

Sifat Fisik dan Mekanik Mortar dengan Campuran Serutan Karet Ban Bekas Berbagai Merek

Restu Faizah

Program Doktorat, Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta.
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Brawijaya Geblagan Tamantirto Kasihan Bantul, DIY 55183, E-mail: restu.faizah@umy.ac.id

Henricus Priyosulistyo

Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2 Yogyakarta, E-mail: priyo_ugm@ugm.ac.id

Akhmad Aminullah

Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2 Yogyakarta, E-mail: akhmadaminullah@ugm.ac.id

Abstrak

Karet ban bekas merupakan salah satu limbah yang jumlahnya sangat melimpah, namun pemanfaatannya masih sangat terbatas. Ban bekas yang beredar di Indonesia memiliki beragam merek, antara lain Goodyear, Dunlop, Pirelli, Yokohama, Gajah Tunggal, MRF, Bridgestone, Swallow dan Michelin. Penelitian ini memeriksa sifat fisik dan mekanik mortar dengan campuran serutan karet ban bekas (SKBB) dari berbagai merek (A, B, C, dan D). Benda uji berupa 15 buah silinder mortar dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm, yang terdiri dari 12 buah mortar SKBB dan 3 buah mortar normal. Bahan SKBB disaring terlebih dahulu menggunakan saringan no.4 (4,75 cm) dan dicampurkan pada adukan mortar sebagai bahan pengganti sebagian pasir sebesar 40% volume pasir. Sifat-sifat fisik dan mekanik yang diuji meliputi densitas, kuat tekan, modulus elastisitas dan daktilitas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mortar SKBB semua merek merupakan mortar ringan dengan densitas antara 1584,4 – 1701,1 kg/m³. Penambahan SKBB semua merek pada adukan mortar dapat menurunkan densitas, kuat tekan dan modulus elastisitas mortar, namun meningkatkan daktilitasnya. SKBB merek B dinilai sebagai pilihan terbaik untuk digunakan sebagai bahan pengganti sebagian pasir pada mortar, untuk memperoleh mortar SKBB yang memiliki kekuatan dan daktilitas yang baik. Untuk mendapatkan mortar SKBB yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dan memiliki sifat lebih daktil, dapat dipilih karet ban bekas sebagai bahan campuran mortar, yang rendah densitas dan modulus gesernya.

Kata kunci: Mortar, serutan karet ban bekas, merek ban bekas, sifat fisik dan mekanik.

Abstract

The used rubber tire is one of the waste that becomes an environmental problem because the amount is abundant, while the utilization is still minimal. There are several tire brands in Indonesia, such as Goodyear, Dunlop, Pirelli, Yokohama, Gajah Tunggal, MRF, Bridgestone, and Michelin. This research investigates the physical and mechanical properties of mortars mixed with various brands (A, B, C, and D) of rubber tire crumbs (SKBB). The specimens are 15 pcs of mortar cylinder with 10 cm in diameter and 20 cm in height consisted of SKBB-mortars (12 pcs) and standard mortars (3 pcs). Initially, the SKBB is filtered using a #4-sieve (4.75 cm) and then mixed in mortar mixtures as a partial substitute of sand by 40% of the sand volume. Physical and mechanical properties test consist of density, compressive strength, modulus of elasticity, and ductility. The results showed that all of SKBB-mortars were lightweight mortars with densities of 1584.4 - 1701.1 kg/m³. The addition of all brands of SKBB into mortar mixtures can reduce density, compressive strength, and modulus of elasticity, but increase the ductility of the mortars. The B brand of SKBB is considered as the best choice as a replacement material of the part of sands to get the SKBB-mortar having good strength and ductility. To obtain a mortar-SKBB having properties of more strength and more ductile, it can be chosen a used rubber tire having low density and low shear modulus..

Keywords: Mortar, used rubber tire crumbs, rubber tire brands, physical and mechanical properties.

1. Pendahuluan

Seiring dengan meningkatnya perekonomian masyarakat Indonesia, maka kepemilikan mobil juga terus meningkat. Penjualan ban mobil pada semester I

tahun 2012 mengalami peningkatan sebesar 11% (replacement) hingga 35% (original equipment) jika dibandingkan penjualan pada semester I tahun 2011 (Pane, 2012). Karena alasan keamanan, rata-rata setiap 2 atau 3 tahun sekali dilakukan penggantian ban mobil

dengan ban yang baru, sehingga limbah ban bekas terus meningkat jumlahnya. Agar tidak muncul permasalahan lingkungan, maka perlu dicari terobosan baru untuk memanfaatkan limbah ban bekas menjadi material yang lebih bermanfaat.

Di bidang Teknik Sipil, karet ban bekas sudah mulai diteliti pemanfaatannya sebagai bahan campuran pada aspal (FHWA-HIF, 2014), beton (Bisht & Ramana, 2017; Moustafa & ElGawady, 2015) atau mortar (Fahnani, 2009; Faizah et al., 2018). Karet ban bekas digunakan dalam bentuk serutan atau serbuk, dan dicampurkan pada mortar atau beton sebagai pengganti pasir. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penambahan serutan karet ban bekas (SKBB) pada campuran mortar berakibat menurunnya kekuatan mortar, tapi meningkatkan daktilitas dan kemampuan meredam energi getaran (*damping*) (Faizah et al., 2019a). Sementara itu Nasution menyatakan bahwa mortar dengan kadar SKBB (lolos saringan #4) sebesar 40% terhadap volume pasir memiliki peluang untuk dimanfaatkan sebagai spesi dinding pasangan bata merah, karena mampu meningkatkan *damping* sebesar 60% dengan kuat tekan masih lebih dari 5 MPa (Nasution, 2019).

Ban mobil bekas yang beredar di Indonesia memiliki berbagai merek, diantaranya *Goodyear*, *Dunlop*, *Pirelli*, *Yokohama*, *Gajah Tunggal*, *MRF*, *Bridgestone*, *Swallow* dan *Michelin*. Masing-masing merek memiliki sifat fisik dan mekanik yang berbeda, seperti densitas (*density*), perpanjangan saat putus (*elongation at break*), kuat tarik (*tensile strength*), kekerasan (*hardness*), modulus elastisitas (*modulus of elasticity*) dan modulus geser (*shear modulus*) (Faizah et al., 2019b). Sifat-sifat tersebut merupakan sifat murni dari karet ban bekas dalam bentuk aslinya, dan belum diketahui pengaruhnya jika dicampurkan pada adukan mortar. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian kekuatan mortar campuran karet ban bekas yang menggunakan beberapa merek ban yang banyak beredar di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk memeriksa sifat fisik dan mekanik dari mortar dengan campuran serutan karet ban bekas (SKBB), dengan beberapa merek ban yang diberi kode A, B, C dan D. Pengambilan merek ban mobil dalam penelitian ini sama dengan merek ban mobil dalam Faizah et al., (2019b), dengan kode A, B, C, dan D. Hasil pengujian Faizah et al. (2019b) menunjukkan bahwa karet ban bekas dengan berbagai merek memiliki *density* yang hampir sama, yaitu sekitar $1,1 \text{ gr/cm}^3$ (1100 kg/m^3). Namun sifat-sifat lainnya seperti kuat tarik (*tensile strength*), kekerasan (*hardness*), perpanjangan putus (*elongation at break*), modulus elastisitas (*modulus of elasticity*), dan modulus geser (*shear modulus*) memiliki perbedaan, seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Timbul pertanyaan, bagaimana pengaruh sifat-sifat karet ban bekas tersebut terhadap sifat fisik dan mekanik mortar yang dicampurnya. Oleh karena itu dalam penelitian ini diperiksa pengaruh penggunaan SKBB dengan berbagai merek sebagai campuran mortar, terhadap sifat-sifat mortar. Hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat sebagai bahan pertimbangan dalam

memilih jenis serutan karet ban yang akan digunakan sebagai campuran pada mortar, untuk spesi pasangan bata merah.

Tabel 1. Sifat-sifat karet ban bekas beberapa merek (Faizah et al., 2019b)

No.	Sifat karet ban bekas	Merek			
		A	B	C	D
1.	Densitas (gr/cm^3)	1,11	1,09	1,12	1,14
2.	Kuat tarik (MPa)	10,64	14,36	11,90	11,79
3.	Kekerasan (Shore A)	57,90	68,74	66,98	67,60
4.	Perpanjangan putus (%)	296,00	271,00	238,00	244,00
5.	Modulus elastisitas (MPa)	1,85	2,09	2,61	2,49
6.	Modulus Geser (MPa)	0,92	1,23	1,77	1,36

2. Metodologi

2.1 Benda uji

Benda uji berupa silinder mortar normal (tanpa SKBB) dan mortar SKBB (menggunakan campuran SKBB). Bahan yang digunakan dalam membuat mortar SKBB terdiri dari semen, pasir, SKBB, dan air. Berat jenis dan densitas bahan ditunjukkan dalam Tabel 2. Semen yang digunakan tergolong semen tipe I, sedangkan pasir berasal dari kali Progo. SKBB berasal dari ban bekas merek A, B, C, dan D yang lolos saringan #4 (4,75 mm) seperti ditunjukkan dalam Gambar 1. Keseluruhan bahan dicampur mengikuti prosedur ASTM C305-06 (*Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency*) (ASTM, 2006). *Mix design* untuk 1 m^3 campuran diberikan pada Tabel 3. Penamaan jenis mortar mengikuti merek SKBB yang digunakan, yaitu mortar A, B, C, D untuk mortar dengan campuran SKBB merek A, B, C, D, dan mortar N untuk mortar normal (tanpa SKBB).

Mortar segar dicetak berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm. Seluruh benda uji berjumlah 15 buah (Gambar 2), dengan distribusi variasi benda uji ditunjukkan dalam Tabel 4. SKBB menggantikan sebagian pasir sebesar 40% volume pasir, mengikuti rekomendasi dalam Nasution (2019). Kadar SKBB dalam mortar sebesar 40% menggantikan volume pasir ini dapat menghasilkan mortar yang memiliki kemampuan redaman tinggi dan kekuatan masih memenuhi persyaratan sebagai spesi pada pasangan bata merah (Nasution, 2019). Spesi pada pasangan bata merah yang berasal dari mortar dengan bahan dasar semen harus memiliki kuat tekan tidak kurang dari kuat tekan minimal bata merah, yaitu sebesar 3 MPa (DPU, 2006). Dalam membuat *mix design*, ditentukan nilai faktor air semen (*f*) sebesar 0,6 dan perbandingan semen:pasir adalah 1:3, mengikuti persyaratan dalam Pedoman Pembangunan Bangunan Tahan Gempa (DPU, 1993).

Silinder mortar yang sudah dilepas dari cetakan, kemudian dilakukan perawatan (*curing*) dengan cara direndam hingga berusia 21 hari, kemudian ditiriskan dan diletakkan dalam suhu ruangan hingga dilakukan pengujian pada usia 28 hari. Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu permukaan silinder diratakan dengan metode *capping* menggunakan bahan *gypsum*.



Gambar 1. Serutan karet ban bekas, lolos #4 (4,75 mm)



Gambar 2. Benda uji silinder mortar (15 buah)

Tabel 2. Berat jenis dan densitas bahan

No.	Nama bahan	Berat Jenis	Densitas (kg/m ³)
1	Semen	3,15	1250,0
2	pasir	2,72	1595,1
3	SKBB merek A	1,11	559,1
4	SKBB merek B	1,09	458,4
5	SKBB merek C	1,12	474,3
6	SKBB merek D	1,14	553,8

Tabel 3. Mix design untuk 1 m³ campuran mortar

Bahan penyusun	Jenis Mortar				
	A	B	C	D	N
Berat semen (kg)	445.3	461.5	460.9	448.2	429.7
Berat pasir (kg)	1022.8	1060.0	1058.6	1029.4	1645.1
Berat air (kg)	267.2	276.9	276.5	268.9	257.8
Berat karet (kg)	239.0	203.1	209.8	238.3	0

Tabel 4. Distribusi variasi benda uji

Kode benda uji	Jumlah	Merek ban bekas	Kadar serutan karet ban bekas
A1, A2, A3	3	A	40%
B1, B2, B3	3	B	40%
C1, C2, C3	3	C	40%
D1, D2, D3	3	D	40%
N1, N2, N3	3	-	0% (mortar normal)
Jumlah	15		

2.2 Setting pengujian

Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu silinder mortar diukur volumenya dan ditimbang beratnya untuk mengetahui densitasnya. Selanjutnya dilakukan uji kuat tekan dan modulus elastisitas mengikuti prosedur ASTM C 469-02 (*Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*) (ASTM, 2002). Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada dengan *setting* pengujian ditunjukkan pada Gambar 3. Peralatan yang digunakan terdiri dari 1 unit mesin tekan silinder dengan kapasitas maksimum 200 Ton, *linear variable differential transformer* (LVDT) dengan kapasitas 5 cm, *load cell* dengan kapasitas 60 Ton, dan *data logger*.



Gambar 3. Setting pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas silinder mortar.

2.3 Analisis

Setelah diperoleh hasil pengujian kuat tekan, maka selanjutnya dilakukan analisis untuk mendapatkan nilai densitas, kuat tekan, grafik hubungan tegangan dan regangan, modulus elastisitas, dan daktilitas mengikuti rumus-rumus pada **Persamaan 1 - 4**.

a. Densitas (*density*), ρ_s (kg/m³)

Dari pengukuran dan penimbangan, diperoleh data masa silinder (m_s) (kg) dan volume silinder (V_s) (m³) yang digunakan untuk menghitung densitas silinder (ρ_s) (kg/m³) mengikuti **Persamaan 1**.

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} \quad (1)$$

b. Kuat tekan (*compression strength*) mortar, f_c' (MPa)

Kuat tekan mortar diperoleh dalam pengujian tekan silinder dengan membagi gaya tekan aksial maksimum (P_{max}) (kN) dengan luas bidang tekan silinder (A) (m²) mengikuti persamaan 2.

$$f_c' = \frac{P_{max}}{A} \times 1,04 \quad (2)$$

(jika menggunakan silinder 20x10 cm, hasilnya dikalikan faktor koreksi = 1,04 (BSN, 2011))

c. Modulus elastisitas (*modulus of elasticity*), E (MPa)

Modulus elastisitas mortar dapat ditentukan dari kemiringan kurva hubungan antara tegangan dan regangan pada fase elastis, yang diperoleh dari hasil

eksperimen. Dalam hal ini dapat digunakan rumus Hooke pada Persamaan 3.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{P \cdot L}{A \cdot \Delta L} \quad (3)$$

dimana:

- E = Modulus Elastisitas (MPa)
- σ = tegangan aksial (MPa)
- ϵ = regangan aksial
- P = gaya aksial (Newton)
- L = panjang silinder awal (mm)
- A = luas area silinder (mm^2)
- ΔL = pertambahan panjang (sisplacement) (mm)

d. Daktilitas (*ductility*), μ (mm/mm)

Daktilitas dapat dihitung dengan Persamaan 4, dimana Δ_u adalah *displacement* pada saat beban ultimit ($P_u = 80\% P_{max}$), dan Δ_y adalah *displacement* pada saat leleh pertama, seperti dijelaskan pada Gambar 4 (Paulay & Priestley, 1992).

$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (4)$$

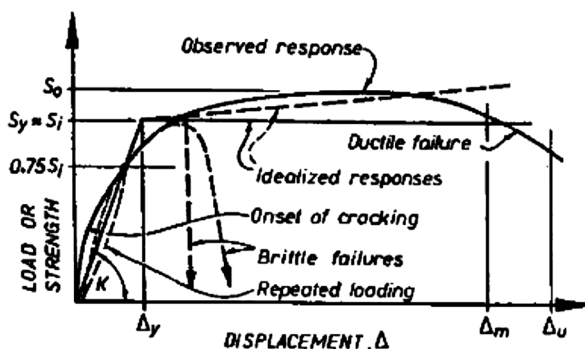
e. Uji Korelasi

Dalam penelitian ini dilakukan uji korelasi untuk mengetahui pengaruh sifat karet ban bekas tiap merek terhadap sifat fisik dan mekanik mortar SKBB. Uji korelasi menggunakan metode *Pearson Product Momen* (PPM) dengan variable X dan Y. Kekuatan hubungan antara X dan Y dinyatakan dalam r_{xy} yang besarnya antara -1 dan 1. Nilai 1 menunjukkan angka korelasi positif sempurna, 0 menunjukkan tidak ada korelasi sama sekali, dan -1 menunjukkan korelasi negatif sempurna. Rumus untuk menghitung korelasi PPM antara 2 variabel X dan Y ditunjukkan dalam Persamaan 5. Dalam penelitian ini digunakan 3 tingkat korelasi, yaitu korelasi kuat ($|r_{xy}| \geq 0,66$), korelasi sedang ($0,67 > |r_{xy}| \geq 0,33$), dan korelasi rendah ($|r_{xy}| < 0,33$).

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2) \cdot (\sum y^2)}} \quad (4)$$

dengan:

- x = selisih nilai X dengan X rata-rata
- y = selisih nilai Y dengan Y rata-rata



Gambar 4. Hubungan antara load dan displacement untuk beton (Paulay & Priestley, 1992)

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam pengujian ini, keseluruhan benda uji berjumlah 15 buah, yang terdiri dari 3 buah benda uji tiap variasi. Benda uji dengan spesifikasi mortar normal (tanpa menggunakan campuran SKBB) diberi kode N1, N2, dan N3. Namun dalam praktek pengujian benda uji N3 mengalami kerusakan, sehingga data hasil pengujian N3 tidak digunakan. Oleh karena itu, hasil penelitian yang dianalisis keseluruhan berjumlah 14 buah.

3.1 Densitas

Hasil pengukuran volume dan penimbangan berat, beserta densitas masing-masing benda uji ditunjukkan dalam Tabel 5. Benda uji dengan kode N1 dan N2 merupakan mortar normal yang memiliki densitas rata-rata sebesar $2170,6 \text{ kg/m}^3$. Mortar SKBB merek A, B, C, dan D memiliki densitas sebesar 73–78 % dari densitas mortar normal. Penurunan densitas ini kemungkinan disebabkan oleh penggantian sebagian pasir dengan SKBB, dimana densitas SKBB lebih kecil dari densitas pasir yang digantikan. Dalam penelitian ini digunakan SKBB dengan densitas sekitar 33,3% dari densitas pasir, seperti terlihat pada Tabel 2. Selain itu, ada kemungkinan SKBB tidak dapat tercampur sempurna dengan butiran pasir dan pasta semen, sehingga terdapat semacam rongga pada pertemuan antara semen dan pasir yang dapat menyebabkan kerapatan massa (*density*) nya juga berkurang. Kehadiran rongga dalam campuran ini akan mengakibatkan lemahnya ikatan antarmaterial dalam campuran dan kekuatan mekaniknya juga menurun. Untuk mengatasi hal ini, perlu dipikirkan penggunaan bahan tambah (*additive*) atau perlakuan khusus sebelum SKBB digunakan, agar sifat-sifat mekanisnya dapat meningkat.

Berdasarkan nilai densitas ini, maka mortar SKBB dapat diklasifikasikan sebagai mortar ringan karena densitasnya tidak melebihi 1850 kg/m^3 (BSN, 2002). Dilihat dari sifatnya yang ringan, maka mortar SKBB sangat baik digunakan sebagai spesi pasangan bata merah karena dapat menurunkan massa bangunan. Apabila massa bangunan berkurang, maka besar gaya geser dasar bangunan yang timbul akibat gempa menjadi berkurang pula. Namun selain ringannya, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang persyaratan lain dalam penggunaan mortar SKBB sebagai spesi pasangan bata merah, seperti kekuatan mekaniknya dan kuat lekatan antara spesi dengan bata merah.

Dari Tabel 5 terlihat bahwa mortar SKBB merek B memiliki densitas tertinggi dibandingkan densitas mortar SKBB lainnya, yaitu sebesar $1701,1 \text{ kg/m}^3$ (78% dari densitas mortar normal). Sementara itu, jika diperhatikan densitas SKBB berbagai merek pada Tabel 2, terlihat bahwa SKBB merek B memiliki densitas terendah dibandingkan dengan SKBB merek lainnya. Oleh karena itu, dapat diduga bahwa tingginya densitas mortar B dibandingkan mortar A, C, dan D ini bukan karena densitas SKBB merek B yang tinggi, namun kemungkinan disebabkan oleh kemampuan lekatan SKBB merek B yang lebih baik dibandingkan

merek lainnya. Dengan kemampuan lekatan yang baik, maka akan diperoleh mortar yang lebih padat.

Tabel 5. Hasil perhitungan densitas

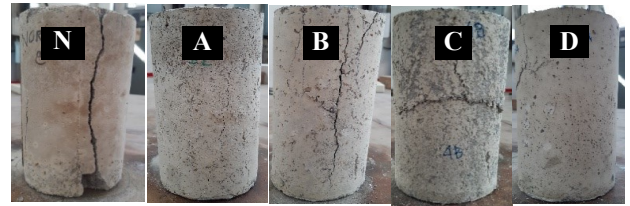
No. Benda Uji	Kode	Berat (kg)	Volume (10^{-3} m^3)	densitas (kg/m^3)	Densitas rata-rata (kg/m^3)
1	A1	3,06	1,93	1586,1	1584,4
2	A2	3,10	1,98	1565,1	
3	A3	3,06	1,91	1602,0	
4	B1	3,35	1,97	1702,8	1701,1
5	B2	3,28	1,95	1686,2	
6	B3	3,39	1,98	1714,2	
7	C1	3,09	1,92	1612,9	1611,9
8	C2	3,09	1,92	1605,6	
9	C3	3,16	1,96	1617,2	
10	D1	3,10	1,93	1610,8	1589,5
11	D2	3,08	1,95	1579,1	
12	D3	3,06	1,94	1578,6	
13	N1	4,19	1,91	2189,1	2170,6
14	N2	4,19	1,95	2152,2	

3.2 Kuat tekan, dan modulus elastisitas

Pada pengujian kuat tekan, silinder mortar ditekan hingga kekuatannya menurun sampai kurang dari 80% kekuatan puncaknya, untuk mendapatkan kekuatan ultimitnya. Setelah pengujian, silinder mortar mengalami kerusakan seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Jenis kerusakan yang terjadi pada silinder mortar N berbeda dengan silinder mortar A, B, C dan D. Mortar N cenderung langsung pecah pada lokasi tertentu hingga runtuh, sementara mortar A, B, C, dan D diawali dengan retak rambut dan retak-retak merata ke beberapa permukaan silinder. Pola retak mortar N menunjukkan bahwa mortar N bersifat *brittle*, sedangkan mortar A, B, C dan D lebih *ductile*.

Kuat tekan mortar dapat dihitung mengikuti Persamaan 2, dan hasilnya berupa kuat tekan rata-rata tiap variasi seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Kuat tekan mortar N adalah 21,3 MPa, sedangkan kuat tekan mortar A, B, C, D berada pada kisaran 4,5 – 5,8 MPa. Hasil pengujian kuat tekan ini menunjukkan bahwa penambahan SKBB pada campuran mortar mengakibatkan menurunnya kuat tekan mortar hingga tinggal 21-27 % dari kuat tekan mortar normal. Penurunan kuat tekan mortar akibat penambahan SKBB ini sesuai dengan hasil penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa semakin banyak kadar karet dalam campuran mortar/beton akan mengakibatkan kuat tekan mortar/beton semakin kecil (Mutar et al., 2018; Wakchaure & Channa, 2018; Sadek & El-Attar, 2015). Penurunan kekuatan ini dapat diakibatkan oleh lemahnya ikatan antara SKBB dengan pasta semen dalam campuran mortar. Lemahnya ikatan ini dikarenakan SKBB mengandung bahan-bahan kimia yang sulit bercampur dengan pasta semen. Hal ini disebutkan oleh Bekhiti et al., (2014) bahwa karet ban mengandung bahan-bahan kimia seperti *stearic acid* (1,2%), *zinc oxide* (1,9%), *extender oil* (1,9%) dan *carbon black* (31,0%).

Berdasarkan kuat tekannya, mortar SKBB ini dinilai dapat diaplikasikan sebagai elemen bangunan, terbatas pada elemen nonstruktural yang tidak menahan gaya

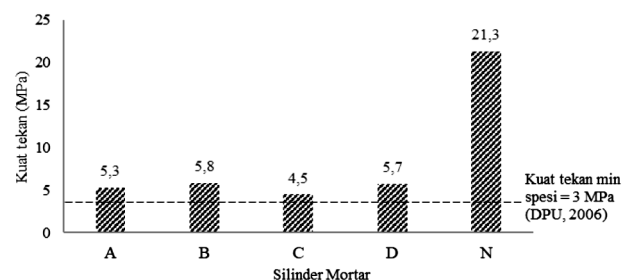


Gambar 5. Benda uji silinder mortar setelah pengujian

aksial terlalu besar (Aliabdo et al., 2015; Mutar et al., 2018; Bisht & Ramana, 2017; Sadek & El-Attar, 2015). Mortar SKBB dengan berbagai merek dalam pengujian ini dapat diaplikasikan sebagai elemen nonstruktural yang tidak membutuhkan kekuatan aksial melebihi 4,5 MPa, seperti sebagai spesi pada pasangan bata merah.

Menurut Wisnumurti et al. (2007), kekuatan dinding pasangan bata merah dipengaruhi oleh kuat tekan mortarnya, namun dibatasi oleh kuat tekan bata merahnya. Penggunaan mortar yang memiliki kuat tekan melebihi kuat tekan bata merahnya kadangkala tidak bermanfaat, karena apabila bata merah sudah rusak (pecah), maka kinerja dinding akan menurun walaupun mortarnya belum mengalami kerusakan. Oleh karena itu, persyaratan kuat tekan mortar untuk spesi pada dinding pasangan bata merah adalah sama dengan persyaratan kuat tekan bata merahnya, yaitu minimal sebesar 30 kg/cm^2 (3 MPa) pada umur 28 hari (DPU, 2006). Dengan demikian, apabila ditinjau dari persyaratan kuat tekannya, maka mortar SKBB semua merek dalam penelitian ini memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai spesi pasangan bata merah. Walaupun pengujian untuk mengetahui kekuatan lekatan dan kuat gesernya masih perlu dilakukan.

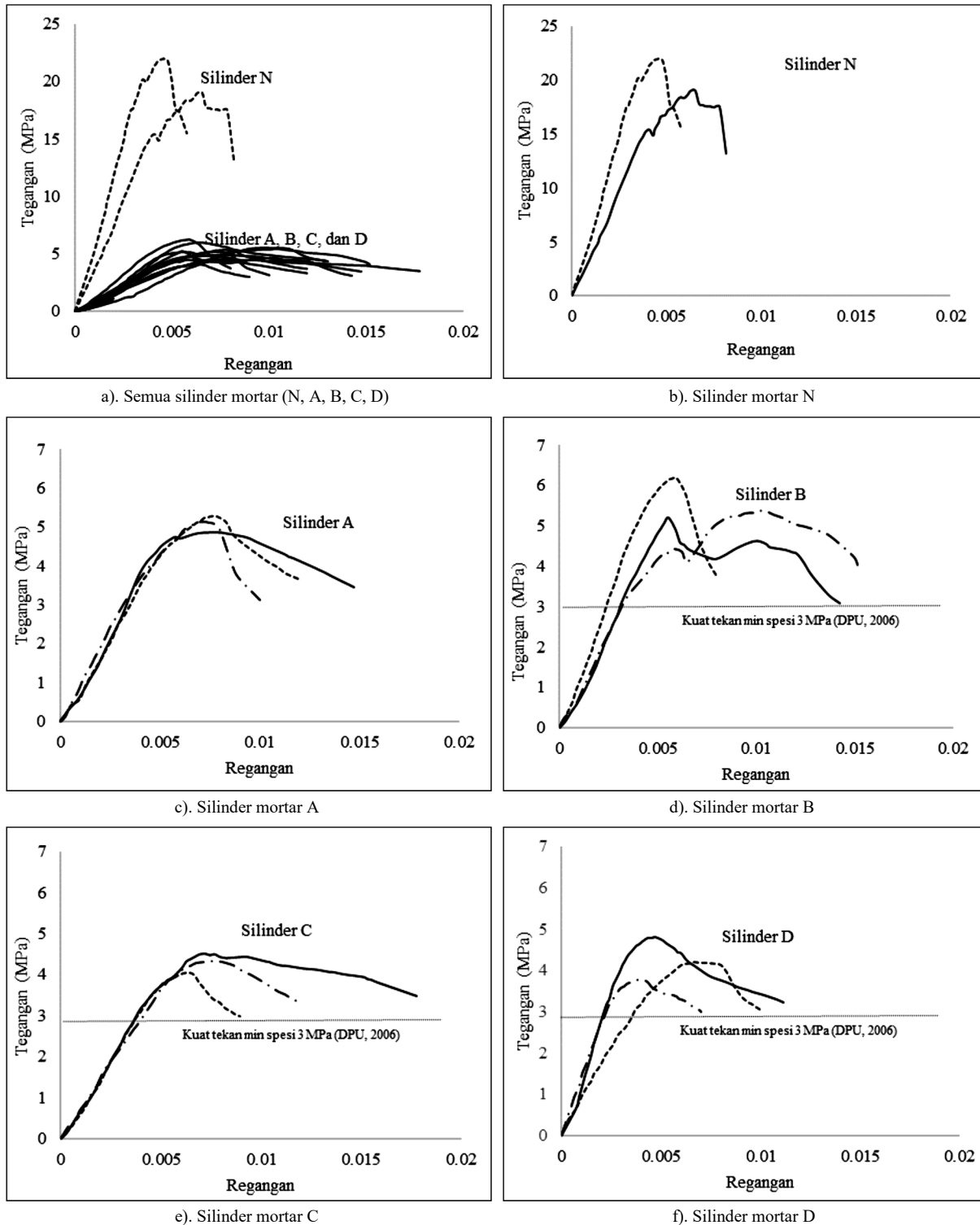
Jika dibandingkan nilai kuat tekan mortar A, B, C, dan D, maka mortar B memiliki kekuatan tertinggi, sedangkan mortar C memiliki kekuatan terendah. Hasil uji kuat tekan ini sesuai dengan hasil pengujian densitas yang menunjukkan bahwa mortar B memiliki densitas tertinggi dibandingkan mortar A, C, dan D. Tingginya densitas ini menunjukkan kepadatan yang baik dan menghasilkan mortar yang lebih kuat. Tingginya kuat tekan mortar B kemungkinan juga disebabkan oleh sifat *hardness* (kekerasan) karet ban bekas merek B yang menunjukkan nilai paling besar dibandingkan merek lainnya (Faizah et al., 2019b). Semakin tinggi *hardness*-nya menunjukkan karet ban bekas tersebut semakin keras dan memiliki ketahanan yang tinggi terhadap abrasi dan ekstrusi (Sidabutra, 2013). Dengan demikian, penggunaan SKBB yang berasal dari ban bekas merek B dirasa paling menguntungkan dibandingkan merek lainnya.



Gambar 6. Hasil pengujian kuat tekan mortar

Dari pengujian kuat tekan mortar juga dapat diperoleh grafik hubungan antara tegangan dan regangan seperti ditunjukkan dalam **Gambar 7** (a – f). Dalam Gambar 7(a) terlihat bahwa grafik hubungan tegangan dan regangan mortar N cenderung lebih tegak ke atas dan memiliki tegangan maksimum hingga 4-5 kali lebih besar dibandingkan tegangan mortar A, B, C dan D. Tegangan maksimum mortar N sebesar 19-21 MPa pada regangan 0,004-0,006, sedangkan mortar A, B, C,

D memiliki tegangan maksimum antara 4-6 MPa, pada regangan antara 0,005 hingga 0,01 (Gambar 7(c-f)). Dari pengamatan ini terlihat bahwa penambahan SKBB dapat mengakibatkan turunnya tegangan maksimum mortar, namun dapat meningkatkan regangan maksimumnya hingga sekitar 2 kalinya. Selain itu, setelah melalui tegangan maksimum, mortar SKBB terlihat dapat mengalami regangan lebih besar dibandingkan mortar normal, sampai kemudian



Gambar 7. Grafik hubungan tegangan dan regangan

mengalami keruntuhan. Sifat ini dinilai menguntungkan dalam aplikasi mortar SKBB sebagai spesi pasangan bata merah, karena diharapkan dapat menambah kelenturan dinding.

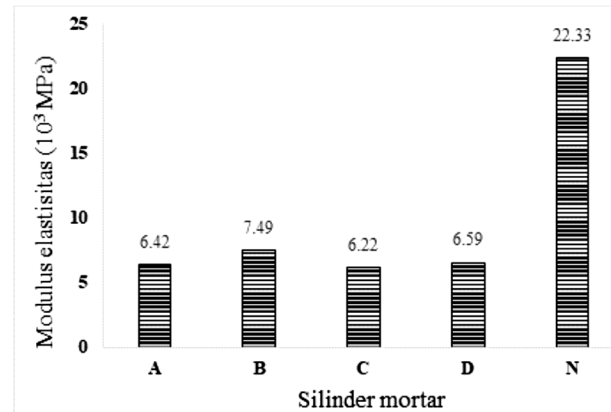
Berdasarkan grafik hubungan tegangan dan regangan, selanjutnya dapat dihitung modulus elastisitas mortar menggunakan rumus Hooke pada Persamaan 3. Hasil perhitungan modulus elastisitas ditunjukkan dalam Gambar 8, yaitu sebesar 6416, 7493, 6223, 6587, dan 22331 MPa, berturut-turut untuk Mortar A, B, C, D, dan N. Mortar SKBB merek A, B, C, D memiliki nilai modulus elastisitas yang lebih kecil dari pada mortar normal (N). Dalam penelitian ini diperoleh hasil bahwa mortar dengan campuran SKBB merek B memiliki nilai modulus elastisitas tertinggi, sedangkan merek A memiliki nilai terendah. Berdasarkan kuat tekan dan modulus elastisitasnya, mortar SKBB merek B menunjukkan hasil tertinggi dibandingkan dengan mortar SKBB merek lainnya. Oleh karena itu, pemilihan merek ban bekas dirasa perlu dilakukan dalam membuat SKBB sebagai bahan campuran dalam mortar.

3.3 Daktilitas

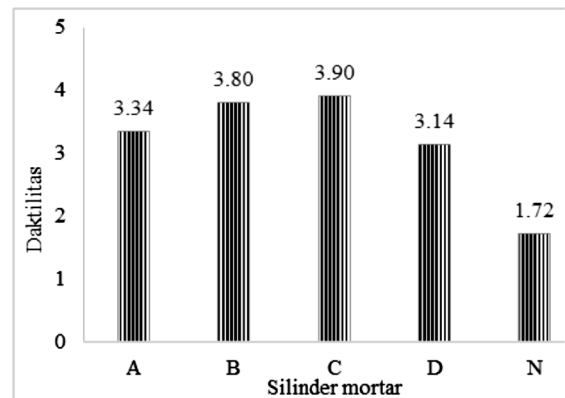
Berdasarkan grafik hubungan antara *load* dan *displacement* yang diperoleh dari hasil pengujian dapat dianalisis nilai daktilitas bahan, mengikuti Persamaan 4 dan hasilnya ditunjukkan dalam Gambar 9. Mortar dengan campuran SKBB merek C memiliki nilai daktilitas tertinggi sebesar 3,90, dan mortar normal memiliki nilai daktilitas terendah sebesar 1,72. Mortar B memiliki daktilitas yang hampir sama dengan daktilitas mortar C, yaitu sebesar 3,8. Nilai daktilitas juga dapat diamati dari bentuk grafik hubungan antara tegangan dan regangan pada Gambar 7. Semakin besar daktilitas, maka terlihat grafik pada fase pasca-leleh semakin panjang dan semakin landai.

Daktilitas menunjukkan kemampuan struktur atau material struktur untuk mampu mengalami deformasi yang besar tanpa mengalami kehancuran (putus) (Paulay & Priestley, 1992). Semakin tinggi daktilitas, menunjukkan bahwa material semakin ulet (*ductile*) yang ditunjukkan dengan sifat kehancuran yang tidak secara tiba-tiba. Penggunaan material dengan daktilitas tinggi sangat disarankan dalam bangunan tahan gempa, karena diharapkan bangunan akan mampu bertahan dalam kondisi menurun kinerjanya dan tidak cepat runtuh. Dengan demikian, apabila terjadi gempa, penghuni yang ada di dalam bangunan memiliki waktu untuk keluar sebelum bangunan benar-benar runtuh. Sifat *ductile* dari mortar dengan SKBB ini juga terlihat dari pola kerusakan mortar ketika dilakukan pengujian tekan, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Dalam penelitian ini, diperoleh hasil bahwa daktilitas mortar SKBB lebih tinggi dibandingkan daktilitas mortar normal hingga 2,3 kalinya. Peningkatan daktilitas pada mortar SKBB kemungkinan diakibatkan adanya SKBB yang berbentuk serat (*fiber*) yang memiliki sifat kuat tarik tinggi, lentur, dan elastis (Hendrawan & Purboputro, 2015). Pada saat mortar mulai mengalami kerusakan (retak), maka sifat SKBB berperan menghambat retak agar tidak cepat merambat, dan dibutuhkan waktu yang lebih lama untuk hancur.



Gambar 8. Modulus elastisitas mortar (10^3 MPa)



Gambar 9. Daktilitas mortar

Dengan melihat hasil keseluruhan sifat-sifat mortar dengan campuran SKBB berbagai merek ini, nampaknya SKBB merek B pantas dijadikan pilihan sebagai bahan campuran pada mortar, karena memiliki kekuatan tertinggi, dengan nilai daktilitas cukup tinggi pula. Walaupun mortar C memiliki daktilitas tertinggi, namun selisih dengan mortar B hanya sebesar 2% (0,1), sedangkan kekuatan mortar C adalah paling rendah diantara mortar SKBB lainnya. Penelitian selanjutnya untuk mengetahui kekuatan lekatan mortar dengan bata serta kekuatan geser mortar perlu dilakukan untuk mengetahui kekuatannya dalam menahan gaya gempa.

3.4 Korelasi

Uji korelasi PPM dilakukan untuk mengetahui pengaruh variabel X (sifat-sifat karet ban bekas merek A, B, C dan D) terhadap variabel Y (sifat-sifat Mortar SKBB). Sifat-sifat karet ban bekas merek A, B, C, dan D (Variabel X) diambil dari hasil penelitian Faizah et al., (2019b). Hasil perhitungan korelasi antara variabel X dan Y (r_{xy}) ditunjukkan pada Tabel 6. Semakin tinggi nilai korelasi (semakin mendekati ± 1), berarti pengaruh antara 2 variabel semakin kuat. Tanda negatif menunjukkan bahwa pengaruhnya bersifat terbalik.

Dari hasil perhitungan korelasi ini, diketahui bahwa tidak semua sifat-sifat karet ban bekas memiliki pengaruh yang tinggi terhadap sifat-sifat mortar SKBB yang dicampurinya. Pengaruh yang dominan ditunjukkan dengan angka korelasi tinggi, dengan tanda negatif menunjukkan pengaruh yang bertolak belakang.

Beberapa hubungan yang dapat dianalisis adalah sebagai berikut ini:

- Densitas dan modulus elastisitas mortar SKBB paling dominan dipengaruhi oleh kuat tarik karet ban bekas, dengan angka korelasi 0,96 untuk densitas dan 0,89 untuk modulus elastisitas. Semakin tinggi kuat tarik karet ban bekas dapat menghasilkan mortar SKBB yang lebih tinggi densitas dan modulus elastisitasnya. Jika diperhatikan pada Tabel 1, karet B memiliki kuat tarik tertinggi sebesar 14,36 MPa, dan menghasilkan mortar SKBB yang memiliki densitas dan modulus elastisitas tertinggi pula, yaitu sebesar 1701,1 kg/m³ (densitas) dan 7,49 (modulus elastisitas).
- Kuat tekan mortar SKBB paling dominan dipengaruhi oleh modulus geser (G) karet ban bekas, dengan angka korelasi -0,62 (korelasi terbalik). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi modulus geser karet ban bekas dapat menghasilkan mortar SKBB yang lebih rendah kuat tekannya. Modulus geser karet ban bekas tertinggi terdapat pada merek C, sehingga mortar SKBB merek C memiliki kuat tekan terendah dibandingkan mortar SKBB merek lainnya (**Gambar 6**), yaitu sebesar 4,5 MPa. Berdasarkan pengamatan ini, maka dapat dipilih karet ban bekas yang memiliki sifat modulus geser rendah untuk mendapatkan mortar SKBB yang tinggi kuat tekannya.
- Daktilitas mortar SKBB paling dipengaruhi oleh densitas karet ban bekas, dengan angka korelasi sebesar -0,61 (korelasi terbalik). Semakin tinggi densitas karet ban bekas dapat menghasilkan mortar SKBB yang semakin kurang daktail. Dalam hal ini, karet ban bekas merek D memiliki densitas tertinggi sebesar 1,14 gr/cm³, sehingga dapat menghasilkan mortar SKBB yang paling rendah daktilitasnya dibandingkan mortar SKBB merek lain, yaitu sebesar 3,14. Dengan demikian untuk mendapatkan mortar SKBB yang lebih daktail dapat digunakan campuran dari karet ban bekas yang rendah densitasnya.

Tabel 6. Hasil perhitungan korelasi antara variable X dan Y (r_{xy})

Sifat karet ban bekas (Variabel X)	Sifat Mortar SKBB (Variabel Y)			
	Densitas	Kuat tekan	Modulus E	Daktilitas
Densitas SKBB	-0,78	-0,18	-0,67	-0,61
Kuat tarik	0,96	0,42	0,89	0,52
Kekerasan (<i>Hardness</i>)	0,56	0,15	0,44	0,34
Perpanjangan putus (<i>Elongation</i>)	0,06	0,35	0,25	-0,18
Modulus Elastisitas	-0,16	-0,44	-0,36	0,16
Modulus Geser, G	-0,02	-0,62	-0,34	0,45

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini sudah dilakukan pengujian terhadap mortar N, A, B, C, dan D. Berdasarkan hasil

pengujian, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Penambahan SKBB semua merek pada campuran mortar dapat menurunkan densitas, kuat tekan dan modulus elastisitas mortar, namun meningkatkan daktilitas mortar dibandingkan dengan mortar normal.
- Mortar dengan campuran SKBB semua merek merupakan mortar ringan dengan densitas antara 1584,4 – 1701,1 kg/m³.
- SKBB merek B merupakan pilihan terbaik untuk digunakan sebagai bahan campuran pada mortar, karena memiliki kekuatan tertinggi dengan sifat daktilitas yang cukup tinggi.
- Untuk mendapatkan mortar SKBB yang memiliki kuat tekan lebih tinggi dan memiliki sifat lebih daktail, dapat dipilih karet ban bekas sebagai bahan campuran mortar, yang rendah densitas dan modulus gesernya.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang telah memberikan pendanaan bagi penelitian ini melalui Lembaga Penelitian, Publikasi dan Pengabdian Masyarakat (LP3M).

Daftar Pustaka

- Aliabdo, A. A., Abd Elmoaty, A. E. M., & AbdElbaset, M. M. (2015). Utilization of waste rubber in non-structural applications. *Construction and Building Materials*, 91, 195–207. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.080>
- Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, Pub. L. No. C469-02, 1 (2002).
- Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency, Pub. L. No. C305-02, ASTM C305-06 ASTM C305—06 1 (2006).
- Bekhiti, M., Trouzine, H., & Asroun, A. (2014). *Properties of Waste Tire Rubber Powder*. 4(4), 4.
- Bisht, K., & Ramana, P. V. (2017). Evaluation of mechanical and durability properties of crumb rubber concrete. *Construction and Building Materials*, 155, 811–817. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.131>
- Spesifikasi agregat ringan untuk beton ringan struktural, SNI 03-2461-2002 SNI 03-2461-2002 8 (2002).
- Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, 1974: 2011 SNI 1974: 2011 15 (2011).
- DPU. (2006). *Pedoman Teknis: Rumah dan Bangunan Gedung Tahan Gempa (dilengkapi dengan*

Metode dan Cara Perbaikan Konstruksi.

- DPU, D. C. K. (1993). *Pedoman Pembangunan Bangunan Tahan Gempa*. DPU.
- Fahnani, D. R. (2009). *Tinjauan Modulus Elastisitas Repair Mortar dengan Bahan Tambah Serat Ban* [Skripsi]. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Faizah, R., Priyosulistyo, H., & Aminullah, A. (2019a). An Investigation on Mechanical Properties and Damping Behaviour of Hardened Mortar with Rubber Tire Crumbs (RTC). *MATEC Web of Conferences*, 258, 05002. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925805002>
- Faizah, R., Priyosulistyo, H., & Aminullah, A. (2019b). The Properties of Waste Rubber Tires in Increasing the Damping of Masonry Wall Structure. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 650, 012041. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/650/1/012041>
- Faizah, R., Satyarno, I., Priyosulistyo, H., & Aminullah, A. (2018). Improving the Masonry Brick Ductility using Mortar Bed Joint from Rubber Tire Crumbs: A Review. *Journal of Physical Science*, 29(Supp. 2), 117–132. <https://doi.org/10.21315/jps2018.29.s2.9>
- FHWA-HIF. (2014). *The Use of Recycled Tire Rubber to Modify Asphalt Binder and Mixtures*. US Department of Transportation Federal Highway Administration.
- Hendrawan, M. A., & Purboputro, P. I. (2015). Studi Karakteristik Sifat Mekanik Kompon Karet dengan Variasi Komposisi Sulfur dan Carbon Black sebagai Bahan Dasar Ban Luar. *Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT)* 3, 8.
- Moustafa, A., & ElGawady, M. (2015). Damping Properties of High Strength Concrete with Scrap Tire Rubber. *Researchgate, Net*, 10. https://www.researchgate.net/publication/281895445_Damping_properties_of_high_strength_concrete_with_scrap_tire_rubber
- Mutar, M. A., Hussein, T. S., & Malik, S. H. (2018). Effect of Crumb Rubber Aggregates on the Characteristics of Cement Concrete as Partial Replacement. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD)*, 8(1), 11.
- Nasution, M. (2019). *Pengujian Sifat Mekanik Mortar dengan Persentase Komposisi Serat Karet Ban Bekas* [Thesis]. Universitas Gadjah Mada.
- Pane, A. (2012). *Ekspor Ban Capai 18 Juta Unit*. Kementrian Perindustrian R, Jakarta.
- Paulay, T., & Priestley, M. J. N. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. John Wiley & Sons, Inc.
- Sadek, D. M., & El-Attar, M. M. (2015). Structural behavior of rubberized masonry walls. *Journal of Cleaner Production*, 89, 174–186. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.098>
- Sidabutar, V. (2013). *Metoda Pengujian Sifat Fisik Barang Jadi Karet (Buku Ajar)*. Kementrian Perdagangan RI.
- Wakchaure, M. R., & Channa, S. S. (2018). Crumb Rubber in Concrete: Static and Dynamic Evaluation. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 5(10), 520–524.
- Wisnumurti, Soehardjono, A., & Palupi, K. A. (2007). Optimalisasi Penggunaan Komposisi Campuran Mortar terhadap Kuat Tekan Dinding Pasangan Bata Merah. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 1(1), 25–32.

