteristik beton. Beton variasi 10% memiliki kuat tekan 23,76 MPa dibandingkan dengan beton normal memiliki penurunan sebesar 9,21 MPa atau sebesar 38,87%, 15% sebesar 24,45 MPa dibandingkan dengan beton normal memiliki penurunan sebesar 8,42 MPa atau sebesar 34,46%, dan 20% sebesar 27,46 MPa 5,41 MPa atau sebesar 19,71%. Meskipun tidak melebihi kuat tekan beton normal (32,87 MPa), campuran beton dengan limbah keramik hingga 20% memiliki hasil kuat tekan yang optimal diantara semua variasi dan memenuhi mutu beton rencana namun belum mampu melampaui beton normal. Penurunan kuat tekan terjadi pada beton variasi namun masih dalam batas wajar dan sesuai standar konstruksi ringan hingga menengah penurunan tersebut dipeengaruhi oleh sifat fisik material kerikil dan keramik yang digunakan dalam pembuatan beton, keramik memiliki berat jenis yang rendah dibandingkan dengan kerikil dan limbah keramik adalah bahan daur ulang.
2. Beton yang mengandung limbah keramik menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap penurunan kuat tekan pasca pembakaran dibandingkan beton normal. Penurunan kuat tekan paling kecil terjadi pada variasi 15% limbah keramik (9,43%), sedangkan beton normal mengalami penurunan paling besar sebesar 29,37%. Hal ini menunjukkan bahwa keramik yang sudah melalui proses pembakaran awal lebih tahan terhadap suhu tinggi, keramik lebih berongga dan lebih mudah mengalirkan panas pada pembakaran.
3. Beton variasi 10% memiliki kuat tekan 23,76 MPa, 15% sebesar 24,45 MPa, dan 20% sebesar 27,46 MPa. Meskipun tidak melebihi kuat tekan beton normal (32,87 MPa), campuran 20% menunjukkan hasil paling optimal di antara semua variasi, meski belum melampaui beton tanpa limbah perbandingan hasil antara kuat tekan beton dengan absorpsi beton penambahan limbah keramik tidak mempengaruhi absorpsi beton namun berpengaruh pada kuat tekan beton yang dipengaruhi oleh mutu dari agregat yang digunakan, kerikil memiliki berat jenis 2,832 gr/cm³ sedangkan keramik sebesar 2,497 gr/cm³.

4. Penggunaan limbah keramik dalam beton dapat menekan biaya produksi, karena limbah keramik lebih murah dibandingkan agregat kasar alami. Meskipun ada sedikit pengaruh terhadap item pekerjaan lainnya, hasil anggaran yang dihasilkan dari beton normal (BN) sebesar Rp. 1.282.610,69 sedangkan anggaran beton variasi 10% limbah keramik (BVK10%) sebesar Rp. 1.247.408.00 dengan penekanan biaya sebesar 2,82%, variasi 20% limbah keramik (BVK20%) sebesar Rp. 1.212.606,46 dengan penekanan biaya sebesar 5,77%, beton variasi 15% limbah keramik (BVK15%) sebesar Rp. 1.229.949,46 dengan penekanan biaya sebesar 4,28%, secara umum RAB beton campuran limbah lebih ekonomis dan mendukung keberlanjutan material dengan harga yang lebih murah namun memiliki konsekuensi dalam mutu yang menurun jika penambahan keramik tidak sesuai akan takaran yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM, S. N. I. (2012). *Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar (ASTM C 136-06 , IDT)*.
- [2] Badan Standardisasi Nasional. (2014). SNI 2816:2014 Metode Uji Bahan Organik dalam Agregat Halus untuk Beton. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 10. https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/107105/mod_resource/content/1/sni-2816---2014_2 zat organik.pdf
- [3] Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 1969:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 20.
- [4] Chouhan, M. K., Meena, N., Agrawal, J., & Gupta, T. (2024). Enhancing Durability of Concrete and Mortar with Ceramic Waste: A Comprehensive Review. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(8), 485–502. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i82272>
- [5] Holan, J., Novák, J., Müller, P., & Štefan, R. (2020). Experimental investigation of the compressive strength of normal-strength air-entrained concrete at high temperatures. *Construction and Building Materials*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118662>
- [6] Muzaki, K., & Bastian, R. P. (2020). *Pemanfaatan Limbah Pecahan Keramik Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Eco-Ceracon*. 18(2), 1–9. <https://core.ac.uk/download/pdf/567955199.pdf>
- [7] Primadi B, R., & Muzaki, K. (2020). *Pemanfaatan Limbah Pecahan Keramik Sebagai Bahan Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Eco-Ceracon*. <https://core.ac.uk/download/pdf/567955199.pdf>

- [8] SNI-03-2834. (2000). Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. SNI- 03-2834-, 3, 2834.
- [9] SNI-1972. (2008). Cara Uji Slump Beton.
- [10] SNI 1971:2011. (2011). “Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan.” Badan Standarisasi Nasional, 1–11.
- [11] SNI 1974. (2011). Sni-1974-2011 cara uji kuat tekan dengan benda uji silinder. SNI-1974-2011
- [12] Departemen Pekerjaan Umum. 2008. Standar Nasional Indonesia 2417:2008. Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles. Jakarta.