

Pengaruh penggunaan limbah gypsum dan karbit sebagai pengganti sebagian semen terhadap kuat tekan, kuat tarik, dan modulus elastisitas beton

Zulfa Izzaturrofiq^{1*}, Astriana Hardawati¹, dan Suharyatmo¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Sleman, Indonesia

Article Info

Proceeding Civil
Engineering Research
Forum

Keywords:

Gypsum,
Carbide,
Compression,
Split Tensile,
Modulus of Elasticity,
Price

Corresponding Author:

Zulfa Izzaturrofiq
zulfaizzaturrofiq8@gmail.com

Abstract

Concrete is the main material in construction consisting of aggregate, water and cement. In the current era of globalization, improving the quality of concrete and its economic value needs to be considered. The development of concrete technology in the trial addition of mixtures continues to be carried out in order to concrete and also has economic value. There are many ways to obtain the desired concrete quality strength, one of which is by adding additives or replacing the main component materials such as cement with substituting material. In this study, materials from industrial waste were used, namely gypsum waste and carbide waste which were used as a partial replacement for cement in the concrete mixture. In this study, the waste was used as a cement substitute with gypsum waste of 4% and carbide of 12%, 14%, and 16% of the total weight of cement. The tests carried out included compressive strength, splitting tensile strength, and modulus of elasticity of concrete which would be tested at the age of 28 days with treatment in the form of immersion in concrete with a total of 40 cylinders of test objects. The sources used in the mixture design are based on SNI-03-2834-2000. The designed compressive strength is 25 MPa. The test results show that replacing part of the cement with gypsum and carbide waste can actually reduce the compressive strength, tensile strength, and elastic modulus of concrete but has a more favorable economic value. The results of the compressive strength, tensile strength, and elastic modulus of cement substitution concrete with gypsum waste variation of 4% and carbide variation of 12%, 14%, and 16% at the age of 28 days decreased. In concrete, the variation of 4% and 12% gypsum waste in all tests obtained the most accepted composition results and can also be used as one of the variations that can be used in the design of concrete mixtures because all the requirements are met in terms of compressive strength, tensile strength, modulus of elasticity, and price and production costs compared to other variations of gypsum and carbide waste.

Copyright ©2025 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Menurut data Asosiasi Semen Indonesia (2016), kebutuhan semen dalam negeri masih terus meningkat hingga mencapai 20 juta ton antara tahun 2012 hingga 2016. Karena metode produksi semen di Indonesia yang boros energi dan menghasilkan emisi CO₂ yang meningkatkan suhu global, berbagai penelitian dilakukan untuk mengidentifikasi sumber bahan alternatif, seperti limbah

industri ataupun limbah yang lain yang sebagian dapat menggantikan semen (Djwantoro Hardjito, 2007). Di sebagian besar negara berkembang, penggunaan limbah sebagai bahan bangunan alternatif sudah menjadi solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan lingkungan. Sebagai bahan konstruksi utama, teknologi beton terus berkembang untuk mencapai bangunan berkualitas tinggi dan memiliki mutu kualitas yang baik. Dalam hal ini, diperlukan suatu perencanaan pada campuran beton agar mutu

dan kualitas beton bernilai ekonomis dan juga sesuai kriteria perencanaan campuran yang sudah ditetapkan.

Salah satu dari beberapa bahan komponen penting di pembuatan beton salah satunya ialah semen. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk substitusi sebagian semen dengan limbah agar dapat digunakan untuk pekerjaan tertentu atau lebih ekonomis, serta untuk menghemat energi. Pemanfaatan bahan substitusi yang sudah tidak terpakai berupa limbah merupakan salah satu cara untuk melestarikan sumber daya alam mengingat kebutuhan akan bahan tersebut semakin meningkat. Bahan tambah pengganti ini berasal dari limbah konstruksi dan industri yang dibuang begitu saja seperti limbah *gypsum* dan karbit merupakan salah satu limbah industri yang dapat dimanfaatkan sebagai pengganti sebagian semen.

Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai pengganti sebagian semen dengan berbagai variasi yang ditentukan pada penelitian di dalam campuran beton mampu membuat peningkatan pada kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton di umur 28 hari?
2. Pada variasi persentase berapakah limbah *gypsum* dan karbit mendapatkan nilai optimal pada tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton di umur 28 hari?
3. Bagaimana pengaruh biaya produksi pada campuran beton dengan limbah *gypsum* dan karbit sebagai pengganti sebagian semen?

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh pengganti sebagian semen dengan limbah *gypsum* dan karbit dalam campuran beton terhadap peningkatan kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton di umur 28 hari.

2. Mendapatkan variasi persentase yang optimal pada limbah *gypsum* dan karbit pada nilai kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas yang akan didapat nantinya di umur 28 hari.
3. Mengetahui pengaruh biaya pada campuran beton dengan limbah *gypsum* dan karbit sebagai pengganti sebagian semen terhadap beton normal.

Batasan Penelitian

1. Metode perencanaan campuran beton (Mix Design) mengacu pada standar SNI-03-2834-2000.
2. Benda uji yang digunakan adalah beton dengan rancangan mutu beton normal $f'c$ 25 MPa.
3. Persentase limbah *gypsum* yang digunakan yaitu 4% sebagai substitusi sebagian semen pada campuran beton.
4. Persentase limbah karbit yang dipakai yaitu 12%, 14%, dan 16% sebagai substitusi sebagian semen pada campuran beton.
5. Limbah *gypsum* berasal dari pengrajin *gypsum* yang ada di Yogyakarta.
6. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan beton, kuat tarik beton, dan modulus elastisitas beton.

TINJAUAN PUSTAKA

Liberty dkk. (2020) menjelaskan pengaruh penggunaan limbah karbit sebagai substitusi semen pada beton. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kekuatan beton yang memakai limbah karbit sebagai bahan substitusi semen dengan variasi 0%, 4%, 6%, dan 8% diperoleh nilai kuat tekan optimum pada variasi 4% dan dapat dilihat bahwa limbah karbit dapat mempengaruhi kekuatan beton.

Raihan Ludi Pratama dkk. (2022) menjelaskan pengaruh campuran serta limbah karet ban dan *gypsum* sebagai substitusi semen terhadap kuat lentur beton. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa Peningkatan kuat lentur tertinggi terjadi pada

penambahan serat karet ban 3 % dan limbah gypsum 4%, yaitu mencapai 51,11 kg/cm³, atau mengalami peningkatan sebesar 30,68 % apabila dibandingkan dengan beton normal.

I Gede dkk. (2023) menjelaskan analisa penggunaan limbah *gypsum* sebagai substitusi semen terhadap performa beton normal. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa variasi 20% limbah *gypsum* pada campuran beton dapat membuat kuat tekan yang cukup tinggi karena limbah *gypsum* mengisi celah-celah pada agregat sehingga menjadi lebih padat dan memaksimalkan kuat tekan dan nilai ekonomis campuran beton.

Sahat dkk. (2023) menjelaskan analisa penggunaan limbah *gypsum* sebagai *filler* terhadap kuat tekan beton. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada umur 28 hari, kuat tekan beton $f'_c = 18$ MPa adalah 18,08 MPa. Setelah 14 hari, kuat tekan beton dengan variasi 10% limbah *gypsum* sebagai bahan pengisi adalah 19,18 MPa. Setelah berumur 28 hari, kuat tekan beton yang mengandung 20% limbah *gypsum* sebagai bahan pengisi adalah 19,71 MPa.

Triyana Vivian dkk. (2023) menjelaskan penggunaan limbah *gypsum* dan limbah karbit sebagai pengganti substitusi semen terhadap campuran beton. Hasil penelitian tersebut mendapatkan bahwa nilai maksimum dengan variasi *gypsum* 5% dan karbit 12% dicapai pada pengujian berupa modulus elastisitas, tarik belah, dan kuat tekan. Hal ini menunjukkan bahwa menambahkan limbah las karbit dan limbah *gypsum* ke dalam beton dapat memperkuat beton.

Perbedaan dengan penelitian yang dilakukan adalah mensubstitusi sebagian semen dengan limbah *gypsum* sebesar 4% dan karbit sebesar 12%, 14%, dan 16%. Limbah *gypsum* digunakan variasi 4% dikarenakan pada penelitian Raihan dkk (2022) bahwa mengalami peningkatan pada beton sedangkan pada limbah karbit digunakan variasi 12%, 14%, dan 16% dikarenakan pada penelitian Tryana Vivian dkk (2023) mengalami peningkatan pada beton pada variasi karbit 12% sehinggann peneliti ingin

mengambil variasi karbit diatas 12% yang dimana menjadikan acuan pada penelitian ini.

LANDASAN TEORI

Beton

Berdasarkan SNI-03-2834-2000 salah satu komponen khusus penting bangunan yang diperlukan dalam konstruksi (proyek) ialah beton. Mengikuti cepatnya perkembangan zaman di era globalisasi, perlu dilakukan inovasi (ide) untuk meningkatkan kualitas konstruksi seperti pada kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton yang akan diaplikasikan nantinya, dimana terdapat beberapa campuran yaitu berupa agregat, air, dan semen. Banyak cara yang bisa dilakukan, salah satunya dengan menambahkan satu atau dua bahan tambah dan mensubstitusi bahan tersebut dengan campuran beton.

Beton tidak dibuat dengan mudah, hal ini membutuhkan lebih dari sekedar menggabungkan bahan-bahan dasar material seperti yang biasanya dilakukan pada bangunan sederhana. Untuk menghasilkan beton yang memenuhi spesifikasi dan bermutu, perlu diperhatikan pada perhitungan yang cermat dan teliti untuk menentukan campuran beton yang tepat. Oleh karena itu, komposisi beton harus dibuat sebaik mungkin agar hasil yang diinginkan sesuai dengan kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas sesuai perencanaan awal.

Bahan Penyusun Beton

Adapun material penyusun beton yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Semen *Portland*

Berdasarkan SNI-03-7656-2012 semen *portland* adalah semen hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling bersama-sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan dapat juga ditambahkan bahan tambah lainnya.

2. Agregat Halus
Berdasarkan SNI-03-2834-2000 agregat halus merupakan pasir alam yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm. Agregat halus berfungsi sebagai material yang mengisi rongga antar kerikil dan menghasilkan adukan yang padat.
3. Agregat Kasar
Berdasarkan SNI-03-2834-2000 agregat kasar merupakan kerikil yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 - 40 mm.
4. Air
Air mempengaruhi kualitas pada campuran beton. Kadar air semen yang berlebihan akan menghasilkan campuran beton menjadi encer sehingga menyebabkan segregasi pada beton.
5. Limbah *Gypsum*
Penelitian ini menggunakan limbah *gypsum* dari hasil sisa penggunaan *gypsum*. Salah satu mineral yang memiliki kadar kalsium tinggi adalah *gypsum* yang dikalsinasi umumnya digunakan dalam konstruksi untuk membuat casting plester, yang merupakan bahan mendasar untuk produksi bubuk kapur dan juga digunakan untuk memproduksi alat keramik, gigi, dan bahan lainnya.
6. Limbah karbit
Penelitian ini menggunakan sisa bakaran karbit yang berasal dari bengkel pengelasan. Karakteristik fisik dari jenis limbah karbit ini adalah dalam bentuk bubuk, yang tidak larut, berbau kuat, dan menjadi lembab dan putih di lingkungan sekitar. limbah karbit ini berasal dari bisnis pengelasan, dan karena tidak dimanfaatkan secara tepat dan efisien hasil limbahnya sehingga bisa menyebabkan kerusakan pada lingkungan.

Sifat Mekanis Beton

Dalam penelitian ini, sifat mekanis beton yang akan ditinjau adalah kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton.

1. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan perhitungan dari besarnya beban per satuan luas yang mengakibatkan hancurnya beton tersebut apabila diberikan suatu gaya tekan tertentu oleh mesin tekan. Nilai kuat tekan dapat dicari dengan rumus berdasarkan SNI-1974-2011 sebagai berikut

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (3.1)$$

Ket:

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

2. Kuat Tarik Belah Beton

Struktur beton akan digabungkan dengan tulangan baja agar kekuatan tarik pada beton tersalurkan ke tulangan baja. Sehingga struktur beton tersebut dapat menahan gaya tarik yang terjadi pada struktur tersebut. Nilai kuat tarik dapat dicari dengan rumus berdasarkan SNI-03-2491-2002 sebagai berikut.

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi DL} \quad (3.2)$$

Ket:

f_{ct} = Kuat tarik belah beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

D = Diameter benda uji (mm)

L = Panjang benda uji (mm)

3. Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton merupakan kemiringan garis linear yang menghubungkan titik pusat dengan suatu regangan beton dan dianggap linier ketika nilai 40% dari kuat tekan tercapai dan diasumsikan kurva tidak linier sesaat sesudah mendekati 70% karena tegangan hancur yang menyebabkan hilangnya kekakuan pada beton. Nilai

modulus elastisitas beton dapat dicari dengan rumus berdasarkan ASTM C-469 dan SNI-03-2847-2019 sebagai berikut.

$$E_c = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,00005} \quad (3.3)$$

Ket:

E_c = Modulus elastisitas (MPa)

S_1 = Kuat tekan regangan ϵ_1

S_2 = Kuat tekan ketika 40% P_u (MPa)

ϵ_2 = Regangan pada saat S_2

$$E_c = 4700 \times \sqrt{F'_c} \quad (3.4)$$

Ket:

$\sqrt{F'_c}$ = Kuat tekan beton (MPa)

METODELOGI PENELITIAN

Perencanaan Mix Design

Pada penelitian ini, perencanaan campuran beton (*mix design*) menggunakan acuan SNI 03-2834-2000. Perencanaan ini dilakukan untuk mengetahui proporsi setiap bahan yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji beton yang memenuhi syarat mutu 25 Mpa.

Benda Uji

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian yang menggunakan benda uji silinder berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Beberapa pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan beton, kuat tarik belah beton, dan modulus elastisitas beton. Jumlah benda uji yang digunakan adalah 40 buah dengan rincian dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Rincian Benda Uji

Variasi (%)		Kode Benda Uji	Total Benda Uji Setiap Pengujian (Buah)	
Persen Limbah Gypsum	Persen Limbah Karbit		Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas	Kuat Tarik Belah
0	0	BN	5	5
4	12	TTM-GK ₁	5	5
4	14	TTM-GK ₂	5	5

4	16	TTM-GK ₃	5	5
Total			20	20
40				

Adapun maksud kode benda uji adalah sebagai berikut.

BN = Beton normal

TTM = Tekan, tarik, dan modulus elastisitas

GK1 = Gypsum dan karbit variasi 4% & 12 %

GK2 = Gypsum dan karbit variasi 4% & 14 %

GK3 = Gypsum dan karbit variasi 4% & 16 %

Bahan Pembuatan Benda Uji

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu Semen Tiga Roda, agregat Halus berasal dari Pasir Merapi, agregat kasar berasal dari Clereng, air PDAM, limbah *gypsum* dan karbit.

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia mulai dari persiapan material, pengujian material, pembuatan benda uji sampai pengujian benda uji.

Proporsi Campuran Beton

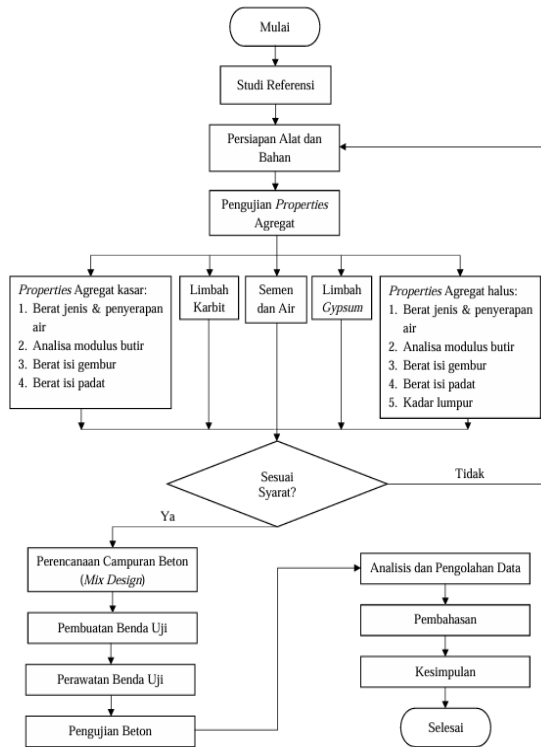
Proporsi campuran beton dengan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen dengan jumlah total 40 buah dalam bentuk silinder dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagai berikut.

Tabel 4.2 Proporsi Campuran Beton dengan Limbah *Gypsum* dan Karbit Sebagai Substitusi Semen

Uraian	Gypsum (kg)	Karbit (kg)	Semen (kg)	Air (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
0% Gypsum 0% Karbit	-	-	26,083	13,042	45,806	64,570
4% Gypsum 12% Karbit	1,043	3,130	21,910	13,042	45,806	64,570
4% Gypsum 14% Karbit	1,043	3,652	21,388	13,042	45,806	64,570
4% Gypsum 16% Karbit	1,043	4,173	20,866	13,042	45,806	64,570
Jumlah	3,130	10,955	90,247	52,166	183,224	258,280

Pada Tabel 4.2 tersebut didapatkan hasilnya yang dimana dilakukan per 10 buah silinder per satu campurannya sesuai dengan kadar variasi limbah *gypsum* dan karbit dan seterusnya pun begitu.

Langkah - langkah Alur Tahapan Penelitian
Secara keseluruhan tahapan penelitian pada ini dapat dirangkum menjadi skema bagan alur yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.3 Bagan Alur Tahapan Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Agregat Halus

Dari pengujian agregat halus yang dilakukan didapat hasil analisis data dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Jenis Curah	2,604	
Berat Jenis SSD	2,639	
Berat Jenis Semu	2,697	
Penyerapan Air	1,317	%
Gradasi	Gradasi II	
Berat Volume Gembur	1,578	gram/cm ³
Berat Volume Padat	1,837	gram/cm ³
Kadar Lumpur	2,80	%

Hasil tersebut menunjukkan bahwa agregat halus yang diuji dapat digunakan sebagai bahan campuran beton yang dimana semua

hasil pengujian telah memenuhi syarat SNI-03-2834-2000.

5.1 Pengujian Agregat Kasar

Dari pengujian agregat kasar yang dilakukan didapat hasil analisis data dilihat pada Tabel 5.2 sebagai berikut. sebagai berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
Berat Jenis Curah	2,560	
Berat Jenis SSD	2,600	
Berat Jenis Semu	2,667	
Penyerapan Air	1,564	%
Ukuran Butir Maksimal	20	mm
Berat Volume Gembur	1,258	gram/cm ³
Berat Volume Padat	1,440	gram/cm ³

Hasil tersebut menunjukkan bahwa agregat kasar yang diuji dapat digunakan sebagai bahan campuran beton yang dimana semua hasil pengujian telah memenuhi syarat SNI-03-2834-2000.

Pengujian Slump

Nilai slump dari pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5.3 Uji Slump

Variasi Kadar Gypsum	Variasi Kadar Karbit	Nilai Slump (cm)	Syarat Slump (10 ± 2) cm
0%	0%	12	Memenuhi
4%	12%	10,75	Memenuhi
4%	14%	9	Memenuhi
4%	16%	8,25	Memenuhi

Nilai slump beton yang lebih tinggi sehingga dapat lebih mudah dikerjakan (*workability*), yang berarti bahwa beton yang baik tidak akan memisahkan agregat dari campuran, yang dikenal sebagai segregasi, dan air dari campuran material, yang dikenal sebagai *bleeding*. Tinggi nilai slump pada semua jenis variasi pada limbah gypsum dan karbit telah memenuhi slump rencana yaitu 10 ± 2 cm. Dapat juga dilihat bahwa terjadi penurunan nilai slump ketika semakin banyak ditambahkan limbah gypsum dan karbit. Hal ini diakibatkan perbedaan berat jenis semen dan limbah karbit serta gypsum berbeda. Berat jenis semen ialah rentang 3 - 3,32 gr/cm³

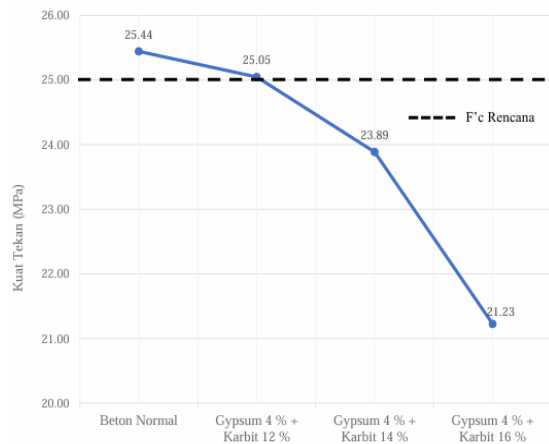
sedangkan limbah karbit mempunyai berat jenis 2,2 gr/cm³ dan *gypsum* mempunyai berat jenis 2,35 gr/cm³. Penelitian berat jenis *gypsum* dan karbit bersumber dari penelitian (Risdianto, 2019) dan penelitian Ibnu Dwiki P, (2017).

Pengujian Kuat Tekan Beton

Adapun contoh perhitungan kuat tekan beton pada benda uji beton normal (BN₁) yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$f'c = \frac{445,152 \times 1000}{18050,460} = 24,662 \text{ MPa}$$

Dengan perhitungan yang sama, benda uji pada variasi-variasi lainnya juga dilakukan perhitungan kuat tekan beton yang kemudian dapat digambarkan kuat tekan beton antara beton normal dan beton variasi limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen dengan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Grafik Kuat Tekan Rerata dengan Berbagai Variasi

Hasil pengujian menunjukkan bahwasannya beton yang ditambahkan limbah *gypsum* dan karbit sebagai pengganti semen ternyata nilai kuat tekannya lebih rendah daripada beton biasa. Hal ini berjalan seiringnya semakin banyaknya limbah *gypsum* dan karbit yang ditambahkan menyebabkan pada saat *mixing* penyerapan air yang terjadi kecil pada *gypsum* dan karbit sehingga berpengaruh pada tekstur campuran dan lebih sulit memadatkannya

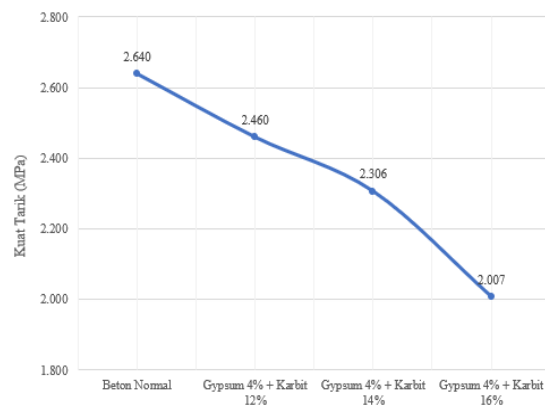
dibanding di beton normal dan juga limbah *gypsum* dan karbit tidak bisa mengisi dan menggantikan udara pada rongga pada beton. pada penelitian saat ini dengan ditambahkan limbah *gypsum* dan karbit dengan kadar variasi semakin besar malah akan menyebabkan penurunan pada beton dan hanya pada nilai variasi *gypsum* 4% dan karbit 12% mempunyai kuat tekan rerata yaitu 25,050 MPa yang dimana sesuai dari nilai kuat tekan rencana yang disyaratkan yakni 25 MPa dan mengalami peningkatan sebesar 0,1888 % dari 25 MPa.

Pengujian Kuat Tarik Belah Beton

Adapun contoh perhitungan kuat tarik belah beton pada benda uji beton normal (BN₁) yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$f'ct = \frac{2 \times 178 \times 1000}{\pi \times 301,3 \times 151,25} = 2,487 \text{ Mpa}$$

Dengan perhitungan yang sama, benda uji pada variasi-variasi lainnya juga dilakukan perhitungan kuat tarik belah beton yang kemudian dapat digambarkan kuat tarik belah beton antara beton normal dan beton variasi limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen dengan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Grafik Kuat Tarik Belah Rerata dengan Berbagai Variasi

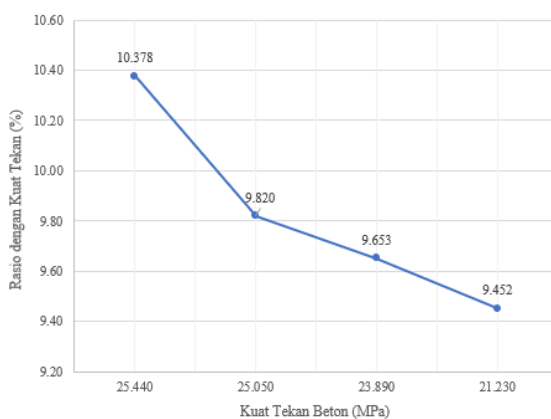
Hampir sama dengan pembahasan yang sudah dibahas pada pengujian kuat tekan beton sebelumnya, bahwa hal yang mempengaruhi ini adalah dengan penambahannya limbah

gypsum dan karbit sebagai substitusi semen di campuran beton bisa mengakibatkan turunnya kuat tarik belah pada beton yang disebabkan oleh kurang melekatnya komponen material antara agregat, semen, air, dan limbah gypsum dan karbit khususnya sehingga menyebabkan adanya rongga udara atau pori pada cetakan beton satu hari setelah pengecoran, meskipun sudah dipadatkan dengan palu. bahwa pada penelitian saat ini dengan ditambahkan limbah gypsum dan karbit dengan kadar variasi semakin besar malah akan menyebabkan penurunan pada beton dan hanya pada nilai variasi gypsum 4% dan karbit 12% mempunyai kuat tarik belah rerata yaitu 2,460 MPa lebih tinggi dari semua variasi limbah gypsum dan karbit.

Adapun Tabel 5.4 dan Gambar 5.3 menunjukkan hubungan antara rasio kekuatan tarik belah dan kekuatan tekan beton sebagai berikut.

Tabel 5.4 Rasio Hubungan Kuat Tarik Belah dengan Kuat Tekan Beton

Kode Benda Uji	Kuat Tarik Belah Rerata (<i>f'c</i>) (Mpa)	Kuat Tekan Rerata (ft) (Mpa)	Rasio Dengan Kuat Tekan (%)
BN	2,640	25,440	10,378
TTM-GK ₁	2,460	25,050	9,820
TTM-GK ₂	2,306	23,890	9,653
TTM-GK ₃	2,007	21,230	9,452



Gambar 5.3 Grafik Hubungan Antara Nilai Kuat Tarik Belah Beton dengan Kuat Tekan Beton

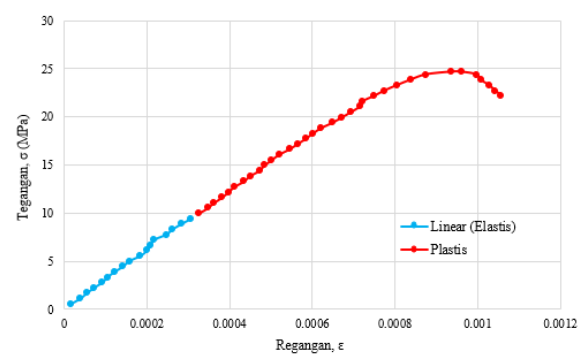
Hasil menunjukkan antara hubungan kuat tekan dengan kuat tarik beton berbanding terbalik dengan penambahan limbah gypsum dan karbit sebagai substitusi semen dengan berbagai variasi akan menyebabkan turunnya nilai rasio hubungan antara kuat tekan dan tarik beton. Didapatkan nilai secara berurutan pada rasio hubungan antara kuat tarik belah dengan kuat tekan yakni sebesar 10,378 %, 9,820 %, 9,653 %, dan 9,452 %. Hal ini sesuai dengan apa yang dikatakan Dipohusodo (1999) menyatakan bahwasannya nilai tarik belah beton normal berkisar antara 8 dan 15% dari kuat tekannya.

Pengujian Modulus Elastisitas Beton

Adapun contoh perhitungan modulus elastisitas pengujian beton berdasarkan ASTM C-469 pada benda uji beton normal (BN₁) yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$E_c = \frac{9,418 - 7,202}{0,0003075 - 0,0002175} = 24622,33 \text{ MPa}$$

Dengan perhitungan yang sama, benda uji pada variasi-variasi lainnya juga dilakukan perhitungan modulus elastisitas pengujian beton yang kemudian dapat digambarkan hubungan antara tegangan regangan beton dengan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



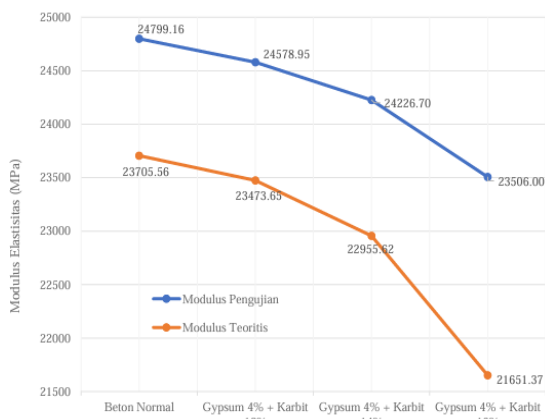
Gambar 5.4 Grafik Hubungan Tegangan Regangan Beton Normal

Adapun contoh perhitungan modulus elastisitas teoritis beton berdasarkan SNI-03-2847-2019 pada benda uji beton normal (BN₁) yang dapat dilihat sebagai berikut.

$$E_c = 4700 \times \sqrt{24,662}$$

$$= 23340,38 \text{ MPa}$$

Dengan perhitungan yang sama, benda uji pada variasi-variasi lainnya juga dilakukan perhitungan modulus elastisitas pengujian beton yang kemudian dapat digambarkan perbandingan modulus elastisitas pengujian berdasarkan ASTM C-469 dan modulus elastisitas teoritis berdasarkan SNI-03-2847-2013 dengan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.5 Grafik Modulus Elastisitas Pengujian dan Teoritis Beton Rata-Rata

Dapat dilihat bahwa penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen di campuran beton mempengaruhi nilai modulus elastisitas beton. Modulus elastisitas mengalami penurunan seiring bertambahnya variasi *gypsum* dan karbit di campuran beton. Nilai hasil modulus elastisitas pengujian tertinggi diperoleh pada jenis beton normal yakni 24799,16 MPa dan pada penambahan variasi limbah *gypsum* 4% dan karbit 12% sebagai substitusi semen terbesar yakni sebesar 24578,95 MPa dari semua variasi dan terendah pada variasi limbah *gypsum* 4% dan karbit 12 % sebesar 23506,00 MPa dari semua variasi. Ini menunjukkan bahwa beton akan menjadi lebih kaku jika ada regangan yang terjadi lebih kecil, dan sebaliknya, jika ada regangan yang terjadi besar, beton akan lebih mudah getas atau hancur.

Tabel 5.5 berikut menunjukkan selisih persentase dari modulus elastisitas pengujian beton bersumber dari ASTM C-469 dan SNI-03-2847-2019.

Tabel 5.5 Selisih Modulus Elastisitas Pengujian dan Teoritis

Variasi Kadar Gypsum + Karbit	Kode Sampel Benda Uji	ASTM C-469 (Mpa)	Teoritis SNI-03-2847-2019 (Mpa)	Selisih Modulus Pengujian dan Modulus Teoritis (%)
		Ec Rata-rata	Ec Rata-rata	Ec Selisih
0%	BN	24799,16	23705,56	4,61
4% ± 12%	TTM-GK ₁	24578,95	23473,65	4,71
4% ± 14%	TTM-GK ₂	24226,70	22955,62	5,54
4% ± 16%	TTM-GK ₃	23506,00	21651,37	8,57
Selisih rata-rata (%)				5,86

Hasil menunjukkan bahwa selisih rata-rata modulus elastisitas pengujian dan modulus elastisitas teoritis sebesar 5,86%. Perbedaan tersebut didapat karena modulus elastisitas ASTM C-469 memperoleh data aktual yang ada saat pengujian berlangsung, sedangkan pengujian modulus elastisitas teoritis SNI-03-2847-2019 berdasarkan data pendekatan kuat tekan beton. Adapun modulus elastisitas teoritis digunakan sebagai pembanding untuk mengukur seberapa akurat data hasil pengujian modulus elastisitas beton yang dilakukan secara setiori sehingga seharusnya hasil modulus elastisitas pengujian dan teoritis tidak jauh berbeda. Menurut selisih hasil modulus elastisitas pengujian telah memenuhi persyaratan dari SNI-03-2847-2019 dengan selisih terbesar 20%.

Hasil Semua Pengujian

Adapun hasil dari setiap pengujian digunakan untuk menilai kekuatan beton secara keseluruhan dari normal hingga variasi *gypsum* dan karbit. Tabel 5.6 berikut menunjukkan hasil total dari semua pengujian.

Tabel 5.6 Hasil Semua Pengujian

Pengujian	Uraian			
	Beton Normal	Variasi 4% ± 12%	Variasi 4% ± 14%	Variasi 4% ± 16%
	Mpa	Mpa	Mpa	Mpa
Kuat Tekan Beton	25,440	25,050	23,890	21,230
Kuat Tarik Belah	2,640	2,460	2,306	2,007
Modulus Elastisitas :				
a. Pengujian	24799,16	24578,95	24226,70	23506,00
b. Teoritis	23705,56	23473,65	22955,62	21651,37

Hasilnya didapatkan beton normal mendapatkan hasil terbaik di pengujian kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas teoritis di beton dan bisa dijadikan acuan. Sedangkan, beton dengan jenis variasi penambahan limbah *gypsum* dan karbit variasi 4% dan 12% mendapatkan hasil terbaik pada semua pengujian variasi beton. Maka berdasarkan hasil tersebut, hasil terbaik dari semua variasi penambahan limbah *gypsum* dan karbit terdapat pada variasi 4% *gypsum* dan karbit 12% yang mendapatkan kuat tekan yaitu 25,050 MPa, tarik belah yaitu 2,460 MPa, dan modulus elastisitas pengujian yaitu 24578,95 MPa, serta modulus elastisitas teoritis sebesar 23473,65 MPa dari semua variasi limbah *gypsum* dan karbit. Akan tetapi, hasil tersebut bukan berarti terburuk melainkan tetap sesuai dengan mutu kuat tekan rencana yang direncanakan sebesar $f'c$ yaitu 25 MPa. Nilai maksimum yang diperoleh pada beton pada karbit variasi 12% di semua pengujian. Dapat disimpulkan bahwasannya banyaknya kadar variasi penambahan limbah *gypsum* dan karbit yang ditambahkan maka akan menyebabkan penurunan pada beton tersebut.

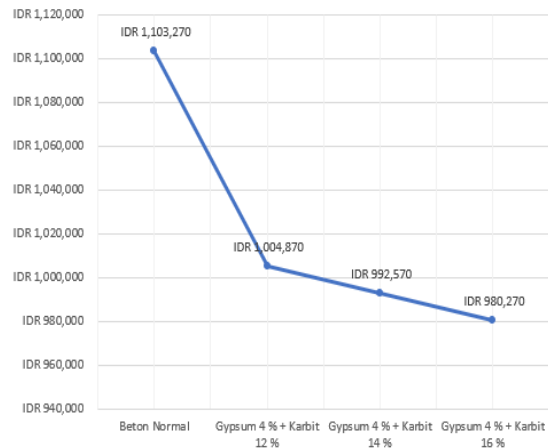
Harga dan Biaya Keseluruhan Campuran

Adapun hasil perhitungan dari harga dan biaya campuran beton secara keseluruhan dari normal hingga variasi *gypsum* dan karbit per m^3 dan grafiknya dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Harga Campuran Beton Per m^3

Kode Benda Uji	Agregat Halus (Rp)	Agregat Kasar (Rp)	Semen (Rp)	Gypsum (Rp)	Karbit (Rp)	Total Harga (Rp)
BN	152.097	336.173	615.000	0	0	1.103.270
TTM-GK ₁	152.097	336.173	516.600	0	0	1.004.870
TTM-GK ₂	152.097	336.173	504.300	0	0	992.570
TTM-GK ₃	152.097	336.173	492.000	0	0	980.270

Didapatkan hasil dari Tabel 5.7 bahwa terjadi pengurangan biaya pada setiap campuran dikarenakan adanya substitusi sebagian semen pada campuran dan juga disini harga limbah *gypsum* dan karbit Rp. 0,00 dikarenakan ini hasil limbah yang tidak digunakan lagi sehingga secara tidak langsung tidak ada harganya atau gratis saat pengambilan limbah tersebut.



Gambar 5.6 Grafik Harga Campuran Beton Per m^3

Hasilnya didapatkan pada campuran beton dengan berbagai variasi penambahan limbah *gypsum* dan karbit dapat mengurangi biaya dan lebih efisien. Terjadi penurunan harga dikarenakan adanya pengurangan semen yang digantikan dengan limbah *gypsum* dan karbit ke dalam campuran beton, akan tetapi pada variasi *gypsum* 4% dan karbit 12% bisa digunakan sebagai salah satu alternatif untuk perencanaan campuran dikarenakan memiliki kuat tekan, kuat tarik belah, modulus elastisitas beton sesuai dengan kuat tekan yang rencanakan yaitu 25 MPa daripada

variasi limbah *gypsum* dan karbit yang lainnya. hingga bisa dinyatakan bahwasannya beton dengan campuran variasi *gypsum* dan karbit memiliki harga yang ekonomis dan juga lebih efisien dibandingkan dengan harga beton normal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Substitusi semen dengan limbah *gypsum* dan karbit mempengaruhi kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton. Beton dengan penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen memiliki kuat tekan, tarik belah, dan modulus elastisitas beton masing-masing variasi secara berturut-turut ialah 25,05 MPa, 2,460 MPa, 24799,16 MPa untuk variasi *gypsum* 4% dan karbit 12%, 23,89 MPa, 2,306 MPa, 24578,95 MPa untuk variasi *gypsum* 4% dan karbit 14%, 21,23 MPa, 2,00s7 MPa, 23506,00 MPa untuk variasi *gypsum* 4% dan karbit 16%. Didapatkan nilai optimum adalah pada variasi *gypsum* 4% dan karbit 12% dan terendah pada variasi *gypsum* 4% dan karbit 16%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen ternyata menurunkan kuat tekan, tarik belah, dan modulus beton. Artinya semakin banyak *gypsum* dan karbit yang ditambahkan pada beton hanya akan menurunkan mutu beton tersebut.
2. Variasi maksimal yang didapatkan pada penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen yakni variasi *gypsum* 4% dan karbit 12% di umur 28 hari yakni dari segi kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton adalah 25,05 MPa, 2,460 MPa, dan 23542,20 MPa.
3. Pada harga biaya produksi campuran beton untuk beton normal memiliki harga per m³ sebesar Rp. 1.103.270,00 yang dapat

digunakan sebagai acuan harga untuk beton dengan berbagai variasi penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen. Beton variasi *gypsum* 4% dan karbit 12% sebagai substitusi semen (TTM-GK₁) memiliki harga per m³ sebesar Rp. 1.004.870,00, mengalami penurunan dan memiliki persentase biaya ekonomis sebesar 8,92% dari harga acuan beton normal sebelumnya. Beton variasi *gypsum* 4% dan karbit 14% sebagai substitusi semen (TTM-GK₂) memiliki harga per m³ sebesar Rp. 992.570,00, mengalami penurunan dan memiliki persentase biaya ekonomis sebesar 10,03% dari harga acuan beton normal sebelumnya. Beton variasi *gypsum* 4% dan karbit 16% sebagai substitusi semen (TTM-GK₃) memiliki harga per m³ sebesar Rp. 980.270,00, mengalami penurunan dan memiliki persentase biaya ekonomis sebesar 11,15% dari harga acuan beton normal sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa harga biaya produksi campuran beton pada penambahan variasi limbah *gypsum* dan karbit lebih terjangkau dan lebih ekonomis daripada harga untuk beton normal.

Saran

Saran yang dapat diberikan untuk mengembangkan penelitian yang telah dilakukan ini untuk melakukan penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan pengkajian uji beton yang lain seperti kuat lentur beton untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen.
2. Perlu melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan limbah *gypsum* dan karbit sebagai substitusi semen di umur 3, 7, 14, dan 21 hari.
3. Diperlukan adanya kajian lebih lanjut tentang kandungan di dalam *gypsum* dan karbit.
4. Diperhatikan juga bahwasannya jenis agregat halus yang digunakan hanya

sebatas pasir merapi dan bisa digunakan jenis agregat halus lain seperti pasir progo dan lain sebagainya atau pada jenis agregat kasar yang digunakan hanya sebatas kerikil clereng dan bisa digunakan jenis agregat halus lain seperti kerikil merapi, koral dan lain sebagainya.

5. Perlu mengkaji tentang berat jenis jenis *gypsum* dan karbit.

DAFTAR PUSTAKA

- Asosiasi Semen Indonesia, (Maret 2017). "Indonesia Cement Statistik 2016".
- ASTM C-469-02. *Standard Test Method For Static Modulus of Elasticity and Poisson's Rattio of Concrete in Compression*. United States: Association of Standar Testing Materials.
- Badan Standarisasi Nasional. (2000). *SNI-03-2834-2000 Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI-03-2491-2002 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). *SNI 1974-2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *SNI 7656-2012 Tata Cara Pemilihan Campuran Beton Untukl Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa*. BSN.go.id.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. BSN.go.id.
- Daniel Surgawi, F. P. (2022). Pengaruh Sandblasting dan Limbah Gypsum Sebagai Bahan Campuran Beton. *Volume 4 Issue 2, Juni 2022, 4, 234-241*.
- Didik Hadi Prayogo, A. R. (2019). Pemanfaatan Limbah Gypsum Board dan Batu Bata Merah Untuk Substitusi Semen Pada Pembuatan Beton. *Vol. 2, No. 2 Oktober 2019, 2, 333-342*.
- Fauzan Hamdi, F. E. (2022). *Teknologi Beton*. Makassar: Tohar Media.
- Heru Sugianto, L. Z. (2020). Pengaruh Penambahan Limbah Sekam Padi dan Serbuk Gypsum Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton. *Vol. 01, No. 01, Maret 2020, 1, 133-140*.
- I Gede Raditya Lalita, A. S. (2023). Analisa Penggunaan Limbah Gypsum Sebagai Substitusi Semen Terhadap Peforma Beton Normal. *Volume 4, Nomor 1, Maret 2023, 4, 147-153*.
- Liberty Juniasy Somalinggi, F. P. (2020). Pengaruh Limbah Karbit / Calcium Karbit Sebagai Bahan Substitusi Semen Pada Beton. *Volume 2 No.4, Desember 2020, 2, 289-297*.
- Nindya Rossavina Dewi, D. D. (2016). Studi Pemanfaatan Limbah B3 Karbit dan Fly Ash Sebagai Bahan Campur Beton Slap Pakai (BSP). *Vol. 13 No.1 Maret 2016, 13, 34-43*.
- PBI. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Jakarta.
- Permana, I. D. (2018). Pemanfaatan Limbah Gypsum Board Sebagai Pengganti Sebagian Semen Terhadap Kuat Tekan Batako. *2018, 39 - 40*.
- Rafki Imani, W. P. (2020). Pengaruh Penambahan Limbah Gypsum Terhadap Kuat Tekan Beton. *Volume 2 No.1 Maret 2020, 15, 1-12*.
- Raihan Ludi Pratama, A. A. (2022). Pengaruh Campuran Serta Limbah Karet Ban Dan Gypsum Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Lentur Beton. *Agrin Vol. 16, No 2, Mei 2022, 1-8*.
- Risdianto, P. M. (2019). Pemanfaatan Limbah Karbit Sebagai Material Pengganti Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Universitas Negeri Surabaya, 2019, 1 - 7*.
- Sahat Martua Sihombing, I. d. (2023). Analisis Penggunaan Limbah Gypsum Sebagai Filler Terhadap Kuat Tekan Beton. *VOL. 9 NO. 02 OKTOBER 2023, 9, 65-72*.
- Triyana Vivin Wagio, J. T. (2023). Penggunaan Limbah Gypsum dan Limbah Karbit Sebagai Substitusi Semen Terhadap Campuran Beton. *Volume 5 Issue 1, Maret 2023, 5, 161-173*.