Research Review
Jurnal Ilmiah Multidisiplin
Vol. 4, No. 1, Februari 2025 ISSN: 29622743

Analisis Kuat Tekan Beton Yang Dicampurkan Dengan Limbah Karet Ban Kendaraan Bekas
(*Analysis of Compressive Strength of Concrete Mixed with Waste Rubber from Used Vehicle Tires*)

Yasan Muhamad Fikri[1], Komang Arya Utama[2], dan Rahmani Kadarningsih [3]
[1,2,3]Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo
yasanmuhamadfikri12@gmail.com[1], komangaryautama@gmail.com[2], rahmanikadarningsih@gmail.com[3]

Article Info

Article history:

Received: 16 Januari 2025
Revised: 13 Februari 2025
Accepted: 14 Februari 2025

Keywords:

Concrete
Compressive Strength
Waste
Rubber

Kata Kunci:

Beton
Kuat Tekan
Limbah
Karet

Abstract

The development of technology in concrete continues to experience innovation, such as the utilization of recycled tire rubber from vehicles. The use of waste tire rubber in concrete mixtures is one effort to reduce environmental pollution. However, the application of rubber waste in concrete mixtures needs to be studied further. Research on the use of recycled tire rubber as a partial replacement for fine aggregate in concrete with a target strength of 30 MPa and 40 MPa has been conducted. The use of rubber material was varied into several percentages: 0%, 4%, 8%, and 12% of the volume of fine aggregate, in addition to using 6% fly ash and 0.5% superplasticizer by weight of cement as additives. Compressive strength tests were conducted after the concrete had been submerged for 28 days. Based on the research results, an increase in compressive strength was obtained for the target strength of 30 MPa, where the compressive strength of concrete without rubber (0% rubber) reached 34.53 MPa, while with the use of 4% recycled tire rubber, the compressive strength decreased to 29.21 MPa. A similar trend was observed in concrete with a target strength of 40 MPa, where the compressive strength without rubber (0% rubber) could reach 41.77 MPa and decreased to 37.58 MPa after using 4% rubber.

Abstrak

Perkembangan teknologi betun terus mengalami inovasi, seperti pemanfaatan material karet ban bekas kendaraan, penggunaan limbah karet ban bekas kedalam campuran beton menjadi salah satu upaya mengurangi pencemaran lingkungan. Namun penggunaan limbah karet terhadap campuran beton perlu dikaji terlebih dahulu, penelitian penggunaan limbah karet ban bekas yang dilakukan sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam campuran beton mutu 30 MPa dan mutu 40 MPa. Penggunaan material karet divariasikan menjadi beberapa variasi, yaitu 0%, 4%, 8%, dan 12% terhadap volume agregat halus, selain itu juga menggunakan 6% fly ash dan 0,5% superplasticizer dari berat semen sebagai bahan tambah. Pengujian kuat tekan dilakukan setelah beton telah melalui 28 hari rendaman. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh peningkatan kuat tekan pada mutu rencana 30 MPa kuat tekan beton tanpa karet (0% karet) mencapai 34,53 MPa sedangkan dengan penggunaan 4% karet ban bekas kuat tekan beton menurun menjadi 29,21 MPa. Hal serupa juga terjadi pada beton dengan mutu rencana 40 MPa kuat tekan yang tidak menggunakan karet (0% karet) bisa mencapai 41,77 MPa dan menurun menjadi 37,58 MPa setelah menggunakan karet sebanyak 4%.

Corresponding Author:

Yasan Muhamad Fikri
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Gorontalo
yasanmuhamadfikri12@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur di berbagai sektor, seperti gedung, jembatan, menara, jalan, dan fasilitas publik lainnya, mengalami perkembangan pesat dalam beberapa dekade terakhir. Kemajuan teknologi material turut berkontribusi terhadap peningkatan kualitas dan efisiensi konstruksi. Salah satu material utama dalam industri konstruksi adalah beton, yang menjadi pilihan utama karena berbagai keunggulannya. Beton memiliki harga yang relatif terjangkau, mudah didapatkan, memiliki kekuatan struktural yang tinggi, ketahanan terhadap berbagai kondisi lingkungan, serta daya tahan yang lama terhadap pembebanan dan pembusukan (Wimaya et al., 2020). Dengan sifatnya yang serbaguna dan kuat, beton banyak digunakan dalam berbagai proyek konstruksi skala kecil hingga besar.

Seiring dengan perkembangan teknologi beton, berbagai inovasi terus dikembangkan untuk meningkatkan performa beton sekaligus mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh penggunaan bahan baku alam secara berlebihan. Salah satu inovasi yang menarik perhatian para peneliti adalah pemanfaatan limbah karet ban bekas kendaraan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran beton (Martina et al., 2019). Hal ini bertujuan untuk mengurangi penggunaan pasir alami yang terus mengalami eksploitasi serta mengatasi permasalahan limbah karet yang sulit terurai secara alami (Anggara & Firdaus, 2019). Karet ban bekas merupakan salah satu jenis limbah anorganik yang tidak dapat terurai kembali di alam dalam waktu singkat (Najib & Nadia, 2017; Iqbal et al., 2022). Akumulasi limbah ini semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya (Sutisna et al., 2024). Jika limbah ban bekas dibakar, proses ini akan menghasilkan zat beracun seperti dioksin yang dapat mencemari udara dan membahayakan kesehatan manusia serta lingkungan sekitar (Fernandes et al., 2022). Oleh karena itu, diperlukan strategi pengelolaan limbah yang lebih ramah lingkungan, salah satunya melalui pemanfaatan kembali limbah karet ban dalam bahan konstruksi.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengevaluasi pemanfaatan karet ban bekas dalam campuran beton. Fawzy et al. (2020) meneliti penggunaan partikel karet dalam campuran beton dengan variasi persentase 4%, 8%, 12%, dan 16% terhadap berat pasir, menggunakan partikel karet dengan ukuran kurang dari 5 mm. Li et al. (2019) mengkaji pengaruh ukuran partikel karet terhadap kuat tekan beton dengan menggunakan partikel karet yang lolos saringan nomor 20 dan tertahan pada nomor 40. Dalam penelitian ini, persentase penggunaan partikel karet bervariasi antara 20%, 40%, dan 60%, serta ditambahkan bahan tambah berupa *silica fume* sebanyak 5% dan 10% untuk meningkatkan performa beton. Sementara itu, Zhu et al. (2020) melakukan studi terkait ketahanan beton karet terhadap erosi klorida. Penelitian tersebut melibatkan empat variasi penggunaan karet, yaitu 5%, 10%, 15%, dan 20%, dengan ukuran partikel karet antara 3-6 mm. Beton yang diuji direndam dalam larutan NaCl 4% selama 0, 60, dan 110 hari untuk mengukur ketahanan terhadap korosi klorida. Saleh et al. (2022) meneliti beton karet dengan variasi ukuran karet, yaitu 0-2 mm sebagai powder, 0-3 mm sebagai sand, dan 3-7 mm sebagai gravel. Pada penelitian ini, komposisi karet yang digunakan bervariasi antara 5%, 10%, 15%, dan 20% terhadap volume pasir. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm digunakan dalam penelitian ini untuk mengukur kuat tekan dan sifat mekanik lainnya dari beton karet.

Selain pemanfaatan limbah karet, bahan tambahan lain seperti *fly ash* dan *superplasticizer* juga sering digunakan dalam penelitian beton untuk meningkatkan performanya. *Fly ash* berfungsi untuk meningkatkan ketahanan beton terhadap retak, permeabilitas, serta meningkatkan daya tahan terhadap lingkungan yang ekstrem (Ferdiansyah & Rochmah, 2022). *Superplasticizer* ditambahkan untuk meningkatkan *workability* beton, mengurangi kebutuhan air dalam campuran, serta menghasilkan nilai slump yang lebih tinggi, sehingga meningkatkan homogenitas dan kekuatan beton (Berty Slat et al., 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh limbah karet ban bekas sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam beton dengan kuat tekan rencana 30 MPa dan 40 MPa. Selain itu, penelitian ini juga berupaya menentukan kadar optimal penggunaan limbah karet ban yang memberikan keseimbangan antara kinerja beton dan nilai ekonomisnya. Dengan hasil yang diperoleh, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap solusi konstruksi yang lebih berkelanjutan melalui pengurangan dampak lingkungan akibat limbah ban bekas serta optimalisasi sumber daya alam dalam industri konstruksi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode perencanaan campuran beton berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-2834-2000 tentang "Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal." Beton yang dirancang memiliki target mutu sebesar 30 MPa dan 40 MPa. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan limbah karet ban bekas sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap kuat tekan beton, dilakukan variasi komposisi campuran dengan persentase penggantian sebesar 0%, 4%, 8%, dan 12% dari volume agregat halus. Selain itu, digunakan fly ash sebanyak 6% dan superplasticizer sebesar 0,5% dari berat semen guna meningkatkan kualitas campuran beton.

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi agregat halus berupa pasir, agregat kasar berupa batu pecah berukuran 1–2 cm, semen sebagai bahan pengikat, air sebagai media pencampuran, serta tambahan material berupa fly ash dan superplasticizer. Limbah karet ban bekas yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari ban kendaraan yang sudah tidak terpakai. Proses persiapan limbah karet dilakukan dengan cara memotongnya menggunakan gunting dan pisau hingga berukuran kurang dari 4,75 mm atau lolos saringan No. #4. Bentuk agregat limbah karet ban bekas ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Partikel Karet Ban Bekas

Pembuatan benda uji dilakukan menggunakan cetakan silinder berukuran 15 cm × 30 cm. Proses pencampuran beton dilakukan secara manual dengan tahapan sebagai berikut: pertama, semen dan fly ash dicampur hingga merata, kemudian agregat halus berupa pasir dan partikel karet ban bekas ditambahkan dan diaduk hingga homogen. Setelah itu, agregat kasar berupa batu pecah dimasukkan bersama air dan kembali diaduk hingga campuran terlihat merata. Langkah terakhir adalah penambahan superplasticizer, yang kemudian diikuti dengan pengujian nilai slump untuk mengetahui tingkat ketercairan adukan beton sebelum dicetak ke dalam cetakan silinder.

2.1 Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini dikumpulkan melalui beberapa tahapan, yaitu persiapan material, pembuatan benda uji, dan pengujian kuat tekan beton. Persiapan material meliputi pemilihan dan persiapan agregat kasar, agregat halus, semen, air, fly ash, superplasticizer, serta limbah karet ban bekas. Selanjutnya, dilakukan pembuatan benda uji berdasarkan prosedur pencampuran beton yang telah ditentukan. Setelah proses pencampuran selesai, adukan beton dicetak dalam cetakan silinder dan dibiarkan mengeras selama 24 jam sebelum dilakukan perendaman dalam air.

Proses perawatan benda uji dilakukan dengan metode perendaman selama 28 hari untuk memastikan bahwa beton mencapai kekuatan maksimalnya. Setelah perawatan selesai, benda uji diuji kuat tekannya menggunakan mesin uji tekan sesuai dengan SNI 1974-2011 tentang "Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder." Jumlah sampel yang diuji dalam penelitian ini adalah 24 sampel, dengan masing-masing variasi campuran memiliki enam sampel.

2.2 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian kuat tekan beton dari setiap variasi campuran. Nilai kuat tekan diperoleh dari hasil pengujian menggunakan mesin uji tekan, yang kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi persentase limbah karet ban bekas terhadap kekuatan beton. Data yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan standar kuat tekan beton sesuai dengan SNI untuk mengetahui apakah penggunaan limbah karet ban bekas masih memenuhi standar kekuatan beton normal.

Selain itu, dilakukan analisis terhadap perubahan karakteristik beton, seperti perubahan nilai slump yang menunjukkan tingkat workability atau kemudahan pengerjaan beton akibat penggunaan limbah karet ban bekas. Data hasil uji kuat tekan kemudian dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif untuk menentukan kecenderungan penurunan atau peningkatan kuat tekan berdasarkan variasi persentase limbah

karet ban bekas. Kesimpulan akhir diambil berdasarkan hasil analisis tersebut guna mengetahui apakah penggunaan limbah karet ban bekas dalam campuran beton dapat diterapkan secara efektif dalam konstruksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat dilakukan untuk mengetahui karakteristik material yang digunakan. Hasil pengujian agregat ditunjukkan dalam Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Uji Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Syarat (ASTM / SNI)	Hasil Pengujian Agregat Kasar
Kadar Air	0,5 – 2,0 (%)	0,54%
Kadar Lumpur	Max 1%	0,24%
Berat Volume		
Kondisi Lepas	Min 1,4 gr/cm^3	1,66 gr/cm^3
Kondisi Padat	Min 1,4 gr/cm^3	1,62 gr/cm^3
Absorpsi	Max 1%	1,26
Berat Jenis		
BJ Bulk	Min 2,5	2,56
BJ SSD	Min 2,5	2,59
BJ Semu	Min 2,5	2,65
Keausan	Max 40%	14,92%

Hasil pengujian karakteristik agregat kasar yang dilakukan menunjukan bahwa material agregat kasar berupa batu poecah layak digunakan dalam campuran beton, hal ini ditunjukan pada hasil pengujian yang telah memenuhi persyatan yang telah ditetapkan.

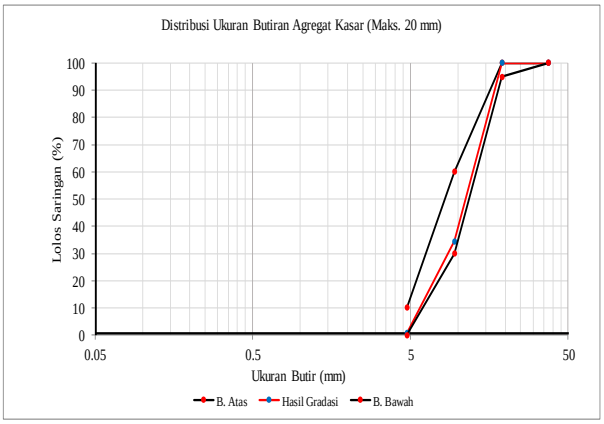
Tabel 2. Hasil Uji Agregat Halus

Jenis Pengujian	Syarat (ASTM / SNI)	Hasil Pengujian Agregat Halus
Kadar Air	0,5 – 2,0 (%)	1,87%
Kadar Lumpur	Max 1%	0,56%
Berat Volume		
Kondisi Lepas	Min 1,4 gr/cm^3	1,64 gr/cm^3
Kondisi Padat	Min 1,4 gr/cm^3	1,57 gr/cm^3
Absorpsi	Max 1%	0,77
Berat Jenis		
BJ Bulk	Min 2,5	2,51
BJ SSD	Min 2,5	2,53
BJ Semu	Min 2,5	2,56

Hasil pengujian karakteristik agregat halus yang telah dilakukan menunjukan bahwa semua parameter yang telah diuji pada material agregat halus berupa pasir layak digunakan dalam campuran beton sesuai dengan standar yang berlaku, hal ini ditunjukan pada hasil-hasil pengujian yang telah memenuhi syarat-syarat yang ditentukan.

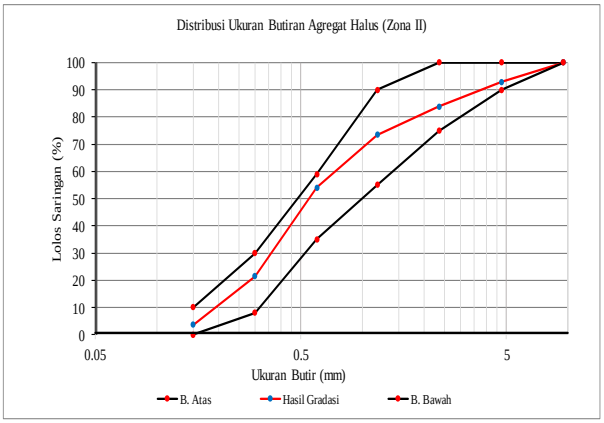
3.2 Hasil Analisis Saringan Agregat

Gradasi agregat adalah sebaran ukuran agregat. Agregat yang baik harus memiliki variasi ukuran yang beragam, sehingga dapat saling mengisi dan menghasilkan campuran yang padat. Hasil pengujian gradasi agregat (batu pecah dan pasir) dalam campuran beton ditunjukkan dalam Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2**.** Distribusi Ukuran Agregat Kasar

Hasil pengujian analisis saringan agregat kasar menunjukkan bahwa agregat kasar termasuk kedalam zona dua yaitu berukuran maks. 20 mm dan memenuhi persyaratan SNI-2834-2000.



Gambar 3. Distribusi Ukuran Agregat Halus

Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus menunjukkan hasil uji agregat halus berada di zona 2 yaitu pasir sedang dan memenuhi persyaratan SNI 03-2834-2000.

3.3 Mix Design

Adapun perencanaan mix design untuk beton dengan mutu 30 MPa dan 40 MPa, yang digunakan untuk campuran 3 buah silinder berukuran 15 cm x 30 cm dengan bahan tambahan 6% fly ash dan 0,5% superplasticizer terhadap berat semen. Mix design dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3**.** Mix Design Beton Mutu 30 MPa

No.	Kuat Tekan (MPa)	Persen Karet (%)	Karet (kg)	Semen (kg)	Air (Liter)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)
1	30	0	0,00	8,37	4,10	18,85	12,57
2	30	4	0,19	8,37	4,10	18,85	12,06
3	30	8	0,37	8,37	4,10	18,85	11,56
4	30	12	0,56	8,37	4,10	18,85	11,06

Tabel 4. Mix Design Beton Mutu 40 MPa

No.	Kuat Tekan (MPa)	Persen Karet (%)	Karet (kg)	Semen (kg)	Air (Liter)	Agregat Kasar (kg)	Agregat Halus (kg)
1	30	0	0,00	8,37	4,10	18,85	12,57
2	30	4	0,19	8,37	4,10	18,85	12,06
3	30	8	0,37	8,37	4,10	18,85	11,56
4	30	12	0,56	8,37	4,10	18,85	11,06

3.4 Hasil Pengujian Slump Beton

Pengujian slump dilakukan untuk memastikan kekakuan campuran beton sesuai kebutuhan. Hasil pengukuran slump berada di kisaran 8-12 cm, sesuai dengan rencana, karena jumlah air dalam campuran disesuaikan untuk mencapai kekentalan yang diinginkan. Hasil pengujian slump ditunjukkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengukuran Slump

No.	Variasi Campuran	Slump Test (cm)	
		30 MPa	40 MPa
1	0%	8,80	8,60
2	4%	9,30	9,00
3	8%	9,80	9,50
4	12%	10,90	10,50

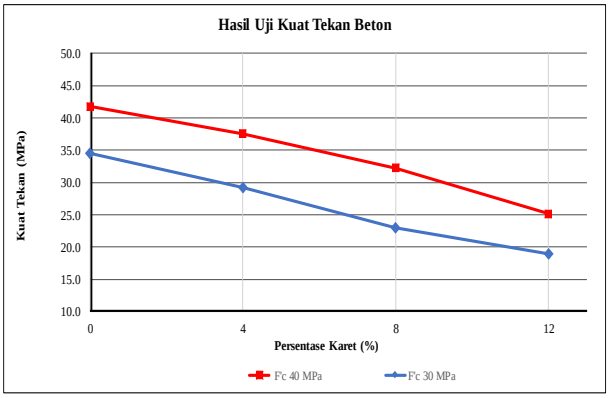
3.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kuat tekan dari silinder beton, pengujian dilakukan dengan mengacu pada standar ASTM C39/C39M 17B, (2012). Pengujian kuat tekan dilakukan saat umur 28 hari rendaman. Adapun hasil pengujian kuat tekan beton ditunjukkan dalam Tabel 6 untuk mutu 30 MPa dan Tabel 7 untuk mutu 40 MPa.

Tabel 6. Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Variasi Campuran	Kuat Tekon Beton Mutu 30 MPa (MPa)	Kuat Tekan Beton Mutu 40 MPa (MPa)
0%	34,53	41,77
4%	29,21	37,58
8%	22,96	32,25
12%	18,95	25,13

Kuat tekan rata-rata beton dengan mutu rencana 30 MPa pada variasi tanpa karet (0% karet) mencapai 34,53 MPa. Namun, ketika karet ditambahkan, kuat tekan menurun drastis, dengan rata-rata terendah 18,95 MPa pada komposisi 12% karet. Kuat tekan rata-rata untuk beton tanpa karet adalah 41,75 MPa. Dengan penambahan karet hingga 8%, kuat tekan masih berada di kisaran 31,50 - 32,25 MPa, tetapi menurun menjadi 25,13 MPa pada penambahan 12% karet. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Grafik Kuat Tekan Beton

Grafik yang disajikan memperlihatkan tren penurunan kuat tekan seiring dengan peningkatan persentase karet. Pada beton mutu f'c 30 MPa dan f'c 40 MPa, terlihat bahwa penggunaan karet lebih dari 4% menyebabkan penurunan yang signifikan dalam kekuatan tekan. Misalnya, pada persentase karet 12%, kuat tekan beton f'c 30 MPa turun drastis dibandingkan dengan tanpa karet.

Secara keseluruhan, baik tabel maupun grafik menunjukkan bahwa meskipun aditif dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga batas tertentu, penambahan karet yang berlebihan berdampak negatif pada kekuatan beton.

4. KESIMPULAN DAN SARAN/REKOMENDASI

4.1 Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton mengalami variasi tergantung pada proporsi limbah karet ban bekas yang ditambahkan sebagai pengganti sebagian agregat halus. Pada mutu beton dengan target f'c 30 MPa, kuat tekan tertinggi tercatat pada variasi tanpa penambahan karet, yaitu sebesar 31,92 MPa. Namun, dengan penambahan 4% karet, kuat tekan mengalami penurunan menjadi 29,21 MPa. Hal serupa juga terjadi pada mutu beton dengan target f'c 40 MPa, di mana kuat tekan awal sebesar 41,75 MPa menurun menjadi 37,58 MPa dengan penggunaan 4% karet. Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan

bahwa penambahan limbah karet ban bekas dalam campuran beton cenderung menurunkan kuat tekan beton, meskipun beton masih memenuhi standar kekuatan yang diperlukan untuk berbagai aplikasi konstruksi.

Selain itu, penelitian ini mengindikasikan bahwa faktor utama yang mempengaruhi penurunan kuat tekan adalah karakteristik fisik limbah karet yang memiliki elastisitas lebih tinggi dibandingkan agregat alami, sehingga mengurangi kekakuan dan daya ikat dalam matriks beton. Dengan demikian, meskipun limbah karet dapat digunakan sebagai material alternatif dalam campuran beton, proporsi penggunaannya perlu dikontrol dengan baik agar tidak mengurangi performa beton secara signifikan.

4.2 Saran/Rekomendasi

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan eksplorasi lebih lanjut dengan menggunakan persentase limbah karet yang lebih kecil, seperti 1% atau 2%, untuk mengevaluasi apakah ada tingkat substitusi optimal yang tetap mempertahankan kuat tekan beton dalam batas yang dapat diterima. Selain itu, penelitian mendatang juga sebaiknya mempertimbangkan penggunaan partikel karet dengan ukuran yang lebih seragam dan sesuai dengan spesifikasi agregat halus agar distribusi dalam campuran lebih merata.

Selanjutnya, perlu dilakukan pengujian terhadap parameter lain selain kuat tekan, seperti ketahanan beton terhadap serapan air, keausan, dan durabilitas jangka panjang dalam berbagai kondisi lingkungan. Penggunaan bahan tambahan lain, seperti serat sintetis atau bahan perekat tambahan, juga dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan kohesi antara partikel karet dan matriks beton. Dengan penelitian lanjutan yang lebih mendalam, diharapkan inovasi dalam pemanfaatan limbah karet ban bekas dapat dikembangkan lebih jauh sebagai bagian dari solusi konstruksi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

REFERENSI

Anggara, E. A., & Firdaus. (2019). Pengaruh Penambahan Potongan Karet Ban Terhadap Kuat Lentur Beton. *Jurnal TEKNO*, *16*(1), 251–258.

ASTM C39/C39M 17B. (2012). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. *ACI Materials Journal*. https://doi.org/10.1520/C0039_C0039M-17B

Berty Slat, V., Supit, S. W., Kondoj, N., Teknik Sipil Politeknik Negeri Manado Jln Raya Politeknik Kel Buha, J., & Manado, K. (2021). Pengaruh Superplasticizer Polimer Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi. *Wahana TEKNIK SIPIL*, 115–123.

Fawzy, H. M., Mustafa, S. A. A., & Abdel-Badie, A. E. (2020). Thermal effect on bond strength of rubberized concrete filled steel tubular sections. *Frattura ed Integrita Strutturale*, *14*(53), 353–371. https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.53.28

Ferdiansyah, M. A. R., & Rochmah, D. N. (2022). Pengaruh Penggunaan Fly Ash pada Beton Mutu Tinggi Terhadap Nilai Kuat Tekan. *JURNAL SONDIR*, *6*(2), 82–89. https://ejournal.itn.ac.id/index.php/sondir

Fernandes, Y. G., Ishak, & Yusman, A. S. (2022). Analisis Subtitusi Agregat Kasar Menggunakan Limbah Ban Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton. *Ensiklopedia Research and Community Service Review*, *1*(2), 154–159.

Iqbal, M., Idroes, I., & Hady, M. (2022). Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Butiran Halus Ban Bekas Kendaraan sebagai Substitusi Agregat Halus dan Tambahan Serat Ban Bekas Kendaraan. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, *14*(1), 23-30.

Li, H. L., Xu, Y., Chen, P. Y., Ge, J. J., & Wu, F. (2019). Impact Energy Consumption of High-Volume Rubber Concrete with Silica Fume. *Advances in Civil Engineering*, *2019*. https://doi.org/10.1155/2019/1728762

Martina, N., Hasan, M. F. R., & Setiawan, Y. (2019). Pengaruh serbuk ban bekas sebagai campuran agregat halus pada campuran aspal porous. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, *24*(2), 144-152.

Najib, M. A., & Nadia, N. (2017). Beton Normal Dengan Menggunakan Ban Bekas Sebagai Pengganti Agregat Kasar. *Konstruksia*, *6*(1).

Saleh, F. A. H., Kaid, N., Ayed, K., Kerdal, D. E., Chioukh, N., & Leklou, N. (2022). Effects of rubber aggregates on the physical-mechanical, thermal and durability properties of self-compacting sand concrete. *Frattura ed Integrita Strutturale*, *16*(61), 89–107. https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.61.06

SNI 03-2834-2000. (2000). Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Dalam *Badan Standarisasi Nasinal*.

Sutisna, T., Raharja, A. R., Solihin, S., Hariyadi, E., & Putra, V. H. C. (2024). Penggunaan Computer Vision untuk Menghitung Jumlah Kendaraan dengan Menggunakan Metode SSD (Single Shoot Detector). *Innovative: Journal Of Social Science Research*, *4*(2), 6060-6067.

Wimaya, S., Ridwan, A., & Winarto, S. (2020). Modifikasi Beton Fc 9, 8 Mpa Menggunakan Abu Ampas Kopi. *J. Manaj. Teknol. Tek. Sipil*, *3*(2), 234.

Zhu, R., Pang, J., Wang, T., & Huang, X. (2020). Experimental research on chloride erosion resistance of rubber concrete. *Advances in Civil Engineering*, *2020*. https://doi.org/10.1155/2020/3972405