

Pengaruh substitusi limbah karet ban bekas pada agregat kasar campuran beton normal terhadap nilai kuat tekan, modulus elastisitas dan kuat lentur beton

Mohammad Zam zam Muttaqin Syah¹, Jafar^{1*}

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Sleman, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Compressive Strength Value
Flexural Strength Value
Rubber Tires

Corresponding Author:

Jafar
Jafar@uii.ac.id

Abstract

Concrete infrastructure in Indonesia is still dominated by natural aggregate materials, but the utilization of waste rubber tires as a coarse aggregate substitution is proposed to reduce environmental impacts. This study examines the effect of waste tire substitution on compressive strength, modulus of elasticity, and flexural strength of concrete with 2%, 4%, 6%, and 8% substitution variations. The specimens were cylinders of 150 mm diameter and 300 mm height, and beams of 150 mm × 150 mm × 600 mm. The results showed that 4% substitution decreased the compressive strength by 25,65%, while 4% substitution increased the flexural strength by 16,96%. This indicates that although waste tires reduce compressive strength, flexibility and crack resistance of concrete can be increased at certain levels. This innovation has the potential to reduce natural aggregate consumption and support sustainable concrete construction, while providing a reference for the development of environmentally friendly concrete.

Copyright © 2025 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Latar Belakang

Infrastruktur di Indonesia masih didominasi beton yang menggunakan agregat kasar dari sumber alam, sehingga berisiko terhadap kelestarian lingkungan. Untuk mengurangi dampak ini, limbah padat seperti ban bekas diusulkan sebagai substitusi agregat kasar. Ban bekas, yang sulit terurai secara alami, memiliki sifat tahan air, fleksibel, lentur, dan kedap getaran, sehingga dapat meningkatkan ketahanan beton terhadap retak dan deformasi. Penelitian terdahulu Winansa dan Setiawan (2019), Arsalani (2023) menunjukkan bahwa meskipun substitusi ban dapat menurunkan kuat tekan beton, material ini menawarkan keunggulan seperti kuat tarik tinggi dan ketahanan geser. Dalam penelitian ini, ban bekas motor akan dipotong menyerupai

ukuran agregat kasar untuk menggantikan sebagian berat agregat dalam beton. Inovasi ini mendukung keberlanjutan lingkungan, mengurangi penggunaan material alam, serta menawarkan solusi ekonomis dan ramah lingkungan dalam konstruksi beton.

Tinjauan Pustaka

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa substitusi limbah ban bekas pada beton memberikan hasil beragam. Mohseni & Kouskhbagi (2023) menemukan bahwa meskipun kuat tekan beton menurun signifikan pada substitusi tinggi, beton karet menunjukkan keunggulan dalam daya tahan dan kinerja akustik. Arsalani (2023) menunjukkan peningkatan kuat lentur optimal pada substitusi 4%, sementara Winansa & Setiawan (2019) mengindikasikan penurunan

kuat tekan secara signifikan pada beton dengan potongan ban bekas.

Selain itu, karakteristik ban bekas seperti fleksibilitas, ketahanan geser, dan kededapan air membuatnya cocok sebagai substitusi agregat kasar. Limbah ban juga mendukung konservasi material alam dan pengurangan polusi. Penelitian ini akan menggunakan variasi substitusi 2%, 4%, 6%, dan 8% untuk mengevaluasi kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur beton. Studi ini bertujuan untuk mengembangkan beton yang ramah lingkungan, ekonomis, dan memiliki performa optimal.

Landasan Teori

Beton

Beton merupakan campuran agregat kasar dan halus yang diikat dengan semen serta air. Terdapat tiga jenis beton berdasarkan berat isinya:

Beton ringan dengan densitas 1140–1840 kg/m³, beton normal dengan berat 2155–2560 kg/m³, beton berat dengan berat lebih dari 2500 kg/m³ yang digunakan untuk menahan radiasi.

Bahan Penyusun

Semen Portland adalah material hidrolik yang berfungsi sebagai pengikat antara agregat kasar dan halus, agregat, air berfungsi untuk reaksi kimia dengan semen dan pelumasan campuran, limbah ban karet digunakan sebagai substitusi agregat kasar, menawarkan sifat fleksibel, tahan air, dan meredam getaran.

Perencanaan Campuran Beton

Metode perencanaan beton dilakukan berdasarkan standar SNI 03 – 2483 - 2000, mempertimbangkan faktor air-semen, jumlah semen, dan sifat bahan penyusun untuk memastikan kekuatan dan daya tahan optimal.

Kuat Tekan, Modulus Elastisitas, dan Kuat Lentur

Kuat Tekan menunjukkan kemampuan beton menahan beban tekan.

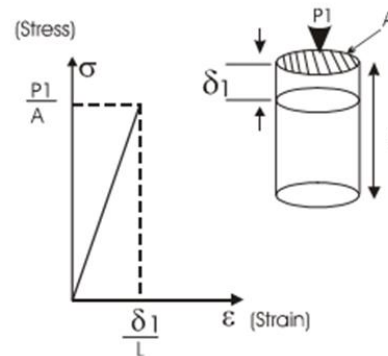
$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang yang menerima gaya tekan (mm²)



Gambar 1. Ilustrasi Kuat Tekan Pada Silinder

Modulus Elastisitas mencerminkan kekakuan beton terhadap deformasi elastis.

$$E = \frac{0,4 \cdot f'c}{\epsilon_{0,4}} \quad (2)$$

Keterangan:

$f'c$ = tegangan tekan maksimum (MPa)

$\epsilon_{0,4}$ = regangan pada saat tegangan tekan mencapai 0,4 tegangan tekan maksimum

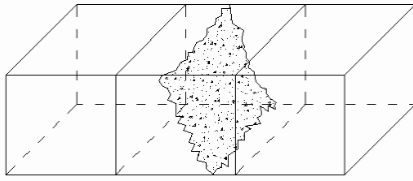
Setelah itu mencari tegangan 1 melalui grafik modulus elastisitas beton. Lalu jika sudah di temukan nilai dari tegangan 1, maka dapat di masukkan dengan rumus:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad (3)$$

Kuat Lentur menggambarkan kemampuan beton menahan gaya tarik akibat pembebanan lentur. Kuat lentur yang digunakan adalah dengan pembebanan 2 titik (SNI 4431 – 2011).

Untuk pengujian dimana patahnya terjadi di daerah pusat (1/3 jarak perletakan) kuat lentur beton dihitung dengan rumus

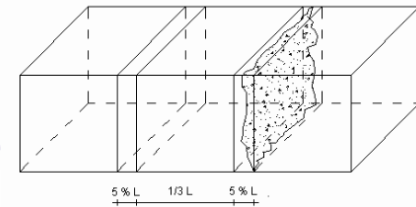
$$\sigma = \frac{P.L}{b.h^2} \quad (4)$$



Gambar 2. Patah di Daerah Pusat

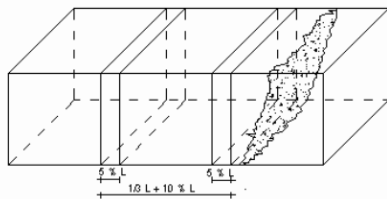
Untuk pengujian dimana patah terjadi di luar pusat (di luar 1/3 jarak perletakan) di bagian tarik beton dan jarak titik pusat sampai titik patah kurang dari 5% dari bentang titik perletakan, maka kuat lentur dihitung dengan rumus

$$\sigma = \frac{P.a}{b.h^2} \quad (5)$$



Gambar 3. Patah di Luar Pusat < 5%

Untuk pengujian dimana patah terjadi di luar pusat (di luar 1/3 jarak perletakan) di bagian tarik beton dan jarak titik pusat sampai titik patah lebih dari 5% dari bentang titik perletakan, maka hasil pengujian tidak digunakan



Gambar 4. Patah di Luar Pusat > 5%

Keterangan:

- σ = kuat lentur benda uji (MPa)
- P = beban tertinggi yang terbaca pada mesin uji (ton)
- L = jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm)
- b = lebar tampang lintang patah arah horizontal (mm)
- h = lebar tampang lintang patah arah vertikal (mm)
- a = jarak rata-rata antara tampang lintang patah dan tumpuan luar yang terdekat, diukur pada 4 tempat pada sudut dari bentang (mm)

Penambahan limbah ban karet sebagai substitusi agregat kasar diharapkan mampu meningkatkan fleksibilitas beton, meskipun dapat mengurangi kuat tekan. Substitusi ini juga mendukung keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi penggunaan material alam yang terbatas.

Hasil dan Pembahasan

Pengujian Material

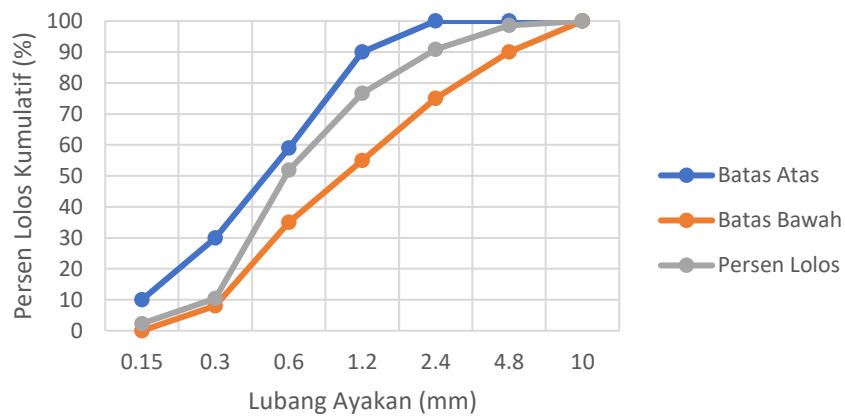
Uji material adalah langkah awal untuk memahami sifat atau karakteristik bahan yang digunakan dalam penelitian ini. Bahan yang digunakan harus memenuhi standar kualitas yang tinggi. Hasil pengujian ini akan dijadikan dasar untuk perhitungan komposisi bahan penyusun beton (*Mix Design*)

Tabel 1. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	485,00	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1012,00	gram
Berat piknometer berisi air, gram (B)	708,00	gram
Berat Jenis Curah, Bk / (B+500-Bt)	2,47	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD), 500 / (B+500-Bt)	2,55	gram
Berat Jenis semu, Bk / (B+Bk-Bt)	2,68	gram
Penyerapan Air (500-Bk)/Bk x 100%	3,09	%

Tabel 2. Hasil MHB Agregat Halus.

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	28	1,40	1,40	98,60
2,40	155	7,75	9,15	90,85
1,20	284	14,20	23,35	76,65
0,60	496	24,80	48,15	51,85
0,30	829	41,45	89,60	10,40
0,15	162	8,10	97,70	2,30
Sisa	46	2,300	100,000	0
Jumlah	2000	100	269,350	330,650
			MHB =	2,694



Gambar 5. Kurva Gradasi II Agregat Halus

Tabel 3. Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W1)	11345	gram
Berat Tabung + Agregat SSD (W2)	18278	gram
Berat Agregat (W3)	6933	gram
Diameter Tabung (d)	15,00	cm
Tinggi Tabung (t)	30,00	cm
Volume Tabung (V)	5301,44	cm ³
Berat Volume Gembur	1,31	gram/cm ³

Tabel 4. Berat Volume Padat Agregat Halus

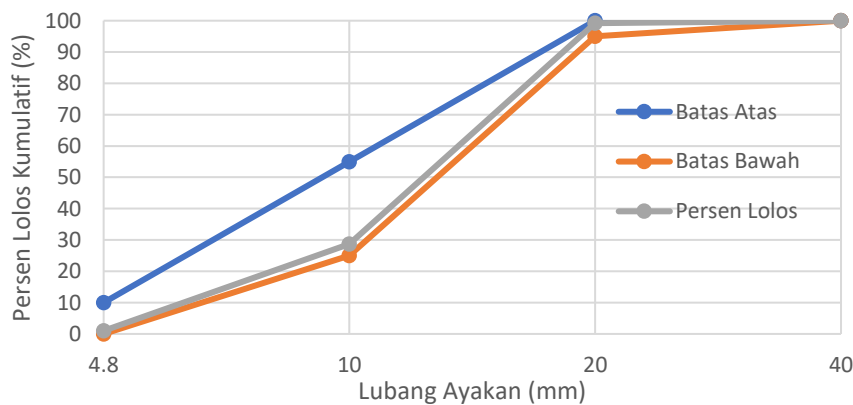
Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W1)	11345	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	19871	gram
Berat Agregat (W3)	8526	gram
Diameter Tabung (d)	15,00	cm
Tinggi Tabung (t)	30,00	cm
Volume Tabung (V)	5301,44	cm ³
Berat Volume Padat	1,61	gram/cm ³

Tabel 5. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4904,00	gram
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000	gram
Berat kerikil dalam air (Ba)	3040,00	gram
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,50	gram
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,55	gram
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,63	gram
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,96	%

Tabel 6. Hasil MHB Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	42	0,84	0,84	99,16
10,00	3526	70,52	71,36	28,64
4,80	1382	27,64	99	1,00
2,40		0	99	1,00
1,20		0	99	1,00
0,60		0	99	1,00
0,30		0	99	1,00
0,15		0	99	1,00
Sisa	50	1	100	0,00
Jumlah	5000	100,00%	666,2	233,80
			MHB =	6,662



Gambar 6. Kurva Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm

Tabel 7. Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W1)	11345	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	18275	gram
Berat Agregat (W3)	6930	gram
Diameter Tabung (d)	15,00	cm
Tinggi Tabung (t)	30,00	cm
Volume Tabung (V)	5301,44	cm ³
Berat Volume Gembur	1,31	gram/cm ³

Tabel 8. Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan	Satuan
Berat Tabung (W1)	11345	gram
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2)	19357	gram
Berat Agregat (W3)	8012	gram
Diameter Tabung (d)	15,00	cm
Tinggi Tabung (t)	30,00	cm
Volume Tabung (V)	5301,44	cm ³
Berat Volume Padat	1,51	gram/cm ³

Dengan perhitungan *Mix Design* SNI 03 – 2483 – 2000, di dapatkan hasil proporsi campuran seperti Tabel 9.

Tabel 9. Proporsi Campuran Teoritis Agregat Kondisi (SSD)

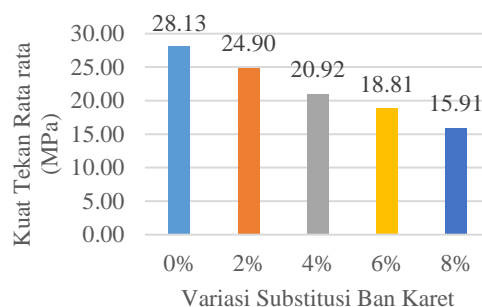
Proporsi campuran teoritis Agregat kondisi (SSD)	Semen (Kg)	Air (Kg)	Agregat	
			Halus (Kg)	Kasar (Kg)
Setiap m ³	465,91	205	663,76	985,33
Proporsi campuran dengan angka penyusutan (20%) Setiap m ³	559,09	246,00	796,51	1182,40

Analisa Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton merupakan metode kunci untuk mengevaluasi karakteristik mekanik beton. Proses ini dilaksanakan pada beton berumur 28 hari sejak pembuatan, yang selama periode tersebut telah melalui perawatan dengan cara perendaman.

Sebelum pengujian dimulai, dilakukan pengukuran dimensi benda uji meliputi diameter dan tinggi silinder, untuk menghitung luas penampangnya

Mengacu pada penelitian yang sudah dilakukan, telah dibuat representasi grafis yang mengilustrasikan hasil uji kuat tekan beton dengan substitusi ban karet. Visualisasi hasil pengujian kuat tekan beton ini dapat dilihat pada Gambar 7 yang disajikan di bawah ini. Grafik tersebut memberikan gambaran visual tentang hubungan antara variasi substitusi ban karet dan kekuatan tekan yang dihasilkan pada beton yang diuji.



Gambar 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan

Dari gambar diatas, di dapatkan hasil perubahan persentase pada setiap variasinya, hasil dari perubahan persentase dapat dilihat dibawah ini.

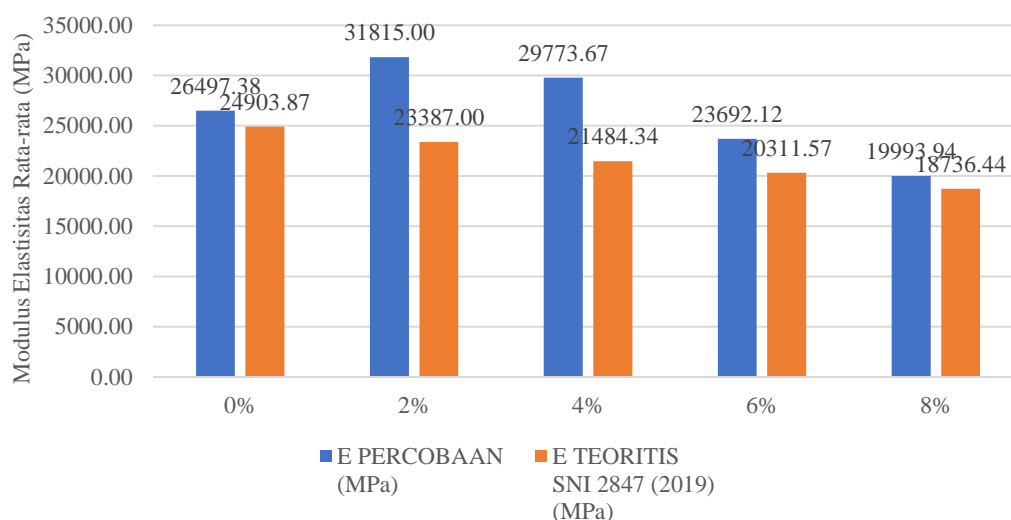
Tabel 10. Persentase Perubahan Pada Kuat Tekan

Kode	Variasi	Kuat Tekan Rerata (MPa)	Persentase Perubahan
KT1	0%	28,13	0,00%
KT2	2%	24,90	-11,47%
KT3	4%	20,92	-25,65%
KT4	6%	18,81	-33,14%
KT5	8%	15,93	-43,39%

Sampel KT5 dengan 8% ban bekas menunjukkan penurunan kuat tekan rata-rata sebesar 43,39% dari beton normal (28,13 MPa). Hal ini disebabkan sifat ban bekas yang lebih lunak dan licin dibanding agregat kasar, sehingga melemahkan ikatan antar komponen beton. Menurut Khatib dan Bayomy (1999), substitusi agregat dengan ban bekas mengurangi kuat tekan beton, terutama pada persentase tinggi, meskipun meningkatkan daya serap dan ketahanan terhadap retak.

Analisa Modulus Elastisitas Beton

Pengujian modulus elastisitas beton merupakan parameter penting untuk memahami karakteristik mekanik beton. Tes ini dilakukan bersamaan dengan uji kuat tekan beton pada usia 28 hari setelah pembuatan. Prosedur pengujian melibatkan pengukuran dimensi benda uji, termasuk diameter dan tinggi silinder, untuk menghitung luas penampang dan nilai L_0 dari alat uji. Hasil pengujian diolah menggunakan rumus modulus elastisitas percobaan serta rumus empiris modulus (SNI 2847, 2019) untuk menentukan nilai modulus elastisitas.



Gambar 8. Grafik Histogram Modulus Elastisitas Beton

Dari gambar diatas, didapatkan hasil perubahan persentase pada perbandingan rumus empiris dengan rumus percobaan, hasil persentase perubahan dapat dilihat pada Tabel dibawah ini

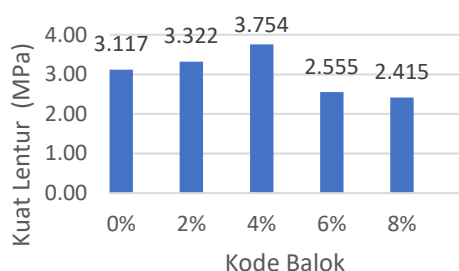
Tabel 11. Persentase Perubahan Perbandingan Rumus

Kode	Variasi	Rasio Percobaan:Teoritis SNI 2847 (2019)
KT1	0%	6,40%
KT2	2%	36,04%
KT3	4%	38,58%
KT4	6%	16,64%
KT5	8%	6,71%

Rasio modulus percobaan dan teoritis yang tinggi pada substitusi ban karet 2-4% dalam beton disebabkan sifat elastisitas karet yang lebih tinggi dibanding agregat alami. Pada persentase ini, distribusi partikel karet yang homogen meningkatkan modulus elastisitas percobaan. Namun, di atas 5%, *clustering* partikel karet mulai terjadi, melemahkan struktur beton. Menurut Li et al. (2004) dan Ganjian et al. (2009), substitusi 2-4% adalah zona transisi optimal, di mana karet cukup memengaruhi struktur mikro tanpa menciptakan titik lemah signifikan, sementara pada 6-8%, pengaruhnya lebih stabil dan rasio percobaan terhadap teoritis menurun.

Analisa Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur beton bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas balok dalam menahan gaya lentur sebelum terjadi keruntuhan. Proses ini dilakukan pada balok beton berumur 28 hari setelah pembuatan, yang selama periode tersebut telah mengalami perawatan dengan cara perendaman untuk menjaga kualitas beton. Pengujian ini penting dalam menentukan seberapa besar momen lentur yang dapat diterima oleh balok beton tanpa tulangan.



Gambar 9. Hasil Pengujian Kuat Lentur

Perubahan presentase kuat lentur mengacu pada variasi 0% atau tanpa substitusi ban karet dapat dilihat pada Tabel dibawah ini

Tabel 12 Presentase Perubahan Kuat Lentur

Kode	Variasi	Kuat Tekan Rerata (MPa)	Persentase Perubahan
B1	0%	3,117	0,00%
B2	2%	3,322	6,17%
B3	4%	3,754	16,96%
B4	6%	2,555	-22,01%
B5	8%	2,415	-29,06%

Penelitian menunjukkan substitusi ban karet hingga 4% pada beton meningkatkan kuat lentur, dengan puncak kenaikan 16,96% pada 4%, berkat peningkatan fleksibilitas, distribusi tegangan, dan peredaman micro-cracking. Namun, substitusi di atas 4% menurunkan kuat lentur signifikan, yakni 22,01% pada 6% dan 29,06% pada 8%, akibat lemahnya ikatan karet-pasta semen, porositas tinggi, dan distribusi beban tidak merata. Menurut Najim & Hall (2012), substitusi 2-4% menghasilkan distribusi

karet optimal dan meningkatkan kapasitas deformasi elastis, sedangkan persentase lebih tinggi menciptakan zona lemah dan menurunkan kohesi material

Analisa Hasil Optimum

Dalam penelitian ini melibatkan beberapa pengujian untuk mengevaluasi karakteristik mekanik beton dengan substitusi ban karet, termasuk, kuat tekan, dan kuat lentur. Pengujian kuat tekan dilakukan pada silinder berumur 28 hari dan menunjukkan bahwa penambahan ban karet cenderung menurunkan kuat tekan beton, dengan campuran tanpa substitusi menghasilkan nilai tertinggi. Di sisi lain, pengujian kuat lentur dilakukan pada balok untuk menilai kemampuan beton menahan beban lentur, di mana substitusi 4% ban karet menghasilkan peningkatan kuat lentur tertinggi sebesar 16,96% dibandingkan beton tanpa substitusi. Substitusi di atas 4% menyebabkan penurunan kuat lentur akibat berkurangnya kohesi antar material dan peningkatan porositas. Oleh karena itu, variasi optimum ditentukan pada substitusi 4% ban karet, karena pada tingkat ini beton menunjukkan peningkatan signifikan dalam kuat lentur tanpa penurunan drastis pada kuat tekan. Kombinasi antara peningkatan fleksibilitas dan peredaman mikro-retak yang diberikan oleh partikel karet pada tingkat substitusi ini menghasilkan keseimbangan yang baik dalam karakteristik mekanik beton, sementara substitusi di atas 4% membentuk zona lemah dalam struktur yang dapat mengurangi kekuatan beton secara keseluruhan.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh substitusi limbah karet ban bekas pada agregat kasar dalam campuran beton normal terhadap nilai kuat tekan, modulus elastisitas, dan kuat lentur beton, berikut adalah kesimpulan yang dapat diambil:

1. Substitusi limbah karet ban bekas dalam agregat kasar beton menghasilkan

penurunan kuat tekan beton. Semakin besar persentase limbah karet yang digunakan, semakin rendah nilai kuat tekan yang diperoleh. Beton dengan substitusi 2% dan 4% limbah ban menunjukkan pengurangan kuat tekan yang lebih sedikit dibandingkan substitusi 6% dan 8%. Hal ini disebabkan oleh karakteristik elastisitas karet yang lebih rendah dibandingkan agregat kasar alami.

2. Rasio perbandingan modulus percobaan dan teoritis yang cukup tinggi pada variasi 2% dan 4% substitusi ban karet terhadap agregat kasar dalam campuran beton disebabkan oleh sifat elastisitas karet yang jauh lebih rendah dibandingkan agregat alami. Pada variasi ini, kandungan karet cukup untuk mempengaruhi struktur mikro beton, tetapi pada persentase yang lebih tinggi, seperti 6% dan 8%, pengaruhnya menjadi lebih stabil, sehingga rasio percobaan terhadap teoritis kembali menurun. Pengaruh ini menunjukkan bahwa ada ambang batas di mana substitusi karet mulai memberikan dampak besar terhadap sifat beton.
3. Pada uji kuat lentur, beton dengan limbah karet menunjukkan performa yang lebih baik pada persentase substitusi yang rendah, terutama pada 2% dan 4%. Pada persentase ini, kuat lentur beton meningkat dibandingkan beton normal. Namun, pada persentase yang lebih tinggi (6% dan 8%), nilai kuat lentur mulai menurun. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan karet ban bekas dapat meningkatkan ketahanan lentur beton pada batas tertentu
4. Berdasarkan hasil pengujian, persentase optimal untuk penggunaan limbah karet ban bekas sebagai substitusi agregat kasar adalah sekitar 4%. Pada persentase ini, beton masih menunjukkan penurunan kuat tekan yang minimal, rerata dari kuat

tekan 4% adalah 20,92 MPa dan dengan peningkatan rerata kuat lentur yang signifikan sebesar 5,005 MPa dimana mengalami peningkatan 20,42% dari kuat lentur balok normal. Akan tetapi, penggunaan lebih dari 4% menyebabkan penurunan kekuatan struktural yang terlalu besar

Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan limbah karet ban bekas sebagai agregat kasar mempengaruhi kekuatan beton. Oleh karena itu, disarankan agar penelitian di masa mendatang memasukkan bahan tambahan (aditif) seperti *superplasticizer* atau bahan penguat lainnya untuk memperbaiki kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan substitusi limbah karet.
2. Mengingat beton dengan substitusi karet ban menunjukkan penurunan kuat tekan, beton ini lebih cocok digunakan untuk struktur non-struktural atau bagian yang tidak memerlukan kekuatan tekan tinggi, seperti pada elemen peredam getaran, *paving block*, atau komponen beton untuk tujuan lingkungan seperti taman dan jalan setapak.
3. Mengingat potensi pengurangan limbah ban karet yang sulit terurai, disarankan agar industri konstruksi mempertimbangkan penggunaan limbah ban sebagai bagian dari strategi pembangunan berkelanjutan. Penelitian lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengoptimalkan komposisi campuran dan proses produksi skala besar.
4. Untuk mendapatkan manfaat maksimal dari penggunaan limbah ban, disarankan dilakukan studi lanjutan tentang analisis ekonomi dan dampak biaya. Hal ini penting untuk menentukan apakah inovasi ini layak diterapkan secara komersial, mengingat penghematan pada

penggunaan agregat kasar alami dan manfaat lingkungan yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- Arsalani, I. H., Hidayat, A. K., & Nursani, R. (2023). Pengaruh Penambahan Limbah Karet Sol Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Lentur. In *JITSi (Ismi Hasna Arsalani)* (Vol. 3, Issue 1). 5533.0001429
- Badan Standarisasi Nasional. (2000). SNI 03-2483-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 4431:2011: Tata cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). SNI 2847:2019: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Ganjian, E., Khorami, M., & Maghsoudi, A. A. (2009). Scrap-tyre-rubber replacement for aggregate and filler in concrete. *Construction and Building Materials*, 23(5), 1828–1836. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.09.020>
- Khatib, Z. K., & Bayomy, F. M. (1999). Rubberized Portland cement concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 11(3), 206–213. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1999\)11:3\(206\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1999)11:3(206))
- Li, G., Stubblefield, M. A., Garrick, G., Eggers, J., Abadie, C., & Huang, B. (2004). Development of waste tire modified concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(12), 2283–2289. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.04.013>
- Mohseni, E., & Koushkbaghi, M. (2023). *Recycling of landfill waste tyre in construction materials: Durability of concrete made with chipped rubber*.
- Najim, K. B., & Hall, M. R. (2012). Mechanical and dynamic properties of self-compacting crumb rubber modified concrete. *Construction and Building Materials*, 27(1), 521–530. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.013>
- Nugroho, G., Faizah, R., & Handoko, D. D. (2022). Pemanfaatan Serbuk Karet Terhadap Kuat Tekan dan Daya Redam Beton non Struktural. *Bulletin of Civil Engineering*, 2(1), 45–48. <https://doi.org/10.18196/bce.v2i1.13777>
- Putra, L. O. (2015). *Perilaku Lentur Beton Yang Menggunakan Limbah Ban Sebagai Agregat*.
- Setiabudi, A., Riov, J., Winansa, F. A., Yohannes, R., & Setiawan, A. A. (2019). *Kajian Penggunaan Potongan Ban Bekas Terhadap Kuat Tekan Beton*. 6.
- Zaher Khatib, B. K., & Bayomy, F. M. (n.d.). *Rubberized Portland Cement Concrete*.