

## EFISIENSI PENGGUNAAN LIMBAH BATU MARMER (BROKOL) SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT KASAR PADA *MIX DESIGN* BETON

Helmalya Regita Pramesti<sup>1,\*</sup>, Qomariah<sup>2</sup>, Armin Naibaho<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang, <sup>23</sup>Dosen Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang

<sup>1</sup>helmaregita@gmail.com <sup>2</sup>qomariah.suryadi2@gmail.com <sup>3</sup>ar\_naibaho@yahoo.co.id

### ABSTRAK

Semakin hari permintaan marmer makin meningkat. Hal ini menyebabkan limbah batu marmer atau sering disebut brokol sangat melimpah di daerah Trenggalek. Untuk mengantisipasi banyaknya limbah yang tidak terpakai lagi, maka pada penelitian ini direncanakan pembuatan beton dengan substitusi agregat kasar dari limbah batu marmer dengan presentase 0%, 15%, 25%, dan 50%. Kuat tekan beton direncanakan sebesar 25 MPa dengan umur pengujian 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Mix design beton berdasarkan SNI 03-2834-2000 dengan penggantian agregat kasar limbah marmer dengan kombinasi 0%, 15%, 25%, 50% direncanakan nilai FAS sebesar 0,48 mengalami penurunan kuat tekan sebesar 40,15%; 39,33%; 49,96%; 51,21% ditinjau dari kuat tekan rata-rata yang direncanakan. Besar kuat tekan rata-rata yang didapatkan dengan kombinasi 0%, 15%, 25%, 50% sebesar 22,93 N/mm<sup>2</sup>; 23,25 N/mm<sup>2</sup>; 19,18 N/mm<sup>2</sup>; 18,70 N/mm<sup>2</sup>. Jika ditinjau dari kuat tekan beton pada umur 28 hari, kuat tekan mengalami peningkatan pada variasi 15% yaitu meningkat sebesar 9,3% dari beton variasi 0%. Biaya yang dibutuhkan untuk membuat beton dengan kombinasi 0%, 15%, 25%, 50% yaitu Rp1.620.721, Rp1.590.922, Rp1.571.056, Rp1.521.390.

**Kata kunci** : limbah marmer; kuat tekan; biaya pembuatan

### ABSTRACT

*The demand for marble is increasing day by day. This causes marble stone waste or often called brokol to be very abundant in the Trenggalek area. To anticipate the amount of waste that is no longer used, in this study it is planned to make concrete by substituting coarse aggregate from marble waste with a percentage of 0%, 15%, 25%, and 50%. The planned compressive strength of concrete is 25 MPa with a test age of 7 days, 14 days, and 28 days. Mix design of concrete based on SNI 03-2834-2000 with the replacement of marble waste coarse aggregate with a combination of 0%, 15%, 25%, 50% plan FAS value of 0,48 decreased compressive strength by 40,15%; 39,33%; 49,96%; 51,21% in terms of the planned average compressive strength. The average compressive strength obtained with a combination of 0%, 15%, 25%, 50% is 22,93 N/mm<sup>2</sup>; 23,25 N/mm<sup>2</sup>; 19,18 N/mm<sup>2</sup>; 18,70 N/mm<sup>2</sup>. When viewed from the compressive strength of concrete at the age of 28 days, the compressive strength has increased in the 15% variation, which is an increase of 9,3% from the 0% variation concrete. The cost needed to make concrete with a combination of 0%, 15%, 25%, 50% is Rp1.620.721, Rp1.590.922, Rp1.571.056, Rp1.521.390.*

**Keywords** : marble waste, compressive strength, manufacturing cost

### 1. PENDAHULUAN

Semakin hari permintaan marmer makin meningkat. Hal ini menyebabkan limbah batu marmer atau sering disebut brokol sangat melimpah di daerah Trenggalek dimana Kawasan tersebut merupakan salah satu daerah penghasil marmer tertinggi di Indonesia.

Oleh karena itu, kami berupaya untuk memanfaatkan limbah batu marmer sebagai bahan pengganti sebagian agregat kasar

yaitu kerikil pada pembuatan beton. Tujuannya untuk merancang kekuatan beton dengan baik yang memenuhi aspek ekonomi yaitu biaya yang rendah serta memenuhi kriteria kekuatan struktur.

Lestari, (2021) dalam penelitiannya menyatakan bahwa, penggantian sebagian agregat kasar dengan pecahan marmer mempengaruhi nilai kuat tekan beton. Kuat tekan betonnya mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan nilai kuat

tekan beton yang tidak menggunakan pecahan marmer. Nilai kuat tekan yang paling besar ada pada variasi 25% yaitu sebesar 33,22 Mpa, dengan besar persentase kenaikan kuat tekan sebesar 4,02%.

Zuraidah dan Jatmiko, (2007) dalam penelitiannya menyatakan penggantian campuran menggunakan agregat kasar pecahan batu kapur 0%, 50%, 75% dan 100%, menunjukkan bahwa penggunaan pecahan batu marmer dalam pembuatan beton batu marmer mengalami penurunan terhadap kuat tekan sebesar 18,92%; 11,97%; 40,70% dibandingkan dengan beton normal.

**2. METODE PENELITIAN SEMEN**

Semen yang merupakan bahan dasar pembuatan beton masuk kedalam kategori semen hidrolik. Jenis semen yang digunakan adalah semen *Portland*, yaitu material yang berbentuk bubuk berwarna abu-abu dan banyak mengandung kalsium dan aluminium silika. Bahan dasar pembuatan semen sebenarnya adalah batu kapur yang mengandung CaO, serta lempung atau tanah liat yang banyak mengandung SiO2 dan Al2O3. Material-material ini dicampur dan ditambahkan gips dalam jumlah yang cukup, kemudian dibakar dalam klinker dan kemudian didinginkan. Setiawan (2016)

**AGREGAT**

Fassa (2017) menyatakan bahwa agregat adalah istilah kolektif untuk bahan mineral seperti pasir, batu kerikil dan crushed stone yang digunakan pada media yang mengikat. Agregat memiliki fungsi untuk mengurangi susut pada beton, mempengaruhi ke ekonomisan beton. Sifat yang tahan terhadap benturan, yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen. Agregat mengisi 60-80% dari volume beton. karakteristik kimia, fisik dan mekanik agregat yang digunakan dalam pencampuran sangat berpengaruh sifat-sifat beton yang dihasilkan. Kuat Tekan, Kuat lentur Durabilitas.

Hasil perhitungan ukuran partikel agregat juga menunjukkan modulus butiran halus partikel, suatu indeks yang digunakan untuk mengukur kehalusan atau kekasaran partikel agregat. Semakin tinggi nilai modulus butir agregat, maka agregat butir semakin besar. Hubungan modulus halus agregat kasar, agregat halus, dan agregat campuran (agregat kasar dan agregat halus) dapat dinyatakan sebagai:

$$W = \frac{(K-C)}{(C-P)} \times 100\% \tag{1}$$

Dimana:

W = Presentase berat agregat halus (pasir) terhadap berat agregat kasar (kerikil).

K = modulus halus butir agregat kasar.

P = Modulus halus butir agregat halus.

C = Modulus halus butir agregat campuran.

Standart sifat fisik agregat halus dan agregat kasar harus memenuhi target yang ditentukan seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 1.** Standart Sifat Fisik Agregat Halus

Jenis Pengujian	Satuan	Standar	Referensi
Kadar Air	%	0-10	SNI-1971-2011
Berat Jenis	gr/cm <sup>3</sup>	2,5-2,7	SNI-1970-2008
Penyerapan	%	0-10	SNI-1970-2008
Berat Isi	gr/cm <sup>3</sup>	1,4-1,9	SNI-03-4804-1998
Kadar Organik	Warna	Grid 3 Orange	SNI 03-2816-2014

**Tabel 2.** Standart Sifat Fisik Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Satuan	Standar	Referensi
Kadar Air	%	0-10	SNI-1971-2011
Berat Jenis	gr/cm <sup>3</sup>	2,5-2,7	SNI-1970-2008
Penyerapan	%	0-10	SNI-1970-2008
Berat Isi	gr/cm <sup>3</sup>	1,4-1,9	SNI-03-4804-1998
Kekerasan	%	<5%	SK SNI S-04-1989-F

**LIMBAH MARMER**

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Priyo Subekti di PT Sucofindo Jakarta menyebutkan bahwa komposisi yang terkandung dalam limbah marmer adalah senyawa CaO dengan kadar 52,69%; CaCO3 41,92%; MgO 0,84%; MgCO3 1,76%; SiO2 1,62%; Al2O3 + Fe2O3 0,37% dari hasil ini terlihat komposisi utama limbah marmer adalah zat kapur (Ca). Utami (2010)

Sifat mekanik marmer terdapat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Sifat Mekanik Marmer

Sifat Fisis	Nilai
Kerapatan, (g/cm <sup>3</sup> )	2,71
Kekerasan, SM (Skala Mosh)	4,32
Kuat Tekan, (10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> )	880,63
Kuat Tarik, (10 <sup>5</sup> N/m <sup>2</sup> )	57,76

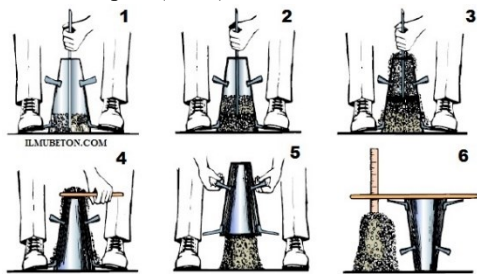
Sumber: Pritria, 2008

**AIR**

Air memiliki peranan penting dalam perencanaan beton, oleh karena itu air tidak dapat ditambahkan secara semabrangan saat pengadukan mortar. Penambahan air harus disesuaikan dengan kebutuhan dalam kemudahan pengerjaan serta mutu beton yang diinginkan. Air yang digunakan haruslah sesuai dengan persyaratan SNI-03-6817-2002.

**SLUMP TEST**

Uji *slump* beton adalah pengujian untuk mengetahui workability beton dalam proses pengerjaannya. Percobaan ini menggunakan corong baja yang berbentuk konus berlubang pada kedua ujungnya yang biasa disebut dengan kerucut abrams. Iqbal (2019)



**Gambar 1.** Uji Slump Test

**KUAT TEKAN**

Menurut (SNI 1974:2011) benda uji yang akan diuji kuat tekannya harus tetap dalam kondisi lembab. Untuk penempatan benda uji diletakkan pada landasan datar bagian bawah dengan menghadap ke atas pada mesin uji, kemudian membersihkan permukaan landasan tekan atas dan bawah. Memastikan penunjuk beban sudah nol jika sudah pada posisi nol selanjutnya melakukan pembebanan hingga benda uji hancur dan mencatat beban maksimum yang diterima benda uji. Untuk mencari nilai kuat tekan dapat digunakan rumus:

$$F = \frac{P}{A}$$

Dimana:

- F = Kuat Tekan
- P = Beban Tekan
- A = Luas Permukaan

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN SIFAT FISIK MATERIAL**

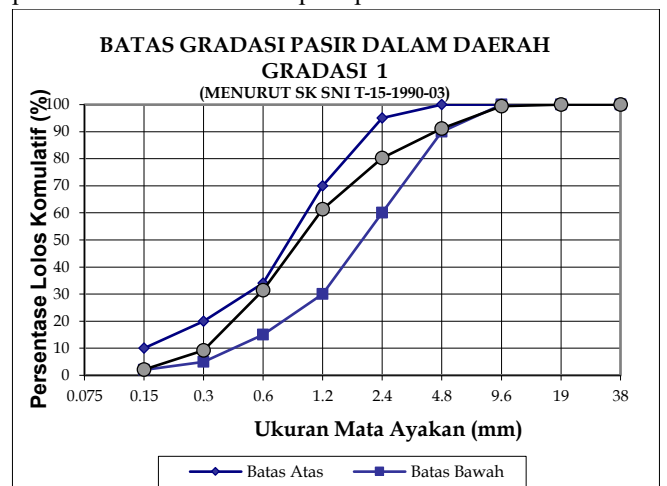
Pada pengujian sifat fisik agregat halus, material yang digunakan adalah pasir Lumajang. Pengujian yang dilakukan meliputi: gradasi, kadar air, berat jenis, berat isi, dan kadar organik. Berikut ini hasil pengujian agregat halus Lumajang pada Tabel 4 dan susunan gradasi agregat halus pada Tabel 5.

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Halus

Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian	Keterangan
Kadar Air	%	1,72	Memenuhi
Berat Jenis	gr/cm <sup>3</sup>	2,61	Memenuhi
Penyerapan	%	1,76	Memenuhi
Berat Isi	gr/cm <sup>3</sup>	1,70	Memenuhi
Kadar Organik	Warna	Grid 1 Bening	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian 2022

Grafik gradasi beserta batas gradasi yang sesuai dengan syarat pada pengujian gradasi agregat halus yang terdapat pada SNI 03-2834-2000 seperti pada Gambar 2 berikut.



**Gambar 2.** Grafik Gradasi Pasir Lumajang Zona I

Dalam pengujian gradasi ini, pasir Lumajang yang digunakan masuk pada kategori gradasi Zona I. Oleh karena itu pasir ini dapat digunakan untuk bahan pembuatan beton.

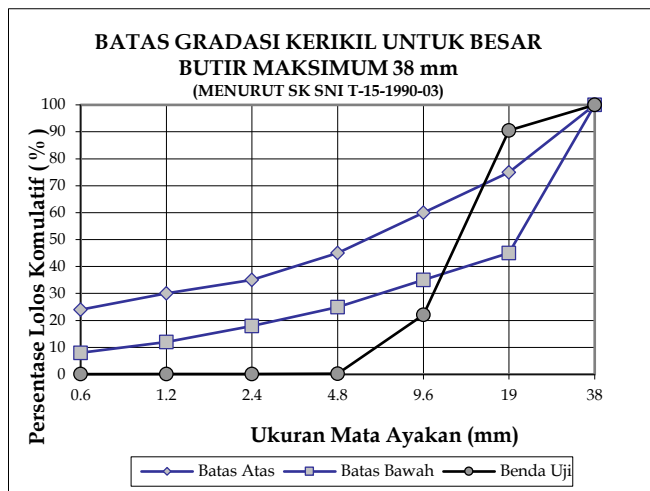
Pada pengujian sifat fisik agregat kasar, material yang digunakan adalah kerikil Pasuruan. Pengujian yang dilakukan meliputi: gradasi, kadar air, berat jenis, berat isi, dan kekerasan. Berikut ini hasil pengujian agregat kasar kerikil Pasuruan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian	Keterangan
Kadar Air	%	1,81	Memenuhi
Berat Jenis	gr/cm <sup>3</sup>	2,76	Memenuhi
Penyerapan	%	1,64	Memenuhi
Berat Isi	gr/cm <sup>3</sup>	1,42	Memenuhi
Kekerasan	%	4,58	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian 2022

Grafik gradasi beserta batas gradasi yang sesuai dengan syarat pada pengujian gradasi agregat kasar yang terdapat pada SNI 03-2834-2000 seperti pada Gambar 3 berikut.



**Gambar 3.** Grafik Gradasi Agregat Kasar

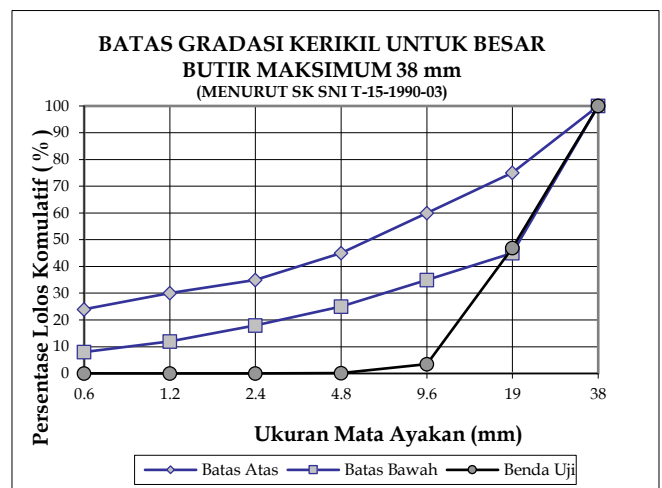
Pada pengujian sifat fisik agregat kasar, material yang digunakan adalah Limbah Marmer Trenggalek. Pengujian yang dilakukan meliputi: gradasi, kadar air, berat jenis, berat isi, dan kekerasan. Berikut ini hasil pengujian limbah marmer Trenggalek pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Hasil Pengujian Sifat Fisik Limbah Marmer

Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian	Keterangan
Kadar Air	%	1,21	Memenuhi
Berat Jenis	gr/cm <sup>3</sup>	2,42	Memenuhi
Penyerapan	%	1,32	Memenuhi
Berat Isi	gr/cm <sup>3</sup>	1,42	Memenuhi
Kekerasan	%	3,48	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian 2022

Grafik gradasi beserta batas gradasi yang sesuai dengan syarat pada pengujian gradasi agregat kasar yang terdapat pada SNI 03-2834-2000 seperti pada Gambar 4 berikut.



**Gambar 4.** Grafik Gradasi Limbah Marmer Trenggalek

**MIX DESIGN**

Setelah melakukan pengujian fisik material, maka nilai yang didapat digunakan sebagai acuan perencanaan campuran beton. Metode perencanaan proporsi campuran mengacu pada mix design SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal.

Beton normal menggunakan 18 benda uji silinder dengan ukuran diameter 15cm dan tinggi 30cm dengan pengujian kuat tekan pada usia 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dengan 1 (satu) kali pencampuran.

Dengan volume silinder =  $\pi \times r^2 \times t$

Volume silinder disini diberi tambahan safety factor sebanyak 10% dari volume silinder.

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 V &= \pi \times 0,75 \times 0,75 \times 0,3 + (10\% \times V) \\
 &= 0,0053 + 0,00053 \\
 &= 0,00583 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Kebutuhan material terdapat pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Kebutuhan Material Beton

Bahan	Kebutuhan Tiap 1m <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	Kebutuhan 1 Benda Uji	Total (kg)
Semen	395,83	2,31	41,58
Air	190	1,12	20,16
Agregat kasar	993,31	5,79	104,22
Agregat halus	880,86	5,14	92,52

Sumber: Hasil Pengujian 2022

**PENGUJIAN SLUMP**

Dalam pembuatan campuran beton segar tingkat workability beton ditentukan oleh nilai slump saat melakukan perencanaan dan pembuatan benda uji. Pada penelitian ini nilai slump yang direncanakan sebesar 3 – 6 cm. Dalam pelaksanaan pembuatan benda uji nilai slump yang didapatkan seperti pada Tabel 8 berikut.

**Tabel 8.** Nilai *Slump* pada Pembuatan Benda Uji

Variasi	slump (cm)
0%	5,98
15%	3,875
25%	3,95
50%	3,4

Sumber: Hasil Pengujian 2022

Berdasarkan hasil pengujian slump pada Tabel 8, maka dapat dilihat nilai slump setiap campuran berada 3 – 6 cm yang artinya nilai *slump* memenuhi untuk pembuatan campuran beton.

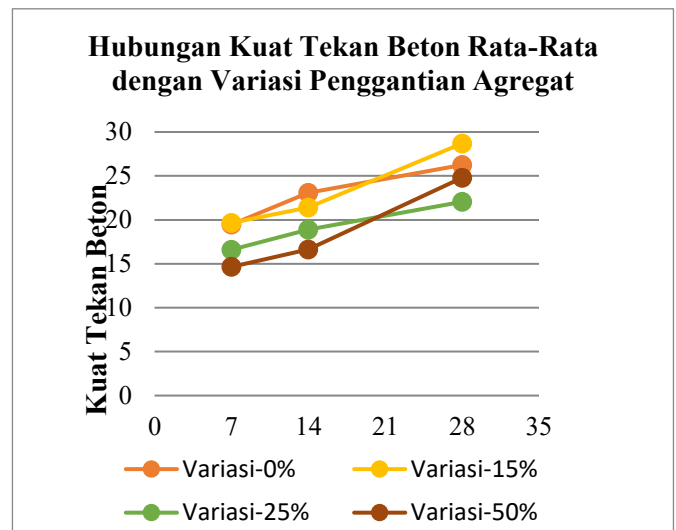
**PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON**

Pengujian kuat tekan beton dengan benda uji silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari, dengan variasi penggantian agregat sebesar 0%, 15%, 25%, dan 50% didapat nilai kuat tekan rata-rata seperti pada Tabel 9 dan Gambar 5.

**Tabel 9.** Tabel Kuat Tekan Rata-rata Beton

Umur (hari)	Kuat Tekan Rata-rata (N/mm <sup>2</sup> )			
	0%	15%	25%	50%
7	19.46	19.66	16.60	14.65
14	23.10	21.39	18.88	16.65
28	26.25	28.69	22,05	24.79

Sumber: Hasil Pengujian 2022



**Gambar 5.** Perbandingan Kuat Tekan Beton Rata-rata

Penurunan kuat tekan di setiap variasi penggantian pecahan marmer terhadap agregat kasar pada saat umur beton 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Tetapi terlihat peningkatan kuat tekan beton umur 28 hari pada variasi 15% dibandingkan dengan variasi 0% (beton normal).

Pada beton dengan penggantian agregat kasar limbah marmer sebesar 15% didapat nilai kuat tekan beton mengalami peningkatan pada umur 28 hari dibanding dengan kuat tekan beton 0% pada umur 28 hari. Peningkatan sebesar 9,3% dibandingkan beton variasi 0%, kuat tekan beton normal sebesar 26,25 N/mm<sup>2</sup> dan kuat tekan beton variasi 15% sebesar 28,69 N/mm<sup>2</sup>. Pada variasi 25% terjadi penurunan sebesar 16% dibandingkan beton variasi 0%, dan pada variasi 50% terjadi penurunan sebesar 5,56% dibandingkan beton variasi 0%.

### BIAYA PEMBUATAN BETON NORMAL DAN VARIASI

Perbandingan biaya pembuatan beton dengan variasi limbah marmer lebih murah dibanding dengan biaya pembuatan beton normal. Dengan selisih harga pada variasi 15% sebesar Rp29.799, variasi 25% sebesar Rp49.666, dan variasi 50% sebesar Rp99.331 terhadap beton variasi 0%. Grafik penurunan biaya terdapat pada Gambar 6 berikut.



**Gambar 6.** Hubungan Antara Biaya dengan Variasi Penggantian Agregat

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai slump rata-rata yang didapat dari variasi 0% sebesar 5,98, pada variasi 15% sebesar 3,875, pada variasi 25% sebesar 3,95, dan variasi 50% sebesar 3,4. Nilai tersebut mengalami penurunan disetiap variasi yang artinya limbah marmer menyerap air.
2. Besar kuat tekan rata-rata yang didapatkan dengan kombinasi 0%, 15%, 25%, 50% sebesar 22,93 N/mm<sup>2</sup>; 23,25 N/mm<sup>2</sup>; 19,17 N/mm<sup>2</sup>; 18,70 N/mm<sup>2</sup>. Nilai kuat tekan tersebut mengalami penurunan sebesar 40,15%;

39,33%; 49,96%; 51,21% dibanding kuat tekan yang direncanakan.

3. Pada variasi 15% jika dibandingkan dengan variasi 0% lebih efisien karena kuat tekan meningkat sebesar 9,3% dan biaya berkurang sebesar Rp29.799 tetapi tetap mengalami penurunan terhadap kuat tekan rata-rata yang direncanakan.
4. Biaya yang dibutuhkan untuk membuat beton dengan kombinasi 0%, 15%, 25%, 50% yaitu Rp1.620.721, 1.590.922, 1.571.056, 1.521.390.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Iqbal, F. (2019). *Pengaruh FAS dan Rasio Semen Agregat terhadap Slump Beton dengan Variasi Substitusi Semen Slag* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- [2] Pritria Rina, 2008. Uji Sifat Mekanik dan Listrik Komposit Partikel Marmer Kalsit. Institut Pertanian Bogor.
- [3] Utami, Sri, 2010. Pemanfaatan Limbah Marmer untuk Pembuatan *Paving Stone*. Neutron Vol 10.
- [4] Fassa, F. (2017). "Teknologi Beton". Universitas Pembangunan Jaya: Banten.
- [5] Setiawan, Agus. (2016). "Perancangan Struktur Beton Bertulang". Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [6] SK SNI S-04-1989-F Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A
- [7] SNI 03-2816-2014 Metode Uji Bahan Organik dalam Agregat Halus untuk Beton
- [8] SNI 03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal
- [9] SNI-03-4804-1998 Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat
- [10] SNI-03-6817-2002 Metode Pengujian Mutu Air untuk Digunakan dalam Beton
- [11] SNI-1970-2008 Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus
- [12] SNI-1971-2011 Cara Uji Kadar Air Total Agregat dengan Pengeringan