

PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK KARET TERHADAP BERAT ISI, KUAT LENTUR DAN KUAT TARIK BELAH BETON

Rahmat Bangun Giarto^{1*}, Karmila Achmad², Totok Sulistyono¹, Muhammad Iqbal Aththaariq³

¹ Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan Politeknik Negeri Balikpapan

² Program Studi Teknik Sipil Politeknik Negeri Balikpapan

³ Mahasiswa Politeknik Negeri Balikpapan

*rahmat.bangun@poltekba.ac.id

Abstrak: Meningkatnya pertumbuhan jumlah penduduk sejalan dengan kebutuhan infrastruktur. Salah satu material yang hampir selalu di gunakan adalah beton. Di sisi lain karet juga merupakan bahan baku yang terus di gunakan dalam berbagai aspek. Limbah sisa produksi karet yang sulit terurai di alam sehingga perlu upaya pemanfaatan untuk mengurangi volume limbah karet. Karet dipercaya mempunyai sifat kelenturan yang baik serta berat yang lebih ringan dari material agregat pada beton. Tujuan penelitian tentang limbah serbuk karet yang digunakan sebagai pengganti sebagian material agregat dalam beton adalah untuk mengetahui nilai berat isi dan kuat lentur beton serta hubungan antara berat isi dan kuat lentur beton. Pada penelitian ini digunakan serbuk karet sebagai pengganti sebagian dari agregat halus dengan variasi 0%; 7,5%; 10%; 12,5%; 15%. Penelitian ini berjenis eksperimen dengan urutan penelitian pemeriksaan karakteristik agregat, pemeriksaan berat isi sekaligus uji kuat tekan beton pada benda uji silinder serta uji kuat lentur pada benda uji balok pada umur 28 hari. Jumlah total benda uji sebanyak 15 benda uji silinder dan 15 benda uji balok. Hasil penelitian menunjukkan berat isi beton dengan variasi serbuk karet lebih ringan dibandingkan dengan beton normal. Berat isi beton pada varian 0%, 7,5%; 10%; 12,5%; dan 15% sebesar 2314,005 kg/m³ ; 2242,667 kg/m³ ; 2189,510 kg/m³ ; 2146,921 kg/m³ dan 2130,125 kg/m³ . Demikian juga dengan kuat tekan yang terus menurun pada setiap penambahan variasi serbuk karet. Beton normal varian 0% memiliki kuat lentur sebesar 1,238 MPa sedangkan beton varian 7,5%; 10%; 12,5% dan 15% berturut-turut sebesar 1,050 MPa; 0,825 MPa; 0,825 MPa; dan 0,90 MPa. Beton varian 7,5% memiliki kuat lentur tertinggi dibandingkan beton varian lainnya. Nilai berat isi dan kuat tekan yang terus menurun dengan penambahan variasi serbuk karet tidak diikuti dengan kuat lentur yang mengalami peningkatan mulai dari varian 10% sampai varian 15%.

Kata kunci: beton, serbuk karet, berat isi, kuat lentur.

I. PENDAHULUAN

Meningkatnya pertumbuhan jumlah penduduk sejalan dengan kebutuhan infrastruktur penunjang kehidupan manusia, dalam hal ini khususnya dalam bidang konstruksi. Perkembangan teknologi di dunia konstruksi yang begitu pesat serta kebutuhan akan hasil karya produk konstruksi yang begitu banyak, sedangkan ketersediaan bahan baku dari alam atau yang dikenal dengan Sumber Daya Alam (SDA) yang semakin terbatas menuntut adanya inovasi produk baru maupun turunan demi bisa mengimbangi kebutuhan masyarakat akan produk konstruksi.

Beton merupakan material yang hampir selalu digunakan pada setiap bangunan saat ini. Karena kemudahan beton dalam pengerjaannya seperti mudah di cetak sesuai bentuk yang diinginkan serta kemudahan menemukan material penyusunnya yang membuat beton umum di gunakan. Beton juga memiliki sifat yang keras seperti batu dan kokoh serta tidak mudah terurai yang membuat beton menjadi tahan lama juga mendasari banyaknya penggunaan beton. selain digunakan untuk gedung, beton dapat juga digunakan dalam konstruksi jalan.

Karet merupakan bahan baku yang terus digunakan dalam berbagai aspek kehidupan. Banyaknya proses produksi dari karet membuat terbentuknya limbah sisa produksi yang sulit terurai di alam sehingga dianggap dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu diperlukan upaya pemanfaatan limbah karet tersebut menjadi suatu produk yang ramah lingkungan yang bertujuan untuk mengurangi volume limbah karet. Karet dipercaya

mempunyai sifat kelenturan yang baik. Menggunakan serbuk karet sebagai variasi substitusi agregat halus yang menunjukkan bahwa kuat lentur beton pada umur 28 hari dengan variasi 10% lebih tinggi dari beton normal [1]. Selain itu serbuk karet juga memiliki berat 0,277 gr/cm² yang berarti lebih ringan dibandingkan pasir samboja sebesar 1,446 gr/cm² dan pasir palu sebesar 1,52 gr/cm². Beton dengan kandungan agregat serbuk karet ban dengan variasi 0%, 5%, 10%, 15%, 20% yang menunjukkan bahwa berat volume beton menurun sekitar 0,95 % pada setiap penambahan 5% serbuk karet [2].

Segre dan Jokes (2000) menganalisa kuat tekan dan kuat lentur dari beton *crumb rubber* 10% dimana untuk mendapatkan daya lengket antara pasta semen dan *crumb rubber*, mereka merendam karet tersebut didalam larutan NaOH selama 20 – 30 menit. Hasil dari pemeriksaan mikroskopi menunjukkan partikel karet akan dapat tertutupi lebih baik oleh pasta semen apabila direndam terlebih dahulu didalam larutan NaOH. Hasil dari pengujian beton *crumb rubber* dengan perendaman NaOH memiliki nilai yang lebih tinggi dibanding beton *crumb rubber* tanpa perlakuan dengan NaOH.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai kuat lentur beton limbah serbuk karet dari masing-masing variasi serta mengetahui hubungan berat isi dan kuat lentur beton limbah serbuk karet. Hasil penelitian diharapkan dapat berkontribusi pada perkembangan dunia konstruksi dengan bentuk produk turunan dari beton dan juga sebagai penelitian lanjutan guna menemukan kuat lentur optimum dari campuran beton dengan penambahan serbuk karet.

II. METODOLOGI

Penelitian yang dilakukan berjenis eksperimen, dengan cara pembuatan spesimen benda uji sesuai dengan perencanaan. Dilakukan pemeriksaan berat isi, kuat lentur dan kuat tarik belah pada spesimen benda uji, kemudian dilakukan analisa data untuk memperoleh nilai dari hasil pengujian benda uji. Bahan-bahan yang digunakan yakni semen, agregat halus yang berasal dari daerah palu, agregat kasar yang berasal dari daerah palu dan serbuk karet yang digunakan merupakan limbah yang didapat dari PT. Ossiana Sakti Ekamaju. Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Balikpapan. Pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah berat isi, kuat tarik belah beton dengan benda uji silinder dan uji kuat lentur dengan benda uji balok

Tabel 1. Dimensi dan Jumlah Benda Uji

No	Pengujian	Jenis Benda Uji	Ukuran	Jumlah Benda Uji
1	Berat Isi dan Kuat Tarik Belah	Silinder	Ø = 150mm, t = 300mm	18
2	Kuat Lentur	Balok	b = 100mm, h = 100mm, L = 500mm	18

Pengadukan campuran beton menggunakan alat pencampur atau *mixer* dengan setiap kali pengadukan menghasilkan tiga benda uji. Setelah adukan tercampur rata, beton segar dikeluarkan dari molen. Beton segar pada satu benda uji kemudian tambahkan serbuk karet sesuai proporsi yang telah di tentukan dan diaduk secara manual sampai tercampur rata. Beton dimasukkan kedalam cetakan dalam tiga lapisan dengan masing masing lapisan di rojok menggunakan tongkat baja dan cetakan di ketuk menggunakan palu karet agar beton segar mengisi setiap celah pada cetakan dalam proses pemadatan.

Benda uji yang dibuat merupakan benda uji berbentuk silinder Ø15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian berat isi sekaligus kuat tekan dan pengujian kuat tarik belah serta benda uji balok 10×10×15 cm untuk pengujian kuat lentur. Perawatan benda uji dengan cara di rendam dalam bak (*curing*) setelah cetakan dibuka dan kemudian dikeluarkan dari bak empat hari sebelum di uji untuk menjamin benda uji dalam keadaan kering saat diuji serta untuk memudahkan pembuatan pola-pola pengujian pada benda uji balok.

Tabel 2. Kode Benda Uji

No	Variasi Serbuk Karet	Kode	Silinder	Balok	Umur Beton	Jumlah Benda Uji
1	0%	BK00-a	1	1	28 Hari	6
		BK00-b	1	1		
		BK00-c	1	1		
2	5%	BK50-a	1	1	28 Hari	6
		BK50-b	1	1		
		BK50-c	1	1		
3	7,5%	BK75-a	1	1	28 Hari	6
		BK75-b	1	1		
		BK75-c	1	1		
4	10%	BK100-a	1	1	28 Hari	6
		BK100-b	1	1		
		BK100-c	1	1		
5	12,5%	BK125-a	1	1	28 Hari	6
		BK125-b	1	1		
		BK125-c	1	1		
6	15%	BK150-a	1	1	28 Hari	6
		BK150-b	1	1		
		BK150-c	1	1		
Total						36

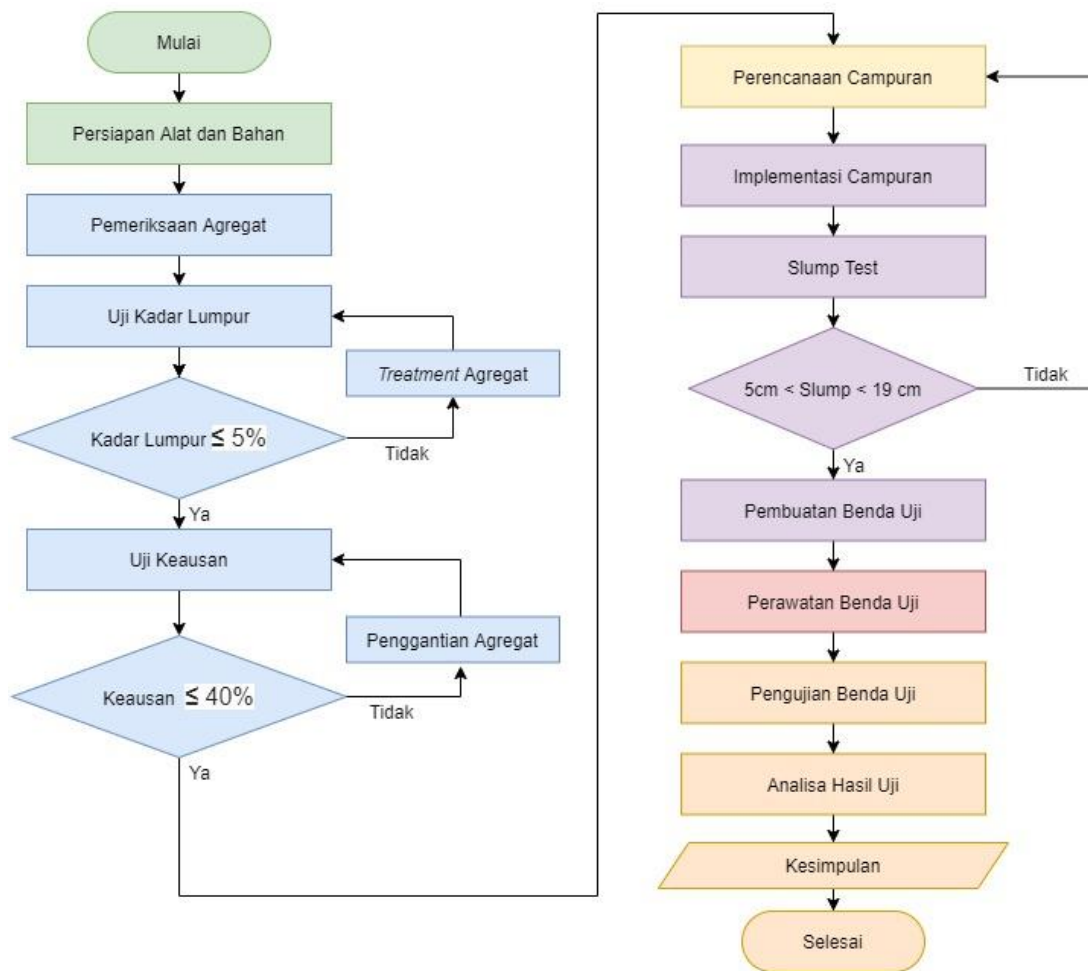
Proporsi campuran beton di buat sebagai acuan komposisi bahan yang digunakan dalam pembuatan adukan beton [3].

Tabel 3. Proporsi Campuran Beton 1 Benda Uji Silinder

Varian	Air (kg/lt)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Serbuk karet (kg)
0%	0,991	1,988	4,538	5,097	0
5%	0,991	1,988	4,311	5,097	0,227
7,5%	0,991	1,988	4,198	5,097	0,340
10%	0,991	1,988	4,084	5,097	0,454
12,5%	0,991	1,988	3,971	5,097	0,567
15%	0,991	1,988	3,858	5,097	0,681

Tabel 4. Proporsi Campuran Benton 1 Benda Uji Balok

Varian	Air (kg/lt)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Serbuk karet (kg)
0%	0,935	1,875	4,281	4,808	0
5%	0,935	1,875	4,067	4,808	0,214
7,5%	0,935	1,875	3,960	4,808	0,321
10%	0,935	1,875	3,853	4,808	0,428
12,5%	0,935	1,875	3,746	4,808	0,535
15%	0,935	1,875	3,639	4,808	0,642



Keterangan:



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan kadar air dilakukan untuk mengetahui persentase kadar air yang terkandung pada agregat [4]. Pemeriksaan kadar lumpur dilakukan untuk mengetahui persentase kandungan lumpur pada agregat. Kadar lumpur agregat halus yang disyaratkan tidak boleh melebihi 5% dan pada agregat kasar tidak boleh melebihi 1% [5]. Pemeriksaan berat jenis dilakukan untuk mengetahui berat jenis curah (Bulk Specific Gravity), berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu (Apparent Specific Gravity), dan penyerapan (Absorption) [6]. Berat isi merupakan perbandingan antara berat agregat dengan volume. Pengujian ini dilakukan dengan dua cara, yaitu cara gembur dan cara padat [7]. Pemeriksaan gradasi bertujuan untuk memperoleh distribusi besaran butiran agregat. Pengujian ini juga dapat digunakan sebagai acuan menentukan zonasi agregat [8]. Pemeriksaan keausan bertujuan untuk mengetahui ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin abrasi Los Angeles [9].

Tabel 5. Rekapitulasi Data Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Pemeriksaan	Standar	Syarat	Hasil Pemeriksaan	Keterangan
Kadar Air	SNI 03-1971-1990	-	4,066%	-
Kadar Lumpur	SNI 03-4142-1996	≤ 5%	2,263%	Memenuhi
Berat Jenis	SNI 1970:2008			
a. Berat Jenis Curah		-	2,607gr	-
b. Berat Jenis SSD		-	2,652gr	-
c. Berat Jenis Semu		-	2,729gr	-
d. Penyerapan Air		-	1,713%	-
Berat Isi	SNI 03-4804-1998			
a. Cara Gembur		-	1,690gr/cm ³	-
b. Cara Padat		-	1,884gr/cm ³	-
Gradasi (MHB)	SNI 03-1968-1990	-	5,191	-

Dari hasil pemeriksaan kadar air agregat halus dengan tiga sampel uji didapat hasil rata-rata kadar air sebesar 4,066%. Nilai kadar air ini dapat digunakan sebagai pertimbangan proporsi air pada campuran beton. Nilai rata-rata kadar lumpur sebesar 2,263% yang mana belum melampaui nilai kadar lumpur maksimum yang disyaratkan, sehingga agregat memenuhi syarat untuk digunakan. Nilai rata-rata kadar lumpur sebesar 2,263% yang mana belum melampaui nilai kadar lumpur maksimum yang disyaratkan, sehingga agregat memenuhi syarat untuk digunakan. Dari pemeriksaan berat isi pasir diperoleh nilai berat isi cara gembur 1,690 gr/cm³ dan cara padat 1,884 gr/cm³. Nilai modulus halus butir yang didapat 5,191. Dari hasil pemeriksaan gradasi agregat halus menunjukkan bahwa pasir yang digunakan berada pada zona gradasi 1 yang mana merupakan kategori pasir kasar.

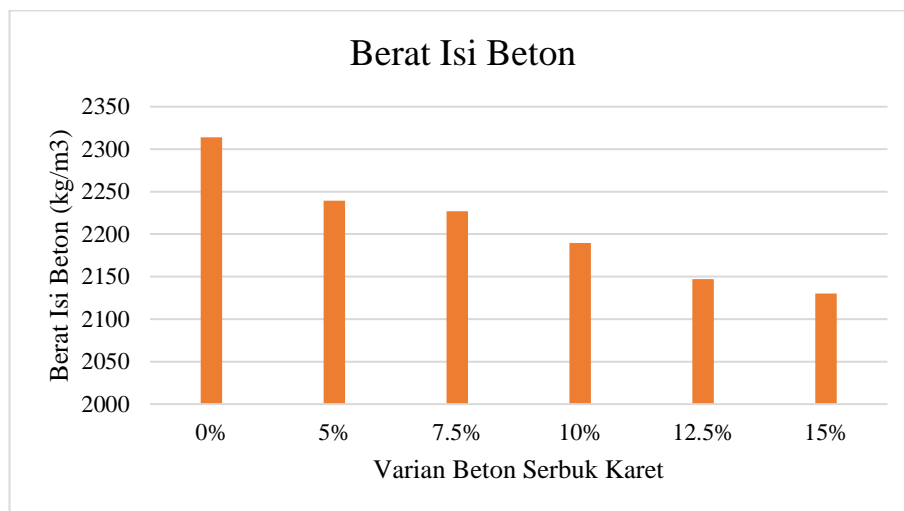
Berat isi (Berat volume) merupakan satuan berat dari hasil perbandingan antara berat (kg) dengan volume ruang (m³). Untuk pemeriksaan berat isi beton menggunakan benda uji silinder Ø15 cm dan tinggi 30 cm.

Tabel 6. Berat Isi Beton

Varian	Kode Benda Uji	Volume Benda Uji	Berat Benda Uji	Berat Isi
0%	BK00-a	0,0053	12,154	2293,749
	BK00-b	0,0053	12,271	2315,829
	BK00-c	0,0053	12,359	2332,437
	Rata-rata			2314,005
5%	BK50-a	0,0053	11,860	2238,264
	BK50-b	0,0053	11,885	2242,982
	BK50-c	0,0053	11,855	2237,320
	Rata-rata			2239,522
7,5%	BK75-a	0,0053	11,830	2232,602
	BK75-b	0,0053	11,861	2238,452
	BK75-c	0,0053	11,710	2209,955
	Rata-rata			2227,003

Varian	Kode Benda Uji	Volume Benda Uji	Berat Benda Uji	Berat Isi
10%	BK100-a	0,0053	11,595	2188,252
	BK100-b	0,0053	11,605	2190,139
	BK100-c	0,0053	11,605	2190,139
Rata-rata				2189,510
12,5%	BK125-a	0,0053	11,443	2159,566
	BK125-b	0,0053	11,435	2158,056
	BK125-c	0,0053	11,250	2123,142
Rata-rata				2146,921
15%	BK150-a	0,0053	11,400	2151,451
	BK150-b	0,0053	11,183	2110,498
	BK150-c	0,0053	11,278	2128,427
Rata-rata				2130,125

Hasil pemeriksaan berat isi beton menunjukkan berat isi dari beton dengan variasi serbuk karet lebih ringan dari beton normal yang memiliki berat 2314,005 kg/m³. Nilai berat isi beton varian 5%; 7,5%; 10%; 12,5% berturut-turut adalah 2239,522 kg/m³; 2227,003 kg/m³; 2189,510 kg/m³; 2146,921 kg/m³ dan nilai berat isi beton terendah berada pada varian 15% dengan berat 2130,125 kg/m³.



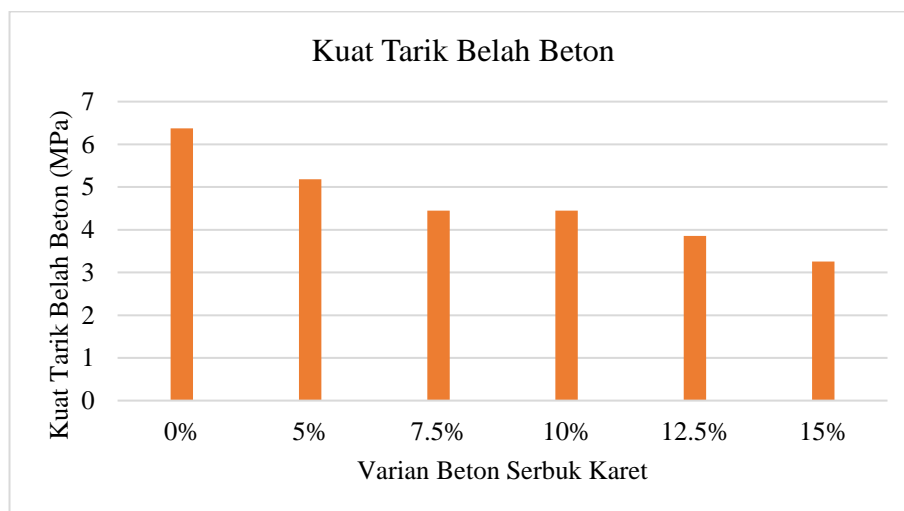
Gambar 2. Berat Isi Beton

Dari hasil pengujian kuat tarik belah yang dilihat pada Tabel 9 diperoleh nilai rata-rata kuat tarik belah beton normal sebesar 6,370 MPa, sedangkan beton dengan bahan tambah serbuk karet dengan variasi 5%, 7,5%, 10%, 12,5%, dan 15% memiliki kuat tarik belah rata-rata sebesar 5,185 MPa, 4,444 MPa, dan 4,444 MPa, 3,852 MPa, dan 3,259 MPa.

Tabel 7. Kuat Tarik Belah Beton

Varian	Kode Benda Uji	Diameter Benda Uji	Tinggi Benda Uji	Beban Tertinggi	Kuat Tarik Belah	Rata-Rata
0%	BK00-a	150	300	140000	6,222	6,370
	BK00-b	150	300	140000	6,222	
	BK00-c	150	300	150000	6,667	

Varian	Kode Benda Uji	Diameter Benda Uji	Tinggi Benda Uji	Beban Tertinggi	Kuat Tarik Belah	Rata-Rata
5%	BK50-a	150	300	130000	5,778	5,185
	BK50-b	150	300	110000	4,889	
	BK50-c	150	300	110000	4,889	
7,5%	BK75-a	150	300	100000	4,444	4,444
	BK75-b	150	300	100000	4,444	
	BK75-c	150	300	100000	4,444	
10%	BK100-a	150	300	90000	4,000	4,444
	BK100-b	150	300	110000	4,889	
	BK100-c	150	300	100000	4,444	
12,5%	BK125-a	150	300	100000	4,444	3,852
	BK125-b	150	300	80000	3,556	
	BK125-c	150	300	80000	3,556	
15%	BK150-a	150	300	70000	3,111	3,259
	BK150-b	150	300	80000	3,556	
	BK150-c	150	300	70000	3,111	



Gambar 3. Kuat Tarik Belah Beton

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai kuat tarik belah maksimum berada pada beton varian 0% atau pada beton normal, benda uji terus mengalami penurunan sampai dengan beton varian 15% terhadap beton normal dengan nilai penurunan kuat Tarik belah beton sebesar 48,8% pada varian 15% terhadap beton normal.

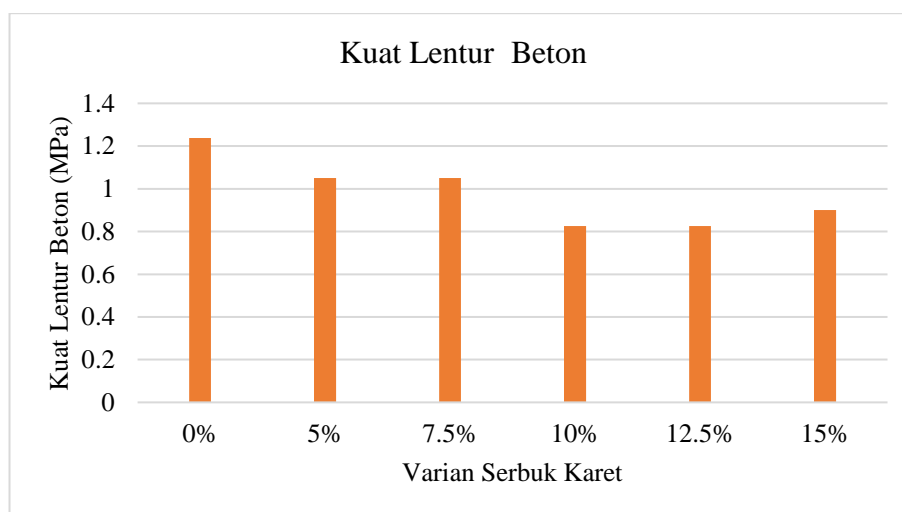
Benda uji dalam pengujian kuat lentur ini berbentuk balok dengan ukuran 10×10×50 cm. sebelum di uji, di buat pola pengujian untuk menentukan wilayah retak atau patah pada benda uji untuk memudahkan perhitungan kuat lentur.

Pada Tabel 10 dapat di lihat bahwa beton normal memiliki kuat lentur rata-rata 1,238 MPa. beton varian 5%; 7,5%; 10%; 12,5%; 15% memiliki nilai kuat lentur berturut-turut 1,050 MPa; 1,050 MPa; 0,825 MPa; 0,825 MPa; 0,900 MPa. Data ini menunjukkan bahwa nilai kuat lentur beton dengan variasi serbuk karet lebih rendah dari beton normal. Hal ini disebabkan oleh serbuk karet yang digunakan tidak memiliki daya rekat yang baik terhadap campuran beton sehingga tidak mampu memperbaiki sifat getas dari beton.

Tabel 8. Kuat Lentur Beton

Varian	Kode Benda Uji	Umur Benda Uji	Jarak Bentang (mm)	Beban Tertinggi (N)	Kuat Lentur
0%	BK00-a	28 Hari	450	3000	1,350
	BK00-b		450	4000	1,800*
	BK00-c		450	2500	1,125
Rata-rata					1,238
5%	BK50-a	28 Hari	450	2000	0,900
	BK50-b		450	3000	1,350
	BK50-c		450	2000	0,900
Rata-rata					1,050
7,5%	BK75-a	28 Hari	450	2000	0,900
	BK75-b		450	2500	1,125
	BK75-c		450	2500	1,125
Rata-rata					1,050
10%	BK100-a	28 Hari	450	1500	0,675
	BK100-b		450	2000	0,900
	BK100-c		450	2000	0,900
Rata-rata					0,825
12,5%	BK125-a	28 Hari	450	1500	0,675
	BK125-b		450	2000	0,900
	BK125-c		450	2000	0,900
Rata-rata					0,825
15%	BK150-a	28 Hari	450	2500	1,125
	BK150-b		450	2000	0,900
	BK150-c		450	1500	0,675
Rata-rata					0,900

)* Tidak digunakan dalam pengambilan nilai rata-rata kuat lentur



Gambar 4. Kuat Lentur Beton

Pengamatan yang dilakukan dengan cara visual terhadap benda uji balok beton 10×10×50 cm yang digunakan untuk pengujian kuat lentur beton. Retakan yang terjadi pada seluruh benda uji beton normal maupun beton dengan variasi serbuk karet berada di 1/3 tengah bentang balok dengan hanya berbentuk satu garis retakan. Rata-rata retakan yang terjadi pada balok beton searah vertikal dengan sudut 70-90 derajat.



Gambar 5. Pola Retak Balok

Retakan terpanjang rata-rata berada pada beton variasi 7,5% yang juga merupakan beton yang memiliki kekuatan lentur tertinggi dibandingkan beton variasi serbuk karet lainnya. Keretakan yang terjadi di bagian 1/3 tengah bentang merupakan posisi kehancuran yang memenuhi syarat untuk kuat lentur [10]. Posisi dan model keretakan yang serupa pada setiap benda uji menunjukkan campuran beton memiliki kepadatan yang sama baiknya untuk setiap benda uji.

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan semakin banyak variasi dari serbuk karet terhadap agregat halus maka berat isi akan mengalami. Persentase penurunan berat isi pada beton varian 5%; 7,5%; 10%; 12,5%; 15% terhadap beton normal adalah 3,2%; 3,8%; 5,4%; 7,2%; 7,9%. Ini menunjukkan bahwa serbuk karet efektif membuat beton menjadi lebih ringan.

Peningkatan kuat lentur terdapat pada setiap variasi serbuk karet. Nilai kuat lentur tertinggi dari beton dengan variasi serbuk karet berada pada varian 5% dan 7,5% namun terus menurun sampai dengan varian 10%. Penambahan persentase serbuk karet di atas 10% menunjukkan peningkatan kuat lentur hingga varian 15%. Peningkatan kuat lentur yang terjadi pada varian 12,5% sebesar 0% terhadap varian 10% dan peningkatan yang terjadi pada varian 15% sebesar 9,1% terhadap varian 10%. Penyebaran serbuk karet yang tidak tercampur merata pada benda uji yang mengakibatkan nilai kuat lentur yang variatif yang dapat dilihat setelah benda uji patah masih ada serbuk karet yang menggumpal di bagian dalam benda uji.

Dapat disimpulkan bahwa nilai berat isi dan kuat tarik belah terus menurun dengan penambahan variasi serbuk karet namun kuat lentur terus meningkat mulai dari variasi 10% sampai variasi 15%.

REFERENSI

- [1] M. Irpan, *Pengaruh Penambahan Hancuran Karet (Crumb Rubber) Pada Campuran Beton Terhadap Sifat*. 2017.
- [2] L. O. Putra, "Perilaku Lentur Beton Yang Menggunakan Limbah Ban Sebagai Agregat," p. 99, 2015.
- [3] SNI 03-2834-2000, "SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton

- normal,” *Sni 03-2834-2000*, pp. 1–34, 2000.
- [4] SNI 03-1971-1990, “Metode Pengujian Kadar Air Agregat,” *Badan Standarisasi Nas. Indones.*, vol. 27, no. 5, p. 6889, 1990.
- [5] SNI.03-4142, “Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No 200 (0,075 mm),” *Sni 03-4142*, vol. 200, no. 200, pp. 1–6, 1996.
- [6] SNI 1970, “Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus,” *Badan Standar Nas. Indones.*, pp. 7–18, 2008.
- [7] SNI 03-4804, “Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat,” *Badan Standarisasi Nas.*, pp. 1–6, 1998.
- [8] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar,” *Badan Standar Nas. Indones.*, pp. 1–5, 1990.
- [9] B. S. Nasional, “Sni 2417-2008,” *Cara uji keausan Agreg. dengan mesin abrasi Los Angeles*, pp. 1–9, 2008.
- [10] SNI 4431-2011, “Cara uji kuat lentur beton normal dengan dua titik pembebanan,” *Badan Standar Nas. Indones.*, p. 16, 2011.