

ANALISIS PENGARUH VARIASI PERSENTASE LIMBAH KACA SEBAGAI PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT HALUS TERHADAP KUAT TEKAN BETON K-250

Wahyu Handoyono Hidayat¹⁾, Muhammad Rayhan Rahmatullah²⁾

¹⁾Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palembang

²⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palembang

e-mail: wahyu.handoyono19@gmail.com¹⁾, raihanplg2016@gmail.com²⁾

ABSTRAK

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan dalam berbagai jenis pembangunan karena memiliki kuat tekan yang tinggi, mudah dibentuk, serta memiliki daya tahan yang baik. Namun, penggunaan agregat halus berupa pasir alam secara terus-menerus dapat mengakibatkan berkurangnya ketersediaan sumber daya alam dan menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu upaya untuk mengurangi penggunaan pasir alam adalah dengan memanfaatkan limbah kaca sebagai material alternatif pengganti sebagian agregat halus. Limbah kaca memiliki kandungan silika (SiO_2) yang tinggi sehingga berpotensi meningkatkan kepadatan dan kekuatan beton apabila digunakan dalam proporsi yang tepat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi persentase limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap kuat tekan beton mutu K-250 serta menentukan persentase penggunaan limbah kaca yang menghasilkan kuat tekan optimum. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen laboratorium. Variasi campuran yang digunakan terdiri atas beton normal (0%), limbah kaca 10%, 15%, dan 20% dari berat agregat halus. Sebelum dilakukan pengujian kuat tekan, setiap campuran diuji nilai *slump*-nya untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) beton segar. Selanjutnya, benda uji dirawat (*curing*) selama 28 hari dan diuji menggunakan Compression Testing Machine (CTM). Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *slump* mengalami penurunan seiring bertambahnya persentase limbah kaca, yaitu dari 9,5 cm pada beton normal menjadi 9,0 cm, 8,7 cm, dan 8,2 cm pada variasi limbah kaca 10%, 15%, dan 20%. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca memengaruhi tingkat kelecakan beton segar, namun masih berada dalam rentang yang memenuhi syarat untuk pekerjaan beton normal. Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari menunjukkan bahwa beton normal memiliki kuat tekan sebesar 252 kg/cm², sedangkan beton dengan limbah kaca 10% mencapai 268 kg/cm², limbah kaca 15% sebesar 276 kg/cm², dan limbah kaca 20% sebesar 260 kg/cm². Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca hingga persentase tertentu mampu meningkatkan kuat tekan beton. Variasi limbah kaca sebesar 15% menghasilkan kuat tekan tertinggi karena partikel limbah kaca berfungsi sebagai *filler* yang mampu mengisi rongga-rongga dalam beton sehingga meningkatkan kepadatan beton. Namun, pada penggunaan limbah kaca sebesar 20% terjadi penurunan kuat tekan yang diduga disebabkan oleh berkurangnya ikatan antara pasta semen dan partikel kaca yang memiliki permukaan relatif licin. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus berpengaruh terhadap kuat tekan beton mutu K-250. Persentase penggunaan limbah kaca yang paling optimum dalam penelitian ini adalah 15% dari berat agregat halus karena menghasilkan kuat tekan beton tertinggi, yaitu 276 kg/cm², atau meningkat sekitar 9,52% dibandingkan beton normal. Pemanfaatan limbah kaca sebagai material alternatif juga memberikan manfaat dalam mengurangi limbah padat serta mendukung penerapan konsep konstruksi berkelanjutan (*sustainable construction*) dan ramah lingkungan (*green construction*).

Kata kunci : Beton K-250, limbah kaca, agregat halus, kuat tekan beton, *slump test*, konstruksi berkelanjutan.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang paling dominan digunakan

dalam pembangunan infrastruktur, gedung bertingkat, jalan raya, jembatan, drainase, serta berbagai bangunan sipil lainnya. Tingginya tingkat penggunaan beton disebabkan oleh berbagai keunggulan yang dimilikinya, antara lain mempunyai kuat tekan yang tinggi, mudah dibentuk sesuai kebutuhan konstruksi, tahan terhadap pengaruh cuaca, serta memiliki umur layan yang relatif panjang.

Dalam campuran beton, agregat menempati proporsi terbesar, yaitu sekitar 60–75% dari total volume beton. Agregat halus, yang umumnya berupa pasir alam, memiliki peranan penting dalam membentuk kepadatan campuran, mengisi rongga antar agregat kasar, serta memengaruhi workability dan kekuatan akhir beton.

Namun demikian, penggunaan pasir alam secara terus-menerus dalam jumlah besar menimbulkan permasalahan lingkungan. Salah satu material alternatif yang berpotensi dimanfaatkan adalah limbah kaca.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisis pengaruh penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus dengan variasi persentase tertentu terhadap kuat tekan beton mutu K-250.
2. Menentukan persentase optimum penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus yang menghasilkan kuat tekan beton K-250 tertinggi.

1.3. Manfaat Penelitian

1. Memberikan alternatif material konstruksi yang ramah lingkungan melalui pemanfaatan limbah kaca sebagai bahan substitusi agregat halus pada campuran beton.
2. Mengurangi penggunaan pasir alam sebagai agregat halus sehingga dapat membantu menjaga ketersediaan sumber daya alam dan mengurangi

kerusakan lingkungan akibat eksploitasi pasir.

3. Mengurangi jumlah limbah kaca yang terbuang ke lingkungan dengan memanfaatkan limbah tersebut sebagai material yang memiliki nilai guna dalam bidang konstruksi.
4. Menambah wawasan dan pengetahuan mengenai pengaruh penggunaan limbah kaca terhadap kuat tekan beton mutu K-250.
5. Menjadi referensi dan bahan kajian bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan inovasi material beton ramah lingkungan.
6. Memberikan masukan praktis bagi dunia konstruksi dalam pengembangan teknologi beton berbasis material daur ulang.

1.4. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus dengan variasi persentase tertentu terhadap kuat tekan beton mutu K-250?
2. Berapakah persentase optimum penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus yang menghasilkan kuat tekan beton K-250 tertinggi?

1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Beton yang digunakan adalah beton normal dengan mutu rencana K-250.
2. Limbah kaca digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus (pasir) pada campuran beton.
3. Variasi persentase limbah kaca yang digunakan yaitu 0%, 10%, 15%, dan 20% dari berat agregat halus.
4. Limbah kaca yang digunakan terlebih dahulu dihancurkan dan diayak sehingga memiliki ukuran yang menyerupai agregat halus.

5. Pengujian yang dilakukan hanya terbatas pada pengujian kuat tekan beton.
6. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 hari.
7. Benda uji yang digunakan berbentuk kubus sesuai standar laboratorium yang berlaku.
8. Material penyusun beton selain limbah kaca dianggap memenuhi persyaratan standar yang digunakan dalam penelitian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Beton merupakan material konstruksi yang tersusun dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan dalam kondisi tertentu ditambahkan bahan tambah (admixture) untuk memperoleh sifat tertentu sesuai kebutuhan konstruksi. Setelah mengalami proses hidrasi dan pengerasan, campuran tersebut akan membentuk massa padat yang memiliki kekuatan tinggi terhadap beban tekan.

Menurut standar SNI, beton mutu K-250 merupakan beton yang memiliki kuat tekan karakteristik sebesar 250 kg/cm² pada umur 28 hari. Beton mutu K-250 umumnya digunakan pada pekerjaan struktural seperti balok, kolom, pelat lantai, pondasi, saluran drainase, dan konstruksi bangunan sederhana hingga menengah.

2.2. Material Penyusun Beton

Material penyusun beton merupakan komponen utama yang sangat menentukan mutu dan karakteristik beton yang dihasilkan. Setiap bahan penyusun memiliki fungsi dan peranan masing-masing dalam membentuk beton yang kuat, padat, dan tahan lama. Material penyusun beton pada umumnya terdiri atas semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambah (*admixture*) apabila diperlukan.

2.3. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton dalam menahan gaya

tekan per satuan luas hingga beton mengalami keruntuhan. Kuat tekan beton menjadi parameter utama dalam menentukan mutu beton karena beton pada umumnya lebih kuat menerima beban tekan dibandingkan beban tarik.

Pada pengujian kuat tekan, benda uji diberikan beban tekan secara bertahap hingga mengalami keruntuhan. Besarnya kuat tekan beton diperoleh dari hasil pembagian antara beban maksimum yang diterima benda uji dengan luas penampang benda uji tersebut. Secara matematis, kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus:

$$f'_c = P/A$$

Keterangan:

f'_c = kuat tekan beton (MPa atau kg/cm²)

P = beban maksimum yang diterima benda uji (N atau kg)

A = luas penampang benda uji (mm² atau cm²)

2.4. Limbah Kaca

Limbah kaca merupakan material sisa yang berasal dari aktivitas rumah tangga, industri, perkantoran, maupun bangunan yang sudah tidak digunakan lagi. Limbah kaca umumnya berasal dari botol minuman, kaca jendela, pecahan peralatan rumah tangga, serta sisa material konstruksi.

2.5. Pengaruh Limbah Kaca terhadap Kuat Tekan Beton

Penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam campuran beton dapat memengaruhi nilai kuat tekan beton. Pengaruh tersebut dapat bersifat positif maupun negatif tergantung pada persentase penggunaan limbah kaca, ukuran butiran kaca, serta kualitas campuran beton yang digunakan. Pada persentase tertentu, limbah kaca dapat meningkatkan kepadatan beton.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen laboratorium. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan campuran beton

mutu K-250 dengan menggunakan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus pada variasi persentase tertentu.

Penelitian dilakukan dengan membandingkan beton normal tanpa campuran limbah kaca dengan beton yang menggunakan limbah kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus. Variasi persentase limbah kaca yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 0%, 10%, 15%, dan 20% dari berat agregat halus.

Tahapan penelitian meliputi persiapan bahan dan alat, pengolahan limbah kaca, perencanaan campuran beton (*mix design*), pembuatan benda uji, proses perawatan beton (*curing*), serta pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari.

3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Struktur Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palembang yang memiliki fasilitas pengujian material beton, peralatan pencampuran beton, serta mesin uji kuat tekan beton (Compression Testing Machine). Waktu penelitian dilaksanakan selama proses penelitian berlangsung, dimulai dari tahap persiapan bahan sampai pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari.

3.3. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sebagai berikut:

1. Semen Portland Tipe I
2. Agregat Halus (Pasir)
3. Agregat Kasar (Batu Pecah/Kerikil)
4. Air
5. Limbah Kaca

3.4. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Timbangan Digital
2. Ayakan/Saringan Agregat
3. Mesin Molen/Pengaduk Beton
4. Cetakan Benda Uji Kubus
5. Alat Slump Test

6. Mesin Uji Kuat Tekan Beton (Compression Testing Machine)
7. Ember dan Sekop
8. Alat Pemadat Beton
9. Bak Perendam untuk Curing Beton

3.5. Variabel Penelitian

Variabel dalam penelitian ini terdiri atas sebagai berikut:

1. Variabel bebas
2. Variabel terikat
3. Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi:
 - a. Jenis semen yang digunakan.
 - b. Faktor air semen (water cement ratio).
 - c. Ukuran dan jenis agregat kasar.
 - d. Sumber dan jenis agregat halus.
 - e. Umur pengujian beton.
 - f. Metode perawatan beton (*curing*).
 - g. Ukuran dan bentuk benda uji.
 - h. Proses pencampuran dan pemadatan beton.
 - i. Kondisi lingkungan selama proses pengerasan beton.

3.6. Rancangan Campuran Beton (*Mix Design*)

Rancangan campuran beton (*mix design*) merupakan perencanaan komposisi bahan penyusun beton yang bertujuan untuk memperoleh mutu beton sesuai dengan mutu rencana, yaitu beton mutu K-250. Adapun variasi campuran beton dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut:

Kode Campuran	Persentase Limbah Kaca
BN	0%
BK-10	10%
BK-15	15%
BK-20	20%

3.7. Pembuatan Benda Uji

Tahapan pembuatan benda uji dilakukan sebagai berikut:

1. Menyiapkan seluruh alat dan bahan penelitian yang akan digunakan dalam proses pembuatan beton.
2. Limbah kaca dihancurkan dan diayak hingga memiliki ukuran

- butiran yang menyerupai agregat halus.
3. Menimbang seluruh bahan penyusun beton seperti semen, agregat halus, agregat kasar, limbah kaca, dan air sesuai komposisi campuran beton yang telah direncanakan.
 4. Mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen, dan limbah kaca ke dalam mesin pengaduk beton (*molen*) hingga tercampur secara merata.
 5. Menambahkan air secara bertahap sambil dilakukan proses pengadukan hingga diperoleh campuran beton yang homogen.
 6. Melakukan pengujian slump terhadap beton segar untuk mengetahui tingkat workability campuran beton.
 7. Memasukkan campuran beton ke dalam cetakan benda uji berbentuk kubus secara bertahap.
 8. Melakukan pemadatan beton menggunakan alat pemadat agar rongga udara dalam campuran beton dapat dikurangi dan diperoleh beton yang lebih padat.
 9. Meratakan permukaan benda uji agar diperoleh bentuk dan ukuran yang sesuai standar.
 10. Membuka cetakan benda uji setelah beton berumur 24 jam.
 11. Melakukan proses perawatan beton (*curing*) dengan cara merendam benda uji ke dalam bak perendam hingga mencapai umur pengujian 28 hari.
 12. Mengangkat benda uji dari bak perendam dan membersihkan permukaannya sebelum dilakukan pengujian kuat tekan beton.

3.8. Pengujian Slump

Tahapan pengujian *slump* dilakukan sebagai berikut:

1. Membasahi kerucut Abrams dan alas pengujian terlebih dahulu.

2. Meletakkan kerucut Abrams di atas alas yang datar dan kuat.
3. Mengisi kerucut Abrams dengan campuran beton segar dalam tiga lapisan.
4. Setiap lapisan dipadatkan menggunakan batang pemadat dengan jumlah tumbukan yang sama.
5. Meratakan permukaan beton pada bagian atas kerucut.
6. Mengangkat kerucut Abrams secara perlahan dan tegak lurus.
7. Mengukur penurunan tinggi beton yang terjadi setelah cetakan diangkat. Nilai *slump* diperoleh dari selisih antara tinggi cetakan Abrams dengan tinggi rata-rata beton setelah cetakan diangkat.

Secara umum, nilai *slump* dapat dihitung dengan rumus:

$$S = H_1 - H_2$$

Keterangan:

(S) = nilai *slump* (cm)

(H₁) = tinggi cetakan Abrams (cm)

(H₂) = tinggi rata-rata beton setelah cetakan diangkat (cm)

3.9. Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui kemampuan beton dalam menahan beban tekan hingga terjadi keruntuhan. Pada penelitian ini, pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari menggunakan mesin uji tekan beton (*Compression Testing Machine*). Umur 28 hari dipilih karena pada umur tersebut beton umumnya telah mencapai kuat tekan rencana yang direncanakan.

3.10. Teknik Analisis Data

Data hasil pengujian kuat tekan beton yang diperoleh dari penelitian dianalisis menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai kuat tekan beton normal dengan beton yang menggunakan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus pada setiap variasi campuran.

Data hasil pengujian kemudian diolah untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah kaca terhadap kuat tekan beton mutu K-250.

3.11. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian merupakan tahapan pelaksanaan penelitian yang dilakukan secara sistematis mulai dari tahap awal hingga penarikan kesimpulan. Diagram alir penelitian bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai urutan proses penelitian sehingga pelaksanaan penelitian dapat berjalan secara terarah dan terstruktur.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Bab ini menyajikan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap kuat tekan beton mutu K-250. Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan menggunakan limbah kaca sebagai material substitusi agregat halus pada beberapa variasi persentase campuran.

4.2. Karakteristik Bahan

Dari hasil pemeriksaan yang dilakukan didapat data – data sebagai berikut :

Tabel 4.1. Berat isi gembur dan padat agregat halus

Kegiatan		I		II		III	
		Gembur	Padat	Gembur	Padat	Gembur	Padat
A	Volume Silinder	1893,13	1893,13	1893,13	1893,13	1893,13	1893,13
B	Berat Silinder	855	855	855	855	855	855
C	Berat Bendang Uji	2924	3258	2920	3230	2914	3288,5
Berat volume : $\frac{C-B}{A}$		1,093	1,269	1,091	1,255	1,088	1,285
Berat Volume rata – rata: - Berat gembur = 1,091 gr/cm ³ - Berat padat = 1,270 gr/cm ³							

Tabel 4.2. Analisa Saringan Agregat Halus

Saringan (mm)	Berat tertahan (gr)	Jumlah berat tertahan	Jumlah persen (%)	
			Tertahan	Lolos
4,75	0	0	0	100
4	2	0,4	0,4	99,6
2	4,5	0,9	1,3	98,7
1	33	6,6	7,9	92,1
0,5	30	6	13,9	86,1
0,25	262,5	52,5	66,4	33,6
0,125	153,5	30,7	97,1	2,9
0,063	10	2	99,1	0,9
Pan	4,5	0,9	100	0
Total	500	100	386,1	513,9

$$\text{Angka Kehalusan} = \frac{386,1}{100} = 3,861$$

Tabel 4.3. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat halus

Kegiatan		Berat (gram)	
		I	II
A	Berat cawan	869	881
B	Berat gelas ukur (1000 ml)	303	303
C	Berat gelas ukur + pasir + air	1592	1594
D	Berat gelas ukur + air	,5	1302
E	Berat cawan + pasir setelah dioven (Kering Kerontang)	1302	1367
Berat jenis kering : $\frac{E-A}{D+500-C}$		2,387	2,337
Berat jenis SSD : $\frac{500}{D+500-C}$		2,450	2,404
Persentase penyerapan air : $\frac{500-(E-A)}{E-A}$		2,669	2,881
Berat jenis kering rata – rata =		2,362	
Berat jenis SSD rata – rata =		2,427	
Persentase penyerapan rata – rata =		2,775%	

Tabel 4.4. Kadar Lumpur Agregat halus

Kegiatan		Berat (gram)	
		I	II
A	Berat Agregat	736	987
B	Berat Cawan	1000	1000
C	Berat Cawan+aggregate sebelum dicuci (kering)	1736	1987
D	Berat Cawan+aggregate sebelum dicuci (di oven)	1729	1978
Kadar lumpur : $\frac{(C-B)-(D-B)}{(D-B)}$		0,705%	0,908%
Kadar lumpur rata – rata = 0,807%			

Tabel 4.5. Kadar Air Agregat halus

Kegiatan		Berat (gram)	
		I	II
A	Berat Agregat	815	824,50
B	Berat Cawan	3000	3000
C	Berat Cawan+agregat	3815	3824,50
D	sebelum dicuci (kering)	3616	3624,50
	Berat Cawan+agregat sebelum dicuci (di oven)		
Kadar Lumpur : $\frac{(C-A)-(D-A)}{(D-A)}$		7,11%	7,14%
Kadar air rata – rata = 7,13%			

Dari hasil pemeriksaan agregat kasar (kerikil), didapat data-data sebagai berikut:

Tabel 4.6. Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Pemeriksaan	I (gram)	II (gram)
Berat cawan (W_1)	739	880
Berat cawan + Benda uji (W_2)	1511	1731
Berat benda uji ($W_3=W_2 - W_1$)	772	851
Berat cawan + Benda uji kering oven (W_4)	1484	1700
Berat benda uji kering oven ($W_5=W_4 - W_1$)	745	820
Kadar air agregat = $\frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100 \%$	3,624%	3,780%
	Rata – rata = 3,702%	

Tabel 4.7. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pemeriksaan	I (gram)	II (gram)
Berat cawan (W_1)	740	747
Berat cawan + Benda uji (W_2)	1492	1401
Berat benda uji ($W_3=W_2 - W_1$)	752	654
Berat cawan + Benda uji kering oven (W_4)	1467	1381
Berat benda uji kering oven ($W_5=W_4 - W_1$)	727	634
Kadar air agregat = $\frac{W_3 - W_5}{W_3} \times 100 \%$	3,438%	3,155%
	Rata – rata = 3,297%	

Tabel 4.8. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan

Pemeriksaan	I (gram)	II (gram)
Berat benda uji jenuh permukaan kering (B_j)	500	500
Berat benda uji kering oven (B_k)	485	494
Berat piknometer + air (W_2)	1198	1200
Berat piknometer + Benda uji + air (W_1)	1492	1485
Berat jenis kering = $\frac{BK}{(W_2 + 500 - W_1)}$	2,354%	2,298%
	Rata – rata = 2,326	
Berat jenis SSD = $\frac{B_j}{(W_2 + 500 - W_1)}$	2,427%	2,326%
	Rata – rata = 2,377	
Penyerapan = $\frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100\%$	3,093%	1,215%
	Rata – rata = 2,154%	

Tabel 4.9. Pemeriksaan Berat Isi Gembur Agregat kasar

Pemeriksaan	I (gram)	II (gram)
Berat cawan (W_1)	854	2211
Berat cawan + Benda uji (W_2)	3212	5567
Berat benda uji ($W_3=W_2 - W_1$)	2358	3356
Volume cetakan (V)	1710,60	2493,46
Berat isi gembur = $\frac{W_3}{V}$	1,38	1,35
Berat isi gembur rata-rata	1,37 gr/cm ³	

Tabel 4.10. Pemeriksaan Berat Isi Padat Agregat Kasar

Pemeriksaan	I (gram)	II (gram)
Berat cawan (W_1)	854	2211
Berat cawan + Benda uji (W_2)	3516	6038
Berat benda uji ($W_3=W_2 - W_1$)	2662	3827
Volume cetakan (V)	1710,60	2493,46
Berat isi padat = $\frac{W_3}{V}$	1,56	1,54
Berat isi padat rata-rata	1,55 gr/cm ³	

Tabel 4.11. Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar

Ukuran Saringan (mm)	Agregat Tertahan		% Kumulatif Agregat	
	gram	%	Tertahan	Lolos
37,5	0	0	0	100
19	11	0,37	0,37	99,63
9,5	2477	82,56	82,93	17,07
4	470	15,66	98,59	1,41
2	2	0,07	98,66	1,34
1	15	0,5	99,16	0,84
0,5	5	0,17	99,33	0,67
0,25	3	0,1	99,42	0,58
0,125	2	0,07	99,5	0,5
0,063	12	0,4	99,9	0,6
PAN	3	0,1	100	0
Jumlah	3000	100	877,36	
$Angka\ Kehalusan = \frac{Total\ \% kumulatif\ tertahan}{100} = \frac{877,36}{100} = 8,77$				

Dari pemeriksaan yang telah dilakukan di laboratorium didapat data – data sebagai berikut :

1. Agregat Halus

Tabel 4.12. Data – data Pasir

No	Uraian	Keterangan
1	Berat isi gembur	1,091 gr / cm ³
2	Berat Isi Padat	1,269 gr / cm ³
3	Berat jenis SSD	2,427
4	Berat jenis kering	2,362
5	Penyerapan	2,775 %
6	Kadar Lumpur	0,807 %
7	Kadar Air	7,13 %
8	Gradasi Butiran	Zona 4
9	Modulus Kehalusan	3,861

2. Agregat Kasar

Tabel 4.13. Data – data kerikil

No	Uraian	Keterangan
1	Berat isi gembur	1,37 gr / cm ³
2	Berat Isi Padat	1,55 kg / cm ³
3	Berat jenis SSD	2,377
4	Berat jenis kering	2,326
5	Penyerapan	2,154 %
6	Kadar Lumpur	3,297 %
7	Kadar Air	3,702 %
8	Modulus Kehalusan	8,77

Tabel 4.14. Perencanaan Campuran Beton

No	Uraian	Tabel / Grafik Hitungan	Nilai
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	Ditetapkan	21,7 MPa (K250) pada 28 hari
2	Deviasi Standar	Butir 4.3.2.1.1. (2 tabel 1)	bagian cacat 5%, k=1,64
3	Nilai Tambah (margin)	Butir 4.2.3.1.2)	7,5 N / mm ² atau tanpa data...N/mm ²
4	Kekuatan rata-rata yang ditargetkan	Butir 4.2.3.1.3)	(k=1,64) 1,64 × 7,5 = 12,3
5	Jenis semen	Ditetapkan	N/mm ²
6	Jenis agregat : kasar		19,3 + 12,3 = 31,6 N / mm ²
7	Jenis agregat : halus		Portland Type I
8	Faktor air semen bebas	Tabel 2 Grafik 1or2	Kerikil
9	Faktor air semen maksimum	Butir 4.2.3.2	Pasir
10	Slump	Ayat 3.3.2	0,52 (ambil nilai yang terkecil)
11	Ukuran agregat maksimum	Ditetapkan	0,61
12	Kadar air bebas	Ditetapkan Butir 4.2.3.4	Slump 60 – 100 mm
13	Jumlah semen	Tabel 3 Butir 4.2.3.4	38 mm
14	Jumlah semen maksimum	11 : 8 atau 7	215 kg/m ³
15	Jumlah semen minimum	Ditetapkan	215 : 0,56 = 384 kg/m ³
16	Faktor air semen yang disesuaikan	Ditetapkan Butir 4.2.3.2 Tabel 4,5,6	384 kg/m ³
17	Susunan besar butir agregat halus	Grafik 3 s/d 6	276 kg/m ³
18	Susunan agregat kasar atau gabungan	Grafik 7,8,9 atau Tabel 7	0,56
19	Persen agregat halus	Grafik 10,11,12	Daerah gradasi susunan butir 2
20	Berat jenis relative, agregat (kering permukaan)	Grafik 13 sd 15 atau perhitungan	36 %
21	Berat isi beton	Diketahui / dianggap	2,473
22	Kadar agregat gabungan	Grafik 16	2.380 kg/m ³
23	Kadar agregat halus	20 – 12 - 11	2.380 – 384 - 215 = 1.781 kg/m ³
	Kadar agregat kasar	18 × 21	0,36 × 1.813 = 641 kg/m ³
		21 - 22	1.813 – 652,7 = 1.140 kg/m ³

4.3. Koreksi Campuran Beton Normal

Setelah melakukan pengujian karakteristik bahan dan perencanaan campuran beton, perlu dilakukan koreksi terhadap campuran beton normal (tanpa ASG) untuk memastikan bahwa campuran tersebut memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan, khususnya dalam hal kuat tekan dan workability. Koreksi ini bertujuan untuk mendapatkan campuran beton normal yang optimal sebagai pembanding (kontrol) dalam penelitian ini.

1. Perbandingan berat antara masing – masing campuran 1 m³ beton sebelum dikoreksi dan setelah dikoreksi kadar airnya adalah :

$$\begin{aligned}\text{Semen} &= \frac{384}{384} = 1 \\ \text{Air} &= \frac{215}{384} = 0,56 \\ \text{Pasir} &= \frac{692}{384} = 1,80 \\ \text{Kerikil} &= \frac{1039}{384} = 2,71\end{aligned}$$

2. Komposisi campuran untuk setiap zak semen adalah :

$$\begin{aligned}1 \text{ zak semen} &= 50 \text{ kg} \\ \text{Pasir} &= 1,80 \times 50 = 90 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Kerikil} &= 2,71 \times 50 = 135,5 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Air} &= 0,56 \times 50 = 28 \text{ lt/m}^3\end{aligned}$$

3. Beton Normal (BN)

Analisis kebutuhan semen, pasir, kerikil, dan air, untuk 3 kubus adalah :

$$\begin{aligned}3 \times 0,003375 \times 1,2 &= 0,0122 \\ \text{Semen} &: 0,0122 \times 384 = 4,685 \text{ Kg} \\ \text{Pasir} &: 0,0122 \times 692 = 8,442 \text{ Kg} \\ \text{Kerikil} &: 0,0122 \times 1039 = 12,676 \text{ Kg} \\ \text{Air} &: 0,0122 \times 215 = 2,623 \text{ L}\end{aligned}$$

4. Beton dengan limbah kaca 10% dari berat agregat halus, (BLK10%)

Analisis kebutuhan semen, pasir, kerikil, dan air, untuk 3 kubus adalah :

$$\begin{aligned}3 \times 0,003375 \times 1,2 &= 0,0122 \\ \text{Semen} &: 0,0122 \times 384 = 4,685 \text{ Kg} - 0,469 \text{ Kg} = 4,216 \text{ Kg} \\ \text{Pasir} &: 0,0122 \times 692 = 8,442 \text{ Kg} \\ \text{Kerikil} &: 0,0122 \times 1039 = 12,676 \text{ Kg} \\ \text{Air} &: 0,0122 \times 215 = 2,623 \text{ L} \\ \text{Limbah Kaca} &: 10\% \times 4,685 \text{ Kg} = 0,469 \text{ Kg}\end{aligned}$$

5. Beton dengan limbah kaca 15% dari berat agregat halus, (BLK15%)

Analisis kebutuhan semen, pasir, kerikil, dan air, untuk 3 kubus adalah :

$$\begin{aligned}3 \times 0,003375 \times 1,2 &= 0,0122 \\ \text{Semen} &: 0,0122 \times 384 = 4,685 \text{ Kg} - 0,703 \text{ Kg} = 3,982 \text{ Kg} \\ \text{Pasir} &: 0,0122 \times 692 = 8,442 \text{ Kg} \\ \text{Kerikil} &: 0,0122 \times 1039 = 12,676 \text{ Kg} \\ \text{Air} &: 0,0122 \times 215 = 2,623 \text{ L} \\ \text{Limbah Kaca} &: 10\% \times 4,685 \text{ Kg} = 0,703 \text{ Kg}\end{aligned}$$

6. Beton dengan limbah kaca 20% dari berat agregat halus, (BLK20%)

Analisis kebutuhan semen, pasir, kerikil, dan air, untuk 3 kubus adalah :

$$\begin{aligned}3 \times 0,003375 \times 1,2 &= 0,0122 \\ \text{Semen} &: 0,0122 \times 384 = 4,685 \text{ Kg} - 0,937 \text{ Kg} = 3,748 \text{ Kg} \\ \text{Pasir} &: 0,0122 \times 692 = 8,442 \text{ Kg} \\ \text{Kerikil} &: 0,0122 \times 1039 = 12,676 \text{ Kg} \\ \text{Air} &: 0,0122 \times 215 = 2,623 \text{ L} \\ \text{Limbah Kaca} &: 10\% \times 4,685 \text{ Kg} = 0,937 \text{ Kg}\end{aligned}$$

4.4. Hasil Pengujian Slump

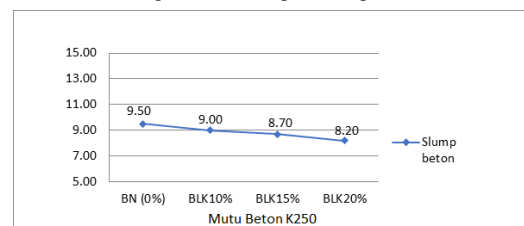
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemudahan pengerjaan beton segar selama proses pencampuran, pengangkutan, pengecoran, dan pemadatan.

Tabel 4.15. Hasil Pengujian Slump Beton

Tanggal Cor	Variasi Beton	Nilai slump (cm)
01 Mei 2026	Normal 0% (BN)	9,5
01 Mei 2026	limbah kaca 10% dari berat agregat halus, (BLK10%)	9,0
01 Mei 2026	limbah kaca 15% dari berat agregat halus, (BLK15%)	8,7
01 Mei 2026	limbah kaca 20% dari berat agregat halus, (BLK20%)	8,2

Sumber : Lampiran hasil pengujian laboratorium

Grafik 4.1. Hubungan Nilai Slump terhadap Variasi Limbah Kaca



Berdasarkan Grafik 4.1 dapat diketahui bahwa nilai *slump* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase limbah kaca yang digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus. Penurunan nilai *slump* tersebut menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca memengaruhi tingkat kelecakan (*workability*) campuran beton segar. Semakin besar persentase limbah kaca yang digunakan, maka campuran beton cenderung menjadi lebih kaku sehingga nilai *slump* mengalami penurunan.

Meskipun terjadi penurunan nilai *slump*, seluruh variasi campuran masih menunjukkan nilai *slump* antara 8,2 cm hingga 9,5 cm. Nilai tersebut masih berada dalam rentang yang dapat diterima untuk

pekerjaan beton normal dan masih

memenuhi kebutuhan *workability* pada proses pencetakan benda uji.

Dengan demikian, penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus berpengaruh terhadap nilai *slump* beton, di mana semakin tinggi persentase limbah kaca yang digunakan maka nilai *slump* cenderung menurun. Namun demikian, penurunan tersebut belum mengakibatkan penurunan *workability* yang signifikan sehingga campuran beton masih dapat dikerjakan dengan baik selama proses penelitian.

4.5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

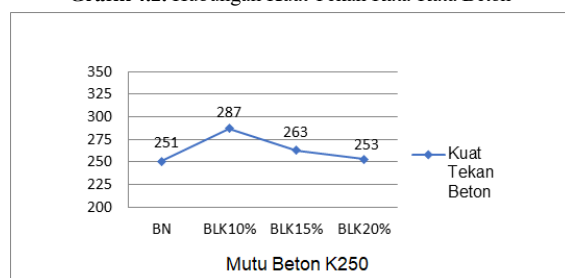
Bagian ini menyajikan hasil pengujian kuat tekan beton yang dibuat dengan variasi persentase limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam campuran beton mutu K-250. Pengujian kuat tekan dilakukan terhadap benda uji beton pada umur 28 hari menggunakan mesin uji tekan beton (*Compression Testing Machine / CTM*).

Tabel 4.16. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari

No.	Variasi Campuran	Kuat Tekan (Kg/cm ²)
1	BN	251
2	BLK10%	287
3	BLK 15%	263
4	BLK 20%	253

Sumber : Lampiran hasil pengujian laboratorium

Grafik 4.2. Hubungan Kuat Tekan Rata-Rata Beton



Grafik 4.2. menunjukkan kecenderungan perubahan kuat tekan beton akibat penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus.

4.5.1. Pembahasan Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukkan pada Grafik 4.2., beton normal (BN) menghasilkan kuat tekan sebesar 251

kg/cm². Pada variasi penggunaan limbah kaca sebesar 10% (BLK10%), kuat tekan beton meningkat menjadi 287 kg/cm².

Pada variasi BLK15%, kuat tekan beton mencapai nilai tertinggi yaitu 263 kg/cm², atau meningkat sebesar 9,52% dibandingkan beton normal. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca sebesar 15% mampu memberikan efek positif terhadap kepadatan dan kekuatan beton. Peningkatan kuat tekan tersebut diduga terjadi karena partikel limbah kaca berfungsi sebagai *filler* yang mampu mengisi rongga-rongga di antara agregat sehingga struktur beton menjadi lebih rapat dan porositas beton berkurang. Namun pada variasi BLK20%, kuat tekan beton mengalami penurunan menjadi 253 kg/cm². Meskipun nilai tersebut masih lebih tinggi dibandingkan beton normal, kuat tekan yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan variasi BLK15%.

Penurunan kuat tekan pada variasi BLK20% diduga disebabkan oleh jumlah limbah kaca yang terlalu besar sehingga mengurangi kualitas ikatan antara pasta semen dan agregat. Selain itu, permukaan partikel kaca yang relatif licin dapat mengurangi daya lekat (*bonding*) dalam campuran beton sehingga menyebabkan kuat tekan beton menurun.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus berpengaruh terhadap kuat tekan beton mutu K-250.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan maka kesimpulannya adalah :

1. Penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus memberikan pengaruh terhadap karakteristik beton segar, khususnya terhadap nilai *slump*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar persentase limbah kaca yang digunakan,

maka nilai *slump* cenderung mengalami penurunan.

2. Penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus berpengaruh terhadap kuat tekan beton mutu K-250. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca hingga persentase tertentu mampu meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal.
3. Variasi penggunaan limbah kaca sebesar 15% dari berat agregat halus merupakan komposisi yang paling optimum pada penelitian ini karena menghasilkan kuat tekan beton tertinggi, yaitu sebesar 276 kg/cm² atau mengalami peningkatan sekitar 9,52% dibandingkan beton normal.
4. Pemanfaatan limbah kaca sebagai material pengganti sebagian agregat halus dapat menjadi salah satu alternatif material konstruksi yang ramah lingkungan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Penggunaan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus disarankan tidak melebihi 15% dari berat agregat halus karena pada penelitian ini persentase tersebut menghasilkan kuat tekan beton yang paling tinggi.
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan variasi persentase limbah kaca yang lebih beragam, misalnya 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%, sehingga dapat diketahui batas optimum penggunaan limbah kaca secara lebih rinci.
3. Penelitian berikutnya juga dapat mengkaji pengaruh limbah kaca terhadap sifat beton lainnya, seperti kuat tarik belah, kuat lentur, modulus elastisitas, daya serap air, porositas, ketahanan terhadap serangan sulfat, permeabilitas, dan durabilitas beton dalam jangka panjang.
4. Perlu dilakukan penelitian menggunakan ukuran butiran limbah kaca yang berbeda

agar dapat diketahui pengaruh ukuran partikel terhadap sifat mekanik dan karakteristik beton.

5. Dalam penerapan di lapangan, penggunaan limbah kaca sebagai material substitusi agregat halus perlu tetap memperhatikan kualitas bahan, proses pencampuran, serta perawatan beton agar diperoleh mutu beton yang sesuai dengan spesifikasi yang direncanakan.
6. Pemanfaatan limbah kaca sebagai material alternatif diharapkan dapat menjadi salah satu solusi dalam pengelolaan limbah padat sekaligus mendukung pembangunan infrastruktur yang lebih berkelanjutan, efisien, dan berwawasan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asri Mulyadi, Diawarman, Ricih. (2018). Analisis pengaruh penambahan limbah pecahan kaca terhadap campuran beton mutu k-175. *JTS*, 8 (1), 6-12.
- [2] Badan Standardisasi Nasional. (2000). *SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [3] Badan Standardisasi Nasional. (2002). *SNI 03-2847-2002: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [4] Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1974:2011: Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [5] Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 7656:2012: Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [6] Badan Standardisasi Nasional. (2015). *SNI 2049:2015: Semen Portland*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [7] Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- [8] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021). *Modul Pelatihan Teknologi Beton*. Jakarta: PUPR.
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2022). *Modul Bahan Konstruksi dan Teknologi Beton*. Jakarta: PUPR.