



Pengaruh Limbah Genteng Beton terhadap *Workability* dan Kuat Tekan Beton

Sudarso^{1*}

¹ Teknik Sipil, Universitas Sunan Giri Surabaya, Indonesia

*Penulis Korespondensi: sudarsokaira@gmail.com

Abstract. This study investigates the effect of roof tile waste used as a partial replacement for fine aggregate on the fresh and hardened properties of concrete, with the aim of promoting more sustainable and environmentally friendly construction materials. The research employed an experimental laboratory method with quantitative analysis. Roof tile waste was incorporated into concrete mixtures at substitution levels of 0%, 5%, 10%, 15%, and 20% by weight of fine aggregate. The workability of fresh concrete was evaluated using slump tests in accordance with SNI 1972:2011, while compressive strength tests were conducted on cylindrical specimens after 28 days of curing based on SNI 1974:2011 standards. The results indicate that increasing the proportion of roof tile waste reduced concrete workability, as shown by a decrease in slump values from 10 cm in the control mix to 8 cm at the 20% replacement level. Compressive strength also exhibited a declining trend, decreasing from 14.63 MPa to 11.90 MPa at the highest substitution, representing an approximate reduction of 18.7%. Nevertheless, concrete containing 5% roof tile waste achieved a compressive strength of 14.32 MPa, which is comparable to normal concrete. These findings suggest that roof tile waste can be utilized as a partial fine aggregate replacement at limited levels. A 5% substitution was identified as the optimal proportion to maintain acceptable workability and strength while supporting sustainable concrete development.

Keywords: Compressive Strength; Fine Aggregate; Roof Tile Waste; Sustainable Concrete; Workability.

Abstrak. Studi ini meneliti pengaruh limbah genteng yang digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap sifat beton segar dan keras, dengan tujuan mendorong penggunaan bahan konstruksi yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Penelitian ini menggunakan metode laboratorium eksperimental dengan analisis kuantitatif. Limbah genteng dimasukkan ke dalam campuran beton pada tingkat penggantian 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat agregat halus. Kelayakan kerja beton segar dievaluasi menggunakan uji *slump* sesuai dengan SNI 1972:2011, sedangkan uji kuat tekan dilakukan pada silinder beton setelah 28 hari perawatan sesuai dengan standar SNI 1974:2011. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan proporsi limbah genteng menurunkan kelayakan kerja beton, terlihat dari penurunan nilai *slump* dari 10 cm pada campuran kontrol menjadi 8 cm pada tingkat penggantian 20%. Kuat tekan juga menunjukkan tren penurunan, dari 14,63 MPa menjadi 11,90 MPa pada penggantian tertinggi, dengan penurunan sekitar 18,7%. Namun, beton dengan 5% limbah genteng mencapai kuat tekan 14,32 MPa, yang sebanding dengan beton normal. Temuan ini menunjukkan bahwa limbah genteng dapat digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus pada tingkat terbatas. Tingkat penggantian 5% diidentifikasi sebagai proporsi optimal untuk mempertahankan kelayakan kerja dan kekuatan yang memadai sekaligus mendukung pengembangan beton yang lebih berkelanjutan.

Kata Kunci: Agregat Halus; Beton Berkelanjutan; Kuat Tekan; Limbah Genteng Atap; *Workability*.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan material komposit yang banyak digunakan dalam konstruksi karena kekuatan tekan yang tinggi serta kemampuannya menahan beban struktural secara efisien (Meena, 2022). Beton segar harus memiliki *workability* yang baik agar dapat dicampur, ditempatkan, dan dipadatkan secara efektif di lapangan, yang biasanya diukur dengan uji *slump* (*slump test*) sebagai indikator kelecakan material segar (Waqas, 2021). *Workability* sendiri didefinisikan sebagai kemudahan dalam menangani, menempatkan, memadatkan, dan menyelesaikan beton tanpa segregasi atau bleeding yang berlebihan (Waqas, 2021). Faktor

yang memengaruhi *workability* meliputi rasio air-semen, ukuran dan bentuk agregat, serta bahan aditif yang digunakan (Waqas, 2021).

Peningkatan kebutuhan beton di sektor konstruksi menyebabkan meningkatnya permintaan agregat alam, sementara aktivitas penambangan agregat berdampak negatif terhadap lingkungan. Di sisi lain, industri genteng menghasilkan limbah pecahan genteng tanah liat yang belum dimanfaatkan secara optimal dan berpotensi mencemari lingkungan jika tidak dikelola dengan baik (Kristiyanto & Susmanto, 2023). Pemanfaatan limbah genteng sebagai substitusi sebagian agregat dalam beton merupakan salah satu pendekatan sustainable concrete yang dapat mengurangi timbunan limbah sekaligus mengurangi penggunaan sumber daya alam (Adekunle et al., 2017; Meena, 2022).

Sejumlah penelitian telah mengevaluasi penggunaan limbah genteng atau limbah keramik sebagai bahan alternatif agregat dalam beton, termasuk pengaruhnya terhadap kekuatan tekan beton. Misalnya, penelitian oleh Fansuri, Diana, dan Desharyanto (2020) menunjukkan bahwa substitusi limbah pecahan genteng sokka sebagai agregat halus dapat memberikan variasi kuat tekan beton pada variasi persentase tertentu. Penelitian lain oleh Salam (2023) juga melaporkan perubahan kuat tekan beton ketika limbah genteng digunakan sebagai substitusi agregat kasar. Selain itu, studi eksplorasi hubungan antara substitusi limbah genteng dengan *workability* beton segar, karena *workability* penggunaan limbah genteng dari daerah produksi menunjukkan bahwa persentase tertentu limbah genteng dapat memberikan nilai kuat tekan yang semakin mendekati beton normal (Kristiyanto & Susmanto, 2023). Penelitian terkait pemanfaatan limbah genteng sebagai agregat menunjukkan tren umum bahwa penambahan limbah genteng cenderung menurunkan kuat tekan beton jika kadar substitusinya tinggi (Kristiyanto & Susmanto, 2023).

Walaupun penelitian mengenai kuat tekan beton telah banyak dilakukan, kajian yang secara khusus membahas pengaruh limbah genteng terhadap *workability* beton segar masih tergolong terbatas. Sejumlah studi terkait pemanfaatan limbah keramik sebagai agregat dalam beton melaporkan bahwa peningkatan proporsi limbah keramik cenderung menyebabkan penurunan nilai *slump* atau tingkat kelecakan beton. Hal ini disebabkan oleh karakteristik fisik material limbah yang umumnya memiliki tekstur permukaan lebih kasar dan struktur lebih berpori dibandingkan agregat alami (Mehran et al., 2022; Raj et al., 2021). Penurunan *workability* beton segar perlu mendapat perhatian serius, karena kondisi beton yang sulit dikerjakan dapat mengakibatkan pemadatan yang tidak optimal, terbentuknya rongga mikro yang berlebihan, serta penurunan kuat tekan aktual beton pada kondisi lapangan (Waqas, 2021; Meena, 2022).

Pemanfaatan limbah genteng sebagai bahan alternatif dalam campuran beton memerlukan pemahaman yang mendalam mengenai karakteristik material genteng, khususnya genteng beton yang banyak diaplikasikan pada bangunan modern. Genteng beton diproduksi dari campuran semen Portland, agregat halus, air, dan bahan tambahan tertentu, kemudian dibentuk melalui proses penekanan atau getaran. Proses pengerasan genteng beton terjadi melalui reaksi hidrasi semen tanpa melibatkan proses pembakaran, sehingga mutu produk sangat dipengaruhi oleh komposisi campuran dan metode perawatan (*curing*) yang diterapkan (Mulyono, 2004). Jika dibandingkan dengan genteng tanah liat, genteng beton umumnya memiliki ukuran yang lebih presisi, tingkat kepadatan yang lebih tinggi, serta kekuatan tekan yang lebih besar.

Dari sisi sifat fisik dan mekanis, genteng beton memiliki berat jenis relatif tinggi dengan permukaan yang kasar serta struktur internal yang berpori. Karakteristik tersebut memberikan ketahanan yang baik terhadap beban dan pengaruh cuaca, namun juga menyebabkan kemampuan menyerap air yang cukup besar apabila tidak dilengkapi dengan lapisan pelindung permukaan (Frick & Suskiyatno, 2007; Neville, 2011). Sifat keras dan berpori tersebut menjadikan limbah genteng beton memiliki kemiripan dengan agregat halus, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai material substitusi dalam campuran beton. Pemanfaatan limbah ini diharapkan mampu mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya alam sekaligus mendukung pengembangan material beton yang lebih ramah lingkungan (Mehta & Monteiro, 2014).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi kadar limbah genteng beton terhadap workabilitas beton segar dan kuat tekan beton setelah mengeras. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi teknis yang lebih komprehensif mengenai pemanfaatan limbah genteng sebagai material substitusi agregat dalam beton, serta berkontribusi pada pengembangan konsep beton ramah lingkungan (*green concrete*) yang memanfaatkan limbah lokal tanpa mengurangi kinerja mekanik beton.

2. KAJIAN TEORITIS

Genteng merupakan komponen bangunan yang berfungsi sebagai penutup atap dan berperan melindungi bangunan dari pengaruh lingkungan, seperti hujan, panas matahari, dan angin. Berdasarkan material penyusunnya, genteng dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis, antara lain genteng tanah liat, genteng beton, genteng metal, genteng aspal, dan genteng keramik. Masing-masing jenis genteng memiliki sifat fisik dan mekanis yang berbeda, serta

kelebihan dan keterbatasan tertentu, sehingga pemilihannya perlu disesuaikan dengan kebutuhan bangunan serta kondisi lingkungan setempat (Frick & Suskiyatno, 2007).

Limbah genteng beton memiliki karakteristik fisik berupa permukaan kasar, bentuk angular, dan daya serap air yang relatif tinggi dibandingkan agregat alami. Penggunaan limbah genteng beton sebagai substitusi sebagian agregat dalam campuran beton cenderung menurunkan nilai *workability*, yang ditunjukkan oleh penurunan nilai *slump* seiring meningkatnya kadar penggantian. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya kebutuhan air pencampur untuk melapisi permukaan agregat yang lebih kasar dan berpori (Ismail & Al-Hashmi, 2009; Pacheco-Torgal & Jalali, 2010).

Selain mempengaruhi *workability*, limbah genteng beton juga berdampak pada kuat tekan beton. Pada proporsi tertentu, tekstur permukaan limbah genteng beton dapat meningkatkan ikatan mekanis dengan pasta semen sehingga kuat tekan beton masih berada dalam rentang mutu beton normal. Namun, peningkatan kadar substitusi yang berlebihan dapat menyebabkan peningkatan porositas dan penurunan kepadatan beton, yang berakibat pada menurunnya kuat tekan. Oleh karena itu, penentuan kadar optimum limbah genteng beton menjadi aspek penting untuk memperoleh beton yang berkelanjutan dengan kinerja mekanik yang memadai (Binici, 2007; Medina et al., 2013).

Kuat tekan beton merupakan parameter utama yang digunakan untuk menilai kemampuan beton dalam menahan beban tekan yang bekerja padanya. Nilai kuat tekan berfungsi sebagai dasar penentuan mutu beton dan menjadi acuan dalam perencanaan elemen struktural, seperti kolom, balok, dan pelat, agar mampu memikul beban rencana secara aman. Semakin tinggi kuat tekan beton, semakin besar kapasitas beton dalam menahan gaya tekan tanpa mengalami kerusakan struktural (Neville, 2011).

Selain sebagai indikator mutu, kuat tekan beton berfungsi untuk mengevaluasi kualitas bahan penyusun dan proses pelaksanaan beton, mulai dari perancangan campuran, pencampuran, hingga perawatan beton. Perbedaan nilai kuat tekan dapat mencerminkan perubahan rasio air-semen, kualitas agregat, atau ketidaksesuaian metode *curing*. Oleh karena itu, pengujian kuat tekan tidak hanya digunakan untuk tujuan desain, tetapi juga sebagai alat kontrol mutu dalam pekerjaan konstruksi untuk memastikan beton yang digunakan memenuhi persyaratan teknis dan standar yang ditetapkan (Mehta & Monteiro, 2014).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dirancang sebagai eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh pemanfaatan limbah genteng beton sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap karakteristik workabilitas dan kuat tekan beton. Pelaksanaan penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan, meliputi persiapan dan karakterisasi material, perencanaan campuran beton, pembuatan serta perawatan benda uji, hingga pengujian beton dalam kondisi segar maupun setelah mengeras. Durasi penelitian disesuaikan dengan umur pengujian beton, yaitu hingga mencapai usia 28 hari.

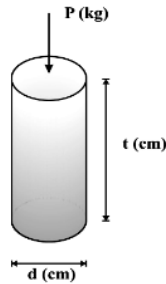
Material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi semen Portland Tipe I, agregat halus berupa pasir alami, agregat kasar berupa batu pecah, serta air bersih yang memenuhi persyaratan sebagai air pencampur beton. Selain itu, limbah genteng beton yang berasal dari sisa produksi atau pecahan genteng yang tidak terpakai dimanfaatkan sebagai material substitusi. Limbah genteng beton tersebut terlebih dahulu dibersihkan dari kotoran, dikeringkan, kemudian dihancurkan dan diayak hingga menghasilkan ukuran butiran yang setara dengan agregat halus, sehingga layak digunakan dalam campuran beton.

Perancangan campuran beton (*mix design*) disusun berdasarkan ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan mutu beton rencana pada kisaran $f'c$ 20–25 MPa. Faktor air-semen dijaga tetap sama pada seluruh variasi campuran untuk memastikan bahwa perubahan sifat beton yang diamati semata-mata disebabkan oleh perbedaan kadar limbah genteng beton. Limbah genteng beton diaplikasikan sebagai substitusi agregat halus dengan variasi kadar sebesar 0% sebagai campuran kontrol, serta 5%, 10%, 15%, dan 20% dari berat agregat halus. Rincian pembagian dan jumlah sampel disajikan pada tabel berikut:

Tabel 1. Sampel Benda Uji.

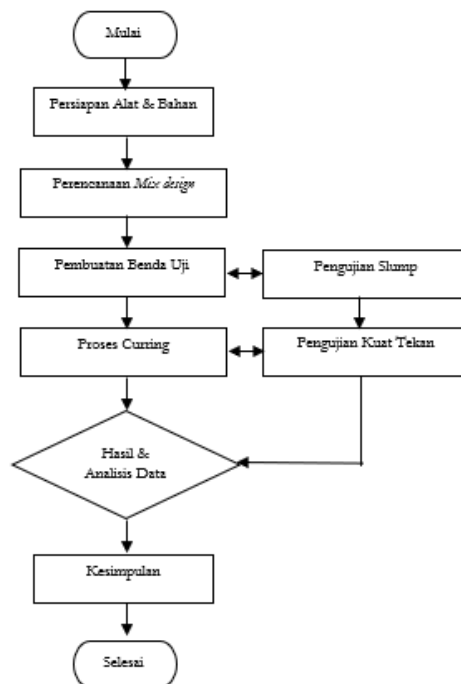
Benda Uji	Banyaknya Sampel
Beton variasi 0% (BN0)	3
Beton variasi 5% (BG5)	3
Beton variasi 10% (BG10)	3
Beton variasi 15% (BG15)	3
Beton variasi 20% (BG20)	3

Pembuatan beton dilakukan dengan menimbang seluruh material sesuai komposisi yang telah direncanakan, kemudian dicampur menggunakan *concrete mixer* hingga diperoleh adukan beton yang homogen. Setelah proses pencampuran, beton segar langsung diuji untuk mengetahui nilai *workability* menggunakan metode uji *slump*. Pengujian *slump* dilakukan dengan parameter yang diamati berupa nilai penurunan tinggi beton segar dalam satuan milimeter. Setelah pengujian *workability*, beton segar dicetak ke dalam cetakan silinder berdiameter (d) 15 cm dan tinggi (t) 30 cm.



Gambar 1. Contoh Cetakan Silinder.

Proses pemadatan beton dilakukan secara manual dengan menggunakan batang penusuk guna memastikan campuran beton terpadatkan secara optimal serta meminimalkan terbentuknya rongga udara di dalam benda uji. Setelah 24 jam, benda uji dilepaskan dari cetakan dan selanjutnya menjalani tahap perawatan (*curing*) melalui perendaman dalam air bersih pada suhu ruang hingga mencapai umur pengujian yang ditentukan. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan ketika beton berumur 28 hari dengan menggunakan alat uji tekan (*Compression Testing Machine*). Alur pelaksanaan penelitian secara keseluruhan disajikan dalam diagram alir berikut. Lakukan secara manual menggunakan batang penusuk untuk memastikan beton terpadatkan dengan baik dan mengurangi rongga udara. Benda uji dikeluarkan dari cetakan setelah 24 jam dan selanjutnya dilakukan perawatan (*curing*) dengan cara perendaman dalam air bersih pada suhu ruang hingga mencapai umur pengujian. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 28 hari menggunakan *Compression Testing Machine*. Proses pelaksanaan penelitian dapat di lihat pada diagram alir berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif berdasarkan hasil pengujian *workability* dan kuat tekan beton. Data *workability* diperoleh dari hasil uji *slump* beton segar sesuai SNI 1972:2008 / ASTM C143, dengan parameter yang dianalisis berupa nilai penurunan tinggi beton segar (*slump*) dalam satuan milimeter. Data kuat tekan beton diperoleh dari hasil pengujian benda uji silinder pada umur 28 hari sesuai SNI 1974:2011 / ASTM C39. Nilai kuat tekan beton dihitung menggunakan persamaan.

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

di mana:

f_c' = adalah kuat tekan beton (MPa)

P = beban maksimum yang diterima benda uji (N)

A = luas penampang benda uji (mm²).

Nilai kuat tekan beton yang dianalisis merupakan nilai rata-rata dari minimal tiga benda uji untuk setiap variasi campuran. Selanjutnya, dilakukan analisis perbandingan antara beton normal dan beton dengan substitusi limbah genteng untuk menilai pengaruh variasi limbah genteng terhadap *workability* dan kuat tekan beton. Perubahan nilai *slump* dan kuat tekan dianalisis secara komparatif untuk mengetahui kecenderungan peningkatan atau penurunan kinerja beton akibat penggunaan limbah genteng.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian hasil dan pembahasan ini memaparkan serta menganalisis data yang diperoleh dari pengujian beton, yang mencakup tingkat *workability* berdasarkan hasil uji *slump* dan nilai kuat tekan beton pada berbagai variasi penggunaan limbah genteng beton sebagai pengganti sebagian agregat halus. Data hasil pengujian tersebut diolah untuk mengidentifikasi pola perubahan sifat beton akibat penambahan limbah genteng beton, serta dievaluasi dengan mengacu pada ketentuan standar yang berlaku dan hasil penelitian sebelumnya. Pembahasan difokuskan pada keterkaitan antara proporsi limbah genteng beton dalam campuran, karakteristik beton segar, dan dampaknya terhadap kinerja beton secara keseluruhan, sehingga diperoleh gambaran yang lebih menyeluruh mengenai potensi pemanfaatan limbah genteng beton sebagai material alternatif dalam campuran beton.

Hasil Pengujian *Slump*

Hasil pengujian *slump* menunjukkan bahwa peningkatan persentase limbah genteng sebagai substitusi agregat halus cenderung menurunkan nilai *slump* beton segar. Beton normal (BN0) dan variasi dengan penambahan limbah genteng beton hingga 5% (BG5) masih

menunjukkan nilai *slump* sebesar 10 cm, yang menandakan tingkat *workability* yang baik dan mudah dikerjakan. Kondisi ini sesuai dengan ketentuan beton plastis untuk pekerjaan struktural yang direkomendasikan dalam SNI 7656:2012, yang menyebutkan bahwa nilai *slump* beton normal umumnya berada pada kisaran 6–10 cm.

Penurunan nilai *slump* mulai terlihat pada variasi BG10, BG15, dan BG20. Fenomena ini sejalan dengan teori bahwa penggunaan material daur ulang berbasis keramik atau genteng cenderung menurunkan kelecakan beton akibat tekstur permukaan yang lebih kasar dan porositas yang lebih tinggi dibandingkan agregat halus alami (Neville, 2011). Limbah genteng memiliki daya serap air yang relatif besar, sehingga menyerap sebagian air pencampur dan mengurangi air bebas dalam campuran beton (Mulyono, 2004).

Menurut Sukirman (2010), *workability* beton sangat dipengaruhi oleh karakteristik agregat, khususnya bentuk, kekasaran permukaan, dan gradasinya. Agregat dengan permukaan kasar membutuhkan air lebih banyak untuk mencapai tingkat kelecakan yang sama. Hal ini menjelaskan mengapa peningkatan kadar limbah genteng dalam campuran beton menyebabkan penurunan nilai *slump* secara bertahap.

Selain itu, Mehta & Monteiro (2014) menyatakan bahwa penggunaan material alternatif berbasis limbah padat pada beton umumnya memerlukan penyesuaian kadar air atau penambahan bahan tambah kimia untuk menjaga *workability*. Tanpa modifikasi tersebut, beton akan cenderung lebih kaku seiring meningkatnya kadar material limbah.

Meskipun demikian, nilai *slump* pada seluruh variasi campuran masih berada dalam batas yang dapat diterima untuk beton struktural, sehingga penggunaan limbah genteng hingga 20% sebagai substitusi agregat halus masih memungkinkan dari sisi *workability*. Namun, untuk aplikasi lapangan, diperlukan pengendalian proporsi campuran agar penurunan *workability* tidak mengganggu proses pengecoran dan pemadatan beton. Berdasarkan hasil pengujian *slump* beton segar, terlihat bahwa penambahan limbah genteng sebagai substitusi agregat halus memberikan pengaruh terhadap nilai *workability* beton. Hasil pengujian *slump* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Hasil Uji *Slump*.

No	Variasi Campuran	Tinggi kerucut Abrams (cm)	Limbah Genteng (% dari agregat halus)	Nilai <i>slump</i> (cm)
1	BN0	30	0%	10
2	BG5	30	5%	10
3	BG10	30	10%	9,6
4	BG15	30	15%	9
5	BG20	30	20%	8

Beton normal (BN0) tanpa penambahan limbah genteng beton menunjukkan nilai *slump* sebesar 10 cm, yang menandakan beton memiliki tingkat kelecakan yang baik dan mudah dikerjakan. Nilai *slump* yang sama juga diperoleh pada variasi BG5 dengan penambahan limbah genteng beton sebesar 5%, menunjukkan bahwa pada kadar rendah, limbah genteng beton belum memberikan pengaruh signifikan terhadap *workability* beton.

Pada variasi BG10 dengan penambahan limbah genteng beton sebesar 10%, nilai *slump* mengalami sedikit penurunan menjadi 9,6 cm. Penurunan ini mengindikasikan mulai berkurangnya kelecakan beton segar akibat meningkatnya jumlah limbah genteng beton dalam campuran. Penurunan nilai *slump* semakin terlihat pada variasi BG15 dan BG20, masing-masing sebesar 9 cm dan 8 cm. Tren ini menunjukkan bahwa semakin besar persentase limbah genteng beton yang digunakan, semakin rendah nilai *slump* yang dihasilkan.

Penurunan *workability* tersebut disebabkan oleh karakteristik limbah genteng beton yang memiliki permukaan lebih kasar dan tingkat porositas yang lebih tinggi dibandingkan agregat halus alami. Sifat ini menyebabkan limbah genteng beton menyerap sebagian air pencampur, sehingga mengurangi jumlah air bebas dalam campuran beton. Akibatnya, beton menjadi lebih kaku dan sulit dikerjakan seiring meningkatnya kadar limbah genteng beton.

Meskipun terjadi penurunan nilai *slump*, seluruh variasi campuran beton masih berada dalam rentang nilai *slump* yang umum disyaratkan untuk beton struktural, yaitu sekitar 6–10 cm, sehingga beton masih tergolong dapat dikerjakan dengan baik di lapangan. Namun demikian, penggunaan limbah genteng beton dalam kadar tinggi perlu dikendalikan agar *workability* beton tetap memenuhi persyaratan pelaksanaan.

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan digunakan sebagai indikator utama dalam menilai kinerja mekanis beton. Pengujian dilakukan dengan memanfaatkan benda uji berbentuk silinder, dengan tata cara pengujian yang mengikuti ketentuan SNI 1974:2011 mengenai metode pengujian kuat tekan beton, di mana pembebanan diberikan secara searah sumbu hingga benda uji mengalami kegagalan (Badan Standardisasi Nasional, 2011). Besarnya kuat tekan beton diperoleh dari hasil perhitungan antara beban maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji terhadap luas penampang silinder. Data hasil pengujian kuat tekan kemudian dianalisis untuk menilai pengaruh variasi pemanfaatan limbah genteng sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus terhadap performa beton. Secara konseptual, perbedaan jenis dan sifat agregat dapat memengaruhi nilai kuat tekan beton, yang berkaitan dengan karakteristik permukaan butiran, kekuatan partikel, serta kemampuan agregat dalam menyerap air, sehingga berdampak pada

kualitas ikatan antara pasta semen dan agregat serta tingkat kepadatan beton yang terbentuk (Neville, 2011; Mulyono, 2004). Rekapitulasi hasil pengujian disajikan pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan.

Variasi	Ukuran Benda Uji		Luas Penampang (A) (cm ²)	Beban Maksimum (P max) (kn)	Kuat Tekan Aktual (Mpa)	Rata-Rata Kuat Tekan (Mpa)
	Diameter (cm)	Tinggi (cm)				
BN0	14,95	30,00	175,45	250,89	14,30	14,63
	14,98	30,34	176,15	257,89	14,64	
	15,00	30,15	176,63	264,05	14,95	
BG5	14,97	30,35	175,92	261,24	14,85	14,32
	15,00	30,30	176,63	246,04	13,93	
	14,97	30,00	175,92	249,45	14,18	
BG10	15,00	30,28	176,63	230,85	13,07	13,32
	14,95	30,38	175,45	237,38	13,53	
	14,98	30,10	176,15	235,34	13,36	
BG15	15,00	30,00	176,63	228,91	12,96	12,78
	15,00	30,26	176,63	228,38	12,93	
	15,00	30,28	176,63	219,72	12,44	
BG20	15,00	30,00	176,63	227,85	12,90	11,90
	15,00	30,32	176,63	189,87	10,75	
	14,94	30,00	175,21	211,13	12,05	

Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur pengujian yang telah ditetapkan menunjukkan bahwa campuran beton tanpa substitusi limbah genteng beton (BN0) menghasilkan nilai kuat tekan aktual paling tinggi dibandingkan seluruh variasi campuran lainnya. Beton BN0 mencatat nilai kuat tekan individual dengan rata-rata sebesar 14,63 MPa, yang menandakan bahwa beton normal masih memiliki performa mekanis paling baik tanpa penambahan material substitusi.

Pada campuran BG5, yaitu beton dengan penggantian agregat halus oleh limbah genteng sebesar 5%, nilai kuat tekan aktual berada pada rentang 13,93 hingga 14,85 MPa dengan nilai rata-rata 14,32 MPa. Meskipun nilainya masih relatif dekat dengan beton normal, kecenderungan penurunan kuat tekan mulai terlihat. Penurunan yang lebih nyata terjadi pada variasi BG10, di mana kuat tekan aktual tercatat antara 13,07–13,53 MPa dengan rata-rata sebesar 13,32 MPa. Seiring dengan meningkatnya kadar limbah genteng, variasi BG15 menunjukkan nilai kuat tekan yang lebih rendah, yaitu berada pada kisaran 12,44–12,96 MPa dan rata-rata 12,78 MPa. Nilai terendah diperoleh pada variasi BG20, dengan kuat tekan aktual berkisar antara 10,75–12,90 MPa dan rata-rata sebesar 11,90 MPa, yang mengindikasikan penurunan kemampuan beton dalam menahan beban tekan secara signifikan.

Secara keseluruhan, hasil pengujian memperlihatkan pola penurunan kuat tekan yang sejalan dengan peningkatan persentase limbah genteng beton sebagai substitusi agregat halus.

Fenomena ini berkaitan dengan karakteristik limbah genteng yang cenderung lebih getas dan berpori serta memiliki tingkat penyerapan air yang lebih tinggi dibandingkan pasir alami. Kondisi tersebut berpengaruh terhadap kualitas ikatan antara pasta semen dan agregat serta menyebabkan kepadatan beton berkurang, sehingga berdampak pada menurunnya kuat tekan beton.

5. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan persentase limbah genteng beton sebagai substitusi agregat halus menyebabkan penurunan *workability* dan kuat tekan beton. Nilai *slump* menurun dari 10 cm pada beton normal (0%) menjadi 8 cm pada substitusi 20%, yang menunjukkan berkurangnya kelecakan beton segar. Kuat tekan rata-rata beton juga mengalami penurunan dari 14,63 MPa (0%) menjadi 11,90 MPa (20%), atau turun sekitar 18,7%. Substitusi limbah genteng sebesar 5% masih menghasilkan kuat tekan yang relatif mendekati beton normal, yaitu 14,32 MPa, sehingga dapat dipertimbangkan sebagai kadar optimum dalam penelitian ini. Pemanfaatan limbah genteng beton dalam kadar terbatas berpotensi digunakan sebagai alternatif agregat halus untuk mendukung beton ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adekunle, A. A., Abimbola, K. R., & Familusi, A. O. (2017). Utilization of construction waste tiles as a replacement for fine aggregates in concrete. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 7(5), 1930–1933. <https://doi.org/10.48084/etasr.1071>
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1972:2008: Metode uji slump beton (Padanan ASTM C143)*. Jakarta, Indonesia: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1974:2011: Metode uji kuat tekan beton (Padanan ASTM C39)*. Jakarta, Indonesia: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *SNI 7656:2012: Tata cara perencanaan campuran beton normal*. Jakarta, Indonesia: Badan Standardisasi Nasional.
- Binici, H. (2007). Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties. *Construction and Building Materials*, 21(6), 1191–1197. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.06.026>
- Fansuri, S., Diana, A. I. N., & Desharyanto, D. (2020). Pengaruh pengganti limbah pecahan genteng sokka dalam pembuatan beton terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Ilmiah MITSU*. <https://doi.org/10.24929/ft.v8i2.983>
- Frick, H., & Suskiyatno, B. (2007). *Ilmu bahan bangunan*. Yogyakarta, Indonesia: Kanisius.
- Ismail, Z. Z., & Al-Hashmi, E. A. (2009). Recycling of waste ceramic tiles as aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*, 23(9), 2876–2883. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.02.039>

- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2003). *Design and control of concrete mixtures* (14th ed.). Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Kristiyanto, H., & Susmanto, P. (2020). Studi eksplorasi limbah genteng asal Godean sebagai bahan tambah pada campuran beton. *Civil Engineering and Technology Journal*. <https://doi.org/10.47200/civetech.v15i2.789>
- Medina, C., Sánchez de Rojas, M. I., & Frías, M. (2013). Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes. *Cement and Concrete Composites*, 34(1), 48–54. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.08.006>
- Meena, R. V. (2022). Use of waste ceramics to produce sustainable concrete – A review. *ScienceDirect*.
- Mehran, A., Ali, S., Soomro, F. A., & Kerio, M. A. (2022). Fresh and hardened properties of concrete containing ceramic tile waste. *Journal of Structural Monitoring and Built Environment*, 1(1), 40–44.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, properties, and materials* (4th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Education.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete* (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi beton*. Yogyakarta, Indonesia: Andi Offset.
- Neville, A. M. (2011). *Properties of concrete* (5th ed.). London, UK: Pearson Education Limited.
- Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2010). Reusing ceramic wastes in concrete. *Construction and Building Materials*, 24(5), 832–838. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.023>
- Raj, M. R., Chandra, A. P. R., & Kumar, K. (2021). Experimental study on using tiles waste as replacement of coarse and fine aggregate in concrete. *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry*. <https://tojqi.net/index.php/journal/article/view/5347>
- Salam, D. (2023). Pengelolaan limbah genteng sebagai bahan alternatif agregat kasar ditinjau dari nilai kuat tekan dan kuat tarik beton. *Indonesian Journal of Laboratory*. <https://doi.org/10.22146/ijl.v0i3.89288>
- Shetty, M. S. (2005). *Concrete technology: Theory and practice*. New Delhi, India: S. Chand & Company Ltd.
- Sukirman, S. (2010). *Beton aspal campuran panas*. Bandung, Indonesia: Nova.
- Taylor, H. F. W. (1997). *Cement chemistry* (2nd ed.). London, UK: Thomas Telford.
- Waqas, R. M. (2021). A comprehensive study on the factors affecting workability and strength of concrete. *Applied Sciences*.

