21 (2) (2026) 225-234

Teknika

http://journals.usm.ac.id/index.php/teknika

Tinjauan Kuat Tekan Beton Polimer menggunakan Bahan Campuran Perekat Resin *Epoxy* dan *Polygrout* Serta Serbuk Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus

Dhika Aji Kusuma[1], Agus Juara[2], Joko Adi Wicaksono[3]✉, Wiji Lestarini[4], Anik Kustirini[5], Muhamad Adip Erwin Nurofi[6], Farida Yudaningrum[7], Mohammad Mukhdif Al-Afghoni[8]

[1,2,3,4] Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sains Al-Qur'an, Wonosobo, Indonesia
[5] Program Studi Teknik Sipil, Universitas Semarang, Semarang, Indonesia
[6] Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Nahdlatul Ulama, Jepara, Indonesia
[7] Program Studi Teknik Sipil, Universitas PGRI Semarang, Semarang, Indonesia
[8] Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Darul 'Ulum, Lamongan, Indonesia

DOI: https://doi.org/10.26623/teknika.v21i1.14088

Info Artikel

Sejarah Artikel:
Disubmit 10 Maret 2026
Direvisi 31 Oktober 2026
Disetujui 31 Oktober 2026

Keywords:
Compressive strength; Epoxy resin; Fine aggregate; Glass powder; Polymer concrete

Abstrak

Pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan substitusi agregat halus pada beton polimer merupakan salah satu alternatif untuk mengurangi penggunaan agregat alam sekaligus meningkatkan nilai guna limbah. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh variasi serbuk kaca terhadap kuat tekan beton polimer berbasis resin *epoxy* serta menentukan kadar serbuk kaca optimum. Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Sains Al-Qur'an, Wonosobo. Campuran beton dirancang dengan kuat tekan rencana 18,6 MPa menggunakan *epoxy* sebesar 25% sebagai bahan pengikat polimer dan serbuk kaca sebesar 8%, 9%, 10%, 11%, dan 12% sebagai substitusi sebagian agregat halus. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan meningkat dari 15,27 MPa pada kadar serbuk kaca 8% menjadi 15,86 MPa pada kadar 9% dan mencapai nilai maksimum 17,04 MPa pada kadar 10%. Selanjutnya, kuat tekan menurun menjadi 15,00 MPa dan 13,31 MPa masing-masing pada kadar serbuk kaca 11% dan 12%. Dengan demikian, kadar serbuk kaca optimum pada kondisi penelitian ini adalah 10%, dengan kuat tekan sebesar 17,04 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan serbuk kaca pada kadar optimum berpotensi meningkatkan kuat tekan beton polimer berbasis *epoxy*.

Abstract

The utilization of waste glass as a partial fine aggregate replacement material in polymer concrete represents an alternative approach to reducing the consumption of natural aggregates while increasing the beneficial use of waste materials. This study aims to evaluate the effect of varying glass powder contents on the compressive strength of epoxy resin-based polymer concrete and to determine the optimum glass powder content. An experimental investigation was conducted at the Civil Engineering Laboratory, Universitas Sains Al-Qur'an, Wonosobo. The concrete mixtures were designed for a target compressive strength of 18.6 MPa, using 25% epoxy resin as the polymer binder and glass powder contents of 8%, 9%, 10%, 11%, and 12% as partial replacements for fine aggregate. Compressive strength tests were performed at the age of 28 days. The results showed that the compressive strength increased from 15.27 MPa at 8% glass powder to 15.86 MPa at 9%, reaching a

maximum value of 17.04 MPa at 10%. Subsequently, the compressive strength decreased to 15.00 MPa and 13.31 MPa at glass powder contents of 11% and 12%, respectively. Therefore, under the conditions investigated, the optimum glass powder content was 10%, producing a compressive strength of 17.04 MPa. These findings indicate that incorporating glass powder at an optimum replacement level has the potential to improve the compressive strength of epoxy-based polymer concrete.

This is an open access article under the CC BY license

✉ **Alamat Korespondensi:**
E-mail: joko@fastikom-unsiq.ac.id

p-ISSN 1410-4202
e-ISSN 2580-8478

PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang paling banyak digunakan dalam dunia konstruksi. Material ini tersusun atas campuran semen, agregat halus, agregat kasar, dan air yang saling berikatan membentuk massa padat dengan kekuatan tertentu (Ashad et al., 2023). Penggunaan beton sangat luas, mulai dari pekerjaan struktural ringan hingga struktur bangunan berat, karena beton memiliki keunggulan berupa kekuatan tekan yang tinggi, mudah dibentuk sesuai kebutuhan, serta relatif mudah dikerjakan di lapangan (Nugroho & Rizalditya, 2022). Selain itu, beton juga memiliki tingkat keawetan yang baik dan sifat mekanik yang dapat direncanakan sesuai fungsi bangunan. Oleh sebab itu, beton tetap menjadi pilihan utama dalam berbagai proyek konstruksi (Aryono, 2025).

Seiring meningkatnya kebutuhan pembangunan, inovasi pada material beton terus berkembang. Salah satu bentuk pengembangan tersebut adalah beton polimer. Beton polimer merupakan material komposit yang menggunakan polimer organik sintetis sebagai bahan pengikat utama, sehingga berbeda dari beton konvensional yang menggunakan semen *Portland* sebagai perekat (Achmad & Sutjahjo, 2014). Beton polimer juga dikenal dengan istilah beton resin sintetis, beton resin plastik, atau beton resin. Penggunaan polimer pada campuran beton memberikan sejumlah keuntungan, seperti ketahanan kimia yang lebih baik, daya rekat tinggi, dan potensi peningkatan sifat tertentu pada beton. Namun demikian, penggunaan polimer sebagai bahan pengganti semen juga menimbulkan konsekuensi berupa meningkatnya biaya produksi (Putra et al., 2020). Oleh karena itu, pemanfaatannya akan lebih efektif apabila disertai efisiensi pada biaya tenaga kerja, energi, maupun proses pemeliharaan selama masa layanan struktur (Doğan & Demir, 2021).

Dalam penelitian ini, bahan polimer yang digunakan adalah *epoxy* resin dan *polygrout polymer*, yaitu polimer berbasis *recycled polyethylene terephthalate* resin yang berasal dari hasil daur ulang limbah plastik bekas. *Polygrout* tersebut memanfaatkan bahan isian dari limbah pembakaran batubara berupa *fly ash* yang berasal dari PLTU Suralaya, serta tanah liat bakar yang diperoleh dari sumber komersial di Cilacap. Penggunaan bahan-bahan tersebut menunjukkan bahwa beton polimer tidak hanya dikembangkan untuk meningkatkan kinerja material, tetapi juga diarahkan sebagai alternatif material yang lebih ringan dan lebih ramah lingkungan. Pemanfaatan limbah industri dan limbah plastik sebagai bahan substitusi dalam campuran beton merupakan salah satu upaya untuk mengurangi limbah sekaligus mendukung pengembangan material konstruksi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Hidayat et al., 2026; Ramadhan et al., 2024; Zhafira et al., 2024).

Selain penggunaan *epoxy*, penelitian ini juga memanfaatkan limbah kaca sebagai bahan substitusi sebagian agregat halus. Perkembangan teknologi dan aktivitas manusia dari tahun ke tahun menghasilkan dampak positif sekaligus dampak negatif, terutama berupa peningkatan volume limbah. Salah satu limbah yang banyak dihasilkan dalam kehidupan sehari-hari adalah limbah kaca, khususnya di kawasan perkotaan (Siagian et al., 2024). Limbah kaca umumnya berasal dari botol,

pecahan kaca rumah tangga, industri, maupun kegiatan komersial lainnya. Apabila tidak dikelola dengan baik, limbah kaca akan terus menumpuk di lahan terbuka dan berpotensi mencemari lingkungan, mengingat kaca sangat sulit terurai secara alami. Limbah kaca dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus dalam campuran beton. Pemanfaatan ini menjadi alternatif untuk mengurangi penggunaan agregat alam sekaligus meningkatkan pemanfaatan limbah kaca dalam material konstruksi (Ode et al., 2024; Jamaaluddin & Jafar, 2024; Rosiyani et al., 2025).

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu inovasi untuk memanfaatkan limbah kaca agar memiliki nilai guna yang lebih tinggi. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah menjadikan serbuk kaca sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus dalam campuran beton. Pemanfaatan serbuk kaca ini diharapkan tidak hanya mampu mengurangi jumlah limbah yang mencemari lingkungan, tetapi juga dapat menjadi material alternatif yang berkontribusi terhadap peningkatan mutu atau karakteristik tertentu pada beton (Yudhistira et al., 2025). Dengan demikian, penelitian mengenai pengaruh penggunaan *epoxy* dan serbuk kaca pada campuran beton menjadi penting untuk dilakukan, baik dari aspek teknis maupun lingkungan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan beton alternatif yang lebih inovatif, ekonomis, dan berkelanjutan.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium yang bertujuan untuk melakukan tinjauan dengan penggunaan bahan campuran perekat resin *epoxy* dan *polygrout* serta serbuk kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap kuat tekan beton polimer.

METODE

Tahapan penelitian meliputi persiapan material berupa semen, agregat, air, dilanjutkan dengan pengujian sifat fisik agregat, yaitu gradasi, kadar lumpur, berat jenis, kadar organik, kadar air dan penyerapan, serta keausan agregat kasar. Perancangan campuran beton (*mix design*) dilakukan untuk mencapai kuat tekan rencana > 18,6 MPa dengan mengacu pada SNI-03-2834-2000 (Badan Standardisasi Nasional, 2000). Campuran yang telah direncanakan digunakan untuk pembuatan benda uji silinder melalui proses pengadukan, uji *slump*, pengecoran, dan perawatan. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari. Data hasil pengujian dianalisis untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan campuran perekat resin *epoxy* dan *polygrout* serta serbuk kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap kuat tekan beton polimer, kemudian disusun kesimpulan sesuai dengan tujuan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil perhitungan pengujian kadar lumpur yang dilakukan dengan menggunakan sampel pasir Muntilan yang ada, didapat nilai kadar lumpur rata-rata sebesar 3,10% (Tabel 1). Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan Badan Standardisasi Nasional (2016) sebagaimana pada SNI 8321:2016 tentang spesifikasi agregat beton, persentase kandungan material halus pada agregat halus yang digunakan dalam campuran beton dibatasi hingga maksimum 5% untuk kondisi yang dipersyaratkan dalam standar.

Tabel 1. Uji Kadar Lumpur Pasir Merapi

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Tinggi pasir dalam gelas ukur	A	50,00	50,00	mm
Tinggi lumpur dalam gelas ukur	B	1,50	1,70	mm
Prosentase kandungan lumpur	B / (A+B) * 100%	2,91	3,29	%
Kandungan lumpur rata-rata	(I + II) / 2	3,10		%

Hasil pengujian kadar organik pasir Merapi (Tabel 2) menunjukkan bahwa air berwarna jernih dan termasuk golongan warna nomor 1. Menurut Badan Standardisasi Nasional (2014), pada SNI 2816:2014 tentang uji bahan organik dalam agregat halus untuk beton, warna standar yang digunakan adalah nomor 3. Dengan demikian, hasil pengujian masih memenuhi persyaratan karena warna yang dihasilkan lebih jernih daripada warna standar.

Hasil pengujian kadar air terhadap pasir Merapi diperoleh sebesar 4,77% (Tabel 3). Pengujian kadar air dilakukan berdasarkan ASTM C566-25 (ASTM *International*, 2025). Nilai kadar air tersebut digunakan sebagai dasar untuk memperhitungkan kadar air agregat dalam perencanaan campuran beton.

Tabel 2. Uji Kadar Organik Pasir Merapi

Nomor Contoh	I	II
Volume sampel (ml)	300	300
Volume sampel+larutan pengekstrak NaOH 3% (ml)	500	500
Warna larutan setelah 24 jam dibandingkan dengan pembanding warna (pitometer).	jernih	jernih
Keterangan: pasir baik digunakan untuk campuran adukan beton, kadar lumpur <5%, kandungan organik baik/tidak terdapat warna.		

Tabel 3. Kadar Air Pasir Merapi

No. Contoh benda uji Nomor talam yang akan digunakan		I	II
Berat cawan (W_1)	(gram)	40,00	40,00
Berat cawan + contoh basah (W_2)	(gram)	650,30	645,80
Berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$)	(gram)	610,30	605,80
Berat cawan + contoh kering (W_4)	(gram)	625,50	615,30
Berat contoh kering ($W_5 = W_4 - W_1$)	(gram)	585,50	575,30
Kadar air = (W3-W5)/W5 * 100%		4,24	5,30
Kadar air rata-rata (%)		4,77	

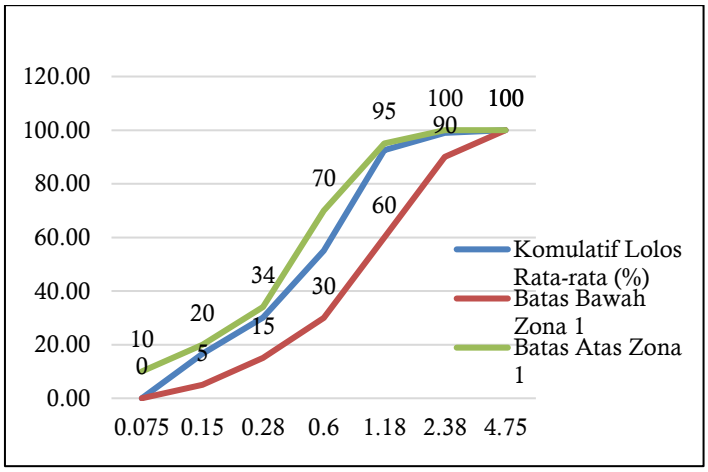
Berdasarkan Tabel 4, hasil pengujian kadar air agregat kasar pada 2 contoh benda uji menunjukkan nilai kadar air masing-masing sebesar 1,87% untuk contoh A dan 2,65% untuk contoh B, sehingga diperoleh kadar air rata-rata sebesar 2,26%. Perbedaan nilai tersebut menunjukkan adanya variasi kandungan air pada agregat kasar yang digunakan. Nilai kadar air ini perlu diperhatikan dalam perencanaan campuran beton karena kandungan air pada agregat dapat memengaruhi jumlah air efektif dalam campuran dan selanjutnya memengaruhi nilai *water-cement ratio (w/c).* Oleh karena itu, kadar air agregat kasar sebesar 2,26% dapat digunakan sebagai dasar dalam melakukan koreksi kebutuhan air pada rancangan campuran beton, sehingga proporsi air yang ditambahkan pada saat pencampuran tetap sesuai dengan kebutuhan *mix design* yang direncanakan.

Berdasarkan Gambar 1, hasil analisis gradasi pasir menunjukkan persentase kumulatif lolos sebesar 10% s.d 100% pada ukuran saringan 0,075 s.d 4,75 mm. Kurva gradasi tersebut berada di antara batas atas dan batas bawah Zona 1, sehingga pasir yang digunakan dapat dikategorikan memiliki gradasi yang memenuhi daerah gradasi Zona 1. Gambar 2 menunjukkan hasil gradasi agregat kasar dengan persentase kumulatif lolos terhadap ukuran diameter saringan. Kurva hasil pengujian berada dalam batas gradasi agregat kasar maksimum 40 mm, sehingga agregat kasar dapat dinyatakan memiliki gradasi yang sesuai dengan daerah batas yang ditentukan. Kondisi gradasi agregat halus dan

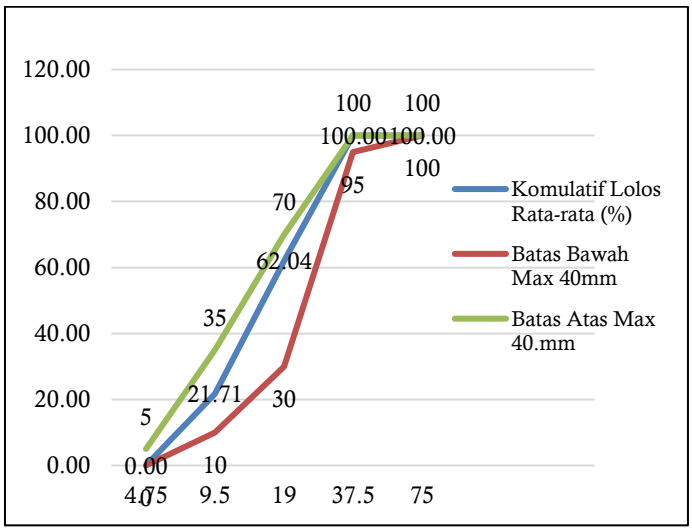
kasar tersebut menunjukkan bahwa material yang digunakan memiliki distribusi ukuran butir yang dapat digunakan dalam *mix design*.

Tabel 4. Kadar Air Agregat Kasar

No. Contoh benda uji dan kedalaman		I	
Nomor talam yang akan digunakan		A	B
Berat cawan (W_1)	(gram)	225,00	225,00
Berat cawan + contoh basah (W_2)	(gram)	1.250,00	1,124,00
Berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$)	(gram)	1.025,00	899.00
Berat cawan + contoh kering (W_4)	(gram)	1.231,20	1.100,80
Berat contoh kering ($W_5 = W_4 - W_1$)	(gram)	1.006,20	875,80
Kadar air = (W3-W5)/W5 *100 %		1,87	2,65
Kadar air rata-rata (%)		2,26	



Gambar 1. Grafik Gradasi Pasir



Gambar 2. Grafik Gradasi Kerikil

Berdasarkan Tabel 5 dan Tabel 6, hasil pengujian terhadap dua benda uji, diperoleh nilai rata-rata berat jenis curah kering sebesar 2,58; berat jenis curah jenuh kering permukaan sebesar 2,70 dan berat jenis semu sebesar 2,91. Sementara itu, nilai penyerapan air agregat kasar tercatat sebesar 4,43%.

Secara umum, nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan masih berada dalam kisaran yang dapat diterima sebagai bahan penyusun beton. Nilai berat jenis agregat kasar cenderung menunjukkan karakteristik material yang cukup padat, sehingga berpotensi memberikan kontribusi yang baik terhadap kekuatan beton. Nilai berat jenis semu yang paling tinggi menunjukkan bahwa material padat agregat memiliki massa jenis yang baik, sedangkan perbedaan antara berat jenis curah kering dan SSD menunjukkan adanya pengaruh kondisi kelembapan permukaan agregat. Nilai penyerapan air sebesar 4,43% menandakan bahwa agregat memiliki kemampuan menyerap air yang relatif cukup besar, sehingga dalam perencanaan campuran beton perlu dilakukan pengendalian kadar air agar faktor air-semen tetap sesuai dengan rancangan.

Tabel 5. Berat Jenis Agregat Pasir

Pengujian	A	B	Rata-rata	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500,00	500,00	500,00	gram
Berat benda uji kering oven	490,00	485,50	487,75	gram
Berat piknometer diisi air (25°C	1.250,00	1.250,00	1.250,00	gram
Berat piknometer + benda uji (SSD) + Air (25°C) Bt	1.565,00	1.563,50	1.564,25	gram
Pengujian	A	B	Rata-rata	
Berat jenis bulk	2,65	2,60	2,63	
Berat jenis jenuh kering permukaan	2,70	2,68	2,69	
Berat jenis semu (*apparent*)	2,80	2,82	2,81	
Penyerapan air (*absorption*)	2,04	2,99	2,51	

Tabel 6. Berat Jenis Agregat Kasar

Pengujian	Notasi	I	II	Satuan
Berat benda uji kering oven	A	1.905,50	1.925,00	gram
Berat benda uji jenuh kering permukaan di udara	B	2.000,00	2.000,00	gram
Berat benda uji dalam air	C	1.254,60	1.261,40	gram
Perhitungan	Notasi	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (Sd)	A/(B - C)	2,56	2,61	2,58
Berat jenis curah jenuh kering permukaan (Ss)	B/(B - C)	2,68	2,71	2,70
Berat jenis semu (Sa)	A/(A - C)	2,93	2,90	2,91
Penyerapan air (Sw)	(B - A)/A*100	4,96	3,90	4,43

Tabel 7. Uji Keausan Agregat Kasar

Gradasi Pemeriksaan	Jumlah Putaran	500 x
Ukuran Saringan	Sampel 1	Sampel 2
Tertahan	Berat A (gram)	Berat A (gram)
2,5"(63,55 mm)	-	-
2"(50,8 mm)	-	-
1,5"(37,5 mm)	1.250	1.250
1"(25,4 mm)	1.250	1.250
3/4"(19,0 mm)	1.250	1.250
1/2"(12,5 mm)	-	-
3/8"(9,5 mm)	1.250	1.250
1/4"(6,30 mm)	-	-

Gradasi Pemeriksaan Ukuran Saringan Tertahan	Jumlah Putaran Sampel 1 Berat A (gram)	500 x Sampel 2 Berat A (gram)
No.4 (4,75 mm)	-	-
No. 8 (2,36 mm)	-	-
Jumlah Berat	5.000	5.000
Berat tertahan saringan No.12 sesudah percobaan	4.658,5	4.678,5
Keausan %	6,83	6,43
Keausan rata-rata %	6,63	

Karakteristik fisik agregat kasar tersebut sangat penting dalam campuran beton karena agregat berperan dalam membentuk struktur internal beton. Berat jenis agregat yang baik akan mendukung kestabilan dan kekuatan campuran, sedangkan penyerapan air yang terukur membantu peneliti menyesuaikan kebutuhan air pencampur. Hasil uji keausan agregat kasar ditampilkan pada Tabel 7. Dengan demikian, agregat kasar yang diuji memiliki sifat fisik yang layak digunakan dan dapat dijadikan dasar dalam penyusunan *mix design* beton (Tabel 8).

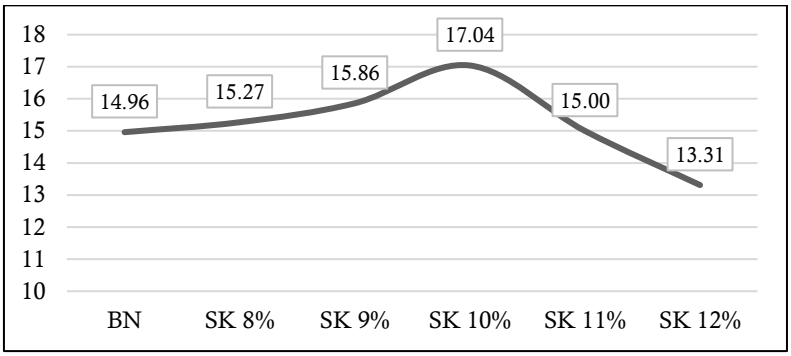
Tabel 8. *Mix Design*

No	Uraian	Nilai	
1	Kuat Tekan yang disyaratkan (benda uji silinder/kubus)	14,525	MPa
2	Deviasi Standar	7	MPa
3	Nilai tambah (*margin*)	11,48	MPa
4	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan	26,005	MPa
5	Jenis semen	Semen *Portland* Tipe I	TIGA RODA
6	Jenis agregat : - kasar - halus	Batu Pecah Alami	
7	Faktor air semen bebas	0,61	Ambil yang terendah
8	Faktor air semen maksimum	-	
9	Slump	60-180	mm
10	Ukuran agregat maksimum	40	mm
11	Kadar air bebas	185	kg/m^3
12	Jumlah semen	303,3	kg/m^3
13	Jumlah semen maksimum	303,3	kg/m^3
14	Jumlah semen minimum	-	kg/m^3 (pakai bila lebih besar dari 12, lalu hitung 15)
15	Faktor air semen yang disesuaikan		
16	Susunan besar butir agregat halus	Daerah gradasi susunan butir 1	
17	Susunan agregat kasar atau gabungan		
18	Persen agregat halus	48	%
19	Berat jenis relatif, agregat (kering permukaan)	2,72	
20	Berat isi beton	2.465	kg/m^3
21	Kadar agregat gabungan	1976,7	kg/m^3
22	kadar agregat halus	948,83	kg/m^3
23	kadar agregat kasar	1.027,90	kg/m^3

Perencanaan campuran beton dilakukan untuk mencapai kuat tekan yang disyaratkan sebesar 14,525 MPa dengan deviasi standar 7 MPa, sehingga diperoleh kuat tekan rata-rata target sebesar 26,005 MPa. Beton direncanakan menggunakan semen *Portland* tipe I merek Tiga Roda dan agregat kasar berupa batu pecah tanpa penggunaan agregat halus, sesuai dengan karakteristik beton *porous*. Perencanaan campuran beton yang memperhatikan target kuat tekan dan rasio air–semen merupakan aspek penting dalam desain *mix* beton. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa parameter campuran, termasuk rasio air–semen dan komposisi material, sangat berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekanik beton *porous* yang dihasilkan (Ximenes dkk., 2022).

Faktor air-semen bebas ditetapkan sebesar 0,61 dengan nilai *slump* rencana berkisar antara 60–180 mm dan ukuran agregat maksimum 40 mm. Kadar air bebas yang digunakan sebesar 185 kg/m³, sedangkan jumlah semen ditetapkan sebesar 303,3 kg/m³. Berat jenis relatif agregat pada kondisi jenuh kering permukaan sebesar 2,72 dengan berat isi beton sebesar 2465 kg/m³.

Berdasarkan perhitungan, proporsi campuran beton *porous* per meter kubik terdiri dari semen 303,3 kg, air 185 kg, agregat halus 948,83 kg dan agregat kasar 1.027,90 kg. Untuk satu kali pencampuran menggunakan satu zak semen (50 kg), digunakan air sebanyak 30,5 kg, agregat halus 156,4 kg dan agregat kasar sebesar 169,5 kg.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Hasil Kuat Tekan

Berdasarkan grafik hasil uji kuat tekan rata-rata beton pada umur 28 hari (Gambar 3), terlihat bahwa penggunaan *epoxy* sebesar 25% sebagai pengganti sebagian material semen dan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus memberikan pengaruh yang cukup nyata terhadap nilai kuat tekan beton. Nilai kuat tekan beton normal (BN) tercatat sebesar 14,96 MPa. Setelah dilakukan penambahan serbuk kaca sebesar 8%, nilai kuat tekan meningkat menjadi 15,27 MPa. Pada variasi 9%, kuat tekan kembali meningkat menjadi 15,86 MPa dan mencapai nilai tertinggi pada variasi 10%, yaitu sebesar 17,04 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk kaca hingga batas tertentu mampu memperbaiki karakteristik beton, terutama dalam meningkatkan kekuatan tekan.

Kenaikan kuat tekan dari beton normal ke campuran serbuk kaca 10% menunjukkan bahwa serbuk kaca memiliki potensi yang baik sebagai bahan substitusi sebagian agregat halus pada beton polimer. Peningkatan ini diduga terjadi karena butiran serbuk kaca yang halus dapat membantu mengisi rongga-rongga di antara partikel penyusun beton, sehingga campuran menjadi lebih padat dan rapat. Selain itu, keberadaan *epoxy* sebagai bahan pengikat tambahan juga dapat berperan dalam meningkatkan daya lekat antar material penyusun beton. Kombinasi antara *epoxy* dan serbuk kaca dalam proporsi yang tepat dapat membentuk struktur beton yang lebih kompak, sehingga beban tekan yang diterima benda uji dapat didistribusikan dengan lebih baik. Namun demikian, setelah melewati kadar optimum pada variasi 10%, nilai kuat tekan beton justru mengalami penurunan yang cukup signifikan. Pada campuran serbuk kaca 11%, kuat tekan turun menjadi 15,00 MPa, sedangkan pada campuran 12% turun lebih jauh menjadi 13,31 MPa. Penurunan ini menunjukkan bahwa

penambahan serbuk kaca dalam jumlah yang terlalu besar tidak selalu memberikan dampak positif terhadap mutu beton. Kelebihan serbuk kaca dapat menyebabkan ikatan antarbahan dalam campuran menjadi kurang optimal, sehingga struktur internal beton tidak sepadat variasi sebelumnya. Dalam kondisi tersebut, serbuk kaca yang terlalu banyak dapat mengganggu keseimbangan gradasi agregat halus dan memengaruhi homogenitas campuran beton.

Selain penurunan kuat tekan, pada variasi campuran 11% dan 12% juga ditemukan pola retak yang berbeda dibandingkan dengan campuran lainnya. Pada kedua variasi tersebut, diketahui bahwa benda uji cenderung menjadi lebih getas. Sifat getas ini mengindikasikan bahwa beton kehilangan sebagian kemampuan deformasinya sebelum mengalami keruntuhan. Dengan kata lain, beton menjadi lebih mudah pecah ketika menerima beban maksimum. Kondisi ini memperlihatkan bahwa meskipun serbuk kaca dapat berkontribusi terhadap peningkatan kuat tekan, penggunaannya harus tetap dibatasi pada kadar optimum agar tidak menurunkan kualitas mekanik beton secara keseluruhan. Secara umum, grafik tersebut memperlihatkan adanya hubungan yang jelas antara persentase serbuk kaca dan kuat tekan beton polimer. Tren peningkatan kuat tekan terjadi dari beton normal hingga campuran serbuk kaca 10%, kemudian diikuti oleh tren penurunan pada campuran 11% dan 12%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa komposisi optimum pada penelitian ini terdapat pada campuran *epoxy* 25% dan serbuk kaca 10%, dengan nilai kuat tekan rata-rata sebesar 17,04 MPa. Hasil ini menegaskan bahwa penggunaan limbah serbuk kaca dalam jumlah yang tepat berpotensi meningkatkan mutu beton sekaligus menjadi alternatif material yang lebih ramah lingkungan. Akan tetapi, apabila kadarnya melebihi batas optimum, maka beton cenderung mengalami penurunan kekuatan dan menunjukkan sifat yang lebih getas.

SIMPULAN

Pencapaian kuat tekan maksimum diperoleh pada campuran beton dengan *epoxy* 25% dan serbuk kaca 10%, yaitu sebesar 17,04 MPa. Nilai ini menunjukkan bahwa penggunaan *epoxy* sebagai pengganti sebagian material semen dan serbuk kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kuat tekan beton hingga kadar tertentu. Selain itu, berat isi beton pada campuran *epoxy* 25% dengan variasi serbuk kaca 8%, 9%, 10%, 11%, dan 12% secara berturut-turut adalah 2.304,63 kg/m^3; 2.313,52 kg/m^3; 2.362,93 kg/m^3; 2.231,08 kg/m^3 dan 2.229,55 kg/m^3. Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa nilai kuat tekan beton mengalami tren kenaikan seiring bertambahnya kadar serbuk kaca hingga mencapai titik optimum pada campuran 10%, yang sekaligus menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi sebesar 17,04 MPa.

Disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan variasi kadar *epoxy, polygrout* dan serbuk kaca yang lebih beragam, terutama pada rentang kadar serbuk kaca di sekitar 10% untuk memperoleh komposisi optimum. Selain kuat tekan, penelitian selanjutnya juga perlu menguji karakteristik beton lainnya, seperti kuat tarik belah, kuat lentur, porositas, dan daya serap air. Selain itu, optimasi proporsi bahan dan metode pencampuran perlu dilakukan untuk memperoleh beton polimer dengan kuat tekan yang lebih tinggi dan memenuhi mutu beton yang direncanakan.

DAFTAR PUSTAKA

Achmad, D., & Sutjahjo, K. D. (2011). Dampak penambahan polimer terhadap karakteristik beton aspal. *Jurnal Poli-Teknologi*, *10*(1), 32-38. https://doi.org/10.32722/pt.v10i1.426

Aryono, K. D. (2025). *Analisis kuat tekan dan karakteristik beton substitusi semen dengan polyurethane* [Undergraduate thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta]. UMS ETD-db. https://eprints.ums.ac.id/139681/

Ashad, H., Putra, M. R., & Utina, T. (2023). Studi karakteristik kuat tekan beton geopolimer berbahan dasar fly ash. *Jurnal Teknik Sipil, 30(3)*, 379–384. https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.3.6

ASTM International. (2025). *ASTM C566-25: Standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying*.

Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000: *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal.* Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2014). SNI 2816:2014: *Metode uji bahan organik dalam agregat halus untuk beton*. Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 8321:2016: *Spesifikasi agregat beton*. Badan Standardisasi Nasional.

Doğan, C., & Demir, İ. (2021). Polymer fibers and effects on the properties of concrete. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(2),* 438–451. https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.81983

Hidayat, R., Aswaldi, H., & Kurniawan, H. (2026). Pengembangan beton ramah lingkungan berbasis limbah industri untuk meningkatkan kinerja dan keberlanjutan struktur. *Indonesian Journal of Engineering (IJE), 6*(2), 120-136. https://doi.org/10.69503/ije.v6i2.1627

Jamaaluddin, K. H., & Jafar. (2024). Pengaruh serbuk kaca sebagai substitusi parsial agregat halus dan silica fume sebagai substitusi parsial semen terhadap nilai propertis mekanik beton. *APTEK, 16*(2), 160–169. https://doi.org/10.30606/aptek.v16i2.2632

Nugroho, F. S., & Rizalditya, P. B. (2022). Kuat tekan dan kuat tarik belah beton polimer termodifikasi alami amylum serta bahan tambah madu. *G-SMART*, *1*(2), 96–108. https://doi.org/10.24167/gs.v1i2.1393

Ode, T., Sahusilawane, T., & Marantika, M. (2024). Pengaruh penggunaan serbuk kaca sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus terhadap kuat tekan beton. *Journal Agregate, 3*(1), 1–6. https://doi.org/10.31959/ja.v3i1.1981

Putra, S. H., Surandono, A., & Dewi, S. U. (2020). Analisis penambahan zat additive (polimer) terhadap kuat tekan beton. *JUMATISI, 1(2),* 112–120. https://doi.org/10.24127/jumatisi.v1i2.3670

Ramadhan, D., Wahyudi, I., Afiah, A., Arcana, G. P. F., Rizky, M., & Istanto, K. (2024). Inovasi beton ramah lingkungan dengan pemanfaatan limbah kaca dan plastik PET. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology, 5*(1), 31–36. https://doi.org/10.52158/jaceit.v5i1.675

Rosiyani, T. R., Triyani, A., Sintia, S., & Yudaningrum, F. (2025). Pemanfaatan limbah kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus bahan material pembuatan beton. *Jurnal Teknik Sipil Giratory UPGRIS, 6*(1), 1-10. https://doi.org/10.26877/giratory.v6i1.24101

Siagian, F. J. N., Masthura, M., & Husnah, M. (2024). Uji mekanik beton polimer berbahan batu apung dan serbuk cangkang kelapa sawit. *Jurnal Fisika Unand*, *13*(1), 140–145. https://doi.org/10.25077/jfu.13.1.140-145.2024

Ximenes, J., Jesus, C., Aguiar, J., & Pais, J. (2022). Mix design and physical and mechanical properties of pervious concretes. *Materiales de Construcción, 72(348)*, e297. https://doi.org/10.3989/mc.2022.292722

Yudhistira, K. A., Defiana, Y., & Maskur, A. (2025). Analisis pengaruh penambahan serbuk kaca sebagai campuran agregat halus terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton. *Media Ilmiah Teknik Sipil, 2*(2), 414-420. https://doi.org/10.25157/mediailmiahtekniksipil.v2i2.4395

Zhafira, T., Wijayanti, K., Handayani, F., & Widorini, T. (2024). Analisa pengaruh pemanfaatan limbah plastik LDPE pada mix design terhadap uji kuat tekan beton. *Jurnal Teknik Sipil: Rancang Bangun, 10*(1), 24–33. https://doi.org/10.33506/rb.v10i1.3144