

# Uji Ketahanan Beton dengan Serat Limbah Bubut Besi sebagai *Pavement material.*

Arum Dwicahyani<sup>1\*</sup>), Ahmad Ghufron<sup>2)</sup>, Dhonna Meylida<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Batik, Jl. Agus Salim No.10, Sondakan, Kec. Laweyan, Kota Surakarta, Jawa Tengah 57147. Email: arum.dwicahyani.3s@gmail.com

<sup>2)</sup> PT.Arrayan Medina Utama General Supplier and Contractor, Perum Griya Yasa, Gentan Baki Sukoharjo, Jawa Tengah.57556. Email: ghufrsmile@gmail.com

<sup>3)</sup> Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Batik, Jl. Agus Salim No.10, Sondakan, Kec. Laweyan, Kota Surakarta, Jawa Tengah 57147. Email: dmeylida@gmail.com

## Abstrak

Limbah industri merupakan sumber daya dalam beton ramah lingkungan. Salah satunya adalah limbah bubut besi. Limbah bubut besi termasuk limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Limbah ini berbentuk serpihan spirul. Limbah ini berpotensi mencemari lingkungan sehingga perlu *recycleing*. Pemanfaatanya sebagai serat dalam pembuatan paving beton. Aplikasi ini dipilih sebab paving beton tidak membutuhkan mutu tinggi. Mutu beton untuk paving tipe C dan D berkisar antara K175-K125 dan dapat dibuat dengan adukan manual. Mutu ini dapat diaplikasikan sebagai pedestrian dan jalan setapak. Beton serat dianggap mempunyai durabilitas yang lebih baik dari beton normal dalam menahan beban kejut. Apabila dibuat material paving beton diharapkan menghasilkan paving yang tidak mudah retak. Penelitian ini bertujuan untuk mencari campuran serat limbah bubut yang efektif untuk menahan beban kejut. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental. Benda uji berupa silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 6 cm. Variasi serat sebesar 0%, 6%, 9% dan 12% dari berat total campuran beton. Uji *impak drop weight* ini akan memberikan hasil ketahanan terhadap pukulan dan energi serapan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton serat limbah bubut besi kadar 12% memiliki kinerja energi serapan mencapai 239,05% lebih baik dibanding beton normal.

**Kata kunci:** Beton serat, limbah bubut besi, uji impak *drop weight*.

## Abstract

*Industrial waste is a resource for green concrete. One example is iron lathe waste, which is considered hazardous and toxic (B3). This form is spiral flakes. This has potential to pollute the environment, so it needs to be recycled by used as fiber in pavement concrete. This application was chosen because paving blok does not require high-quality concrete. The quality for types C and D is K175-K125 and can be made with manual mixing. It applied as pedestrian. Fiber concrete have better durability than normal concrete in withstanding impack loads. So it is expected to less cracking. This study aims to determine the effect of iron lathe waste fiber content on the impact resistance of concrete. An experimental research design was implemented. The specimen was a cylinder. The diameter was 15 cm and the height was 6 cm. The fiber variety was 0%, 6%, 9% dan 12% of the concrete mix design. Impact drop weight test will provide information about impacts resistance and absorbed energy. The results showed that concrete containing 12% iron lathe waste fiber had 239,05% better energy absorption performance than normal concrete.*

**Keywords:** Fiber concrete, iron lathe waste, impact drop weight.



Copyright © 2025 The Author(s)  
This is an open access article under the [CC -NC-SA](#) license.

## 1. PENDAHULUAN

Inovasi material konstruksi berkembang dinamis. Perkembangan ini didorong efek dari peningkatan populasi dan keterbatasan sumber daya alam. Material inovatif bagi masa depan industri terus dikembangkan karena berkontribusi dalam mengurangi konsumsi sumber daya, emisi karbon, dan meningkatkan

daya tahan, efisiensi, dan efektivitas biaya infrastruktur (Manu, B. A.,2024). Salah satu inovasi material konstruksi yaitu material daur ulang. Material daur ulang berasal dari limbah industri. Kajian limbah industri sebagai salah satu bahan tambah atau pengganti dalam komponen material beton berkembang pesat. Contohnya adalah pemanfaatan material limbah sebagai pengganti agregat memiliki potensi

yang baik untuk menghasilkan beton ramah lingkungan (Mokoena R, 2024).

Limbah bubut besi merupakan mineral berat sehingga termasuk limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Limbah ini merupakan produk sisa dari pemotongan logam berbentuk serpihan sepiral. Jika hanya dibuang akan menjadi penyebab terjadinya pencemaran bagi lingkungan. Mengadopsi konsep recycling, maka limbah bubut besi digunakan sebagai serat dalam campuran beton bagi aplikasi pavement material. Berdasar SNI 03 - 0691 - 1996 mutu bata beton atau paving blok diklasifikasikan menjadi 4 mutu yaitu : Mutu A, Mutu B, Mutu C dan Mutu D. Masing masing mutu memiliki prasyarat kekuatan dan pembuatan. Mutu A memiliki syarat pembuatan dengan mesin hidrolis dan kuat tekan minimal K-350, mutu B memiliki syarat pembuatan dengan mesin vibrasi dengan kuat tekan minimal K-170. Mutu C dapat dibuat manual dengan kuat tekan minimal K-125. Mutu D juga dapat dibuat dengan tangan dan memiliki kuat tekan minimal 8,5 mPa/K-85. Klasifikasi kegunaan tiap mutu berbeda-beda sebagai material pavement. Mutu A dapat digunakan untuk material jalan. Mutu B dapat digunakan sebagai areal parkir. Mutu C digunakan sebagai pedestrian, dan mutu D sebagai jalan setapak di taman. Aplikasi sebagai paving beton dipilih sebab paving beton tidak membutuhkan beton dengan mutu tinggi.

Penggunaan limbah bubut sebagai serat sudah melalui beberapa penelitian. Salah satunya yaitu kajian serat yang mampu meningkatkan kinerja beton dengan beberapa cara. Salah satunya yaitu meningkatkan kekuatan beton tanpa ada peningkatan berat secara signifikan. (Lumingkewas,R.H.,2023). Peningkatan hasil uji kuat tekan beton terhadap penambahan persentase serat dalam campuran beton. (Erlina E dkk, 2024). Keuntungan lain penambahan serat yaitu meningkatkan kuat lentur, modulus elastisitas beton dan kuat tarik beton berserat (Pratama B dkk, 2020). Beton dengan serat baja akan meningkatkan kuat tarik, kuat tekan dan kuat lentur secara signifikan (Johannes D dkk,2017). Penambahan serat baja pada balok beton bertulang menyebabkan balok tersebut menjadi lebih kaku dan memperbaiki sifat getas pada beton (Putra A.M dkk, 2020). Ketahanan benturan akan meningkat sebesar 150% hingga 860% pada beton SCC dengan tambahan serat

baja mikro dibanding beton biasa (Sallal R etal,2020). Selain itu ada penelitian tentang penambahan limbah bubut besi teradap berat semen akan mengalami kenaikan hasil kuat tarik belah beton (Sukmawati, R dkk 2021). Namun, ada juga kendala tentang penambahan serat yaitu penambahan serat besi dalam jumlah banyak membuat beton semakin kental (Mahmudah I dkk, 2024). Penambahan serat juga akan mengurangi workability beton, namun menambah nilai kuat lentur beton. (Yusaf. F dkk 2017).

Selain penambahan serat dalam campuran, penggunaan limbah serat baja sebagai pengganti agregat kasar pada beton akan efektif meningkatkan kuat lentur pada variasi substitusi agregat sebesar 5% (Hanggara, I dkk,2020). Ada kesamaan hasil yang signifikan dalam berbagai kajian yaitu peningkatan sifat mekanik seperti kuat tekan,kuat tarik dan kuat lentur beton pada penambahan serat baja maupun serat limbah bubut besi. Namun pengujian impak *drop weight* pada beton serat dari limbah masih terbatas. Pengulangan uji impak *drop weight* ini menunjukkan energi serapan yang diterima beton serat. Semakin besar jumlah pukulan yang ditahan sebelum retak maka energi serapan semakin besar. Semakin besar energi serapan maka semakin baik ketahanan beton sebelum mengalami keruntuhan total. Ketahanan ini yang diperlukan sebagai pavement material. Pavement material yang tidak mudah retak berpotensi memiliki *durabilitas* yang baik. Oleh sebab itu, dilakukan eksperimen uji impak *drop weight* pada beton serat dari limbah bubut besi agar diketahui berapa efektif jumlah serat yang ditambah terhadap kemampuan menahan retakan yang dapat diterima beton serat limbah bubut besi.

## 2. METODE

### Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah, semen pcc, agregat halus berupa pasir dan agregat kasar berupa kerikil, air dan serat dari limbah bubut besi dengan presentase 0%, 6%,9% dan 12% dari berat total campuran beton. Campuran untuk masing-masing sampel dapat dilihat pada Tabel 1. Jumlah benda uji yang dibuat adalah 12 buah. Masin-masing varian terdiri dari 3 sampel. Gambar 1 menunjukkan sampel benda uji yang telah diitung dalam cetakan.

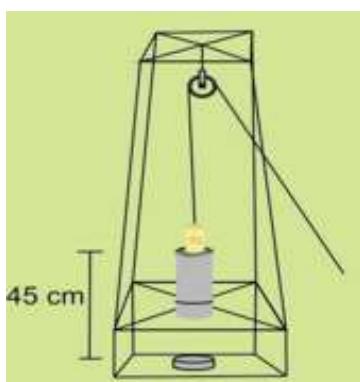


Gambar 1 Benda Uji dalam Cetakan

Tabel 1 Mix Desain Campuran Beton

kode sampel	Kadar proporsi campuran				
	Air (kg)	Semen (Kg)	Pasir (Kg)	Kerikil (Kg)	Serat (kg)
BN	0,37	1,52	1,68	2,81	0,00
BSLB 6	0,37	1,52	1,68	2,81	0,43
BSLB 9	0,37	1,52	1,68	2,81	0,64
BSLB12	0,37	1,52	1,68	2,81	0,85

Peralatan yang digunakan adalah cetakan beton berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 6 cm. Pengujian Impak dilaksanakan dengan menjatuhkan beban berupa silinder besi seberat 5 kg dengan bantuan katrol seerti pada ilustrasi Gambar 2. Tinggi jatuh silinder adalah 45 cm dihitung dari permukaan atas benda uji. Pengujian dilakukan sampai benda uji mengalami retak pertama untuk uji pertama dan dilanjutkan hingga hancur untuk pengujian kedua.

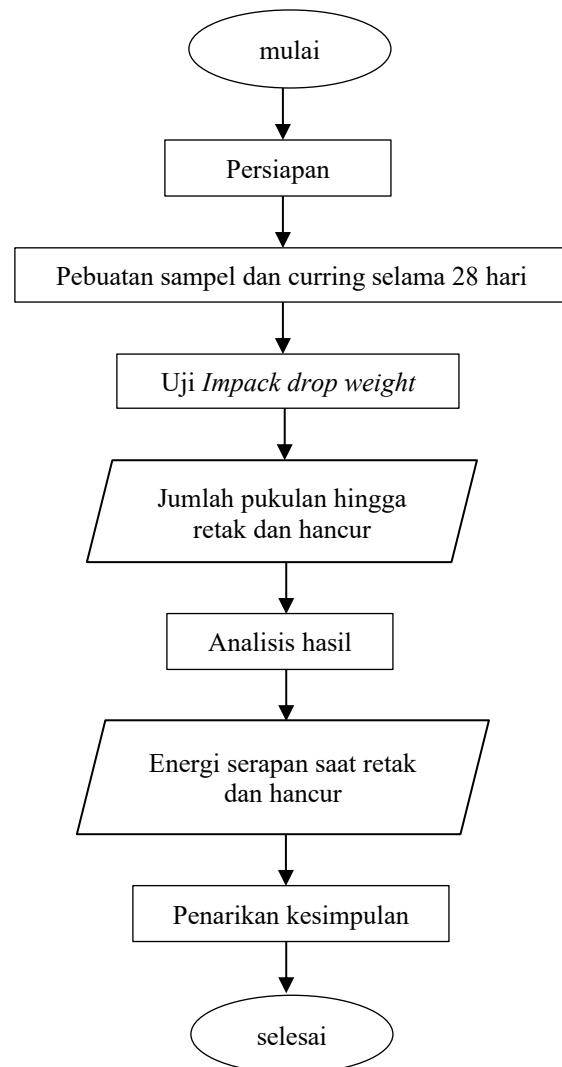


Gambar 2 Ilustrasi Alat Uji Impak

## Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3. Ada 4 tahapan dalam proses pembuatan benda uji. yaitu persiapan,

pembuatan sampel dan curring ,pengujian dan terakhir analisis hasil penelitian. Pada tahap persiapan, dilakukan pembersihan dan penimbangan berdasarkan rancang campur beton. Tahap ke dua yaitu pembuatan sampel sesuai dengan mix desain yang direncanakan. Masing masing benda dicampur pada adukan kemudian setelah terbentuk mortar baru diberi serat kemudian diaduk kembali. Setelah merata maka adukan dan serat dimasukan ke dalam cetakan benda uji,didiamkan sampai beton mengeras kemudian dilepaskan dari cetakan dan dilakukan proses curring selama 28 hari. Setelah 28 hari maka masing-masing beton di uji dengan uji impak drop weight kemudian dicatatkan hasilnya kemudian dianalisis.



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Ukuran panjang serat yang digunakan beraneka ragam. Percampuran beton sesuai dengan syarat SNI dan serat ditambahkan saat pengadukan campuran. Adukan beton kemudian dimasukan

pada cetakan yang sudah disediakan. Beton di curing selama 28 hari. Setelah 28 hari beton dilakukan pengujian impak. Setelah dikeluarkan dari cetakan, beton ditimbang kemudian diletakan di tempat uji. Tali pada katrol yang berisi beban seberat 5 kg diarahkan sejajar pipa paralon. Pipa paralon dibuat sedemikian rupa sehingga tinggi jatuh berada sejauh 45 cm. Setelah beban berada pada garis tepi pralon maka tali dilepas sehingga beban jatuh tepat di atas benda uji. Prosedur dilakukan berulang. Jumlah pukulan dicatat hingga kondisi benda uji mengalami retak ringan kemudian dilanjutkan hingga benda uji terbelah. Ketahanan impak *drop weight* dihitung dengan menggabungkan konsep kinematika gerak jatuh bebas, hukum kekekalan energi dan momentum.

Distribusi energi benda jauh bebas terdiri dari energi potensial gravitasi dan energi kinetik. Saat benda diam energi potensial gravitasinya maksimal sementara energi kinetiknya nol. Saat benda mulai jatuh, energi potensial berubah menjadi energi kinetik, dengan mengabaikan hambatan udara dan konsep kinematika maka besarnya kecepatan saat jatuh dihitung dengan rumus :

$$v_t^2 = v_I^2 + 2.g.h \quad (1)$$

$v_I = 0$  karena benda dalam keadaan diam kemudian baru jatuh sehingga ketahanan energi impak ( $E_i$ ) yang diterima oleh sampel dihitung dengan rumus Energi kinetik awal ( $E_{ka}$ ) dikalikan dengan jumlah tumbukan.

$$E_i = N \cdot E_{ka} = N \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (2)$$

Jika persamaan 1 dimasukan dalam persamaan ke 2 maka nilai energi impaknya adalah

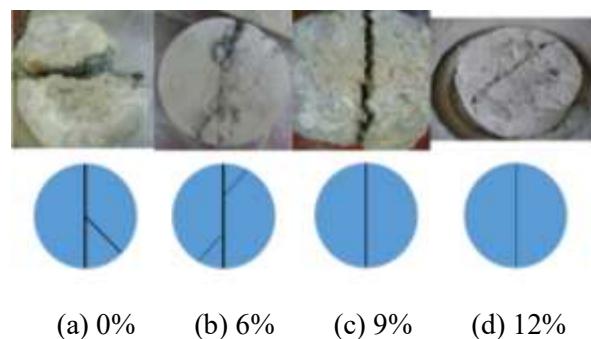
$$E_i = N \frac{m \cdot (2gh)}{2} = N mgh \quad (3)$$

Dimana  $N$  adalah jumlah tumbukan,  $m$  (kg) adalah massa beban yang jatuh,  $g$  ( $m/s^2$ ) adalah percepatan gravitasi dan  $h$  (m) adalah jarak jatuh beban terhadap sampel.

Rasio perbandingan antara beton serat dengan beton normal dapat dijadikan pendekatan nilai kinerja serat. Kinerja serat ini dituliskan dalam bentuk persentase.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perpindahan energi dari dua benda yang bertumbukan dalam penelitian ini menggunakan distribusi energi kinetik untuk benda jatuh bebas. Kedua benda yang bertumbukan itu adalah pemukul besi dengan sampel beton. Massa pemukul besi yang jatuh bebas pada ketinggian 0,45 m adalah 5 kg. Sedangkan sampel beton memiliki massa 3 kg. Saat jatuh pemukul dianggap tidak memiliki hambatan udara sehingga tumbukan antara benda uji dan pemukul besi diasumsikan seperti mobil yang menabrak dinding. Beton yang dikenai tumbukan tidak menunjukkan pergerakan posisi namun megalami deformasi. Gambar 3 menunjukkan deformasi beton normal maupun beton serat limbah bubut besi setelah tumbukan maksimal. Pola keretakan yang dialami beton normal maupun beton serat pun dapat dilihat pada Gambar 3. Pola retak pada beban yang diberi impak cenderung mengalami retak radial. Sallal R (2022) menyebutkan bahwa impak menghasilkan gelombang tarik radial sehingga retak dapat terjadi pada titik terlemah dari suatu material ke arah radial dari titik impak. Secara sederhana retak radial menjalar dari titik pusat tumbukan ke sisi luar menyebar hingga membentuk jari-jari lingkaran dan membuat benda terbelah. Retak ini terjadi karena adanya konsentrasi tegangan pada titik yang terkena beban impak berulang.



(a) 0%      (b) 6%      (c) 9%      (d) 12%

Gambar 3 Kondisi Akhir Sampel Beton Setelah Terkenan Tumbukan Maksimal

Pada beton normal keretakan awal terjadi pada areal sekitar pukulan lalu menjalar ke sisi samping sehingga retakan yang ditimbulkan membuat beton terbelah menjadi tiga bagian. Hal ini menunjukkan bahwa beton tanpa serat lebih rawan hancur. Beton tanpa serat saat hancur akan terbelah menjadi beberapa bagian sekaligus. Sedangkan pada beton serat retakannya lebih rapi. Retakan awal pada beton serat juga dimulai dari daerah sekitar tumbukan

namun menjalar sampai ujung membentuk jari-jari ditengah. Saat kehancuran total beton serat terbelah. Pada kadar 6% beton terbelah namun ada retakan lain pada sisi retakan utama. Untuk serat kadar serat 9 %, beberapa serat yang tertarik keluar diantara retakan utama. Pada kadar serat 12% pada retakan masih terdapat serat yang terhubung pada beberapa titik meskipun garis retakan beton telah terbelah.

Serat-serat limbah bubut yang tersebar pada beton seperti tulangan kecil yang membantu mengikat beton agar tidak hancur seketika ketika diberi beban kejut beberapa kali. Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian dari Kurniati (2024) bahwa penambahan serat fiber glass mengurangi keretakan mikro dan meningkatkan homogenitas beton. Hasil penelitian Ulfa dkk (2024) menunjukkan bahwa penambahan serat meningkatkan potensi durabilitas dari ketahanan terhadap retakan. Ahmad dkk (2022) menyatakan bahwa penggunaan serat serabut kelapa memiliki hasil yang mirip dengan serat sintetis dalam kemampuan mencegah retakan pada beton. Penelitian Tobing dkk (2019) dan Marfranklin (2019), menunjukkan hasil yang mirip, penggunaan serat serabut kelapa meningkatkan sifat mekanis beton seperti peningkatan kuat tekan. Chella Gifta (2018), membandingkan kinerja energi serapan dari kombinasi beton serat yang berbeda yaitu poliester dan serat baja. Hasil menunjukkan bahwa gabungan serat memberi kenaikan signifikan sekitar 23 %. Keenam penelitian menunjukkan penambahan serat akan memberi peningkatan kinerja mekanik seperti ketangguhan, penyerapan energi, kekuatan tarik, dan ketahanan terhadap retak dan benturan. Meskipun jenis serat yang digunakan terbentuk dari material yang berbeda namun beberapa penelitian menunjukkan kesamaan hasil secara umum yaitu berupa kenaikan tahanan terhadap retakan. Oleh sebab itu waktu retak dan hancur pada beton serat 9% dan 12% lebih lama dari beton normal meskipun pada kadar 6% beton serat mengalami hasil yang berbeda. Banyak faktor yang mempengaruhi ketahanan beton, seperti kondisi saat pembuatan sampel beton atau campuran yang tidak merata. Waktu retak dan hancur dapat dilihat dari banyaknya jumlah pukulan yang diterima.

Uji impak *drop weight* menghasilkan hasil jumlah pukulan yang diterima oleh benda dari retak hingga hancur. Tabel 2 berisi hasil jumlah

tumbukan sampai retak, dan jumlah tumbukan sampai hancur pada tiap sampel beton. Hasil jumlah tumbukan antar sampel menunjukkan bahwa beton serat limbah kadar serat 12% lebih unggul dibanding beton serat kadar 6%, 9% dan beton normal dalam hal ketahanan terhadap tumbukan. Namun terjadi anomali pada beton serat kadar 6%. Pada kadar 6% beton serat tidak menunjukkan hasil yang diharapkan. Hal ini bisa berasal dari berbagai faktor seperti kepadatan beton yang berbeda, campuran yang tidak merata saat pengadukan, dan persebaran serat yang kurang merata pada sampel.

Tabel 2 Hasil Jumlah Tumbukan yang Diterima Sampel saat Retak Pertama hingga Hancur Terbelah

kode sampel	Kondisi Beton serat			
	Jumlah tumbukan saat			
	retak pertama	rerata	hancur terbelah	rerata
BN a	166		171	
BN b	378	329	379	333
BN c	442		450	
BSLB 6a	18		18	
BSLB 6b	19	27	20	29
BSLB 6c	45		48	
BSLB 9a	276		279	
BSLB 9b	405	376	406	379
BSLB 9c	448		451	
BSLB 12a	480		500	
BSLB 12b	1337	1114	1400	1147
BSLB 12c	1526		1542	

Konsep hukum kekekalan energi menyebutkan bahwa energi mengalami konversi ke bentuk lain. Pada eksperimen ini, energi yang diterima beton berasal dari energi kinetik yang dimiliki pemukul besi saat jatuh bebas. Energi yang diserap berasal dari energi kinetik benda yang jatuh. Namun Energi kinetik saat bertumbukan tidak terserap sempurna dan mengalami konversi. Energi tersebut berubah menjadi energi lain seperti energi suara yang timbul saat benda bertumbukan dan energi panas yang menyebabkan permukaan benda yang bertumbukan lebih hangat serta energi deformasi yang menyebabkan benda uji berubah bentuk atau mengalami retakan. Energi kinetik yang diterima oleh sampel menjadi energi impak ( $E_i$ ) yang diserap oleh benda uji yang disebut energi serapan. Semakin besar energi serapan yang diterima sebelum retak

maka semakin besar ketahanan beton terhadap beban dinamis. Sedangkan besar energi serapan yang dapat diserap maksimal hingga hancur dapat menunjukkan energi residual yang dapat diserap beton setelah retak. Hasil perhitungan terdapat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3 Hasil Ketahanan Energi Impak (Ei) saat Retak pertama

kode sampel	Ketahanan Energi Impak(Ei) saat Retak		
	Ei saat retak	(kJ)	Kinerja Serat (%)
BN a	3,66		
BN b	8,34	7,25	0
BN c	9,76		
BSLB 6a	0,40		
BSLB 6b	0,42	0,60	-91,68
BSLB 6c	0,99		
BSLB 9a	6,09		
BSLB 9b	8,94	8,31	14,5
BSLB 9c	9,89		
BSLB 12a	10,59		
BSLB 12b	29,51	24,60	239,05
BSLB 12c	33,68		

Tabel 3 Hasil Ketahanan Energi Impak (Ei) saat Hancur Terbelah

kode sampel	Ketahanan Energi Impak(Ei) saat Hancur Terbelah		
	Ei saat retak	(kJ)	Kinerja Serat (%)
BN a	3,77		
BN b	8,37	7,36	0,00
BN c	9,93		
BSLB 6a	0,40		
BSLB 6b	0,44	0,63	-91,40
BSLB 6c	1,06		
BSLB 9a	6,16		
BSLB 9b	8,96	8,36	13,60
BSLB 9c	9,95		
BSLB 12a	11,04		
BSLB 12b	30,90	25,32	244,20
BSLB 12c	34,04		

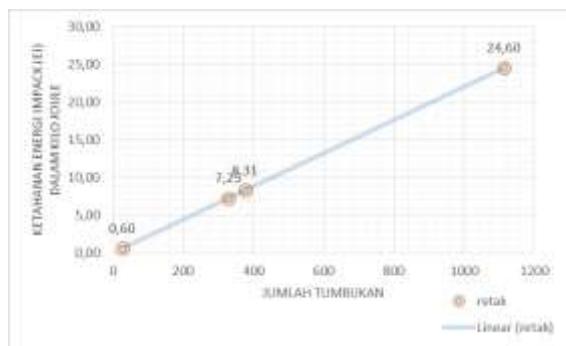
Kinerja serat dapat dihitung melalui selisih energi impak yang ditahan antara beton normal dan beton serat yang terdapat pada Tabel 3 dan Tabel 4. Sampel beton normal digunakan sebagai acuan serapan energi maksimal yang

dapat diterima beton tanpa bantuan dari serat. Beton normal juga dijadikan acuan berapa persen pertambahan kinerja serat dalam adukan beton untuk menahan beban kejut. Beton serat limbah bubut kadar 6% mengalami penurunan kinerja dibanding beton normal. Hal ini mungkin disebabkan proses pengadukan yang kurang baik sehingga campuran tidak merata atau kualitas material yang buruk sehingga ketahanan impak beton serat kadar 6% lebih lemah dibanding beton normal. Kadar serat 9% hanya mampu menaikkan kinerja hingga 14,5% sampai mengalami retak pertama dan 13,6% sampai hancur. Beton serat limbah bubut kadar 12% dapat memberi hasil optimal dalam menahan beban kejut sebesar 239,05% hingga benda mengalami retak pertama. Presentase kadar 12% menunjukkan bahwa penambahan serat menambah sifat mekanik beton serat terhadap daya serap energi dan berpotensi menambah umur penggunaan beton sebagai perkerasan dibandingkan beton normal. Hal ini disimpulkan dari banyaknya jumlah tumbukan dan energi serap yang diterima pada beton serat kadar 12% lebih banyak dibanding pada beton normal. Pada Tabel 4 terdapat hasil jumlah tumbukan yang terjadi hingga menjadi hancur terbelah. Jumlah tumbukan ini menunjukkan kemampuan beton serat menahan kehacuran total setelah mengalami deformasi atau retakan pertama. Kemampuan ini menunjukkan ketahanan residu. Ketahanan residu adalah kemampuan beton untuk tidak hancur seketika setelah mengalami kerusakan. Beton mengalami fase akan hancur setelah rusak. Beton dengan kadar serat 12% lebih tahan terhadap kerusakan total. Ketahanan kejutnya maksimal mencapai 244,2%.

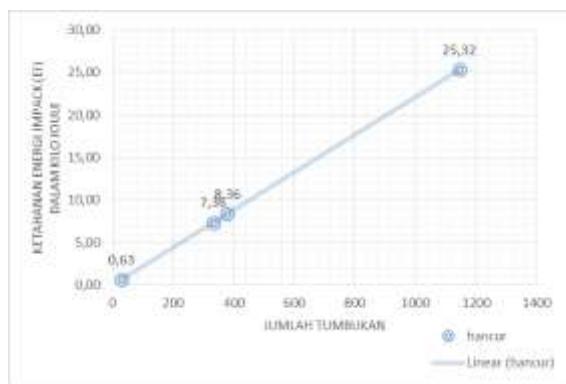
Hasil penelitian menunjukkan penambahan serat meningkatkan hasil ketahanan. Meskipun pada kadar 6% hasilnya kurang baik, terdapat peningkatan kinerja dari kadar 9% ke 12%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan persentase serat limbah bubut besi akan menambah kinerja terhadap beban kejut. Selaras dengan penelitian Sallal R (2020), penambahan serat *micro steel* pada beton *Self Compacting Concrete (SCC)* menunjukkan peningkatan ketahanan kejut hingga 150%. Presentase serat limbah semakin besar maka jumlah tumbukan yang mampu ditahan semakin besar juga. Beton serat limbah bubut kadar 9% menunjukkan hasil kurang optimal dalam ketahanan impak dari pada kadar 12%. Hal ini diakibatkan dari persebaran serat

limbah bubut besi yang kurang pada adukan beton sehingga tidak memberi kontribusi yang signifikan.

Jumlah tumbukan mencerminkan banyaknya serapan energi yang diterima sampel. Nilai ini menunjukkan daya tanah sampel terhadap retak maupun hancur. Hubungan antara jumlah pukulan dan energi serapan yang diterima sampel berbanding lurus sehingga ketahanan setelah retak dan pasca retak dapat dicari dengan selisih jumlah tumbukan atau selisih energi impak. Hal ini dibuktikan dengan Grafik 1 dan Grafik 2. Selisih kondisi jumlah tumbukan atau selisih energi resapan dapat memberikan nilai daya dukung pasca retak.



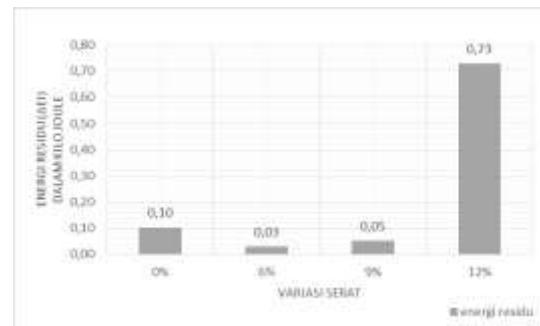
Grafik 1 Perbandingan Jumlah Tumbukan terhadap Energi Impak Serapan saat Retak



Grafik 2 Perbandingan Jumlah Tumbukan terhadap Energi Impak Serapan saat Hancur

Daya dukung pasca retak menunjukkan tingkat daktilitas suatu material. Teori tentang beton normal masih memiliki sedikit daya dukung pasca retak sesuai dengan penelitian Janani,(2020) pada uji *drop weight*, beton polos berbentuk kubus. Setelah retak awal beton masih dapat menahan 7 pukulan tambahan hingga hancur. Daya dukung pasca retak ini membuktikan bahwa material beton sebenarnya masih memiliki sedikit daktilitas. Namun karena nilainya sedikit maka beton polos disebut benda yang getas. Apabila nilai besar

maka dianggap material memiliki keuletan atau daktilitas. Nilai ini bisa dihitung dengan menghitung selisih  $N_2$  dan  $N_1$  kemudian dikalikan energi yang diterima oleh benda uji. Energi ini disebut energi residual. Baik beton normal maupun beton serat mempunya energi residual, namun besarnya berbeda-beda. Hasilnya dapat dilihat pada Grafik 3. Berdasar Grafik 3 Baik beton normal dan beton serat mempunyai daya dukung setelah retak. Ada peningkatan nilai daktilitasnya pada beton serat limbah bubut besi kadar 12% meskipun relatif sedikit berkisar 0,64% lebih tinggi dari beton normal. Untuk beton serat kadar 6% dan 9% memiliki daya dukung pasca retak yang lebih kecil dari beton normal. Nilai daya dukung pasca retak dipengaruhi berbagai faktor seperti mutu beton, adanya perkuatan yang merata atau tidak, kondisi saat impak seperti massa penumbuk dari *impact drop weight*, tinggi jatuh dan frekuensi pukulan. Selain itu, ada pengaruh ukuran geometri dan lingkungan saat curring dan proses pengadukan. Pada penelitian kali ini, benda dibuat pada kondisi yang mirip. Perbedaan terletak pada variasi serat, proses pengadukan yang manual dengan tenaga berbeda-beda. Perbedaan kondisi material atau kondisi saat proses pembuatan ini mungkin menjadi penyebab terjadinya anomali hasil terhadap teori.



Grafik 3 Energi serapan pasca retak terhadap Variasi Serat Limbah Bubut Besi

#### 4. SIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah campuran serat limbah bubut yang efektif untuk beton serat limbah bubut besi adalah kadar 12%. Beton serat limbah bubut besi kadar 12% memiliki potensi sebagai material paving blok sebab rerata energi impak sebesar 24,6 kJ. Berdasar perbandingan energi impak, kinerja energi serapan mencapai 239,05% dibanding beton normal. Penambahan serat limbah bubut

besi kadar 12% mampu meningkatkan daya tahan terhadap beban kejut dan meningkatkan daya tahan pasca retak. Namun penambahan serat yang tidak sesuai atau komposisi persebarannya kurang merata tidak dapat memberi hasil yang optimal. Jumlah tumbukan yang diterima benda uji berbanding lurus dengan kemampuan menyerap energi. Semakin banyak komposisi serat, kinerja serat semakin meningkat. Penambahan serat dapat menurunkan kualitas beton apabila saat proses pembuatan beton adukan tidak merata. Agar diperoleh adukan yang merata, lebih baik menggunakan *concrete mixer* untuk membuat mortar. Pada penelitian selanjutnya sebaiknya diamati dan diukur besarnya deformasi yang diterima benda uji dan waktu tumbukan serta diuji kekuatan tekan masing-masing sampel.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Tuhan YME atas Rahmat-Nya. Terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dari pembuatan material hingga penerbitan jurnal.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, J., Majdi, A., Al-Fakih, A., Deifalla, A. F., Althoey, F., El Ouni, M. H., & El-Shorbagy, M. A. 2022. Mechanical and Durability Performance of Coconut Fiber Reinforced Concrete: A State-of-the-Art Review. *Materials*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/ma15103601>
- Chella Gifta, C., Prabavathy, S. 2018. Study on Energy Absorption Capacity of Steel-Polyester Hybrid Fiber Reinforced Concrete Under Uni-axial Compression. *J. Inst. Eng. India Ser. A* 99, 547–553. <https://doi.org/10.1007/s40030-018-0310-y>
- Erlina, E., Iskandar, M. R., & Pohan, N. A. 2022. Pengaruh penambahan limbah bubut besi terhadap kuat tekan beton. *Civil Engineering and Technology Journal*, 4(2), 1-16
- Hanggara, I., & MT, I. 2020. "Pemanfaatan Limbah Bubut Besi pada Beton Serat Ditinjau dari Kuat Tekan Dan Kuat Lentur. *PROKONS Jur. Tek. Sipil*, 13(2), 93
- Janani, S., Santhi, A.S. 2020 Failure of concrete under impact: an experimental investigation and its numerical prediction. *Asian J Civ Eng* 211415-1429.<https://doi.org/10.1007/s42107-020-00287-3>
- Johannes, D., Mangundap, K., Sugiharto, H., & Wijaya, G. B. 2017. Pengaruh penambahan serat baja 4D dramix terhadap kuat tekan, tarik belah, dan lentur pada beton. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 6(2), 40-47.
- Kurniati, D. 2024. Ketahanan Kuat Tekan Beton Serat Fiber Glass Sebagai Bahan Tambah. *Jurnal Karkasa*, 10(2), 39-44. <https://doi.org/10.32531/jkar.v10i2.898>
- Lumingkewas, R. H. 2023. BETON SERAT: Inovasi dalam Konstruksi Modern. Penerbit NEM.
- Mahmudah, I. S., Rutama, D., & Artanti, L. D. 2024. Analisis Kuat Tekan Beton dengan Limbah Serat Bubut Besi sebagai Bahan Tambah Campuran Beton. Portal: *Jurnal Teknik Sipil*, 16(3), 98-111.
- Manu, B. A. 2024. Innovative Construction Materials: Advancing Sustainability, Durability, Efficiency, and Cost-effectiveness in Modern Infrastructure. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 5(12), 4987-4999.
- Marfranklin, M., Risdianto, Y., Kunci, K., Ringan, B., & Sabut Kelapa, S. 2019. Pengaruh Penambahan Serat Sabut Kelapa Pada Pembuatan Beton Ringan Cellular Lightweight Concrete. *Rekayasa Teknik Sipil*, 2(1). <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/27950>
- Mokoena, R. 2024. Quantifying the environmental impacts of a sustainable concrete mix for a block paving system. *Sustainability Handbook Volume 08 January 2024*, 70.
- Pratama, B., Suryadi, A., & Aponno, G. 2020. Penambahan Serat Limbah Bubut Besi Terhadap Kuat Tarik dan kuat Lentur Beton Normal. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, 1(1), 16-23.
- Putra, A. M., Noorhidana, V. A., & Isneini, M. 2020. Pengaruh Penambahan Serat Baja Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang pada Beton Mutu Normal. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 8(2), 367-384.

Sallal R. Abid, Munther L. Abdul-Hussein, Nadheer S. Ayoob, Sajjad H. Ali, Ahmed L. Kadhum, 2020, Repeated drop-weight impact tests on self-compacting concrete reinforced with micro-steel fiber, *Heliyon*, Volume 6, Issue 1. doi:10.1016/j.heliyon.2020.e03198

Sallal Abid, & Abbass, Ahmmad & Murali, G. & Al-Sarray, Mohammed & Nader, Islam & Ali, Sajjad. 2022. Repeated Impact Response of Normal- and High-Strength Concrete Subjected to Temperatures up to 600 °C. *Materials*. 15. 5283. 10.3390/ma15155283.

Sukmawati, R., Achmad, K., & Kiptiah, M. 2021. Pengaruh Penambahan Limbah Bubut Besi Pada Kuat Tarik Belah dan Kuat Lentur Beton Serat. *Jutateks*, 5(1), 9-15.

Tobing, G. R. L., & Risdianto, Y. 2019. Pengaruh penambahan serat sabut kelapa (coconut

fiber) terhadap kuat tekan, kuat tarik belah dan kuat lentur pada beton. *Rekayasa Teknik Sipil*, 7(2).

Ulfia, A., Amalia, M., Dhana, I., Agustina, E., Ramadhan, M. and Abdillah, K., 2024. Pengaruh Puntiran Serat Kaleng pada Kuat Tekan Beton. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 10(1), pp.6-12.

Yusyaf, F., Kurniawandy, A., & Ermiyati, E. 2017. Pengaruh Penambahan Steel Fibre terhadap Sifat Mekanis Beton Normal (Doctoral dissertation, Riau University).

.