

**EFEKTIVITAS PENGGUNAAN
LIMBAH SERBUK MARMER
SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT
HALUS PADA PERKERASAN KAKU**

**Blima Oktaviastuti¹⁾, Pamela Dinar
Rahma²⁾, M. Sa'dillah^{3*)}, Candra Wangi
Tanggung⁴⁾**

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas
Tribhuwana Tunggaladewi,
Chandratanggung357@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas
Tribhuwana Tunggaladewi,
blima.oktavia90@gmail.com

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas
Tribhuwana Tunggaladewi,
pamela.dinar@unitri.ac.id

⁴Program Studi Teknik Sipil, Universitas
Tribhuwana Tunggaladewi,
muhsad93@gmail.com

ABSTRAK

Pesatnya perkembangan infrastruktur mengakibatkan peningkatan permintaan akan bahan-bahan infrastruktur. Penggunaan bahan alami dalam produksi beton semakin tidak terkontrol dengan kelanjutan pembangunan infrastruktur saat ini. Dengan meningkatnya produksi marmer di Indonesia, limbah serbuk marmer yang dihasilkan menjadi masalah lingkungan yang perlu diatasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton dengan penambahan limbah serbuk marmer 0%, 15%, 25%, dan 35%. Rancangan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimental. Analisis data menggunakan standar ACI (American concrete institute). Pembuatan benda uji pada penelitian ini menggunakan silinder berdiameter 15 x 30 cm dengan kuat tekan beton yang direncanakan $f'c$ 21.7 MPa. Persentase limbah serbuk marmer yang

digunakan yaitu variasi 0%, 15%, 25% dan 35% dengan umur rencana 7 dan 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah serbuk marmer dapat mempengaruhi nilai kuat tekan beton, di mana terdapat nilai optimal yang dapat dicapai pada umur 28 hari dengan variasi 15% yaitu 23.79 Mpa.

Kata kunci: Beton, Limbah Serbuk Marmer, Kuat Tekan.

ABSTRACT

The rapid development of infrastructure has led to an increase in demand for infrastructure materials. The use of natural materials in concrete production is becoming increasingly uncontrolled with the continuation of current infrastructure development. With the increase in marble production in Indonesia, the marble powder waste produced has become an environmental problem that needs to be addressed. This study aims to determine the compressive strength of concrete with the addition of 0%, 15%, 25%, and 35% marble powder waste. The research design used in this study is quantitative with a experimental research type. Data analysis uses the ACI (American Concrete Institute) standard. The test specimens in this study were made using cylinders with a diameter of 15 x 30 cm with a planned concrete compressive strength of $f'c$ 21.7 MPa. The percentage of marble powder waste used varied between 0%, 15%, 25%, and 35% with a planned age of 7 and 28 days. The results showed that the addition of marble powder waste affected the compressive strength of the concrete, with an optimal value of 23.79 MPa achieved at 28 days with a variation of 15%.

Keywords: Concrete, Marble Powder Waste, Pressure Strength.

1. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan infrastruktur mengakibatkan peningkatan permintaan akan bahan-bahan infrastruktur. Salah satu bahan konstruksi yang umum digunakan saat ini adalah beton, yang memiliki keunggulan dibandingkan dengan bahan lain dalam mendukung pembangunan infrastruktur (Raghunath dkk., 2019). Sumber daya alam tambahan, seperti pasir dan rumput, diperlukan untuk mengatasi kekurangan bahan konstruksi yang dibutuhkan dalam pembuatan beton ketika permintaan untuk unsur ini meningkat. Dengan demikian, sebuah diskursus yang dikenal sebagai "*Green Construction*," atau konstruksi ramah lingkungan, masih dikembangkan mengingat pentingnya infrastruktur bangunan dan hubungannya dengan keberlanjutan lingkungan. Menggunakan kembali limbah industri Indonesia adalah salah satu aspek dari implementasi *Green Construction* (Dewi Fitriani, R. Didin Kusdian, 2021).

Pertumbuhan industrialisasi dan infrastruktur yang pesat, peningkatan skala infrastruktur menyebabkan menipisnya bahan bangunan alami. Selain itu, industri menghasilkan banyak limbah yang berdampak negatif pada lingkungan. Pendekatan yang lebih efektif untuk mengatasi masalah ini adalah melalui pengembangan metode alternatif yang bertujuan mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan bahan alam secara berlebihan (Sharma dkk., 2020). Marmer telah umum digunakan sebagai bahan bangunan sejak zaman dahulu. Pembuangan bahan serbuk marmer oleh industri, yang terdiri dari serbuk yang sangat halus, saat ini merupakan salah satu masalah lingkungan di seluruh dunia (Demirel, 2010).

Marmer merupakan batuan alami yang telah mengalami proses metamorfosis dalam jangka waktu yang sangat panjang, sehingga lebih keras dibandingkan batuan kapur asli. Marmer yang digali digunakan sebagai bahan dasar kerajinan dan lantai (Perkasa

dkk., 2020). Limbah ini dapat menjadi ancaman besar bagi ekosistem jika langkah-langkah efektif tidak diambil untuk mengurangi produksinya. Selain mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan, langkah-langkah perlu diambil untuk mengurangi atau mendaur ulang limbah ini dengan cara yang efektif (Aditi A. Mhamal, 2023).

Berdasarkan SNI-03-2847-2002 beton membentuk campuran antara bahan pengikat, yaitu semen portland, dengan bahan yang diikat berupa agregat halus, agregat kasar, dan air, tanpa bahan tambahan, yang setelah mengeras membentuk massa padat dengan komposisi tertentu (Latu Mowo & Arumningsih, 2021). Saat menyiapkan campuran beton, bahan yang digunakan harus diuji untuk memperoleh data tentang agregat yang sesuai penggunaannya. Berdasarkan data material, dilakukan perhitungan komposisi campuran untuk memperoleh agregat yang memenuhi persyaratan, baik dari segi perbandingan berat maupun volume, sehingga dapat digunakan dalam proses pencampuran beton (Utama dkk., 2020).

Kelanjutan pembangunan infrastruktur, dampak negatif terhadap lingkungan menjadi ancaman serius bagi kehidupan manusia (Daffa Nabhan dkk., 2023). Pembangunan infrastruktur berdampak pada meningkatnya kerusakan lingkungan, sementara kesadaran masyarakat terhadap bencana akibat aktivitas manusia juga semakin tinggi. Proses pembuatan beton masih bergantung pada bahan alam seperti pasir, batu split, dan semen, yang menyebabkan berkurangnya ketersediaan sumber daya tersebut. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah pemanfaatan limbah sebagai bahan baku pengganti (Putri & Tobing, 2012).

Penambangan dan pengolahan marmer di Indonesia tersebar di beberapa pulau. Tulungagung merupakan salah satu daerah penghasil marmer tertua dan terbesar di Indonesia (Handayani dkk., 2023). Desa

Besole dan Desa Gamping di Kecamatan Campurdarat, Tulungagung, Jawa Timur, merupakan produsen marmer terkemuka dengan lebih dari 150 unit industri di Besole dan 201 unit di Gamping, termasuk satu pabrik besar. Limbah dari pemotongan batu marmer menggunakan mesin gergaji berpendingin air dikenal sebagai serbuk marmer (Amal & Saputra, 2019). Perkerasan kaku menggunakan semen (PC) sebagai perekat, sehingga membuatnya rigid. Penggunaan semen sendiri telah memberikan dampak negatif terhadap lingkungan selama bertahun-tahun. Hal ini disebabkan komponen utama semen adalah kapur yang semakin lama semakin berkurang. Dalam penelitian ini, limbah marmer digunakan sebagai agregat halus untuk mengurangi konsumsi PC (Oktaviastuti dkk., 2019, 2021; Oktaviastuti & Yurnalisdell, 2020).

1.1. Rumusan Masalah

Apa pengaruh penambahan limbah serbuk marmer menjadi pengganti agregat halus dapat memengaruhi kuat tekan beton pada perkerasan kaku?

1.2. Tujuan Penelitian

Untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah serbuk marmer menjadi pengganti agregat halus dapat memengaruhi kuat tekan beton pada perkerasan kaku.

1.3. Urgensi Penelitian

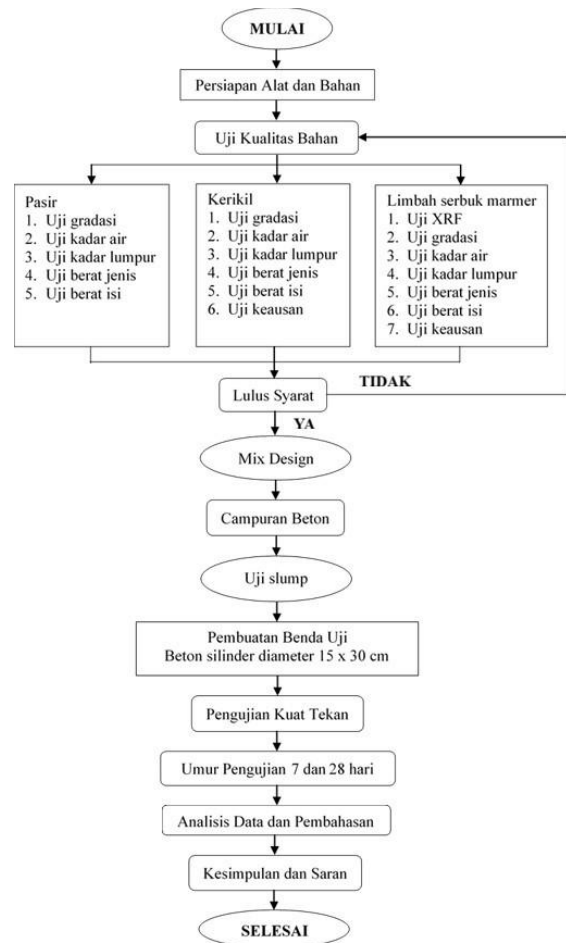
Secara teoritis, memperluas pengetahuan tentang penggunaan limbah industri sebagai material alternatif dalam beton perkerasan kaku. Pemanfaatan serbuk marmer sebagai substitusi agregat halus dapat memperkaya kajian mengenai hubungan komposisi material dengan kekuatan dan durabilitas beton, serta mendukung pengembangan teori tentang konstruksi berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Secara praktis, penelitian ini bermanfaat untuk mengurangi limbah

marmer yang mencemari lingkungan, menghemat penggunaan pasir alam, dan menekan biaya produksi beton. Hasil penelitian dapat menjadi solusi aplikatif bagi industri konstruksi serta mendukung penerapan konsep pembangunan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan rancangan penelitian kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimental dilaksanakan di laboratorium untuk melakukan pengujian bahan dan sampel dalam mencari kuat tekan beton yang direncanakan. Penelitian dilaksanakan berdasarkan peraturan ACI (*American Concrete Institute*) serta adanya referensi sesuai literatur terkait.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Populasi dalam penelitian ini adalah data hasil dari pengujian kuat tekan beton perkerasan kaku yang dimana limbah serbuk marmer dijadikan bahan pengganti agregat halus. Sedangkan sampel pengujian kuat tekan beton dibuat dengan sampel benda uji berbentuk silinder memiliki ukuran 15cm x 30cm dan total benda uji dari 4 variasi limbah serbuk marmer (0%, 15%, 25%, 35%) sebanyak 24 benda uji.

Tabel 1 merupakan rincian dari jumlah kebutuhan benda uji yang diperlukan untuk penelitian. Penelitian dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tungadewi. Setelah pelaksanaan pengujian dan pengolahan data selesai, analisis data diterapkan untuk memastikan data yang dikumpulkan sesuai dengan sampel yang diuji. Analisis data mengacu pada

perhitungan secara matematis yang mengacu pada ACI 211.1-91.

Tabel 1.
Sampel Benda Uji dan Persentase Bahan Tambahkan Limbah Serbuk Marmer

% filler marmer	Jenis Uji	Ukuran (cm)	Jumlah (buah)		Total Benda Uji
			7 Hari	28 Hari	
0%	Kuat Tekan	15x30	3	3	6
15%	Kuat Tekan	15x30	3	3	6
25%	Kuat Tekan	15x30	3	3	6
35%	Kuat Tekan	15x30	3	3	6
TOTAL			12	12	24

Rekapitulasi hasil perhitungan komposisi campuran beton sesuai dengan pedoman ACI yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2.
Komposisi Beton sesuai ACI ($f_c' = 21,7$ MPa)

Kode Beton	Prosentase Kadar	Filler Marmer	Batuan Pecah	Pasir	PC	Air
Satuan	(%)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)
M-1	0%	0.00	948	703	394.23	205
M-2	15%	142.2	805.8	703	394.23	205
M-3	25%	237	711	703	394.23	205
M-4	35%	331.8	616.2	703	394.23	205

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengujian Agregat

a. Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengukur gradasi agregat halus.

Gradasi dihitung dengan persentase jumlah agregat halus yang melewati susunan saringan berukuran 3/8" atau 9,5mm. Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian agregat halus.

Tabel 3.
Rekapitulasi Uji Agregat Halus

Jenis Uji	Syarat	Standar	Hasil Uji	Keterangan
Gradasi	1.5-3.8	SNI 03 1968-1990	2.72	Valid
Kadar Air	< 5%	SNI 03-1971-1990	4.35%	Valid
Kadar Lumpur	≤ 7.0%	SNI 03-4142-1996	0.01%	Valid
Berat jenis SSD	≥ 2.5	SNI 03-1970-2008	2.52	Valid
Penyerapan Air	≤ 3.0%	SNI 03-1970-2008	0.06%	Valid
Uji berat isi	≥ 1.4	SNI 03-4804-1998	1.59	Valid

Berdasarkan hasil analisis pengujian agregat halus Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa hasil yang didapat telah memenuhi syarat yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

b. Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Tujuan pemeriksaan agregat kasar untuk menetapkan berat jenis total (bulk), berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu, serta kadar penyerapan air.

Tabel 4.
Rekapitulasi Uji Agregat Kasar

Jenis Uji	Syarat	Standar	Hasil Uji	Keterangan
Gradasi	6.0-7.1	SNI 03-1968-1990	6.21	Valid
Kadar Air	< 5%	SNI 03-1971-1990	4.08%	Valid
Kadar Lumpur	≤ 1.0%	SNI 03-4142-1996	0.01%	Valid
Berat jenis SSD	≥ 2.5	SNI 03-1968-2008	2.55	Valid
Penyerapan air	≤ 3 %	SNI 03-1969-2008	0.04%	Valid
Berat isi	≥ 1.4	SNI 03-4804-1998	1.64	Valid
Keausan	≤ 40%	SNI 2417-2008	36.86%	Valid

Berdasarkan hasil analisis pengujian agregat kasar nampak pada tabel 4 mampu disimpulkan bahwa hasil yang didapat telah memenuhi syarat yang sesuai dengan standar yang telah ditentukan.

c. Hasil Pemeriksaan Limbah Serbuk Marmer

Hasil pengujian limbah serbuk marmer diawali dengan uji XRF (*X-Ray Fluorescence*). Pengujian tersebut dilakukan untuk menganalisis kandungan unsur kimia yang terkandung dalam limbah serbuk marmer. Tabel 5 menunjukkan bahwa hasil uji XRF diperoleh nilai tertinggi pada kandungan Kalsium Oksida (CaO) sebanyak 93,17% dan kandungan terendah ada pada Mangan Oksida (MnO) sebanyak 0.044%.

Tabel 5.
Rekapitulasi Uji XRF Filler Marmer

Kandungan	Persentase (%)
Silicon dioxide	2,0
Calcium oxide	93,17
Titanium dioxide	0,1
Manganese(II) oxide	0,044
Iron(III) oxide	1,06
Strontium oxide	0,62
Molybdenum(VI) oxide	2,4
Barium oxide	0,2
Ytterbium(III) oxide	0,37

Setelah melalui pengujian XRF, dilanjutkan untuk melakukan pengujian limbah serbuk marmer. Tabel 6 merupakan hasil pengujian limbah serbuk marmer. Hasil tersebut menunjukkan bahwa di semua tahapan pengujian diperoleh hasil yang telah memenuhi standar SNI.

Tabel 5.
Hasil Pengujian Limbah Serbuk Marmer

Jenis Uji	Syarat	Standar	Hasil Uji	Keterangan
Gradasi	6.0-7.1	SNI 03-1968-1990	6.0	Valid
Kadar Air	< 5%	SNI 03-1971-2011	3.32%	Valid
Kadar Lumpur	≤ 1.0%	SNI 03-4142-1996	0.1%	Valid
Berat jenis SSD	≥ 2.5	SNI 03-1970-2008	2.51	Valid
Penyerapan air	≤ 3.0%	SNI 03-1970-2008	0.18	Valid
Berat isi	≥ 1.4	SNI 03-4804-1998	1.45	Valid

3.2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton ialah banyaknya jumlah beban per satuan luas yang ditahan oleh benda uji sampel beton sebelum mengalami kerusakan akibat gaya tekan (Malino dkk., 2019). Sebelum pengujian kuat tekan, sampel diangkat dari rendaman dan dibiarkan selama 1 hari, kemudian diuji sesuai dengan umur beton yang ditentukan (Pratama dkk., 2023).

a. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 7 Hari

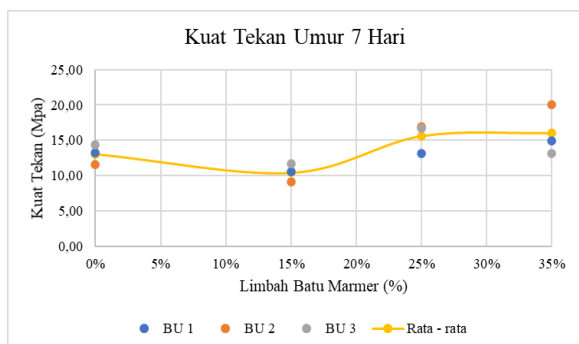
Benda uji yang dibentuk silinder diameter 15cm x 30cm. Pengecekan kekuatan beton yang dilakukan oleh peneliti pada umur 7 hari. Rata-rata kuat tekan beton dari tiga benda uji silinder untuk setiap variasi penggantian agregat halus dengan limbah serbuk marmer disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6.

Rekapitulasi Uji Kuat Tekan Beton dengan Filler Serbuk Marmer Umur 7 Hari

Benda Uji	Filler Marmer	Berat (kg)	Dimensi		Luas Penampang (mm ²)	Beban Tekan (N)	Mutu Beton 7 hari (MPa)	Rata-Rata (MPa)
			T (mm)	D (mm)				
1	0%	12.34	300	150	17662.5	233900	13.24	13.06
2		12.26	300	150		205300	11.62	
3		12.22	300	150		253000	14.32	
1	15%	12.37	300	150	17662.5	259900	14.71	13.98
2		12.46	300	150		271500	15.37	
3		12.43	300	150		209600	11.87	
1	25%	12.41	300	150	17662.5	309300	17.51	15.99
2		12.50	300	150		305300	17.29	
3		12.33	300	150		232600	13.17	
1	35%	12.32	300	150	17662.5	238300	13.49	14.10
2		12.36	300	150		274500	15.54	
3		12.44	300	150		234300	13.27	

Pada sewaktu umur 7 hari, beton mendapati pengembangan kuat tekan pada variasi 15%, 25%, dan 35%, dengan nilai tertinggi 15,99 MPa tercapai pada variasi 25%, sedangkan beton normal (0%) memiliki kuat tekan sebesar 13,06 MPa.



Gambar 2.

Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Umur 7 Hari

Hasil pengujian tekan kuat beton limbah serbuk marmer di atas menunjukkan bahwa tiga campuran variasi LSM yang berbeda tidak mencapai mutu beton f_c' 21.7 MPa yang direncanakan.

Pada penelitian sebelumnya, pengujian kuat tekan beton dengan variasi limbah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% menunjukkan nilai tertinggi 27,3 MPa pada variasi 50% yang menggunakan batu marmer dan batu kapur sebagai pengganti agregat kasar dan halus. Selain itu, beton tersebut telah mencapai mutu beton yang direncanakan (Dewi Fitriani, R. Didin Kusdian, 2021).

Berdasarkan perbandingan tersebut, dapat dirangkum bahwa penggunaan limbah serbuk marmer sebagai pengganti agregat

halus dalam penelitian ini menghasilkan kuat tekan beton yang bervariasi pada umur 7 hari, bernilai tertinggi mencapai 15,99 MPa. Penelitian terdahulu yang menggunakan limbah batu marmer dan batu kapur juga menunjukkan variasi kuat tekan beton pada umur yang sama, meskipun dengan persentase limbah yang berbeda. Perbandingan ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah serbuk marmer dalam beton perkerasan kaku dapat memberikan hasil kuat tekan yang sebanding dengan penggunaan limbah batu marmer dan batu kapur. Namun, perlu diperhatikan bahwa perbedaan jenis limbah dan variasi

persentase penggunaannya dapat memengaruhi nilai kuat tekan beton yang dihasilkan.

b. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

Peneliti melakukan pengujian kekuatan beton pada usia 28 hari. Perbedaan uji yang digunakan berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Rata-rata hasil uji tekan beton dari masing-masing tiga benda uji untuk setiap variasi penggantian agregat halus dengan limbah serbuk marmer ditunjukkan pada Tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7.

Rekapitulasi Uji Kuat Tekan Beton dengan Filler Serbuk Marmer Umur 28 Hari

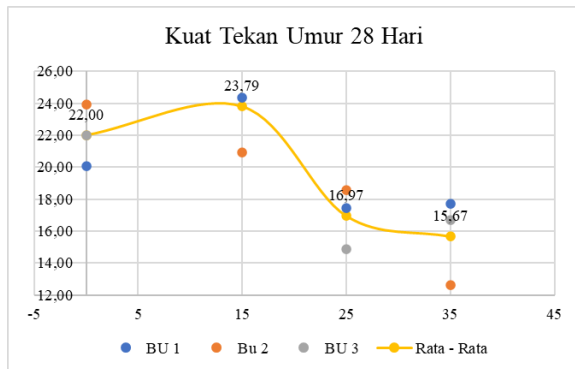
Benda Uji	Filler Marmer	Berat	Dimensi		Luas Penampang	Beban Tekan	Mutu Beton 28 Hari	Rata-Rata
			T	D				
		(kg)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(N)	(Mpa)	(Mpa)
1	0%	12.94	300	150	17662.5	354800	20.09	22.00
2		13.08	300	150		422600	23.93	
3		12.78	300	150		388100	21.97	
1	15%	12.58	300	150	17662.5	430500	24.37	23.79
2		12.78	300	150		369900	20.94	
3		12.65	300	150		460100	26.05	
1	25%	12.37	300	150	17662.5	307600	17.42	16.97
2		12.48	300	150		328400	18.59	
3		12.48	300	150		263000	14.89	
1	35%	12.40	300	150	17662.5	312900	17.72	15.67
2		12.28	300	150		222800	12.61	
3		12.27	300	150		294700	16.69	

Berdasarkan hasilnya kekuatan tekan beton saat umur 28 hari, variasi beton dengan 15% limbah serbuk marmer menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 23.79 MPa. Variasi beton 25% dan 35% masing-masing menghasilkan kuat tekan sebesar 16.97 MPa dan 15.67 Mpa, hasil tersebut menunjukkan nilai kuat tekan yang tidak mencapai mutu beton yang direncanakan, yaitu 21.7 MPa.

Beton dengan variasi 0% memiliki kekuatan tekan rata-rata 31.94 MPa; variasi 15% sebesar 32.77 MPa; variasi 25% mencapai 33.22 MPa, yang merupakan kekuatan tekan tertinggi; sedangkan 35% mendapatkan penurunan menjadi 32.64 MPa (Lestari, 2021).

Hasil perbandingan rata-rata antara penelitian ini dan penelitian terdahulu pada umur 28 hari menunjukkan bahwa keduanya sama-sama mengalami penurunan kuat

tekan seiring dengan peningkatan persentase limbah marmer.



Gambar 3.

Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Umur 28 Hari

4. KESIMPULAN

Konsekuensi penambahan limbah serbuk marmer dalam kapasitas mengganti agregat halus mengenai kuat tekan beton perkerasan kaku menunjukkan hasil yang bervariasi. Sewaktu umur 7 hari, nilai kekuatan tekan beton berkisar antara 13,06 MPa hingga 15,99 MPa, dengan nilai tertinggi pada variasi 25% limbah serbuk marmer. Umur 28 hari kuat tekan meningkat pada variasi 15%, namun mengalami penyusutan yang signifikan pada variasi 25% dan 35% dibandingkan dengan beton normal tanpa limbah serbuk marmer. Dengan demikian, limbah serbuk marmer dapat digunakan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan kekuatan beton dan mendukung penggunaan material ramah lingkungan, namun penggunaannya perlu dibatasi agar tidak menurunkan performa beton secara keseluruhan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aditi A Mhamal, D. P. S. (2023). *Pemanfaatan Limbah Debu Marmer dan Granit Pemanfaatan Limbah Debu Marmer dan Granit Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus pada Beton*. 0–10.
- Amal, A. S., & Saputra, W. (2019). *Pemanfaatan Limbah Abu Marmer Sebagai Filler Terhadap Karakteristik*

Marshall Pada Campuran Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) B. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 16(2), 67–78.

- Daffa Nabhan, Anisah, & Lenggogeni. (2023). Inovasi Pemanfaatan Limbah Marmer sebagai Substitusi Agregat Kasar Untuk Beton yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3), 27807–27813.
- Demirel, B. (2010). *Tentang Sifat Mekanik Beton*. 5(9), 1372–1380.
- Dewi Fitriani, R. Didin Kusdian, B. A. B. (2021). *Dari Limbah Pemoangan Batu Marmer Dan Agregat*. 3(1), 89–98.
- Handayani, A. F., Muhammad, D. F., Hidayatullah, M. A., & Sari, N. L. (2023). Material Semen dari Limbah Industri Marmer Sebagai Pendekatan Alternatif Beton Berkelanjutan. *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, 7(3), 1083–1090.
- Latu Mowo, C., & Arumningsih, D. (2021). Beton Memadat Sendiri Ramah Lingkungan Menggunakan Limbah Serbuk Beton, Limbah Serbuk Batu Bata Dan Limbah Debu Pemoangan Marmer. *Jurnal Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 26(2), 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.
- Malino, L., Wallah, S. E., & Handono, D. B. (2019). Pemeriksaan Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Lentur Beton Serat Kawat Bendrat Yang Ditekuk Dengan Variasi Sudut Berbeda. *Jurnal Sipil Statik*, 7(Juni), 711–722.
- Oktaviastuti, B., Leliana, A., & Rahma, P. D. (2019). Beton Geopolimer Sebagai Alternatif Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) Ramah Lingkungan. In U. T. T. M. Fakultas Teknik (Ed.), *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan*

- Infrastruktur (SENTIKUIN)* (p. A6.1-5).
- Oktaviastuti, B., Pandulu, G. D., & Lusyana, E. (2021). Kuat Tekan Beton Geopolymer Berbahan Dasar Abu Terbang (Fly Ash) Sebagai Alternatif Perkerasan Kaku di Daerah Pesisir. *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 6(1), 78–87.
- Oktaviastuti, B., & Yurnalisdell, Y. (2020). Studi Kuat Tekan Beton Geopolymer Dengan Fly Ash Sebagai Perkerasan Kaku Di Pesisir Pantai. *Jurnal Fondasi*, 9(2), 201.
- Perkasa, E. E., Bachtiar, G., & Chrisnawati, Y. (2020). Pemanfaatan Limbah Serbuk Marmer Daerah Trenggalek Sebagai Bahan Tambah Pada Pembuatan Paving Block. *Jurnal Pendidikan Teknik Dan Vokasional*, 3(2), 149–158.
- Pratama, K. I., Naibaho, P. R. T., & Bangun, S. (2023). Hubungan Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton Dengan Mutu f_c' 25 Megapascal (MPa). *Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development (Cesd)*, 6(1), 1–7.
- Putri, A. P., & Tobing, A. K. (2012). 1,2 1* , 2. 3, 105–109.
- Raghunath, P. N., Suguna, K., Karthick, J., & Sarathkumar, B. (2019). Mechanical and durability characteristics of marble-powder-based high-strength concrete. *Scientia Iranica*, 26(6), 3159–3164.
- Sharma, N., Thakur, M. S., Goel, P. L., & Sihag, P. (2020). *Tinjauan: Sifat Kekuatan Tekan Berkelanjutan Campuran Beton dengan Penggantian Serbuk Marmer*. 98, 11–23.
- 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).



Copyright© by the authors. Licensee Jurnal Ilmiah MITSU, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike (CC BY-NC-SA 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Halaman ini sengaja dikosongkan