

Analisis Limbah Marmer sebagai Substitusi Pasir pada Campuran Beton ditinjau dari Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Akbar Bramantya Prambudi¹, Sunarto Suryanto², Qomariah³

Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Email: bramantya11volly@gmail.com, sunarto.suryanto@polinema.ac.id,
qomariah@polinema.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pengujian limbah marmer sebagai substitusi pasir dengan persentase campuran beton tertentu terhadap nilai kuat beton press dan nilai modulus elastisitas beton serta menghitung biaya limbah marmer sebagai substitusi pasir pada campuran beton dibandingkan dengan beton biasa. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental dimana membandingkan limbah marmer campuran beton normal dan beton sebagai substitusi pasir dengan presentase 5%, 15% dan 25% dengan rencana yang kuat sebesar 25 MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat pemanfaatan pers limbah marmer pada level 0%, 5%, 15% dan 25% berturut-turut adalah 27,57 MPa, 28,73 MPa, 27,58 MPa dan 24,56 MPa. Dari hasil tersebut, nilai pers yang kuat pada kadar limbah marmer sebesar 5% dan 15% meningkat, sedangkan tingkat nilai kuat pers sebesar 25% menurun. Sedangkan hasil penelitian untuk nilai elastisitas modulus pada campuran limbah marmer 0%, 5%, 15% dan 25% secara berturut-turut adalah 2,238 N/mm², 1,359 N/mm², 7,065 N/mm², dan 0,951 N/mm². Untuk biaya pembuatan beton dengan kandungan limbah marmer 0%, 5%, 15% dan 25% berturut-turut adalah Rp.774.913, Rp.771.701, Rp.765.025 dan Rp.757.763. Hasil perhitungan ini menunjukkan bahwa biaya pembuatan beton dengan campuran limbah marmer sebagai substitusi agregat halus lebih murah dibandingkan dengan biaya produksi normal, dimana untuk tarif 5% lebih murah 0,41%, tarif 15% lebih murah 1,28% dan tarif 25% lebih murah 2,21%. Implikasi dari penelitian ini adalah bahwa limbah marmer berpotensi menjadi material alternatif yang berkelanjutan dalam industri konstruksi, asalkan penggunaannya diatur secara proporsional agar tetap menjaga kualitas struktural beton.

Kata Kunci: uji beton, substitution marmer, tekan kuat, elastisitas modulus, efisiensi biaya

Abstract

This study aims to determine the results of testing marble waste as a sand substitution with a certain percentage of concrete mixture to the strength value of pressed concrete and the modulus value of concrete elasticity and to calculate the cost of marble waste as a sand substitution in concrete mixtures compared to ordinary concrete. This study was conducted by an experimental method where it compared marble waste mixed with normal concrete and concrete as a sand substitution with a percentage of 5%, 15% and 25% with a strong plan of 25 MPa. The results showed that the strong values of the use of marble waste press at the levels of 0%, 5%, 15% and 25% respectively were 27.57 MPa, 28.73 MPa, 27.58 MPa and 24.56 MPa. From these results, the strong press value at the marble waste content of 5% and 15% increased, while the level of the strong press value of 25% decreased. Meanwhile, the results of the study for the modulus elasticity values in the marble waste mixture of 0%, 5%, 15% and 25% respectively were 2.238 N/mm², 1.359 N/mm², 7.065 N/mm², and 0.951 N/mm². The cost of making concrete with a marble waste content of 0%, 5%, 15% and 25% is respectively Rp.774,913, Rp.771,701, Rp.765,025 and Rp.757,763. The results of this calculation show that the cost of making concrete with a mixture of marble waste as a substitution of fine aggregate is cheaper than normal production costs, where for the 5% rate it is 0.41% cheaper, the 15% rate is 1.28% cheaper and the 25% rate is 2.21% cheaper. The implication of this study is that marble waste has the potential

Analisis Limbah Marmer sebagai Substitusi Pasir pada Campuran Beton ditinjau dari Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

to become a sustainable alternative material in the construction industry, provided that its use is regulated proportionately to maintain the structural quality of concrete.

Keywords: *concrete test, marble substitution, strong press, modulus elasticity, cost efficiency*

PENDAHULUAN

Dalam konteks pembangunan berkelanjutan secara global, industri konstruksi menghadapi tekanan yang semakin besar untuk mengurangi dampak lingkungannya. Salah satu masalah utama adalah eksploitasi berlebihan terhadap agregat alami, khususnya pasir sungai, yang telah menyebabkan kerusakan ekosistem, erosi bantaran sungai, dan terganggunya kehidupan akuatik (Kumar & Dhinakaran, 2020). Menurut United Nations Environment Programme (2022), konsumsi pasir global telah mencapai lebih dari 50 miliar ton per tahun, menjadikannya material padat yang paling banyak diekstraksi setelah air. Oleh karena itu, pencarian substitusi pasir alam dalam produksi beton menjadi prioritas global yang mendesak.

Beton merupakan bahan konstruksi yang sering digunakan dan menjadi pilihan utama dibandingkan dengan baja atau kayu. Keunggulan dari beton dibandingkan dengan baja dan kayu adalah, beton mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan, tahan terhadap perubahan suhu dan cuaca, tahan terhadap korosi, pengerjaannya yang relatif lebih mudah dikerjakan, perawatannya yang simpel, harga yang relatif lebih murah, yang terpenting adalah beton dapat menahan gaya tekan suatu bangunan.

Bahan yang mudah diperoleh menjadikan beton lebih efisien dan efektif sebagai bahan utama. Memiliki umur yang panjang (awet) dan memiliki kekuatan yang dibutuhkan pada suatu struktur bangunan. Penelitian terhadap beton terus dikembangkan guna mendapatkan beton yang tepat mutu dan dapat menekan nilai kurs.

Menurut Tjaronge M. Wihardi, dkk. (2006) meneliti Pecahan Marmer Sebagai Pengganti Parsial Agregat Kasar Self Compacting Concrete (SCC) menggunakan campuran 0%, 30%, 70%, dan 100% secara berturut-turut menghasilkan kuat tekan sebesar 67,62%, 57,72%, 53,76%, dan 63,94%. Penurunan kekuatan terjadi karena pecahan marmer yang digunakan berbentuk pipih memanjang sehingga pada saat menerima beban lebih mudah hancur dibandingkan dengan batu pecah yang berbentuk kotak. Supriyanto S, Wahyu Kartini, Sufiyah, 2005 “Efektivitas Kombinasi Copper Slag sebagai Cementitious terhadap Kuat Tekan pada Beton”. menyatakan variasi copper slag 20% dapat mencapai kuat tekan yang paling optimum yaitu 622,6 kg/cm² dengan kenaikan 10,48% dibandingkan beton dengan mutu normal yang mengalami penurunan kuat tekan rata-rata sebesar 29,6% apabila menggunakan copper slag. Safrin Zuraidah, 2006, “Penggunaan Pecahan Batu Kapur Puger sebagai Alternatif Agregat Kasar ditinjau Terhadap Porositas dan Kuat Tekan Beton”, menyatakan sedangkan nilai kuat tekan beton yang menggunakan komposisi campuran 100 % batu pecah dan komposisi campuran 100 % batu kapur lebih besar bila dibandingkan dengan nilai kuat tekan yang menggunakan komposisi campuran kombinasi antara keduanya.

Menurut (Ali Asroni, 2010) Campuran antara semen dan air akan membentuk pasta

semen, yang berfungsi sebagai bahan pengikat. Sedangkan agregat halus dan agregat kasar merupakan bahan agregat yang berfungsi sebagai bahan pengisi, dan sekaligus sebagai bahan yang diikat oleh pasta semen. Ikatan antara pasta semen dengan agregat ini menjadi satu kesatuan yang kompak, dan akhirnya dengan berjalannya waktu akan menjadi keras serta padat yang disebut beton.

Menurut (Tri Mulyono, 2005) pada buku Teknologi Beton, beton mengandung rongga udara sekitar 1% - 2%, pada semen (semen dan air) sekitar 25% - 40% dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60% - 75%. Untuk mendapatkan kekuatan yang baik, sifat dan karakteristik dari masing-masing bahan penyusun tersebut perlu dipelajari. Kekuatan beton akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya umur.

Penelitian ini menawarkan sudut pandang baru dengan mengevaluasi limbah marmer tidak hanya dari segi kekuatan struktural, tetapi juga melalui uji modulus elastisitas dan analisis efisiensi biaya. Metode eksperimental yang digunakan membandingkan campuran beton normal dengan variasi campuran limbah marmer secara sistematis. Penambahan aspek ekonomi menjadikan penelitian ini unik karena memberikan implikasi praktis terhadap penganggaran proyek konstruksi dan pemilihan material berkelanjutan.

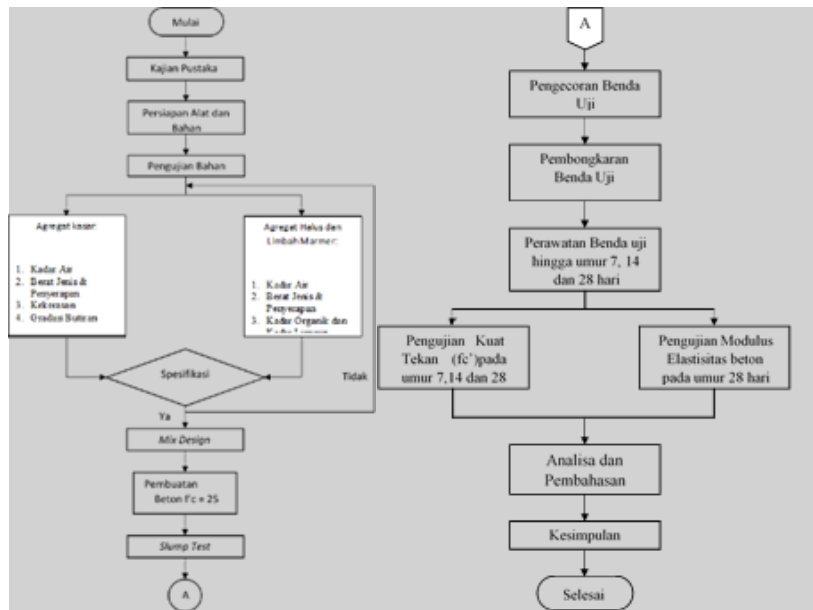
Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kelayakan penggunaan limbah marmer sebagai pengganti pasir dalam campuran beton melalui pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas pada beberapa level substitusi. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi biaya dari setiap variasi campuran tersebut, sehingga memberikan penilaian multidimensi atas performa struktur dan nilai ekonominya. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap literatur beton ramah lingkungan dengan memperkenalkan limbah marmer sebagai pengganti sebagian agregat halus yang layak. Dari segi keilmuan, penelitian ini memperkaya kajian teknik sipil melalui integrasi antara pengujian sifat fisik dan analisis biaya. Secara praktis, temuan penelitian ini dapat diterapkan oleh kontraktor lokal, pembuat kebijakan, dan pelaku industri dalam praktik konstruksi yang lebih bertanggung jawab terhadap lingkungan. Implikasi dari penelitian ini cukup luas baik secara akademik maupun industri. Dari sisi akademik, penelitian ini membuka peluang kajian lebih lanjut terhadap limbah berbasis batuan lain dalam campuran beton. Sementara dari sisi industri, studi ini memberikan solusi yang dapat diterapkan untuk mengatasi kelangkaan material alami dan menekan biaya konstruksi.

METODE PENELITIAN

Proses persiapan, pembuatan benda uji, perawatan hingga pengujian dilakukan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang. Penelitian dilaksanakan selama 2 bulan dari pengujian sifat fisik masing-masing bahan, pembuatan benda uji Metode yang digunakan pada penelitian kali ini adalah metode Eksperimental, dimana penelitian ini membandingkan beton normal dengan beton campuran marmer dengan kuat rencana 25 MPa.

Analisis Limbah Marmer sebagai Substitusi Pasir pada Campuran Beton ditinjau dari Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 1. Diagram Alir

Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan material yang berperan penting dalam komposisi campuran beton, karena agregat kasar memiliki lebih banyak komposisi didalam beton, ± 75% komposisi agregat kasar dari isi total beton. Agregat kasar berpengaruh besar pada daya tahan suhu panas dan dingin dan sifat beton.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar Mutu	Referensi	Keterangan
Kadar Air (%)	1.23	1 – 5	SNI 1971–2011	Memenuhi
Bj Bulk (kg/m ³)	2.7	2.5 – 2.8	SNI 1970–2008	Memenuhi
Bj SSD (kg/m ³)	2.7	2.5 – 2.7	SNI 1970–2008	Memenuhi
Bj App (kg/m ³)	2.8	2.5 – 2.8	SNI 1970–2008	Memenuhi
Penyerapan (%)	1.57	1 – 5	SNI 1970–2008	Memenuhi
Kekerasan (%)	5.81	< 40	SNI 03–2417–1991	Memenuhi

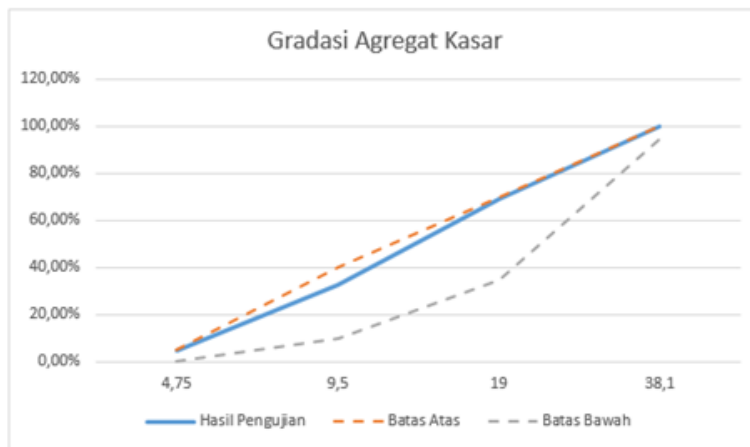
Sumber: Data diolah

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada agregat kasar, didapatkan hasil bahwa Agregat Kasar yang akan digunakan telah memenuhi persyaratan sesuai SNI.

Tabel 2. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar

Diameter Lubang Saringan (mm)	Berat Ayakan (mm)	Berat Ayakan dan Kerikil (gram)	Tertahan		Komulatif	
			Individu (gram)	Kkomulatif (gram)	Tertahan (%)	Lolos (%)
38	548.1	548.1	0	0.0	0.0	100.0
19	582.5	1212.3	629.8	629.8	31.5	68.5
9.5	544.6	1260.4	715.8	1345.6	67.3	32.7
4.75	580.7	1140.6	559.9	1905.5	95.3	4.7
2.36	545.9	639.9	94.0	1999.5	100.0	0.0
1.18	517.3	517.3	0.0	1999.5	100.0	0.0
0.6	476.4	476.4	0.0	1999.5	100.0	0.0
0.3	431.6	431.6	0.0	1999.5	100.0	0.0
0.15	405.4	405.4	0.0	1999.5	100.0	0.0
PAN						
Total			1999.5		694.1	
Modulus Ketulusan (MK)			6.94			

Sumber: Data diolah



Gambar 2. Grafik Gradasi Agregat Kasar ukuran maksimal 40 mm

Dilihat dari grafik hasil pengujian gradasi agregat kasar didapatkan hasil bahwa telah memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 03-1968-1990, dimana grafik berada diantara batas atas dan bawah agregat kasar ukuran maksimal 40 mm.

Agregat Halus

Agregat Halus memiliki fungsi sebagai penutup rongga-rongga udara yang ada dalam beton agar beton tersebut tidak keropos.

Analisis Limbah Marmer sebagai Substitusi Pasir pada Campuran Beton ditinjau dari Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Tabel 3. Hasil pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar Mutu	Referensi	Keterangan
Kadar Air (%)	1.52	1-10	SNI 1971-2011	Memenuhi
Bj Bulk (kg/m ³)	2.7	2.5-2.7	SNI 1970-2008	Memenuhi
Bj SSD (kg/m ³)	2.7	2.4-2.7	SNI 1970-2008	Memenuhi
Bj App (kg/m ³)	2.77	2.4-2.8	SNI 1970-2008	Memenuhi
Penyerapan (%)	1.2	1-10	SNI 1970-2008	Memenuhi
Kandungan Zat Organik	Jernih	Kuning	SNI 03-2816-2014	Memenuhi
Kadar Lumpur (%)	1.61	<5	SNI 03-2816-2014	Memenuhi

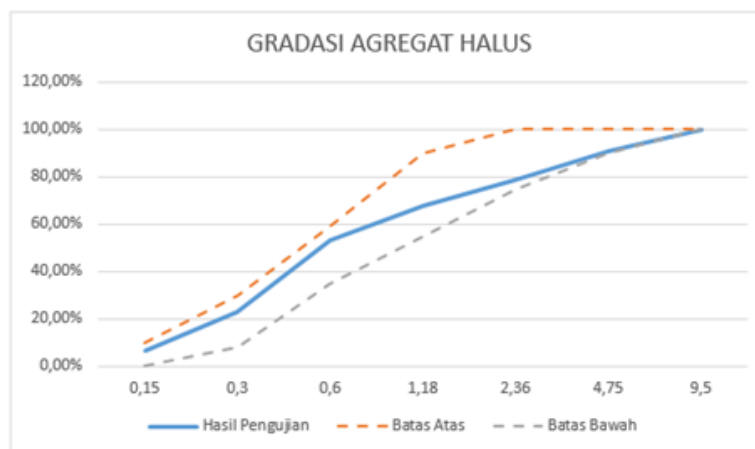
Sumber: Data diolah

Berdasarkan hasil dari pengujian yang dilakukan pada agregat kasar, didapatkan hasil bahwa telah memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI.

Tabel 4. Hasil pengujian gradasi Agregat Halus


Diameter Lubang Saringan (mm)	Tertahan Individu (gram)	Tertahan Kumulatif (gram)	Tertahan Kumulatif (%)	Lolos (%)
9.5	0	0	0.00	100.00
4.75	82.4	82.4	8.89	91.11
2.36	112.76	195.16	21.05	78.95
1.18	103.59	298.75	32.22	67.78
0.6	133.9	432.67	46.67	53.33
0.3	283.7	716.41	77.27	22.73
0.15	148.5	864.95	93.29	6.71
PAN	62.20	927.15	100.00	0.00
Total	927.15		379.4	
Modulus Kehalusan (MK)			3.79	

Sumber: Data diolah



Gambar 3. Grafik gradasi Agregat Halus (Zona II)

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa agregat halus yang berasal dari Lumajang telah memenuhi persyaratan menurut SNI 03-1968-1990, dimana pasir Lumajang berada diantara batas atas dan bawah agregat halus Zona II

Gambar	Keterangan
	<p>Dari hasil pemeriksaan ditentukan bahwa pasir tersebut berada pada grade 1 yaitu pasir tersebut dapat digunakan karena mempunyai kadar organik yang rendah dengan kualitas pasir yang bagus</p>

Gambar 4. Pengujian Kadar Organik dan Kadar Lumpur Agregat Halus

Tinggi Air = 7.3 cm – 3.1 cm = 4.2 cm
 Tinggi Pasir = 3.1 cm
 Tinggi Lumpur = 0.05 mm
 Kadar Lumpur = (Tinggi Lumpur / Tinggi Pasir) x 100%
 = (0.05 mm / 31 mm) x 100%
 = 1.61%

Limbah Marmer

Limbah marmer yang digunakan dalam penelitian ini adalah bongkaran limbah marmer dengan ukuran maksimal 20 mm. Limbah marmer sebagai substitusi agregat halus dalam campuran beton.

Tabel 6. Hasil pengujian Limbah Marmer

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar Mutu	Referensi	Keterangan
Kadar Air (%)	2.53	1-10	SNI 1971-2011	Memenuhi
Bj Bulk (kg/m ³)	2.6	2.5-2.7	SNI 1970-2008	Memenuhi
Bj SSD (kg/m ³)	2.7	2.4-2.7	SNI 1970-2008	Memenuhi
Bj App (kg/m ³)	2.8	2.4-2.8	SNI 1970-2008	Memenuhi
Penyerapan (%)	2.02	1-10	SNI 1970-2008	Memenuhi

Sumber: Data diolah

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada limbah marmer telah memenuhi persyaratan dari SNI.

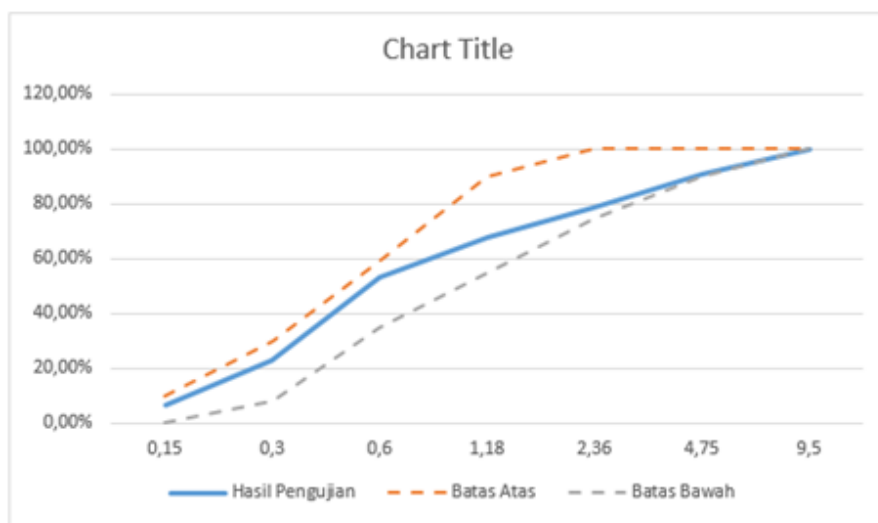
Tabel 7. Hasil Pengujian gradasi Limbah Marmer

Diameter Lubang Saringan (mm)	Tertahan		Tertahan	
	Individu (gram)	Kumulatif (gram)	Kumulatif (%)	Lolos (%)
9.5	0	0	0.00	100.00
4.75	0	0.00	0.00	91.11

Analisis Limbah Marmer sebagai Substitusi Pasir pada Campuran Beton ditinjau dari Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Diameter Lubang Saringan (mm)	Tertahan		Tertahan	
	Individu (gram)	Kumulatif (gram)	Kumulatif (%)	Lolos (%)
2.36	231.50	231.50	15.47	78.95
1.18	301	532.50	35.59	67.78
0.6	395.0	927.50	62.00	53.33
0.3	364.5	1292.00	86.36	22.73
0.15	152.5	1444.50	96.56	6.71
PAN	51.5	1496.00	100.00	0.00
Total	1496.00		296.0	
Modulus Kehalusan (MK)	2.96			

Sumber: Data diolah



Gambar 4. Grafik gradasi Limbah Marmer (Zona II)

Dari data hasil pengujian gradasi pada limbah marmer didapatkan hasil bahwa limbah marmer telah memenuhi persyaratan sesuai dengan SNI 03-1968-1990.

Mix Desain

Setelah melakukan pengujian pada masing-masing bahan, selanjutnya adalah proses perencanaan Mix desain untuk mendapatkan komposisi masing-masing bahan sesuai dengan SNI 03-2834-2000.

No	Uraian	Tabel/Grafik/Perhitungan	Nilai
1	Kuat tekan yang disyaratkan (Benda uji silinder)	Ditentukan	25 MPa
2	Deviasi standar	Diketahui	4,86 MPa
3	Nilai tambah	$1,64 \times$ (Deviasi standar)	7,97 MPa
4	Kekuatan rata yang ditargetkan	(Kuat tekan yang disyaratkan) + (Nilai tambah)	32,97 MPa
5	Jenis Semen	Ditetapkan	Semen Gresik
6	Jenis Agregat: Kasar	Ditetapkan	Batu kerikil Pasuruan
	Halus	Ditetapkan	Pasir Lumajang
7	Faktor air semen bebas	Grafik 1	0,33
8	Faktor air semen maksimum	Tabel 4	0,6
9	Nilai slump	Ditentukan	25-100 mm
10	Ukuran agregat maksimum	Ditentukan	40 mm
11	Kadar air bebas	$\frac{1}{2} \times 175 + \frac{1}{4} \times 205$	185 kg/m ³
12	Jumlah semen	(Kadar air bebas) : (Faktor air Semen bebas)	349,057 kg
13	Jumlah semen maksimum	Diabaikan	Tidak ditentukan
14	Jumlah semen minimum	Tabel 4	275 kg/m ³
15	Faktor air semen yang disesuaikan	Diabaikan	Syarat minimum kadar semen sudah dipenuhi
16	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3	Daerah gradasi susunan butir Zona II
17	Susunan agregat kasar gabungan		Daerah maks 40 mm
18	Persen agregat halus	Grafik 6	37,9%
19	Berat jenis relatif, agregat (kering permukaan)	$37,9\% \times 2,69 + 62,1\% \times 2,70$	2,696
20	Berat isi beton	Grafik 7	2435 kg/m ³
21	Kadar agregat gabungan	(Berat isi beton) - (Jumlah semen) - (Kadar air bebas)	1900,943 kg/m ³

Gambar 5. Mix Desain Beton

Kebutuhan per 18 benda uji sebanyak 349 kg/m³ semen, 1191.9356 kg/m³ agregat kasar, 722.6874 kg/m³ agregat halus untuk beton normal. Beton substitusi 5% marmer sebesar 36.134 kg/m³ limbah marmer dan 686.553 kg/m³ agregat halus. Beton substitusi 15% marmer sebesar 108.403 kg/m³ limbah marmer dan 614.284 kg/m³ agregat halus. Beton substitusi 25% marmer sebesar 180.672 kg/m³ limbah marmer dan 542.016 kg/m³ agregat halus.

Nilai Slump

Tabel 8. Hasil Pengujian Slump Beton

No	Variasi (%)	Nilai Slump (cm)
1	0	6
2	5	6.4
3	15	6.1
4	15	7.2

Sumber: Data diolah

Semua variasi telah memenuhi persyaratan yang telah direncanakan sebesar 2.5-10 cm.

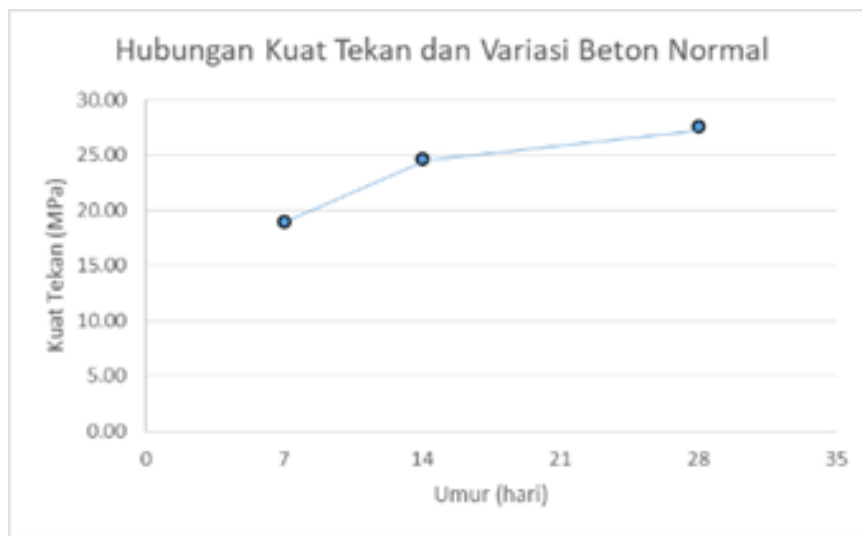
Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton menggunakan beton umur 14 hari lalu dikonversikan menjadi umur 7 dan 28 hari. Benda Uji sejumlah 5 pada masing-masing variasi.

Analisis Limbah Marmer sebagai Substitusi Pasir pada Campuran Beton ditinjau dari Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Tabel 9. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 0% Limbah Marmer

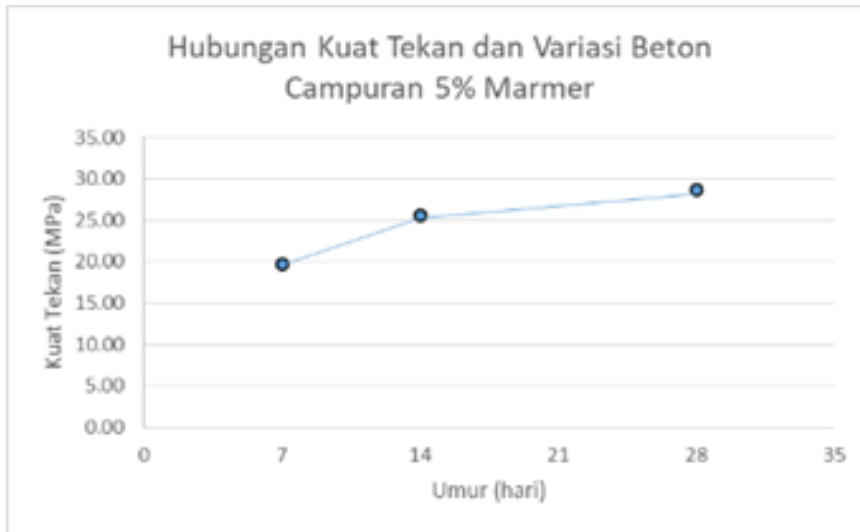
No	Umur (Hari)	Tanggal		Kode	Berat (Kg)	Gaya Tekan (kN)	Luasan Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (Mpa)	Rata-rata
		Pembuatan	Pengujian						
1	7	06/08/2020	13/08/2020	A1	12.9	373.22	17671.5	21.12	18.96
2		06/08/2020	13/08/2020	A2	12.5	243.78		13.80	
3		06/08/2020	13/08/2020	A3	12.9	369.06		20.88	
4		06/08/2020	13/08/2020	A4	12.5	338.03		19.13	
5		06/08/2020	13/08/2020	A5	12.7	350.97		19.86	
6	14	06/08/2020	20/08/2020	B1	12.9	484.7	17671.5	27.43	24.62
7		06/08/2020	20/08/2020	B2	12.5	316.6		17.92	
8		06/08/2020	20/08/2020	B3	12.9	479.3		27.12	
9		06/08/2020	20/08/2020	B4	12.5	439		24.84	
10		06/08/2020	20/08/2020	B5	12.7	455.8		25.79	
11	28	06/08/2020	03/09/2020	C1	12.9	542.86	17671.5	30.72	27.57
12		06/08/2020	03/09/2020	C2	12.5	354.59		20.07	
13		06/08/2020	03/09/2020	C3	12.9	536.82		30.37	
14		06/08/2020	03/09/2020	C4	12.5	491.68		27.82	
15		06/08/2020	03/09/2020	C5	12.7	510.50		28.88	



Gambar 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Limbah Marmer

Tabel 10. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 5% Limbah Marmer

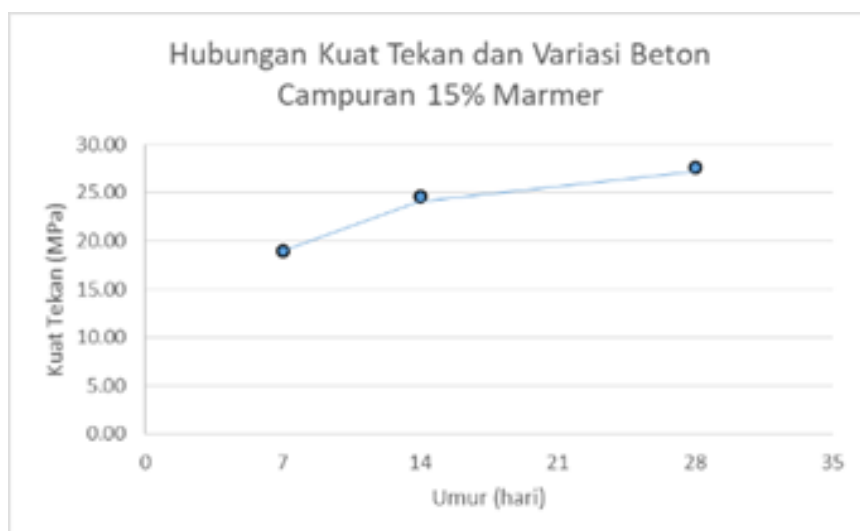
No	Umur (Hari)	Tanggal		Kode	Berat (Kg)	Gaya Tekan (kN)	Luasan	Kuat Tekan (Mpa)	Rata-rata
		Pembuatan	Pengujian						
1	7	11/08/2020	18/08/2020	A6	13	446.83	17671.5	25.29	19.75
2		11/08/2020	18/08/2020	A7	13.1	267.34		15.13	
3		11/08/2020	18/08/2020	A8	12.7	417.34		23.62	
4		11/08/2020	18/08/2020	A9	12.7	329.18		18.63	
5		11/08/2020	18/08/2020	A10	12.7	279.74		16.09	
6	14	11/08/2020	25/08/2020	B6	13	580.3	17671.5	32.84	25.65
7		11/08/2020	25/08/2020	B7	13.1	347.2		19.65	
8		11/08/2020	25/08/2020	B8	12.7	542		30.67	
9		11/08/2020	25/08/2020	B9	12.7	427.5		24.19	
10		11/08/2020	25/08/2020	B10	12.7	363.3		20.90	
11	28	11/08/2020	08/09/2020	C6	13	649.94	17671.5	36.78	28.73
12		11/08/2020	08/09/2020	C7	13.1	388.86		22.01	
13		11/08/2020	08/09/2020	C8	12.7	607.04		34.35	
14		11/08/2020	08/09/2020	C9	12.7	478.80		27.09	
15		11/08/2020	08/09/2020	C10	12.7	406.90		23.41	



Gambar 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 5% Limbah Marmer

Tabel 11. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 15% Limbah Marmer

No	Umur (Hari)	Tanggal		Kode	Berat (Kg)	Gaya Tekan (KN)	Luasan	Kuat Tekan (Mpa)	Rata-rata
		Pembuatan	Penajinan						
1	7	12/08/2020	19/08/2020	A11	12.7	352.74	17671.5	19.96	18.96
2		12/08/2020	19/08/2020	A12	12.6	416.57		23.57	
3		12/08/2020	19/08/2020	A13	12.9	173.87		9.84	
4		12/08/2020	19/08/2020	A14	13	352.43		19.94	
5		12/08/2020	19/08/2020	A15	12.9	379.61		21.48	
6	14	12/08/2020	26/08/2020	B11	12.7	458.1	17671.5	25.92	24.62
7		12/08/2020	26/08/2020	B12	12.6	541		30.61	
8		12/08/2020	26/08/2020	B13	12.9	225.8		12.78	
9		12/08/2020	26/08/2020	B14	13	457.7		25.90	
10		12/08/2020	26/08/2020	B15	12.9	493		27.90	
11	28	12/08/2020	09/09/2020	C11	12.7	513.07	17671.5	29.03	27.58
12		12/08/2020	09/09/2020	C12	12.6	605.92		34.28	
13		12/08/2020	09/09/2020	C13	12.9	252.90		14.31	
14		12/08/2020	09/09/2020	C14	13	512.62		29.01	
15		12/08/2020	09/09/2020	C15	12.9	552.16		31.25	

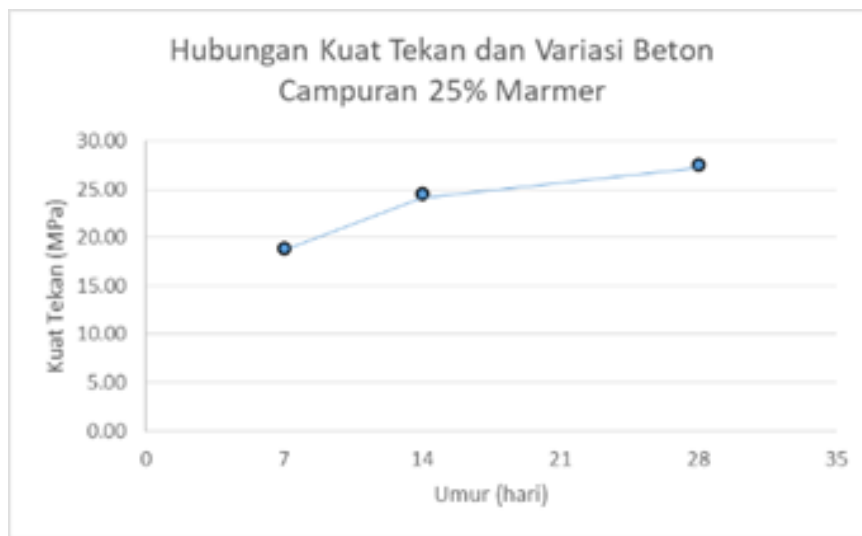


Gambar 8. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 15% Limbah Marmer

Analisis Limbah Marmer sebagai Substitusi Pasir pada Campuran Beton ditinjau dari Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Tabel 12. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 25% Limbah Marmer

No	Umur (Hari)	Tanggal		Kode	Berat (Kg)	Gaya Tekan (KN)	Lusasan	Kuat Tekan (Mpa)	Rata-rata
		Pembuatan	Pengujian						
1	7	13/08/2020	20/08/2020	A16	12,6	335,95	17671,5	19,01	18,91
2		13/08/2020	20/08/2020	A17	12,6	367,29		20,78	
3		13/08/2020	20/08/2020	A18	13	298,91		16,92	
4		13/08/2020	20/08/2020	A19	12,5	389,70		22,05	
5		13/08/2020	20/08/2020	A20	12,5	278,89		15,79	
6	14	13/08/2020	27/08/2020	B16	12,6	436,30	17671,5	24,69	24,56
7		13/08/2020	27/08/2020	B17	12,6	477,00		26,99	
8		13/08/2020	27/08/2020	B18	13	388,20		21,97	
9		13/08/2020	27/08/2020	B19	12,5	506,10		28,64	
10		13/08/2020	27/08/2020	B20	12,5	362,20		20,50	
11	28	13/08/2020	10/09/2020	C16	12,6	488,66	17671,5	27,65	27,50
12		13/08/2020	10/09/2020	C17	12,6	534,24		30,23	
13		13/08/2020	10/09/2020	C18	13	434,78		24,61	
14		13/08/2020	10/09/2020	C19	12,5	566,83		32,08	
15		13/08/2020	10/09/2020	C20	12,5	405,66		22,96	



Gambar 9. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 15% Limbah Marmer

Modulu Elastisitas

Modulus elastisitas menggunakan benda uji dengan umur 14 hari, dan didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 10. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton Normal

Berikut merupakan hasil perhitungannya:

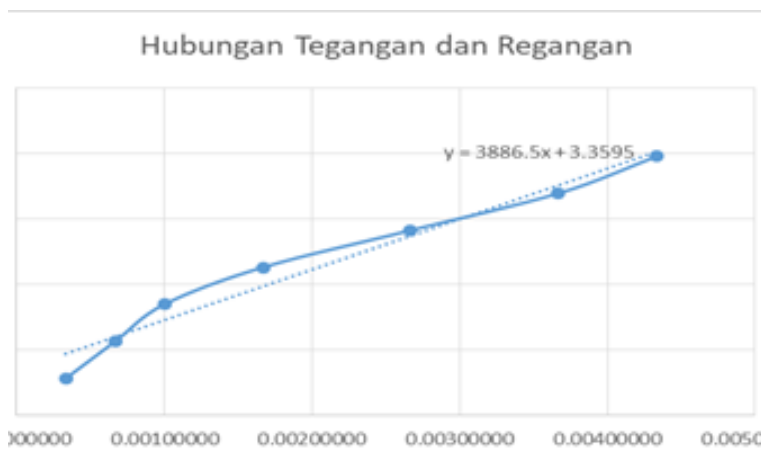
$$E_c = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\epsilon_2 - \epsilon_1)$$

$$E_c = ((0.4 \times f_c') - (\sigma_1)) / (\epsilon_2 - 0.00005)$$

$$E_c = (6.8 - 0.00535) / (3.0354 - 0.00005) = 2.238$$

Tabel 13. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton 5% Marmer

Tekanan (P)		Luas Penampang (A)	ΔL	Lo	Regangan	Tegangan
KN	N					
50	50000	17671.5	0.1	300	0.00033333	2.829414594
100	100000		0.2		0.00066667	5.658829188
150	150000		0.3		0.00100000	8.488243782
200	200000		0.5		0.00166667	11.31765838
250	250000		0.8		0.00266667	14.14707297
300	300000		1.1		0.00366667	16.97648756
350	350000		1.3		0.00433333	19.80590216
385	385000		1.5		0.00500000	21.78649237



Analisis Limbah Marmer sebagai Substitusi Pasir pada Campuran Beton ditinjau dari Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Berikut merupakan hasil perhitungannya:

$$E_c = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\epsilon_2 - \epsilon_1) \quad E_c = ((0.4 \times f_c') - (\sigma_1)) / (\epsilon_2 - 0.00005)$$

$$E_c = (7.924 - 0.000667) / (5.829 - 0.00005) = 1.359$$

Tabel 14. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton 15% Marmer

Tekanan (P)		Luas Penampang (A)	ΔL	Lo	Regangan	Tegangan
KN	N					
50	50000	17671.5	1	300	0.00333	2.829414594
100	100000		2.5		0.00833	5.658829188
150	150000		3.5		0.01167	8.488243782
200	200000		3		0.01000	11.31765838
250	250000		2.5		0.00833	14.14707297
300	300000		2		0.00667	16.97648756
350	350000		1		0.00333	19.80590216
360	360000		0		0.00000	20.37178508



Berikut merupakan hasil perhitungannya:

$$E_c = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\epsilon_2 - \epsilon_1) \quad E_c = ((0.4 \times f_c') - (\sigma_1)) / (\epsilon_2 - 0.00005)$$

$$E_c = (3.3952 - 0.00439) / (0.48 - 0.00005) = 7.065$$

Tabel 15. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas Beton 25% Marmer

Tekanan (P)		Luas Penampang (A)	ΔL	Lo	Regangan	Tegangan
KN	N					
50	50000	17671.5	0.1	300	0.00033	2.829414594
100	100000		0.2		0.00067	5.658829188
150	150000		0.3		0.00100	8.488243782
200	200000		0.5		0.00167	11.31765838
250	250000		1		0.00333	14.14707297
251	251000		1		0.00333	14.20366126



Berikut merupakan hasil perhitungannya:

$$E_c = (\sigma_2 - \sigma_1) / (\epsilon_2 - \epsilon_1)$$

$$E_c = ((0.4 \times f_c') - (\sigma_1)) / (\epsilon_2 - 0.00005)$$

$$E_c = (5.6812 - (-0.00439)) / (5.981 - 0.00005) = 0.951$$

Biaya Per Variasi Beton

Tabel 16. Biaya per variasi beton 0% limbah marmer

No	Uraian	Satuan	Indeks	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Biaya Beton Kadar 0% Limbah Marmer					
1	Potland Cement (Gresik)	kg	349.06	Rp 1,250	Rp 436,325
2	Kerikil Pasuruan	m3	0.82	Rp 196,000	Rp 160,720
3	Pasir Lumajang	m3	0.52	Rp 237,000	Rp 140, 868
4	Air	liter	185	200	Rp 37,000
Jumlah Harga					Rp 774,913

Tabel 17. Biaya per variasi beton 5% limbah marmer

No	Uraian	Satuan	Indeks	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Biaya Beton Kadar 5% Limbah Marmer					
1	Potland Cement (Gresik)	kg	349.06	Rp 1,250	Rp 436,325
2	Kerikil Pasuruan	m3	0.82	Rp 196,000	Rp 160,720
3	Pasir Lumajang	m3	0.49	Rp 237,000	Rp 134, 043
4	Limbah Marmer	kg	36.13	100	Rp 3,613
5	Air	liter	185	200	Rp 37,000
Jumlah Harga					Rp 771,701

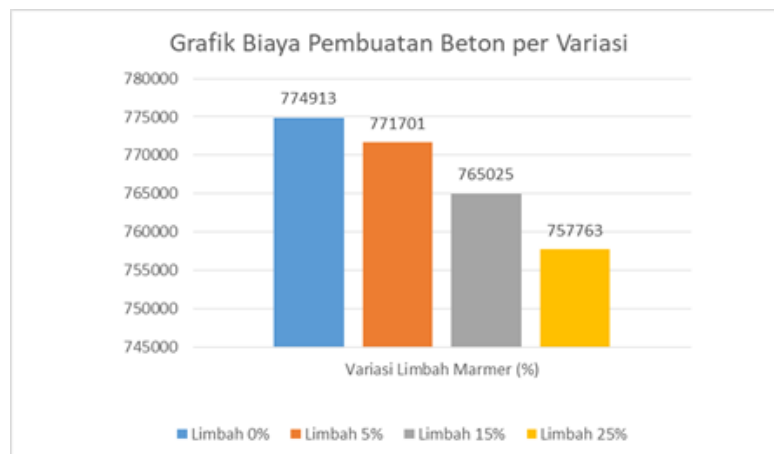
Analisis Limbah Marmer sebagai Substitusi Pasir pada Campuran Beton ditinjau dari Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton

Tabel 18. Biaya per variasi beton 15% limbah marmer

No	Uraian	Satuan	Indeks	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Biaya Beton Kadar 15% Limbah Marmer					
1	Potland Cement (Gresik)	kg	349.06	Rp 1,250	Rp 436,325
2	Kerikil Pasuruan	m ³	0.82	Rp 196,000	Rp 160,720
3	Pasir Lumajang	m ³	0.44	Rp 237,000	Rp 120, 120
4	Limbah Marmer	kg	108.60	100	Rp 10,860
5	Air	liter	185	200	Rp 37,000
Jumlah Harga					Rp 765,025

Tabel 19. Biaya per variasi beton 25% limbah marmer

No	Uraian	Satuan	Indeks	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Biaya Beton Kadar 25% Limbah Marmer					
1	Potland Cement (Gresik)	kg	349.06	Rp 2,250	Rp 436,325
2	Kerikil Pasuruan	m ³	0.82	Rp 196,000	Rp 160,720
3	Pasir Lumajang	m ³	0.39	Rp 237,000	Rp 105, 651
4	Limbah Marmer	kg	180.67	100	Rp 18,067
5	Air	liter	185	200	Rp 37,000
Jumlah Harga					Rp 757, 763



Gambar 13. Grafik Biaya Pembuatan Beton per Variasi

KESIMPULAN

Hasil Kuat Tekan dari campuran limbah marmer 0% sebesar 27.57 MPa. Hasil Kuat Tekan dari campuran limbah marmer 5% sebesar 28.73 MPa. Hasil Kuat Tekan dari campuran limbah marmer 15% sebesar 27.58 MPa. Hasil Kuat Tekan dari campuran limbah marmer 25% sebesar 24.56 MPa. Kadar limbah marmer 0% menghasilkan nilai modulus elastisitas sebesar 2.238 N/mm². Kadar limbah marmer 5% menghasilkan nilai

modulus elastisitas sebesar 1.359 N/mm². Kadar limbah marmer 15% menghasilkan nilai modulus elastisitas sebesar 7.065 N/mm². Kadar limbah marmer 25% menghasilkan nilai modulus elastisitas sebesar 0.951 N/mm². Biaya pembuatan beton 0% marmer per variasi sebesar Rp. 774,913,00. Biaya pembuatan beton 5% marmer per variasi sebesar Rp. 771,701,00 atau 0.41% lebih murah dari biaya pembuatan beton normal. Biaya pembuatan beton 15% marmer per variasi sebesar Rp. 765,025,00 atau 1.28% lebih murah dari biaya pembuatan beton normal. Biaya pembuatan beton 25% marmer per variasi sebesar Rp. 757,763,00 atau 2.21% lebih murah dari biaya pembuatan beton normal.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2014. SNI 2816-2014: Metode Uji Bahan Organik dalam Agregat Halus untuk Beton. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. SNI 1971-2011: Cara Uji Kadar Air Total Agregat dengan Pengerinagn. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 1989. SK SNI S-04-1989-F: Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A, Bahan Bangunan Bukan Logam. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 1990. SNI 03-1968-1990: Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 1998. SNI 03-4804-1998: Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga dalam Agregat. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2008. SNI 1970-2008: Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Bandung: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2011. SNI 1974-2011: Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. 2014. SNI 2491-2014: Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder: Jakarta: BSN.
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 2009. Teknologi Beton (Edisi Kedua). Yogyakarta: Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gajah Mada.
- Mulyono, Tri. 2005. Teknologi beton. Yogyakarta: Andi Offset.
- Paul Nugraha, Antoni. 2007. Teknologi Beton, dari Material, Pembuatan, Beton Kinerja Tinggi. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Nauk, Sepriulus S. 2012. Penggunaan Limbah Batu Marmer dari Gunung Batu Naitapan Kabupaten Timor Tengah Selatan Sebagai Alternatif Pengganti Agregat Pada Campuran Beton. Jurnal Teknik Sipil. Vol. 1 No. 4



© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY SA) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)