

Evaluasi Substitusi Limbah Beton pada Agregat Kasar terhadap Performa Tarik Lentur Beton (5%, 10%, 15%)

*T. Agung Wiendi Saputra¹, Imransyah Idroes², Azzaki Mubarak³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Iskandar Muda, Banda Aceh, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: August 08, 2025

Revised: October 27, 2025

Accepted: October 30, 2025

Available online: October 30, 2025

KEYWORDS

Concrete; Flexural Tensile Strength; Waste; Test Specimens; Substitution

*CORRESPONDENCE

tagungwiendisaputra@gmail.com

A B S T R A C T

The use of waste materials as substitutes or additives in concrete mixtures has the potential to reduce environmental pollution, and concrete waste is one of the largest contributors to total construction waste. Previous studies have shown that replacing coarse aggregate with concrete waste reduces the flexural tensile strength of high-strength concrete. In this study, tests were carried out at the Construction Materials Laboratory, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Syiah Kuala, on concrete designed for a compressive strength of f_c 15 MPa. Twelve beam specimens measuring $15 \times 15 \times 60$ cm were tested: nine specimens with 5%, 10%, and 15% replacement of coarse aggregate by concrete waste, and three normal-concrete specimens as controls. The concrete waste was obtained from 25 MPa compressive strength test specimens at Universitas Syiah Kuala. Each variation consisted of three specimens, which were cured by water immersion until 28 days of age before testing. The results show that the flexural tensile strength of normal concrete was 3.011 MPa, while the 5%, 10%, and 15% replacement variations decreased to 2.663 MPa, 2.696 MPa, and 2.666 MPa, respectively. The decrease is attributed to the high water absorption of the concrete waste; however, it is still considered stable because, when checked against the compressive strength results, the reduction does not exceed 1 MPa. It is concluded that concrete waste used as a partial replacement for coarse aggregate does not meet the flexural strength requirements for structural concrete, but it remains suitable for non-structural applications where mechanical strength demands are lower.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan era globalisasi yang terus berlanjut mengakibatkan percepatan inovasi dalam bidang teknologi konstruksi [1]. Kemajuan dalam teknologi konstruksi sangat krusial agar bahan yang dibutuhkan, seperti beton, dapat diperoleh dengan cepat dan mudah [2]. Di sisi lain, terdapat beberapa bangunan tua yang harus diruntuhkan karena perlu diperbarui, mengalami kerusakan, atau tidak layak huni, dan pembuangan limbah tersebut memerlukan biaya serta lokasi pembuangan [3]. Pemanfaatan limbah padat sebagai bahan campuran agregat kasar dalam proses pembuatan beton diharapkan mampu mengurangi tingkat ketergantungan terhadap penggunaan material alam secara langsung..

Bongkaran beton dari konstruksi bangunan tersebut adalah limbah padat[4]. Dalam penelitian ini, limbah beton akan diuji sebagai bahan pengisi dalam campuran beton dan untuk menilai apakah bisa memberikan dampak positif terhadap kekuatan tarik lentur[5].

Sesuai dengan penjelasan diatas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan dengan penelitian ini, Limbah beton sangat banyak tidak terkelola pada perkembangan pembangunan Konstruksi saat ini mana limbah beton belum ditemukan tempat pembuangan atau penampungan limbah beton tersebut.

Tujuan utama pada penelitian ini adalah ingin mengetahui hasil dari Kuat Tarik Lentur pada Beton Daur Ulang sebagai pengganti agregat kasar sehingga kita bisa mengetahui apakah beton daur ulang bisa di gunakan pada bagian struktural atau non-struktural.

Manfaat dari penelitian ini adalah supaya bisa membantu mengurangi Limbah beton yang mana pada saat ini belum di temukan tempat pembuangan atau penampung nya sehingga Limbah beton dan menghemat sumber daya untuk membuat beton baru.

Ruang lingkup penulisan proposal penelitian ini yaitu Dampak limbah beton sebagai substitusi agregat kasar dalam pengujian kekuatan tarik lentur beton, menggunakan Metode Kuantitatif dan Pengujian Laboratorium dengan target mutu kuat tekan = 15 MPa, limbah beton diterapkan sebagai pengganti dengan mutu beton $f_c' = 25$ MPa, rumusan penggantian Split (agregat kasar) pada campuran yaitu 5%, 10%, 15% dan hasil dari kuat tekan nantinya dijadikan sebagai kontrol pada kuat tarik lentur sehingga ditentukan bahwa hasil penelitian ini bisa dijadikan sebagai beton struktural atau non-struktural. Kekuatan tarik lentur beton daur ulang diuji pada usia beton 28 hari

2. METODE PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Untuk menghasilkan beton sesuai dengan rencana, diperlukan perancangan campuran yang tepat guna menentukan proporsi masing-masing bahan penyusunnya. Campuran beton juga harus diaduk hingga homogen. Selain komposisi material, kekuatan beton dipengaruhi oleh tingkat kepadatan campuran; semakin sedikit pori yang terbentuk, semakin tinggi mutu kuat tekan beton yang dihasilkan.

Beberapa parameter yang berperan signifikan terhadap kekuatan beton antara lain:

1. Karakteristik mutu semen;
2. Rasio atau proporsi semen terhadap bahan penyusun beton lainnya
3. Daya tahan serta tingkat kebersihan aggregate;
4. Proses pencampuran yang merata dari seluruh komponen penyusun beton
5. Perawatan beton.

2.1.1 Metode dan Prosedur Penelitian

Beton merupakan material komposit yang tersusun atas material penyusun beton meliputi semen, air, agregat kasar, agregat halus, serta bahan tambahan lain yang memiliki fungsi sesuai kebutuhan proporsi.

Semen Portland Komposit yang dipakai untuk semua jenis variasi campuran beton memiliki densitas 3145 kg/m³ dengan area permukaan spesifik 382 m²/kg sesuai dengan standar SNI 03-2834-200[6]. Semen yang digunakan pada penelitian ini diproduksi oleh dari produsen lokal yang umum tersedia di pasaran. Pasir dan Kerikil digunakan sesuai dengan ketentuan yang tercantum dalam berdasarkan pedoman.

Agregat halus dan agregat kasar merupakan material alami yang diambil dari daerah Jantho, Kabupaten Aceh Besar. Batas klasifikasi pada kerikil dan pasir ini mengacu pada SNI 03-6820-2002 [7], di mana hasil uji agregat sudah mencukupi syara yang digunakan sebagai agregat dalam pencampuran beton. Pada penelitian ini Agregat kasar disubstitusi dengan limbah beton dari mutu beton $f_c' 25$ MPa. Agregat kasar sebagian disubstitusikan dengan limbah beton dengan variasi 5%, 10% dan 15% Limbah beton yang akan digunakan adalah beton silinder bekas dari penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Konstruksi Bahan Bangunan Universitas Syiah Kuala yang diolah langsung dengan cara dihancurkan secara manual sehingga menjadi butiran agregat kasar kemudian limbah beton yang telah di hancurkan di ambil dan diayak agar lolos saringan 25/19 mm untuk memperoleh butiran agregat kasar sebagai material dalam pembuatan beton, Air harus beneran

bersih dan terbebas dari zat-zat yang dapat merusak dan unsur berbahaya, serta memenuhi ketentuan dalam SNI 03-2847-2002. [8].



Gambar 1. Penghancuran limbah beton untuk substitusi agregat kasar

Penggantian sebagian agregat kasar dengan variasi limbah beton sebesar 5%, 10%, dan 15% dikendalikan dengan beton normal berstandar sesuai hasil desain campuran menggunakan metode SNI-7656:2012 dengan merancang campuran beton dan faktor air semen (FAS) 0,691 sesuai metode tersebut untuk mengevaluasi dampak limbah beton sebagai pengganti agregat kasar terhadap peningkatan atau penurunan mutu beton pada beton berkualitas rendah, serta dikendalikan melalui pengujian slump. Pengujian ini memerlukan alat uji berbentuk kerucut Abrams. Tabung kerucut ini terbuat dari logam, dengan kerucut Abrams yang memiliki diameter 10 cm diatas, 20 cm dibawah dengan tinggi 30 cm. Dalam penelitian ini, beton basah yang akan diuji memiliki kekentalan dengan nilai slump antara 75 - 100 mm sesuai SNI 1972:2008 [9].



Gambar 2. Kerucut Abrams diameter atas 10 cm dan bawah 20 cm serta tinggi 30 cm

2.2 Desain Campuran Beton

Perancangan komposisi campuran beton penting untuk mengidentifikasi setiap bahan yang membentuk beton. Rencana ini disusun berdasarkan metode SNI-7656:2012[10]. Dalam rencana pembuatan beton ini memakai cetakan silinder yang berukuran 15 cm x 15 cm x 60 cm dengan total 12 buah benda uji yang memiliki mutu rencana 15,00 MPa seperti yang tercantum dalam Tabel berikut.

Tabel 1. BU (Benda Uji)

Variasi Benda uji	Dimensi (cm)	Jumlah
0%	15 x 15 x 60	3
5%	15 x 15 x 60	3
10%	15 x 15 x 60	3
15%	15 x 15 x 60	3
Total		12

Peran limbah beton yang akan dimanfaatkan sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran beton adalah 5%, 10%, dan 15% dari agregat kasar yang diperoleh melalui perhitungan desain campuran 1m³. Untuk variasi substitusi agregat kasar menggunakan limbah beton dalam campuran beton.

Melakukan perancangan dan pemilihan bahan berkualitas yang tinggi dalam mendukung proses pembuatan beton serta menetapkan mutu serta performa mekanis beton, atau pemilihan

bahan adukan beton dengan memperhatikan proporsi terhadap setiap komponen penyusun beton agar beton mencapai standar mutu yang diinginkan[11], penelitian ini diperoleh hasil desain campuran yang disajikan pada tabel 2 untuk 1m³, sehingga dari hasil desain campuran tersebut dapat dihitung pada adukan beton yang diharapkan dalam penelitian ini.

Tabel 2. Mix design 1m³

Material	0%	5%	10%	15%
Air	186,76	186,76	186,76	186,76
Semen	270,27	270,27	270,27	270,27
Coarse aggregate	1002,50	952,38	902,25	852,13
Fine Aggregate	936,06	936,06	936,06	936,06
Limbah Beton	0,00	50,13	100,25	150,38

2.2.1 Proses Pelaksanaan Serta Perawatan Beton

Pada tahap ini, prosedur pelaksanaan pembuatan beton dikerjakan dengan langkah-langkah berikut ini:

1. Bahan serta peralatan yang berperan sebagai bahan penyusun dalam campuran beton (benda uji) harus dipersiapkan terlebih dahulu sebelum pelaksanaan proses pencampuran.
2. Melakukan pengujian material dilaboratorium untuk memastikan mutu yang direncanakan sehingga kekuatannya dapat mencapai nilai maksimum sesuai yang dihitung. Pemeriksaan agregat meliputi analisis gradasi (modulus kehalusan butiran), pengujian berat volume, pengujian berat jenis, serta proses pengayakan limbah beton sesuai ukuran yang telah ditentukan.
3. Merancang komposisi beton (mix design). Menghitung material dan bahan-bahan berdasarkan perhitungan yang telah ditetapkan dalam rencana campuran beton.
4. Pencampuran komponen beton harus dilakukan dengan cara masukkan seluruh matrial yang telah ditimbang sesuai proporsi, yaitu agregat kasar, agregat halus, limbah beton, air, dan semen, ke dalam molen (mixer beton). Pencampuran dilakukan hingga adukan mencapai kondisi homogen, kemudian campuran beton dituangkan ke dalam cetakan setelah proses pengadukan berlangsung selama kurang lebih 15 menit.
5. Pengujian kekentalan (workability) beton segar dilakukan menggunakan alat uji slump. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai slump beton segar berada pada kisaran 75 -100 mm.
6. Campuran beton dimasukkan ke dalam cetakan selinder yang sebelumnya telah dilapisi oli guna mencegah adukan menempel pada permukaan cetakan. Setelah adukan dimasukkan, pemadatan dilakukan dengan mengetuk sisi cetakan memakai palu karet, kemudian permukaannya diratakan dengan sendok semen.

Perlakuan perawatannya terhadap beton dilaksanakan setelah beton keras, setelah itu beton dikeluarkan dari cetakan silinder dan direndam dalam air selama dalam jangka waktu 28 hari melalui proses perendaman menggunakan air PDAM.

2.2.2 Pengujian Kuat Tarik Lentur

Kekuatan tarik lentur merupakan kemampuan balok yang ditempatkan di kedua tumpuan untuk menahan gaya yang tegak lurus terhadap sumbu benda uji hingga benda uji mengalami patah, diukur dalam Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas (SNI 4431:2011)[12].

Dalam SNI 03-2847-2002[13], dijelaskan bahwa untuk beton dengan beban normal yang tidak ada tulangan, nilai modulus pada keruntuhan diperoleh dari rumus sebagai berikut :

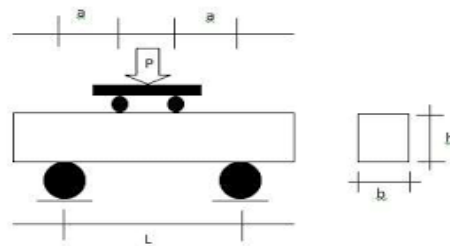
$$F_r = 0,7 \sqrt{f_c} \quad (1)$$

Dimana :

F_r = Modulus keruntuhan/kuat lentur batas (Mpa).

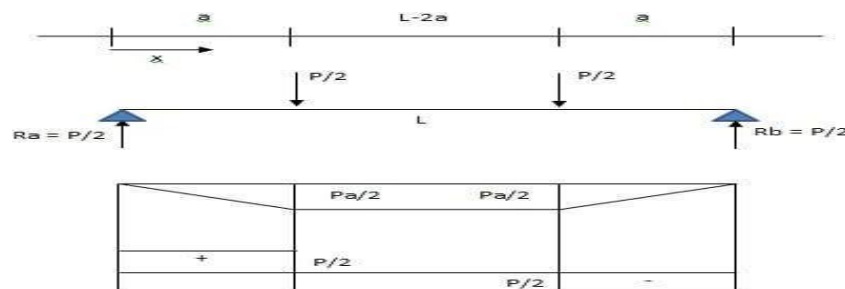
F_c = Kuat tekan beton (Mpa).

Kinerja Pemberian gaya pada pengujian tegangan lentur dirancang sedemikian sehingga benda uji mengalami patahan karena beban lentur, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengujian kuat tarik lentur beton

Perhitungan kuat tarik lentur ditunjukkan dipersamaan berikut:



Gambar 4. Diagram Momen (M) dan Gaya Lintang (Q)

$$f_r = \frac{3Pa}{bh^2}$$

(2)

Dimana :

- f_r = Kuat Tarik Lentur [MPa]
 P = Beban pada waktu lentur [kN]
 a = Jarak dari perletakan ke gaya [mm]
 b = Lebar penampang balok [mm]
 h = Tinggi penampang balok [mm]

Kontrol kuat tekan beton kepada kuat tarik lentur beton adalah untuk memperoleh hasil kuat tarik lentur bisa digunakan pada struktural atau tidak sehingga dilakukan kontrol terhadap kuat tekan beton pada penelitian Iman Suyanto (2025)[14] yang berjudul “pengaruh limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada pengujian kuat tekan beton” yang mana hasil nya di lampirkan pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hasil Kuat Tekan

No	Persentase Limbah	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
1	0%	19,53
2	5%	19,79
3	10%	20,50
4	15%	20,19

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang akan disampaikan adalah hasil-hasil dan perhitungan yang dilakukan dalam penelitian, sehingga hasil yang diperoleh dapat dimanfaatkan untuk mendiskusikan masalah-masalah yang terdapat dalam penelitian ini.

3.1 Hasil Kajian Berat Volume Agregat

Pengujian berat satuan agregat kasar, agregat halus, dan limbah beton dilakukan masing-masing menggunakan tiga sampel. Dari pengujian tersebut diperoleh data berat volume lepas dan

volume padat. Nilai rata-rata berat volume untuk setiap jenis agregat berukuran 25,4 mm dan 4,76 mm yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. Berat Volume Agregat

No	Jenis Agregat	Berat Volume (kg/l)
1	Pasir	1,72
2	Agregat Kasar	1,49
3	Limbah Beton	1,29

Berdasarkan analisis pada Tabel 4, berat volume pasir kasar adalah 1,72 kg/l, sedangkan agregat kasar mencapai 1,49 kg/l. Dengan demikian, Berdasarkan hasil pengujian, Kerikil kasar dan pasir yang digunakan pada penelitian dinyatakan memenuhi kriteria sebagai campuran penyusun beton, karena memiliki berat volume agregat lebih dari 1,4 kg/l, sesuai dengan rekomendasi yang dikemukakan oleh Troxell (1968).

3.2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Tingkat Penyerapan Agregat

Pengujian berat jenis dan penyerapan pada agregat kasar, agregat halus, serta limbah beton mencakup pemeriksaan berat jenis dalam keadaan kering jenuh permukaan atau pada kondisi SSD (Saturated Surface Dry) serta kondisi kering atau OD (Oven Dry). Hasil dari perhitungan berat jenis rata-rata untuk agregat yang dipakai dilihat pada Tabel 5 dan 6 berikut

Tabel 5. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

No.	Jenis Agregat	Berat Jenis		Batas Ijin (Troxell) (1968)
		SG (SSD)	SG (OD)	
1	Aggregate halus (<i>Coarse Sand</i>)	2,63	2,60	2,0 - 2,7
2	Limbah Beton	2,42	2,36	2,50 - 2,80
3	Anggregate Kasar (<i>Coarse Aggregate</i>)	2,74	2,72	2,50 - 2,80

Berdasarkan hasil pada Tabel 5, diketahui berat jenis agregat halus dalam kondisi SSD adalah 2,63 dan dalam kondisi OD sebesar 2,60. Sementara itu, berat jenis agregat kasar (kerikil) pada kondisi SSD yaitu 2,74 dan pada kondisi OD yaitu 2,72. serta untuk berat jenis limbah beton dalam kondisi SSD sebesar 2,42 dan 2,36 dalam kondisi OD, Jadi hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa berat jenis agregat pasir dan kerikil yang digunakan dalam penelitian ini tergolong memadai untuk material penyusun beton serta memenuhi kriteria yang disarankan oleh Troxell (1968), meskipun berat jenis kerikil sedikit melebihi batas yang ditentukan.

Tabel 6. Hasil Pemeriksaan Absorpsi Agregat

No	Jenis Agregat	Absorbsi (%)	Batas Ijin Teori	
			Troxell (1968)	Orcard (1979)
1	Pasir	1,382	0 % - 2%	0,40% - 1,90%
2	Limbah Beton	2,521	0,50% -1%	
3	Agregate Kasar	0,761		

Berdasarkan perhitungan yang terdapat pada Tabel 6, maka hasil pengujian, diperoleh nilai penyerapan (absorpsi) sebesar 1,382% untuk pasir, 0,761% untuk agregat kasar, dan 2,521% untuk limbah beton. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa limbah beton yang digunakan dipenelitian ini melebihi batas ketentuan material penyusun beton, di mana nilai absorpsi agregat yang disarankan berada pada kisaran 0,40% hingga 1,90% sesuai dengan rekomendasi Troxell (1968) dan Orchard (1979). [15]

3.3 Hasil Pengujian Gradasi Agregat

Data dari analisis saringan adalah informasi yang di pergunakan untuk menganalisis komposisi butiran-butiran agregate yang akan dimasukkan kedalam campuran beton. Perhitungan modulus halus ditampilkan dalam Tabel 7

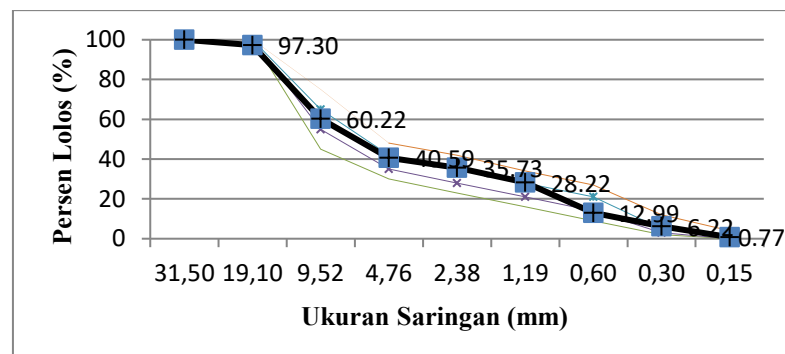
Tabel 7. Hasil Fineness Modulus

No.	Jenis Agregat	Fineness Modulus (FM)
1	Pasir	3,42
2	Limbah Beton	7,184
3	Kerikil (<i>Coarse Aggregate</i>)	5,82

Menurut perhitungan yang terdapat pada Tabel 7, pasir dalam studi ini memenuhi kriteria sebagai material untuk beton dengan nilai fineness modulus yang berada dalam rentang 1,50 – 3,50, sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan oleh SNI

3.4 Hasil Gradasi Agregat

Hasil pencarian gradasi agregat halus menunjukkan bahwa pasir yang dipakai tergolong dalam zona II, yaitu kategori pasir sedang yang umum digunakan sebagai bahan penyusun beton. Berdasarkan hasil analisis tersebut, diperoleh nilai modulus kehalusan butiran sebesar 5,22, yang dihitung melalui perbandingan antara persentase kumulatif tertinggal dan lolos ayakan. Grafik gradasi agregat halus yang ditampilkan pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa seluruh butiran pasir berada pada batas atas dan batas bawah gradasi yang dipersyaratkan.



Gambar 5. Grafik gradasi butiran agregat (gradasi II)

3.5 Hasil Perancangan Campuran Beton (Mix Design)

Hasil penelitian mencakup komposisi campuran beton yang diuji kuat tarik lenturnya menggunakan balok berukuran 150 mm × 150 mm × 600 mm dengan total 12 benda uji, terdiri dari variasi beton 0%(normal) 3 benda uji, 5% 3 benda uji, 10% 3 benda uji, dan 15% 3 benda uji. Perhitungan campuran beton (design mix) menggunakan metode SNI-7656:2012 rancangan campuran beton dengan nilai faktor air semen (FAS) sebesar 0,691 telah disusun sesuai dengan metode yang telah ditetapkan. Komposisi campuran beton yang hasilnya disajikan pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Mix Design Pengujian

Material	0%	5%	10%	15%
Air	7,4	7,4	7,3	7,3
Semen	12,0	12,0	12,0	12,0
Coarse aggregate	45,0	42,8	40,5	38,3
Fine Aggregate	42,3	42,3	42,3	42,3
Limbah	0,0	2,3	4,6	6,9
Total	106,7	106,7	106,7	106,7

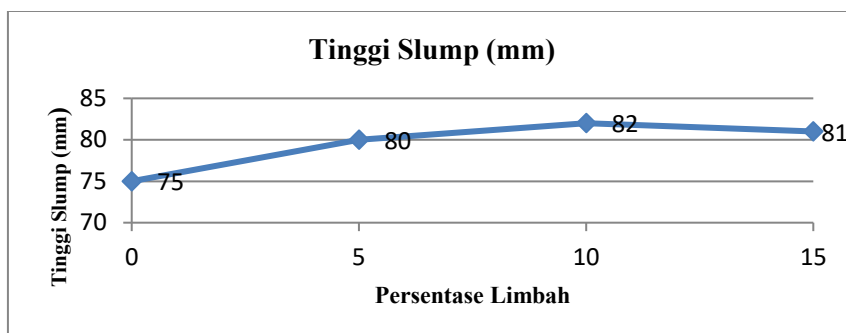
3.6 Hasil Pengujian Test Slump

Slump value adalah ukuran Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui perubahan permukaan beton atau mortar. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai slump yang memenuhi

target, yaitu berada pada kisaran 75–100 mm. Data hasil pengukuran slump disajikan pada Tabel 9 dan Gambar 6 berikut ini

Tabel 9. Hasil Slump Test

Variasi	Tinggi Slump	Slump Rencana
Beton Normal	75	75-100
Beton Limbah 5%	80	
Beton Limbah 10%	82	
Beton Limbah 15%	81	



Gambar 6. Grafik perbandingan Slump beton normal dengan Limbah beton daur ulang sebagai pengganti agregat kasar

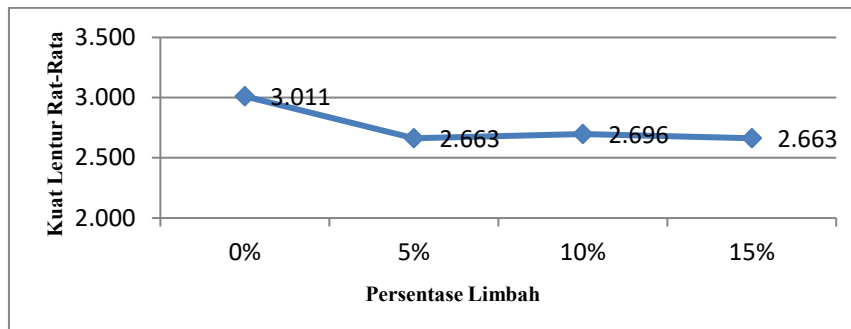
3.7 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton

Pengujian tegangan lentur dilakukan dengan benda uji berbentuk balok yang memiliki dimensi 15 cm × 15 cm × 60 cm. Pengujian kuat tarik lentur ini dilaksanakan setelah beton berusia 28 hari dalam bak perendaman, setelah mencapai usia yang telah ditentukan, baru kemudian dilakukan pengujian dengan menggunakan mesin Ton Machine

Tabel 10. Hasil Kuat Tarik Lentur

Benda Uji	Panjang (L)	Lebar (b)	Tinggi (h)	Berat (Kg)	Beban (P) (Ton)	Kuat lentur (fir) Uji	Kuat lentur (fir) Uji Rata-rata
S0-1	60,3	15,34	15,12	32,11	2,24	2,820	3,011
S0-2	60,5	15,58	15,28	32,01	2,45	2,973	
S0-3	60	15,32	15,18	32,64	2,59	3,239	
S5-1	52,5	15,42	15,36	28,78	1,97	2,390	2,663
S5-2	52,7	15,42	15,06	28,60	2,14	2,701	
S5-3	50,4	15,28	15,18	32,44	2,31	2,896	
S10-1	51,9	15,12	15,06	27,72	2,24	2,884	2,696
S10-2	52	15,44	15,26	28,60	2,1	2,578	
S10-3	52	15,44	15,26	28,60	2,14	2,627	
S15-1	60	15,32	15,06	32,64	2,28	2,897	2,666
S15-2	60	15,64	15,20	32,92	2,17	2,651	
S15-3	60	15,24	15,18	32,28	1,95	2,451	

Dari tabel 10 di atas, Berdasarkan hasil pengujian, data yang diperoleh merupakan beban ultimit yang diterima oleh setiap benda uji. Setelah melakukan pengujian kuat tarik lentur, nilai kuat tarik lentur beton untuk setiap benda uji dihitung, kemudian dipilih dan disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis. Visualisasi hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Grafik perbandingan kuat tarik lentur beton normal dan Limbah beton daur ulang sebagai pengganti agregat kasar

Dari Gambar 7 terlihat perbandingan hasil uji kuat tarik lentur beton saat umur 28 hari untuk beton normal menghasilkan nilai 30,11 MPa. Sementara itu, kapasitas tarik lentur beton dengan variasi limbah beton 5%, 10%, dan 15% menunjukkan penurunan dibandingkan beton normal yang memiliki kekuatan sebesar 2,663 MPa, 2,696 MPa, dan 2,666 MPa. Setelah melaksanakan pengujian kekuatan tarik lentur, hasil uji tarik lentur dibandingkan dengan hasil kuat tekan pada tabel 3 yang disertakan dalam tabel 11.

Tabel 11. Kontrol Terhadap Kuat Tekan

Kuat Tekan	Kuat Tarik Lentur Uji Rata-Rata Fr $= \frac{3 Pa}{bh^2}$	Kuat Tarik Lentur Kontrol Terhadap Kuat Tekan $Fr = 0,7 \sqrt{f_c}$
19,53	3,011	3,09
19,79	2,663	3,11
20,33	2,696	3,15
20,19	2,666	3,15

Dapat disimpulkan bahwa kuat tarik lentur beton hasil pengujian kuat tekan beton dengan menggunakan material limbah beton sebagai pengganti agregat kasar menunjukkan penurunan pada pengendalian kuat tekan sebagaimana tercantum dalam tabel 11, namun tetap termasuk dalam kategori standar karena penurunan yang terjadi pada penelitian ini tidak melebihi 1 MPa setelah pengendalian hasil uji kuat tekan, hasil dari pengujian kuat tarik lentur pada penelitian ini tidak dapat digunakan pada struktural tetapi bisa digunakan pada mutu rendah seperti halaman parkir, teras rumah dan lain-lain

3.8 Pembahasan Hasil Kuat Tarik Lentur

Hasil pengujian olah data yang didapat menunjukkan kuat tarik lentur rata-rata beton pada usia 28 hari dengan pemanfaatan bahan tambahan dari limbah beton. Berdasarkan gambar dan grafik di atas, diketahui bahwa kuat tarik lentur beton berumur 28 hari yang menggunakan limbah beton sebagai campuran agregat kasar dapat mengurangi kuat tarik lentur beton sesuai dengan jumlah yang bervariasi dari penggunaan limbah beton tersebut. Kekuatan tarik lentur beton dengan pemanfaatan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar, dapat mengurangi kualitas beton seiring dengan bertambahnya limbah beton tersebut, yaitu pada variasi 5%, kekuatan tarik lentur beton = 2,663 MPa (Menurun 12%), pada variasi 10%, kekuatan tarik lentur beton = 2,696 MPa (Menurun 10%) dan pada variasi 15%, kekuatan tarik lentur beton = 2,666 MPa (Menurun 11%). Tingginya penyerapan limbah beton (2,521%) disertai penurunan kuat tarik lentur. Porositas yang tinggi pada limbah beton daur ulang mengakibatkan penurunan kekuatan tautan antara pasta semen baru dan agregat limbah beton, sebagai mekanisme kegagalan tarik lentur.

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh pada hasil penelitian ini mengenai kekuatan tarik lentur beton normal yang memanfaatkan limbah beton sebagai substitusi agregat kasar dengan objek uji balok adalah sebagai berikut:

1. Data analisis karakteristik fisik agregat di LKBB Prodi Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala menunjukkan bahwa agregat-agregat yang dipakai telah memenuhi kriteria pada bahan untuk pembuatan beton
2. Nilai slump yang didapat pada beton 0% limbah dan beton yang memiliki limbah beton sebagai pengganti agregat kasar dengan persentase 5%, 10%, dan 15% tetap mencapai target slump yaitu 75 - 100 mm. Tinggi slump beton normal adalah 75 mm, tinggi slump limbah beton 5% menjadi 80 mm, limbah 10% menjadi 82 mm, dan limbah beton 15% yaitu 81 mm
3. Diketahui bahwa kekuatan tarik lentur beton menggunakan material limbah beton sebagai substitusi pada agregat kasar, dapat mengurangi kualitas beton seiring bertambahnya limbah beton tersebut, pada variasi 5%, kekuatan tarik lentur beton = 2,663 MPa (Turun 12%), pada variasi 10%, kekuatan tarik lentur beton = 2,696 MPa (Turun 10%), dan pada variasi 15%, kekuatan tarik lentur beton = 2,666 MPa (Turun 11%).

Pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa substitusi limbah beton sebagai pengganti agregat kasar tidak layak untuk beton struktural karena menunjukkan penurunan performa, namun bisa diterapkan pada beton non struktural seperti area parkir, teras rumah, dan sebagainya

5. SARAN

1. Bahan yang digunakan harus memenuhi kriteria yang ditetapkan saat memeriksa karakteristik fisik dari material pembentuk beton dan mengetahui nilai penyerapan serta densitas bahan pengganti dan campuran untuk beton
2. Dalam proses pembuatan benda uji, permukaan benda uji harus benar-benar datar, karena sangat memengaruhi kekuatan tekan beton saat pengujian.
3. Dibutuhkan studi tambahan mengenai limbah beton untuk memahami pengaruh limbah beton terhadap karakteristik mekanik beton
4. Oleh karena itu, untuk mengetahui sejauh mana kontribusi limbah beton terhadap kinerja beton, diperlukan pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan kuat lentur. Pengujian tersebut bertujuan untuk menilai pengaruh menggunakan limbah beton untuk substitusi agregat kasar terhadap sifat mekanis beton.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Utama, "Perkembangan Bidang Jasa Konstruksi," *Repertorium: Jurnal Ilmiah Hukum Kenotariatan*, vol. 11, pp. 127-142, 2022.
- [2] M. R. Fatriady, M. R. Rachman, M. Jamal, I. W. Muliawan, W. Mustika, and D. S. S. Mabui, *Teknologi Bangunan dan Material*. Tohar Media, 2022.
- [3] S. F. Syamsul, "Proyek Rintisan Kawasan Arsitektur Ramah Limbah," Universitas Hasanuddin, Makassar, 2023.
- [4] P. Ala, H. Arruan, and B. A. Razak, "Mutu dan Berat Volume Beton Menggunakan Bahan Agregat Kasar Daur Ulang Bongkaran," Nov. 2020.
- [5] L. Lubab, "Model Perilaku Mekanik Beton dengan Campuran Daur Ulang," Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, 2025.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-2834-2000 - Kombinasi Semen Portland, Agregat Halus, Agregat Kasar dan Air dengan atau tanpa Bahan Tambahan untuk Membentuk Massa yang Kuat*. Jakarta: BSN, 2000.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-6820-2002 - Persyaratan Agregat Halus atau Pasir dan Agregat Kasar atau Batu Pecah*. Jakarta: BSN, 2002.
- [8] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-2847-2002 - Persyaratan Penggunaan Air untuk Pembuatan Beton*. Jakarta: BSN, 2002.
- [9] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1972:2008 - Cara Uji Slump Beton*. Jakarta: BSN, 2008.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 7656:2012 - Persyaratan Pengujian Kuat Tekan Beton dengan Kekuatan Satuan Ton*. Jakarta: BSN, 2012.
- [11] F. Hamdi, F. E. P. Lapian, M. Tumpu, D. S. S. Mabui, A. Raidyarto, A. A. Sila, and P. R. Rangan, *Teknologi Beton*. Tohar Media, 2022.
- [12] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 4431:2011 - Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan*. Jakarta: BSN, 2011.

- [13] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-2847-2002 - Rumus Beton Normal tanpa Menggunakan Tulangan dengan Modulus Keruntuhan*. Jakarta: BSN, 2002.
- [14] I. Suyanto, "Pengaruh Limbah Beton sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Pengujian Kuat Tekan Beton," 2025.
- [15] Troxell (1968) dan Orchard (1979), "Absorpsi Batas Ijin (Teori)."