



PEMANFAATAN LIMBAH KACA DAN GRANIT SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS DAN KASAR TERHADAP *PROPERTIES* BETON

UTILIZATION OF GLASS AND GRANITE WASTE AS SUBSTITUTION OF FINE AND COARSE AGGREGATES ON CONCRETE *PROPERTIES*

Mukti Agung Wibowo¹, Sulfah Anjarwati²

^{1,2} Universitas Muhammadiyah Purwokerto, Jl. KH. Ahmad Dahlan, Dusun III, Dukuhwaluh, Kec. Kembaran, Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53182, Indonesia

Email: muktiagungwibowo3@gmail.com

Received: 13 Februari 2025 Revised: 24 Maret 2025 Accepted: 27 April 2025 Published: 28 April 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan memanfaatkan limbah kaca dan granit sebagai pengisi beton ramah lingkungan. Limbah kaca menggantikan beberapa agregat halus setelah digiling sesuai standar SNI 03-2847-2002, sedangkan limbah granit menggantikan sebagian agregat kasar, dipecah menjadi 30-40 mm. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Purwokerto, dan PT. Patikraja Beton Indonesia, penelitian ini melibatkan pembuatan sampel beton, cetakan, dan pengujian kekuatan tekan. Tahapan penelitian: persiapan, studi literatur, persiapan alat bahan, pengujian material, syarat SNI, perencanaan dan pembuatan mix design menggunakan metode DOE, pembuatan sampel benda uji dan uji slump, pengujian penyerapan beton, pengujian kuat tekan beton, dan analisis data. Hasil menunjukkan kekuatan tekan beton normal 20,56 MPa, beton void minimal 18,96 MPa, dan beton void maksimal 12,07 MPa, menunjukkan peningkatan persentase limbah menurunkan kuat tekan. Nilai slump beton normal 120 mm, beton void minimal 110 mm, dan beton void maksimal 90 mm. Penyerapan beton normal dan beton void minimal lebih rendah dibandingkan beton void maksimal, memengaruhi nilai slump dan kuat tekan beton.

Kata kunci: Limbah Granit, Limbah Kaca, Pengisi Beton, Properties Beton, Teknik Beton

ABSTRACT

This research aims to utilize glass and granite waste as environmentally friendly concrete fillers. Glass waste replaces some fine aggregates after being ground according to SNI 03-2847-2002 standards, while granite waste replaces some of the coarse aggregates, broken down into 30-40 mm. The research conducted at the Materials Technology Laboratory of the Civil Engineering Study Program, University of Muhammadiyah Purwokerto, and PT. Patikraja Beton Indonesia, this research involves concrete samples, molds, and compressive strength testing. Research stages: preparation, literature study, material tool preparation, material testing, SNI requirements, planning and making mix designs using the DOE method, sample making of test specimens and slump tests, concrete absorption testing, concrete compressive strength testing, and data analysis. The results showed that compressive strength of normal concrete was 20.56 MPa, void concrete was at least 18.96 MPa, and void concrete was at least 12.07 MPa, indicating an increase in the percentage of waste decreasing compressive strength. The slump value of normal concrete is 120 mm, void concrete at least 110 mm, and void concrete is maximum 90 mm. The absorption of normal concrete and minimum void concrete is lower than that of maximum void concrete, affecting the slump value and compressive strength of concrete.

Keywords: Concrete Engineering, Concrete Filler, Concrete Properties, Waste Glass, Waste Granite

PENDAHULUAN

Pemerintah Kabupaten Banyumas sudah berhasil mengatasi masalah limbah sampah plastik dan limbah organik dengan mengolah limbah tersebut menjadi produk yang dapat digunakan dan ekonomis untuk dipasarkan. Produk yang dihasilkannya yakni *paving* blok yang didapat dari limbah plastik dan sampah organik, yang selanjutnya akan digunakan sebagai pakan *maggot* (Islamiati, 2024). Namun, ada limbah yang tidak dapat diproses maksimal, yaitu limbah kaca. Limbah jenis ini lebih cenderung membahayakan dan hampir tidak memberikan manfaat bagi lingkungan. Pada saat ini, masih tidak ada usaha untuk memecahkan dan memanfaatkan limbah kaca untuk penggunaan sehari-hari. dalam penggunaan sehari-hari, masyarakat sering membuang limbah kaca seperti pecahan piring, gelas, botol, hingga lainnya ke daerah aliran (Fitry, 2023). Hal ini akan membahayakan penghuni yang berada di sekitar daerah aliran sungai tersebut.

Pemerintah Kabupaten Banyumas pada tahun 2014 mengumumkan potensi tambang yang ada di Kabupaten Banyumas. Sebarannya antara lain batuan granit yang dapat didapati di Desa Baseh Kecamatan Kedungbanteng dengan cadangan sebesar 11.566.978 ton. Desa itu terdapat beberapa pabrik pengolahan batu granit. Seperti biasanya dalam produksinya, pabrik dapat memproduksi 20 m² dan rata-rata 600 m² dalam sebulan. Pekerjaan hasil dari pemotongan batu granit pada umumnya digunakan untuk membuat trotoar dan lain sebagainya (Suhelmidawati dkk., 2022). Di proses pemotongan batu granit tersebut pasti meninggalkan potongan-potongan yang tidak digunakan dan tidak memberi nilai daya jual, sehingga potongan batu granit itu yang akan menjadi limbah (Kynge, 2007). Dengan demikian, semakin hari, limbah granit tersebut semakin banyak dan tidak ada cara untuk menyelesaikan masalah ini.

Masalah limbah kaca dan limbah granit ini melatarbelakangi peneliti untuk memanfaatkan limbah kaca dan limbah granit ini sebagai bahan inovasi dalam pembuatan beton ramah lingkungan dengan menjadikan limbah kaca dan limbah granit sebagai bahan pengisi beton. Penelitian ini memanfaatkan limbah kaca untuk pengganti sebagian agregat halus dan memanfaatkan limbah granit untuk pengganti sebagian agregat kasar. Limbah kaca yang akan digunakan di tumbuk hingga butir maksimum agregat halus lolos saringan no. 4 dan tertahan pada saringan no. 200 sesuai dengan SNI 03-2847-2002. Limbah granit yang akan digunakan di pecah hingga ukuran 30-40 mm dan butir maksimum tertahan saringan 4,75 mm.

Dalam pembuatan kaca diperoleh sebuah kandungan mineral yang kaya akan silika (SiO₂), soda (Na₂O), kapur (CaO), yang memiliki butiran tajam, dan kaca juga tidak memiliki kadar lumpur. Sedangkan kandungan mineral yang terdapat pada agregat halus yaitu senyawa silika (SiO₂), memiliki butir yang tajam, dan tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% (Asrafi, 2021). Dengan kandungan mineral tersebut limbah kaca yang akan digunakan sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus memiliki karakteristik yang sama dengan karakteristik agregat halus sehingga dapat menghasilkan beton kinerja tinggi (Prasetyo dkk., 2020).

Granit memiliki karakteristik butiran yang kasar dan mudah serta memiliki densitas yang lebih keras dari marmer (Prasetya dkk., 2019). Keadaannya memberikan granit untuk tahan erosi dan abrasi, dapat menahan beban yang berat, memadatkan beton sehingga makin ringan dan awet, serta tahan terhadap pelapukan batuan (Adhiatma dkk., 2023). Kepadatan rata-rata granit adalah 2,75 gr/cm³ dengan jangkauan antara 1,74 dan 2,80. Sedangkan, agregat kasar memiliki karakteristik kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan, agregat kasar memiliki berat jenis

2,4-2,8 gr/cm³. melihat dari sifat dan karakteristik agregat kasar, limbah granit dapat digunakan untuk bahan pengganti sebagian agregat kasar dalam pembuatan beton (Sudarman, 2022).

Dalam penelitian yang berjudul “*Performance of Concrete with Partial Replacement of Fine Aggregates with Crushed Waste Glass*” memiliki tujuan untuk melindungi lingkungan dan mengurangi biaya pembuatan beton. Agregat merupakan komponen utama beton, biaya agregat ini terus meningkat. Selain itu masalah lingkungan yang serius terhadap pembuangan limbah kaca di seluruh dunia. Faktor-faktor ini merupakan dorongan utama dari penelitian ini-investigasi limbah kaca yang dihancurkan sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam beton. Dengan variasi limbah kaca yang dihancurkan dengan persentase penambahan 15%, 25%, 35%, 45%, dan 50%, kuat tekan dianalisis selama periode minimum 7 hari dan maksimum 28 hari. Pada penggunaan limbah kaca dengan variasi 15%, terjadi peningkatan kuat tekan beton pada umur 7 dan 28 hari. Kekuatan tekan beton setelah 28 hari meningkat sebesar 7% menjadi 32,67 N/mm² lebih tinggi dari kuat tekan 30,67 N/mm² dari campuran kontrol. Setelah tingkat penggantian 15% nilai kuat tekan mulai menurun seiring dengan meningkatnya kadar WG. Pada hasil pengujian kuat lentur dihasilkan nilai yang konstan 5,7 N/mm² dan 7,6 N/mm² setelah 7 dan 28 hari masing-masing pada tingkat penggantian 15%, dan 37,5% dalam kekuatan lentur tercatat pada tingkat pengganti WG 35% masing-masing pada 7 dan 28 hari. Hal ini menunjukkan limbah kaca memiliki potensi untuk digunakan Sebagian dalam produksi beton (Otunyo dan Okechukwu, 2017).

Penelitian sebelumnya berjudul “Pemanfaatan Abu Sekam Padi 10% dan Limbah Kaca Sebagai Bahan Substitusi pada Campuran Beton Mutu Fc’ 25 MPa” menggunakan metode eksperimental

laboratorium untuk menguji beton dengan mutu 25 MPa. Penggantian sebagian agregat halus dilakukan dengan limbah botol kaca pada persentase 0%, 10%, 20%, dan 30%, ditambah 10% abu sekam padi. Sebanyak 45 sampel beton diuji kekuatan tekan pada 7, 14, dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi 10% tanpa serbuk kaca menurunkan kuat tekan beton hingga 28,40% dibandingkan beton normal. Penggunaan abu sekam padi 10% dan serbuk kaca 10% dan 20% meningkatkan kuat tekan beton sebesar 4,7% dan 18,4%. Namun, pada campuran dengan serbuk kaca 30%, kuat tekan menurun 9,3%. Kuat tekan optimum diperoleh pada campuran abu sekam padi 10% dan serbuk kaca 20%, di mana serbuk kaca efektif mengisi pori-pori beton saat mengeras (Iqbal dan Hayu, 2020).

Penelitian yang berjudul “Pengaruh Penambahan Limbah Granit Terhadap Kuat Tekan Beton” menggunakan metode eksperimental laboratorium, yaitu berbagai pengujian yang dilaksanakan berdasarkan data yang telah dirancang terlebih dahulu. Penelitian dijalankan di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Al – Azhar Mataram dan Universitas Mataram. Benda uji penelitian ini adalah beton normal yang menggantikan Sebagian agregat kasar dengan persentase sebesar 0%, 8%, 10%, 12%. Total jumlah sampel benda uji yaitu sebanyak 24 sampel, dengan variasi yang berbeda. Persentase campuran substitusi limbah granit 8% dari berat agregat kasar sebanyak 6 buah, persentase campuran substitusi limbah granit 10% dari berat agregat kasar sebanyak 6 buah, persentase campuran substitusi limbah granit 12% dari berat agregat kasar sebanyak 6 buah dan beton tanpa substitusi campuran substitusi limbah granit 0% dari berat agregat kasar sebanyak 6 buah. Metode yang digunakan dalam *mix design* yaitu menggunakan SNI 7656:2012. Kuat tekan beton diuji dalam 24 dan 28 hari setelah beton dibuat. Kuat tekan beton normal (BN) sebesar 26,09 MPa. Pada penambahan

limbah granit dengan persentase 8 % (BT I) yang sebesar 24,58 MPa, penambahan 10 % (BT II) adalah 22,69 MPa, dan pada penambahan 12 % (BT III) sebesar 21,28 MPa. Dengan hasil pengujian kuat tekan diperlakukan pada sampel yang telah dibuat, diketahui bahwa kuat tekan beton normal masih lebih besar dibanding dengan beton dengan penggunaan limbah granit. Seleksi kuat tekan antara beton normal dan beton yang menggunakan limbah granit menurun tidak terlalu besar, masih dapat diterima sebagai campuran beton karena masih pada rentang distribusi normal dengan nilai toleransi kuat tekan yang diterima berkisar kurang lebih 5% (Hadi, 2020).

Masalah lingkungan dan langkanya penampungan limbah kaca berdampak serius terhadap pembuangan limbah kaca yang berupa serbuk kaca atau sejenisnya di seluruh dunia (Gusty dkk., 2021). Serbuk kaca adalah butiran yang diperoleh dari berbagai macam pecahan dan tumbukan kaca bekas atau limbah (Nasution, 2016). Limbah kaca diperoleh dari sisa pabrik, pembongkaran gedung ataupun rumah dalam skala besar, dan juga di lingkungan sekitar kita. Jumlah limbah kaca di Indonesia berdasarkan data statistik Kementerian Negara Lingkungan Hidup Indonesia (KNLH) pada tahun 2008 menyebutkan bahwa dari 26 kota besar di Indonesia, jumlahnya mencapai 0,7 ton per tahunnya.

Faktor-faktor tersebut merupakan dorongan utama dari penelitian ini-investigasi limbah kaca yang dihancurkan sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam beton. Dengan menggunakan inovasi ini juga dapat mengurangi limbah, dan meminimalkan biaya beton. Semakin meningkatnya pemakaian bahan-bahan adiktif dalam pembuatan beton, maka teknologi sederhana ini dapat dijadikan suatu alternatif yang murah dan tepat guna. Pemanfaatan limbah untuk bahan konstruksi tersebut akan memberikan penyelesaian terhadap permasalahan lingkungan juga akan dapat meningkatkan mutu bahan

konstruksi. Satu hal yang merupakan nilai tambah dalam penggunaan limbah ini dapat menciptakan pekerjaan. Dengan demikian, penelitian ini mempunyai kebaruan yakni memanfaatkan dan mengoptimalkan limbah kaca dan granit sebagai bahan pengisi beton ramah lingkungan. Penelitian ini merupakan penelitian kebaruan dan berbeda dengan penelitian sebelumnya.

METODE

Penelitian ini dilakukan di dua lokasi, yang pertama di Laboratorium Teknologi Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Purwokerto, tempat dilakukannya pengujian material penyusun beton. Sedangkan lokasi kedua adalah di Laboratorium PT Sinergi Beton Indonesia Patikraja, di mana pembuatan benda uji, pencetakan beton, dan pengujian kuat tekan beton dilakukan. Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Terdapat 3 variasi campuran menggunakan cara optimasi pada penambahan serbuk limbah kaca dan pecahan limbah granit serta terdapat total benda uji ada 9 sampel yang akan diuji kuat tekannya. Bahan campuran yang dipakai pada penelitian ini adalah berupa limbah kaca yang berasal dari Pabrik pengolahan limbah kaca dan limbah granit diambil di pabrik pemecahan batu granit yang berada di Desa Baseh, Kecamatan Kedungbanteng. Kemudian untuk limbah kaca dihaluskan menggunakan tumbukan tradisional sampai lolos saringan agregat halus sebesar 4,75 mm. Untuk limbah granit dipecah secara manual menggunakan palu sampai ukuran 30-40 mm, setara dengan ukuran agregat kasar yang akan digunakan pada penelitian ini. Pengujian material mengacu pada SNI 03-2834-2000 yang akan diuji di Laboratorium adalah (1) agregat kasar, (2) agregat halus, (3) pengujian limbah kaca, dan (4) pengujian limbah granit, sedangkan proses desain meliputi perencanaan *mix design* beton. Selanjutnya, hasil pengujian kuat tekan beton dilakukan pengujian nilai hasil pengujian kuat beton.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Uji Gradasi Agregat Halus

Dalam penelitian ini agregat halus yang dipakai berupa pasir alami yang berasal dari Sungai Logawa, pengujian ini meliputi:

a. Pengujian Gradasi Agregat Halus

b. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

c. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.

Hasil pengujian gradasi agregat halus ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Halus

No.	Diameter Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Tertahan (%)	Persen Kumulatif Berat Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
1.	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
2.	4,75	4,20	0,42	0,42	99,58
3.	2,36	13,30	1,33	1,75	98,25
4.	1,18	26,20	2,62	4,37	95,63
5.	0,60	162,20	16,22	20,59	79,41
6.	0,30	440,20	44,02	64,61	35,39
7.	0,15	286,70	28,67	93,28	6,72
8.	Pan	67,20	6,72	100,00	0,00
JUMLAH		1000	100	185,02	

Hasil analisis pasir yang masuk zona 3 ditunjukkan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Analisis Pasir Masuk Zona 3

No.	Diameter Ayakan (mm)	Kelolosan		
		Batas Atas	Hasil Uji	Batas Bawah
1.	Pan	0	0	0
2.	0,15	10	6,72	0
3.	0,3	40	35,39	12
4.	0,6	80	79,41	60
5.	1,18	100	95,63	75
6.	2,36	100	98,25	85
7.	4,75	100	99,58	90
8.	9,5	100	100,00	100

Dari hasil perhitungan di atas maka diketahui Modulus Kehalusan pasir sebesar 1,85 %. Nilai ini masih masuk ke dalam batas yang diizinkan sebesar 1,5-3,8 % (menurut SNI 03-1750-1990). Sesuai dengan hasil pengujian, gradasi pasir yang digunakan pada penelitian ini memenuhi syarat dan masuk ke dalam gradasi zona 3.

2. Uji Agregat Kasar

Dalam penelitian ini, agregat kasar yang dipakai adalah batu pecah yang berasal dari penggilingan batu di Desa Kedungbanteng, pengujian ini meliputi:

a. Pengujian Gradasi Agregat Kasar

b. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pemanfaatan Limbah Kaca (Wibowo/hal. 202-214)

- c. Pengujian Keausan Agregat Kasar (Uji *Los Angeles*)

Hasil pengujian gradasi agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar

No.	Diameter Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Tertahan (%)	Persen Kumulatif Berat Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
1.	75	0,00	0,00	0,00	100,00
2.	37,5	38,50	1,93	1,93	98,08
3.	19	857,30	42,87	44,79	55,21
4.	9,5	782,30	39,12	83,91	16,10
5.	4,75	307,80	15,39	99,30	0,70
6.	Pan	14,10	0,71	100,00	0,00
JUMLAH		2000,00	100,00		

Dari tabel tersebut menunjukkan hasil pengujian keausan agregat kasar menggunakan mesin abrasi *Los Angeles* dengan jumlah putaran mencapai 500 putaran. Nilai yang diperoleh 15,01 %, di mana nilai tersebut memenuhi syarat maksimum yang ditentukan yaitu sebesar 20 % (SNI-2147-2008).

3. Pengujian Limbah Kaca

Dalam penelitian ini limbah kaca yang digunakan adalah limbah kaca yang sudah menjadi serbuk kaca dengan proses penumbukan yang dilakukan secara manual. Pengujian ini meliputi:

- Pengujian Gradasi Limbah Serbuk Kaca
- Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Limbah Serbuk Kaca

Hasil pengujian gradasi serbuk limbah kaca dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Gradasi Serbuk Limbah Kaca

No.	Diameter Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Tertahan (%)	Persen Kumulatif Berat Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
1.	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
2.	4,75	0,70	0,07	0,07	99,93
3.	2,36	3,20	0,32	0,39	99,61
4.	1,18	1,90	0,19	0,58	99,42
5.	0,60	328,60	32,86	33,44	66,56
6.	0,30	288,40	28,84	62,28	37,72
7.	0,15	286,80	28,68	90,96	9,04
8.	Pan	90,40	9,04	100,00	0,00
Jumlah		1000	100	187,72	-

Hasil analisis serbuk limbah kaca yang masuk zona 3 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Analisis Serbuk Limbah Kaca Masuk Zona 3

No.	Diameter Ayakan (mm)	Kelolosan		
		Batas Atas	Hasil Uji	Batas Bawah
1.	Pan	0	0	0
2.	0,15	10	9,04	0
3.	0,3	40	37,72	12
4.	0,6	80	66,56	60
5.	1,18	100	99,42	75
6.	2,36	100	99,61	85
7.	4,75	100	99,93	90
8.	9,5	100	100,00	100

Perhitungan modulus kehalusan limbah serbuk kaca adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus Kehalusan} &= \frac{\text{Kumulatif Berat Tertahan (\%)}}{100} \\
 &= \frac{187,72}{100} \\
 &= \mathbf{1,88\%}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas maka diketahui modulus kehalusan limbah serbuk kaca yang sebesar 1,88 %. Nilai ini masih masuk ke dalam batas yang diizinkan yaitu antara 1,5 - 3,8 % (menurut SNI 03-1750-1990). Sesuai dengan hasil pengujian gradasi limbah serbuk kaca yang digunakan

pada penelitian ini memenuhi syarat dan masuk ke dalam gradasi zona 3.

4. Pengujian Limbah Granit

Dalam penelitian ini limbah granit yang dipakai adalah sisa pemotongan batu granit yang sudah tidak terpakai dan berasal dari pabrik pemotongan batu granit di Desa Baseh, pengujian ini meliputi:

- a. Pengujian Gradasi Limbah Granit
- b. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Limbah Granit
- c. Pengujian Keausan Limbah Granit (Uji Los Angeles)

Hasil pengujian gradasi limbah granit ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Gradasi Limbah Granit

No.	Diameter Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Berat Tertahan (%)	Persen Kumulatif Berat Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
1.	75	0,00	0,00	0,00	100,00
2.	37,5	68,90	3,45	3,45	96,56
3.	19	800,70	40,04	43,48	56,52
4.	9,5	752,70	37,64	81,12	18,89
5.	4,75	365,20	18,26	99,38	0,62
6.	Pan	12,50	0,63	100,00	0,00
Jumlah		2000,00	100,00	-	-

Pemanfaatan Limbah Kaca (Wibowo/hal. 202-214)

Dari Tabel 6 dihasilkan grafik persentase kelulusan gradasi limbah granit dengan ukuran maksimum 40 mm.

Hasil pengujian keausan limbah granit ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian Keausan Limbah Granit (Uji *Los Angeles*)

No.	Diameter Ayakan		Gradasi Benda Uji		
	Lewat (mm)	Tertahan (mm)	A (gram)	B (gram)	C (gram)
1.	37,5	25,4	1250	-	-
2.	25,4	19	1250	-	-
3.	19	12,5	1250	2500	-
4.	12,5	9,5	1250	2500	-
5.	9,5	6,3	-	-	2500
6.	6,3	No. 4	-	-	2500
7.	No. 4	No. 8	-	-	-
8.	No. 8	No. 12	-	-	-
9.	No. 12	Pan	-	-	-
Jumlah Berat			5000	5000	5000
Jumlah Bola Baja			10 Buah	10 Buah	10 Buah
Jumlah Berat Benda Uji Tertahan Ayakan No. 12			4346,8		
Keausan (%) = (A-B)/A x 100%			13,06		

Dari Tabel 7 menunjukkan hasil pengujian keausan limbah granit menggunakan mesin abrasi Los Angeles dengan jumlah putaran yang mencapai 500 putaran. Nilai yang diperoleh adalah 13,06 %, nilai tersebut memenuhi syarat maksimum yang sebesar 20 % (SNI-2147-2008).

5. Perencanaan *Mix Design* Beton

Berikut adalah *mix design* beton normal untuk benda uji silinder yang nantinya akan ditambahkan serbuk limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus dan limbah granit, sebagai pengganti sebagian agregat kasar beserta analisisnya.

Tabel 8 menunjukkan perencanaan *mix design* beton tanpa campuran.

Tabel 8. Perencanaan *Mix Design* Beton Tanpa Campuran

No.	Uraian	Nilai	Satuan
1.	<i>Slump test</i> beton antara	60-180	mm
2.	Ukuran agregat maksimum	40	mm
3.	Jenis agregat kasar	Batu pecah	-
4.	Proporsi agregat:		
	a. <i>Split</i> 3-4 cm	70	%
	b. Pasir	30	%
5.	BJ SSD pasir	2,62	
6.	BJ SSD <i>split</i> 3-4 cm	2,87	
7.	Kadar air SSD (pasir)	5,34	%

No.	Uraian	Nilai	Satuan
8.	Kadar air SSD (<i>split</i> 3-4 cm)	2,24	%
9.	Berat isi asli pasir	0,339	kg/dm ³
10.	Berat isi asli <i>split</i> 3-4 cm	2,482	kg/dm ³

Tabel 9 menunjukkan perencanaan *mix void* minimal. *design* beton dengan menggunakan persentase

Tabel 9. Perencanaan *Mix Design* Beton dengan Menggunakan Persentase *Void* Minimal

No.	Uraian	Nilai	Satuan
1.	<i>Slump test</i> beton antara	60-180	mm
2.	Ukuran agregat maksimum	40	mm
3.	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
4.	Proporsi agregat:		
	a. <i>Split</i> 3-4 cm	50	%
	b. Pasir	20	%
	c. Serbuk limbah kaca	10	%
	d. Limbah granit 3-4 cm	20	%
5.	BJ SSD pasir	2,62	
6.	BJ SSD <i>split</i>	2,87	
7.	BJ SSD serbuk limbah kaca	2,80	
8.	BJ SSD limbah granit	2,86	
9.	Kadar air SSD (pasir)	5,34	%
10.	Kadar air SSD (<i>split</i> 3-4 cm)	2,24	%
11.	Kadar air SSD (serbuk limbah kaca)	7,0	%
12.	Kadar air SSD (limbah granit 3-4 cm)	1,32	%
13.	Berat isi asli pasir	0,339	kg/dm ³
14.	Berat isi asli <i>split</i> 3-4 cm	2,482	kg/dm ³
15.	Berat isi asli serbuk limbah kaca	0,474	kg/dm ³
16.	Berat isi asli limbah granit 3-4 cm	0,445	kg/dm ³

Tabel 10 menunjukkan perencanaan *mix void* maksimal. *design* beton dengan menggunakan persentase

Tabel 10. Perencanaan *Mix Design* Beton dengan Menggunakan Persentase *Void* Maksimal

No.	Uraian	Nilai	Satuan
1.	<i>Slump test</i> beton antara	60-180	mm
2.	Ukuran agregat maksimum	40	mm
3.	Jenis agregat kasar	Batu pecah	-
4.	Proporsi agregat:		
	a. <i>Split</i> 3-4 cm	50	%
	b. Pasir	20	%
	c. Serbuk limbah kaca	10	%
	d. Limbah granit 3-4 cm	20	%
5.	BJ SSD pasir	2,62	-

Pemanfaatan Limbah Kaca (Wibowo/hal. 202-214)

No.	Uraian	Nilai	Satuan
6.	BJ SSD <i>split</i>	2,87	-
7.	BJ SSD serbuk limbah kaca	2,80	-
8.	BJ SSD limbah granit	2,86	-
9.	Kadar air SSD (pasir)	5,34	%
10.	Kadar air SSD (<i>split</i> 3-4 cm)	2,24	%
11.	Kadar air SSD (serbuk limbah kaca)	7,0	%
12.	Kadar air SSD (limbah granit 3-4 cm)	1,32	%
13.	Berat isi asli pasir	0,339	kg/dm ³
14.	Berat isi asli <i>split</i> 3-4 cm	2,482	kg/dm ³
15.	Berat isi asli serbuk limbah kaca	0,474	kg/dm ³
16.	Berat isi asli limbah granit 3-4 cm	0,445	kg/dm ³

6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Setelah beton dirawat dengan merendam sampel selama 28 hari, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian kuat tekan beton. Sebelum pengujian dimulai, setiap sampel beton melalui proses *capping*, yaitu meratakan permukaan sampel benda uji dengan menggunakan belerang (Sulistiana dkk., 2024).

Sampel beton yang akan diuji memiliki bentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Terdapat beberapa jenis sampel beton yang diuji, yaitu: BN (Beton Normal), yang tidak menggunakan

campuran limbah; BV. Min (Beton *Void Minimal*), yang menggunakan campuran serbuk limbah kaca dan limbah granit dengan persentase 10% dan 20%; serta BV. Maks (Beton *Void Maksimal*), yang menggunakan campuran serbuk limbah kaca dan limbah granit dengan persentase 25% dan 50%. Pengujian dilakukan di Laboratorium PT. Sinergi Beton Indonesia, Patikraja. Berikut ini adalah hasil pengujian kuat tekan beton untuk sampel beton berbentuk silinder.

Nilai hasil pengujian kuat tekan beton ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Nilai Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Nama Sampel	Nilai <i>Slump</i> (cm)	Luas Silinder (cm ²)	Kuat Tekan (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rata-rata
BN	12	176,625	375	21,2	20,56
			355	20,1	
			360	20,4	
BV. Min	11	176,625	360	20,4	18,96
			325	18,4	
			320	18,1	
BV. Maks	9	176,625	205	11,6	12,07
			220	12,5	
			215	12,2	

Analisis hasil pengujian kuat tekan beton ditunjukkan pada Tabel 12.

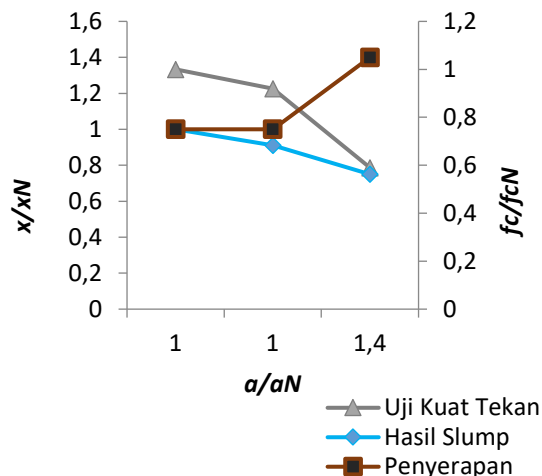
Tabel 12. Analisis Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Nama Sampel	Kuat Tekan (MPa)	Persentase Kuat Tekan terhadap Mutu Beton Rencana MPa (%)
BN	20,56	+ 2,8
BV. Min	18,96	- 5,2
BV. Maks	12,07	- 39,6

Dari data tersebut didapatkan analisis hasil penelitian sebagai berikut.

1. Penggunaan serbuk limbah kaca dan limbah granit dalam campuran agregat pembuatan beton berpengaruh signifikan terhadap tingkat kemudahan beton (*workability*) saat pengerjaan. Hal ini terlihat dari hasil pengujian *slump*, di mana beton normal memiliki nilai *slump* yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton *void* minimal dan beton *void* maksimal.
2. Dalam perencanaan *mix design* menggunakan metode DOE dengan persentase yang telah ditentukan dalam optimasi *void*, akan menghasilkan kuat tekan beton yang berbeda. Hal ini terbukti dari hasil pengujian, di mana beton *void* minimal memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton *void* maksimal.
3. Penyerapan air pada beton dengan *void* minimal lebih rendah dibandingkan dengan beton *void* maksimal, meskipun perbedaannya sangat kecil.
4. Peningkatan kuat tekan beton dipengaruhi oleh *void* beton, yang terbukti dengan semakin menurunnya *void* beton, maka kuat tekan beton semakin meningkat. Sebaliknya, semakin tinggi *void* beton, maka kuat tekan beton akan semakin menurun. Kecenderungan ini juga digambarkan dalam grafik, di mana semua data dibagi dengan parameter pengujian, yaitu beton dengan ketentuan DOE (beton normal). Sehingga kuat tekan beton *void*

minimal, beton *void* maksimal dibagi dengan kuat tekan beton normal ($\frac{f_c}{f_{cN}}$). Nilai *slump* beton *void* minimal, nilai *slump* *void* maksimal dibagi dengan nilai *slump* beton normal ($\frac{x}{xN}$). Penyerapan beton *void* minimal, penyerapan beton *void* maksimal dibagi dengan penyerapan beton normal ($\frac{a}{aN}$). Grafik hubungan kuat tekan beton, nilai *slump*, dan penyerapan beton digambarkan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton, Nilai *Slump*, dan Penyerapan Beton

SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, nilai kuat tekan beton normal (BN) adalah 20,56 MPa, beton *void* minimal (BV. Min) sebesar 18,96 MPa, dan beton *void* maksimal (BV. Maks) sebesar 12,07 MPa. Hasil ini membuktikan bahwa semakin tinggi persentase limbah serbuk kaca dan

Pemanfaatan Limbah Kaca (Wibowo/hal. 202-214)

limbah granit, akan mengakibatkan penurunan kuat tekan beton.

Nilai *slump* beton normal adalah 120 mm, beton *void* minimal sebesar 110 mm, dan beton *void* maksimal sebesar 90 mm. Penyerapan pada beton normal sebesar 0,08%, beton *void* minimal sebesar 0,08%, dan beton *void* maksimal sebesar 0,11%. Penyerapan pada beton normal dan beton *void* minimal lebih rendah dibandingkan dengan beton *void* maksimal, yang mempengaruhi nilai *slump* dan kuat tekan beton. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan limbah granit 1-2 sebagai pengisi agregat 3-4, agar dapat menghasilkan *void* yang lebih sedikit dibandingkan dengan penggunaan limbah granit 3-4 sebagai pengganti sebagian agregat 3-4. Penelitian ini berimplikasi terhadap pengembangan teknologi ramah lingkungan yang dapat diaplikasikan dalam perencanaan bangunan publik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhiatma, H. M., Supomo, V. A. H. A., dan Anurwikan, A. A. (2023). Pemanfaatan Limbah Granit, Kaca, Keramik, dan Steel Slag dalam High Density Concrete. *Jurnal Inovasi Teknologi dan Edukasi Teknik*, 3(12), 2.
- Asrafi, A. (2021). Pengaruh Penambahan Limbah Kaca terhadap Mutu Fc 14,5 dan Kuat Tekan Beton. *Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat*.
- Fitry, I. N. (2023). Strategi Peningkatan Kinerja Tempat Pengolahan Sampah Reduce, Reuse, Recycle (TPS 3R) di Pulau Barrang Lompo, Kota Makassar. *Universitas Hasanuddin*.
- Gusty, S., Mansyur, Tumpu, M. Ahmad, S. N., Bungin, E. R., Safar, A., Irianto, Rangan, P. R., Tamim, T., Ismail, K. K., dan Patiku, Y. (2021). *Sampah sebagai Sumber Energi Alternatif*. Makassar: Tohar Media.
- Hadi, S. (2020). Pengaruh Penambahan Limbah Granit terhadap Kuat Tekan Beton. *Ganec Swara: Media Informasi Ilmiah Universitas Mahasariswati Mataram*, 14(1), 476-480.
- Iqbal, R. M. dan Hayu, G. A. (2020). Pemanfaatan Abu Sekam Padi 10% dan Limbah Kaca sebagai Bahan Substitusi pada Campuran Beton Mutu fc' 25 MPa. *Jurnal Teknik Sipil: Sondir*, 4(2), 6-15.
- Islamiati, D. (2024). Collaborative Governance dalam Pengelolaan Sampah di Kabupaten Banyumas. *Dialogue: Jurnal Ilmu Administrasi Publik*, 6(2), 748-760.
- Kynge, J. (2007). *Rahasia Sukses Ekonomi Cina: Kebangkitan Cina Menggeser Amerika Serikat sebagai Superpower Ekonomi Dunia*. Bandung: Mizan Pustaka.
- Nasution, A. R. (2016). Pengaruh Penambahan Tumbukan Limbah Kaca sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus terhadap Kuat Tekan. *Universitas Medan Area*.
- Otunyo, A. W. dan Okechukwu, B. N. (2017). Performance of Concrete with Partial Replacement of Fine Aggregates with Crushed Waste Glass. *Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH)*, 36(2), 403-410.
- Prasetya, W. H., Setyawan, S. D., dan Santosa, C. S. (2019). Inovasi High Early Strength Concrete dengan Pemanfaatan Limbah Batu Granit, Cangkang Kerang dan Fly Ash. *Jurnal Proyek Teknik Sipil*, 2(2), 24-30.
- Prasetyo, C. D., Sunarsih, E. S., dan Sucipto, T. L. A. (2020). Kajian Pemanfaatan Limbah Kaca sebagai Pengganti Agregat Halus dan Fly Ash 30% dari Berat Semen Ditinjau dari Kuat Tarik Belah, Daya Serap dan Porositas Beton. *IJCEE: Indonesian Journal of Civil*

- Engineering Education*, 6(2), 65–77.
- Sudarman, C. S. (2022). Pengaruh Pergantian Sebagian Pasir dengan Limbah Batu Granit dan Rambut terhadap Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton. *Formosa Journal of Multidisciplinary Research (FJMR)*, 1(3), 803–818.
- Suhelmidawati, E., Mirani, Z., Adibroto, F., dan Syofiardi. (2022). Pemanfaatan Pasir/Kerikil Sisa Penambangan Batu Kapur pada Campuran Paving Block. *JPR: Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*, 17(1), 17–24.
- Sulistiana, P. D., Agustini, N. K. A., dan Setiawan, I. M. E. (2024). Perbandingan Konstruksi Beton Risha dan Konvensional: Tinjauan Biaya dan Waktu. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 19(2), 150–159.