



Pengaruh Penambahan Limbah Pecahan Kaca (Lampu Neon) yang Dilebur terhadap Campuran Beton Normal (Fc'25 MPa)

Bintang Anugrah Esa¹, Yudhia Pratidina², Edito Dwiantoro³

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH, Bengkulu

Bintanganugrahe@gmail.com¹, yudhiainfras@gmail.com², [Editodwiantoro@gmail.com](mailto>Editodwiantoro@gmail.com)³

Abstrak

Kaca merupakan salah satu jenis limbah anorganik yang sulit terdegradasi secara alami dan sering dikategorikan sebagai material berbahaya karena sifatnya yang tajam. Limbah kaca dari pecahan lampu neon termasuk limbah padat yang volumenya terus meningkat seiring perkembangan aktivitas masyarakat dan industri, namun hingga saat ini pemanfaatannya dalam bidang konstruksi masih relatif terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan limbah pecahan kaca lampu neon yang telah dilebur terhadap kuat tekan beton normal dengan mutu rencana Fc'25 MPa serta menentukan variasi campuran yang memberikan hasil paling efektif. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan tiga variasi penambahan limbah kaca, yaitu sebesar 5%, 15%, dan 25% dari berat semen sebagai bahan tambah. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur beton 28 hari menggunakan benda uji berbentuk silinder berukuran 15 × 30 cm sesuai prosedur pengujian beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan rata-rata beton normal mencapai 25,91 MPa, sedangkan beton dengan penambahan limbah kaca sebesar 5% menghasilkan kuat tekan 25,95 MPa, campuran 15% sebesar 24,16 MPa, dan campuran 25% sebesar 24,96 MPa. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa limbah kaca lampu neon memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton normal. Variasi penambahan sebesar 5% memberikan hasil paling optimal karena mampu meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton normal, sedangkan penambahan dalam jumlah yang lebih tinggi cenderung menurunkan nilai kuat tekan akibat berkurangnya efektivitas ikatan antar material penyusun beton secara keseluruhan.

Kata Kunci: Beton Normal, Limbah Kaca, Lampu Neon, Kuat Tekan, Bahan Tambahan

1. Latar Belakang

Kaca merupakan salah satu bahan yang cukup sulit diolah setelah menjadi limbah. Pecahan kaca dikenal berbahaya karena tajam dan cenderung runcing sehingga berpotensi menyebabkan luka. Pecahan kaca juga merupakan jenis benda padat yang tidak dapat terurai oleh alam. Penggunaan kaca yang sangat luas pada berbagai keperluan manusia menuntut produksi bahan ini dalam jumlah yang sangat besar. Jumlah produksi yang besar tersebut menimbulkan banyak dampak pada lingkungan sebab kaca tidak bersifat korosif dan kaca bekas yang sudah tidak terpakai merupakan limbah yang tidak akan terurai secara alami oleh zat organik. Dengan demikian diperlukan berbagai penanganan alternatif untuk memanfaatkan limbah kaca, salah satunya sebagai bahan campuran penyusun beton [6].

Limbah kaca adalah jenis limbah yang berasal dari bahan-bahan berbahan dasar kaca seperti botol, gelas, kemasan, dan lampu. Berbeda dengan limbah lainnya, limbah kaca memiliki sifat yang kompleks dan mengandung sejumlah bahan yang dapat membahayakan manusia dan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik [6]. Limbah kaca dari lampu neon secara khusus menjadi perhatian karena volumenya terus meningkat seiring meluasnya penggunaan lampu penerangan, sementara pemanfaatannya di bidang konstruksi masih sangat terbatas.

Di sisi lain, beton merupakan bahan konstruksi yang paling banyak digunakan untuk bangunan gedung, jembatan, jalan, dan infrastruktur lainnya. Jenis campuran beton bervariasi sesuai kebutuhan proyek dan kondisi lingkungan; perubahan proporsi serta jenis bahan pengisi secara signifikan memengaruhi kekuatan, daya tahan, dan mutu keseluruhan struktur yang dibangun [12]. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memanfaatkan material limbah sebagai bahan campuran beton, seperti limbah plastik HDPE [7], serat sabut kelapa [8], dan serbuk kayu [9], dengan tujuan menghasilkan beton yang lebih ekonomis sekaligus ramah lingkungan.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji pemanfaatan limbah kaca pada beton. Ikhsan dkk. meneliti pengaruh penambahan pecahan kaca sebagai bahan pengganti agregat halus yang dikombinasikan dengan fiber

optik terhadap kuat tekan beton serat, dan melaporkan nilai kuat tekan rata-rata pada variasi pecahan kaca 15%, 20%, dan 25% berturut-turut sebesar 24,94 MPa; 25,48 MPa; dan 25,77 MPa [1]. Indriani memanfaatkan pecahan kaca (beling) sebagai pengganti agregat halus pada beton dan melalui analisis regresi polinomial pangkat dua menemukan bahwa perkembangan kuat tekan beton pada umur 7 hari meningkat dengan persamaan $Y = 317,5 - 4,4667X + 0,2867X^2$ yang setara 315 kg/cm² [2].

Raffel dkk. menganalisis variasi penggunaan fly ash dan limbah pecahan kaca terhadap sifat mekanis high strength concrete dengan perencanaan berdasarkan panduan American Concrete Institute, dan memperoleh kuat tekan rata-rata 36,23 MPa pada umur 14 hari yang meningkat hingga mencapai rata-rata 42,83 MPa pada umur 28 hari, dengan nilai tertinggi pada kombinasi fly ash 12,5% dan pecahan kaca 10% [3]. Satria dkk. melalui kajian literatur menyimpulkan bahwa substitusi pecahan kaca botol sebagai agregat memberikan hasil yang memadai dari segi kekuatan, keberlanjutan, dan kinerja, tetapi diperlukan pengaturan proporsi dan karakteristik agregat kaca yang lebih optimal untuk memaksimalkan kuat tekan beton [4]. Mulyadi dkk. menguji pengaruh penambahan limbah pecahan kaca sebagai material pengganti agregat dengan variasi 0%, 10%, 20%, dan 30% pada umur beton 7, 14, dan 21 hari [5].

Ringkasan penelitian terdahulu yang menjadi acuan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan Penelitian Terdahulu

Peneliti (Tahun)	Fokus Penelitian	Metode	Hasil Utama
Ikhsan dkk. (2016) [1]	Pecahan kaca pengganti agregat halus + fiber optik pada beton serat	Eksperimen	Kuat tekan rata-rata 24,94; 25,48; dan 25,77 MPa pada variasi kaca 15%, 20%, 25%
Indriani (2016) [2]	Pecahan kaca (beling) sebagai agregat halus	Analisis regresi polinomial	Kuat tekan umur 7 hari meningkat, setara 315 kg/cm ²
Raffel dkk. (2024) [3]	Fly ash dan pecahan kaca pada high strength concrete	Eksperimen	Kuat tekan rata-rata 42,83 MPa pada umur 28 hari; nilai tertinggi pada fly ash 12,5% + kaca 10%
Satria dkk. (2023) [4]	Pecahan kaca botol sebagai substitusi agregat	Literature review	Hasil memadai dari segi kekuatan dan keberlanjutan; proporsi agregat kaca perlu dioptimalkan
Mulyadi dkk. (2018) [5]	Limbah pecahan kaca pengganti agregat 0-30%	Eksperimen	Variasi kuat tekan pada penggantian agregat 0%, 10%, 20%, 30% umur 7, 14, 21 hari

Berdasarkan tinjauan tersebut terdapat kesenjangan penelitian: penelitian-penelitian terdahulu umumnya menggunakan pecahan kaca botol dalam bentuk pecahan atau serbuk sebagai substitusi agregat halus, sedangkan pemanfaatan limbah kaca lampu neon yang terlebih dahulu dilebur sebagai bahan tambahan terhadap berat semen pada beton normal belum banyak dikaji. Kebaruan penelitian ini terletak pada jenis limbah yang digunakan (kaca lampu neon), perlakuan peleburan sebelum pencampuran, serta variasi penambahan 5%, 15%, dan 25% terhadap berat semen. Persamaan dengan penelitian terdahulu terletak pada metode pengujian mutu beton yang dilakukan secara eksperimental di laboratorium.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton normal Fc'25 MPa yang menggunakan limbah pecahan kaca lampu neon sebagai bahan campuran serta mengetahui pengaruh variasi penambahan limbah tersebut terhadap kuat tekan beton. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan referensi dalam memperkaya wawasan konsep green technology mengenai pemanfaatan limbah pecahan kaca sebagai bahan campuran beton, sekaligus menyumbang pemikiran terhadap pemecahan masalah pengolahan limbah pecahan kaca yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan.

2. Metode Penelitian

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah eksperimen laboratorium, yaitu penelitian yang bertujuan mengetahui hubungan sebab akibat antara satu variabel dengan variabel lainnya dan membandingkan hasilnya. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Uji Bahan Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH, Jalan Jenderal A. Yani No. 1, Kebun Ros, Kecamatan Teluk Segara, Kota Bengkulu. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian karakteristik material, uji slump beton segar, dan uji kuat tekan beton keras [13].

Alur penelitian dimulai dari persiapan bahan, pembuatan design mix formula (DMF) Fc'25 MPa, pembuatan dan pengujian job mix formula (JMF), pembuatan benda uji dengan penambahan kaca neon 5%, 15%, dan 25%, perawatan (curing), pengujian kuat tekan beton, analisis hasil dan pembahasan, hingga penarikan kesimpulan. Apabila pengujian JMF tidak memenuhi syarat maka dilakukan perbaikan rancangan campuran sebelum dilanjutkan ke tahap pembuatan benda uji.

2.1. Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2. Semen yang digunakan adalah semen Portland yang berfungsi sebagai bahan pengikat butiran agregat agar terbentuk massa yang kompak serta mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat [11]. Agregat halus berupa pasir sungai yang merupakan hasil gigitan batu-batuan yang keras dan tajam; agregat halus yang baik tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dan tidak boleh mengandung bahan organik terlalu banyak [14]. Agregat kasar berupa batu pecah dengan besar butir lebih dari 5 mm yang harus terdiri dari butiran keras dan tidak berpori [15]. Air yang digunakan diperoleh dari mata air/sumur, secara fisik berwarna jernih dan tidak berbau, tidak mengandung lumpur lebih dari 2 gram/liter, tidak mengandung garam perusak beton lebih dari 15 gram/liter, tidak mengandung klorida lebih dari 0,5 gram/liter, dan tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter. Bahan tambahan berupa limbah kaca lampu neon yang telah dilebur kemudian dihaluskan hingga lolos saringan No. 100.

Tabel 2. Bahan yang Digunakan dalam Penelitian

No	Bahan	Keterangan
1	Pasir	Diperoleh dari sungai, hasil gigitan batu-batuan yang keras dan tajam
2	Semen	Semen Portland sebagai bahan pengikat/perekat pada beton
3	Batu kerikil	Batu pecah sebagai agregat kasar campuran beton
4	Limbah kaca (neon)	Bahan tambahan campuran pada pembuatan beton, dilebur terlebih dahulu
5	Air	Diperoleh dari mata air/sumur, jernih dan tidak berbau

2.2. Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel 3. Cetakan beton yang digunakan berbentuk silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm sesuai benda uji standar pengujian kuat tekan [13].

Tabel 3. Alat yang Digunakan dalam Penelitian

No	Alat	Kegunaan
1	Saringan	Menyaring dan menyiapkan bahan agregat
2	Timbangan	Menimbang pasir, semen, kerikil, air, dan kaca neon
3	Cetok	Mencampur adukan dan memindahkan adukan ke cetakan
4	Ember	Menampung air serta merendam kerikil dan pasir
5	Cetakan beton	Cetakan besi silinder 15 x 30 cm untuk mencetak benda uji
6	Kolam perendaman	Merendam beton agar tidak cepat kehilangan air (menjaga kelembaban)
7	Alat uji tekan	Pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari
8	Gelas ukur	Mengukur kebutuhan air
9	Besi linggis	Memadatkan campuran beton dalam cetakan agar tidak ada rongga udara

2.3. Rancangan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton bertujuan menentukan proporsi bahan campuran dalam satuan berat, yaitu semen, agregat halus, agregat kasar, dan air. Penggunaan air dalam campuran dikoreksi terhadap kadar air dan penyerapan agregat. Metode perencanaan campuran menggunakan mutu beton $f_c'25$ MPa (setara K300). Kuat tekan rencana didasarkan atas probabilitas bahwa kuat tekan yang berada di bawah kuat tekan karakteristik terbatas sampai 5% saja, dengan hubungan kuat tekan karakteristik terhadap kuat tekan rata-rata rencana dinyatakan sebagai persamaan 1.

$$\sigma_{bk} = \sigma_{bm} - 1,64 S \quad (1)$$

σ_{bk} adalah kuat tekan karakteristik (MPa), σ_{bm} adalah kuat tekan rata-rata rencana (MPa), dan S adalah standar deviasi. Parameter rancangan campuran yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4. Kuat tekan rata-rata rencana ditetapkan $F_{cr} = F_c + M = 25 + 12 = 37$ MPa atau setara 445,78 kg/cm², dengan faktor air semen (FAS) 0,42 dan FAS maksimum 0,60. Kadar air bebas dihitung dengan $W_{air} = 0,67(A_h) + 0,33(A_k) = 0,67 \times 195 + 0,33 \times 225 = 204,90$ l/m³, sehingga kadar semen $W_{semen} = W_{air}/FAS = 204,90/0,42 = 487,86$ kg/m³, lebih besar dari jumlah semen minimum 325 kg/m³.

Tabel 4. Parameter Rancangan Campuran Beton $f_c'25$ MPa

Parameter	Nilai
Kuat tekan rencana F_c	25 MPa
Nilai tambah (M)	12 MPa
Kuat tekan rata-rata rencana (F_{cr})	37 MPa
Faktor air semen (FAS)	0,42
FAS maksimum	0,60
Slump rencana	7,5 - 15 cm

Kadar air bebas	204,90 l/m ³
Kadar semen	487,86 kg/m ³
Jumlah semen minimum	325 kg/m ³
Persentase agregat halus	39,50%
Persentase agregat kasar	60,50%
Berat jenis agregat campuran	2,576
Berat jenis beton basah	2340 kg/m ³

Sumber: Hasil Analisis Data, 2024

Berdasarkan parameter tersebut, berat agregat campuran diperoleh dari berat jenis beton basah dikurangi kadar semen dan kadar air, yaitu $2340 - 487,86 - 204,90 = 1647,24$ kg/m³, yang terbagi menjadi agregat halus 543,59 kg/m³ dan agregat kasar 1103,65 kg/m³. Volume satu benda uji silinder 15 x 30 cm adalah 0,0053 m³, dan dengan faktor keamanan 5% menjadi 0,00557 m³. Kebutuhan bahan untuk tiga silinder pada setiap variasi ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kebutuhan Bahan Campuran Beton untuk Tiga Silinder

Bahan	Kebutuhan	Satuan
Air	3,423	liter
Semen	8,150	kg
Pasir	9,081	kg
Batu pecah	18,438	kg

Sumber: Hasil Analisis Data, 2024

Jumlah air campuran pada pelaksanaan dikoreksi terhadap kadar air dan penyerapan agregat. Karena kadar air agregat halus (1,47%) dan agregat kasar (1,5%) lebih kecil daripada nilai penyerapannya (masing-masing 4,17% dan 3,09%), agregat berada dalam kondisi lebih kering daripada kondisi jenuh kering permukaan sehingga sebagian air campuran akan terserap oleh agregat. Koreksi ini penting agar faktor air semen efektif tetap sesuai rancangan dan kelecakan adukan pada saat pengecoran tidak berkurang.

Limbah kaca neon yang telah dilebur ditambahkan dengan variasi 5%, 15%, dan 25% terhadap berat semen. Pada campuran 5%, kadar kaca neon adalah 0,408 kg dengan semen 7,743 kg; pada campuran 15%, kadar kaca neon adalah 1,222 kg dengan semen 6,928 kg; dan pada campuran 25%, kadar kaca neon adalah 2,038 kg dengan semen 6,113 kg untuk setiap tiga silinder. Rancangan komposisi benda uji secara keseluruhan ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rancangan Komposisi Benda Uji

No	Benda uji	Perbandingan material semen : pasir : kerikil (gram)	Kaca neon (%)
1	A (BN)	1000 : 2000 : 3000	0
2	B (BVC 5%)	1000 : 2000 : 3000	5
3	C (BVC 15%)	1000 : 2000 : 3000	15
4	D (BVC 25%)	1000 : 2000 : 3000	25

2.4. Tahapan Pembuatan Benda Uji

Kaca neon dilebur terlebih dahulu kemudian dipisahkan dan ditimbang. Semen, pasir, dan kerikil ditimbang secara terpisah menggunakan alat timbang sesuai proporsi campuran K300, kemudian seluruh bahan diaduk hingga tercampur merata. Beton segar diuji slump, dituang ke dalam loyang, kemudian dicetak menggunakan cetakan silinder dan dipadatkan dengan besi linggis agar tidak terdapat rongga udara di dalam cetakan. Benda uji didiamkan kurang lebih satu hari, kemudian cetakan dilepas.

Perawatan benda uji dilakukan dengan merendam benda uji di bak perendaman untuk mencegah penguapan yang berlebihan selama proses pengerasan sehingga tidak terjadi keretakan pada benda uji. Perendaman dilakukan hingga menjelang umur pengujian 28 hari sesuai rencana. Sebelum pengujian, benda uji diangkat dan dijemur kurang lebih satu hari untuk menghilangkan kadar air yang mengendap, kemudian ditimbang untuk mengetahui berat isi beton keras.

Jumlah benda uji keseluruhan adalah 12 silinder, terdiri atas tiga silinder untuk setiap variasi campuran (beton normal, campuran 5%, 15%, dan 25%). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah persentase penambahan serbuk kaca lampu neon terhadap berat semen, sedangkan variabel terikatnya adalah nilai slump beton segar dan kuat tekan beton pada umur 28 hari. Variabel kontrol meliputi mutu beton rencana $F_c'25$ MPa, proporsi dasar campuran, jenis semen, sumber agregat, ukuran benda uji, serta metode perawatan dan pengujian yang sama untuk seluruh variasi, sehingga perbedaan hasil yang teramati dapat diatribusikan pada perbedaan kadar kaca neon.

2.5. Pengujian Slump

Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui kelecakan beton segar sebelum diaplikasikan, mengacu pada PBI 1971 dan SNI 1972 tentang cara uji slump beton. Kerucut Abrams dibasahi dan ditempatkan di atas permukaan yang rata, lembab, tidak menyerap air, dan kaku. Pengisian cetakan dilakukan tiga kali, masing-masing sekitar sepertiga volume cetakan, dan tiap lapis dipadatkan dengan 25 kali tusukan secara merata hingga menembus lapisan di bawahnya tanpa menyentuh dasar cetakan. Setelah bidang atas diratakan, adukan dibiarkan setengah menit, kemudian kerucut ditarik vertikal ke atas dengan hati-hati tanpa diputar atau digeser, dan penurunan puncak beton segar diukur sebagai nilai slump.

2.6. Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan mesin tekan [13]. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur 28 hari menggunakan mesin uji tekan dengan kapasitas beban maksimum 300 kN di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Prof. Dr. Hazairin, SH. Pembebanan dilakukan secara perlahan dan sentris sampai benda uji mengalami kehancuran [10]. Beban maksimum yang diterima benda uji dibaca pada grafik skala pembebanan pada monitor komputer mesin uji. Nilai kuat tekan dihitung dengan persamaan 2.

$$F_c = P / A \quad (2)$$

F_c adalah kuat tekan beton (MPa), P adalah beban runtuh yang diterima benda uji (N), dan A adalah luas penampang benda uji (mm²).

Waktu penelitian direncanakan dua hari untuk pengolahan bahan pembentuk sampel beton, satu hari untuk pencampuran material, 28 hari untuk perawatan beton (curing), dan satu hari untuk pengujian kuat tekan sampel beton.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butiran lebih kecil dari 4,75 mm. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus ditunjukkan pada Tabel 7. Berdasarkan hasil tersebut diperoleh modulus halus butir (MHB) sebesar 2,31 dari jumlah persen kumulatif tertinggal dibagi seratus, dan gradasi agregat halus masuk dalam zona II atau kategori pasir kasar sehingga baik digunakan untuk campuran beton.

Tabel 7. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Saringan no.	Tertinggal (gram)	Tertinggal (%)	Kumulatif tinggal (%)	Kumulatif lolos (%)
#2,36 (no. 8)	0	0,00	0,00	100,00
#1,19 (no. 16)	39,5	3,86	3,86	96,14
#0,6 (no. 30)	327,5	32,01	35,87	64,13
#0,3 (no. 50)	585	57,18	93,06	6,94
#0,15 (no. 100)	53	5,18	98,24	1,76
#0,075 (no. 200)	14,5	1,42	99,66	0,34
Pan	3,5	0,34	100,00	0,00
Jumlah	1023	100,00	-	-

Sumber: Hasil Analisis Data, 2024

Gradasi zona II menunjukkan susunan butiran pasir yang beragam dari halus hingga kasar secara proporsional, sehingga rongga antar butiran dapat terisi dengan baik dan campuran beton yang dihasilkan lebih padat serta mudah dikerjakan. Modulus halus butir 2,31 juga berada pada rentang yang umum dipakai untuk campuran beton struktural, sehingga kebutuhan air campuran tidak berlebihan.

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus ditunjukkan pada Tabel 8. Diperoleh berat jenis curah (bulk specific gravity) 2,29; berat jenis kering permukaan jenuh (saturated surface dry) 2,38; berat jenis semu (apparent specific gravity) 2,53; dan penyerapan air (absorption) 4,17%.

Tabel 8. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Nilai	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	200	gram
Berat benda uji kering oven (Bk)	192,5	gram
Berat piknometer diisi air (B)	685,5	gram
Berat piknometer + benda uji (Bt)	801,5	gram
Berat jenis curah (bulk)	2,29	-
Berat jenis kering permukaan jenuh	2,38	-
Berat jenis semu (apparent)	2,53	-
Penyerapan (absorption)	4,17	%

Sumber: Hasil Analisis Data, 2024

Hasil pengujian kadar air agregat halus ditunjukkan pada Tabel 9, diperoleh kadar air sebesar 1,47% yang akan mengoreksi penggunaan air dalam campuran beton. Adapun hasil pengujian kadar lumpur ditunjukkan pada

Tabel 10, diperoleh kadar lumpur rata-rata 1,70%, lebih kecil dari batas maksimum 5% yang disyaratkan, sehingga agregat halus dapat digunakan sebagai bahan campuran beton tanpa perlu dicuci.

Tabel 9. Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Uraian	Nilai	Satuan
Berat piknometer (W1)	210,5	gram
Berat piknometer + benda uji basah (W2)	685,5	gram
Berat benda uji ($W3 = W2 - W1$)	475	gram
Berat piknometer + benda uji kering oven (W4)	402,5	gram
Berat air ($WW = W2 - W4$)	283	gram
Berat kering ($W5 = W4 - W1$)	192	gram
Kadar air ($W = WW/W5 \times 100\%$)	1,47	%

Sumber: Hasil Analisis Data, 2024

Tabel 10. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Uraian	I	II	Satuan
Tinggi pasir total (W1)	420	485	gram
Tinggi lumpur (W2)	5	5	gram
Kadar lumpur ($W2/W1 \times 100\%$)	1,190	1,030	%
Rata-rata	1,70		%

Sumber: Hasil Analisis Data, 2024

3.2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar ditunjukkan pada Tabel 11, diperoleh modulus kehalusan (fineness modulus) sebesar 3,96 dari jumlah persen kumulatif dibagi seratus.

Tabel 11. Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Saringan	Tertinggal (gram)	Kumulatif tertinggal (%)	Kumulatif lolos (gram)
25,40 (1")	0	0	1497,5
19,10 (3/4")	575	41,5	1456
17,70 (1/2")	1042,5	655	842,5
9,52 (3/8")	1026	1131	366,5
No. 4	742,5	1441	56,5
Pan	300	1497,5	0

Sumber: Hasil Analisis Data, 2024

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar ditunjukkan pada Tabel 12, diperoleh berat jenis curah 2,62; berat jenis kering permukaan jenuh 2,70; berat jenis semu 2,85; dan penyerapan air 3,09%. Hasil pengujian kadar air agregat kasar ditunjukkan pada Tabel 13, diperoleh kadar air sebesar 1,5%.

Tabel 12. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian	Nilai	Satuan
Berat benda uji kering oven (Bk)	194	gram
Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	200	gram
Berat benda uji di dalam air (Ba)	126	gram
Berat jenis curah	2,62	-
Berat jenis kering permukaan jenuh	2,70	-
Berat jenis semu (apparent)	2,85	-
Penyerapan (absorption)	3,09	%

Sumber: Hasil Analisis Data, 2024

Tabel 13. Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Uraian	Nilai	Satuan
Berat piknometer (W1)	210,5	gram
Berat piknometer + benda uji basah (W2)	695,5	gram
Berat benda uji ($W3 = W2 - W1$)	485	gram
Berat piknometer + benda uji kering oven (W4)	404,5	gram
Berat air ($WW = W2 - W4$)	291	gram
Berat kering ($W5 = W4 - W1$)	194	gram
Kadar air ($W = WW/W5 \times 100\%$)	1,5	%

Sumber: Hasil Analisis Data, 2024

3.3. Pemeriksaan Serbuk Kaca Neon

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan serbuk kaca neon lolos saringan No. 100 ditunjukkan pada Tabel 14. Diperoleh berat jenis curah 2,20; berat jenis kering permukaan jenuh 2,43; berat jenis semu 2,87; dan penyerapan air 10,49%. Nilai penyerapan air serbuk kaca neon jauh lebih tinggi dibandingkan agregat halus (4,17%) maupun agregat kasar (3,09%), sehingga penambahan serbuk kaca dalam jumlah besar berpotensi mengurangi air bebas yang tersedia untuk hidrasi semen.

Tabel 14. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Serbuk Kaca Neon

Lolos saringan No. 100	Satuan	Nilai
Berat SSD (B)	gram	200

Berat SSD kering oven (E)	gram	181
Berat piknometer + air (D)	gram	690
Berat SSD + piknometer + air (C)	gram	808
$BJ\ bulk = E/(B+D-C)$	-	2,20
$BJ\ SSD = B/(B+D-C)$	-	2,43
$BJ\ semu = E/(E+D-C)$	-	2,87
$Absorption = ((B-E)/E) \times 100\%$	%	10,49

Sumber: Hasil Analisis Data, 2024

3.4. Hasil Pengujian Slump

Hasil pengukuran nilai slump untuk setiap variasi campuran ditunjukkan pada Tabel 15. Nilai slump beton normal adalah 8 cm dan nilai slump seluruh beton variasi campuran kaca neon adalah 9 cm. Seluruh nilai slump berada dalam rentang slump rencana 7,5-15 cm sehingga seluruh campuran memenuhi syarat kemudahan pengerjaan (workability). Penambahan serbuk kaca neon hingga 25% dari berat semen tidak menyebabkan campuran keluar dari rentang slump yang direncanakan, bahkan sedikit meningkatkan nilai slump dibandingkan beton normal. Peningkatan kecil ini mengindikasikan bahwa serbuk kaca yang halus dan permukaannya relatif licin tidak menyerap air campuran secara seketika pada kondisi segar, sehingga kelecakan adukan tetap terjaga.

Tabel 15. Hasil Pengujian Slump Setiap Variasi Campuran

Variasi	Slump rencana (cm)	Slump terukur (cm)	Keterangan
BN (0%)	7,5 - 15	8	Memenuhi
BVC 5%	7,5 - 15	9	Memenuhi
BVC 15%	7,5 - 15	9	Memenuhi
BVC 25%	7,5 - 15	9	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisis Data, 2024

3.5. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan terhadap tiga benda uji silinder 15 x 30 cm untuk setiap variasi pada umur 28 hari dengan design $F_c'25$ MPa. Hasil pengujian selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 16. Hasil Analisa Kuat Tekan Beton $F_c'25$ MPa Beton Normal (BN) dan Beton Variasi Campuran (BVC 5%, BVC 15%, BVC 25%)

Kode	Berat (kg)	Beban maks. (kN)	Kuat tekan (MPa)	Rata-rata (MPa)
BN-1	12,05	473	26,78	
BN-2	12,75	500	28,31	25,91
BN-3	12,74	400	22,65	
BVC 5%-1	12,90	480	27,18	

BVC 5%-2	12,68	450	25,48	25,95
BVC 5%-3	12,53	445	25,19	
BVC 15%-1	12,55	460	26,04	
BVC 15%-2	12,56	440	24,91	24,16
BVC 15%-3	12,60	450	25,48	
BVC 25%-1	12,40	455	25,76	
BVC 25%-2	12,41	420	23,78	24,96
BVC 25%-3	12,40	465	26,33	

Sumber: Hasil Analisis Data, 2024

Sebagai contoh perhitungan, benda uji BN-1 menerima beban maksimum $P = 473 \text{ kN} = 473.000 \text{ N}$ dengan luas penampang $A = 17.662,5 \text{ mm}^2$, sehingga kuat tekan $F_c = P/A = 473.000/17.662,5 = 26,78 \text{ MPa}$. Dalam satuan kg/cm^2 , beban 473 kN setara 473.000 kg dibagi luas $17.662,5 \text{ cm}^2$ menghasilkan $267,7 \text{ kg/cm}^2$, dan dengan konversi $1 \text{ MPa} = 10 \text{ kg/cm}^2$ diperoleh $26,78 \text{ MPa}$. Cara perhitungan yang sama diterapkan pada seluruh benda uji.

Sebaran nilai kuat tekan antar benda uji dalam satu variasi masih wajar untuk pengujian beton di laboratorium. Rentang terbesar terjadi pada beton normal ($22,65\text{--}28,31 \text{ MPa}$), sedangkan variasi campuran kaca neon justru menunjukkan sebaran yang lebih sempit, yaitu $25,19\text{--}27,18 \text{ MPa}$ pada campuran 5%; $24,91\text{--}26,04 \text{ MPa}$ pada campuran 15%; dan $23,78\text{--}26,33 \text{ MPa}$ pada campuran 25%. Keseragaman yang relatif lebih baik pada campuran berkaca ini mengindikasikan bahwa serbuk kaca yang halus membantu distribusi campuran yang lebih merata pada saat pengadukan.

Berdasarkan Tabel 16, beton normal menghasilkan kuat tekan rata-rata $25,91 \text{ MPa}$ dan telah memenuhi mutu rencana $F_c'25 \text{ MPa}$. Beton variasi campuran 5% menghasilkan kuat tekan rata-rata tertinggi sebesar $25,95 \text{ MPa}$, sedikit lebih tinggi dibandingkan beton normal. Beton variasi campuran 15% mengalami penurunan menjadi $24,16 \text{ MPa}$, sedangkan beton variasi campuran 25% menghasilkan $24,96 \text{ MPa}$, sedikit meningkat kembali dibandingkan campuran 15% namun masih di bawah beton normal.

Peningkatan kuat tekan pada campuran 5% menunjukkan bahwa pada kadar rendah, serbuk kaca neon yang telah dilebur dapat berperan sebagai bahan pengisi (filler) yang memperbaiki kepadatan campuran dan mengisi rongga-rongga di antara butiran agregat. Penurunan kuat tekan pada kadar 15% dan 25% dapat disebabkan oleh perubahan proporsi bahan penyusun yang mempengaruhi struktur mikro beton. Salah satu faktor yang berkontribusi adalah nilai penyerapan air serbuk kaca neon yang tinggi ($10,49\%$) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 14, sehingga pada kadar penambahan yang besar, air bebas yang tersedia untuk hidrasi semen berkurang dan proses pengikatan menjadi kurang sempurna. Sebaliknya, sedikit peningkatan pada campuran 25% dibandingkan campuran 15% dimungkinkan oleh optimasi komposisi campuran yang lebih baik pada proporsi tersebut.

3.6. Rekapitulasi dan Perbandingan Kuat Tekan

Rekapitulasi kuat tekan rata-rata setiap variasi beserta selisihnya terhadap beton normal ditunjukkan pada Tabel 17. Beton campuran 5% mengalami peningkatan sebesar $0,04 \text{ MPa}$ atau sekitar $0,15\%$ terhadap beton normal, sedangkan campuran 15% dan 25% mengalami penurunan masing-masing sebesar $1,75 \text{ MPa}$ ($6,75\%$) dan $0,95 \text{ MPa}$ ($3,67\%$). Ditinjau dari pemenuhan mutu rencana, beton normal dan beton campuran 5% memenuhi kuat tekan rencana $F_c'25 \text{ MPa}$, sementara campuran 15% dan 25% berada sedikit di bawah mutu rencana.

Tabel 17. Rekapitulasi Kuat Tekan Rata-rata dan Selisih terhadap Beton Normal

Variasi	Rata-rata (MPa)	Selisih (MPa)	Perubahan (%)	Terhadap $F_c'25$
---------	--------------------	------------------	------------------	----------------------

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i2.11640>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

BN (0%)	25,91	-	-	Memenuhi
BVC 5%	25,95	+0,04	+0,15	Memenuhi
BVC 15%	24,16	-1,75	-6,75	Tidak memenuhi
BVC 25%	24,96	-0,95	-3,67	Tidak memenuhi

Sumber: Hasil Analisis Data, 2024

Ditinjau dari berat benda uji pada Tabel 16, terlihat kecenderungan berat benda uji sedikit menurun seiring bertambahnya kadar kaca neon, dari rata-rata sekitar 12,51 kg pada beton normal menjadi sekitar 12,40 kg pada campuran 25%. Kecenderungan ini konsisten dengan nilai berat jenis serbuk kaca neon (2,20) yang lebih kecil daripada berat jenis semen yang digantikannya, sehingga penambahan kaca neon berpotensi menghasilkan beton yang sedikit lebih ringan tanpa mengubah workability campuran secara berarti.

Dari sisi penerapan, hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa penambahan serbuk kaca lampu neon yang dilebur sebesar 5% dari berat semen dapat diterapkan pada pekerjaan beton struktural mutu Fc'25 MPa, misalnya untuk elemen kolom, balok, dan pelat pada bangunan sederhana, sekaligus memberikan alternatif penyaluran limbah kaca lampu neon yang selama ini belum dimanfaatkan. Adapun kadar penambahan 15% dan 25% lebih tepat dipertimbangkan untuk beton non-struktural atau perlu dikaji ulang dengan penyesuaian faktor air semen agar kebutuhan air akibat tingginya penyerapan serbuk kaca dapat terkompensasi.

Pola hasil ini sejalan dengan temuan penelitian terdahulu. Ikhsan dkk. memperoleh kuat tekan 24,94-25,77 MPa pada variasi kaca 15-25% [1], nilai yang sebanding dengan rentang hasil penelitian ini. Satria dkk. menegaskan bahwa proporsi dan karakteristik agregat kaca perlu dioptimalkan agar tidak menurunkan kekuatan beton [4], dan Mulyadi dkk. juga menunjukkan variasi kuat tekan pada berbagai kadar penggantian kaca [5]. Dengan demikian, hasil penelitian ini memperkuat kesimpulan bahwa pemanfaatan limbah kaca pada beton efektif pada kadar rendah, dan secara khusus menunjukkan bahwa limbah kaca lampu neon yang dilebur memberikan hasil optimal pada penambahan 5% dari berat semen.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam menafsirkan hasil. Pertama, jumlah benda uji tiga silinder per variasi masih menghasilkan sebaran nilai kuat tekan yang cukup lebar, misalnya pada beton normal (22,65-28,31 MPa), sehingga penambahan jumlah sampel akan meningkatkan keandalan nilai rata-rata. Kedua, pengujian hanya dilakukan pada satu umur beton (28 hari), sehingga laju perkembangan kekuatan pada umur awal belum teramati. Ketiga, parameter mekanis yang diuji terbatas pada kuat tekan; sifat mekanis lain seperti kuat tarik belah dan kuat lentur, sebagaimana dikaji pada penelitian bahan tambah serat [8], belum ditinjau. Keempat, kombinasi serbuk kaca neon dengan bahan pozolan seperti fly ash yang terbukti meningkatkan kinerja pada penelitian sebelumnya [3], [6] berpotensi memperbaiki hasil pada kadar penambahan yang lebih tinggi dan layak dikaji lebih lanjut.

4. Kesimpulan

Hasil pengujian kuat tekan pada umur 28 hari menghasilkan kuat tekan rata-rata beton normal Fc'25 MPa sebesar 25,91 MPa, beton campuran 5% sebesar 25,95 MPa, beton campuran 15% sebesar 24,16 MPa, dan beton campuran 25% sebesar 24,96 MPa. Beton dengan campuran 5% memiliki sedikit peningkatan kuat tekan dibandingkan beton normal, sedangkan campuran 15% dan 25% mengalami penurunan kuat tekan meskipun campuran 25% menunjukkan sedikit peningkatan dibandingkan campuran 15%. Limbah kaca lampu neon yang dilebur berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam campuran beton normal dengan hasil paling optimal pada penambahan 5% dari berat semen. Penurunan kuat tekan pada kadar yang lebih tinggi dapat disebabkan oleh perubahan proporsi bahan penyusun yang mempengaruhi struktur mikro beton, di antaranya tingginya penyerapan air serbuk kaca neon. Untuk penelitian selanjutnya disarankan menentukan proporsi campuran yang lebih optimal, mempertimbangkan kombinasi bahan tambah lain seperti fly ash atau abu ijuk, serta melakukan pengujian kuat tekan pada berbagai umur beton (3, 7, 14, dan 28 hari) agar perkembangan kekuatan beton dari waktu ke waktu dapat diamati secara lebih komprehensif.

Referensi

- [1] M. N. Ikhsan, H. Prayuda, dan F. Saleh, "Pengaruh penambahan pecahan kaca sebagai bahan pengganti agregat halus dan penambahan fiber optik terhadap kuat tekan beton serat," 2016.

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i2.11640>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

- [2] L. Indriani, "Pemanfaatan pecahan kaca (beling) sebagai agregat halus pada beton," 2016.
- [3] M. Raffel, Dhestyanto, dan B. Setiawan, "Analisis variasi pengaruh penggunaan fly ash dan limbah pecahan kaca terhadap sifat mekanis high strength concrete," 2024.
- [4] O. R. Satria, E. Septiandini, dan A. Purnomo, "Pengaruh pemanfaatan pecahan kaca botol sebagai substitusi agregat pada campuran beton (literature review)," 2023.
- [5] A. Mulyadi, Diawarman, dan Ricih, "Analisis pengaruh penambahan limbah pecahan kaca terhadap campuran beton," 2018.
- [6] D. Aprilianti, "Sinergitas limbah bubuk gelas lampu neon dan fly ash sebagai pengganti semen dalam campuran mortar ramah lingkungan," 2023.
- [7] D. Kurniawan, B. Setiawan, dan A. Prasetya, "Perilaku kuat tekan dan kuat tarik beton campuran limbah plastik HDPE," *Semesta Teknika*, vol. 16, no. 1, pp. 76-82, 2015. <https://doi.org/10.18196/st.v16i1.435>
- [8] Y. Risdianto dan G. R. L. Tobing, "Pengaruh penambahan serat sabut kelapa (coconut fiber) terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur pada beton," *Rekayasa Teknik Sipil*, vol. 2, no. 2, pp. 1-8, 2019.
- [9] M. I. Saifuddin, B. Edison, dan K. Fahmi, "Pengaruh penambahan campuran serbuk kayu terhadap kuat tekan beton," 2014.
- [10] M. D. J. Sumajouw, S. O. Dapas, dan R. S. Windah, "Pengujian kuat tekan beton mutu tinggi," *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, vol. 4, no. 4, pp. 215-218, 2014.
- [11] S. Zuraidah dan B. Hastono, "Pengaruh variasi komposisi campuran mortar terhadap kuat tekan," *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 8-13, 2018. <https://doi.org/10.25139/jprs.v1i1.801>
- [12] M. D. Cookson dan P. M. R. Stirk, "Inovasi Beton," pp. 8-37, 2019.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-1974-1990: Metode Pengujian Kuat Tekan Beton, Jakarta: BSN, 1990.
- [14] Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-2847-2002: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung, Jakarta: BSN, 2002.
- [15] Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971, Bandung: Departemen Pekerjaan Umum, 1971.