

PEMANFAATAN AGREGAT KASAR DAUR ULANG DALAM CAMPURAN BETON NORMAL DENGAN VARIASI SUBSTITUSI PADA TAKARAN 1:2:3

Anang Bagus Dwi Saputro, Abdul Aziz, Abdullah, Tenardhy Aryarama Wijaya
Program Studi Teknik Sipil Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman, Ungaran, Indonesia
E-mail Korespondensi: anangbds14@gmail.com

ABSTRACT

The rapid growth of infrastructure development has led to an increased demand for construction materials, particularly concrete. On the other hand, the high volume of concrete waste from demolished buildings has created significant environmental challenges. Utilizing construction waste as an alternative building material is an effort to support sustainable development. One approach that can be taken is the use of recycled coarse aggregate as a substitute for natural coarse aggregate in concrete mixtures. This study aims to determine the effect of varying levels of recycled coarse aggregate substitution on the compressive strength of normal concrete using a 1:2:3 mix ratio (cement : sand : coarse aggregate). The substitution variations used in this study are 0%, 50%, and 100% recycled coarse aggregate. The recycled aggregates were obtained from crushed hardened concrete waste, then sieved according to standard gradation requirements. Testing was conducted on cylindrical specimens measuring 15x30 cm at the ages of 7, 14, and 28 days. The test results showed that normal concrete achieved a compressive strength of 11.978 MPa, while the 50% recycled aggregate concrete (BDU 50%) achieved 12.997 MPa, and the 100% recycled aggregate concrete (BDU 100%) achieved 12.986 MPa. The BDU 50% mix showed an increase of 8.505% in compressive strength compared to normal concrete, while the BDU 100% mix showed an increase of 8.415%. Therefore, the use of 50% recycled coarse aggregate can be considered a viable alternative material in concrete production, offering an environmentally solution for sustainable construction.

Keywords: *normal concrete, recycled aggregates, compressive strength, concrete recycling, 1:2:3*

ABSTRAK

Pertumbuhan pembangunan infrastruktur yang pesat berdampak pada peningkatan kebutuhan bahan konstruksi, khususnya beton. Di sisi lain, tingginya volume limbah beton dari pembongkaran bangunan lama menimbulkan permasalahan lingkungan yang signifikan. Pemanfaatan limbah konstruksi sebagai bahan bangunan alternatif merupakan upaya mendukung pembangunan berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah menggunakan agregat kasar daur ulang (*recycled coarse aggregate*) sebagai pengganti agregat kasar alami dalam campuran beton. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi substitusi agregat kasar daur ulang terhadap kuat tekan beton normal dengan perbandingan campuran 1:2:3 (semen : pasir : agregat kasar). Variasi substitusi yang digunakan adalah tiga variasi campuran yaitu, 0%, 50%, dan 100% agregat kasar daur ulang. Agregat daur ulang diperoleh dari hasil penghancuran limbah beton keras, kemudian disaring sesuai gradasi standar. Pengujian dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder berukuran 15x30 cm pada umur 7, 14, dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kuat tekan beton normal menghasilkan kuat tekan sebesar 11,978 MPa, BDU 50% menghasilkan kuat tekan 12,997 MPa dan BDU 100% menghasilkan 12,986 MPa. BDU 50% mengalami peningkatan sebesar 8,505% dari beton normal, sedangkan BDU 100% mengalami peningkatan sebesar 8,415%. Dengan demikian, penggunaan agregat kasar daur ulang sebesar 50% dapat dipertimbangkan sebagai alternatif material yang layak dalam pembuatan beton, dan menjadi alternatif yang layak dan ramah lingkungan dalam pembuatan beton.

Kata kunci : *beton normal, agregat daur ulang, kuat tekan, daur ulang beton, 1:2:3*

PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan konstruksi yang paling umum digunakan dalam berbagai proyek infrastruktur karena kekuatan, keawetan, dan kemudahan produksinya. Dalam komposisi beton, agregat kasar berperan besar, yaitu sekitar 60–75% dari total volume beton (Neville, 2011). Akibat tingginya kebutuhan terhadap agregat, eksploitasi sumber daya alam, khususnya batuan alam sebagai agregat kasar, semakin meningkat. Hal ini dapat menyebabkan degradasi lingkungan seperti kerusakan lahan, penggundulan bukit, serta pencemaran air tanah.

Di sisi lain, sektor konstruksi juga merupakan penyumbang besar limbah padat, terutama dari kegiatan pembongkaran bangunan yang menghasilkan limbah beton dalam jumlah besar. Menurut Kementerian PUPR (2020), limbah konstruksi menyumbang lebih dari 50% total limbah padat di kawasan urban di Indonesia. Tanpa pengelolaan yang baik, limbah tersebut akan memperparah permasalahan lingkungan, termasuk pencemaran dan keterbatasan lahan pembuangan.

Untuk menjawab tantangan tersebut, pendekatan berkelanjutan dalam konstruksi sangat diperlukan, salah

satunya melalui pemanfaatan kembali limbah beton sebagai bahan konstruksi, khususnya sebagai agregat kasar daur ulang (*recycled coarse aggregate*). Agregat daur ulang diperoleh dari hasil penghancuran limbah beton, kemudian disaring dan diproses ulang sehingga dapat digunakan dalam campuran beton baru. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa beton dengan agregat daur ulang dapat tetap mencapai kuat tekan yang cukup, meskipun umumnya sedikit lebih rendah dari beton konvensional (Prahasto, 2018; Limbachiya *et al.*, 2007).

Dalam penelitian ini, akan dikaji pemanfaatan agregat kasar daur ulang sebagai substitusi agregat kasar alami dalam campuran beton normal dengan takaran 1:2:3 (semen:pasir:agregat kasar). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh variasi persentase substitusi terhadap kuat tekan beton, serta mencari batas optimal substitusi yang masih memenuhi standar kuat tekan beton struktural sesuai SNI 2493:2011.

Dengan memanfaatkan limbah beton sebagai agregat kasar daur ulang, diharapkan dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya alam sekaligus menekan volume limbah konstruksi. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan

kontribusi nyata terhadap penerapan prinsip *green construction* dalam industri konstruksi di Indonesia.

LANDASAN PENELITIAN

1. Deni Anwar Hamid, Solihin As'ad, Endah Safitri (2014) dari hasil penelitian yang berjudul "Pengaruh Penggunaan Agregat Daur Ulang Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Berkinerja Tinggi Grade 80" dapat disimpulkan bahwa : Penurunan kuat tekan beton seiring meningkatnya persentase substitusi agregat halus daur ulang menunjukkan bahwa kualitas agregat daur ulang masih belum mampu menggantikan peran agregat alami secara optimal.

Substitusi 20% saja telah menurunkan kuat tekan hingga 20,97%, yang mengindikasikan bahwa karakteristik fisik agregat daur ulang seperti porositas tinggi dan daya serap air yang besar mempengaruhi proses hidrasi semen. Semakin tinggi persentase penggantian, penurunan kuat tekan cenderung terus berlanjut meskipun dengan selisih yang lebih kecil, hingga penurunan total sebesar 37,09% pada substitusi penuh 100%. Hal ini memperlihatkan bahwa pemanfaatan agregat daur ulang dalam beton berkinerja tinggi perlu disesuaikan dengan perlakuan atau modifikasi tambahan agar dapat mempertahankan performa struktural beton.

2. Andika Serdianto Rizki Syah Putra dari hasil penelitian nya yang berjudul "Penggunaan Recycle Concrete Aggregate Terhadap Kuat Tekan Beton Berbasis Analytical Hierarchy Process" (2023) dapat disimpulkan bahwa : Pengaruh penggantian agregat kasar daur ulang (Recycled Coarse Aggregate/RCA) terhadap mutu campuran beton menunjukkan variasi pada nilai kuat tekan. Berdasarkan hasil pengujian, kuat tekan beton dengan RCA 0% (beton normal) mencapai 24,533 MPa. Saat RCA digunakan sebesar 25%, kuat tekan meningkat menjadi 25,415 MPa. Namun, pada penggantian RCA sebesar 50%, terjadi penurunan kuat tekan menjadi 22,914 MPa. Menariknya, pada tingkat penggantian RCA sebesar 75%, kuat tekan justru meningkat secara signifikan hingga mencapai 26,023 MPa, nilai tertinggi di antara semua variasi. Sementara itu, beton dengan RCA 100% mencatatkan kuat tekan sebesar 25,256 MPa.

Untuk menentukan proporsi optimal penggunaan RCA dalam campuran beton, dilakukan analisis menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) melalui perangkat lunak Expert Choice versi 11. Hasil analisis menunjukkan bahwa komposisi penggantian RCA sebesar 25%

merupakan desain paling optimal, dengan tingkat preferensi tertinggi sebesar 51,7%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan RCA 25% mampu memberikan keseimbangan terbaik antara performa mekanis dan efisiensi material dalam campuran beton daur ulang.

3. Zulfitriah Ansar (2024) dari hasil penelitiannya yang berjudul "Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Dengan penambahan Aditif Beton Mix Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton" dapat disimpulkan bahwa: Hasil uji kuat tekan beton menunjukkan bahwa substitusi 25% agregat kasar dengan limbah beton tanpa tambahan aditif menyebabkan penurunan kuat tekan secara signifikan pada semua umur pengujian. Nilai kuat tekan 28 hari turun menjadi 21,89 MPa dari beton normal sebesar 25,38 MPa. Namun, penambahan aditif Beton Mix sebanyak 400 ml dan 600 ml menunjukkan peningkatan yang signifikan. Pada dosis 400 ml, kuat tekan meningkat menjadi 25,48 MPa dan pada 600 ml mencapai 28,31 MPa, yang bahkan melampaui kuat tekan beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun limbah beton cenderung menurunkan kekuatan beton, penambahan aditif kimia dapat memperbaiki dan bahkan meningkatkan performa struktural beton tersebut.

4. Aprizal Fauzi dan Eko Walujodjati (2021) dari hasil penelitiannya yang berjudul "Kuat Tekan Beton Substitusi Agregat Kasar Daur Ulang dan Bahan Tambah Tipe F Super Plasticizer" dapat disimpulkan bahwa: Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 14 hari menunjukkan bahwa penambahan superplasticizer Tipe F memberikan efek bervariasi terhadap performa beton dengan substitusi agregat kasar daur ulang. Kuat tekan tertinggi dicapai pada substitusi 60% RCA (Recycled Concrete Aggregate) dengan nilai 8,49 MPa, sedikit lebih tinggi dari beton normal sebesar 8,12 MPa. Sementara itu, campuran dengan substitusi 20% dan 40% menghasilkan kuat tekan sebesar 7,64 MPa dan 7,74 MPa, yang masih berada di bawah beton normal. Penurunan paling signifikan terjadi pada substitusi 80%, yang hanya mencapai kuat tekan 6,79 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan superplasticizer efektif pada komposisi tertentu, khususnya pada 60% RCA, namun tidak menjamin peningkatan performa secara linear pada substitusi yang lebih tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan bahan tambah kimia dapat meningkatkan performa beton hingga titik tertentu, namun efektivitasnya menurun pada persentase substitusi yang terlalu tinggi.
5. Muhammad Arrie Rafshanjani Amin dan Inseun Yuri Salena (2025) dari hasil

penelitian nya yang berjudul "Analisis Efisiensi Beton Daur Ulang sebagai Alternatif Agregat pada Konstruksi Berkelanjutan" dapat disimpulkan bahwa : Hasil pengujian kuat tekan beton menunjukkan bahwa semua variasi substitusi limbah beton pada umur 7 dan 28 hari masih memenuhi target kuat tekan minimal 25 MPa. Substitusi 10% limbah beton (LB10) memberikan hasil terbaik dengan peningkatan kuat tekan menjadi 28,36 MPa pada umur 7 hari dan 40,03 MPa pada umur 28 hari, atau naik sebesar 16,37% dibanding beton normal. Namun, pada substitusi 20% hingga 40%, terjadi penurunan kuat tekan, meskipun masih berada di atas 32 MPa pada umur 28 hari. Substitusi 20% dan 40% menghasilkan kuat tekan yang sama pada umur 28 hari, yaitu 32,22 MPa. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh penurunan kualitas zona transisi antar muka, akibat meningkatnya kandungan limbah beton. Meskipun begitu, seluruh variasi tetap menunjukkan kinerja struktural yang layak untuk digunakan dalam konstruksi.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam Tugas Akhir ini termasuk dalam kategori penelitian eksperimental, yaitu suatu

pendekatan ilmiah yang dilakukan dengan cara membuat dan menguji variasi campuran beton berdasarkan satu atau lebih variabel yang telah ditentukan sebelumnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengamati dan menganalisis bagaimana perubahan pada variabel-variabel tertentu seperti komposisi bahan, proporsi campuran, atau karakteristik material yang dapat memengaruhi sifat-sifat beton, khususnya pada kuat tekan beton.

Penelitian eksperimen menekankan pada proses kontrol dan manipulasi variabel, sehingga memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi hubungan sebab-akibat secara lebih jelas dan terukur. Dalam konteks ini, penelitian dilakukan melalui serangkaian pengujian laboratorium, di mana tiap variasi campuran beton diuji menggunakan standar pengujian yang berlaku, guna memperoleh data yang valid dan dapat dibandingkan secara sistematis

2. Pengujian Bahan

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan material yang digunakan dalam penelitian, khususnya dalam menentukan apakah material tersebut memenuhi kriteria sebagai bahan campuran dalam pembuatan beton. Pengujian terhadap material meliputi dua jenis uji utama, yaitu:

- a. Uji Gradasi (Analisis Saringan) terhadap pasir dan kerikil untuk

mengetahui distribusi ukuran butir agregat,

3. Pembuatan *Mix Design*

Pada tahap ini, perencanaan campuran beton dilakukan dengan menggunakan proporsi campuran bahan penyusun beton, yaitu 1 bagian semen : 2 bagian agregat halus : 3 bagian agregat kasar. Dalam pelaksanaan perencanaan ini, alat bantu yang digunakan untuk mengukur takaran masing-masing material adalah ember, yang berfungsi sebagai satuan volume dalam proses pencampuran pada penelitian ini.

4. Pembuatan Benda Uji

Setelah proporsi campuran agregat ditetapkan, langkah selanjutnya adalah proses pembuatan benda uji. Tahapan ini mencakup beberapa proses penting, yaitu pengadukan adukan beton, pengujian konsistensi campuran melalui uji slump, proses pengecoran atau pemasukan adukan beton ke dalam cetakan, pelepasan benda uji dari cetakan setelah waktu tertentu, serta perawatan benda uji selama masa pengerasan. Adapun tahapan pembuatan benda uji dapat dilihat di tabel berikut :

Tabel 1 Proporsi adukan beton per 5 sampel

NO	Variasi	Semen (Kg)	Agregat Halus (Kg)	Agregat Kasar (Kg)	Agregat Kasar Daur Ulang	Air (Kg)
1	BN	8,46	23,16	30,66	-	5,1
2	BDU 50%	8,46	23,16	15,33	15,33	5,1
3	BDU 100%	8,46	23,16	-	30,66	5,1

ANALISA PERHITUNGAN BENDA UJI

1. Uji Slump

Pengujian slump dilakukan untuk mengetahui tingkat kelecakan

(*workability*) dari campuran beton yang telah dibuat. Dalam penelitian ini, target nilai slump beton yang direncanakan adalah sebesar 10 ± 2 cm.

Tabel 2 Hasil Uji *Slump*

Sampel Benda Uji	Presentase Beton Daur Ulang (%)	Nilai Slump (cm)
BN	0	12,8
BDU 50%	50	14,3
BDU 100%	100	12,3

2. Berat Volume Benda Uji umur 7 hari silinder berdasarkan umur benda uji yang akan ditampilkan pada Tabel 3 berikut :
- Berikut adalah data berat benda uji

Tabel 3 Berat Volume Benda Uji Silinder Umur 7 Hari

VARIASI	TANGGAL		UMUR	BERAT	BERAT
Campuran	Pembuatan	Uji	(Hari)	(Kg)	Rata-rata (Kg)
BN	16 Mei 2025	23 Mei 2025	7	12,296	12,296
BDU 50%	16 Mei 2025	23 Mei 2025	7	12,162	12,162
BDU 100%	16 Mei 2025	23 Mei 2025	7	11,784	11,784

Berdasarkan hasil penelitian yang telah kami lakukan, diperoleh hasil beton normal memiliki berat volume tertinggi, yaitu sebesar 12,296 kg. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan material konvensional memberikan massa jenis yang lebih besar dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat daur ulang. Sementara itu, beton dengan substitusi agregat kasar daur ulang sebesar 100% menunjukkan berat volume terendah, yaitu 11,784 kg, yang

mengindikasikan bahwa penggunaan agregat daur ulang secara penuh dapat mengurangi densitas beton secara signifikan.

3. Berat Volume Benda Uji umur 14 hari

Berikut adalah data berat benda uji silinder berdasarkan umur benda uji yang akan ditampilkan pada Tabel berikut :

Tabel 4 Berat Volume Benda Uji Silinder Umur 14 Hari

VARIASI	TANGGAL		UMUR	BERAT	BERAT
Campuran	Pembuatan	Uji	(Hari)	(Kg)	Rata-rata (Kg)
BN 1	16 Mei 2025	30 Mei 2025	14	12,538	12,4575
BN 2	16 Mei 2025	30 Mei 2025	14	12,377	
BDU 1 50%	16 Mei 2025	30 Mei 2025	14	12,165	12,146
BDU 2 50%	16 Mei 2025	30 Mei 2025	14	12,127	
BDU 1 100%	16 Mei 2025	30 Mei 2025	14	11,633	11,592
BDU 2 100%	16 Mei 2025	30 Mei 2025	14	11,551	

Berdasarkan hasil penelitian yang telah kami lakukan, diperoleh hasil beton normal memiliki berat volume tertinggi dengan rata-rata yaitu sebesar 12,457 kg. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan material konvensional memberikan massa jenis yang lebih besar dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat daur ulang. Sementara itu, beton dengan substitusi agregat kasar daur ulang sebesar

100% menunjukkan berat volume terendah dengan rata-rata yaitu 11,592 kg, yang mengindikasikan bahwa penggunaan agregat daur ulang secara penuh dapat mengurangi densitas beton secara signifikan.

4. Berat Volume Benda Uji umur 28 hari

Berikut adalah data berat benda uji silinder berdasarkan umur benda uji yang akan ditampilkan pada Tabel.

Tabel 5 Berat Volume Benda Uji Silinder Umur 28 Hari

VARIASI	TANGGAL		UMUR	BERAT	BERAT
Campuran	Pembuatan	Uji	(Hari)	(Kg)	Rata-rata (Kg)
BN 1	16 Mei 2025	13 Juni 2025	28	12,381	12,45
BN 2	16 Mei 2025	13 Juni 2025	28	12,519	
BDU 1 50%	16 Mei 2025	13 Juni 2025	28	12,02	11,956
BDU 2 50%	16 Mei 2025	13 Juni 2025	28	11,892	
BDU 1 100%	16 Mei 2025	13 Juni 2025	28	11,864	11,755
BDU 2 100%	16 Mei 2025	13 Juni 2025	28	11,646	

Berdasarkan hasil penelitian yang telah kami lakukan, diperoleh hasil

beton normal memiliki berat volume tertinggi dengan rata-rata yaitu sebesar

12,45 kg. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan material konvensional memberikan massa jenis yang lebih besar dibandingkan dengan beton yang menggunakan agregat daur ulang. Sementara itu, beton dengan substitusi agregat kasar daur ulang sebesar 100% menunjukkan berat volume terendah dengan rata-rata yaitu 11,755 kg, yang mengindikasikan bahwa penggunaan agregat daur ulang secara penuh dapat mengurangi densitas beton secara signifikan.

5. Pengujian Kuat Tekan

Pada tahap ini, dilakukan pengujian kuat tekan benda uji silinder dengan menggunakan metode yang sesuai dengan standar SNI 1974:2011. Pengujian ini dilakukan pada berbagai

variasi campuran beton dan juga pada siklus umur yang berbeda pada masing-masing benda uji. Dalam setiap pengujian yang dibagi berdasarkan umur dan variasi campuran beton pada pengujian umur 7 hari diambil satu sampel di setiap jenis variasi dan pada pengujian umur 14 dan 28 hari masing-masing diambil 2 (dua) benda uji untuk dilakukan pengujian kuat tekannya dan akan diambil kuat tekan rata-rata.

a. Analisis Pemeriksaan Kuat Tekan Umur 7 Hari

Hasil dari kuat tekan rata-rata yang diperoleh akan digunakan sebagai hasil akhir dari pengujian kuat tekan beton. Hasil dari uji kuat tekan dapat dilihat pada Tabel :

Tabel 6 Pengujian Kuat Tekan Umur 7 Hari

VARIASI	GAYA TEKAN		HASIL	KONVERSI KUAT TEKAN UMUR 28 HARI (Mpa)	PENINGKATAN
Campuran	(Ton)	(N)	Kuat Tekan (Mpa)		(%)
BN	12	117679,8	6,663	9,518	0,000
BDU 50%	14	137293,1	7,773	11,104	16,667
BDU 100%	18	176519,7	9,994	14,277	50,000

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari, diketahui bahwa nilai kekuatan tekan tertinggi diperoleh dari beton dengan

substitusi agregat kasar daur ulang sebesar 100%, yaitu sebesar 9,99 MPa. Sebaliknya, nilai terendah tercatat pada beton normal tanpa substitusi, dengan

kekuatan tekan sebesar 6,66 MPa.

Adapun beton dengan substitusi agregat daur ulang sebesar 50% menunjukkan kekuatan tekan antara keduanya, yaitu sebesar 7,77 MPa. Data ini menunjukkan bahwa semakin besar persentase penggunaan agregat kasar daur ulang, semakin tinggi pula nilai kuat tekan yang dihasilkan pada usia 7 hari, sebagaimana ditampilkan pada Tabel diatas.

Jadi dapat disimpulkan untuk hasil pengujian kuat tekan di

umur 7 hari nilai uji kuat tekan yang paling bagus yaitu yang menggunakan substitusi beton daur ulang sebesar 100% dan hasil paling kecil yaitu beton normal.

b. Analisis Pemeriksaan Kuat Tekan Umur 14 Hari

Hasil dari kuat tekan rata-rata yang diperoleh akan digunakan sebagai hasil akhir dari pengujian kuat tekan beton. Hasil dari uji kuat tekan dapat dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 7 Pengujian Kuat Tekan Umur 14 Hari

VARIASI	GAYA TEKAN		KONVERSI KUAT TEKAN UMUR 28 HARI (Mpa)	KUAT TEKAN RATA-RATA ONVERSI UMUR 28 HA (Mpa)	PENINGKATAN
Campuran	(Ton)	(N)			(%)
BN 1	20,5	201036,325	12,934	13,092	0,000
BN 2	21	205939,65	13,250		
BDU 1 50%	25	245166,25	15,773	12,619	-3,614
BDU 2 50%	15	147099,75	9,464		
BDU 1 100%	19	186326,35	11,988	11,357	-13,253
BDU 2 100%	17	166713,05	10,726		

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 14 hari, diketahui bahwa nilai kekuatan tekan tertinggi dicapai oleh beton normal (BN), dengan nilai sebesar 11,521 MPa. Sementara itu, nilai kekuatan tekan terendah diperoleh dari beton dengan substitusi agregat kasar daur ulang sebesar 100% (BDU 100%), yaitu sebesar 9,994 MPa. Beton dengan substitusi agregat daur ulang

sebesar 50% (BDU 50%) menunjukkan nilai kekuatan tekan sebesar 11,104 MPa, yang berada di antara beton normal dan beton daur ulang penuh. Persentase perbedaan kekuatan tekan ini menunjukkan bahwa penggunaan agregat kasar daur ulang cenderung menurunkan kekuatan tekan beton pada usia 14 hari. Hasil lengkap dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 7 Jadi dapat

disimpulkan untuk hasil pengujian kuat tekan pada umur 14 hari, pola yang berbeda teramati, di mana beton normal memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 11,521 MPa. Sementara itu, beton dengan 100% agregat daur ulang menunjukkan nilai terendah sebesar 9,994 MPa, dan beton dengan substitusi 50% berada di tengah dengan nilai 11,104 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa seiring bertambahnya umur beton, kualitas dan sifat fisik agregat daur ulang mulai memengaruhi performa mekanis beton secara negatif. Penggunaan agregat daur ulang dalam campuran beton

berpengaruh terhadap nilai kuat tekan. Meskipun pada umur awal (7 hari) menunjukkan hasil yang cukup baik, namun pada umur yang lebih matang (14 hari), kekuatan tekan cenderung menurun seiring dengan meningkatnya persentase agregat daur ulang yang digunakan.

c. Analisis Pemeriksaan Kuat Tekan Umur 28 Hari

Hasil dari kuat tekan rata-rata yang diperoleh akan digunakan sebagai hasil akhir dari pengujian kuat tekan beton. Hasil dari uji kuat tekan dapat dilihat pada Tabel

Tabel 8 Pengujian Kuat Tekan Umur 28 Hari

VARIASI	GAYA TEKAN		HASIL	KUAT TEKAN	PENINGKATAN
Campuran	(Ton)	(N)	Kuat Tekan (Mpa)	Rata-rata (Mpa)	(%)
BN 1	25	245166,25	13,881	13,325	0,000
BN 2	23	225552,95	12,770		
BDU 1 50%	29	284392,85	16,102	15,269	14,583
BDU 2 50%	26	254972,9	14,436		
BDU 1 100%	28	274586,2	15,546	13,325	0,000
BDU 2 100%	20	196133	11,104		

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton pada usia 28 hari, diperoleh hasil substitusi agregat kasar daur ulang memberikan pengaruh terhadap kekuatan beton yang dihasilkan. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada beton dengan substitusi agregat daur ulang sebesar

50%, yaitu sebesar 15,269 MPa. Sementara itu, beton normal (tanpa substitusi) dan beton dengan substitusi agregat daur ulang sebesar 100% menunjukkan nilai kuat tekan yang sama, yaitu sebesar 13,325 MPa.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan agregat daur ulang pada

kadar 50% dapat meningkatkan kekuatan tekan beton melebihi beton normal. Sebaliknya, penggunaan agregat daur ulang secara penuh (100%) tidak memberikan peningkatan kekuatan tekan dan cenderung setara dengan beton normal. Oleh karena itu, substitusi agregat kasar daur ulang sebesar 50% dapat dipertimbangkan sebagai alternatif yang optimal dalam menghasilkan beton dengan performa mekanis yang lebih baik sekaligus mendukung prinsip keberlanjutan dalam konstruksi.

6. Pengaruh Variasi Substitusi Agregat Kasar Daur Ulang

Pengujian kuat tekan beton bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi agregat kasar daur ulang terhadap kekuatan mekanis beton, khususnya pada umur 28 hari. Data hasil pengujian telah dikonversi ke umur 28 hari sesuai ketentuan SNI untuk mendapatkan hasil yang dapat dibandingkan secara langsung antar variasi campuran.

Tabel di bawah ini menunjukkan perbandingan kuat tekan rata-rata dari masing-masing variasi campuran beton:

Tabel 9 Perbandingan Kuat Tekan Rata-Rata

Campuran Variasi	Kuat Tekan Rata-Rata Konversi 28 Hari (MPa)	Peningkatan (%)
BN	11,978	0,000
BDU 50%	12,997	8,505
BDU 100%	12,986	8,415

Berdasarkan tabel tersebut, beton normal (BN) yang menggunakan 100% agregat kasar alami menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 11,978 MPa. Nilai ini dijadikan sebagai pembanding utama dalam evaluasi kinerja beton dengan agregat daur ulang. Pada campuran beton dengan substitusi agregat kasar daur ulang sebesar 50% (BDU 50%), diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 12,997 MPa. Terjadi peningkatan

sebesar 8,505% dibandingkan dengan beton normal. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan sebagian agregat daur ulang tidak menurunkan kualitas beton, bahkan memberikan peningkatan performa secara mekanis. Sementara itu, beton dengan substitusi agregat kasar daur ulang sebesar 100% (BDU 100%) menunjukkan kuat tekan rata-rata yaitu sebesar 12,986 MPa. Nilai ini mengalami peningkatan sebesar 8,415% MPa dibandingkan

dengan beton normal. Meskipun menggunakan sepenuhnya material daur ulang sebagai pengganti agregat kasar, performa beton tidak menurun, bahkan melebihi beton konvensional. Jika dibandingkan antara kedua variasi beton daur ulang, yaitu BDU 50% dan BDU 100%, terdapat selisih kuat tekan sebesar 0,011 MPa. Ini menunjukkan bahwa peningkatan proporsi agregat daur ulang dari 50% menjadi 100% masih memberikan keuntungan dari sisi kekuatan tekan. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa agregat kasar daur ulang memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti agregat alami dalam campuran beton. Peningkatan kuat tekan pada variasi BDU 50% dan BDU 100% menunjukkan bahwa material daur ulang tidak hanya layak digunakan, tetapi juga mampu memberikan hasil yang kompetitif atau bahkan lebih baik dibandingkan beton normal. Dari sudut pandang teknis dan lingkungan, hal ini mendukung konsep konstruksi berkelanjutan dengan mengurangi ketergantungan terhadap material alam dan memanfaatkan limbah konstruksi secara produktif.

PENUTUP

1. Berdasarkan hasil penelitian mengenai pemanfaatan agregat kasar daur ulang dalam campuran beton normal dengan variasi substitusi, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:
 - a) Pada umur 7 hari, beton dengan substitusi agregat kasar daur ulang menunjukkan peningkatan kuat tekan dibandingkan beton normal sebagai beton kontrol. Hal ini disebabkan oleh keberadaan sisa pasta semen pada agregat daur ulang yang masih mampu bereaksi ulang, serta bentuk agregat yang tidak seragam sehingga menciptakan efek interlocking yang memperkuat struktur beton pada tahap awal pengerasan.
 - b) Pada umur 14 hari, beton daur ulang mengalami penurunan kuat tekan dibandingkan beton normal sebagai beton kontrol. Penurunan ini dipengaruhi oleh meningkatnya persentase agregat kasar daur ulang yang digunakan, yang seiring bertambahnya umur beton, mulai menunjukkan pengaruh negatif terhadap kekuatan, diduga akibat kualitas agregat daur ulang yang lebih rendah dibandingkan agregat alami.

- c) Pada umur 28 hari, beton normal atau beton kontrol menghasilkan kuat tekan yang relatif sama dengan beton daur ulang 100%. Sementara itu, beton dengan substitusi agregat kasar daur ulang sebesar 50% menunjukkan nilai kuat tekan tertinggi dibandingkan dengan beton normal atau beton kontrol.
2. Pengaruh variasi substitusi agregat kasar daur ulang terhadap kuat tekan beton normal dengan perbandingan campuran 1:2:3, bisa dilihat pada tabel 4.11, dimana hasil kuat tekan rata-rata menunjukkan adanya peningkatan terhadap kuat tekan beton normal baik BDU 50% maupun BDU 100%.
3. Pada hasil pengujian terakhir kuat tekan rata-rata beton konversi umur 28 hari menunjukkan bahwa variasi BDU 50% memiliki kuat tekan tertinggi daripada beton normal dan BDU 100%, hal ini menunjukkan bahwa persentase substitusi sebesar 50% merupakan komposisi yang paling optimal dalam menghasilkan beton daur ulang yang kuat dan stabil.
4. Dengan demikian, penggunaan agregat kasar daur ulang sebesar 50% dapat dipertimbangkan sebagai alternatif material yang layak dalam

pembuatan beton, karena mampu menghasilkan kuat tekan yang lebih baik daripada beton normal serta mendukung prinsip keberlanjutan dalam industri konstruksi melalui pengelolaan limbah beton.

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

1. Penggunaan agregat kasar daur ulang sebesar 50% terbukti memberikan hasil kuat tekan yang optimal. Oleh karena itu, disarankan agar penggunaan agregat daur ulang dalam campuran beton mulai dipertimbangkan dalam skala proyek konstruksi nyata sebagai upaya mendukung Pembangunan berkelanjutan dan pengurangan limbah konstruksi.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi tingkat substitusi agregat daur ulang dengan variasi yang lebih beragam, serta penggunaan bahan tambah (*admixture*) seperti *fly ash* atau *silica fume* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap mutu dan durabilitas beton daur ulang.

DAFTAR PUSTAKA

Abibullah. (2021). Pengaruh Pemanfaatan

- Limbah Beton Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Karajata Engineering*. 1(2): 32-40.
- Badan Standar Nasional. (2012). SNI 7656:2012. Spesifikasi agregat ringan untuk beton. Jakarta: BSN.
- Badan Standar Nasional. (2011). SNI 2493:2011. Agregat daur ulang untuk campuran beton. Jakarta: BSN.
- Badan Standar Nasional. (2004). SNI 15-2049-2004 – Semen Portland. Jakarta: BSN.
- Badan Standar Nasional. (2002). SNI 02-6820-2002 – Spesifikasi air untuk beton. Jakarta: BSN.
- Badan Standar Nasional. (2002). SNI 03-6820-2002 – Spesifikasi air untuk beton. Jakarta: BSN.
- Badan Standar Nasional. (2000) Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. SNI 03-2834-2000. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standar Nasional. (2008) Cara Uji Slump Beton. SNI 1972:2008. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Badan Standar Nasional. (2011) Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Banda Uji Silinder. SNI 1974:2011. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Dewi, S. U., & Jaya, F. H. (2022). Analisis Pemanfaatan Bahan Limbah Rumah Tangga Sebagai Campuran Beton Mutu Rendah. *Tapak (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 12(1), 71-78.
- Hardjasaputra, H. & Ciputera, A. (2008). Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Beton Baru. Banten: Jurnal Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan.
- Hendriyani, I., Pratiwi, R., & Aprilianus, Y., (2016). Pengaruh Jenis Air Pada Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Transukma*. 1(2): 202-212
- Manzi, S., Mazzotti, C., & Bignozzi, M. C. (2013). *Short And Long-Term Behavior Of Structural Concrete With Recycled Concrete Aggregate*.
- As'ad, Sholihin dan Safitri, Endah., *Compressing Strength of Concrete using Recycled Aggregate From Concrete and Masonry Debris, Proceedings of the 4th ASEAN Civil Engineering Conference*, Yogyakarta, 2011.
- Hardjasaputra, Harianto, A. Ciputera dan F. Sutanto, Pengaruh Penggunaan Limbah Konstruksi Sebagai Agregat Kasar dan Agregat Halus Pada Kuat Tekan Beton Daur Ulang. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 2*, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, pp. 433-445, 2008.
- Martanto, W.T, Pengaruh Komposisi Agregat Halus Daur Ulang terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Normal dan Beton Mutu Tinggi, Skripsi, Universitas Negeri Sebelas Maret, 2012.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Andi Offset, Yogyakarta.