

## PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BOTOL KACA SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT TEKAN DAN LENTUR BETON

**Yudi Pranoto<sup>1)</sup>, Yunita Wulan Dari<sup>2)</sup> & Mohammad Hidayat<sup>3)</sup>**

<sup>1,3)</sup>Program Studi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda, Indonesia.

<sup>2)</sup> Program Studi Rekayasa Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda, Indonesia

*Email korespondensi : [yudipranoto@polnes.ac.id](mailto:yudipranoto@polnes.ac.id)*

### ABSTRAK

Limbah botol kaca merupakan bahan anorganik yang tidak dapat terurai secara alami dan dapat membahayakan manusia. Oleh karena itu, diperlukan inovasi untuk mengurangi limbah botol kaca dengan memanfaatkan limbah botol kaca yang ada sebagai bahan campuran beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi limbah botol kaca dan persentase maksimum limbah botol kaca terhadap kekuatan tekan dan lentur beton. Mutu beton yang direncanakan adalah  $f'_c$  20 MPa. Variasi limbah botol kaca yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7 dan 28 hari. Sedangkan, pengujian kuat lentur beton dilakukan pada umur 28 hari. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kuat tekan dan lentur maksimum untuk beton umur 28 hari dengan variasi limbah botol kaca 20% sebesar 15,015 MPa untuk kuat tekan dan 3,597 MPa untuk kuat lentur. Substitusi limbah botol kaca dapat meningkatkan kuat tekan dan lentur sebesar 15,25% dan 41,55%.

*Kata kunci : kuat tekan, kuat lentur, limbah botol kaca*

### ABSTRACT

*Glass bottle waste is a non-organic material that cannot be decomposed naturally and can harm humans. Therefore, innovation is needed to reduce glass bottle waste by utilize existing glass bottle waste as a concrete mixture material. The aims of this research is to determine the effect of glass bottle waste substitution and the maximum percentage of glass bottle waste on the compressive and flexural strength of concrete. The planned concrete quality is  $f'_c$  20 MPa. The variations of glass bottle waste are 0%, 5%, 10%, 15% and 20%. Concrete compressive strength testing was conducted on 7 and 28 days. Meanwhile, flexural strength testing of concrete was carried out at 28 days. From the test results shown that the maximum compressive and flexural strength values for concrete aged 28 days we obtained with a 20% glass bottle waste variations of 15,015 MPa for compressive strength and 3,597 MPa for flexural strength. The substitution of waste glasses can increase compressive and flexural strength 15,25% and 41,55%.*

*Keyword : compressive strength, flexural strength, waste glass bottle*

## 1. PENDAHULUAN

Samarinda adalah ibu kota Provinsi Kalimantan Timur. Samarinda merupakan kota dengan jumlah penduduk terbesar di seluruh Pulau Kalimantan dengan luas wilayah hanya 783 km<sup>2</sup> dan jumlah penduduk 834.824 jiwa dengan kepadatan penduduk Kota Samarinda pada tahun 2022 sebesar 1.162 jiwa per km<sup>2</sup>. Data BPS yang menunjukkan pertumbuhan penduduk di Kota Samarinda dan diiringi dengan peningkatan konsumsi masyarakat. Pertambahan penduduk dan tingginya tingkat konsumsi masyarakat, mengakibatkan limbah juga bertambah banyak. Berdasarkan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Tahun 2022 Provinsi Kalimantan Timur, persentase limbah botol kaca lebih kecil dibandingkan limbah anorganik lainnya.

Limbah botol kaca merupakan bahan anorganik yang tidak dapat terurai secara alami. Limbah botol kaca yang tidak terurai akan menumpuk, mencemari lingkungan dan membahayakan manusia. Oleh karena itu, diperlukan inovasi untuk mengurangi limbah botol kaca yaitu dengan memanfaatkan limbah botol kaca yang ada sebagai salah satu bahan campuran beton. Pemanfaatan limbah botol kaca sebagai substitusi agregat halus, diharapkan dapat meningkatkan kekuatan tekan dan lentur beton. Limbah botol kaca yang digunakan adalah limbah botol kaca yang telah dihancurkan menjadi serbuk kaca yang lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200. Variasi persentase serbuk kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%.

Berdasarkan penelitian Ayu Suhartini, dkk dengan judul penelitian “Pengaruh Penambahan Tumbukan Limbah Botol Kaca sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton” menunjukkan bahwa penambahan tumbukan limbah botol kaca sebesar 2,5% dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 7,57% dari kuat tekan beton normal. Untuk penambahan nilai kuat lentur tertinggi adalah pada variasi 10% sebesar 22% terhadap kuat lentur beton normal. Pada penelitian Muhammad Ramdhan Olii, dkk dengan judul penelitian “Limbah Kaca sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus untuk Beton Ramah Lingkungan” menunjukkan bahwa pada persentase 20% dan 40% mengalami peningkatan 5,4% dan 2,6% nilai kuat tekan dari kuat tekan rencana.

Penelitian ini akan menguji pengaruh penggunaan limbah botol kaca sebagai substitusi agregat halus (pasir) dengan variasi persentase 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%, serta nilai slump yang direncanakan berkisar antara 6 hingga 18 cm. Tujuan penelitian ini adalah untuk melanjutkan dan mengembangkan penelitian sebelumnya dengan memperluas variasi persentase substitusi. Selain itu, penelitian ini akan mengevaluasi pengaruh substitusi limbah botol kaca terhadap kuat tekan dan kuat lentur beton pada umur 7 dan 28 hari, dengan target kualitas beton  $f'c$  20 MPa. Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai penggunaan limbah botol kaca dalam campuran beton dan potensi untuk meningkatkan kekuatan beton.

## 2. STUDI LITERATUR

Beton merupakan campuran semen portland atau semen hidraulik lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa campuran tambahan yang membentuk massa padat.

### 2.1 Material Beton

Pada umumnya beton terdiri atas tiga material penyusun beton yaitu semen, agregat dan air. Berikut material penyusun beton.

1. Semen

Semen merupakan bahan perekat yang mempunyai sifat pengikatan kimia dan dapat membentuk senyawa baru (pasta hingga padatan) bila direaksikan dengan air.

2. Agregat

Agregat merupakan material granular, misalnya pasir, kerikil dan batu pecah yang dipakai bersama-sama dengan suatu pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidraulik. Berdasarkan ukurannya, agregat dibagi menjadi agregat kasar dan halus. Agregat kasar merupakan agregat yang semua butirannya tertahan di saringan No. 4 dan agregat halus merupakan agregat yang semua butirannya lolos saringan No. 4.

3. Air

Air merupakan salah satu faktor penting karena air bereaksi dengan semen, yang akan menjadi pasta pengikat agregat. Kualitas air sangat mempengaruhi kekuatan beton, karena bila kelebihan air akan menyebabkan beton mengalami bleeding.

4. Limbah Botol Kaca

Limbah botol kaca yang dimaksud dalam penelitian ini adalah botol kaca yang dihancurkan menjadi serbuk kaca yang lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200 seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1** Serbuk kaca

## 2.2 Pengujian Material

Pengujian material dilakukan untuk mengetahui apakah material yang digunakan sesuai dengan persyaratan yang ada atau tidak. Standar pengujian material yang dilakukan dalam penelitian ini, tercantum pada **Tabel 1**.

**Tabel 1** Standar pengujian material

| No. | Pengujian                                | Standar Pengujian |
|-----|------------------------------------------|-------------------|
| 1   | Berat Jenis Semen                        | SNI 2531:2015     |
| 2   | Konsistensi Normal Semen                 | SNI 03-6826-2002  |
| 3   | Waktu Pengikatan Semen                   | SNI 03-6827-2002  |
| 4   | Berat Isi Agregat                        | SNI 03-4804-1998  |
| 5   | Berat jenis dan Penyerapan Agregat Kasar | SNI 1969:2008     |
| 6   | Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus | SNI 1970:2008     |
| 7   | Kadar Air Agregat                        | SNI 1971:2011     |
| 8   | Kadar Lumpur Agregat Kasar               | SNI 03-1969-1990  |
| 9   | Kadar Lumpur Agregat Halus               | SNI 03-4142-1996  |
| 10  | Analisa Saringan Agregat                 | SNI 03-1968-1990  |
| 11  | Abrasi Agregat                           | SNI 03-2417-2008  |

### 2.3 Rancangan Campuran Beton

Penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2002, yang digunakan sebagai pedoman untuk menentukan komposisi atau proporsi material penyusun beton yang tepat. Perencanaan ini bertujuan untuk merancang campuran beton dengan proporsi material yang optimal agar memenuhi persyaratan teknis yang telah diterapkan. Proses perancangan campuran dilakukan secara teliti untuk memastikan bahwa beton yang dihasilkan memiliki kualitas dan karakteristik yang sesuai dengan standar yang diinginkan.

### 2.4 Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji yang dilakukan untuk pengujian kuat lentur yaitu berbentuk silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm, serta pengujian kuat lentur berbentuk balok dengan ukuran panjang 60 cm, lebar 15 cm dan tinggi 15 cm. Setiap variasi beton memiliki 3 sampel benda uji, seperti yang tercantum pada **Tabel 2**.

**Tabel 2** Jumlah benda uji

| Pengujian   | Serbuk Kaca (%) | Umur Beton |         | Jumlah Benda Uji |
|-------------|-----------------|------------|---------|------------------|
|             |                 | 7 Hari     | 28 Hari |                  |
| Kuat Tekan  | 0               | 3          | 3       | 6                |
|             | 5               | 3          | 3       | 6                |
|             | 10              | 3          | 3       | 6                |
|             | 15              | 3          | 3       | 6                |
|             | 20              | 3          | 3       | 6                |
|             | 0               | -          | 3       | 3                |
|             | 5               | -          | 3       | 3                |
| Kuat Lentur | 10              | -          | 3       | 3                |
|             | 15              | -          | 3       | 3                |
|             | 20              | -          | 3       | 3                |
|             | Total Benda Uji |            |         | 45               |

### 2.5 Slump Beton

Slump beton adalah ukuran kekentalan dari beton segar. Nilai slump ditentukan oleh tinggi penurunan adukan beton setelah alat slump diangkat. Untuk penelitian ini, slump yang direncanakan berkisar antara 6 hingga 18 cm.

### 2.6 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan (SNI 03-1974-1990). Kuat tekan diperoleh dengan benda uji silinder yang ditekan pada sisi yang berbentuk lingkaran. Berikut persamaan kuat tekan beton.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

- $f'c$  = Kuat tekan beton (MPa)  
 $P$  = Beban tekan (N)  
 $A$  = Luas penampang benda uji ( $\text{mm}^2$ )

## 2.7 Kuat Lentur Beton

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua tumpuan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji sampai benda uji tersebut patah (SNI 4431:2011). Berikut persamaan kuat lentur beton.

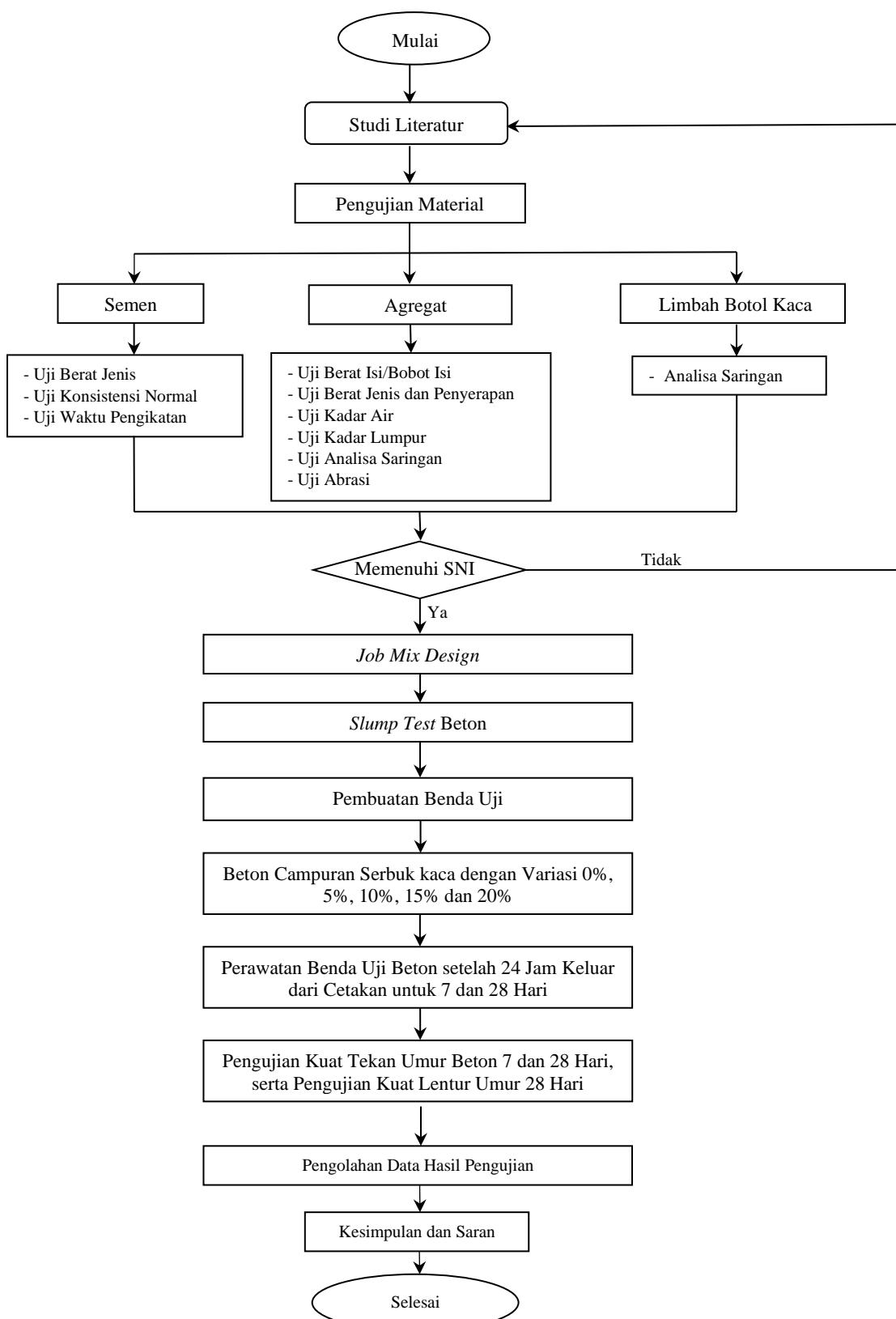
$$\sigma_c = \frac{P.L}{b.h^2} \quad (2)$$

Keterangan:

- $\sigma_c$  = Kuat lentur beton (MPa)  
 $P$  = Beban tertinggi yang terbaca pada mesin benda uji (N)  
 $L$  = Jarak (bentang) antara dua garis perlakuan (mm)  
 $b$  = Lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)  
 $h$  = Lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)

## 3. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda. Material yang digunakan dalam pembuatan benda uji beton meliputi: semen tipe 1 merek tiga roda, batu pecah  $\frac{2}{3}$ " dari Palu, pasir alami dari Palu dan serbuk kaca yang lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200 sebagai bahan substitusi agregat halus. Langkah-langkah penelitian ini secara garis besar mengikuti diagram alir yang telah disusun yang ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Diagram alir penelitian

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan dalam penelitian ini meliputi pengujian material dan hasil pengujian kuat tekan dan kuat lentur beton.

### 4.1 Pengujian Material

Analisa data hasil pengujian dilakukan untuk mengetahui kualitas bahan yang akan digunakan sebagai material dalam pembuatan campuran beton. Hasil pengujian material tercantum dalam **Tabel 3 – Tabel 5**.

**Tabel 3** Hasil pengujian semen

| No. | Karakteristik      | Spesifikasi    | Hasil    | Keterangan |
|-----|--------------------|----------------|----------|------------|
| 1   | Konsistensi Normal | 24 - 30%       | 28,8%    | Memenuhi   |
| 2   | Pengikatan Awal    | 45 - 375 menit | 60 menit | Memenuhi   |
| 3   | Berat Jenis        | 3,00 - 3,20    | 3,08     | Memenuhi   |

Sumber : hasil analisa

**Tabel 4** Hasil pengujian agregat halus

| No. | Karakteristik    | Spesifikasi                    | Hasil                   | Keterangan |
|-----|------------------|--------------------------------|-------------------------|------------|
| 1   | Berat Isi        | Minimal 1,3 gr/cm <sup>3</sup> | 1,49 gr/cm <sup>3</sup> | Memenuhi   |
| 2   | Berat Jenis      | Minimal 2,3                    | 2,69                    | Memenuhi   |
| 3   | Penyerapan       | Maksimal 3%                    | 1,21%                   | Memenuhi   |
| 4   | Kadar Air        | Maksimal 2,5%                  | 1,83%                   | Memenuhi   |
| 5   | Kadar Lumpur     | Maksimal 5%                    | 2,50%                   | Memenuhi   |
| 6   | Analisa Saringan | Zona 1-4                       | Zona 3                  | Memenuhi   |

Sumber : hasil analisa

**Tabel 5** Hasil pengujian agregat kasar

| No. | Karakteristik | Spesifikasi                    | Hasil                   | Keterangan |
|-----|---------------|--------------------------------|-------------------------|------------|
| 1   | Berat Isi     | Minimal 1,3 gr/cm <sup>3</sup> | 1,69 gr/cm <sup>3</sup> | Memenuhi   |
| 2   | Berat Jenis   | Minimal 2,3                    | 2,53                    | Memenuhi   |
| 3   | Penyerapan    | Maksimal 3%                    | 2,66%                   | Memenuhi   |
| 4   | Kadar Air     | Maksimal 2,5%                  | 0,68%                   | Memenuhi   |
| 5   | Kadar Lumpur  | Maksimal 5%                    | 0,75%                   | Memenuhi   |
| 6   | Abrasi        | Maksimal 40%                   | 26,00%                  | Memenuhi   |

Sumber : hasil analisa

### 4.2 Rancangan Campuran Beton

Rancangan campuran beton disusun berdasarkan standar yang telah ditetapkan, dengan target kualitas beton sebesar  $f_c$  20 MPa. Komposisi material yang digunakan untuk pembuatan benda uji tercantum dalam **Tabel 6**.

**Tabel 6** Komposisi material untuk pembuatan benda uji

| No. | Material    | Berat Material (kg) |
|-----|-------------|---------------------|
| 1   | Semen       | 108.596             |
| 2   | Air         | 62.677              |
| 3   | Batu 2/3"   | 363,696             |
| 4   | Pasir       | 165.490             |
| 5   | Serbuk Kaca | 18.388              |

Sumber : hasil analisa

### 4.3 Pengujian Slump Beton

Berdasarkan hasil uji slump beton, nilai slump yang diperoleh tercantum pada **Tabel 7**. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan kemudahan kerja atau *workability* dari campuran beton, sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan.

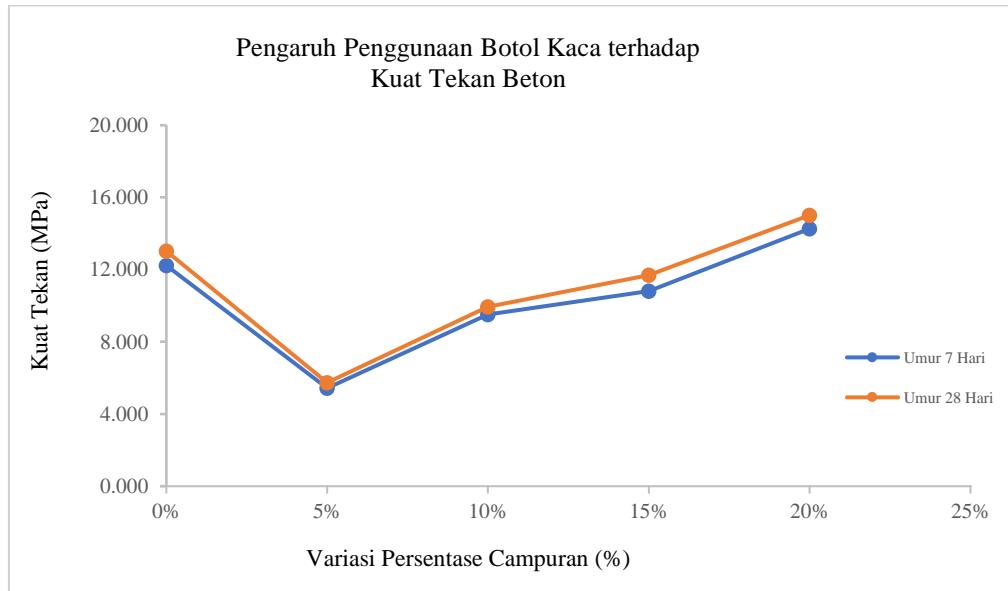
**Tabel 7** Hasil uji nilai slump beton

| No. | Variasi Campuran (%) | Nilai Slump Beton (cm) |
|-----|----------------------|------------------------|
| 1   | Serbuk Kaca 0%       | 10                     |
| 2   | Serbuk Kaca 5%       | 12                     |
| 3   | Serbuk Kaca 10%      | 11                     |
| 4   | Serbuk Kaca 15%      | 12                     |
| 5   | Serbuk Kaca 20%      | 12                     |

Sumber : hasil pengujian

### 4.4 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan dilakukan saat beton berumur 7 dan 28 hari. Pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda untuk mengetahui kualitas beton. Hasil pengujian dalam bentuk grafik pada **Gambar 3**.

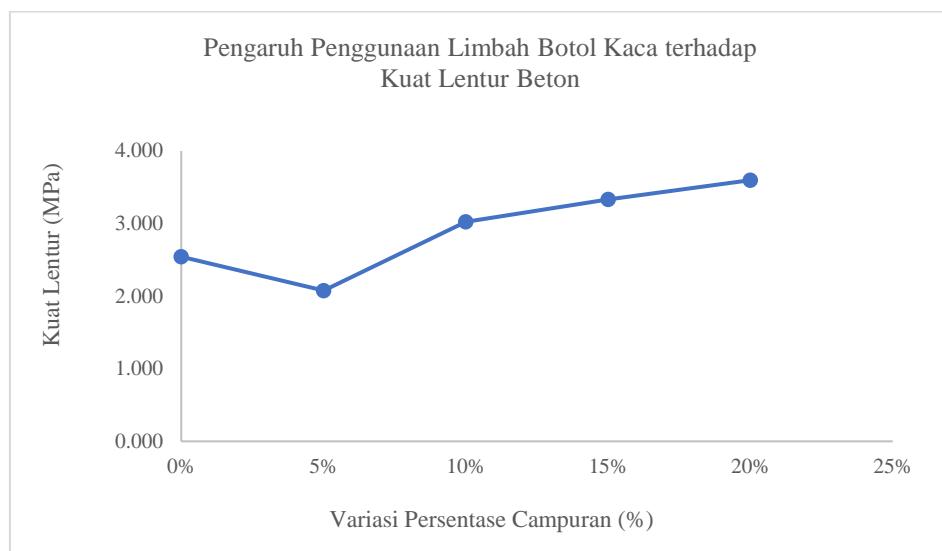


**Gambar 3** Grafik hasil pengujian kuat tekan beton

Berdasarkan **Gambar 3**, terlihat bahwa pengganti sebagian agregat halus dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% mempengaruhi kuat tekan beton pada umur 7 dan 28 hari. Pada variasi 0% ke 5%, terjadi penurunan nilai kuat tekan beton yang cukup signifikan. Namun, dengan peningkatan persentase variasi campuran, nilai kuat tekan beton cenderung meningkat. Grafik tersebut menunjukkan nilai kuat tekan beton bervariasi, dengan nilai tertinggi pada variasi 20%, yaitu sebesar 14,268 MPa untuk beton berumur 7 hari dan 15,015 MPa untuk beton berumur 28 hari.

### 4.5 Pengujian Kuat Lentur Beton

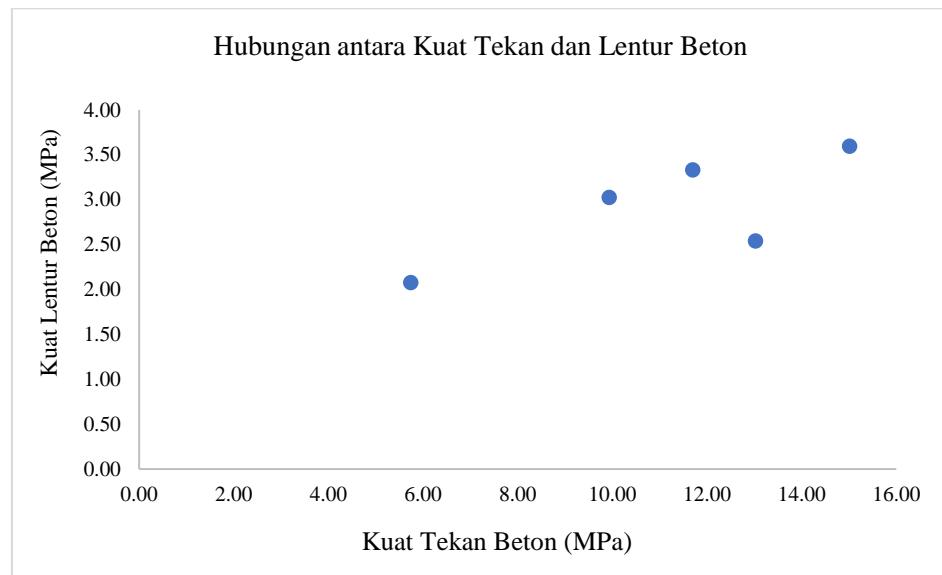
Pengujian kuat lentur dilakukan saat beton berumur 28 hari. Pengujian kuat lentur dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda untuk mengetahui kualitas beton. Hasil pengujian dalam bentuk grafik pada **Gambar 4**.



**Gambar 4** Grafik hasil pengujian kuat lentur beton

Berdasarkan Gambar 4, terlihat bahwa pengganti sebagian agregat halus dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% mempengaruhi kuat lentur beton. Dari variasi 0% ke variasi 5%, terjadi penurunan nilai kuat lentur beton. Namun, seiring dengan peningkatan persentase variasi campuran, nilai kuat lentur beton cenderung meningkat. Grafik tersebut menunjukkan nilai kuat lentur beton pada umur 28 hari dengan lima variasi berbeda, dengan nilai kuat lentur tertinggi pada variasi 20%, yaitu sebesar 3,597 MPa.

#### 4.6 Hubungan antara Kuat Tekan Beton dan Kuat Lentur Beton



**Gambar 5** Grafik hubungan antara kuat tekan dan lentur beton

Berdasarkan **Gambar 5**, terlihat bahwa seiring dengan meningkatnya nilai kuat tekan beton, nilai kuat lentur beton juga cenderung meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa pengganti sebagian agregat halus dalam campuran beton dapat meningkatkan nilai kuat tekan dan lentur beton. Berdasarkan hasil penelitian ini, pengaruh substitusi serbuk kaca terhadap agregat halus campuran beton dapat ditinjau dari dua aspek:

## 1. Pengaruh terhadap Kuat Tekan Beton

Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan serbuk kaca dengan variasi persentase 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% pada umur beton 7 dan 28 hari berpengaruh pada kuat tekan beton. Terdapat penurunan signifikan pada kuat tekan dari variasi 0% ke 5%, namun dengan peningkatan persentase serbuk kaca, kuat tekan beton meningkat, dengan peningkatan tertinggi sebesar 15,25% dari variasi terendah.

## 2. Pengaruh terhadap Kuat Lentur Beton

Penelitian ini juga menunjukkan bahwa variasi persentase serbuk kaca yang sama berpengaruh pada kuat lentur beton. Terdapat penurunan kuat lentur beton dari variasi 0% ke 5%, tetapi nilai kuat lentur meningkat seiring dengan peningkatan persentase campuran, mencapai peningkatan tertinggi sebesar 41,55% dari variasi terendah.

Dari penjelasan di atas menunjukkan bahwa penggunaan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus dapat meningkatkan baik kuat tekan maupun kuat lentur beton, terutama pada persentase variasi yang lebih tinggi.

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penggunaan serbuk kaca sebagai substitusi agregat halus menunjukkan pengaruh terhadap kuat tekan dan lentur beton pada variasi persentase 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Terdapat penurunan signifikan pada kuat tekan dan lentur dari variasi 0% ke 5%, namun dengan peningkatan persentase, nilai kuat tekan dan kuat lentur meningkat. Variasi 20% menunjukkan nilai kuat tekan dan kuat lentur yang lebih tinggi dibandingkan variasi 0%.
2. Persentase optimal penggunaan serbuk kaca untuk meningkatkan kuat tekan beton ditemukan pada variasi 20%, dengan nilai kuat tekan saat beton berumur 28 hari sebesar 15,015 MPa.
3. Persentase optimal penggunaan serbuk kaca untuk meningkatkan kuat lentur beton juga diperoleh pada variasi 20%, dengan nilai kuat lentur sebesar 3,597 MPa pada umur beton 28 hari.

## PENGHARGAAN

Penelitian ini dapat terlaksana dengan baik berkat dukungan dan kerja sama dari berbagai pihak. Peneliti menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada Laboratorium Bahan Teknik Sipil Politeknik Negeri Samarinda atas fasilitas dan bantuan teknis yang diberikan, serta kepada semua pihak yang telah berkontribusi dan membantu dalam penelitian ini. Tanpa dukungan ini, penelitian tidak akan dapat terselesaikan dengan baik.

## REFERENSI

- Badan Pusat Statistik Samarinda. (2022). *Statistik Kota Samarinda Tahun 2022*. <https://samarindakota.bps.go.id/id>.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (1990). *Metode pengujian tentang analisis saringan agregat halus dan kasar*. Jakarta: SNI 03-1968-1990.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (1990). *Metode pengujian kadar lumpur dalam agregat kasar*. Jakarta: SNI 03-1969-1990.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (1990). *Metode pengujian kuat tekan beton*. Jakarta: SNI 03-1974-1990.

- Badan Standar Nasional Indonesia. (1996). *Metode pengujian kadar lumpur dalam agregat halus*. Jakarta: SNI 03-4142-1996.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (1998). *Metode pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat*. Jakarta: SNI 03-4804-1998.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2000). *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*. Jakarta: SNI 03-2834-2000.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2002). *Tata cara perencanaan struktur beton untuk bangunan gedung*. Jakarta: SNI 03-2834-2000.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2002). *Cara uji waktu ikat awal semen portland dengan alat vicat*. Jakarta: SNI 03-6827-2002.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2002). *Pengujian konsistensi normal semen portland dengan alat vicat untuk pekerjaan sipil*. Jakarta: SNI 03-6826-2002.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2008). *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus*. Jakarta: SNI 1970:2008.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2008). *Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*. Jakarta: SNI 1969:2008.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2008). *Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles*. Jakarta: SNI 03-2417-2008.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2008). *Cara uji slump beton*. Jakarta : SNI 1972:2008.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2011). *Cara uji kadar air total agregat dengan pengeringan*. Jakarta: SNI 1971:2011.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2011). *Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan*. Jakarta: SNI 4431:2011.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2011). *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder*. Jakarta: SNI 1974:2011.
- Badan Standar Nasional Indonesia. (2015). *Metode uji densitas semen hidraulis*. Jakarta: SNI 2531-2015.
- DISKOM INFO KALTIM. (2023). *DLH Kaltim Komitmen Kelola Sampah Secara Terpadu*. <https://www.diskominfo.kaltimprov.go.id/lingkungan/dlh-kaltim-komitmen-kelola-sampah-secara-terpadu>.
- Olii, M. R., E.Poe, I., Ichsan, I., & Olii, A. (2021). *Limbah Kaca Sebagai Penganti Sebagian Agregat Halus Untuk Beton Ramah Lingkungan*. Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil, 11(1), 113-124.
- Suhartini, A., A. S. S., % Hasan A. (2014). *Pengaruh Penambahan Tumbukan Limbah Botol Kaca Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Lentur Beton*. Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, 2(1), 66-80.