



Pemanfaatan Limbah Karet Bekas sebagai Agregat Kasar pada Pembuatan Beton Berkelanjutan

Muhammad Ikhsan Priyanitama¹, Samsul Abdul Rahman Sidik Hasibuan²*

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area

*Corresponding author. samsulrahman@staff.uma.ac.id

ARTICLE INFO

Keywords:

Waste rubber, coarse aggregate, concrete, compressive strength, workability, sustainability, environmental impact, concrete mix, material substitution, green concrete

How to cite:

Muhammad Ikhsan Priyanitama, Samsul Abdul Rahman Sidik Hasibuan (2025), Pemanfaatan Limbah Karet Bekas sebagai Agregat Kasar pada Pembuatan Beton Berkelanjutan



ABSTRACT

Concrete is a primary material in construction with significant environmental impacts, especially due to the use of cement and natural aggregates. One alternative to reduce this impact is by utilizing waste rubber as a partial replacement for coarse aggregate in concrete production. This study aims to evaluate the effect of adding waste rubber on the mechanical properties of concrete, particularly compressive strength and workability. In this study, waste rubber was added at 5%, 10%, and 15% of the total weight of coarse aggregate. Slump tests were conducted to measure the workability of the concrete, while compressive strength tests were carried out at 14 and 28 days to evaluate the development of the concrete's strength. The results of the study show that concrete with added waste rubber exhibited better workability, indicated by higher slump values compared to normal concrete. Although the compressive strength of concrete with waste rubber was slightly lower at 14 days, at 28 days, the strength significantly increased. This study suggests that waste rubber can be used as an alternative coarse aggregate in concrete, considering the appropriate proportion to achieve a balance between the strength of the concrete and environmental sustainability.

1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur yang pesat dalam beberapa dekade terakhir telah menyebabkan peningkatan penggunaan beton sebagai material utama dalam konstruksi. Beton, sebagai material yang sangat penting dalam pembangunan, memerlukan bahan baku utama seperti semen, agregat kasar, dan agregat halus. Namun, produksi semen konvensional memberikan kontribusi besar terhadap emisi gas rumah kaca, yang menyebabkan dampak lingkungan yang signifikan. Selain itu, permintaan akan agregat kasar juga menyebabkan eksploitasi sumber daya alam yang berlebihan, yang dapat menurunkan ketersediaan dan kualitas sumber daya alam tersebut (Fikri, Utama, & Kadarningsih, 2025; Mahardana et al., 2023).

Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan limbah karet bekas sebagai substitusi agregat kasar pada pembuatan beton. Limbah karet bekas, seperti ban bekas, merupakan salah satu jenis limbah padat yang sulit terurai secara alami dan menjadi masalah lingkungan yang besar. Dengan menggantikan sebagian agregat kasar dengan limbah karet bekas, diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam yang tidak terbarukan, serta memberikan solusi pengelolaan limbah karet yang lebih ramah lingkungan (Hasibuan, Prayuda, & Muhathir, 2023; Nurchasanah et al., 2022). Penelitian ini akan mengevaluasi dampak penambahan karet bekas terhadap sifat mekanik beton, seperti kuat tekan dan workability (Raafidiani, Handriawan, & Febriansya, 2022).

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan untuk mengurangi dampak lingkungan dari industri konstruksi dan pengelolaan limbah. Beton yang ramah lingkungan dapat mengurangi konsumsi semen dan agregat alami, serta memberikan solusi bagi pengelolaan limbah karet bekas yang sangat melimpah namun sulit didaur ulang. Dengan menggantikan sebagian agregat kasar dengan limbah karet bekas, diharapkan dapat mengurangi volume limbah tersebut dan memberikan alternatif material beton yang lebih berkelanjutan (Kazmi, Munir, & Wu, 2021; Permatasari, 2020).

Variabel yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi pengujian kuat tekan beton pada umur 14 dan 28 hari, pengujian slump untuk mengevaluasi workability, serta analisis distribusi ukuran agregat kasar dan halus. Selain itu, kadar air dan kadar lumpur pada agregat kasar dan halus juga akan diuji untuk memastikan kualitas bahan baku beton yang digunakan (Setiaji, Riyanto, & Novianto, 2021; Purnama, Iduwin, & Putri, 2023). Hubungan antara penambahan karet bekas sebagai substitusi agregat kasar dengan sifat mekanik beton akan dianalisis melalui persamaan regresi linear.

Penelitian ini menawarkan pendekatan inovatif dengan menggantikan sebagian agregat kasar dengan limbah karet bekas dalam pembuatan beton. Novelty penelitian ini terletak pada pemanfaatan limbah karet bekas sebagai material alternatif yang belum banyak dieksplorasi untuk beton yang lebih ramah lingkungan. State of the art dalam penelitian ini mencakup penggunaan material alternatif dalam campuran beton yang berfokus pada keberlanjutan dan pengurangan dampak lingkungan, serta penerapan teknologi untuk menguji pengaruhnya terhadap sifat-sifat beton (Agrawal et al., 2024; Mohanta & Murmu, 2022).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh penambahan karet bekas sebagai substitusi agregat kasar terhadap sifat mekanik beton, khususnya kuat tekan dan workability, serta untuk menilai efektivitas penggunaan karet bekas dalam meningkatkan keberlanjutan dalam industri beton (Rosadi, 2023). Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi terhadap pengelolaan limbah karet bekas dan pengembangan beton ramah lingkungan sebagai material konstruksi masa depan (Dedyerianto & Isa, 2022; Iduwin, Putri, & Purnama, 2023).

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen untuk mengevaluasi pengaruh penambahan limbah karet bekas sebagai substitusi agregat kasar dalam pembuatan beton. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi semen portland, agregat kasar (batu pecah), agregat halus (pasir), air, dan karet bekas yang berasal dari limbah ban bekas yang dihancurkan. Karet bekas digunakan sebagai substitusi sebagian agregat kasar dengan variasi penambahan 5%, 10%, dan 15% dari total berat agregat kasar.

Pertama, bahan-bahan tersebut dianalisis untuk memastikan kualitas dan kesesuaiannya dengan standar yang berlaku. Pengujian dilakukan terhadap sifat-sifat fisik agregat, seperti ukuran butir, kadar air, dan kadar lumpur, serta komposisi kimia dan fisik karet bekas. Selain itu, dilakukan analisis saringan untuk agregat kasar dan halus untuk mengetahui distribusi ukuran

butirnya, mengacu pada SNI 7656:2012 yang mengatur tata cara pemilihan campuran beton normal, beton berat, dan beton mass.

Selanjutnya, campuran beton dirancang menggunakan metode perancangan campuran beton standar untuk beton normal dengan mutu K-150. Campuran beton normal menggunakan agregat kasar konvensional, sementara campuran beton variasi menggunakan karet bekas sebagai pengganti sebagian agregat kasar. Untuk setiap variasi, dilakukan pengujian slump untuk mengukur workability atau kelecakan beton, serta pengujian kuat tekan beton pada umur 14 hari dan 28 hari, dengan merujuk pada SNI 1974:2023 yang mengatur metode uji kekuatan tekan beton silinder.

Setelah proses pencampuran dan pemadatan beton, sampel beton dibiarkan untuk curing selama 14 hari dan 28 hari sebelum dilakukan pengujian kuat tekan menggunakan mesin uji tekan sesuai dengan prosedur yang tercantum dalam SNI 1974:2023. Hasil pengujian tersebut dibandingkan dengan beton normal untuk menilai efektivitas penambahan karet bekas terhadap kekuatan beton. Semua data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode statistik, termasuk analisis regresi untuk melihat hubungan antara penambahan karet bekas dengan sifat-sifat beton yang diuji. Metode ini bertujuan untuk menghasilkan informasi yang dapat digunakan untuk mengembangkan beton yang lebih ramah lingkungan, dengan memanfaatkan limbah karet bekas yang sulit terurai, serta mengurangi dampak lingkungan dari industri beton.

3. Hasil dan Pembahasan

A. Analisis Saringan Agregat Kasar

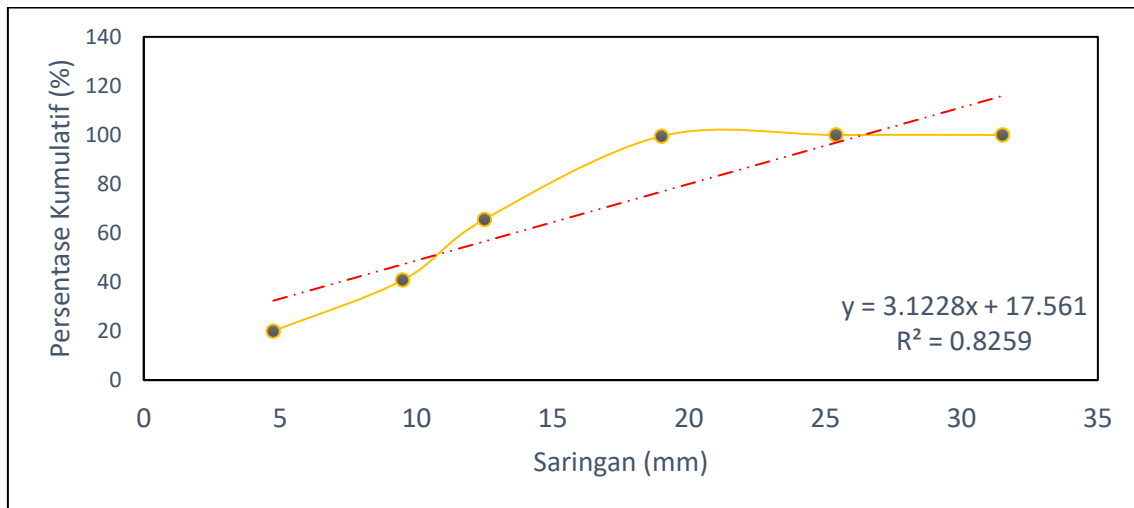
Hasil analisis saringan agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan distribusi partikel agregat pada berbagai ukuran saringan, yang penting untuk memastikan komposisi campuran beton yang sesuai. Tabel 1 menunjukkan persentase masing-masing ukuran agregat kasar setelah dilakukan pengujian. Hasil analisis menunjukkan bahwa distribusi ukuran agregat kasar berada dalam batas standar, yang dapat digunakan untuk memastikan kualitas beton yang optimal.

Berdasarkan Gambar 1 yang menunjukkan distribusi ukuran agregat kasar, dapat dilihat bahwa agregat kasar terdiri dari berbagai ukuran partikel yang terdistribusi dengan baik, sesuai dengan kebutuhan untuk campuran beton yang optimal. Persentase agregat yang tertahan pada masing-masing ukuran saringan menunjukkan bahwa distribusi ukuran berada dalam batas standar yang dapat diterima.

Hubungan linear yang diperoleh dari hasil analisis saringan agregat kasar menunjukkan persamaan $y = 3,1228x + 17,561$ dengan nilai $R^2 = 0,8259$, yang menggambarkan hubungan yang sangat baik antara ukuran saringan dan persentase berat tertahan. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa hampir seluruh variasi distribusi agregat kasar dapat dijelaskan dengan model linear ini, yang memastikan kualitas campuran beton yang stabil dan terkontrol.

Tabel 1. Hasil analisis saringan agregat kasar

No	Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Persentase Tertahan (%)	Persentase Kumulatif (%)
1	31,5	0	0,00	100,00
2	25,4	0	0,00	100,00
3	19	12	0,48	99,52
4	12,5	850	33,92	65,60
5	9,5	620	24,80	40,80
6	4,75	500	20,00	20,00
7	PAN	118	4,72	0,00



Gambar 1. Distribusi ukuran agregat kasar dan hubungan linear

B. Pengujian Kadar Air Agregat Kasar

Pemeriksaan kadar air agregat kasar dilakukan untuk memastikan bahwa kelembaban material tidak mempengaruhi campuran beton. Hasil pengujian kadar air untuk agregat kasar ditampilkan pada Tabel 2. Hasil pengujian menunjukkan kadar air sebesar 0,95%, yang berada dalam batas standar yang dapat diterima.

Tabel 2. Pengujian kadar air agregat kasar

Keterangan	Berat (gram)	Kadar Air (%)
Berat Wadah (Wc)	200	
Berat Benda Uji (Ws)	2500	
Berat Benda Uji Setelah Dioven (Wd)	2480	0,95

C. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pemeriksaan kadar lumpur pada agregat kasar dilakukan untuk mengidentifikasi kandungan material organik yang tidak diinginkan. Hasil pemeriksaan kadar lumpur untuk agregat kasar ditampilkan dalam Tabel 3. Kadar lumpur yang diperoleh adalah 1,20%, yang memenuhi batas yang ditetapkan untuk agregat kasar.

Tabel 3. Pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar

Keterangan	Berat Sampel (gram)	Kadar Lumpur (%)
Sebelum Dioven (W2)	2500	
Setelah Dioven (W3)	2470	1,20

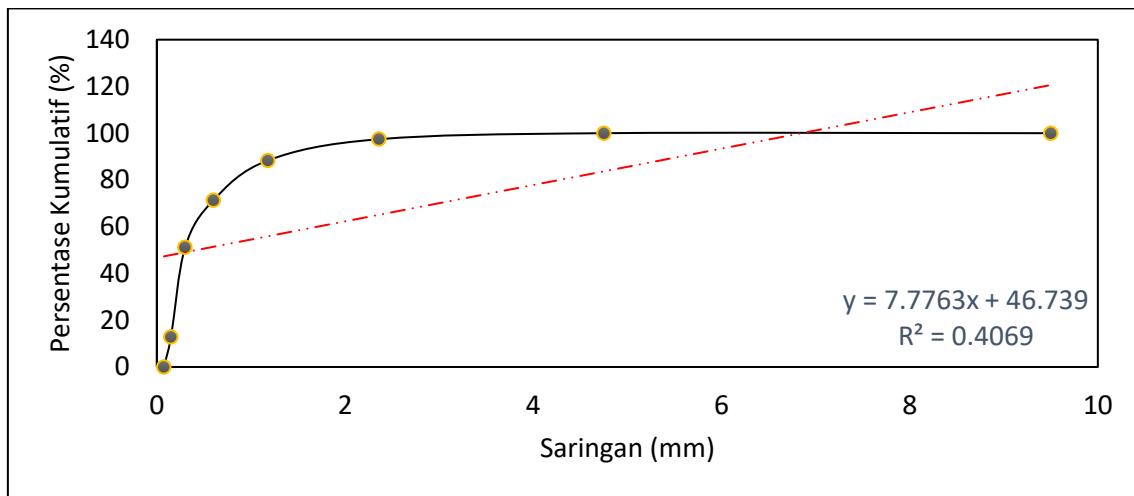
D. Analisis Saringan Agregat Halus

Agregat halus juga diuji untuk mengetahui distribusi ukuran butirnya. Hasil analisis saringan agregat halus menunjukkan bahwa material ini memiliki distribusi ukuran yang memenuhi standar untuk campuran beton. Tabel 4 menunjukkan hasil analisis saringan agregat halus, yang menunjukkan bahwa sebagian besar agregat halus tertahan di ayakan dengan ukuran tertentu, yang sesuai untuk campuran beton. Gambar 2 menunjukkan distribusi ukuran agregat halus berdasarkan hasil analisis saringan yang dilakukan.

Hubungan linear yang diperoleh dari analisis saringan agregat halus menunjukkan persamaan $y = 7,7763x + 46,739$ dengan nilai $R^2 = 0,4069$. Meskipun nilai R^2 lebih rendah dibandingkan dengan agregat kasar, yang menunjukkan hubungan yang lebih lemah antara ukuran saringan dan persentase berat tertahan, nilai ini masih dalam kisaran yang dapat diterima, meskipun ada sedikit variasi yang tidak dapat dijelaskan oleh model linear ini.

Tabel 4. Hasil analisis saringan agregat halus

No	Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Persentase Tertahan (%)	Persentase Kumulatif (%)
1	9,5	0	0,00	100,00
2	4,75	0	0,00	100,00
3	2,36	13	2,58	97,42
4	1,18	45	9,08	88,34
5	0,6	85	17,06	71,28
6	0,3	100	20,15	51,13
7	0,15	190	38,30	12,83
8	0,075	140	28,27	0,00



Gambar 2. Distribusi ukuran agregat halus dan hubungan linear

E. Pengujian Kadar Air Agregat Halus

Pengujian kadar air pada agregat halus dilakukan untuk memastikan bahwa kelembaban tidak mengganggu rasio campuran beton. Hasil pengujian kadar air untuk agregat halus adalah 2,55%, yang menunjukkan tingkat kelembaban yang dapat diterima dalam campuran beton.

Tabel 5. Pengujian kadar air agregat halus

Keterangan	Berat (gram)	Kadar Air (%)
Berat Wadah (Wc)	300	
Berat Benda Uji (Ws)	500	
Berat Benda Uji Setelah Dioven (Wd)	487	2,55

F. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Tabel 6 menampilkan Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus. Tabel ini menunjukkan hasil pemeriksaan kadar lumpur pada agregat halus yang digunakan dalam penelitian. Kadar lumpur pada kedua sampel masih memenuhi batas yang ditetapkan untuk campuran beton, yaitu tidak melebihi 7%.

Tabel 6. Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus

Keterangan	Volume Lumpur (V1)	Volume Pasir (V2)	Kadar Lumpur (%)
Sampel I	4,00	120,00	3,23
Sampel II	7,00	100,00	6,56

G. Mix Design Beton Normal dan Beton Variasi

Perancangan campuran beton dilakukan untuk beton normal dan beton dengan penambahan limbah karet bekas pada variasi 5%, 10%, dan 15% sebagai agregat kasar pengganti sebagian agregat alami. Hasil rancangan campuran beton untuk beton normal dan variasi beton dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Mix design beton normal dan beton variasi

Campuran Beton	Semen (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Air (kg)	Karet Bekas (kg)
Beton Normal	11,50	26,24	35,64	6,88	0
Beton Variasi I (5% Karet Bekas)	11,50	25,50	34,86	6,88	1,78
Beton Variasi II (10% Karet Bekas)	11,50	24,75	34,08	6,88	3,56
Beton Variasi III (15% Karet Bekas)	11,50	23,99	33,31	6,88	5,34

H. Hasil Pengujian Slump

Pengujian slump dilakukan untuk mengevaluasi workability atau kelecakan campuran beton. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton dengan penambahan karet bekas memiliki nilai slump yang lebih tinggi dibandingkan beton normal, menunjukkan bahwa workability beton meningkat dengan penambahan karet bekas. Tabel 8 menunjukkan hasil pengujian slump.

Tabel 8. Hasil pengujian slump beton

Sampel	Tinggi Slump (cm)
Beton Normal	10,0
Beton Variasi I (5% Karet Bekas)	12,5
Beton Variasi II (10% Karet Bekas)	13,5
Beton Variasi III (15% Karet Bekas)	14,0

I. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

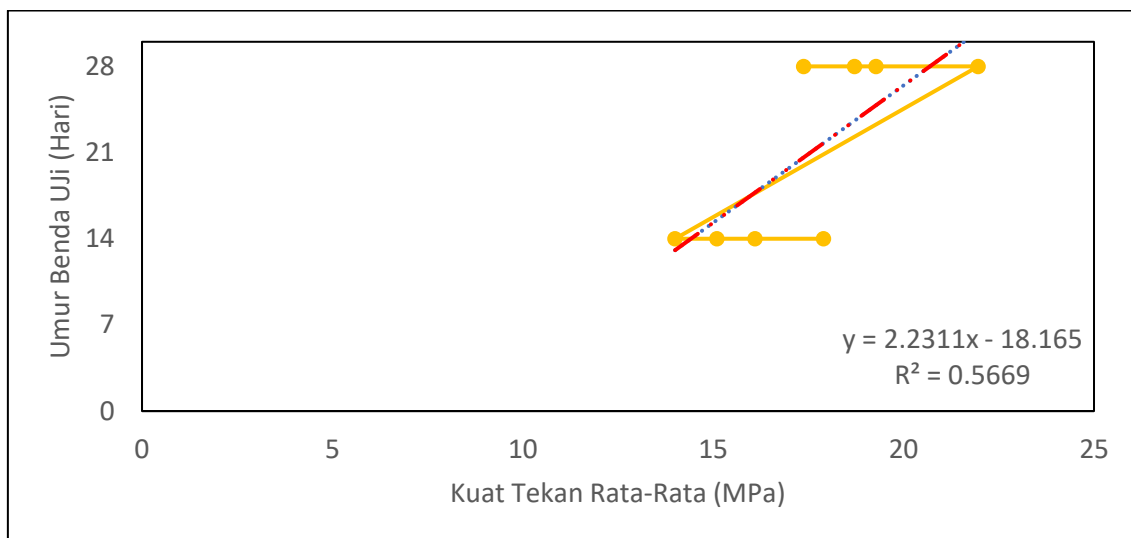
Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur 14 hari dan 28 hari untuk mengetahui perkembangan kekuatan beton dengan substitusi karet bekas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beton dengan penambahan karet bekas memiliki kekuatan tekan yang sedikit lebih rendah dibandingkan beton normal pada umur 14 hari, tetapi mengalami peningkatan pada umur 28 hari. Tabel 9 menunjukkan hasil pengujian kuat tekan beton dan Gambar 3 menampilkan grafik hubungan kuat tekan dengan variasi karet bekas.

Hubungan linear yang diperoleh dari hasil pengujian kuat tekan beton menunjukkan persamaan $y = 2,2311x - 18,165$ dengan nilai $R^2 = 0,5669$. Meskipun nilai R^2 menunjukkan korelasi yang cukup baik, ada beberapa variasi yang mungkin dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti distribusi agregat atau sifat material karet bekas itu sendiri. Namun, tren peningkatan kekuatan tekan pada umur 28 hari menunjukkan bahwa penambahan karet bekas dalam beton dapat berpotensi memberikan manfaat dalam jangka panjang, meskipun pada awalnya kekuatan tekan sedikit lebih rendah.

Tabel 9. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Campuran Beton	Umur Benda Uji	Sampel 1 (MPa)	Sampel 2 (MPa)	Sampel 3 (MPa)	Sampel 4 (MPa)	Sampel 5 (MPa)	Rata-Rata (MPa)
Beton Normal	14 hari	18,0	17,5	18,2	17,8	18,1	17,9
Beton Variasi I	14 hari	16,5	15,9	16,0	15,8	16,3	16,1

Campuran Beton	Umur Benda Uji	Sampel 1 (MPa)	Sampel 2 (MPa)	Sampel 3 (MPa)	Sampel 4 (MPa)	Sampel 5 (MPa)	Rata-Rata (MPa)
(5% Karet Bekas)							
Beton Variasi II (10% Karet Bekas)	14 hari	14,8	15,2	15,4	15,1	14,9	15,1
Beton Variasi III (15% Karet Bekas)	14 hari	13,8	14,1	13,9	14,0	14,3	14,0
Beton Normal	28 hari	22,0	21,8	22,2	21,5	22,3	21,96
Beton Variasi I (5% Karet Bekas)	28 hari	19,5	19,0	19,4	19,3	19,2	19,28
Beton Variasi II (10% Karet Bekas)	28 hari	18,3	18,7	19,0	18,6	18,9	18,71
Beton Variasi III (15% Karet Bekas)	28 hari	17,2	17,5	17,8	17,1	17,3	17,38



Gambar 3. Grafik pengujian kuat tekan beton dan hubungan linear

4. Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan limbah karet bekas sebagai substitusi agregat kasar dalam pembuatan beton dapat mempengaruhi sifat mekanik beton, khususnya kuat tekan dan workability. Beton dengan penambahan karet bekas menunjukkan peningkatan workability, yang ditandai dengan nilai slump yang lebih tinggi dibandingkan beton normal. Meskipun pada umur 14 hari kekuatan tekan beton dengan karet bekas sedikit lebih rendah, namun pada umur 28 hari terjadi peningkatan kekuatan tekan yang signifikan, yang menunjukkan bahwa karet

bekas dapat digunakan sebagai alternatif agregat kasar dalam beton dengan potensi jangka panjang yang baik. Penambahan karet bekas juga dapat mengurangi penggunaan agregat alami dan memberikan solusi untuk pengelolaan limbah karet yang sulit terurai. Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan agar penggunaan karet bekas dalam beton dapat dipertimbangkan lebih lanjut dengan proporsi yang lebih besar, dengan tetap menjaga keseimbangan antara kekuatan beton dan keberlanjutan lingkungan.

Referensi

- Raafidiani, R., Handriawan, I. R., & Febriansya, A. (2022). PEMANFAATAN LIMBAH ABU SEKAM PADI DAN KARET BAN SEBAGAI BAHAN TAMBAH AGREGAT PADA BETON. *Jurnal TEDC*, 16(2), 173-176.
- Nurchasanah, Y., Rochman, A., Handayani, N. K., Irianto, R. A., & Sulisty, A. T. (2022). Pemanfaatan Crumb Rubber Dan Rubber Chip Dari Limbah Ban Bekas terhadap Sifat Mekanis Beton. *Prosiding Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi Perancangan dan Industri*, 194-197.
- Fikri, Y. M., Utama, K. A., & Kadarningsih, R. (2025). Analisis Kuat Tekan Beton Yang Dicampurkan Dengan Limbah Karet Ban Kendaraan Bekas. *Research Review: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 4(1), 47-54.
- Setiaji, D. H., Riyanto, S., & Novianto, D. (2021). Pengaruh Limbah Ban Karet Sebagai Substitusi Pasir Terhadap Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, 2(2), 175-181.
- Rosyad, F., & Sapitri, S. B. (2024). ANALISIS PENGARUH SUBSTITUSI BAN BEKAS TERHADAP STABILITAS DAN KEPADATAN ASPAL AC-WC. *Rang Teknik Journal*, 7(2), 407-411.
- Purnama, D. D., Iduwin, T., & Putri, P. S. (2023, May). Penggunaan Limbah Karet Ban Terhadap Kuat Tekan Dan Penyerapan Paving Block. In *FORUM MEKANIKA* (Vol. 12, No. 1, pp. 1-8).
- PARTIWI, A. P. P. (2023). PEMANFAATAN LIMBAH KARET BAN SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN CAMPURAN PERKERASAN JALAN AC-BC (Asphalt Concret-Binder Course) TERHADAP NILAI MARSHALL di PT. PEBANA ADI SARANA.
- Mahardana, Z. B., Pambudi, W. R., Emilia, O. F., Fasyaro, R. F., Aprinia, A. D., Mustafa, D. T., & Induwati, M. (2023). Meningkatkan Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Material Recycle Concrete Aggregate (RCA): Increase Concrete Compressive Strength By Using Recycle Concrete Aggregate (RCA) Material. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 11(1), 1-8.
- Nurrosyid, M. I., Susanto, H. Y., Hartopo, H., & Apriyanto, T. (2024). ANALISIS PERBANDINGAN KUAT TEKAN BETON NORMAL DENGAN BETON CAMPURAN BAN BEKAS. *Jurnal Teknik Indonesia*, 5(1), 48-60.
- Muh Ilham Nurrosyid, M. I. N., & Hanggara Yudi Susanto, H. Y. S. (2024). *ANALISA PERBANDINGAN KUAT TEKAN BETON NORMAL DENGAN BETON CAMPURAN BAN BEKAS* (Doctoral dissertation, UPT. Perpustakaan Undaris).
- Iduwin, T., Putri, P. S., & Purnama, D. D. (2023). Penggunaan Limbah Karet Ban Terhadap Kuat Tekan Dan Penyerapan Paving Block.
- Nugroho, D. H., Sunarwadi, H. S. W., & Nugroho, H. P. (2024). SEBUAH ULASAN SINGKAT TENTANG BETON AGREGAT DAUR ULANG. *JURNAL DAKTILITAS*, 4(1), 01-10.
- Permatasari, H. H. (2020). *Pengaruh Penambahan Limbah Ban Karet Kendaraan Bermotor untuk Campuran Laston Lapis Antara (AC-BC) Terhadap Karakteristik Hasil Uji Marshall* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).

- METI, M. (2021). *UJI KAPASITAS DUKUNG MODEL PONDASI RAKITAN BAN BEKAS PADA LAPISAN TANAH KOHESIF= TEST OF BEARING CAPACITY OF WASTE TIRE ASSEMBLY FOUNDATION MODEL ON COHESIVE SOIL LAYER* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).
- Dedyerianto, D., & Isa, L. (2022). Pengaruh Penambahan Agregat Ban Bekas dan Limbah Botol Kaca Terhadap Karakteristik dan Kuat Tekan Batako. *Jurnal Multidisiplin Madani*, 2(3), 1139-1150.
- Hermansah, H. (2024). *EVALUASI DURABILITAS BETON GEOPOLIMER DENGAN PENAMBAHAN PLASTIK PET* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin Makassar).
- Gusty, S. (2024). *Optimalisasi Kinerja Campuran Aspal Porus (Variasi Gradasi Agregat dan Pemanfaatan Limbah Oli)*.
- Rosadi, I. (2023). *Studi Pengaruh Pemanfaatan Limbah Beton terhadap Uji Marshall dan Cantabro pada Perkerasan Lentur AC-BC dengan Spesifikasi Bina Marga* (Doctoral dissertation, Universitas Fajar).
- Agrawal, D., Waghe, U., Ansari, K., Amran, M., Gamil, Y., Alluqmani, A. E., & Thakare, N. (2024). Optimization of eco-friendly concrete with recycled coarse aggregates and rubber particles as sustainable industrial byproducts for construction practices. *Heliyon*, 10(4).
- Islam, M. M. U., Li, J., Wu, Y. F., Roychand, R., & Saberian, M. (2022). Design and strength optimization method for the production of structural lightweight concrete: An experimental investigation for the complete replacement of conventional coarse aggregates by waste rubber particles. *Resources, Conservation and Recycling*, 184, 106390.
- Etefa, G., & Mosisa, A. (2020). Waste rubber tires: a partial replacement for coarse aggregate in concrete floor tile production. *American Journal of Civil Engineering*, 8(3), 57-63.
- Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., & Wu, Y. F. (2021). Application of waste tire rubber and recycled aggregates in concrete products: A new compression casting approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 167, 105353.
- Mohanta, N. R., & Murmu, M. (2022). Alternative coarse aggregate for sustainable and eco-friendly concrete-A review. *Journal of Building Engineering*, 59, 105079.
- Hasibuan, S. A. R. S., Prayuda, H., Zuhanda, M. K., & Anisa, Y. (2023). Enhancing concrete strength and sustainability: the role of Medan Barangan banana skin powder as a cement substitute. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 10(109), 1731.
- Hasibuan, S. A. R. S., Prayuda, H., & Muhathir, M. (2023, December). Optimization of Amount of Banana Skin Powder as Cementitious Materials in Concrete using Genetic Algorithm. In *2023 International Workshop on Artificial Intelligence and Image Processing (IWAIIIP)* (pp. 204-208). IEEE.
- SNI 1974:2023. (2023). *Metode uji kuat tekan beton silinder*. Badan Standardisasi Nasional (BSN). Jakarta, Indonesia.
- SNI 7656:2012. (2012). *Tata cara pemilihan campuran beton normal, beton berat, dan beton massal*. Badan Standardisasi Nasional (BSN). Jakarta, Indonesia.