

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BENDRAT, ABU SEKAM PADI DAN *BESTMITTEL* TERHADAP KUAT TEKAN, MODULUS OF RUPTURE DAN KUAT KEJUT PADA BETON

¹⁾Slamet Prayitno, ²⁾Sunarmasto, ³⁾RA Dinasty Purnomosari

^{1,2)}Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta

³⁾Mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta
Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta, Jln Ir. Sutami 36A, Surakarta
57126, Telp: 0271-634524. Email : dinastyosa@gmail.com

Abstract

The development in the field of more construction improve, resulting in a lot of the demands of the need for infrastructure facilities forward. The structure requiring strength concrete with compressive strength greater than 6000 psi or 41,4 MPa are used to support structural components. The purpose of this study was to determine the effect of adding steel fiber, rice husk ash and bestmittel to mechanical properties of the concrete form of compressive strength, modulus of rupture and impact. This research uses experiment methods to be implemented in UNS's material laboratory. Cylindrical test specimen with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm for compressive strength testing, beam shaped test specimens with dimensions of 10 cm x 10 cm x 50 cm for testing the modulus of rupture and cylindrical test specimen with a diameter of 15 cm and a height of 5 cm for impact testing. Each test specimen consists of 4 pieces to one variation of the levels of addition of fiber. Percentage of the fiber used was 0%; 0,5%; 1%; 1,5% and 2%. Tests using a CTM (Compression Testing Machine) for compressive strength testing, Bending Testing Machine for modulus of rupture and Drop Weight Impact for impact testing. Calculation used is statistical analysis with a linear regression on the elastic limit of the concrete using a Microsoft Excel program. The results of this study show that the addition of steel fiber 1% of the weight concrete, rice husk ash and bestmittel provide optimum value on the strength of 42,14 MPa, modulus of rupture of 2,65 MPa and a strong shock (impact) of 3749,382 J (the first crack); 4167,288 J (total collapse).

Key Words : Compressive Strength, Modulus of Rupture, Impact, Rice Husk Ash, Bestmittel

Abstrak

Perkembangan dalam bidang konstruksi semakin berkembang, sehingga banyak tuntutan kebutuhan fasilitas infrastruktur yang maju. Struktur demikian membutuhkan beton yang memiliki kuat tekan lebih besar dari 6000 psi atau 41,4 MPa yang digunakan menopang komponen struktur dengan baik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan serat bendrat, abu sekam padi dan *bestmittel* terhadap sifat-sifat mekanik beton berupa kuat tekan, *modulus of rupture* dan kuat kejut (*impact*). Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium Bahan UNS. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan, Benda uji berbentuk balok dengan dimensi 10 cm x 10 cm x 50 cm untuk pengujian *modulus of rupture* dan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 5 cm untuk pengujian kuat kejut (*impact*). Benda uji masing-masing berjumlah 4 buah untuk 1 variasi kadar penambahan serat kawat bendrat. Persentase serat yang digunakan adalah 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2%. Pengujian menggunakan alat CTM (*Compression Testing Machine*) untuk pengujian kuat tekan, *Bending Testing Machine* untuk modulus of rupture dan *Impact Drop Weight* untuk pengujian ketahanan kejut (*impact*). Perhitungan yang digunakan adalah analisis statistik dengan regresi linear pada batas elastis beton menggunakan program *Microsoft Excel*. Hasil penelitian ini didapat kesimpulan bahwa penambahan serat kawat bendrat sebesar 1% dari berat beton, abu sekam padi dan *bestmittel* memberikan nilai optimum pada kuat tekan sebesar 42,14 MPa, *modulus of rupture* sebesar 2,65 MPa dan kuat kejut (*impact*) sebesar 3749,382 J (retak pertama); 4167,288 J (runtuh total).

Kata Kunci : Kuat Tekan, *Modulus of Rupture*, *Impact*, Abu Sekam Padi, *Bestmittel*

PENDAHULUAN

Perkembangan dalam bidang konstruksi terus mengalami peningkatan. Hal ini dikarenakan perkembangan zaman yang semakin berkembang, sehingga banyaknya tuntutan kebutuhan masyarakat terhadap fasilitas infrastruktur yang terus maju, seperti bangunan gedung-gedung bertingkat tinggi, jembatan dengan bentang panjang dan lebar, tower dan fasilitas lainnya. Struktur demikian membutuhkan peningkatan mutu beton salah satunya dengan langkah menambahkan serat pada beton segar, maka dipilihlah bahan tambah serat bendrat yang mudah diperoleh dan bisa dibeli dalam bentuk kawat yang bertujuan meningkatkan kekuatan pada beton. Abu sekam padi merupakan limbah pertanian yang cukup melimpah di Indonesia yang belum dimanfaatkan secara optimal. Abu sekam padi memiliki kandungan silica yang cukup tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan *pozzolan* untuk pembuatan beton. Dengan demikian beton dengan *mix design* metode Dreux yang ditambahkan serat bendrat, abu sekam padi dan *bestmittel* diharapkan kuat tekannya menjadi bertambah.

Beton dengan *Mix Design* Metode Dreux

Dreux (1979) dalam penelitiannya telah memberikan rumus :

$$\sigma_{28} = G \cdot \sigma_c (C/E - 0,5) \dots \dots \dots (1)$$

dengan :

σ_{28} : Kuat tekan beton pada umur 28 hari yang didapat dari benda uji silinder (MPa),

G : faktor granular, yang menunjukkan besar volume yang diisi oleh bahan butiran,

σ_c : kekuatan semen berdasarkan data yang diperoleh dari pabrik semen,

C : berat semen perkubikasi beton,

E : berat air perkubikasi beton.

Menurut Dreux (1979), besarnya faktor granular G sangat dipengaruhi oleh kualitas butiran dan besarnya diameter maksimum agregat kasar yang digunakan pada perancangan campuran beton. Permukaan agregat yang kasar akan mempengaruhi kekuatan beton dan lebih kuat bila dibandingkan agregat yang permukaannya halus. Gradasi dan ukuran agregat maksimum berhubungan dengan rasio air dan semen, dimana jumlah pasta semen harus menutupi seluruh partikel sehingga nilai luas permukaan kecil, maka akan lebih sedikit pasta semen, sehingga jumlah air yang dibutuhkan juga sedikit. Untuk besarnya granular butiran pada perancangan campuran beton berkisar 0,35 – 0,65, tergantung pada kualitas dan diameter maksimum butiran. Jumlah air yang dibutuhkan pada perancangan beton dapat ditentukan. Banyak air yang diperlukan berdasarkan anggapan bahwa agregat yang diperlukan pada tahapan perancangan campuran beton dalam keadaan kering udara. Jika agregat yang dipakai mengandung sejumlah air dengan kadar yang melebihi kering udara, harus dilakukan koreksi jumlah air yang diperlukan dengan memperhitungkan tingkat kelembaban agregat yang digunakan dalam campuran beton.

Beton berserat bendrat

Beton dengan *mix design* metode Dreux berserat bendrat, bahan betonnya mudah didapat di Pulau Jawa ini karena banyak terdapat gunung vulkanik, sedangkan bendrat yang merupakan kawat bendrat mudah didapatkan di Indonesia dan harganya relatif murah..

Dengan demikian beton metode dengan *mix design* metode Dreux berserat bendrat diharapkan kuat tekannya menjadi bertambah.

Bahan Tambah Kimia

Pada penelitian ini bahan tambah kimia (*admixture*) yang digunakan adalah *Bestmittel*. *Bestmittel* merupakan formula khusus yang sangat ekonomis dalam proses pengecoran sehingga menjadikan beton lebih cepat keras dalam usia muda serta mengurangi pemakaian air pada saat pengecoran sehingga meningkatkan mutu / kekuatan beton. *Bestmittel* sangat membantu untuk pengecoran dengan jadwal waktu yang sangat ketat karena beton beton cepat mengeras pada usia awal (7-10 hari) serta dapat meningkatkan mutu / kekuatan beton 5% - 10%. Keunggulan yang dimiliki *bestmittel* adalah dapat mempersingkat proses pembetonan, cetakan beton dapat dilepas lebih cepat dan keunggulan *bestmittel* lainnya adalah dapat mengurangi penggunaan dari air 5% - 20% sehingga dapat menjadikan beton lebih solid dan lebih plastis.

Pengujian

Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban maksimum persatuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban/tekanan hingga benda uji runtuh (Tjokrodimulyo, 1996). Untuk mengetahui tegangan hancur dari benda uji tersebut dilakukan dengan perhitungan :

$$f_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (2)$$

dengan :

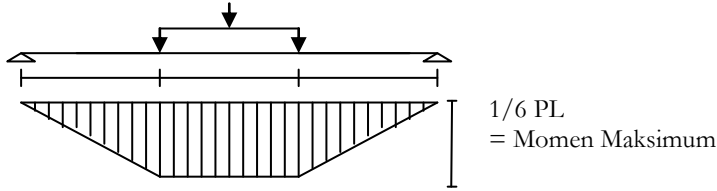
f_c : Kuat tekan beton pada umur 28 hari yang didapat dari benda uji (MPa).

P : beban maksimum (N)

A : Luas penampang benda uji (mm²)

Modulus Of Rupture

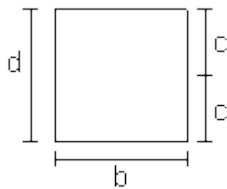
Modulus of Rupture merupakan kuat tarik maksimum yang secara teoritis dicapai pada serat bagian bawah dari sebuah balok uji (Neville, 1997). Nilai dari modulus of rupture bergantung pada dimensi dari balok uji dan susunan beban. Untuk memperoleh nilai modulus of rupture digunakan metode third point loading. Modulus of rupture diukur dengan menguji balok polos berpenampang bujursangkar 10 cm x 10 cm x 50 cm dan di bebani di titik-titik sepertiga bentang hingga gagal. Modulus of rupture mempunyai nilai yang lebih tinggi dibanding kuat belah.



Secara umum nilai modulus of rupture dapat dihitung dengan rumus:

.....(3)

.....(4)



- Dimana,
- MOR = Modulus Of Rupture (MPa)
 - Mmaks = Momen Maksimum (Nmm)
 - S = Modulus Penampang (S=I/c) (mm³)
 - P = Beban maksimum pada balok benda uji (Newton)
 - L = Panjang bentang (mm)
 - b = Lebar balok benda uji (mm)
 - h = Tinggi balok benda uji (mm)
 - c = Setengah tinggi balok uji = 1/2 h (mm)

Ketahanan Kejut (Impact)

Menurut PCA (Portland Cement Association) ketahanan kejut didefinisikan sebagai energi total yang diperlukan untuk membuat benda uji retak dan patah menjadi beberapa bagian, yang diketahui dari jumlah pukulan suatu massa yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu. Energi potensial massa terhadap elevasi benda uji sama dengan m.g.h. Energi potensial ini akan dikonversikan menjadi energi kinetik. Pada saat massa menumbuk sayap, energi potensial terhadap elevasi sayap sama dengan nol dan energi kinetik yang terjadi sama dengan

.....(5)

dengan(6)

Prinsip konversi energi menyatakan bahwa energi potensial yang hilang pada saat jatuhnya massa sama dengan energi regangan yang timbul pada batang (Ep = Er). Analogi dengan teori di atas, maka rumus yang digunakan sebagai pendekatan perhitungan energi serapan adalah:

= 2.n.m.g.h(7)

- E_{maks} = energi serapan (joule)
- m = massa beban yang dijatuhkan (kg)
- g = gravitasi (m/detik²)
- h = tinggi jatuh (m)
- n = jumlah pukulan

METODE

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium Bahan UNS. Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan, Benda uji berbentuk balok dengan dimensi 10 cm x 10 cm x 50 cm untuk pengujian *modulus of rupture* dan Benda uji berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 5 cm untuk pengujian ketahanan kejut (*impact*). Benda uji masing-masing berjumlah 4 buah untuk 1 variasi kadar penambahan serat. Persentase serat yang digunakan adalah 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2%. Pengujian menggunakan alat *Compression Testing Machine* untuk pengujian kuat tekan, *Bending Testing Machine* untuk *modulus of rupture* dan *Impact Drop Weight* untuk pengujian ketahanan kejut (*impact*). Perhitungan yang digunakan adalah analisis statistik dengan regresi linear pada batas elastis beton menggunakan program *Microsoft Excel*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	Kandungan zat organik	Kuning Muda	0 - 10%	Memenuhi syarat
2	Kandungan lumpur	3,5 %	Maks 5 %	Memenuhi syarat
3	<i>Bulk specific gravity</i>	2,47 gr/cm ³	-	-
4	<i>Bulk specific SSD</i>	2,56 gr/cm ³	2,5-2,7	Memenuhi syarat
5	<i>Apparent specific gravity</i>	2,72 gr/cm ³	-	-
6	<i>Absorbtion</i>	3,73 %	-	-
7	Modulus Halus	2,98	2,3-3,1	Memenuhi syarat

Sumber : *) SNI 03 – 1969 – 1990 dan SNI 03 – 2417 – 1991

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	Modulus Halus Butir	6,30	5 - 8	Memenuhi syarat
2	Bulk Specific Gravity	2,57	-	-
3	Bulk Specific Gravity SSD	2,61	-	-
4	Apparent Specific Gravity	2,68	-	-
5	Absorbtion	1,63	-	-
6	Abrasi	33 %	50 %	Memenuhi syarat

Hasil Perhitungan Rancang Campur Adukan Beton Metode *Dreux*

Perhitungan rancang campuran adukan beton dilakukan dengan metode *Dreux*. Dari perhitungan tersebut didapat kebutuhan bahan per 1 m³ yaitu :

- a. Pasir = 554,757 kg
- b. Kerikil Kecil = 181,035 kg
- c. Kerikil Besar = 1068,103 kg
- d. Semen = 480 kg
- e. Air = 171,428 liter

Kebutuhan bahan untuk tiap sampel silinder yaitu :

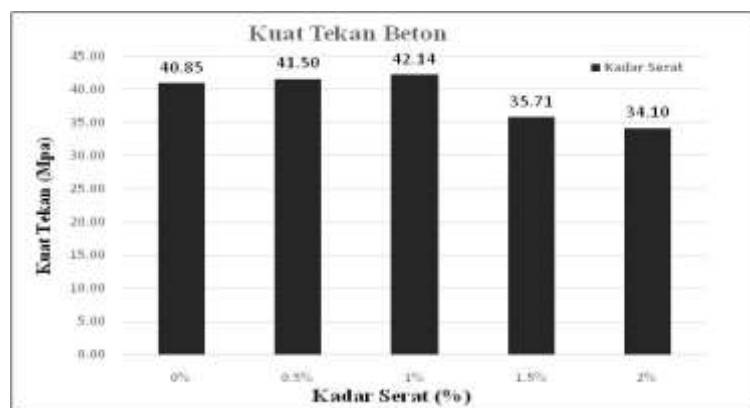
- a. Pasir = 2,940 kg
- b. Kerikil Kecil = 0,959 kg
- c. Kerikil Besar = 5,660 kg
- d. Semen = 2,543 kg
- e. Abu Sekam Padi 10% = 0,254 kg
- f. Air = 0,908 kg
- g. *Bestmittel* = 0,010 gram

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan

No	Kadar Serat (%)	Kode Benda Uji	No Benda Uji	A (mm ²)	Pmaks (N)	Pmaks (N)	f'c (MPa)
					14 hari	28 hari	
1	0	BS 0 %	1	17662.50	550000	625000	35.39
			2	17662.50	480000	545455	30.88
			3	17662.50	730000	829545	46.97
			4	17662.50	780000	886364	50.18
			Rerata			721591	40.85
2	0.50	BS 0,5 %	1	17662.50	640000	727273	41.18
			2	17662.50	600000	681818	38.60
			3	17662.50	660000	750000	42.46
			4	17662.50	680000	772727	43.75

3	1.00	BS 1 %	Rerata			732955	41.50
			1	17662.50	800000	909091	51.47
			2	17662.50	640000	727273	41.18
			3	17662.50	680000	772727	43.75
			4	17662.50	500000	568182	32.17
4	1.50	BS 1,5 %	Rerata			744318	42.14
			1	17662.50	560000	636364	36.03
			2	17662.50	520000	590909	33.46
			3	17662.50	580000	659091	37.32
			4	17662.50	560000	636364	36.03
5	2	BS 2 %	Rerata			630682	35.71
			1	17662.50	720000	818182	46.32
			2	17662.50	540000	613636	34.74
			3	17662.50	460000	522727	29.60
			4	17662.50	400000	454545	25.74
			Rerata			602273	34.10



Gambar 1. Diagram Hubungan Kuat Tekan Beton dengan % serat bendrat

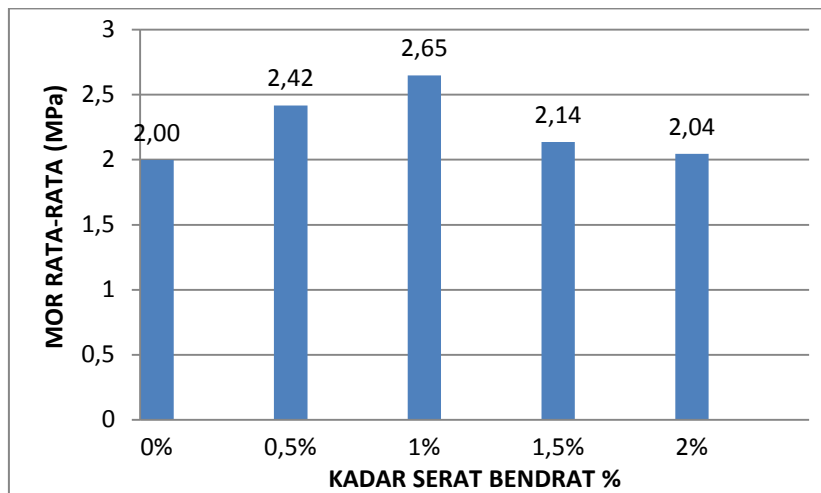
Berdasarkan hasil penelitian didapat kuat tekan dengan kadar serat bendrat sebesar 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2% yang diuji pada umur 14 hari kemudian dikonversi ke umur 28 hari berturut-turut adalah 40,85 MPa; 41,50 MPa; 42,14 MPa; 35,71 MPa; dan 34,10 MPa. Kuat tekan maksimum adalah pada beton metode *Dreux* dengan kadar penambahan serat sebesar 1%, menghasilkan kuat tekan sebesar 42,14 MPa. Setelah itu kapasitas beton akan menurun. Berdasarkan grafik fungsi polinomial, kadar serat optimum terjadi pada kadar serat 0,42% dengan nilai sebesar 41,64 MPa.

Hasil Pengujian *Modulus Of Rupture*

Tabel 4. Hasil Pengujian MOR

Curing	Variasi Serat Bendrat (%)	Kode Benda uji	Hasil Bacaan manometer Maksimum		MOR (MPa)	Rata-rata (MPa)
			(kg/cm ²)	(N)		
Air Tawar Diam	0%	BK 0-1	50	6194,66	1,86	2,00
		BK 0-2	55	6814,13	2,04	
		BK 0-3	55	6814,13	2,04	
		BK 0-4	55	6814,13	2,04	
	0.5%	BK 0.5-1	65	8053,06	2,42	2,42
		BK 0.5-2	65	8053,06	2,42	
		BK 0.5-3	65	8053,06	2,42	
		BK 0.5-4	65	8053,06	2,42	
	1%	BK 1-1	70	8672,53	2,60	2,65
		BK 1-2	75	9291,99	2,79	
		BK 1-3	70	8672,53	2,60	
		BK 1-4	70	8672,53	2,60	
	1.5%	BK 1.5-1	65	8053,06	2,42	2,14
		BK 1.5-2	55	6814,13	2,04	
		BK 1.5-3	55	6814,13	2,04	

	BK 1.5-4	55	6814,13	2,04	
2%	BK 2-1	60	6814,13	2,04	2,04
	BK 2-2	55	6814,13	2,04	
	BK 2-3	55	6814,13	2,04	
	BK 2-4	50	6194,66	1,86	



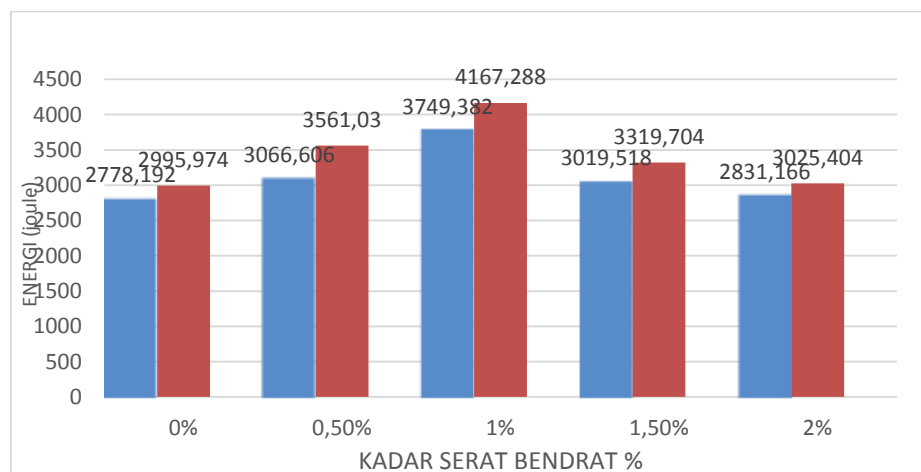
Gambar 2. Diagram Hubungan *Modulus Of Rupture* dengan % Serat Bendrat

Berdasarkan hasil penelitian didapat nilai *modulus of rupture* dengan kadar serat bendrat sebesar 0 %; 0,5%; 1 %; 1,5 %; dan 2% yang diuji pada umur 14 hari berturut-turut adalah 2,00 MPa; 2,42 MPa; 2,65 MPa; 2,14 MPa; dan 2,04 MPa. *Modulus of rupture* maksimum adalah pada kadar penambahan serat bendrat sebesar 1%, menghasilkan nilai *modulus of rupture* sebesar 2,65 MPa atau terjadi kenaikan nilai *modulus of rupture* sebesar 32,56% dibandingkan dengan beton tanpa serat. Berdasarkan grafik fungsi polynomial, nilai *modulus of rupture* optimum terjadi pada kadar serat 0,96% dengan nilai sebesar 2,5 MPa.

Hasil Pengujian Kuat Kejut (*Impact*)

Tabel 5. Energi serapan saat benda mengalami retak pertama dan runtuh total

Kadar serat bendrat	Rata-rata jumlah pukulan retak pertama	Energi (J)	Rata-rata jumlah pukulan runtuh total	Energi (J)
0%	157,33	2778,192	169,67	2995,974
0,5 %	173,67	3066,606	201,67	3561,03
1%	212,33	3749,382	236,00	4167,288
1,5 %	171,00	3019,518	188,00	3319,704
2%	160,33	2831,166	171,33	3025,404



Gambar 3. Diagram Hubungan Energi Serapan Kuat Kejut (*Impact*) dengan % Serat Bendrat.Tabel 6. Perubahan Nilai Energi Serapan Kuat Kejut (*Impact*) Saat Retak Pertama

Kode Benda Uji	Energi (J)	Selisih Energi (J)	Selisih Energi (%)
BK 0 %	2778,192	0	0
BK 0,5 %	3066,606	288,414	10,38
BK 1 %	3749,382	971,19	34,96
BK 1,5 %	3019,518	241,326	8,69
BK2 %	2831,166	52,974	1,91

Tabel 7. Perubahan Nilai Energi Serapan Kuat Kejut (*Impact*) Saat Runtuh Total

Kode Benda Uji	Energi (J)	Selisih Energi (J)	Selisih Energi (%)
BK 0 %	2995,974	0	0
BK 0,5 %	3561,03	565,056	18,86
BK 1 %	4167,288	1171,314	39,10
BK 1,5 %	3319,704	323,73	10,81
BK2 %	3025,404	29,43	0,98

Dari hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan diperoleh energi serapan rata – rata saat benda mengalami retak pertama pada pengujian kuat kejut (*Impact*) adalah 2778,192 J dan jumlah energi serapan maksimal adalah sebesar 3749,382 J. Energi serapan beton mengalami peningkatan sebesar 34,96 %. Energi serapan maksimal dicapai pada penambahan variasi kadar serat bendrat 1%. Sedangkan jumlah energi serapan pada saat beton mengalami runtuh total sebesar 2995,97 J dan jumlah energi serapan maksimum adalah 4167,28 J. Energi serapan pada saat beton runtuh total mengalami kenaikan sebesar 39,10%. Berdasarkan grafik fungsi polinomial, nilai kuat kejut (*impact*) optimum saat retak pertama terjadi pada kadar serat 0,097% dengan nilai sebesar 2357,50 J dan saat runtuh total terjadi pada kadar serat 0,099% dengan nilai sebesar 3005,76 J.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kuat tekan dengan kadar serat bendrat sebesar 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2% yang diuji pada umur 14 hari kemudian dikonversi ke umur 28 hari berturut-turut adalah 40,85 MPa; 41,50 MPa; 42,14 MPa; 35,71 MPa; dan 34,10 MPa. Kuat tekan maksimum adalah pada beton metode *Dreux* dengan kadar penambahan serat sebesar 1%, menghasilkan kuat tekan sebesar 42,14 MPa. Berdasarkan grafik fungsi polinomial, kadar serat optimum terjadi pada kadar serat 0,41% dengan nilai sebesar 41,64 MPa.
2. *Modulus Of Rupture* dengan kadar serat bendrat sebesar 0 %; 0,5%; 1 %; 1,5 %; dan 2% yang diuji pada umur 14 hari berturut-turut didapat nilai adalah 2,00 MPa; 2,42 MPa; 2,65 MPa; 2,14 MPa; dan 2,04 MPa. Nilai dari hasil pengujian tertinggi pada kadar penambahan serat bendrat sebesar 1%, menghasilkan nilai *modulus of rupture* sebesar 2,65 MPa atau terjadi kenaikan nilai *modulus of rupture* sebesar 32,56% dibandingkan dengan beton tanpa serat. Berdasarkan grafik fungsi polinomial, nilai *modulus of rupture* optimum terjadi pada kadar serat 0,96% dengan nilai sebesar 2,5 MPa.
3. Energi serapan rata – rata yang diperoleh saat benda mengalami retak pertama pada pengujian kuat kejut (*Impact*) adalah 2778,192 J dan jumlah energi serapan maksimal adalah sebesar 3749,382 J. Energi serapan beton mengalami peningkatan sebesar 34,96 %. Energi serapan maksimal dicapai pada penambahan variasi kadar serat bendrat 1%. Sedangkan jumlah energi serapan pada saat beton mengalami runtuh total sebesar 2995,97 J dan jumlah energi serapan maksimum adalah 4167,28 J. Energi serapan pada saat beton runtuh total mengalami kenaikan sebesar 39,10%. Berdasarkan grafik fungsi polinomial, nilai kuat kejut (*impact*) optimum saat retak pertama terjadi pada kadar serat 0,097% dengan nilai sebesar 2357,50 J dan saat runtuh total terjadi pada kadar serat 0,099% dengan nilai sebesar 3005,76 J.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Terelesainya penyusunan penelitian ini berkat dukungan dan doa dari orang tua, untuk itu kami ucapkan terima kasih. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Ir. Slamet Prayitno, MT dan Ir. Sunarmasto, MT selaku pembimbing yang dengan penuh kesabaran telah memberi koreksi dan arahan sehingga menyempurnakan penyusunan. Pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah berperan dalam mewujudkan penelitian ini secara langsung maupun tidak langsung khususnya mahasiswa sipil UNS 2013.

REFERENSI

ACI Committee 544. 1996. *Fiber Reinforced Concrete*. Michigan: ACI International Michigan.

- ASTM C 33-74a. American Society For Testing and Materials. 1918. *Concrete and Material Aggregates (including Manual of Aggregates and Concrete Testing)*. Philadelphia: ASTM Philadelphia.
- Budiyanto, Rahmat, 2015. *Pengaruh Penambahan Serat Tembaga Pada Beton Mutu Tinggi Metode Dreux Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah Dan Modulus Elastisitas*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.
- Cement & Concrete Institute. (2001). *Fibre Reinforced Concrete*, Cement & Concrete Institute, Midrand.
- Chu Kia Wang dan Charles G. Salmon, 1986, *Desain Beton Bertulang*
- Diana, Meta, 2015. *Pengaruh Penambahan Serat Bendrat dan Fly Ash dengan Bahan Tambah Bestmittel Pada Beton Mutu Tinggi Metode ACI Terhadap Kuat Tekan, Modulus of Rupture Dan Ketahanan Kejut (Impact)*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.
- Dipohusodo, I. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia. Jakarta.
- Dreux, Georges, 1979, *Nouvean Guide Du Beton*, Service Presse, Editions Eyrolles, Boulevard Saint-Germain,
- Gere, J.M., Timoshenko, S.P., 1996. *Mekanika Bahan*, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Murdock, L.J dan K.M Brook (Terjemahan : Stephanus Hendarko). 1999. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga.
- Neville, A.M., and J.J. Brook. 1987. *Concrete Technology*. New York: Longman Scientific & Technical.
- Neville, A.M. 1975. *Properties of Concrete*. London: The English Language Book Society and Pitman Publishing.
- Soroushian, P. Lee, and Bayasi, Z. 1987, "Concept of Fiber Reinforced Concrete", Michigan State University, Michigan.
- Sriyadi, Eko. 2010. *Analisis Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Belah Beton Dengan Bahan Tambah Abu Sekam Padi Dan Bestmittel*. Skripsi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Tjokrodimulyo, K. 1996. *Teknologi Beton*, Nafitri. Yogyakarta.