

KARAKTERISTIK BATAKO SELF COMPACTING CONCRETE (SCC) LIMBAH BAN BEKAS UNTUK MATERIAL DINDING BANGUNAN RAMAH LINGKUNGAN

Nastain¹, Yanuar Hariyanto²

Program Studi S1 Teknik Sipil, Universitas Jenderal Soedirman

Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

Informasi Makalah

Dikirim, 30 Juni 2023

Direvisi,

Diterima, 31 Agustus 2023

Kata Kunci:

ban bekas

dinding

kuat tekan

kuat lentur

kuat geser

Keyword:

waste tires

wall

compressive strength

flexural strength

shear strength

INTISARI

Batako merupakan salah satu material alternatif dinding yang murah, kuat, dan mudah dalam pengerjaannya. Tetapi mempunyai kelemahan antara lain berat dan mudah pecah. Penggunaan potongan limbah ban bekas dalam campuran batako diharapkan dapat meningkatkan ketahanan batako, sehingga ringan dan tidak mudah pecah. Metode penelitian dilakukan menggunakan benda uji dinding dengan ukuran batako 34,5 x 12 x 9 cm. Campuran batako antara semen : agregat adalah 1 : 6 dengan menggunakan fas 0,6. Sedangkan kadar % volume ban bekas divariasi sebesar 50%, 55%, 60%, 65%, 70% dan 75% terhadap volume agregat. Keleccakan campuran ditingkatkan dengan penambahan *superplasticizer* sebesar 0,5% terhadap berat semen sehingga didapatkan campuran beton SCC. Karakteristik fisik dan mekanik dinding batako diketahui dengan melakukan pengujian berat satuan, kuat tekan, kuat lentur dan kuat geser terhadap benda uji berdasarkan SNI 03-0348-1989, SNI 03-4165-1996 dan SNI 03-4166-1996. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berat satuan batako SCC adalah sebesar 913,02 kg/m³ sehingga termasuk kategori batako ringan atau menurun 52,9% dibandingkan batako tanpa ban bekas. Sedangkan nilai kuat tekan, kuat lentur dan kuat geser dinding batako akan menurun dengan meningkatnya penambahan kadar ban bekas.

ABSTRACT

Concrete brick is one alternative wall material that is cheap, strong, and easy to work with. But it has weaknesses, including heavy and easily broken. The use of scrap waste tire in a mixture of concrete bricks is expected to increase the durability of the concrete bricks, making them light and not easily broken. The research method was carried out using wall specimens with a concrete brick size of 34.5 x 12 x 9 cm. The mixture of concrete bricks between cement: aggregate is 1: 6 using fas 0.6. While the volume % content of waste tires varied by 50%, 55%, 60%, 65%, 70% and 75% of the aggregate volume. The workability of the mix was increased by adding 0.5% superplasticizer to the weight of cement to obtain SCC concrete mixture. The physical and mechanical characteristics of adobe walls are determined by testing the unit weight, compressive strength, flexural strength and shear strength of the specimens based on SNI 03-0348-1989, SNI 03-4165-1996 and SNI 03-4166-1996. The results showed that the unit weight of SCC concrete bricks was 913.02 kg/m³ so that they were included in the light concrete brick category or decreased by 52.9% compared to bricks without waste tires. While the values of compressive strength, flexural strength and shear strength of adobe walls will decrease with increasing levels of waste tires.

Korespondensi Penulis:

Nastain

Program Studi Teknik Sipil

Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto

JL. Mayjen Sungkono KM.05, Balter Purbalingga

Email: nastain@unsoed.ac.id

1. PENDAHULUAN

Batako merupakan salah satu alternatif bahan dinding yang murah dan kuat. Mallisa [1] mendefinisikan batako adalah bata beton yang dibuat dari campuran antara semen, agregat dan air layaknya campuran beton dengan atau tanpa bahan tambahan. Sedangkan Wisnumurti [2] menyatakan bahwa batako adalah semacam batu cetak yang terbuat dari campuran tras, kapur, dan air atau dapat dibuat dengan campuran semen, kapur, pasir dan ditambah air dalam keadaan pollen (lekat) dicetak menjadi balok-balok dengan ukuran tertentu. Sedangkan menurut SNI 03-0349-1989 bata beton adalah suatu jenis unsur bangunan berbentuk bata yang dibuat dari campuran bahan perekat hidrolis atau sejenisnya, air, dan agregat, dengan atau tanpa bahan tambah lainnya yang tidak merugikan sifat beton itu.

Batako mempunyai sifat-sifat panas dan ketebalan yang lebih baik dari pada beton. Batako dapat disusun empat kali lebih cepat dan cukup untuk semua penggunaan yang biasanya menggunakan batu bata. Keuntungan lain adalah penggunaan batako dapat mengurangi efek kerusakan lingkungan khususnya lahan pertanian yang dijadikan sebagai pembuatan batu bata [3]. Batako terdiri dari berbagai bentuk dan ukuran. Istilah batako berhubungan dengan bentuk persegi panjang yang digunakan untuk dinding. Ada dua macam jenis batako, yaitu batako pejal dan batako berlubang. Batako pejal adalah batako yang memiliki penampang pejal 75% atau lebih dari luas penampang seluruhnya dan memiliki volume pejal lebih dari 75% dari volume bata seluruhnya (SNI 03-0349-1989). Tetapi batako berlubang memiliki sifat peredam panas yang lebih baik dari batako padat dengan menggunakan bahan dan ketebalan yang sama. Sedangkan berdasarkan bahan pembuatannya batako, dapat dikelompokkan menjadi (a) batako putih (tras) yang terbuat dari campuran tras, batu kapur dan air sehingga sering disebut batu cetak kapur tras (b) batako semen yang terbuat dari campuran semen dan pasir dan dikenal juga sebagai batako press dan (c) batako ringan yang terbuat dari bahan baku pasir kuarsa, semen, dan bahan lain yang dikategorikan sebagai bahan-bahan untuk beton ringan [4][5].

Berdasarkan SNI 03-0348-1989, persyaratan mutu batako pejal adalah harus mempunyai bentuk sempurna, tidak retak-retak, tidak cacat pada bagian sudut dan rusuknya, dan tidak mudah dirapuhkan dengan jari tangan. Lebih detail persyaratan batako yang baik adalah permukaan batako harus mulus, berumur minimal satu bulan, pada waktu pemasangan harus kering, berukuran panjang ± 40 cm, lebar ± 20 cm, kadar air 25-35% dari berat, dengan kuat tekan antara 2-7 N/mm² [6].

Disamping keunggulan yang dimiliki batako tersebut, batako memiliki kelemahan yaitu berat dan mudah pecah. Usaha untuk mengurangi kelemahan batako tersebut diharapkan dapat dilakukan dengan penggunaan potongan limbah ban bekas dalam campuran batako [7][8][9][10][11]. Hal ini karena potongan ban bekas akan berfungsi seolah-olah seperti tulang dalam yang akan menahan tegangan tarik. Sedangkan berat satuan ban bekas yang kecil yaitu berkisar antara 1,08 – 1,27 t/m³ [12] akan membuat batako menjadi lebih ringan. Ban bekas merupakan limbah dari roda kendaraan bermotor yang sudah tidak layak pakai. ETRA [13] mendefinisikan ban bekas adalah ban yang secara permanen telah dibuang dari kendaraan tanpa kemungkinan untuk dibentuk lagi pada penggunaan di jalan raya. Di Eropa ban bekas pada tahun 2004 mencapai 3,25 juta ton per tahun, di Amerika tahun 2003 adalah 3,75 ton per tahun dan di Jepang tahun 2004 adalah sekitar 1,0 juta ton per tahun [14]. Sedangkan di Indonesia limbah ban bekas jumlahnya cukup besar yaitu diperkirakan 11 juta ton per tahun, dan jumlah ini akan terus bertambah seiring pertambahan jumlah kendaraan di dalam negeri. Pada sisi lain pemanfaatan ban bekas di Indonesia masih sangat terbatas, antara lain hanya untuk pelindung dermaga (fender), tali, sandal, tempat sampah dan kerajinan kursi. Sehingga beberapa tahun ke depan, limbah ban bekas akan menjadi masalah yang cukup serius dan rumit. Karena limbah ban bekas sangat sulit diuraikan oleh lingkungan dan sangat tahan terhadap serangan kimia dan asam [15]. Pemusnahan ban bekas dengan cara dibakar pun juga cukup sulit dilakukan, karena ban bekas hanya akan terbakar pada suhu di atas 322°C [14].

Oleh karena itu penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif pemanfaatan limbah ban bekas batako pada komponen dinding, yang pada akhirnya juga akan secara signifikan mengurangi berat struktur bangunan itu sendiri secara keseluruhan, sehingga struktur menjadi lebih ringan dan tahan gempa.

2. METODE PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan penelitian yang telah ditetapkan, maka metode penelitian dilakukan dengan uji laboratorium terhadap benda uji.

2.1. Bahan Penelitian

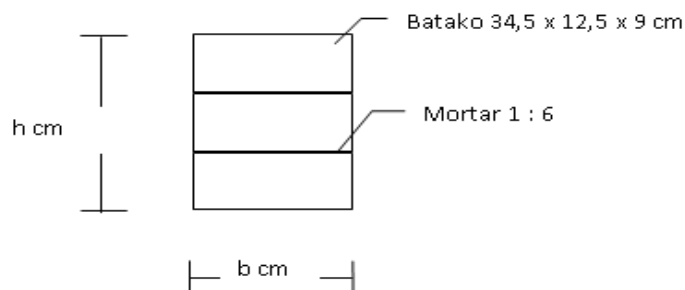
Bahan penelitian adalah air, semen, pasir, dan potongan ban bekas ukuran 0,4 x 0,4 x 2,0 cm. Ban bekas yang digunakan merupakan ban bekas kendaraan dengan jenis ban biasa (bukan *tubelless*).

2.2. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain : *universal testing machine* (UTM), cetakan batako, alat pemadat batako, molen, timbangan, jangka sorong, dan lain-lain.

2.3. Rancangan Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian adalah benda uji model dinding yang tersusun dari batako ban bekas yang direkatkan dengan campuran adukan semen : pasir adalah 1 : 6.



Gambar 1. Benda uji model dinding

Batako dibuat dengan ukuran 34,5 x 12,5 x 9 cm dengan variasi prosentase penambahan agregat ban bekas pada bahan campuran. Bahan campuran batako adalah air, semen, pasir, agregat potongan ban bekas dan *superplastisizer*. Penggunaan air terhadap semen ditetapkan berdasarkan nilai faktor air semen (fas) sebesar 0,6 dan penggunaan semen per meter kubik bahan campuran batako terhadap agregat (pasir dan potongan ban bekas) adalah 1 : 6. Penambahan *superplastisizer* ditetapkan sebesar 0,5% terhadap berat semen. Superplasticizer menggunakan jenis *Visco-10*. Sedangkan variasi prosentase penambahan agregat potongan ban bekas dalam campuran adalah perbandingan volume antara potongan ban bekas dan pasir yang digunakan. Ukuran, variasi dan jumlah benda uji dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Ukuran, variasi, dan jumlah benda uji

Kode Sampel	Ukuran Batako (cm)		Vol. Pasir (%)	Vol. Ban (%)	Vol. <i>Visco</i> (%)	Jumlah Benda Uji		
	Tampang	Panjang				Kuat Tekan	Uji Geser	Uji Lentur
BB.0	12,5 x 9	34,5	100,0	0,0	0,5	3	3	3
BB.1	12,5 x 9	34,5	50,0	50,0	0,5	3		
BB.2	12,5 x 9	34,5	45,0	55,0	0,5	3		
BB.3	12,5 x 9	34,5	40,0	60,0	0,5	3		
BB.4	12,5 x 9	34,5	35,0	65,0	0,5	3		
BB.5	12,5 x 9	34,5	30,0	70,0	0,5	3		
BB.6	12,5 x 9	34,5	25,0	75,0	0,5	3		
BB.7	12,5 x 9	34,5	50,0	50,0	0,5		1x3	
BB.8	12,5 x 9	34,5	45,0	55,0	0,5		1x3	
BB.9	12,5 x 9	34,5	40,0	60,0	0,5		1x3	
BB.10	12,5 x 9	34,5	35,0	65,0	0,5		1x3	
BB.11	12,5 x 9	34,5	30,0	70,0	0,5		1x3	
BB.12	12,5 x 9	34,5	25,0	75,0	0,5		1x3	
BB.13	12,5 x 9	34,5	50,0	50,0	0,5			1x3
BB.14	12,5 x 9	34,5	45,0	55,0	0,5			1x3
BB.15	12,5 x 9	34,5	40,0	60,0	0,5			1x3
BB.16	12,5 x 9	34,5	35,0	65,0	0,5			1x3
BB.17	12,5 x 9	34,5	30,0	70,0	0,5			1x3
BB.18	12,5 x 9	34,5	25,0	75,0	0,5			1x3
TOTAL						21	21	21

2.4. Tahapan Penelitian

1. Persiapan

Persiapan meliputi penyediaan formulir-formulir pengujian, peralatan, rapat persiapan untuk koordinasi, pembagian kerja, dan penyusunan TOR.

2. Pengujian karakteristik agregat batako

Pengujian meliputi pengujian agregat pasir dan bahan ban bekas. Pengujian agregat pasir dilakukan untuk pemeriksaan berat volume, berat jenis, berat jenis kering muka, penyerapan air, kadar lumpur,

dan gradasi butir. Sedangkan pengujian agregat bahan ban bekas dilakukan untuk mengetahui berat volume, berat jenis, absorpsi, dan kuat tarik ban bekas.

3. Pembuatan potongan ban bekas
Potongan limbah ban bekas berukuran penampang $0,4 \times 0,4 \text{ cm}^2$ dan panjang 2,0 cm.
4. Pembuatan benda uji batako
Benda uji batako dibuat dengan faktor air semen 0,6. Ukuran, variasi, dan jumlah benda uji seperti pada **Tabel 1**. Potongan ban bekas diberikan secara acak sesuai dengan persen volume yang ditetapkan. Dimana berat potongan ban bekas (W_b) dalam 1 meter kubik campuran batako dihitung dengan rumus: $W_b = V_b \times \gamma_b$, dengan W_b adalah berat ban bekas, V_b adalah persen volume ban bekas, dan γ_b adalah berat volume ban bekas. Selanjutnya batako dirawat selama 28 hari dengan di tempatkan pada daerah yang terlindung dari sinar matahari dan hujan.
5. Pembuatan benda uji model dinding batako
Benda uji dibuat seperti pada **Gambar 1**. Susunan batako direkatkan dengan adukan semen : pasir adalah 1 : 6 dan dirawat selama 28 hari dengan di tempatkan pada daerah yang terlindung dari sinar matahari dan hujan.
6. Pengujian kuat tekan benda uji batako.
Pengujian kuat tekan bata beton (batako) ringan berdasarkan SNI 03-0349-1989.
7. Pengujian kekuatan model dinding batako ringan ban bekas
Pengujian model dinding batako dilakukan untuk mengetahui tingkat kekuatan struktur dinding batako dengan campuran agregat limbah ban bekas pada aplikasi struktur bangunan terhadap kekuatan geser dan kekuatan lentur dinding pasangan. Metode pengujian mengacu pada SNI 03-4166-1996 dan SNI 03-4165-1996. Sehingga dapat diketahui kontribusi dinding pasangan batako dengan campuran agregat ban bekas terhadap perilaku struktur. Jenis pengujian yang dilakukan seperti pada **Tabel 2**.

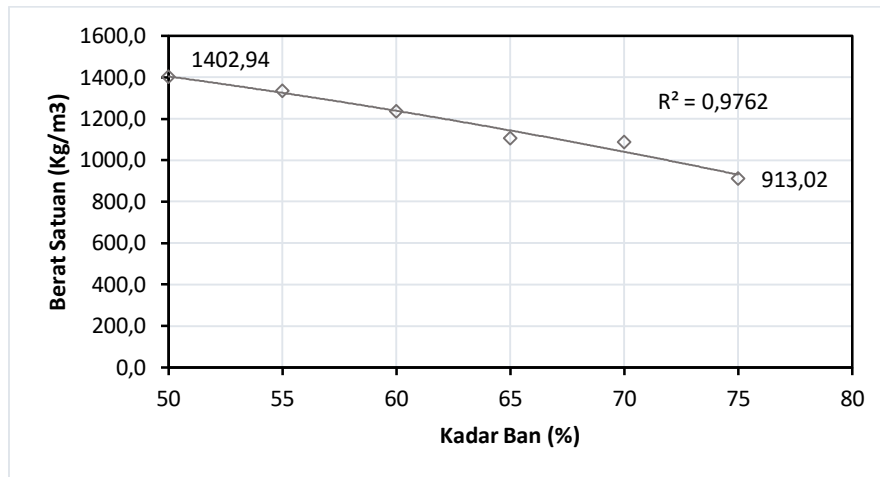
Tabel 2. Jenis pengujian model dinding batako

Jenis Pengujian	Formula (SNI 03-4166-1996 dan SNI 03-4165-1996)
Uji geser dinding	$f_{vh} = \frac{P_u + W}{2(b \times h)} \dots\dots\dots (1)$
Uji lentur dinding	$F_{lt} = \left(P_u + \frac{W}{2} \right) \times \left(\frac{1}{4} \right) \times \left(\frac{c}{1} \right) \dots\dots\dots (2)$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Berat satuan

Batako dicetak dengan ukuran cetakan $34,5 \times 12,5 \times 9 \text{ cm}$, kemudian dirawat dalam lingkungan atau ruangan yang tidak secara langsung terkena sinar matahari selama ± 28 hari. Perawatan dilakukan dengan menutup batako dengan karung goni yang telah dibasahi. Setelah batako berumur 28 hari, ditimbang beratnya untuk mengetahui berat satuan batako. Berat satuan adalah berat batako dibagi dengan volume, dimana berat dan volume batako adalah berat dan volume saat pengukuran dilakukan yaitu pada umur 28 hari. Hasil pengukuran berat satuan batako dapat dilihat pada **Gambar 2**.

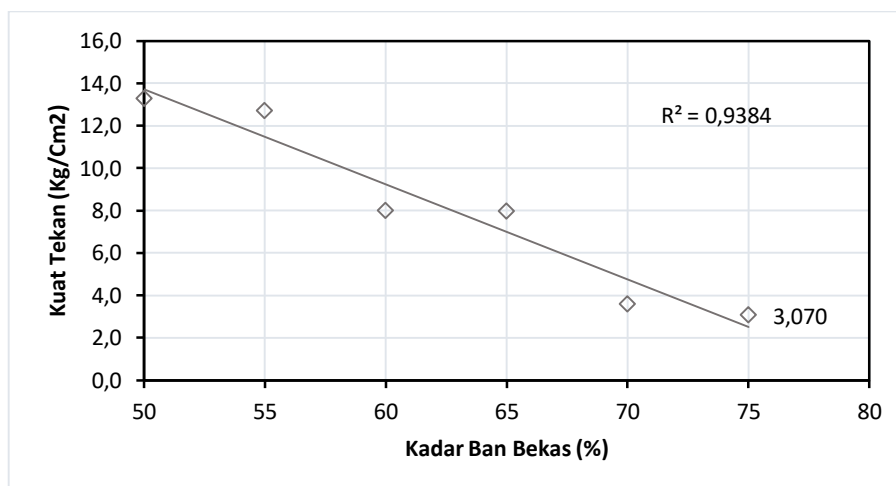


Gambar 2. Hubungan berat satuan batako terhadap kadar ban bekas

Berdasarkan **Gambar 2**, berat satuan batako dengan bahan tambah ban bekas cukup kecil, sehingga termasuk kategori batako ringan. Hal ini karena SNI 03-2847-2002 mensyaratkan bahwa beton ringan adalah beton yang mempunyai berat satuan tidak lebih dari 1900 kg/m³. Berat satuan batako semakin kecil seiring meningkatnya kadar penambahan ban bekas dalam campuran. Hal ini karena berat jenis ban bekas lebih kecil dari pada berat jenis agregat pasir. Dengan penggunaan *superplasticizer*, maka penambahan kadar ban bekas dalam campuran batako dapat dilakukan hingga mencapai kadar 75% dimana batako tetap dapat dicetak dan memiliki berat satuan cukup kecil yaitu hanya sebesar 913,02 kg/m³ atau turun sebesar 52,9% terhadap batako tanpa ban bekas (kadar 0%) yaitu sebesar 1941,6 kg/m³ [11].

3.2. Kuat Tekan

Kuat tekan batako diuji berdasarkan SNI 03-0348-1989 pada umur batako 28 hari. Hasil pengujian kuat tekan disajikan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Hubungan kadar ban bekas terhadap kuat tekan batako

Berdasarkan **Gambar 3**, menunjukkan bahwa kuat tekan batako dengan penambahan ban bekas akan menjadi lebih kecil seiring dengan peningkatan penambahan kadar ban bekas. Pada kadar penambahan kadar ban bekas 75% dimana batako masih dapat dicetak dengan baik karena adanya penambahan *superplasticizer*, kuat tekan batako adalah sebesar 3,07 kg/cm² atau turun sebesar 88,0% dibandingkan batako tanpa bahan tambah ban bekas yaitu sebesar 25,62 kg/cm² [16]. Hal ini menunjukkan bahwa batako ban bekas dengan kadar penambahan ban bekas $\geq 50\%$ lebih cocok digunakan untuk elemen dinding non struktural yang tidak menerima beban.

Pada pengujian kuat tekan, diamati pula perilaku benda uji batako terutama pada tampang pecah atau tampang retaknya. Pada pemeriksaan tampang pecah dan tampang retak batako dengan penambahan ban

bekas, ditemukan bahwa ban bekas hanya tercerabut dan tidak terputus. Hal ini menunjukkan bahwa potongan ban bekas dalam batako belum dapat bekerja secara maksimal sebagai tulangan dalam untuk menahan tegangan tarik yang terjadi. Namun demikian, pada saat benda uji pecah, maka tidak terdengar suara yang menggelegar untuk batako dengan penambahan ban bekas tetapi cenderung pelan akibat adanya ban bekas dalam batako. Hal ini ditunjukkan dengan kondisi benda uji yang tidak hancur berantakan, tetapi cenderung masih utuh yang masih terikat oleh potongan ban bekas. Pola kehancuran batako dapat dilihat pada **Gambar 4**.



(a) Batako tanpa ban bekas (0%)

(b) batako dengan ban bekas

Gambar 4. Pola kehancuran batako pada uji tekan

3.3. Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan untuk mengetahui nilai kekuatan dinding batako sebagai dinding struktural terhadap beban lentur. Pengujian ini dilakukan dengan membuat tumpukan batako menjadi 3 lapis dan diikat dengan spesi. Pengujian dilakukan setelah benda uji dinding batako berumur 28 hari dengan mengacu pada SNI 03-4165-1996. Metode dan hasil pengujian kuat lentur dinding batako dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**.

**Gambar 5.** Metode pengujian kuat lentur dinding batako**Gambar 6.** Hubungan kadar ban bekas terhadap kuat lentur dinding batako

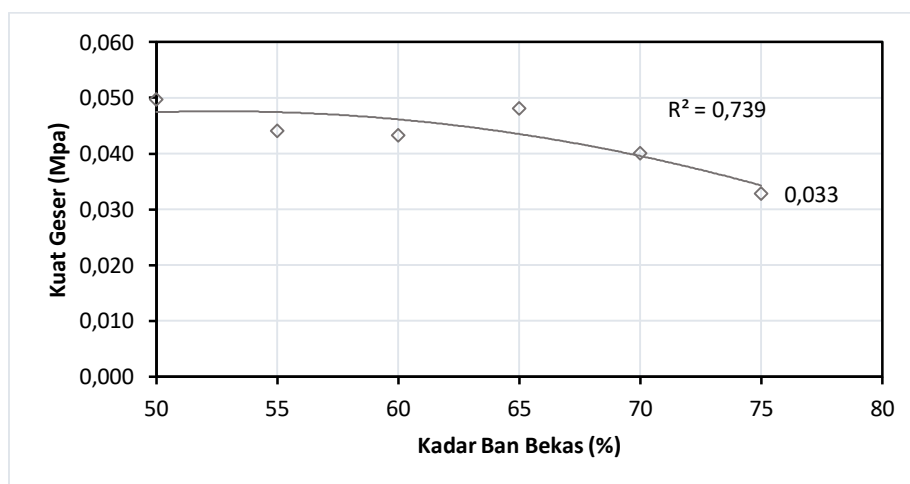
Jika kuat lentur batako tanpa ban bekas adalah sebesar 0,194 Mpa [16]. Maka dari **Gambar 6**, menunjukkan bahwa kuat lentur dinding batako dengan penambahan kadar ban bekas $\geq 50\%$ adalah lebih kecil dibandingkan dengan kuat lentur batako tanpa ban bekas dan semakin kecil seiring dengan peningkatan penambahan kadar ban bekas. Rendahnya kuat lentur terjadi dimungkinkan karena ban bekas dalam batako belum dapat bekerja secara maksimal sebagai tulangan dalam untuk menahan beban tarik/beban lentur. Walaupun ban bekas yang ada masih memungkinkan untuk mendapatkan posisinya dengan baik di dalam adukan batako akibat penambahan superplasticizer. Tetapi ikatan antara agregat dengan potongan ban bekas ternyata tidak cukup baik. Sifat material yang berbeda antara agregat pasir dan ban bekas yang berupa karet menyebabkan ikatan yang terjadi oleh semen tidak cukup kuat dan mudah lepas. Hal ini terlihat dari letak retak sampel dinding yang diuji, tidak hanya terjadi di sambungan antar batako/speci, tetapi juga terjadi di elemen batako itu sendiri. Terlihat pula bahwa ban bekas hanya tercerabut dan tidak terputus (**Gambar 5**).

3.4. Kuat Geser

Pengujian kuat geser dilakukan untuk mengetahui nilai kuat geser batako sebagai dinding struktural terhadap beban horisontal. Pengujian dilakukan setelah benda uji dinding batako berumur 28 hari dengan mengacu pada SNI 03-4166-1996. Metode dan hasil pengujian kuat geser dinding batako dapat dilihat pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**.



Gambar 7. Metode pengujian kuat geser dinding batako



Gambar 8. Hubungan kadar ban bekas terhadap kuat geser horisontal dinding batako

Jika kuat geser batako tanpa ban bekas adalah sebesar 0,099 Mpa [16]. Maka berdasarkan **Gambar 8**, menunjukkan bahwa kuat geser dinding batako dengan penambahan kadar ban bekas $\geq 50\%$ adalah lebih kecil dibandingkan dengan kuat geser batako tanpa ban bekas dan semakin kecil seiring dengan peningkatan penambahan kadar ban bekas. Sama halnya dengan nilai kuat lentur, rendahnya kuat geser terjadi dimungkinkan karena ban bekas dalam batako belum bekerja secara maksimal sebagai tulangan dalam untuk menahan beban tarik/beban lentur. Walaupun ban bekas yang ada masih memungkinkan untuk mendapatkan

posisinya dengan baik di dalam adukan batako akibat penambahan superplasticizer. Tetapi ikatan antara agregat dengan potongan ban bekas ternyata tidak cukup baik. Hal ini terlihat dari letak retak sampel dinding yang diuji, tidak hanya terjadi di sambungan antar batako/speci, tetapi juga terjadi di elemen batako itu sendiri. Hal ini terlihat dari retakan bahwa ban bekas hanya tercerabut dan tidak terputus (**Gambar 7**).

4. KESIMPULAN

Dengan penambahan *superplasticizer* sehingga didapatkan beton *self compacting concrete* (SCC), maka kadar penambahan ban bekas dapat ditingkatkan hingga mencapai 75% dengan berat satuan batako sebesar 913,02 kg/m³ atau turun sebesar 52,9% terhadap batako tanpa ban bekas. Sedangkan nilai kuat tekan, kuat lentur dan kuat geser akan lebih kecil dibandingkan dengan batako tanpa ban bekas, sehingga batako SCC ban bekas lebih cocok digunakan untuk elemen dinding non struktural yang tidak menerima beban.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DIKTI melalui dana penelitian Hibah Bersaing, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Mallisa, "Studi Kelayakan Kualitas Batako Hasil Produksi Industri Kecil di kota Palu," *Media Litbang Sulteng*, vol. IV, no. 2, pp. 75–82, 2011.
- [2] Wisnumurti, "Pengaruh Komposisi Mortar Terhadap Kuat Geser dan Hancur Tekan Searah Bidang Dinding Pasangan Bata Merah," *J. Ilm. Rekayasa*, vol. 1, no. 2, 2004.
- [3] W. Wijanarko, *Penelitian Jerami Padi Sebagai Bahan Pengisi Batako*. Medan: Universitas Sumatera Utara, 2008.
- [4] I. Ahmad and C. W. Lovell, "Rubber-soils as Lightweight Geomaterial," in *The 72nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, 1993.
- [5] A. W., I. S., and K. T., "Batako Styrofoam Komposit Mortar Semen," *J. Forum Tek. Sipil*, vol. XVIII, no. 2, 2008.
- [6] D. Sumaryanto, I. Satyarno, and T. Kardiyono, "Batako Sekam Padi Komposit Mortar Semen," *J. Forum Tek. Sipil*, vol. XIX, no. 1, 2009.
- [7] Nastain and A. Maryoto, "Pemanfaatan Potongan Ban Bekas Untuk Campuran Beton Serat Perkerasan Kaku," *J. Din. Rekayasa*, vol. 6, no. 1, 2010.
- [8] Nastain, A. Maryoto, and G. Sugiyanto, *Pengembangan Perkerasan Semi-Lentur (Tire Rigid Pavement) Menggunakan Limbah Ban Bekas. Laporan Penelitian Tahun Ke-1 Program Insentif Kementerian Ristek*. Purwokerto: LPPM Unsoed, 2008.
- [9] Nastain, G. Sugiyanto, and A. Maryoto, *Pengembangan Perkerasan Semi-Lentur (Tire Rigid Pavement) Menggunakan Limbah Ban Bekas. Laporan Penelitian Tahun Ke-2 Program Insentif Kementerian Ristek*. Purwokerto: LPPM Unsoed, 2009.
- [10] Nastain, G. Sugiyanto, A. Maryoto, and Sumiyanto, *Pengembangan Perkerasan Semi-Lentur (Tire Rigid Pavement) Menggunakan Limbah Ban Bekas. Laporan Penelitian Tahun Ke-3 Program Insentif Kementerian Ristek*. Purwokerto: LPPM Unsoed, 2010.
- [11] Nastain, W. Widiyanto, and S. Waluyo, *Pemanfaatan Limbah Ban Bekas Sebagai Agregat Kasar Untuk Pengembangan Bata Beton Ringan Hemat Energi Dan Ramah Lingkungan (Tahun Ke-1). Laporan Akhir penelitian Hibah Bersaing Dikti*. Purwokerto: LPPM Unsoed, 2013.
- [12] Y. H. Moo, K. Sellasie, D. Zeroka, and G. Sabnis, "Physical and chemical properties of recycled tire shreds for use in construction," *J. Environmental Eng.*, vol. 129, no. 10, pp. 921–929, 2003.
- [13] ETRA, *Post-consumer tire materials and applications-CWA 14243*. Brussels: CEN Workshop Agreement 14243, European Tyre Recycling Association, 2002.
- [14] T. Edeskar, *Use of Tire Shreds in Civil Engineering Applications*. Swedia: Lulea University of Technology, 2006.
- [15] K. R. Reddy and R. E. Saichek, "Assesment of Damage to Geomembrane Liners by Shredded Scrap Tires," *Geotech. Test. J.*, vol. 21, no. 4, pp. 307–316, 1998.
- [16] Nastain, Y. Hariyanto, and S. Waluyo, *Pemanfaatan Limbah Ban Bekas Sebagai Agregat Kasar Untuk Pengembangan Bata Beton Ringan Hemat Energi Dan Ramah Lingkungan (Tahun Ke-2). Laporan kemajuan penelitian Hibah Bersaing Dikti*. Purwokerto: LPPM Unsoed, 2014.