

# Pemanfaatan Limbah Porselen Sebagai Agregat Kasar Dalam Campuran Beton

Desianto Pabebang <sup>\*1a</sup>, Jonie Tanijaya <sup>\*2</sup>, Desi Sandy <sup>\*3</sup>

Submit :  
27 Januari 2024

<sup>\*1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia [desiantop98@gmail.com](mailto:desiantop98@gmail.com)

Review :  
3 Februari 2024

<sup>\*2</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia [jonie.tanijaya@gmail.com](mailto:jonie.tanijaya@gmail.com)

Revised :  
26 Mei 2024

<sup>\*2</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia [sandy.mylife@yahoo.co.id](mailto:sandy.mylife@yahoo.co.id)

Published:  
11 Juni 2024

<sup>a</sup>Corresponding Author: [desiantop98@gmail.com](mailto:desiantop98@gmail.com)

## Abstrak

Limbah porselen merupakan salah satu limbah yang dihasilkan dari proses produksi porselen. Limbah Porselen ialah bahan furniture yang tidak bisa lagi di daur ulang, oleh karena itu porselen yang sudah tidak dapat digunakan atau cacat dalam proses pembuatan dan pemasaran menjadikan porselen tidak dapat digunakan lagi dan harus dibuang. Penelitian ini bertujuan Untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah porselen sebagai *substitusi* agregat kasar terhadap sifat mekanis beton pada *substitusi* agregat kasar dengan limbah porselen 2%, 4%, dan 6% dalam campuran beton. Dengan mengganti agregat kasar menjadi limbah porselen sebanyak 2% menghasilkan kuat tekan 20,760 MPa, 4% menghasilkan kuat tekan 19,439 MPa, dan 6% menghasilkan kuat tekan 18,684 MPa di umur 28 hari. Yang mana dengan campuran limbah porselen membuat kuat tekannya menurun dari beton normal yang kuat tekan 25,266 kg/cm<sup>2</sup> di umur 28 hari. Untuk kuat tarik belah pada umur 28 hari didapatkan nilai rata-rata kuat tarik belah beton (*ft*) pada variasi *substitusi* limbah porselen sebanyak 2%, 4%, dan 6% adalah 2,734 MPa, 2,498 MPa dan 2,310 MPa. Untuk hasil pengujian kuat lentur beton di dapatkan nilai kuat lentur beton rata-rata pada variasi *substitusi* limbah porselen sebanyak 2%, 4%, dan 6% adalah 3,487 MPa, 3,312 MPa, dan 3,080 MPa. Sementara untuk hasil pengujian modulus elastisitas beton (E) didapatkan nilai rata-rata dengan variasi *substitusi* limbah porselen dengan variasi sebanyak 2%, 4%, 6% adalah 20509,544 Mpa, 20393,35 Mpa, dan 20296,172 Mpa.

**Kata kunci :** Limbah Porselen, Sifat Mekanis Beton

## Abstract

Porcelain waste is one of the wastes produced from the porcelain production process. Porcelain waste is a furniture material that cannot be recycled, therefore porcelain that is no longer usable or is defective in the manufacturing and marketing process makes the porcelain unusable and must be thrown away. This research aims to determine the effect of using porcelain waste as a substitute for coarse aggregate on the mechanical properties of concrete by substituting coarse aggregate with 2%, 4% and 6% porcelain waste in the concrete mixture. By replacing 2% of coarse aggregate with porcelain waste, it produces a compressive strength of 20,760 MPa, 4% produces a compressive strength of 19,439 MPa, and 6% produces a compressive strength of 18,684 MPa at 28 days. The mixture of porcelain waste causes the compressive strength to decrease compared to normal concrete which has a compressive strength of 25,266 kg/cm<sup>2</sup> at 28 days. For splitting tensile strength at 28 days, the average value of concrete splitting tensile strength (*ft*) for porcelain waste substitution variations of 2%, 4% and 6% was 2.734 MPa, 2.498 MPa and 2.310 MPa. For the concrete flexural strength test results, the average concrete flexural strength values obtained for

*porcelain waste substitution variations of 2%, 4%, and 6% were 3,487 MPa, 3,312 MPa, and 3,080 MPa. Meanwhile, for the results of testing the modulus of elasticity of concrete (E), the average value obtained with variations in porcelain waste substitution with variations of 2%, 4%, 6% is 20509.544 Mpa, 20393.35 Mpa, and 20296.172 Mpa.*

*Keywords : Porcelain Waste, Mechanical Properties of Concrete*

## PENDAHULUAN

Jumlah struktur yang dibangun di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi. Akibatnya, kebutuhan akan bahan kombinasi beton seperti semen, air, agregat halus, dan agregat kasar meningkat. Oleh karena itu, diperlukan kesiapan material kombinasi beton yang lebih besar agar tidak menimbulkan kekurangan selama pembuatan struktur. Porselen adalah bahan furnitur yang tidak dapat didaur ulang, jadi porselen yang tidak dapat digunakan atau rusak selama proses pembuatan dan pemasaran harus dibuang. Karena limbah padat akan menjadi lebih banyak jika tidak dibuang. Jadi, penelitian harus dilakukan dengan limbah porselen sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran beton. Karena limbah porselen yang tidak berguna dapat dimanfaatkan kembali, pemanfaatan kembali menjadi alternatif.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa menggunakan limbah keramik meningkatkan kuat tekan dan berat volume beton. Pada komposisi 60% limbah keramik, kuat tekannya meningkat 89%, atau 14,9 MPa, dan berat volumenya meningkat 1,08 %. [1]. Setelah 3 hari, beton yang terbuat dari agregat kasar limbah bongkahan mengalami peningkatan kuat 11,54% dibandingkan dengan beton alami. Setelah 28 hari, ada zona transisi antara permukaan agregat yang terbuat dari mortar lama, yang meningkatkan penyerapan, porositas, dan permeabilitas beton. Akibatnya, kuat beton menurun 27,64%. [2]. Substitusi agregat kasar dengan limbah marmer s/d 25% dapat menciptakan beton dengan angka kuat tekan 30,1MPa, lebih tinggi 18,97% dari pencampuran beton biasa. Menambah limbah alam hingga 75% memberikan penurunan terhadap angka kuat beton. [3]. Data uji menunjukkan bahwa beton dengan substitusi agregat kasar 0% menciptakan kuat tekan yang cenderung besar dibanding variasi lainnya. Ini disebabkan oleh fakta bahwa beton dengan campuran limbah yang lebih tinggi bisa menciptakan kuat tekan yang lebih rendah dibanding beton biasa. Semakin tinggi persentase campuran limbah pada beton, semakin rendah kualitas kuat tekannya. [4]. Hasilnya menunjukkan jika bekas batu bata bisa dipakai dalam menggantikan agregat halus ketika membuat pencampuran beton dengan konsentrasi 14%. Selain itu, pencampuran bekas batu bata dapat dimanfaatkan dalam menciptakan beton dengan kualitas  $f_c' 20$  dengan komposisi 13%, 14%, dan 15%. [5]. Hasil tekan beton limbah 10% menunjukkan nilai terbaik 40,03 MPa pada umur 28 hari dengan peningkatan persentase 16,4% dari beton normal. Hasil ini menunjukkan bahwa limbah beton dapat digunakan sebagai agregat kasar untuk campuran beton. [6]. Dalam variasi campuran IV (1PC: 2Ps: 8% limbah karbit), kuat tekan maksimum adalah 24,62Mpa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa modulus elastisitas masing-masing adalah 4622,84Mpa, 3517,65Mpa, 3695,67Mpa, 3924,56Mpa, 3933,53Mpa, dan 3092,13 Mpa. Kuat tekan maksimum sebesar 24,62Mpa, berat isi sebesar 2098,3kg/m<sup>3</sup>, dan modulus elastisitas sebesar 3924,56Mpa adalah hasil dari masing-masing pengujian tersebut. [7]. Dalam uji, beton dengan variasi 0% limbah keramik memiliki kuat tekan 206,941 kg/cm<sup>2</sup>. Dengan variasi 10% limbah keramik, kuat tekan turun 13,67% dari rencana, dan dengan variasi 15% limbah keramik, kuat tekan turun 6,60% dari rencana. Benda uji beton yang dibuat dengan campuran limbah keramik mengalami lebih banyak retakan daripada beton biasa. Pola retak geser ini dikenal sebagai retak geser. [8]. Hasil pengujian kuat tekan beton yang dilakukan selama 28 hari dengan menggunakan cangkang sawit pada variasi 25 persen hingga 100 persen. Pada variasi 25 persen, beton memiliki kuat tekan sebesar 14,9 MPa, yang menunjukkan bahwa cangkang sawit masih dapat digunakan sebagai campuran pada beton non-struktural. [9]. Setelah pengujian kuat beton dan analisis *software* RS2 (Phase2), hasil analisis SRF yang cukup kuat dihasilkan pada setiap variasi sampel. Dengan hasil analisis SRF sebesar 2.33, beton dalam pencampuran tailing 40% yang paling kuat dipilih dalam menyangga beton dari semua variasi sampel. [10].

## METODOLOGI

### A. Lokasi Mendapatkan Bahan Penelitian

Lokasi pengambilan Agregat Kasar dan Agregat halus berasal dari Sungai Jeneberang yang terletak di wilayah Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Agregat



Gambar 2. Limbah Porselin

### B. Trial Mix

Agar diketahui apakah perhitungan komposisi campuran yang telah dihitung bisa mencapai nilai kuat tekan rencana maka dilakukan *trial mix* dengan menggunakan 7 hari sebagai faktor umur pengujian serta mutu yang direncanakan yaitu 25 Mpa. Berikut data uji *Trial mix*:

Tabel 1. Hasil Pengujian *Trial Mix*

Nomor Sampel	Umur	P (Kn)	Kuat Tekan (Mpa)	Rata-rata (Mpa)	Kuat Tekan Konversi 28 hari (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
1	7 hari	310	17,535	16,404	26,977	25,237
2		270	15,273		23,497	
3		290	16,404		25,237	

**C. Proses Pembuatan Benda Uji**

Dalam membuat benda uji akan diproses jika daya yang didapatkan dari proses uji coba yang dilakukan sudah mencapai mutu beton perencanaan. Benda uji dibuat sebanyak 54 sampel yang mana terdiri dari 27 sampel untuk uji kuat tekan, 9 untuk uji kuat tarik, 9 sampel untuk uji kuat lentur dan 9 sampel untuk modulus elastisitas.

**D. Karakteristik Material**

Tabel 2. Spesifikasi sifat agregat kasar

AGREGAT KASAR				
No.	Karakteristik	Hasil	Interval ASTM	Keterangan
1	Kadar Air	0,705	0.5% - 2.0%	Memenuhi
2	Kadar Lumpur	0,6	0.2% - 1.0%	Memenuhi
3	Berat Jenis SSD	2,573	1.60 - 3.20	Memenuhi
4	Absorpsi (Penyerapan)	1,502	0.20% - 2.00%	Memenuhi
5	Berat Volume Padat	1635	1400 - 1900 kg/m <sup>3</sup>	Memenuhi
6	Berat Volume Gembur	1526	1400 - 1900 kg/m <sup>3</sup>	Memenuhi
7	Modulus Kehalusan	6,788	5,50 - 8,50	Memenuhi

Tabel 3. Spesifikasi Karakteristik Agregat Halus

AGREGAT HALUS				
No.	Karakteristik	Hasil	Interval ASTM	Keterangan
1	Kadar Air	3,73	3.0% - 5.0%	Memenuhi
2	Kadar Lumpur	1,57	0.2% - 6.0%	Memenuhi
3	Berat Jenis SSD	2,2685	1.60 - 3.20	Memenuhi
4	Absorpsi (Penyerapan)	1,076	0.20% - 2.00%	Memenuhi
5	Berat Volume Padat	1606,65	1400 - 1900 kg/m <sup>3</sup>	Memenuhi
6	Berat Volume Gembur	1516,5	1400 - 1900 kg/m <sup>3</sup>	Memenuhi
7	Modulus Kehalusan	2,583	< 3,10	Memenuhi

**E. Perawatan Bahan Uji**

Menurut SNI 1974:2011, bahan uji yang telah dilepas dari cetaknya dan diberi tanda kemudian dirawat dengan perendaman di dalam bak air atau curing dengan interval waktu perendaman yaitu 7, 21 dan 28 hari.



Gambar 3. Benda Uji

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Kuat Tekan

Pemeriksaan kuat tekan beton diawali ketika sampel mencapai hari ke-7, 21 dan 28. Hal ini dilakukan dengan menggunakan mesin uji kuat tekan agar mengetahui kuat tekan tertinggi beton dengan beban tekan (P) yang dinyatakan dalam satuan kN.

Tabel 4. Variasi 0 % Subsitusi Limbah Porselen

Umur	Luas Penampang	P	Kuat Tekan	Rata-rata Kuat Tekan
Hari		(kN)	(MPa)	(MPa)
7	17662,5	280	15,853	16,404
	17662,5	300	16,985	
	17662,5	290	16,419	
21	17662,5	425	24,062	24,040
	17662,5	430	24,345	
	17662,5	420	23,779	
28	17662,5	450	25,478	25,549
	17662,5	460	26,044	
	17662,5	445	25,195	

Tabel 5. Variasi 2 % Limbah Porselen

Umur	Luas Penampang	P	Kuat Tekan	Rata-rata Kuat Tekan
Hari		(kN)	(MPa)	(MPa)
7	17662,5	250	14,154	13,199
	17662,5	220	12,456	
	17662,5	230	13,022	
21	17662,5	380	21,515	19,421
	17662,5	320	18,117	
	17662,5	330	18,684	
28	17662,5	360	20,382	20,741
	17662,5	360	20,382	
	17662,5	380	21,515	

Tabel 6. Variasi 4 % Limbah Porselen

Umur	Luas Penampang	P	Kuat Tekan	Rata-rata Kuat Tekan
Hari		(kN)	(MPa)	(MPa)
7	17662,5	220	12,456	12,633
	17662,5	230	13,022	
	17662,5	220	12,456	
21	17662,5	330	18,684	18,478
	17662,5	330	18,684	
	17662,5	320	18,117	
28	17662,5	360	20,382	19,421
	17662,5	350	19,816	
	17662,5	320	18,117	

Tabel 7. Variasi 6 % Limbah Porselen

Umur	Luas Penampang	P	Kuat Tekan	Rata-rata Kuat Tekan
Hari		(kN)	(MPa)	(MPa)
7	17662,5	230	13,022	12,067
	17662,5	190	10,757	
	17662,5	220	12,456	
21	17662,5	340	19,250	17,724
	17662,5	330	18,684	
	17662,5	270	15,287	
28	17662,5	330	18,684	18,667
	17662,5	310	17,551	
	17662,5	350	19,816	

### B. Kuat Tarik Belah

Proses uji diawali ketika sampel berada pada hari ke-28 dengan memakai alat uji kuat tarik belah agar diketahui gaya tarik beton yang paling tinggi, yang ditunjukkan dalam kN, dan beban yang diterima (P).

Tabel 8. Hasil Uji Kuat Tarik Belah

Variasi Substitusi	Umur	Beban Maksimum (N)	L	D	Kuat Tarik Belah (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
0%	28 hari	240000	300	150	3,394	3,394
		250000	300	150	3,535	
		230000	300	150	3,253	
2%	28 hari	190000	300	150	2,687	2,734
		200000	300	150	2,828	
		190000	300	150	2,687	
4%	28 hari	180000	300	150	2,545	2,498
		170000	300	150	2,404	
		180000	300	150	2,545	
6%	28 hari	160000	300	150	2,263	2,310
		180000	300	150	2,545	
		150000	300	150	2,121	

### C. Kuat Lentur

Proses dilaksanakan saat bahan uji sampai dihari ke-28, sampel dengan bentuk balok dengan ukuran 520mm × 150mm × 150mm, dengan memakai alat uji lentur dengan memberikan dua titik pembebanan.

Tabel 9. Hasil Uji Kuat Lentur

Variasi Substitusi	Umur	Beban Maksimum (ton)	Beban Maksimum (N)	Kuat Lentur (Mpa)	Rata-rata (Mpa)
0%	28 hari	2,20	21574,740	3,836	3,603
		2,00	19613,400	3,487	
		2,00	19613,400	3,487	
2%	28 hari	2,10	20594,070	3,661	3,487
		1,90	18632,730	3,312	
		2,00	19613,400	3,487	
4%	28 hari	2,10	20594,070	3,661	3,312
		1,80	17652,060	3,138	

		1,80	17652,060	3,138	
		1,70	16671,390	2,964	
6%	28 hari	1,80	17652,060	3,138	3,080
		1,80	17652,060	3,138	

**D. Modulus Elastisitas**

Pengujian modulus elastisitas beton dilakukan ketika sampel mencapai hari ke-28 dengan alat tekan *compression testing machine*. Pembacaan dial gauge vertikal dilaksanakan setiap kenaikan 50 kN.

**PEMBAHASAN**

**A. Kuat Tekan**

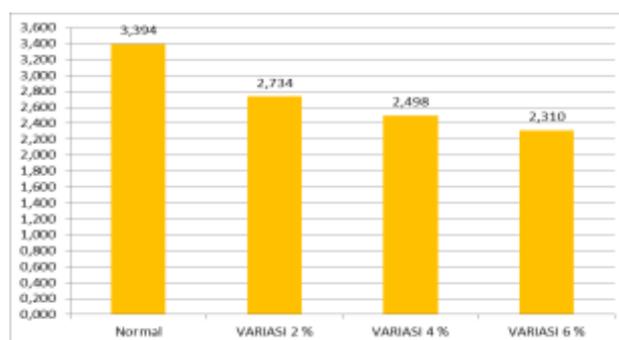


Gambar 4. Grafik hasil uji Kuat Tekan beton

Dari Gambar 4 menunjukkan jika angka kekuatan tekan beton berbanding lurus dengan usia beton, yaitu dengan bertambahnya umur beton maka nilai kuat tekannya akan meningkat. Angka kekuatan tekan beton ketika mencapai hari ke-7, 21 dan 28 untuk beton normal. Dari tabel hasil uji kekuatan tekan beton menyatakan semakin bertambah substitusi limbah porselen yang di gunakan pada beton maka mengakibatkan penurunan pada angka kuat tekan beton. Persentase kuat tekan beton mencapai hari ke-28 divariasi penambahan 0%, 2%, 4% dan 6% adalah 25,364 MPa, 20,496 MPa, 19,436 MPa, dan 18,630 MPa dari mutu rencana yaitu 25MPa.

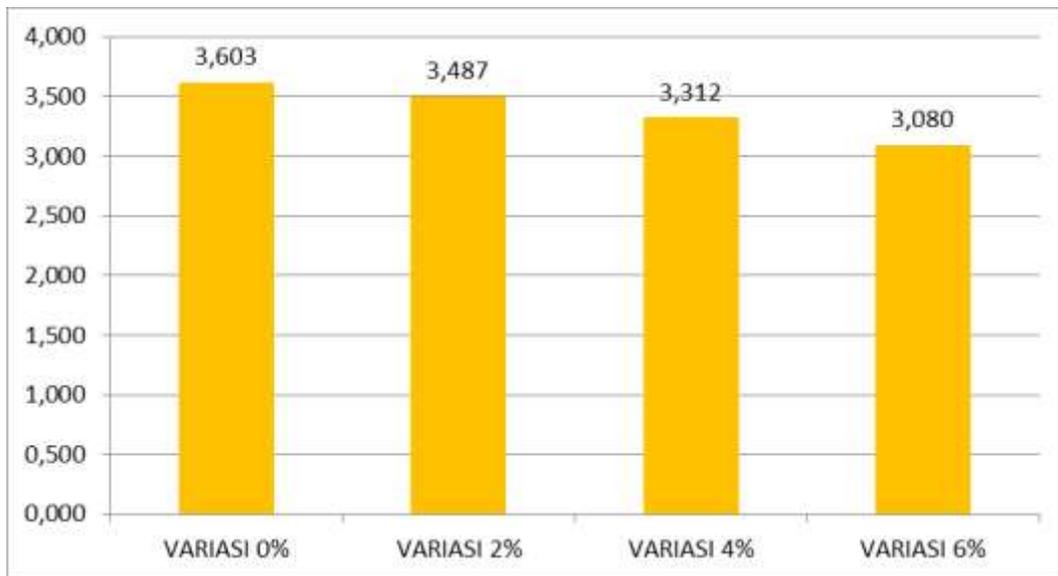
**B. Kuat Tarik Belah**

Besarnya beban maksimum (P) berbanding lurus dengan tingginya angka kekuatan tarik belah beton (*ft*). menurut uji yang telah dilaksanakan dihasilkan angka rata-rata kuat tarik belah beton (*ft*) untuk variasi 0 %, 2%, 4%, dan 6% berturut-turut 3,394MPa, 2,734MPa, 2,498MPa dan 2,310MPa.



Gambar 5. Grafik hasil uji kuat tarik belah beton

**C. Kuat Lentur**



Gambar 6. Grafik Kuat Lentur

Tingginya beban maksimum (P) berbanding lurus dengan besarnya angka kekuatan lentur beton. Menurut pengujian yang sudah dilaksanakan diciptakan angka kuat lentur beton rata-rata divariasi 0 %, 2%, 4%, dan 6% berturut-turut 3,603Mpa, 3,487MPa, 3,312MPa, dan 3,080MPa.

**D. Modulus Elastisitas**

Nilai modulus elastisitas yang dihasilkan untuk variasi 0% sebanyak 22205,341MPa, 22267,102MPa, 24448,305 dengan nilai rata-rata yakni 22973,582 MPa. Untuk variasi 2% diperoleh sebesar 20560,9565 MPa, 21231,4225 MPa, 19736,2519 dengan nilai rata-rata yakni 20509,544Mpa. Untuk variasi 4% Nilai modulus elastisitas yang diperolaeh sebesar 20482,0782 MPa, 20137,019 MPa, 20560,9565 MPa dengan nilai rata-rata yakni 20393,35 MPa dan untuk variasi 6% Nilai modulus elastisitas yang diperolaeh sebesar 19920,841 MPa, 19736,252 MPa, 21231,423 dengan nilai rata-rata yakni 20296,172 Mpa yang menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan di sepanjang garis linier: nilai regangan meningkat seiring dengan tegangan, hingga mencapai nilai maksimum.

**E. Koefisien Korelasi Hubungan antara Kekuatan Tekan dan Kuat Tarik Belah**

Tabel 10. Hubungan Antara Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah

Variasi Substitusi	Rata-rata (Mpa)		Koefisien Korelasi (x)
	Kuat Tekan	Kuat Tarik Belah	
Normal	25,387	3,394	0,674
2%	20,515	2,734	0,604
4%	19,453	2,498	0,567
6%	18,646	2,310	0,535

Menurut data pengujian kuat tekan beton ketika 28 hari divariasi 0% , 2% , 4% , dan 6% di dapatkan sebanyak 25,387MPa, 20,515MPa, 19,453MPa, dan 18,646MPa serta data uji kuat tarik belah beton (*ft*) ketika 28 hari pada variasi 0% , 2% , 4% , dan 6% didapatkan angka rata-rata berturut-turut 3,394MPa, 2,734Mpa, 2,498Mpa, dan 2,310MPa.

**F. Koefisien Korelasi Hubungan antara Kekuatan Tekan dengan Kuat Lentur**

Tabel 11. Hubungan Antara Kuat Tekan dan Kuat Lentur Balok

Variasi	Rata - rata (Mpa)		Nilai Koefisien Korelasi (x)
	Kuat Tekan	Kuat Lentur	
0%	25,387	3,603	0,715
2%	20,515	3,487	0,791
4%	19,453	3,312	0,751
6%	18,646	3,080	0,714

Menurut data pengujian kuat tekan beton ( $f'c$ ) pada variasi 2% , 4% , dan 6% di peroleh angka 20,515Mpa, 19,453MPa, dan 18,646MPa, serta data pengujian kuat lentur beton di variasi 2% , 4% , dan 6% diperoleh angka 3,487MPa, 3,312MPa, dan 3,080MPa.

**G. Hubungan Antara Kekuatan tekan beton dengan Modulus Elastisitas**

Tabel 12. Hubungan Antara Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Variasi	Kuat Tekan Beton (Mpa)	E (Mpa)	Modulus Elastisitas Teoritis
			( $4700 \sqrt{\text{Kuat Tekan beton}}$ )
Normal	25,364	22973,582	23670,461
2 %	20,496	20509,544	21278,078
4 %	19,436	20393,35	20720,551
6 %	18,630	20296,172	20286,367

Angka kuat tekan beton ( $f'c$ ) untuk usia 28 hari dengan variasi 0% , 2% , 4% , dan 6% substitusi limbah porselen mendapatkan nilai 25,363 MPa, 20,496 MPa, 19,436 MPa, dan 18,630 MPa dari mutu rencana yaitu 25 MPa dan data uji modulus elastisitas beton (E) didapatkan rata-rata dengan variasi substitusi limbah porselen dengan variasi 0% , 2% , 4% , 6% adalah 22973,582 Mpa, 20509,544 Mpa, 20393,35 Mpa, dan 20296,172 Mpa

**KESIMPULAN**

1. Pengaruh substitusi limbah porselen akan menurunkan kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur seiring penambahan persentase limbah porselen. Kuat tekan berbanding lurus dengan kuat tarik belah, kuat lentur dan juga modulus elastisitas beton. Hal ini buktikan dengan hasil pengujian. Angka kekuatan tekan beton normal sebesar 25,549 MPa mengalami penurunan pada substitusi limbah porselen 2% , 4% dan 6% sebesar 18,82% , 23,99% dan 26,94%. Nilai kuat tarik belah mengalami penurunan seiring bertambahnya substitusi limbah porselen 0% , 2% , 4% dan 6% dengan nilai kuat tarik belah berturut-turut sebesar 3,394, 2,734, 2,498 dan 2,310 MPa. Nilai kuat lentur mengalami penurunan seiring bertambahnya substitusi limbah porselen 0% , 2% , 4% dan 6% dengan nilai kuat lentur berturut-turut sebesar 3,603, 3,487, 3,312 dan 3,080 MPa. Nilai modulus mengalami penurunan seiring bertambahnya substitusi limbah porselen 0% , 2% , 4% dan 6% dengan nilai modulus elastisitas berturut-turut sebesar 22973,587, 20509,544, 20393,35 dan 20296,172 MPa.
2. Hubungan kuat tekan dan tarik belah: Nilai kuat tekan lebih besar dari tarik belah, sementara hubungan kuat lentur dan kuat tekan memiliki koefisien korelasi tertinggi pada variasi 2% , yaitu 0,770 dan nilai koefisien korelasi terendah pada variasi 6% sebesar 713, maka dapat diketahui jika bertambah besar angka kekuatan tekan memicu penurunan pada angka kekuatan lenutnya. Koefisien korelasi kuat tekan dengan modulus elastisitas beton tertinggi pada variasi substitusi limbah porselen 0% sebesar 23670,461 MPA

dan terendah pada 6% sebesar 20286,367MPa.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. P. S. T. M.T., “Kajian Eksperimental Beton Dengan Limbah Pecahan Keramik,” *SIPIL SAINS*, vol. 13, no. 2, Sep. 2023, doi: 10.33387/sipilsains.v13i2.6586.
- [2] S. Syahrul, “Kinerja Beton Mengandung Agregat Kasar Daur ulang Limbah Bongkahan Beton,” *jurissipil*, vol. 6, no. 1, p. 33, Sep. 2022, doi: 10.20961/jrrs.v6i1.63206.
- [3] A. Safari and A. A. Setiawan, “Pemanfaatan Limbah Batu Marmer sebagai Substitusi Parsial Agregat Kasar pada Campuran Beton terhadap Kuat Tekan Beton,” *DINAREK*, vol. 19, no. 2, p. 141, Aug. 2023, doi: 10.20884/1.dr.2023.19.2.1498.
- [4] R. Zakirah, A. Abdullah, and Z. Amalia, “Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton,” *j.civ.eng.student*, vol. 5, no. 4, pp. 337–343, Dec. 2023, doi: 10.24815/journalces.v5i4.26566.
- [5] H. Yulian, N. Carlo, and I. Khaidir, “Pengaruh Limbah Batu Bata Terhadap Kuat Tekan Beton,” *jts*, vol. 19, no. 2, pp. 322–334, Oct. 2023, doi: 10.28932/jts.v19i2.6176.
- [6] D. Patah and A. Dasar, “Pengaruh Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Kekuatan Beton,” *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, vol. 10, no. 2, pp. 158–163, Oct. 2022, doi: 10.32487/jtt.v10i2.1580.
- [7] B. E. Putra and I. Israjunna, “Pengaruh Penambahan Limbah Karbit Terhadap Sifat Mekanik Beton Pada Campuran 1 Semen : 2 Pasir : 0-15% Limbah Karbit,” *Sainteka*, vol. 4, no. 2, pp. 22–28, Jun. 2023, doi: 10.58406/sainteka.v4i2.1239.
- [8] E. Purnamasari, “Pengaruh Variasi Penambahan Limbah Pecahan Keramik Terhadap Kuat Tekan Beton,” *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, vol. 11, no. 1, pp. 88–94, Apr. 2023, doi: 10.32487/jtt.v11i1.1646.
- [9] I. Indrayani, I. Sulianti, W. Wahyudi, and B. A. J. Herbi, “Pemanfaatan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Pada Campuran Beton Ringan,” *Fropil (Forum Profesional Teknik Sipil)*, vol. 11, no. 2, pp. 69–76, Dec. 2023, doi: 10.33019/fropil.v11i2.3753.
- [10] A. F. P. Rachmat, P. N. Hartami, D. Putra, and E. J. Tuheteru, “Pemanfaatan Tailing Bijih Nikel Sebagai Campuran Beton Penyangga,” *Indonesian Min. and Energy J.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, May 2022, doi: 10.25105/imej.v5i1.13775.