

**GREEN CONCRETE: PEMANFAATAN SAMPAH NON ORGANIK TUTUP BOTOL “KEMPYENG” DAN SERBUK KACA SEBAGAI MATERIAL SUSBTITUSI PARSIAL BETON**

**Tedy Pranadiarso<sup>1,\*</sup>, Imam Junaidi<sup>2</sup>  
Irsyadul Ngibadah<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember, tedy.teknik@unej.ac.id

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember, imamjunaidi.teknik@unej.ac.id

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember, ngibadahirsyadul@gmail.com

**ABSTRAK**

*Industri konstruksi di Indonesia terus meningkat. Selain itu, data Kementerian Lingkungan Hidup jumlah timbunan sampah non-organik dalam 4 tahun dari tahun 2020-2023 juga mengalami kenaikan. Inovasi yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu memanfaatkan sampah non-organik tutup botol “Kempyeng” dan Kaca sebagai solusi beton ramah lingkungan (Green Concrete). Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi komposisi optimal dan menganalisis prosentase pengaruh hasil kuat tekan dan berat volume dari penggunaan bahan campuran limbah non-organik tutup botol “kempyeng” dan serbuk kaca sebagai bahan sustitusi parsial semen dan kerikil. Penelitian ini menggunakan komposisi campuran tutup botol “kempyeng” sebanyak 0%, 2%, 4%, 5%, 7%. Sedangkan komposisi campuran serbuk kaca sebanyak 0%, 5%, dan 8%. Hasil pengujian laboratorium didapat komposisi optimal untuk substitusi parsial semen dan kerikil yaitu 5% kaca dan 4% kempyeng dengan kuat tekan beton pada umur 28 hari adalah 26.92 MPa dan berat volume yaitu 2360.7 kg/m<sup>3</sup>. Proporsi tersebut juga dapat*

*meningkatkan prosentase kuat tekan sebesar 6.65% dan menurunkan berat volume sebesar 0.82% dari beton normal. Dengan hasil ini, serbuk kaca dan tutup botol “Kempyeng” dapat digunakan sebagai substitusi parsial semen dan kerikil pada campuran beton.*

**Kata Kunci : Green Concrete, Tutup Botol “Kempyeng”, Serbuk Kaca, Kuat Tekan, Berat Volume**

**ABSTRACT**

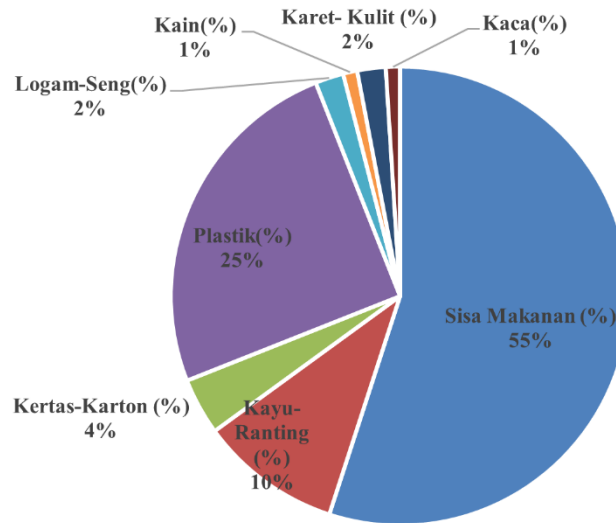
*The construction industry in Indonesia continues to grow. Additionally, data from the Ministry of Environment shows that the amount of non-organic waste accumulated over the four years from 2020 to 2023 has also increased. The innovation in this study is the use of non-organic waste from ‘Kempyeng’ bottle caps and glass as a solution for environmentally friendly concrete (Green Concrete). This study aims to identification the optimal composition and analize percentage influence on compressive strength and bulk density from the use of non-organic waste bottle caps ‘Kempyeng’ and glass powder as partial substitutes for cement and gravel. The study used bottle cap ‘Kempyeng’ compositions of 0%, 2%, 4%, 5%, and 7%. Meanwhile, the glass powder mixture composition was 0%, 5%, and 8%. Laboratory test results showed the optimal composition for partial substitution of cement and gravel was 5% glass and 4% kempyeng, with concrete compressive strength at 28 days of 26.92 MPa and bulk density of 2360.7 kg/m<sup>3</sup>. This proportion also increased the compressive strength by 6.65% and reduced the bulk density by 0.82% compared to normal concrete. With these results, glass powder and ‘Kempyeng’ bottle caps can be used as partial substitutes for cement and gravel in concrete mixtures.*

**Keywords:** *Green Concrete, ‘Kempyeng’ Bottle Caps, Glass Powder, Compressive Strength, Bulk Density*

**1. PENDAHULUAN**

Dalam industri konstruksi, khususnya infrastruktur di Indonesia terus mengalami peningkatan setiap tahunnya (Fauzi dkk., 2024). Pemakaian material konstruksi khususnya beton merupakan material yang paling dominan digunakan karena kekuatannya yang tinggi dan durabilitasnya. Namun, produksi semen sebagai komponen utama beton berkontribusi signifikan terhadap emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), yang berdampak negatif pada lingkungan (Sandanayake dkk., 2020). Selain itu, penggunaan agregat kasar yang berasal dari alam seperti kerikil dalam jangka panjang dapat merusak ekosistem alam dan kelangkaan sumber daya alam (Harrison dkk., 2020).

Disisi lain, menurut data Kementerian Lingkungan Hidup dalam Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2024, Jumlah timbulan sampah non-organic di Indonesia setiap tahun mengalami peningkatan. Tercatat dalam 4 tahun terakhir yaitu tahun 2020 hingga 2023 total timbulan sampah mengalami peningkatan sebesar 34.46%. Pada tahun 2020 total timbulan sampah sebanyak 27,592,603.06 ton pertahun, sedangkan tahun 2023 total timbulan sampah meningkat drastis sebanyak 42,101,181.65 ton per tahun. Untuk Kabupaten Jember sendiri pada tahun 2023 menghasilkan timbulan sampah perhari sebanyak 1,033 ton dan menghasilkan timbulan sampah total pertahun sebanyak 377,298 ton. Sampah tersebut terdiri dari beberapa jenis sampah yaitu sampah kain, karet-kulit, kaca, sisa makanan, kayu-ranting, kertas-karton, plastik, dan logam-seng.



Gambar 1. Grafik Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis Sampah

Melihat kondisi seperti ini, salah satu inovasi yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu memanfaatkan sampah agar bisa menjadi campuran dalam material penyusun beton. Inovasi pembuatan beton tersebut bertujuan agar aplikasi beton lebih

ramah lingkungan. Pemanfaatan sampah non organik tutup botol “Kempyeng” dan Kaca dapat digunakan sebagai solusi beton ramah lingkungan (*Green Concrete*). Penggunaan tutup botol “Kempyeng” dan Kaca yaitu sebagai substitusi parsial pada

material penyusun beton seperti semen dan kerikil. Dengan adanya penelitian *Green Concrete* ini diharapkan dapat menjadi solusi alternatif tingginya dampak negatif dari produksi semen dan kerikil terhadap lingkungan.



Gambar 2.  
Sampah Tutup Botol “Kempyeng”  
(Hasil Dokumentasi Penelitian)

Penambahan sampah tutup botol kempyeng yang mengandung seng ke dalam beton dapat memengaruhi berbagai sifat secara signifikan, mulai dari kemampuan kinerja beton hingga daya tahan jangka panjang. Dampak terhadap kinerja beton, yang sering diukur dengan uji slump, terutama ditentukan oleh distribusi ukuran partikel dan jumlah sampah seng yang ditambahkan ke campuran beton. Jumlah sampah seng yang ditambahkan merupakan faktor penting, karena jumlah yang berlebihan dapat mengganggu proses hidrasi semen dan berdampak negatif pada kemampuan kerja (Maeijer dkk., 2021). Pengaruh terhadap kekuatan tekan, indikator utama kapasitas beton untuk menahan beban, bersifat kompleks dan bergantung pada beberapa faktor yang saling berinteraksi. Beberapa penelitian telah melaporkan peningkatan kekuatan tekan saat menambahkan jenis sampah seng tertentu yang menunjukkan efek pozolan atau pengisi (Mart dkk., 2022) (Youssf dkk., 2023). Aktivitas pozolan sampah seng, kemampuannya untuk bereaksi

dengan kalsium hidroksida selama hidrasi semen, dapat berkontribusi pada peningkatan kuat tekan. Efek pengisi, yang hanya mengisi rongga dalam matriks beton, juga dapat meningkatkan kuat tekan. Namun, penelitian lain telah mengamati adanya efek penghambatan pada hidrasi semen, yang berpotensi menyebabkan kuat tekan awal yang lebih rendah (Ingrisova & Hajek, 2022). Efek penghambatan ini dapat dikaitkan dengan interaksi senyawa seng dengan produk hidrasi semen, menghambat pembentukan hidrat semen.

Pengaruh sampah seng terhadap ketahanan merupakan area yang memerlukan penyelidikan lebih lanjut. Ketahanan mencakup ketahanan terhadap berbagai lingkungan agresif, termasuk penetrasi klorida, serangan sulfat, dan siklus beku-cair. Keberadaan senyawa seng dalam matriks beton dapat memengaruhi permeabilitas dan porositas, yang memengaruhi ketahanannya terhadap faktor-faktor lingkungan ini. Potensi pergantian ion seng dari beton merupakan perhatian penting terhadap kuat tekan dan dampak lingkungan. Laju pencucian dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti pH, suhu, dan komposisi kimia lingkungan sekitar (Maeijer dkk., 2021).

Analisis mikrostruktur menggunakan teknik seperti SEM dan porosimetri intrusi merkuri dapat memberikan wawasan berharga tentang pengaruh limbah seng terhadap struktur pori dan permeabilitas beton (Youssf dkk., 2023). Analisis ini dapat membantu untuk memahami mekanisme yang menyebabkan limbah seng memengaruhi sifat mekanis beton dan untuk mengidentifikasi strategi pengoptimalan potensial untuk mengurangi dampak negatif dari seng. Distribusi ukuran partikel limbah seng merupakan faktor penting yang memengaruhi kinerjanya dalam beton. Mengoptimalkan distribusi ukuran partikel dapat meningkatkan kemampuan kerja dan pengembangan kekuatan. Perlakuan permukaan partikel

limbah seng juga dapat meningkatkan interaksinya dengan matriks semen, sehingga meningkatkan sifat beton yang dihasilkan (Youssf dkk., 2023). Sampah seng ini melalui beberapa perlakuan yaitu dibersihkan dan di tumbuk hingga pipih

Beberapa penelitian beton yang menggunakan sampah kaca dilakukan treatmen yaitu sampah kaca tersebut dijadikan sampai menjadi serbuk kaca (*Glass Powder*). Campuran serbuk kaca ini telah diteliti secara intens yang menunjukkan interaksi kompleks dari berbagai faktor yang memengaruhi efektivitasnya. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan variabilitas yang cukup besar dalam dampak campuran serbuk kaca terhadap sifat beton. Variabilitas ini berasal dari beberapa faktor utama termasuk distribusi ukuran partikel serbuk kaca, metode pemrosesan kaca, dan persentase semen yang digantikan oleh serbuk kaca (Ahmed dkk., 2020); (Mazen dkk., 2021); (Ahmad dkk., 2022). Studi penelitian menggunakan serbuk kaca yang halus diperoleh melalui penggilingan telah menunjukkan beberapa perubahan sifat mekanis beton. Misalnya, Ahmed dkk. meneliti tentang pengurangan kuat tekan hingga 10% dengan penggantian semen Portland sebanyak 25% dengan serbuk kaca pada umur beton 28 hari. Sebaliknya, penelitian lain menunjukkan bahwa serbuk kaca dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat lentur bila digunakan dalam proporsi yang optimal (Chand dkk., 2021); (Hussain & Aljalawi, 2022). Penelitian tersebut menyimpulkan peningkatan kuat tekan sebesar 13.42% setelah 28 hari dengan menggunakan campuran kuarteren semen, bubuk kaca, metakaolin, dan asap silika. Hasil yang kontras ini menyoroti pentingnya mengoptimalkan ukuran partikel serbuk kaca dan persentase penggantian untuk mencapai karakteristik kinerja yang diinginkan (Zeybek dkk., 2022). Proporsi optimal serbuk kaca merupakan faktor yang krusial. Beberapa

penelitian menyarankan substitusi optimal sekitar 20% sebagai bahan pengganti semen (Ahmad dkk., 2022); (Çelik dkk., 2022). Penelitian lain menemukan bahwa persentase ideal bergantung pada berbagai faktor yang mengarah ke berbagai proporsi optimal dan interaksi antara serbuk kaca dan bahan semen tambahan lainnya, seperti abu terbang atau silika (Structures dkk., 2021); (Pranadiarso dkk., 2024).



Gambar 3.  
Serbuk Kaca  
(Hasil Dokumentasi Penelitian)

### 1.1 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah pertama, bagaimana pengaruh penggunaan bahan campuran limbah non-organik tutup botol “kempyeng” dan serbuk kaca terhadap kuat tekan beton sebagai bahan substitusi parsial? kedua, bagaimana pengaruh penggunaan bahan campuran limbah non-organik tutup botol “kempyeng” dan serbuk kaca terhadap berat volume beton sebagai bahan substitusi parsial?.

### 1.2 Tujuan Penulisan

Tujuan penelitian ini adalah, pertama untuk mengidentifikasi komposisi optimal dari penggunaan bahan campuran limbah non-organik tutup botol “kempyeng” dan serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen dan kerikil untuk menghasilkan kuat tekan dan berat volume beton. Kedua, untuk

menganalisis prosentase hasil kuat tekan dan berat volume beton campuran substitusi serbuk kaca dan “kempyeng” terhadap beton normal.

**1.3 Urgensi Penelitian**

Secara teoritis nilai urgensi penelitian ini adalah secara spesifik sebagai bahan acuan untuk penelitian berikutnya, secara umum dapat menjadi acuan oleh para pelaku di dunia konstruksi dalam membuat inovasi memanfaatkan sampah non-organik tutup botol “kempyeng” dan serbuk kaca untuk substitusi material penyusun beton. Sehingga dari inovasi penelitian ini mampu mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

**2. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yaitu penelitian yang dilaksanakan menggunakan uji coba di laboratorium Struktur dan Material Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Jember. *Mix design* menggunakan SNI 7656:2012 dengan kuat tekan rencana beton yaitu  $f'c = 25$  MPa dengan menggunakan ukuran benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Proporsi campuran substitusi serbuk kaca terhadap semen yaitu 8% dan 5%. Sedangkan proporsi Kempyeng terhadap kerikil yaitu 2%, 4%, 5%, dan 7%.

Tabel 1.  
Proporsi Campuran Beton (per silinder Ø15x30 cm)

Material Substitusi		Komposisi campuran (kg/m3)					
Kempyeng	Kaca	Semen (kg)	Pasir (kg)	Air (L)	Kerikil (kg)	Kempyeng (kg)	Kaca (kg)
0%	0%	1.8798	4.5	1.03	6.26987	0	0
2%	8%	1.6798	4.5	1.03	6.13968	0.13	0.2
4%	5%	1.7799	4.5	1.03	6.01968	0.25	0.1
5%	5%	1.7799	4.5	1.03	5.94968	0.32	0.1
7%	5%	1.7799	4.5	1.03	6.82968	0.44	0.1

Pembuatan dan perawatan beton pada penelitian ini mengacu pada SNI 4810 tahun 2018 tentang tata cara pembuatan dan perawatan spesimen beton. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 7 hari dan 28 hari dengan mengacu SNI 1974:2011. Kemudian berat volume beton menggunakan standar ASTM C29/C29M-97 tahun 2003.

**2.1 Pengujian Semen**

Semen sebagai bahan pengikat adukan beton dipilih semen PCC (*Portland Composite Cement*) merk Semen Gresik. Pengujian dilakukan terhadap material semen mengacu pada SNI-2049-2015.

**2.2 Pengujian Agregat Kasar**

Agregat kasar merupakan salah satu komponen utama dalam campuran beton yang berperan penting dalam memberikan kekuatan dan stabilitas pada struktur beton. Kualitas agregat kasar sangat mempengaruhi sifat mekanis beton. termasuk kuat tekan, modulus elastisitas, dan durabilitasnya. Oleh karena itu, sebelum digunakan dalam campuran beton, agregat kasar harus melalui serangkaian pengujian untuk memastikan bahwa material tersebut memenuhi standar yang berlaku. Pada penelitian kali ini dilakukan pengujian analisis saringan sesuai dengan SNI ASTM C136:2012. Kemudian pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar sesuai dengan SNI

1969:2016. Selain itu juga pengujian kadar lumpur yang mengacu pada SK SNI S-04-1989-F.

### 2.3 Pengujian Agregat Halus

Pengujian agregat halus pada beton bertujuan untuk memastikan kualitas pasir yang digunakan agar memenuhi standar dalam campuran beton. Oleh karena itu, sebelum digunakan dalam campuran beton, agregat halus harus melalui serangkaian pengujian untuk memastikan bahwa material tersebut memenuhi standar yang berlaku. Pada penelitian kali ini dilakukan pengujian analisis saringan sesuai dengan SNI ASTM C136:2012. Kemudian pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar sesuai dengan SNI 1970:2016. Selain itu juga pengujian kadar lumpur yang mengacu pada SK SNI S-04-1989-F.

### 2.4 Tutup Botol “Kempyeng”

Kempyeng biasanya banyak dipakai sebagai tutup botol kecap, saos, dan untuk minuman yang terbuat dari botol kaca, seperti minuman sosro dan coca cola pada umumnya. Ada beberapa macam tutup kempyeng yaitu:

1. Kempyeng warna kuning
2. Kempyeng warna putih
3. Kempyeng warna bening kilat
4. Kempyeng cetak/merk perusahaan

Untuk mengetahui seberapa banyak limbah kempyeng yang dihasilkan, peneliti melakukan survei langsung pada dua perusahaan minuman, yaitu PT. Sinar Sosro dan PT. Coca Cola cabang Jember:

1. PT. Sinar Sosro bisa mendistribusikan sampai 700 krat minuman dalam setiap harinya kecuali sabtu dan minggu karena hari libur. Item minuman berupa teh *botol sosro, fruity, esty* dan *tebs*. Jika diakumulasikan pencapaian PT. Sinar Sosro adalah:

1 hari = 700 krat

1 krat = 24 botol minuman

700 Krat =  $700 \times 24 = 16,800$  botol minuman

1 minggu = 5 hari kerja

1 minggu =  $16.800 \times 5 = 84,000$  botol minuman

Jadi, dalam satu minggu pendistribusian minuman mencapai 84,000 botol minuman.

2. PT. Coca Cola bisa mendistribusikan sampai 500 krat minuman dalam setiap harinya kecuali minggu karena hari libur. Item minuman berupa Fanta, sprite, coca cola, soda, dan fresh tea. Jika di akumulasikan pencapaian PT. Sinar Sosro adalah:

1 hari = 500 krat

1 krat = 24 botol minuman

500 Krat =  $500 \times 24 = 12.000$  botol minuman

1 minggu = 6 hari kerja

1 minggu =  $12.000 \times 6 = 72,000$  botol minuman

Jadi, dalam satu minggu pendistribusian minuman mencapai 72,000 botol minuman.

Dapat disimpulkan melalui data tersebut bahwa dalam 1 minggu PT. Sinar Sosro mendistribusikan 84,000 botol minuman dan PT. Coca-Cola mendistribusikan 72.000 botol minuman. Tentu hal ini akan menghasilkan tutup botol sebesar jumlah yang terdistribusikan oleh kedua PT tersebut. Belum lagi tutup botol dari perusahaan minuman lainnya.

Kempyeng yang terbuat dari seng ini memiliki sifat fisik yang keras dan kuat dengan modulus elastisitasnya yang tinggi yaitu 108 GPa. Sehingga limbah ini sangat mungkin untuk dijadikan material substitusi parsial agregat kasar pada beton. Sifat fisik seng dapat dilihat sebagaimana tabel di bawah ini.

Tabel 2.  
Sifat Fisik Seng

Fase	Solid
Massa Jenis (mendekati suhu kamar)	7.14 g/cm <sup>3</sup>
Titik lebur	692.68 K
Titik didih	1,180 K
Kalor peleburan	7.32 kJ·mol <sup>-1</sup>
Kalor penguapan	123.6 kJ·mol <sup>-1</sup>
Kapasitas kalor	25,470 J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>
Modulus Young	108 GPa
Modulus Shear	43 GPa
Bulk modulus	70 GPa
Rasio Poisson	0.25
Kekerasan Mohs	2.5
Kekerasan Brinell	412 a

### 2.5 Kaca

Kaca adalah amorf (non kristalin) material padat yang bening, transparan (tembus pandang) dan biasanya rapuh (Olii dkk., 2023). Bahan-bahan pembuat kaca bersifat amorf yang mana dapat meleleh dengan mudah. Kuantitas limbah yang dihasilkan oleh kaca secara umum hampir sama antar kota yaitu 5% dari total keseluruhan sampah (Abdelli dkk., 2024).

Unsur-unsur kimia yang ada pada kaca sebagian diantaranya sama seperti

yang ada pada semen. sehingga apabila kaca dihancurkan menjadi serbuk bisa berfungsi sebagai material substitusi semen karena persentase kandungan silika (SiO<sub>2</sub>) pada kaca cukup besar yaitu 72.42% (Zeybek dkk., 2022). Kaca yang digunakan pada penelitian ini adalah kaca bening yang berasal dari limbah kaca jendela. Komposisi bahan-bahan penyusun kaca adalah sebagai berikut:

Tabel 3.  
Komposisi Bahan-Bahan Penyusun Kaca

Komposisi	Kaca Bening	Kaca Coklat	Kaca Hijau
	Dalam persen (%)		
SiO <sub>2</sub>	72.42	72.21	72.38
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.44	1.37	1.49
TiO <sub>2</sub>	0.035	0.041	0.04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.002	0.026	0.13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07	0.26	0.29
CaO	11.50	11.57	11.26
MgO	0.32	0.46	0.54
Na <sub>2</sub> O	13.64	13.75	13.52
K <sub>2</sub> O	0.35	0.20	0.27
SO <sub>3</sub>	0.21	0.10	0.07

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Pengujian Semen

Pada penelitian ini dilakukan pengujian semen di Laboratorium Struktur dan Material Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Semen

merupakan bahan utama dalam pembuatan beton dan mortar yang berfungsi sebagai pengikat agregat. Kualitas semen sangat menentukan kekuatan, daya tahan, dan keandalan beton. Hasil pengujian tersebut bisa dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4.  
Hasil Pengujian Semen

Parameter	Hasil Pengujian	Standar SNI
Kehalusan ( <i>Blaine</i> )	3,300 cm <sup>2</sup> /g	Min. 2,800 cm <sup>2</sup> /g
Waktu Ikat Awal	75 menit	30 – 90 menit
Waktu Ikat Akhir	240 menit	≤ 600 menit
Kerapatan	3.15 g/cm <sup>3</sup>	3.10 – 3.25 g/cm <sup>3</sup>
Kembang Susut	8 mm	≤ 10 mm
Kuat Tekan 3 hari	23 MPa	≥ 20 MPa
Kuat Tekan 28 hari	45 MPa	≥ 40 MPa
LOI	2.5%	≤ 3%
CaO	63%	60–67%
MgO	3%	≤ 5%

#### 3.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar dan Halus

Pengujian agregat kasar dan halus dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Proses ini meliputi pemeriksaan karakteristik agregat untuk menentukan apakah agregat tersebut sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Pengujian ini sangat penting, karena material yang tidak memenuhi kriteria tidak dapat digunakan dalam campuran beton. Oleh karena itu, karakteristik agregat harus diperiksa secara detail dengan menggunakan berbagai metode pengujian untuk memastikan bahwa agregat tersebut sesuai dengan standar yang telah ditetapkan (Putri dkk., 2024).

Pengujian meliputi analisis ukuran, bentuk, dan tekstur agregat, serta menentukan kekuatan, daya tahan, dan daya serap air. Masing-masing aspek ini memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja akhir beton yang dihasilkan. Sebagai contoh, ukuran agregat dapat mempengaruhi kepadatan dan kekuatan

beton, sedangkan bentuk dan tekstur agregat dapat mempengaruhi ikatan antara agregat dan pasta semen.

Analisis ukuran agregat dilakukan untuk memastikan bahwa distribusi ukuran partikel berada dalam kisaran yang diinginkan, yang dapat mempengaruhi kemampuan kerja dan kekuatan beton. Pengujian bentuk agregat, di sisi lain, bertujuan untuk menilai apakah agregat memiliki bentuk yang ideal, seperti bulat atau kubus, yang dapat meningkatkan interlocking dan mengurangi kebutuhan semen.

Tekstur agregat juga penting untuk diperiksa, karena tekstur yang kasar dapat meningkatkan daya rekat antara agregat dan pasta semen, sementara tekstur yang halus mungkin tidak memberikan ikatan yang cukup kuat. Selain itu, pengujian kekuatan agregat dilakukan untuk memastikan bahwa agregat dapat menahan beban yang diberikan tanpa mengalami kerusakan.

Kapasitas penyerapan air dari agregat juga merupakan parameter penting yang harus dipertimbangkan. Agregat dengan

kapasitas penyerapan air yang tinggi dapat mempengaruhi rasio air-semen dalam campuran. yang pada gilirannya dapat mempengaruhi kekuatan dan daya tahan beton. Oleh karena itu. pengujian ini tidak

hanya memberikan informasi tentang karakteristik fisik agregat. tetapi juga membantu dalam merancang campuran beton yang optimal.

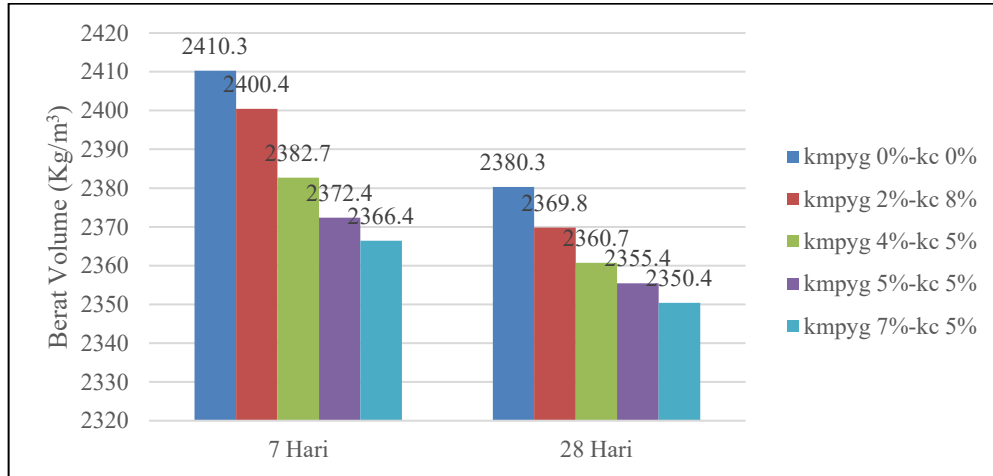
Tabel 5.  
Hasil Uji Agregat

Parameter	Agregat Halus	Agregat Kasar	Satuan
<i>Spesific gravity</i>	2.70	2.68	g/cm <sup>3</sup>
<i>Water Content</i>	9.14	3.63	%
<i>Absorption</i>	6.45	1.54	%
<i>Mud Content</i>	1.25	0.15	%
<i>Volume weight</i>	1,485	1,667	kg/m <sup>3</sup>
<i>Zone Analysis</i>	2	3	Zone

### 3.3 Hasil Uji Berat Volume

Pada saat beton berumur 7 dan 28 hari dilakukan pengujian berat volume di Laboratorium Struktur dan Material Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Jember dengan mengacu kepada ASTM C 29/C 29M – 97. Berat volume beton atau density beton merupakan

parameter penting dalam menentukan sifat mekanik dan ketahanannya terhadap beban. Berat volume beton berkaitan erat dengan komposisi material penyusun. seperti semen. agregat. dan air. serta tingkat pemadatan saat pengecoran. Hasil uji berat volume pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4.  
Hasil Uji Berat Volume Beton

Berdasarkan hasil penelitian ini. berat volume beton mengalami penurunan seiring penambahan kempyeng. namun kenaikan tidak begitu signifikan. Jika dilihat pada Gambar 2. penurunan berat volume ini adalah pengaruh penambahan campuran kempyeng yang menjadi substitusi agregat

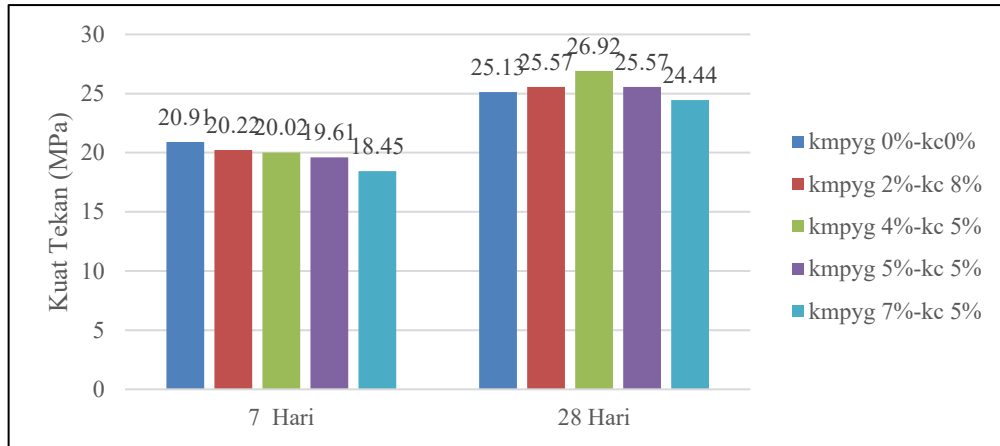
kasar. Berat volume beton untuk semua variasi bahan campuran kempyeng dan serbuk kaca termasuk beton normal. Berat volume terendah pada umur 7 hari yaitu 2366.4 Kg/m<sup>3</sup> dan berat volume tertinggi 2410.3 Kg/m<sup>3</sup>. Sedangkan. berat volume terendah pada umur 28 hari yaitu 2350.4

Kg/m<sup>3</sup> dan berat tertinggi 2380.3 Kg/m<sup>3</sup> pada proporsi beton normal tanpa campuran kempyeng dan serbuk kaca.

**3.4 Hasil Uji Kuat Tekan**

Kuat tekan beton merupakan salah satu parameter utama dalam menentukan kualitas dan kemampuan beton dalam menahan beban tekan. Kuat tekan beton

diukur dalam satuan Megapascal (MPa). Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 7 dan 28 hari berdasarkan SNI 1974:2011. Tempat pengujian dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Material Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik. Universitas Jember. Berikut hasil uji kuat tekan beton umur 7 dan 28 hari setelah direndam atau dilakukan perawatan.



Gambar 5. Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton umur 7 hari relatif mengalami penurunan. Kuat tekan maksimum beton umur 7 hari diperoleh proporsi beton normal yaitu 20.91 MPa. Dan kuat tekan minimum beton umur 7 hari diperoleh pada proporsi kempyeng 7% dan serbuk kaca 5% yaitu 18.45 MPa. Untuk kuat tekan beton umur 28 hari proporsi 0% kempyeng dan 0% serbuk kaca diperoleh kuat tekan 25.13 MPa. Kemudian mengalami kenaikan kuat tekan pada proporsi 4% kempyeng dan 5% serbuk kaca yaitu 26.92 MPa. Sehingga prosentase optimal campuran optimal diperoleh pada proporsi 4% kempyeng dan 5% serbuk kaca. Sedangkan hasil kuat tekan beton terendah umur 28 hari dengan proporsi 7% kempyeng dan 5% serbuk kaca yaitu 24.44 MPa.

**4. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dipaparkan dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Komposisi optimal untuk substitusi parsial semen yaitu 4% kempyeng dan 5% kaca dengan menghasilkan kuat tekan beton pada umur 28 hari adalah 26.92 MPa dan berat volume yaitu 2360.7 kg/m<sup>3</sup>.
2. Proporsi campuran 4% kempyeng dan 5% kaca dapat meningkatkan prosentase kuat tekan sebesar 6.65% dan menurunkan berat volume sebesar 0.82%. Hal ini disebabkan oleh campuran “kempyeng” dalam beton dapat meningkatkan aktivitas pozolan sampah seng, kemampuannya untuk bereaksi dengan kalsium hidroksida selama hidrasi semen, dapat berkontribusi pada peningkatan kuat tekan. Efek

pengisi, yang hanya mengisi rongga dalam matriks beton, juga dapat meningkatkan kuat tekan. Serta, berat dari “kempyeng” yang relatif lebih ringan dari kerikil menyebabkan berat volume mengalami penurunan dari beton normal. Serbuk kaca yang memiliki sifat kimiawi yang mirip dengan semen, sehingga mampu berkontribusi dalam peningkatan kuat tekan beton.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Abdelli. H. E., Kennouche. S., De Aguiar. J. L. B., & Jesus. C. (2024). The Combined Effect of Glass and Plastic Waste on Concrete Properties: Experimental Study. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*. 1–10.
- Ahmad. J., Zhou. Z., Usanova. K. I., Vatin. N. I., & El-shorbagy. M. A. (2022). A Step towards Concrete with Partial Substitution of Waste Glass ( WG ) in Concrete : A Review. *Materials*. 15. 1–23.
- Ahmed. F., Shahzada. K., Sami. Q., & Fahim. M. (2020). Development of Environment-Friendly Concrete through Partial Addition of Waste Glass Powder ( WGP ) as Cement Replacement. *Civil Engineering Journal*. 6(12). 2332–2343.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder. SNI 1974-2011. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal. Beton Berat dan Beton Massa. SNI 7626-2012. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2015). Semen Portland. SNI 2049-2015. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. SNI 1969-2016. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. SNI 1970-2016. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2018). Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Spesimen Uji Beton di Lapangan. SNI 4810-2018. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Çelik. A. İ., Özkılıç. Y. O., Zeybek. Ö., Karalar. M., Qaidi. S., & Ahmad. J. (2022). Mechanical Behavior of Crushed Waste Glass as Replacement of Aggregates Mechanical Behavior of Crushed Waste Glass as Replacement of Aggregates. *Materials*. 15(November). 1–18.
- Chand. G., Happy. S. K., & Ram. S. (2021). Assessment of the properties of sustainable concrete produced from quaternary blend of portland cement . glass powder . metakaolin and silica fume. *Cleaner Engineering and Technology*. 4(June). 100179.
- Fauzi. D. W. Al. Affandy. N. A., Agustapraja. H. R., & Lubis. Z. (2024). Pengaruh Penambahan Fly Ash (Cangkang Telur dan Sekam Padi) Terhadap Kuat Tekan Beton Non Struktural. *Jurnal “MITSU” Media Informasi Teknik Sipil Universitas Wiraraja Madura*. 12(1). 1–14.
- Harrison. E., Berenjian. A., Seifan. M., & Ash. F. (2020). Environmental Science and Ecotechnology Recycling of waste glass as aggregate in cement-based materials. *Environmental Science and Ecotechnology*. 4. 100064.
- Hussain. Z. A., & Aljalawi. N. M. F. (2022). Behavior of reactive powder concrete containing recycled glass powder reinforced by steel fiber. *Journal of the Mechanical Behavior of Materials*. 31. 233–239.
- Ingrisova. L., & Hajek. P. (2022). Case Studies in Construction Materials

- Contribution of TiO<sub>2</sub> and ZnO nanoparticles to the hydration of Portland cement and photocatalytic properties of High Performance Concrete. *Case Studies in Construction Materials*. 16(February). 1–11.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2025). Jumlah Timbulan Sampah. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional.
- Maeijer, P. K. De. Craeye, B., Blom, J., & Bervoets, L. (2021). Crumb Rubber in Concrete — The Barriers for Application in the Construction Industry. *Infrastructures*. 6(8). 1–20.
- Mart, R., Jagadesh, P., Zaid, O., & Adrian, A. S. (2022). The Present State of the Use of Waste Wood Ash as an Eco-Efficient Construction Material: A Review. *Materials*. 15(15). 1–20.
- Mazen, J., Hamidreza, S., Al-kheetan, M. J., Byzyka, J., & Ghaffar, S. H. (2021). Sustainable valorisation of silane - treated waste glass powder in concrete pavement Sustainable Valorisation of Silane-Treated Waste Glass Powder in Concrete Pavement. *Sustainability*. 13. 1–14.
- Olii, M. R., Hidayat, A. S., Saliko, M., Santoso, T., Hippy, M. A., & Pakaya, R. (2023). Environmentally Friendly Concrete Using Waste Glass Powder (Wgp) As A Partial Substitute Of Cement. *Jurnal Teknik Sipil*. 12(2). 140–146.
- Pranadiarso, T., Junaidi, I., Prasetyo, S. R. B., & Putra, A. L. (2024). Effectiveness of Rice Husk Ash and Glass Powder Waste as Partial Replacements of Cement in Concrete Construction. *Journal of Civil Engineering and Vocational Education*. 11(3). 1016–1023.
- Putri, P. Y., Kamil, I., Rizandi, A., Education, E. P., Andalas, U., & Padang, U. N. (2024). *The Effect of Rice Husk Ash as Cement Substitution on the Compressive Strength of Self-Compacting Concrete*. 11(2). 550–557.
- Sandanayake, M., Bouras, Y., Haigh, R., & Vrcelj, Z. (2020). Current Sustainable Trends of Using Waste Materials This is the Published version of the following publication Current Sustainable Trends of Using Waste Materials in Concrete — A decade Review. *Sustainability*. 12. 1–41.
- Structures, W., Grinys, A., Balamurugan, M., & Augonis, A. (2021). Mechanical Properties and Durability of Rubberized and Glass Powder Modified Rubberized Concrete for. *Materials*. 14. 1–16.
- Youssf, O., Swilam, A., & Tahwia, A. M. (2023). Performance of crumb rubber concrete made with high contents of heat pre-treated rubber and magnetized water. *Journal of Materials Research and Technology*. 23. 2160–2176.
- Zeybek, Ö., Özkılıç, Y. O., Karalar, M., Çelik, A. İ., Qaidi, S., Ahmad, J., Burduhos-Nergis, D. D., & Burduhos-Nergis, D. P. (2022). Influence of Replacing Cement with Waste Glass on Mechanical Properties of Concrete. *Materials*. 15(21).



Copyright© by the authors. Licensee Jurnal Ilmiah MITSU, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike (CC BY-NC-SA 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)