

# STUDI KUAT TEKAN BETON RINGAN STRUKTURALDENGAN PEMANFAATAN KALSIUM KARBONAT ( $\text{CaCO}_3$ ), SERBUK BATU APUNG DAN TETES TEBU (MOLASE)

<sup>\*)</sup>Muhammad Fauzi<sup>1</sup>, Dian Arumningsih DP<sup>1</sup>, Herman Susila<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan Surakarta

<sup>\*)</sup> Email: muhammadfauzi354.mf@gmail.com

## ABSTRACT

*This study investigates the potential of incorporating calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) as a partial replacement for cement, pumice powder as a substitute for fine aggregates, and molasses as a natural retarding admixture in the development of structural lightweight concrete. The research is motivated by the growing need for sustainable, low-density construction materials that are suitable for seismic regions such as Indonesia. An experimental approach was adopted, involving laboratory testing of compressive strength and density at curing ages of 7, 14, and 28 days. The evaluation criteria were based on the Indonesian National Standard (SNI 2847:2019), which specifies a minimum compressive strength of 17.24 MPa and a maximum density of 1840 kg/m<sup>3</sup> for structural lightweight concrete. The experimental results demonstrated that the proposed material combinations successfully met the required standards. The optimum mix composition consisted of 10%  $\text{CaCO}_3$  by weight of cement, 40% pumice powder by total fine aggregate, and 0.2% molasses. Among the tested variations, the BR-40% mixture achieved a compressive strength of 27.03 MPa and a density of 1824 kg/m<sup>3</sup>, while the BR-50% mixture yielded 24.53 MPa and 1710 kg/m<sup>3</sup>, respectively. These findings confirm the feasibility of using such innovative materials to produce lightweight concrete with enhanced structural performance and improved sustainability.*

**Keywords :** *lightweight concrete,  $\text{CaCO}_3$ , pumice powder, molasses, compressive strength, specific gravity*

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) sebagai substitusi sebagian semen, serbuk batu apung sebagai pengganti sebagian agregat halus, dan tetes tebu (molase) sebagai bahan tambah tipe retarder dalam pembuatan beton ringan struktural. Inovasi ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan akan material konstruksi yang ringan, ramah lingkungan, serta sesuai dengan karakteristik wilayah rawan gempa seperti di Indonesia. Penelitian dilakukan melalui metode eksperimen di laboratorium, dengan pengujian kuat tekan dan berat jenis pada beton umur 7, 14, dan 28 hari. Kriteria yang digunakan mengacu pada SNI 2847:2019, yaitu kuat tekan minimum 17,24 MPa dan berat jenis tidak lebih dari 1840 kg/m<sup>3</sup>. Hasil menunjukkan bahwa beton dengan campuran inovatif tersebut berhasil memenuhi syarat sebagai beton ringan struktural. Komposisi optimum yang diperoleh mencakup 10% kalsium karbonat dari berat semen, 40% serbuk batu apung dari agregat halus, serta 0,2% molase. Campuran dengan variasi BR-40% menghasilkan kuat tekan sebesar 27,03 MPa dan berat jenis 1824 kg/m<sup>3</sup>, sedangkan BR-50% mencatatkan kuat tekan 24,53 MPa dengan berat jenis 1710 kg/m<sup>3</sup>. Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi bahan tersebut tidak hanya mampu mengurangi berat struktur, tetapi juga meningkatkan performa mekanis beton.

**Kata kunci :** beton ringan,  $\text{CaCO}_3$ , serbuk batu apung, molase, kuat tekan, berat jenis

## 1. PENDAHULUAN

Pembangunan di era modern terus berkembang pesat, khususnya di bidang konstruksi. Beton menjadi material utama karena memiliki kekuatan tinggi, tahan terhadap api dan perubahan iklim, serta mudah dalam pengerjaannya. Namun, mengingat Indonesia berada di kawasan Ring of Fire yang rawan gempa bumi, dibutuhkan solusi konstruksi yang mampu mengurangi risiko keruntuhan, salah satunya melalui penggunaan beton ringan. Beton ringan, sesuai SNI, memiliki berat jenis kurang dari 1840 kg/m<sup>3</sup> dan dapat mengurangi beban struktur bangunan. Untuk mencapai spesifikasi ini, dibutuhkan material dengan berat jenis rendah. Serbuk batu apung digunakan sebagai substitusi agregat halus karena ringan, mudah diperoleh, dan sesuai standar ACI 213R-87.

Selain itu, penggunaan semen dalam jumlah besar berkontribusi terhadap emisi karbon global. Untuk itu, kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) digunakan sebagai substitusi sebagian semen karena kandungan kalsium oksidanya dapat meningkatkan pembentukan kalsium silikat hidrat (C-S-H), yang berperan dalam meningkatkan kuat tekan beton. Masalah lainnya adalah pengerasan beton segar akibat jarak jauh antara batching plant dan lokasi proyek. Oleh karena itu, digunakan molase (tetes tebu), limbah industri gula, sebagai bahan tambahan (admixture) yang berfungsi sebagai retarder. Selain mendukung performa beton, penggunaan molase juga menjadi solusi pemanfaatan limbah industri. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penggunaan  $\text{CaCO}_3$ , serbuk batu apung, dan molase terhadap sifat mekanik dan berat jenis beton ringan, guna menghasilkan beton ringan struktural sesuai ketentuan SNI 2847:2019, yaitu berat <1840 kg/m<sup>3</sup> dan kuat tekan >17,24 MPa.

## Beton

Beton, sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI), adalah material yang terbentuk dari kombinasi semen, agregat (baik yang kasar maupun halus), air, dan bahan tambahan lainnya. Campuran ini dibuat dengan proporsi tertentu, lalu diaduk dan dituangkan ke dalam cetakan untuk kemudian mengeras. Beton dapat diklasifikasikan menjadi berbagai jenis berdasarkan komposisi dan kekuatan yang diinginkan.

### Beton ringan struktural (*lightweight concrete*)

Menurut SNI 2847:2019, beton ringan adalah beton dengan berat isi kurang dari 1840 kg/m<sup>3</sup>. Beton ringan dapat diperoleh melalui penggunaan agregat ringan, penambahan udara saat pencampuran, atau dengan menambahkan material berberat jenis rendah. Beton ringan struktural merupakan beton yang menggunakan agregat ringan secara penuh, atau kombinasi antara agregat kasar ringan dan pasir alam sebagai pengganti agregat kasar. Beton ini tidak hanya harus memenuhi batas berat maksimum 1840 kg/m<sup>3</sup>, tetapi juga harus memiliki kuat tekan sesuai dengan persyaratan beton struktural ringan, sebagaimana diatur dalam SNI 2461:2014.

Miswar (2020) menyatakan bahwa pengurangan berat jenis beton dapat dilakukan melalui tiga cara, yaitu:

1. Membentuk gelembung udara saat proses pencampuran,
2. Menggunakan agregat ringan
3. Membuat beton tanpa menggunakan pasir (non-pasir).

### Bahan penyusun beton

#### 1. *Cement Portland*

Semen berasal dari bahasa Inggris yang merujuk pada bahan seperti batu kapur atau campuran adukan. Penggunaannya telah dikenal sejak lebih dari dua milenium di Italia. Dalam konstruksi, terutama beton, semen berfungsi sebagai pengikat utama karena sifat kohesif dan adhesifnya yang menyatukan elemen campuran menjadi massa padat. Jenis semen yang paling umum adalah semen portland, termasuk semen hidrolis, yaitu semen yang mengeras melalui reaksi dengan air (hidrasi). Semen ini dibuat dengan menggiling klinker yang mengandung silikat kalsium hingga menjadi serbuk halus. Secara umum, semen terbagi menjadi dua jenis: hidrolis, yang mengeras dan stabil dalam air, serta non-hidrolis, yang tidak stabil jika terkena air atau kondisi lembab.

#### 2. Agregat

Agregat merupakan komponen utama beton yang menyumbang sekitar 60–70% dari total berat campuran. Material ini dapat berasal dari sumber alami seperti pasir dan kerikil, atau hasil buatan. Berdasarkan ukurannya, agregat dibedakan menjadi dua, yaitu agregat halus ( $\leq 4,75$  mm) dan agregat kasar ( $> 4,75$  mm), sesuai standar ASTM. Ukuran maksimum agregat dalam beton umumnya tidak melebihi 40 mm. Sifat fisik dan mekanis agregat sangat mempengaruhi mutu beton, sehingga pemilihannya harus memenuhi standar yang berlaku. Di Indonesia, standar yang digunakan mengacu pada ASTM C33-82: *Standard Specification for Concrete Aggregates*.

#### 4. Air

Air merupakan komponen penting dalam pembuatan beton, berfungsi sebagai pemicu reaksi kimia dengan semen (*hidrasi*) dan sebagai pelumas antar butir agregat agar campuran mudah diaduk dan dipadatkan. Kebutuhan air untuk reaksi dengan semen berkisar sekitar 25% dari berat semen.

#### 5. Bahan Tambah

Bahan tambah (*admixture*) adalah suatu bahan berupa bubuk atau cairan, yang ditambahkan ke dalam campuran adukan beton selama pengadukan, dengan tujuan untuk mengubah sifat adukan atau betonnya. Berdasarkan ACI (*American Concrete Institute*), bahan tambah adalah material selain air, agregat dan semen hidrolik yang dicampurkan dalam beton atau *mortar*. Penggunaan bahan tambah harus memperhatikan standar yang berlaku seperti SNI (*Standar Nasional Indonesia*), ASTM (*American Society for Testing and Materials*) atau ACI (*American Concrete Institute*) dan yang paling utama memperhatikan petunjuk produk yang digunakan.

### Kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>)

Kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) adalah senyawa kimia yang banyak ditemukan pada batuan alam, cangkang organisme laut seperti siput, mutiara, kulit telur, serta merupakan salah satu bahan penyusun semen. Senyawa ini terbentuk secara alami melalui proses sedimentasi fosil dan terumbu karang, serta dapat diperoleh melalui penambangan atau reaksi kimia antara CO<sub>2</sub> dan kalsium hidroksida.

Ketika dipanaskan, CaCO<sub>3</sub> terurai menjadi kalsium oksida (CaO) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Dalam beton, CaCO<sub>3</sub> berfungsi mempercepat pengerasan, meningkatkan nilai slump (konsistensi beton segar), dan memperbaiki workability. Selain itu, CaCO<sub>3</sub> meningkatkan kepadatan campuran, mengurangi porositas, serta memperbaiki daya pompa dan hasil akhir permukaan beton. Penggunaannya sebagai bahan pengisi juga membantu menurunkan biaya

produksi beton (Noah Chemical, 2018).

### **Serbuk batu apung**

Batu apung adalah batuan vulkanik berwarna terang yang mengandung banyak pori akibat gelembung gas yang terperangkap selama proses pendinginan magma saat letusan gunung berapi. Batu ini dikenal sebagai batuan gelas vulkanik silikat dan termasuk jenis batuan piroklastik. Ciri khas batu apung adalah tingkat porositas (*vesikularitas*) yang tinggi dan densitas rendah ( $< 1 \text{ g/cm}^3$ ). Karakteristik lainnya meliputi daya serap air  $\pm 21\%$ , kuat tekan hingga 20 MPa, dan kandungan kimia utama seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ , dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Sifat isolasi termal yang baik, ringan, dan tahan gempa menjadikan batu apung ideal sebagai bahan campuran beton ringan. Menurut penelitian Abdul Basid dkk. (2020), penggunaan batu apung sebagai agregat halus dapat meningkatkan kuat tekan beton ringan hingga 41,72% dari umur 7 hari ke 28 hari, menunjukkan potensi penggunaannya dalam aplikasi struktural ringan.

### **Tetes tebu (*molase*)**

Tetes tebu (*molase*) merupakan limbah cair dari proses kristalisasi gula yang tidak dapat lagi diolah menjadi gula murni. Dari proses produksi gula, sekitar 5% menghasilkan gula, 90% ampas tebu, dan sisanya adalah molase serta air (Nau, 2013). Molase mengandung komponen utama seperti 32% sukrosa, 14% glukosa, dan 16% fruktosa, sehingga memiliki potensi sebagai bahan tambahan dalam campuran beton.

Molase berfungsi sebagai admixture bertipe retarder, yaitu bahan yang memperlambat waktu ikatan beton dan proses hidrasi semen (Gao et al., 2011). Penambahan molase juga dapat meningkatkan kemampuan kerja beton segar, menurunkan rasio air-semen, serta memperpanjang waktu pengerasan (Jumadurdiyev et al., 2004; Canbaz et al., 2011). Meskipun tidak secara langsung meningkatkan kuat tekan, penggunaannya dalam jumlah tepat dapat membantu memperbaiki mutu beton secara keseluruhan (Santoso, 2012).

## **2. METODE PENELITIAN**

Metode penelitian ini dirancang agar berhasil mencapai tujuan penelitian yang dimaksudkan. Metode penelitian meliputi langkah-langkah menyelidiki secara ilmiah suatu masalah, kasus, gejala, atau fenomena untuk memperoleh jawaban yang dapat dimengerti.

### **Pengumpulan data**

Tahap persiapan meliputi studi literatur dan identifikasi masalah. Studi literatur dilakukan dengan menelaah sumber-sumber terpercaya, seperti buku dan jurnal ilmiah, yang membahas penggunaan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), serbuk batu apung, dan tetes tebu (*molase*) dalam campuran beton. Kegiatan ini bertujuan untuk memperoleh dasar teori dan mendukung arah penelitian.

### **Bahan material**

Bahan material yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

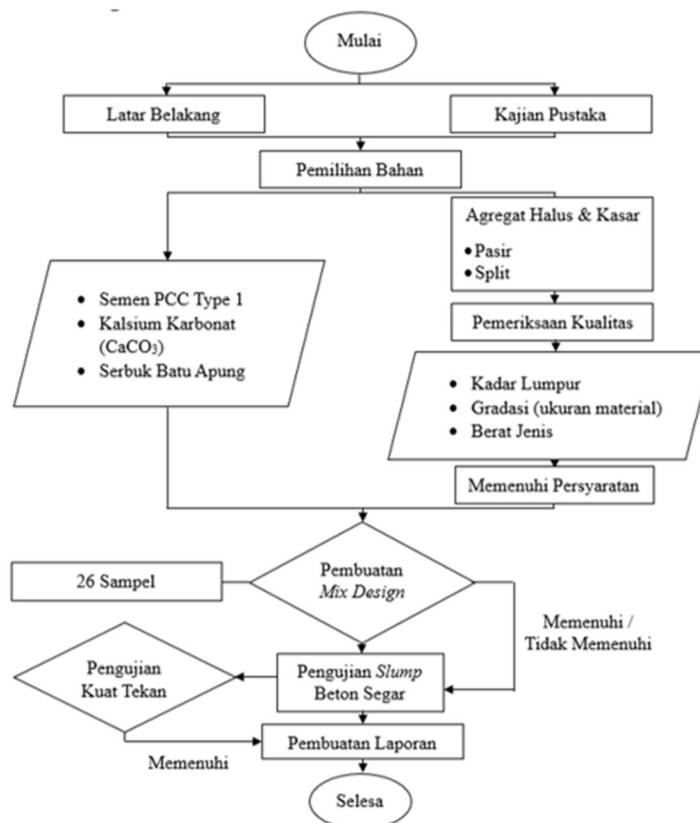
1. *Portland Composite Cement* merek Semen Gresik
2. Agregat halus pasir alami lolos ayakan 4,75 mm
3. Agregat kasar kerikil berukuran maksimal 19 mm
4. Air sumur
5. Tetes tebu (*Molase*)
6. Kalsium karbonat lolos ayakan 0,075 mm (No. 200)
7. Serbuk batu apung lolos ayakan 4,75 mm

### **Perencanaan benda uji**

Pada penelitian ini, benda uji dicetak dalam bentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kadar optimum dari berbagai inovasi material terhadap berat dan kuat tekan beton. Variasi kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang digunakan adalah sebesar 0%, 2%, 5%, dan 10% dari total berat semen. Sementara itu, tetes tebu (*molase*) divariasikan sebesar 0%, 0,2%, dan 0,4% sebagai bahan tambah *retarder*. Dari hasil pengujian, akan ditentukan kadar optimal dari penggunaan abu ampas tebu dan abu batu tersebut. Selain itu, digunakan pula variasi pasir batu apung sebesar 40% dan 50% dari total berat agregat halus. Perbandingan antara agregat halus dan agregat kasar dalam campuran beton ini adalah 60% : 40%.

### **Tahapan penelitian**

Tahapan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

### 3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### Hasil pengujian pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pasir merapi yang berasal dari daerah kali progo, Yogyakarta. Berikut adalah hasil pengujian pasir sebagai agregat halus.

Tabel 1. Hasil Pengujian Pasir

No.	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Syarat	Standar Pengujian	Kesimpulan
1	Kandungan Lumpur	1,6%	Maksimum 5%	SNI ASTM C117:2012	Memenuhi
2	Bulk Spesific Gravity	2,51	-	SNI 1970:2008	Memenuhi
3	Bulk Spesific Gravity SSD	2,55	2,5 – 2,7	SNI 1970:2008	Memenuhi
4	Appearent Spesific Gravity	2,61	-	SNI 1970:2008	Memenuhi
5	Absorbtion	1,62%	2%	SNI 1970:2008	Memenuhi
6	Modulus Halus Butir	2,83	2,3 – 3,1	SNI ASTM C136-06:2012	Memenuhi
7	Ukuran Maksimum Agregat	4,75	-	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

#### Hasil pengujian serbuk batu apung

Serbuk batu apung (*pumice*) yang berasal dari toko aquarium di daerah Surakarta. Berikut adalah hasil pengujian serbuk batu apung sebagai agregat halus ringan.

Tabel 2. Hasil Pengujian Pasir

No.	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Syarat	Standar Pengujian	Kesimpulan
1	Kandungan Lumpur	0,4%	Maksimum 5%	SNI ASTM C117:2012	Memenuhi
2	Bulk Spesific Gravity	0,92	-	SNI 03-2461-2002	Memenuhi
3	Bulk Spesific Gravity SSD	1,05	1,0 – 1,8	SNI 03-2461-2002	Memenuhi
4	Appearent Spesific Gravity	1,06	-	SNI 03-2461-2002	Memenuhi
5	Absorbtion	13,63	20%	SNI 03-2461-2002	Memenuhi
6	Modulus Halus Butir	2,86	2,3 – 3,1	SNI ASTM C136-06:2012	Memenuhi
7	Ukuran Maksimum Agregat	4,75	-	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

### Hasil pengujian batu pecah

Kerikil atau batu pecah yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari kali progo, Yogyakarta. Berikut adalah hasil pengujian batu pecah sebagai agregat kasar.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Pasir

No.	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Syarat	Standar Pengujian	Kesimpulan
1	Kandungan Lumpur	0,4%	Maksimum 5%	SNI ASTM C117:2012	Memenuhi
2	Bulk Spesific Gravity	0,92	-	SNI 03-2461-2002	Memenuhi
3	Bulk Spesific Gravity SSD	1,05	1,0 – 1,8	SNI 03-2461-2002	Memenuhi
4	Appearent Spesific Gravity	1,06	-	SNI 03-2461-2002	Memenuhi
5	Absorbtion	13,63	20%	SNI 03-2461-2002	Memenuhi
6	Modulus Halus Butir	2,86	2,3 – 3,1	SNI ASTM C136-06:2012	Memenuhi
7	Ukuran Maksimum Agregat	4,75	-	-	Memenuhi

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

### Hasil perhitungan campuran beton (*mix design*)

Rencana campuran beton ringan menggunakan rencana mix design sesuai SNI 7656-2012 tentang tata cara pemilihan campuran untuk beton normal dengan kekuatan rencana 25 MPa pada umur 28 hari sesuai syarat beton ringan struktural yaitu >17,24 MPa. Perancangan campuran adukan beton yang bertujuan untuk memperoleh kualitas beton ringan yang memenuhi syarat. Pada penelitian ini perbedaan *mix design* terletak pada komposisi penggunaan pasir batu apung yaitu 40% dan 50%. Tabel berikut menunjukkan data dari bahan campuran beton yang dibuat.

**Tabel 4.** Perhitungan Campuran Beton (*Mix Design*)

Material	Komposisi 1 Silinder 40%	Komposisi 1 Silinder 50%
Semen	0,896 kg	0,896 kg
Kalsium Karbonat	0,099 kg	0,099 kg
Pasir	0,737 kg	0,369 kg
Serbuk Batu Apung	0,454 kg	0,568 kg
Batu Pecah/ <i>Split</i>	1,505 kg	1,505 kg
Tetes Tebu	0,003 lt	0,003 lt
Air	0,478 lt	0,478 lt

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

### Hasil pengujian uji slump

Dari pembuatan campuran adukan beton akan diperoleh nilai slump yang diperlukan untuk mengetahui tingkat workabilitas campuran beton. Workabilitas yang memadai sangat diperlukan untuk memudahkan proses pengadukan, pengangkutan, penuangan dan pemadatan sehingga mudah dikerjakan.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Slump

Sampel	Slump (mm)		Rata – Rata (mm)
	Tertinggi	Terendah	
Beton ringan dengan variasi serbuk batu apung 40% (BR – 40%)	98	95	96,5
Beton ringan dengan variasi serbuk batu apung 50% (BR – 50%)	110	100	105

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

### Hasil pengujian berat jenis beton

Dari hasil pengujian berat jenis beton dengan benda uji silinder Ø 10 cm x 20 cm pada umur 28 hari, masing-masing percobaan dibuat sebanyak 9 sampel beton dengan perbandingan 40% agregat kasar dan 60% agregat halus untuk mendapat berat jenis ringan dan kuat tekan tinggi yang memenuhi syarat sebagai beton ringan struktural.

**Tabel 6.** Hasil Pengujian Berat Jenis

Sampel	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )
Beton ringan dengan variasi serbuk batu apung 40% (BR – 40%)	1824
Beton ringan dengan variasi serbuk batu apung 50% (BR – 50%)	1710

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

### Hasil pengujian kuat tekan

Pengujian kekuatan tekan beton dilaksanakan sesuai dengan standar SNI 1974 : 2011. Sampel beton yang diuji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 100 mm dan tinggi 200 mm. Pengujian kekuatan tekan dilakukan pada

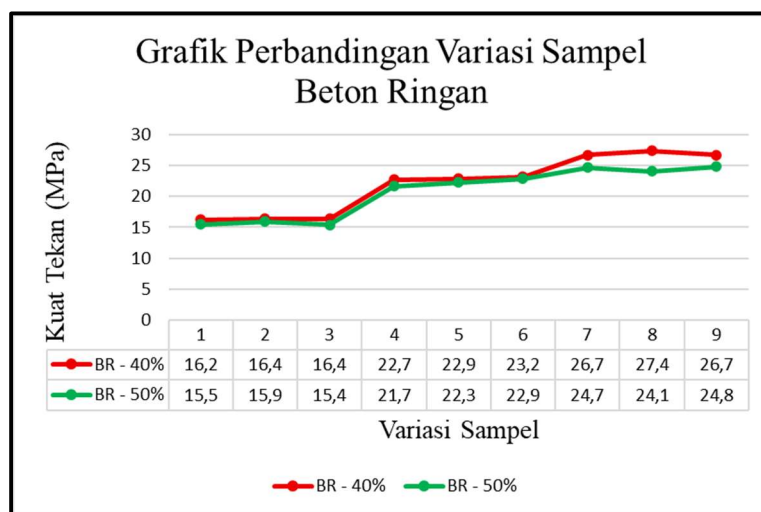
usia beton 7, 14, dan 28 hari. Tujuan utama pengujian ini adalah untuk membandingkan nilai kekuatan tekan dari dua rancangan campuran beton yang berbeda. Proses pengujian memakai alat *Compression Testing Machine*. Berikut ini adalah data hasil dari pengujian kekuatan tekan beton tersebut:

**Tabel 7.** Rekapitulasi Hasil Uji Kuat Tekan

Sampel	Umur (hari)	Kuat Tekan BR – 40% (MPa)	Rata – Rata (MPa)	Kuat Tekan BR – 50% (MPa)	Rata – Rata (MPa)
1	7	16,2	16,3	15,5	15,6
2		16,4		15,9	
3		16,4		15,4	
4	14	22,7	22,9	21,7	22,3
5		22,9		22,3	
6		23,2		22,9	
7	28	26,7	27,03	24,7	24,53
8		27,4		24,1	
9		26,7		24,8	

Sumber: Hasil Penelitian, 2025

Berdasarkan data hasil pengujian beton yang telah dirangkum dalam tabel sebelumnya, dilakukan visualisasi dalam bentuk grafik untuk melihat tren peningkatan kekuatan tekan pada masing-masing jenis campuran beton yang diuji pada usia 7, 14, 21, dan 28 hari. Grafik yang menunjukkan perkembangan tersebut ditampilkan sebagai berikut :



Sumber: Hasil Penelitian, 2025

**Gambar 2.** Grafik Perbandingan Kuat Tekan

Berdasarkan rekapitulasi data pengujian kuat tekan beton, diperoleh rata-rata nilai untuk variasi BR-40% sebesar 16,3 MPa pada umur 7 hari, 22,9 MPa pada umur 14 hari, dan 27,03 MPa pada umur 28 hari. Sementara itu, variasi 50% menunjukkan rata-rata kekuatan tekan sebesar 15,6 MPa pada umur 7 hari, 22,3 MPa pada umur 14 hari, dan 24,53 MPa pada umur 28 hari. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa campuran beton yang menggunakan 40% pasir batu apung sebagai agregat halus menghasilkan kekuatan tekan tertinggi.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian semen (bahan semen tambahan) dengan proporsi optimal sebesar 10% dari total berat semen. Selain itu, tetes tebu (molase) terbukti efektif digunakan sebagai bahan tambah retarder dari total berat semen. Dari dua campuran beton yang diuji, campuran dengan 40% serbuk batu apung menghasilkan kuat tekan rata-rata 27,03 MPa pada umur 28 hari, sementara campuran dengan 50% pasir batu apung menghasilkan rata-rata kuat tekan sebesar 24,53 MPa pada usia yang sama. Kedua nilai tersebut telah memenuhi kriteria beton ringan struktural.

#### DAFTAR PUSTAKA

Alfansuri, A. &. ((2017)). Pemanfaatan Batu Apung Dalam Pembuatan Beton Ringan Dengan Penambahan Lumpur Sidoarjo (Lusi) sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan dan Porositas. Jurnal Rekayasa Teknik Sipil, 1-11.

- Amilia, R. I. (2002). Beton Ringan Struktural Dengan Memanfaatkan Agregat Buatan Dari Tanah Liat. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 605-620.
- Bahroini, M. (2023). Inovasi Beton Ringan Dan Ekonomis Menggunakan Abu Sekam Padi, Serbuk Bata Ringan, Abu Batu. *Ejournal.utp.id*.
- Cem Akar, M. C. (2016). Effect of molasses as an admixture on concrete durability. *Journal of Cleaner Production*, 2374-2380.
- Dkk, M. (2020). pemanfaatan material seperti batu apung dan limbah styrofoam dalam pembuatan beton ringan. 26.
- Kassa, Y. (2019). Application of cane molasses as concrete retarder admixture. *Discover Aplied Sciences*.
- Lomboan, F. O. ((2016)). Pengujian kuat tekan mortar dan beton ringan dengan menggunakan agregat ringan batu apung dan abu sekam padi sebagai substitusi parsial semen. *Jurnal Sipil Statik*, 4.
- Lucky Candra, A. H. (2021). Pengaruh penambahan tetes tebu terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas. *Jurnal Merdeka*.
- Nugraha, G. S. (2019). Kajian Pengaruh Kalsium Karbonat Dan Limbah Adukan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal Mutu Rendah. *Simteks (Sistem Infrastruktur Teknik Sipil) Universitas Sangga Buana YPKP*, 58-61.
- Rahma, C. (2023). Analisis pengaruh penambahan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dan cangkang kerang terhadap kuat tekan pada low cement concrete (LCC). *Jurnal UTP*.
- Suhendro. (2014). Pengaruh Variasi Campuran Serbuk Aluminium Dalam Pembuatan Bata Beton Ringan Dengan Bahan Tambah Serbuk Gypsum. *Universitas Muhammadiyah Surakarta Journal*, 5.
- Susanti, R. D. (2011). *Teknologi Bahan Konstruksi*. Medan: Dinas Pendidikan Propinsi Sumatra Utara.
- Suseno, H. ((2013)). Penggunaan Batuan Skoria Dari Gunung Kelud Blitar Sebagai Agregat Kasar Pada Beton Ringan Struktural. . *Rekayasa Sipil*, 149-156.
- Yanti, G. (2015). Analisis Beton Ringan Tanpa Agregat Kasar. *ejournal.stp.co.id*.
- Yudhatama, Y. S. (2023). Studi kuat tekan beton ringan struktural dengan pemanfaatan abu ampas tebu, pasir batu apung dan abu batu. *Jurnal UTP*.