

# KUAT TEKAN LIMBAH PECAHAN MARMER SEBAGAI PENGANTI AGREGAT KASAR PADA PERKERASAN KAKU

## COMPRESSIVE STRENGTH OF MARBLE FRAGMENT WASTE AS A SUBSTITUTE FOR COARSE AGGREGATE ON RIGID PAVEMENT

<sup>1</sup>Korneliya Lidya, <sup>2</sup>Blima Oktaviastuti, <sup>3</sup>M. Sa'dillah  
<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang  
<sup>1</sup>korneliyalidya15@gmail.com <sup>2</sup>blima.oktavia90@gmail.com <sup>3</sup>muhsad93@gmail.com

### Abstrak

Permintaan marmer yang banyak mengakibatkan produksi marmer semakin berlimpah dan limbah buangnya semakin menumpuk jika tidak segera ditangani maka akan menyebabkan masalah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh digunakannya limbah pecahan marmer untuk menggantikan agregat kasar pada nilai kuat tekan umur 7 hari dan 28 hari. Limbah pecahan marmer diperoleh dari Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur. Pada penelitian ini penulis menggunakan rancangan penelitian kuantitatif dengan jenis penelitian ekperimental. Benda uji kuat tekan yang digunakan berbentuk silinder berukuran 15 cm x 30 cm dengan kuat tekan rencana ( $f_c' = 21,7$  MPa). Hasil pengujian kuat tekan umur 7 hari pada masing-masing persentase 0%, 15%, 25% dan 35% berturut-turut 13,06 MPa; 10,42 MPa; 15,60 MPa; dan 16,04 MPa, sedangkan pengujian kuat tekan umur 28 hari pada masing-masing persentase 0%, 15%, dan 25% berturut-turut 22,00 MPa; 22,85 MPa; 24,49 MPa dan 19,40 MPa. Nilai kuat tekan pada umur 28 hari yang paling tertinggi ada pada variasi 25% sebesar 24,49 MPa. Dari hasil penambahan limbah pecahan marmer pada peningkatan nilai kuat tekan umur 7 hari, yaitu: semakin banyak digunakannya limbah pecahan marmer untuk menggantikan agregat kasar maka nilai kuat tekan semakin naik, sedangkan pada peningkatan nilai kuat tekan umur 28 hari, yaitu: semakin ditambah kadar limbah pecahan marmer untuk menggantikan agregat kasar maka nilai kuat tekan semakin turun. Kandungan zat kapur (CaO) yang tinggi pada limbah pecahan marmer yang apabila direndam semakin lama mengakibatkan air rendaman keruh sehingga mempengaruhi nilai kuat tekan.

**Kata kunci:** kuat tekan, limbah pecahan marmer, agregat kasar, perkerasan kaku.

### Abstract

The high demand for marble has resulted in marble production becoming more abundant and waste piling up, if not handled immediately it will cause environmental problems. This research aims to determine the effect of using marble fragment waste to replace coarse aggregate on compressive strength values aged 7 days and 28 days. Marble fragment waste was obtained from Tulungagung Regency, East Java. In this research the author used a quantitative research design with experimental research type. The compressive strength test object used was a cylinder measuring 15 cm x 30 cm with design compressive strength ( $f_c' = 21.7$  MPa). From the results of the compressive strength test aged 7 days at each percentage of 0%, 15%, 25% and 35% respectively 13.06 MPa; 10.42 MPa; 15.60 MPa; and 16.04 MPa, while the compressive strength test aged 28 days at each percentage of 0%, 15%, and 25% respectively was 22.00 MPa; 22.85 MPa; 24.49 MPa and 19.40 MPa. The highest value of compressive strength at the age of 28 days was with a 25% variation of 24.49 MPa. From the results of adding marble fragment waste to the increase in the compressive strength value aged 7 days, namely: the more marble fragment waste is used to replace coarse aggregate, the compressive strength value increases, while the increase in compressive strength value aged 28 days, namely: the greater the waste content. marble fragments to replace coarse aggregate, the compressive strength value decreases. The content of

*lime (CaO) is high in marble fragment waste which, if soaked for longer, causes the soaking water to become cloudy, thus affecting the compressive strength value.*

**Keywords:** *compressive strength, marble fragment waste, coarse aggregate, rigid pavement*

## PENDAHULUAN

Jalan ialah bangunan pelengkap penghubung antar daerah yang memiliki peranan sangat penting dalam memfasilitasi kebutuhan masyarakat. Berkembangnya pembangunan jalan dalam beberapa tahun terakhir ini supaya pemerataan disegala bidang tercapai. Akan tetapi dalam merencanakan jalan perlu memenuhi persyaratan yang telah ditentukan agar tidak terjadi kerusakan (Saepudin et al., 2022).

Kinerja jalan pada perkerasan kaku yang tidak sesuai sering terjadi kerusakan akibat dari beban kendaraan yang melebihi kapasitas yang telah ditentukan serta kurangnya pengawasan dalam proses pencampuran beton sehingga perencanaan material konstruksi tidak signifikan (Nita, 2022). Perkerasan kaku (*rigid pavement*) sering disebut juga perkerasan jalan beton. Dalam membuat perancangan perkerasan kaku ada faktor yang harus diperhatikan, yaitu: kekuatan beton itu sendiri dalam memikul beban lalu lintas. Perkerasan kaku memiliki beberapa keuntungan, yaitu: struktur perkerasan lebih tipis, biaya pemeliharaan yang lebih rendah, pekerjaan konstruksi dan pengawasan mutu yang lebih mudah khususnya di perkotaan tertutup, serta proses pembuatan campuran beton yang lebih mudah (Farnandu et al., 2022).

Perkerasan kaku menggunakan beton sebagai bahan utama yang terdiri dari: semen, agregat halus, agregat kasar serta air. Agregat kasar dengan semen terikat baik apabila dalam kondisi dimana hanya ada sedikit bahan organik di dalam campurannya (Yusuf Eko Saputro et al., 2022).

Agregat kasar dalam penelitian ini menggunakan limbah pecahan marmer. Karena permintaan marmer yang banyak mengakibatkan produksi marmer semakin

berlimpah dan limbah buangnya semakin menumpuk jika tidak segera ditangani maka akan menyebabkan masalah lingkungan (Julmile et al., 2023).

Hal yang harus diterapkan agar tidak terjadi masalah lingkungan, yaitu: dengan beralih ke desain yang ramah lingkungan atau konstruksi ramah lingkungan. Desain ramah lingkungan itu dapat diartikan sebagai *Green Contraction*, yaitu: untuk memanfaatkan kembali limbah industri agar tidak merusak kelestarian alam/ mencemari lingkungan (Fitriani et al., 2021).

Di Indonesia daerah penghasil marmer terbesar terdapat di Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur. Limbah pecahan marmer khususnya yang terdapat di desa Campur Darat, Kabupaten Tulungagung dalam sebulannya bisa mencapai 100 ton. Limbah pecahan marmer dapat digunakan sebagai pengganti atau substitusi agregat kasar supaya lebih ekonomis (Zuraidah & Jatmiko, 2007).

Tujuan penelitian ini: 1.) untuk mengetahui pengaruh digunakannya limbah pecahan marmer untuk menggantikan agregat kasar pada nilai kuat tekan beton umur 7 hari; dan 2.) untuk mengetahui pengaruh digunakannya limbah pecahan marmer untuk menggantikan agregat kasar pada nilai kuat tekan beton umur 28 hari.

Oktaviastuti & Yurnalisdell (2020) dalam mendesain struktur pada perkerasan kaku faktor yang perlu diperhatikan ialah kekuatan beton sedangkan pondasi hanya berpengaruh kecil.

Menurut SNI 03-2847-2002 untuk memenuhi persyaratan yang lebih baik karena tuntutan yang tinggi, beton harus dipertimbangkan dengan teliti. Beton yang dihasilkan harus memiliki pemadatan yang tinggi dan maksimal agar membentuk beton yang baik, kuat, kedap air dan tahan lama.

Menurut Rohim (2018) XRF (*X-Ray Fluorencence*) adalah alat yang digunakan untuk mengetahui komposisi dari unsur kimia pada suatu sampel atau bahan. Umum XRF digunakan untuk melakukan analisis unsur pada batuan atau mineral baik itu secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis secara kualitatif mengevaluasi jenis dari unsur yang ada pada bahan, sedangkan analisis secara kuantitatif mengevaluasi konsentrasi unsur. Keunggulan analisis alat XRF supaya lebih mudah, sederhana, dan cepat dalam analisisnya. Jumlah sampel dapat berbentuk serbuk, padat dan cair dan waktu pengukuran hanya 30 detik.

Marmer (CaCl) ialah jenis batuan metamorfosa. Batuan marmer memiliki butir kasar, heterogranular, dan tekstur yang terikat satu sama lain. Permukaan batuan marmer yang halus mengandung sedikit kuarsa dan klorit (Fitriani et al., 2021).

Dari beberapa penelitian ada yang membahas terkait pengaruh limbah pecahan marmer sebagai pengganti agregat kasar pada nilai kuat tekan beton. Penelitian Lestari (2021) nilai kuat tekan beton menggunakan limbah pecahan marmer mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan beton normal, dengan kadar optimum pada variasi 25%.

Penelitian Safari & Setiawan (2023) diperoleh penggunaan limbah marmer pada persentase 25% nilai kuat tekan mencapai 30,1 MPa lebih tinggi dari beton normal, sedangkan penambahan marmer diatas 50% mengalami penurunan.

Penelitian Utama et al. (2020) hasil dari pengujian kuat tekan untuk umur 28 hari dengan ( $f_c' = 18,68$  MPa) menggunakan limbah marmer dan serat batang pisang mempengaruhi nilai kuat tekan dari prosentase 10%, 20% dan 30% mengalami penurunan secara berurutan.

Limbah pecahan marmer pada penelitian ini berasal dari Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur. Persentase penambahan limbah marmer sebesar 0%, 15%, 25% dan 35% serta perencanaan *mix design* menggunakan metode ACI.

## **METODOLOGI PENELITIAN**

Rancangan penelitian yang digunakan kuantitatif dengan jenis penelitiannya ekperimental. Variabel bebas pada penelitian ini adalah limbah pecahan marmer sebagai pengganti dari agregat kasar pada perkerasan kaku dengan persentase sebesar 0%, 15%, 25% dan 35% sedangkan variabel terikatnya ialah berat jenis dan kuat tekan beton yang menggunakan limbah pecahan marmer.

### **Lokasi dan Waktu Penelitian**

Lokasi Penelitian untuk uji kuat tekan di Laboratorium Universitas Tribhuwana Tunggaladewi Malang. Laboratorium digunakan untuk melakukan pemeriksaan kualitas material (limbah pecahan marmer, pasir, kerikil, semen dan air), pengujian nilai *slump* serta pengujian kuat tekan rencana ( $f_c' = 21,7$  MPa). Sedangkan untuk waktu pelaksanaannya selama 1 bulan dengan ketentuan hal itu sudah mencakup pengujian beton karena umur beton dalam penelitian adalah 28 hari perendaman.

### **Metode Pengumpulan Data**

Data Primer ialah data yang penulis peroleh secara langsung di lapangan, seperti: observasi, uji lab serta dokumentasi sedangkan data sekunder ialah data yang penulis peroleh dari pengamatan tidak langsung (data pendukung) melalui instansi terkait, data sekunder juga bisa didapatkan melalui studi literatul (jurnal, buku, artikel, maupun data SNI).

**Tabel 1. Kebutuhan Data**

No.	Data yang dibutuhkan	Dokumentasi	Data	Instansi
1.	Limbah pecahan marmer, pasir, kerikil, semen dan air	Bahan material dari benda uji	Data Primer	Lab. Universitas Tribhuwana Tunggadewi Malang
2.	Uji <i>Slump</i>	Alat uji Benda uji Lab	Data Primer	Lab. Universitas Tribhuwana Tunggadewi Malang
3.	Uji Kuat Tekan	Alat uji Benda uji Lab	Data Primer	Lab. Universitas Tribhuwana Tunggadewi Malang
4.	Uji XRF (X-Ray Fluorencence)	Alat uji Benda uji Lab	Data Sekunder	Lab. Sentral Universitas Negeri Malang
5.	Uji Keausan Agregat	Alat uji Benda uji Lab	Data Sekunder	Lab. Teknik Sipil Universitas Negeri Malang

Sumber: Data Rencana, 2024

**Tabel 2. Sampel Benda Uji Silinder**

Kode Beton	Limbah Pecahan Marmer (%)	Jenis Pengujian	Ukuran (cm)	Jumlah Benda Uji		Total Benda Uji
				7 hari	28 hari	
KT1	0%	Uji Kuat Tekan	15 x 30	3	3	6
KT2	15%	Uji Kuat Tekan	15 x 30	3	3	6
KT3	25%	Uji Kuat Tekan	15 x 30	3	3	6
KT4	35%	Uji Kuat Tekan	15 x 30	3	3	6
<b>Total</b>				<b>12</b>	<b>12</b>	<b>24</b>

Sumber: Data Rencana, 2024

### Populasi dan Sampel

Populasi pada penelitian ini adalah benda uji kuat tekan berbentuk silinder berukuran 15 cm x 30 cm dengan campuran limbah pecahan marmer dari Kabupaten Tulungagung.

Proporsi campuran pada semen, pasir dan kerikil menggunakan perbandingan (1 : 2 : 2,5) dengan penambahan limbah pecahan marmer sebanyak 15%, 25%, dan 35% dari berat agregat kasar. Sampel merupakan bagian dari populasi yang akan diteliti.

Sampel pada penelitian ini menggunakan 12 benda uji umur beton 7 hari dan 12 benda uji umur beton 28 hari. Total benda uji silinder 24 buah.

### Instrumen Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan benda uji kuat tekan beton berbentuk silinder berukuran 15 cm x 30 cm. Peralatan penelitian, seperti: timbangan, satu set saringan agregat halus dan agregat kasar, oven, talam, kuas, cawan, piknometer, keranjang kawat, gelas ukur, kerucut abrams, tongkat penumbuk dari baja, kotak takar, penggaris, ember, sekop, sendok spesi, termometer, meteran, molen (*concrete mixer*), cetakan silinder, bak perendam, dan mesin pengujian kuat tekan. Bahan yang digunakan dalam pembuatan beton, yaitu: semen (tipe 1 PC), agregat halus (pasir lumajang), agregat kasar (kerikil dan limbah pecahan marmer) dan air (dari lab. Universitas Thribhuwana Tunggadewi Malang).

Perencanaan *Mix Design* ACI Untuk Kuat Tekan Rencana ( $f_c' = 21,7$  MPa)

Tabel 3. Rekapitulasi Komposisi Campuran Bahan Untuk 1 m<sup>3</sup>

Kode Beton	Limbah Marmer (%)	Limbah Marmer (kg/m <sup>3</sup> )	Agregat Kasar (kg/m <sup>3</sup> )	Agregat Halus (kg/m <sup>3</sup> )	Semen (kg/m <sup>3</sup> )	Air (kg/m <sup>3</sup> )
LM1	0%	0	948	703	394,23	205
LM2	15%	142,2	805,8	703	394,23	205
LM3	25%	237	711	703	394,23	205
LM4	35%	331,8	616,2	703	394,23	205

Sumber: Data Rencana, 2024

Pembuatan Campuran Beton

Tabel 4. Proporsi Bahan Campuran Beton Silinder Untuk 24 Benda Uji

Volume Silinder dengan angka keamanan (10%) (m <sup>3</sup> )	Prosentase (%)	Benda Uji	Komposisi Bahan				
			Limbah Marmer (kg)	Kerikil (kg)	Pasir (kg)	Semen (kg)	Air (litr)
0,00583	0%	6	0	33,18	24,6	13,8	7,2
0,00583	15%	6	4,98	28,2	24,6	13,8	7,2
0,00583	25%	6	8,28	24,9	24,6	13,8	7,2
0,00583	35%	6	11,58	21,6	24,6	13,8	7,2
<b>Total</b>		<b>24</b>	<b>24,84</b>	<b>107,88</b>	<b>98,4</b>	<b>55,2</b>	<b>28,8</b>

Sumber: Data Rencana, 2024

Tabel 5. Hasil Uji XRF Limbah Pecahan Marmer

Compound	Conc Unit (%)
SiO <sub>2</sub>	2,0
CaO	93,17
TiO <sub>2</sub>	0,1
MnO	0,044
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,06
SrO	0,62
MoO <sub>3</sub>	2,4
BaO	0,2
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37

Sumber: Hasil Pengujian, 2024

Pengujian Kuat Tekan

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan mutu beton sesuai SNI 1974:2011 tentang cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Dalam pengujian ini peneliti menggunakan umur beton 7 hari & 28 hari. Rumus kuat tekan beton, adalah sebagai berikut:

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dengan:

$$f_c' = \text{Kuat tekan (MPa)}$$

P = Gaya tekan aksial (N)

A = Luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

Metode Analisis Data

Dalam penelitian kuantitatif, analisis data dapat dilakukan setelah pengujian dan pengolahan data selesai dikerjakan supaya mendapatkan hasil sesuai yang diharapkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji XRF (*X-Ray Fluorencence*)

Tujuan dari penelitian ini untuk mengidentifikasi unsur kimia yang terkandung pada limbah pecahan marmer, khususnya unsur oksida. Sebagai studi awal pengujian limbah pecahan marmer Berdasarkan hasil uji XRF yang diteliti oleh penulis pada tabel di atas bahwa ada beberapa unsur kimia yang

terkandung pada limbah pecahan marmer, yaitu sebagai berikut: SiO<sub>2</sub> (*Silikon Dioksida*) 2,0%; CaO (*Kalsium Oksida*) 93,17%; TiO<sub>2</sub> (*Titanium Dioksida*) 0,1%; MnO (*Mangan Oksida*) 0,044%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (*Ferri Oksida*) 1,06%; SrO (*Stronsium Oksida*) 0,62%; MoO<sub>3</sub> (*Molibdenum Trioksida*) 2,4%; BaO (*Barium Oksida*) 0,2%; dan Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (*Ytterbium Trioksida*) 0,37%.



**Gambar 1. Pengujian XRF**

Sumber: Dokumentasi, 2024

### Hasil Pengujian Agregat

**Tabel 6. Hasil Rekapitulasi Pengujian Agregat**

Jenis Agregat	Pengujian	Acuan	Syarat	Hasil	Keterangan
Agregat Halus	Gradasi agregat	SNI 03-1968-1990	1,5 – 3,8	2,72	Memenuhi
	Kadar air	SNI 03-2834-2000	3% - 5%	4,35%	Memenuhi
	Berat jenis	SNI 03-1970-2008	≥ 2,5	2,52	Memenuhi
	Penyerapan air	SNI 03-1970-2008	≤ 3,0%	0,06%	Memenuhi
	Berat isi	SNI 03-4804-1998	≥ 1,4	1,59	Memenuhi
	Kadar lumpur	SNI 03-4142-1996	≤ 7,0%	0,01%	Memenuhi
Agregat Kasar	Gradasi agregat	SNI 03-1968-1990	6,0 – 7,1	6,21	Memenuhi
	Kadar air	SNI 03-2834-2000	3% - 5%	4,08%	Memenuhi
	Berat jenis	SNI 03-1969-2008	≥ 2,5	2,55	Memenuhi
	Penyerapan air	SNI 03-1969-2008	≤ 3,0%	0,04%	Memenuhi
	Berat isi	SNI 03-4804-1998	≥ 1,4	1,64	Memenuhi
	Kadar lumpur	SNI 03-4142-1996	≤ 1,0%	0,01%	Memenuhi
	Keausan agregat	SNI 2417:2008	≤ 40%	36,86%	Memenuhi
Limbah Pecahan Marmer	Gradasi agregat	SNI 03-1968-1990	6,0 – 7,1	6,0	Memenuhi
	Kadar air	SNI 03-2834-2000	3% - 5%	3,18%	Memenuhi
	Berat jenis	SNI 03-1969-2008	≥ 2,5	2,53	Memenuhi
	Penyerapan air	SNI 03-1969-2008	≤ 3,0%	0,04%	Memenuhi
	Berat isi	SNI 03-4804-1998	≥ 1,4	1,55	Memenuhi
	Kadar lumpur	SNI 03-4142-1996	≤ 1,0%	0,004%	Memenuhi
	Keausan agregat	SNI 2417:2008	≤ 40%	26,88%	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian, 2024



**Gambar 2. Pengujian Gradasi Limbah Pecahan Marmer**

Sumber: Dokumentasi, 2024

**Tabel 7. Hasil Perancangan *Mix Design* ACI**

No.	Uraian	Tabel/ Perhitungan	Nilai
1.	Kuat tekan rencana ( $f_c'$ )	Ditentukan	21,7 MPa = 221,279 kg/cm <sup>2</sup>
2.	Standar Deviasi (Sd)	Tabel 2.8	60 kg/cm <sup>2</sup>
3.	Margin (M)	1,64 x (Sd)	98,4 kg/cm <sup>2</sup>
4.	Kuat tekan rata-rata ( $f_{cr}$ )	$(f_c') + M$	319,679 kg/cm <sup>2</sup>
5.	Nilai <i>slump</i>	Tabel 2.9	75 mm - 100 mm
6.	Ukuran maksimal agregat kasar	Ditentukan	19 mm
7.	Bj semen	Ditentukan	3,15
8.	Semen yang digunakan	Ditentukan	Semen Tipe I PC
9.	Agregat yang digunakan:		
	a. Agregat halus	Ditentukan	Pasir Lumajang
	b. Agregat kasar	Ditentukan	Kerikil & limbah marmer
10.	Wair	Tabel 2.10	205 kg/m <sup>3</sup>
11.	Jumlah perkiraan udara yang terperangkap	Tabel 2.10	2%
12.	Faktor Air Semen (FAS)	Tabel 2.11	0,52
13.	Wsemen	$(Wair) / (FAS)$	394,23 kg/m <sup>3</sup>
14.	Modulus Kehalusan pasir	Ditentukan	2,72
15.	Volume agregat kering ( $V_k$ )	Tabel 2.13	0,632
16.	Berat kering tusuk (Bk)	Ditentukan	1,5 t/m <sup>3</sup>
17.	Wkerikil	$(V_k) \times (Bk)$	948 kg/m <sup>3</sup>
18.	Bj pasir	Ditentukan	2,52
19.	Bj kerikil	Ditentukan	2,55
20.	Vair	$(Wair) / 1000$	0,205 m <sup>3</sup> (a)
21.	Vsemen	$((Wsemen) / (Bj semen)) / 1000$	0,125 m <sup>3</sup> (b)
22.	Vkerikil	$((Wkerikil) / (Bj kerikil)) / 1000$	0,3718 m <sup>3</sup> (c)
23.	Vudara	2%	0,02 m <sup>3</sup> (d)
24.	Volume tanpa agregat halus	a + b + c + d	0,7218 m <sup>3</sup>
25.	Vpasir	1 - 0,7218	0,279 m <sup>3</sup>
26.	Wpasir	$(0,279) \times Bj pasir$	703 kg/m <sup>3</sup>

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Penelitian Safari & Setiawan (2023) ada beberapa unsur kimia yang terkandung pada limbah pecahan marmer, yaitu sebagai berikut: SiO<sub>2</sub> (*Silikon Dioksida*) 0,13%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (*Aluminium Oksida*) 0,31%; FeO<sub>3</sub> (*Besi Dioksida*) 0,04%; CaO (*Kalsium Oksida*) 55,07%; MgO (*Magnesium Oksida*) 0,36%; K<sub>2</sub>O (*Kalium Oksida*) 0,01%; SO<sub>3</sub> (*Sulfur Trioksida*) 0,08% dan lain-lain 44%.

Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa unsur kimia paling besar pada limbah pecahan marmer adalah CaO (*Kalsium Oksida*).

Berdasarkan rekapitulasi dari keseluruhan pengujian agregat meliputi: pengujian gradasi, kadar air, kadar lumpur, berat jenis dan penyerapan, berat isi serta uji keausan, yang telah dilakukan penulis maka disimpulkan bahwa keseluruhan agregat halus serta agregat kasar dan limbah pecahan marmer telah memenuhi ketentuan SNI.

### Hasil Perancangan *Mix Design* ACI

Hasil perancangan *mix design* beton yang dipakai dalam penelitian ini berdasarkan metode *American Concrete Institute* (ACI 211.1-91). Tujuan perancangan ini untuk mengetahui berapa banyak campuran bahan yang digunakan pada beton untuk kuat tekan rencana ( $f_c' = 21,7$  MPa). Berikut ini adalah hasil *mix design* kebutuhan silinder:

### Pengujian *Slump*

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan angka *slump* dengan cara yang tepat serta untuk mengontrol mutu beton. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada tabel di atas. Dari tabel didapatkan nilai *slump* yang direncanakan sebesar 75 mm – 100 mm sesuai dengan ketentuan ACI 211.1-91. Nilai *slump* dipengaruhi oleh faktor air semen. Apabila semakin banyak air yang digunakan dibanding semen, maka akan mengakibatkan pasta semen lebih encer dan nilai *slump* lebih tinggi.

**Tabel 8. Pengujian *Slump***

<b>Limbah Pecahan Marmer</b>	<b>Nilai <i>Slump</i> (cm)</b>
0 %	10
15 %	9
25 %	8,5
35 %	7,5

Sumber: Hasil Pengujian, 2024



**Gambar 3. Pengujian Nilai *Slump***

Sumber: Dokumentasi, 2024

### Pembuatan Benda Uji

Setelah pengujian *slump* selanjutnya pembuatan benda uji pada campuran beton yang akan dicor untuk cetakan berbentuk silinder dari logam tebal.

### Perawatan Benda Uji

Setelah beton mengeras maka langkah selanjutnya melakukan perawatan beton.

Untuk memudahkan pengujian, benda uji dikeluarkan dari cetakan setelah didiamkan selama  $\pm 24$  jam.

Setelah satu hari penuh, cetakan dilepas dan direndam selama perawatan benda uji, yaitu: perendaman umur beton 7 hari dan 28 hari.



**Gambar 4. Pembuatan Benda Uji**

Sumber: Dokumentasi, 2024



**Gambar 5. Proses Perendaman Benda Uji**

Sumber: Dokumentasi, 2024

**Tabel 9. Pengujian Kuat Tekan Umur 7 Hari**

No. Benda Uji	Limbah Batu Marmer	Berat (kg)	Dimensi		Luas Bidang (mm <sup>2</sup> )	Beban Tekan (N)	Kuat Tekan (7 Hari) (MPa)	Rata-Rata (MPa)
			T (mm)	D (mm)				
BU 1	0%	12.34	300	150	17662.5	233900	13.24	13.06
BU 2		12.26	300	150	17662.5	205300	11.62	
BU 3		12.22	300	150	17662.5	253000	14.32	
BU 1	15%	12.73	300	150	17662.5	185700	10.51	10.42
BU 2		12.27	300	150	17662.5	160200	9.07	
BU 3		12.68	300	150	17662.5	206000	11.66	
BU 1	25%	12.50	300	150	17662.5	231300	13.10	15.60
BU 2		12.55	300	150	17662.5	299900	16.98	
BU 3		12.43	300	150	17662.5	295500	16.73	
BU 1	35%	12.54	300	150	17662.5	264100	14.95	16.04
BU 2		12.67	300	150	17662.5	353400	20.01	
BU 3		12.52	300	150	17662.5	232600	13.17	

Sumber: Hasil Pengujian, 2024

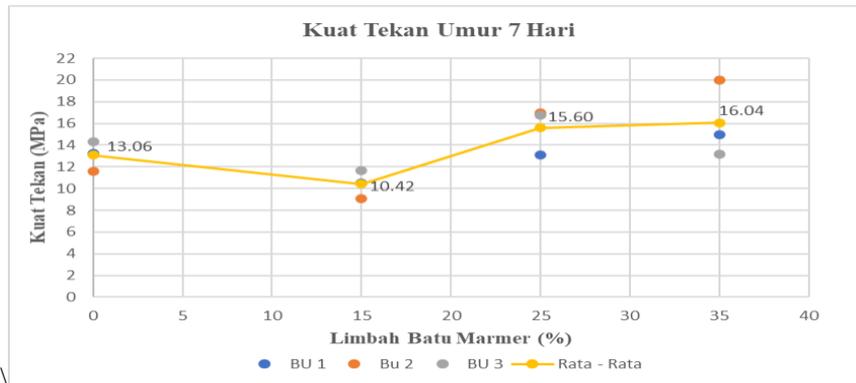
### Pengujian Kuat Tekan Umur 7 Hari

Berdasarkan dari hasil pengujian kuat tekan umur 7 hari pada tabel dan grafik di atas didapatkan nilai kuat tekan rata-rata untuk beton normal 0% sebesar 13,06 MPa, variasi limbah marmer 15% sebesar 10,42 MPa, variasi limbah marmer 25% sebesar 15,60 MPa dan variasi limbah marmer 35% sebesar 16,04 MPa.

Penelitian Lestari (2021) nilai kuat tekan rata-rata umur 7 hari untuk beton normal 0% sebesar 18,80 MPa, variasi limbah marmer 15% sebesar 20,23 MPa, variasi limbah marmer 25% sebesar 20,98 MPa dan variasi limbah marmer 35% sebesar 20,19 MPa. Dari hasil masing-masing persentase limbah pecahan marmer umur 7 hari belum memenuhi nilai kuat tekan rencana ( $f_c' = 25$  MPa).

Penelitian Safari & Setiawan (2023) nilai kuat tekan rata-rata umur 7 hari untuk

variasi limbah marmer 10% sebesar 26 MPa, variasi limbah marmer 25% sebesar 25 MPa dan variasi limbah marmer 50% sebesar 29 MPa. Dari hasil masing-masing persentase limbah pecahan marmer umur 7 hari memenuhi nilai kuat tekan rencana ( $f_c' = 25$  MPa). Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian yang dilakukan peneliti untuk pengujian kuat tekan umur 7 hari pada masing-masing persentase 0%, 15%, 25% dan 35% berturut-turut 13,06 MPa; 10,42 MPa; 15,60 MPa; dan 16,04 MPa belum memenuhi nilai kuat tekan rencana ( $f_c' = 21,7$  MPa) sedangkan dari hasil penambahan limbah pecahan marmer pada peningkatan nilai kuat tekan umur 7 hari, yaitu: semakin banyak digunakannya limbah pecahan marmer untuk menggantikan agregat kasar maka nilai kuat tekan semakin naik. Nilai kuat tekan umur 7 hari tertinggi ada pada variasi 25%.



**Gambar 6. Grafik Kuat Tekan Umur 7 Hari**

Sumber: Hasil Pengujian, 2024



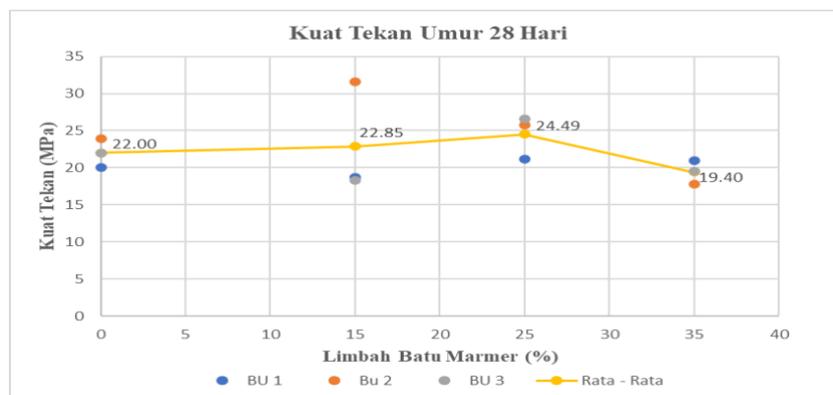
**Gambar 7. Pengujian Kuat Tekan Umur 7 Hari**

Sumber: Dokumentasi, 2024

**Tabel 10. Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari**

No. Benda Uji	Limbah Batu Marmer	Berat (kg)	Dimensi		Luas Bidang (mm <sup>2</sup> )	Beban Tekan (N)	Kuat Tekan (28 Hari) (MPa)	Rata-Rata (MPa)
			T (mm)	D (mm)				
BU 1	0%	12.94	300	150	17662.5	354800	20.09	22.00
BU 2		13.08	300	150	17662.5	422600	23.93	
BU 3		12.78	300	150	17662.5	388100	21.97	
BU 1	15%	12.75	300	150	17662.5	330700	18.72	22.85
BU 2		13.04	300	150	17662.5	557500	31.56	
BU 3		12.78	300	150	17662.5	322800	18.28	
BU 1	25%	12.72	300	150	17662.5	373400	21.14	24.49
BU 2		12.90	300	150	17662.5	455500	25.79	
BU 3		12.91	300	150	17662.5	468800	26.54	
BU 1	35%	12.83	300	150	17662.5	369500	20.92	19.40
BU 2		12.95	300	150	17662.5	313900	17.77	
BU 3		12.89	300	150	17662.5	344600	19.51	

Sumber: Hasil Pengujian, 2024



**Gambar 8. Grafik Kuat Tekan Umur 28 Hari**

Sumber: Hasil Pengujian, 2024



**Gambar 9. Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari**

Sumber: Dokumentasi, 2024

### Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari

Berdasarkan dari hasil pengujian kuat tekan umur 28 hari pada tabel dan grafik di atas maka nilai kuat tekan rata-rata untuk beton normal 0% sebesar 22,00 MPa, variasi limbah

marmer 15% sebesar 22,85 MPa, variasi limbah marmer 25% sebesar 24,49 MPa dan variasi limbah marmer 35% sebesar 19,40 MPa.

Penelitian Lestari (2021) nilai kuat tekan rata-rata umur 28 hari untuk beton normal 0% sebesar 31,94 MPa, variasi limbah marmer 15% sebesar 32,77 MPa, variasi limbah marmer 25% sebesar 33,22 MPa dan variasi limbah marmer 35% sebesar 32,64 MPa. Dari hasil masing-masing persentase limbah pecahan marmer umur 28 hari memenuhi nilai kuat tekan rencana ( $f_c' = 25$  MPa). Nilai kuat tekan pada umur 28 hari tertinggi ada pada variasi 25% sebesar 33,22 MPa.

Menurut Zuraidah & Jatmiko (2007) nilai kuat tekan beton yang menggunakan limbah pecahan marmer menurun dikarenakan: permukaan batu marmer yang halus, sehingga mengakibatkan daya rekat antar agregat berkurang.

Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian yang dilakukan peneliti

## SIMPULAN

Berdasarkan dari hasil pengujian kuat tekan limbah pecahan marmer sebagai pengganti agregat kasar pada umur beton 7 hari dan 28 hari, maka dapat disimpulkan bahwa: 1.) Penambahan limbah pecahan marmer pada peningkatan nilai kuat tekan umur 7 hari, yaitu: semakin banyak digunakannya limbah pecahan marmer untuk menggantikan agregat kasar maka nilai kuat tekan semakin naik; dan 2.) Penambahan limbah pecahan marmer pada peningkatan nilai kuat tekan umur 28 hari, yaitu: semakin ditambah kadar limbah pecahan marmer untuk menggantikan agregat kasar maka nilai kuat tekan semakin turun. Nilai kuat tekan umur 28 hari tertinggi ada pada variasi 25% sebesar 24,49 MPa. Kandungan zat kapur (CaO) yang tinggi pada limbah pecahan marmer yang apabila direndam semakin lama mengakibatkan air rendaman keruh sehingga mempengaruhi nilai kuat tekan.

## DAFTAR PUSTAKA

ACI 211.1-91. (1991). *Standard Practice for*

untuk pengujian kuat tekan umur 28 hari pada masing-masing persentase 0%, 15%, dan 25% berturut-turut 22,00 MPa; 22,85 MPa; dan 24,49 MPa memenuhi nilai kuat tekan rencana ( $f_c' = 21,7$  MPa) sedangkan pada variasi 35% sebesar 19,40 MPa tidak memenuhi nilai kuat tekan rencana ( $f_c' = 21,7$  MPa). Nilai kuat tekan umur 28 hari tertinggi ada pada variasi 25% sebesar 24,49 MPa. Dari hasil penambahan limbah pecahan marmer pada peningkatan nilai kuat tekan umur 28 hari, yaitu: semakin ditambah kadar limbah pecahan marmer untuk menggantikan agregat kasar maka nilai kuat tekan semakin turun. Kandungan zat kapur (CaO) yang tinggi pada limbah pecahan marmer yang apabila direndam semakin lama mengakibatkan air rendaman keruh sehingga mempengaruhi nilai kuat tekan.

### *Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.*

Farnandu, Y., Warti, A., & Alzahri, S. (2022). Analisa Tebal Perkerasan Kaku (*Rigit Pavement*) Di Desa Serapek Kecamatan Teluk Gelam Kabupaten Ogan Komering Ilir (OKI). *JUTEKS : Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 20–27.

Fitriani, D., Kusdian, R. D., & Bakar, B. A. (2021). Kajian Kuat Tekan Beton Substitusi Agregat Halus Dari Limbah Pemotongan Batu Marmer dan Agregat Kasar Dari Limbah Pemotongan Batu Kapur. *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS)*, 1(1), 89–98.

Julmile, E. M., Phengkarsa, F., & Tonapa, S. R. (2023). Pengaruh Silica Fume dan Pecahan Batu Marmer Sebagai Bahan Substitusi Pada Campuran Beton. *Paulus Civil Engineering Journal*, 5(1), 29–39.

Lestari, A. D. (2021). Pengujian Kuat Tekan Pada Beton Dengan Limbah Marmer Sebagai Substitusi Agregat Kasar. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 6(1), 61–69.

Nita, V. (2022). Analisa Kuat Tekan Beton

- Pada Rigid Pavement Menggunakan Abu Ampas Kopi Pengganti Agregat Halus. *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi*, 8(2), 89–98.
- Oktaviastuti, B., & Yurnalisdell, Y. (2020). Studi Kuat Tekan Beton Geopolymer Dengan Fly Ash Sebagai Perkerasan Kaku Di Pesisir Pantai. *Jurnal Fondasi*, 9(2), 201–214.
- Rohim, F. (2018). Analisis Campuran Biji Kromit Dengan CaO-CaCl<sub>2</sub> Menggunakan XRF BENCH TOP. In *Laporan Praktik Kerja Industri Balai Penelitian Teknologi Mineral, Bandar Lampung* (Vol. 372, Issue 2).
- Saepudin, U., Hartati, G., & Nur Bakri, S. (2022). Analisis Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Berserat Polymeric Sebagai Material Perkerasan Kaku (Rigid Pavement). *Jurnal Media Teknologi*, 9(1), 88–95.
- Safari, A., & Setiawan, A. A. (2023). Pemanfaatan Limbah Batu Marmer sebagai Substitusi Parsial Agregat Kasar pada Campuran Beton terhadap Kuat Tekan Beton. *Dinamika Rekayasa*, 19(2), 141–146.
- SNI 03-1968-1990. (1990). Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 1–5.
- SNI 03-1969-2008. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 1–10.
- SNI 03-1970-2008. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–12.
- SNI 03-2834-2000. (2000). Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 1–34.
- SNI 03-2847-2002. (2002). Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 1–278.
- SNI 03-4142-1996. (1996). Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat Yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm). *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*, 200(200), 1–6.
- SNI 03-4804-1998. (1998). Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat. *Badan Standar Nasional Indonesia*.
- SNI 1974:2011. (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. *Badan Standardisasi Nasional Indonesia*.
- SNI 2417:2008. (2008). Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles. *Standar Nasional Indonesia*, 1–9.
- Utama, L. A., Candra, A. I., & Ridwan, A. (2020). Pengujian Kuat Tekan Pada Beton Dengan Penambahan Limbah Marmer Dan Serat Batang Pisang. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 3(2), 304–316.
- Yusuf Eko Saputro, M., Hasanuddin, A., & Nurtanto, D. (2022). Pemanfaatan Limbah Batu Marmer sebagai Agregat Kasar pada Campuran Beton Perkerasan Kaku yang Menggunakan Bahan Tambah Abu Sekam Padi. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 7(1), 93–103.
- Zuraidah, S., & Jatmiko, R. A. (2007). Pengaruh Penggunaan Limbah Pecahan Batu Marmer Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Kasar Pada Kekuatan Beton. *Jurnal Rekayasa Perencanaan*, 3(3).