

,PENGARUH PENAMBAHAN SERAT BENDRAT DAN FLY ASH DENGAN BAHAN TAMBAH BESTMITTEL PADA BETON MUTU TINGGI METODE AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) TERHADAP KUAT TEKAN, MODULUS OF RUPTURE, DAN KETAHANAN KEJUT (IMPACT)

Slamet Prayitno¹⁾, Purwanto²⁾, Meta Diana³⁾

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

³⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524.

Email: Metadiana90@yahoo.com

Abstract

Reinforced concrete structure is a structure that is highly reliable and power is now widely used in the construction of tall buildings, towers, rigid pavement and water buildings. The structure thus requiring high strength concrete with compressive strength greater than 6000 psi or 41.4 MPa with components thus a need to increase the quality of concrete with steps to add steel fiber to the fresh concrete which aim to improve the compressive strength of concrete. Moreover with adding fly ash to keep the density of concrete and bestmittel to speed up hardening the concrete. The aims of this study to know the influence of adding steel fiber, fly ash and bestmittel to compressive strength, modulus of rupture and impact. The method used is a method that is carried out in a laboratory experiment UNS material. Cylindrical test specimen with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm for compressive strength testing, cube-shaped test specimens with dimensions of 10 x 10x 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, Loading Frame 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 research suggests that the addition of steel fiber content 0,9% to 1,1% give the maximum value of the increase in the compressive strength, modulus of rupture, and impact. And each of; 86,36 MPa; 3,3004 MPa; 3429,9605 J (when crack first); 3633,5572 J (currently a total collapse). While the addition of steel fiber content above 1,1% not show a significant increase in even tended to fall.

Key Words : *High Quality Concrete, Steel Fiber, Fly Ash, Bestmittel, Compressive Strength, Modulus of Rupture, Impact.*

Abstrak

Struktur beton bertulang merupakan struktur yang sangat diandalkan kekuatannya saat ini dan banyak dimanfaatkan pada pembangunan gedung-gedung tinggi, dan sebagainya. Struktur tersebut membutuhkan beton mutu tinggi dengan kuat tekan lebih besar dari 6000 Psi atau 41,4 MPa yang digunakan untuk menopang komponen struktur. Perlu adanya peningkatan mutu beton dengan cara menambahkan serat pada beton segar, maka dipilihlah bahan tambah serat bendrat yang harganya ekonomis dan paling murah diantara jenis kawat lainnya untuk dimanfaatkan sebagai bahan tambah yang bertujuan meningkatkan kuat tekan beton, Selain itu dengan menambahkan *fly ash* untuk menjaga kepadatan beton dan *bestmittel* untuk mempercepat pengerasan beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan serat bendrat terhadap sifat-sifat mekanik beton berupa kuat tekan, *modulus of rupture* dan ketahanan kejut (*impact*).

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 kubus dengan dimensi 10 x 10x 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, Loading Frame 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 dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan kadar serat bendrat dari 0,9% - 1,1% memberikan nilai maksimal dari kuat tekan, *modulus of rupture*, dan *impact*. Masing – masing sebesar: 86,36 MPa; 3,3004 MPa; 3429,9605 J (pada saat retak pertama); 3633,5572 J (pada saat runtuh total). Sedangkan penambahan kadar serat bendrat diatas 1,1% tidak menunjukkan kenaikan nilai yang signifikan bahkan cenderung menurun.

Kata Kunci: Beton Mutu Tinggi, Serat Bendrat, *Fly Ash*, *Bestmittel*, Kuat Tekan, *Modulus of Rupture*, *Impact*.

PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan konstruksi yang paling sering digunakan dalam struktur bangunan. Teknologi beton yang terus berkembang menghasilkan beton mutu tinggi yang menjadi solusi akan kebutuhan beton yang semakin meningkat tersebut. Beton pracetak dan prategang digunakan untuk struktur-struktur seperti tiang pancang, balok jembatan, plat lantai dan kolom untuk gedung bertingkat banyak dan bantalan kereta api. Beton mutu tinggi umumnya dikenal sebagai beton dengan kuat desak lebih besar dari 6000 psi atau 41.4 Mpa pada umur 28 hari untuk benda uji silinder. Dengan demikian perlu adanya peningkatan mutu beton 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 kuat tekan beton. Dengan demikian beton mutu tinggi metode American Concrete Institute (ACI) yang ditambahkan serat bendrat, fly ash dan bestmittel diharapkan kuat tekannya menjadi bertambah, dengan kuat tekan rencana (f_c')=80 Mpa.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton Metode *American Concrete Institute* (ACI)

Metode *American Concrete Institute* (ACI) mensyaratkan suatu campuran perancangan beton dengan mempertimbangkan sisi ekonomisnya dengan memperhatikan ketersediaan bahan-bahan di lapangan, kemudahan pekerjaan, serta keawetan kekuatan dan pekerjaan beton. Dalam metode *American Concrete Institute* (ACI) kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f_{cr}) untuk proporsi campuran berdasarkan campuran coba di laboratorium di ambil persamaan : $f_{cr} = (f_c + 9,66) / 0,9$

Dengan ketentuan kekuatan tekan rata-rata beton pada umur 28 hari yang didasarkan atas benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. f_{cr} adalah kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (MPa) dan f_c adalah kuat tekan rata-rata yang disyaratkan (MPa)

Beton Mutu Tinggi Metode *American Concrete Institute* (ACI) berserat bendrat

Beton mutu tinggi metode *American Concrete Institute* (ACI) berserat bendrat, bahan betonnya mudah didapat di Pulau Jawa ini karena banyak terdapat gunung vulkanik, sedangkan bendrat yang merupakan kawat bendrat dapat dibeli dalam bentuk kawat ataupun didapat berasal dari limbah proyek konstruksi.

Dengan demikian beton mutu tinggi metode *American Concrete Institute* (ACI) berserat bendrat diharapkan kuat tekannya menjadi bertambah. sedangkan beton mutu tinggi dapat direncanakan kuat tekan bisa mencapai $f_c = 80$ Mpa.

Bahan Tambah Kimia

Pada penelitian ini bahan tambah kimia (admixture) yang digunakan adalah Bestmittel. Bestmittel merupakan formula khusus yang sangat ekonomis dalam prosen 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 pembeconan, 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 :

$$f_c = \frac{P}{A} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

(1)

dengan :

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

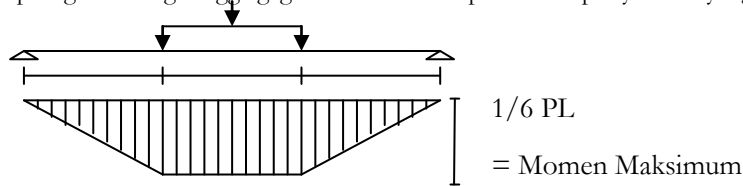
P: beban maksimum (N)

A: Luas penampang benda uji (mm^2)

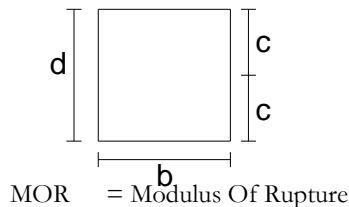
Modulus Of Rupture

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 x 10 x 50 cm³ 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: $MOR = \frac{M_{maks}}{S}$, Dimana $S = \frac{I}{c}$



$$MOR = \frac{P \times L}{b \times h^2}$$

(MPa)

- Mmaks = Momen Maksimum (Nmm)
- S = Modulus Penampang (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)

Kuat 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.

$$\frac{Mv^2}{2} \text{ dimana } v = \sqrt{2gh}$$

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

$$E_{maks} = 2 E_p = 2nmgh \quad E_{maks} = \text{energi serapan (joule)}$$

- m = massa beban yang dijatuhkan (kg)
- g = gravitasi (m/detik²)
- h = tinggi jatuh (m)
- n = jumlah pukulan

METODELOGI PENELITIAN

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 kubus dengan dimensi 10 x 10x 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, *Loading Frame* 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*.

Tabel 1. Jumlah dan Kode Benda Uji Kuat Tekan

No	Kadar Serat Bendrat	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1	0 %	BS-0	4
2	0,5%	BS-0,5	4
3	1 %	BS-1,5	4
4	1,5%	BS-1,5	4
5	2 %	BS-2	4

Tabel 2. Jumlah dan Kode Benda Uji *Modulus Of Rupture*

No	Kadar Serat Bendrat	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1	0 %	BS-0	4
2	0,5%	BS-0,5	4
3	1 %	BS-1,5	4
4	1,5%	BS-1,5	4
5	2 %	BS-2	4

Tabel 3. Jumlah dan Kode Benda Uji *Impact*

No	Kadar Serat Bendrat	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1	0 %	BS-0	4
2	0,5%	BS-0,5	4
3	1 %	BS-1,5	4
4	1,5%	BS-1,5	4
5	2 %	BS-2	4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	Kandungan zat organic	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 5. 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 *American Concrete Institute (ACI)*

Perhitungan rancang campuran adukan beton dilakukan dengan metode *American Concrete Institute (ACI)*. Dari perhitungan tersebut didapat kebutuhan bahan per 1 m³ yaitu :

- Pasir = 574,42 kg
- Agregat Kasar = 1030,88 kg
- Semen + *fly Ash* 15% = 570,83 kg
- Air + admixture (*Bestmittel*) = 171,428 liter

Kebutuhan bahan untuk tiap sampel permeabilitas dan penetrasi yaitu :

- Pasir = 0,3807 kg
- Agregat Kasar = 0,6831 kg
- Semen + *fly Ash* 15% = 0,3215 kg
- fly Ash* 15% = 0,0567 kg
- Air – 20% = 0,0908 kg
- Bestmittel* = 1,5131 Gram

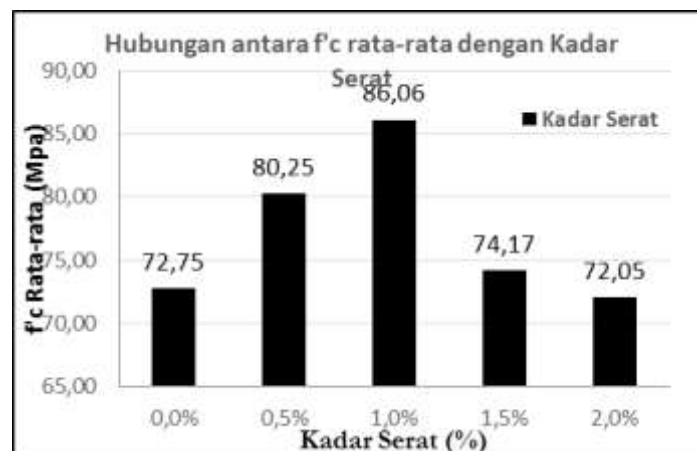
Kebutuhan bahan untuk tiap sampel abrasi yaitu :

- a. Pasir = 0,2585 kg
- b. Agregat Kasar = 0,4639 kg
- c. Semen + *fly Ash* 15% = 0,2183 kg
- d. *fly Ash* 15% = 0,0385 kg
- e. Air – 20% = 0,0617 kg
- f. *Bestmittel* = 1,0275 Gram

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan

NO	KADAR SERAT	KODE BENDA UJI	NO BENDA UJI	LUAS PERM. (mm ²)	UJI TEKAN (kN)	f _c (MPa)
1	0%	BS	1	17662,50	1380000	78,13
			2	17662,50	1200000	67,94
			3	17662,50	1340000	75,87
			4	17662,50	1220000	69,07
			Rerata		1285000	72,75
2	0,5%	BS	1	17662,50	1390000	78,70
			2	17662,50	1430000	80,96
			3	17662,50	1420000	80,40
			4	17662,50	1430000	80,96
			Rerata		1417500	80,25
3	1 %	BS	1	17662,50	1520000	86,06
			2	17662,50	1510000	85,49
			3	17662,50	1530000	86,62
			4	17662,50	1520000	86,06
			Rerata		1520000	86,06
4	1,5%	BS	1	17662,50	1305000	73,89
			2	17662,50	1295000	73,32
			3	17662,50	1325000	75,02
			4	17662,50	1315000	74,45
			Rerata		1310000	74,17
5	2 %	BS	1	17662,50	1280000	72,47
			2	17662,50	1275000	72,19
			3	17662,50	1265000	71,62
			4	17662,50	1270000	71,90
			Rerata		1272500	72,05



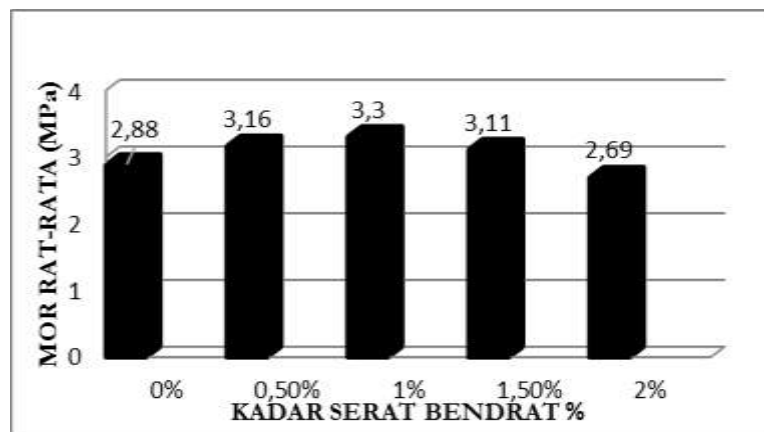
Gambar 1. Diagram Hubungan Kuat Tekan Beton dengan % serat bendrat

Berdasarkan hasil penelitian didapat kuat tekan dengan kadar serat bendrat sebesar 0 %; 0,5 %; 1 %; 1,5 %; dan 2% yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut adalah 72.75 MPa; 80.25 MPa; 86.06 MPa; 74.17 MPa; dan 72.05 MPa. Kuat tekan maksimum adalah pada beton mutu tinggi metode *American Concrete Institute* (ACI) dengan kadar penambahan serat sebesar 1 %, menghasilkan kuat tekan sebesar 86,06 MPa atau terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 13,31 % dibandingkan dengan beton mutu tinggi metode *American Concrete Institute* (ACI) tanpa serat. Berdasarkan grafik fungsi polynomial, kadar serat optimum terjadi pada kadar serat 0,906 % dengan nilai sebesar 86,39 MPa.

Hasil Pengujian *Modulus Of Rupture*

Tabel 7. Hasil Pengujian MOR

Curing	Variasi Serat Tembaga (%)	Kode Benda uji	Beban Maksimum (kg/cm2)	MOR (N)	MOR (Mpa)	Rata-rata (MPa)
Air Normal	0%	BK 0-1	75	9291.99	2.79	2.88
		BK 0-2	75	9291.99	2.79	
		BK 0-3	80	9911.46	2.97	
		BK 0-4	80	9911.46	2.97	
	0,5%	BK 0.5-1	85	10530.93	3.16	3.16
		BK 0.5-2	85	10530.93	3.16	
		BK 0.5-3	80	9402.61	2.97	
		BK 0.5-4	85	10530.93	3.16	
	1%	BK 1-1	90	11150.39	3.35	3.30
		BK 1-2	90	11150.39	3.35	
		BK 1-3	90	11150.39	3.35	
		BK 1-4	85	10530.93	3.16	
	1,5%	BK 1.5-1	85	10530.93	3.16	3.11
		BK 1.5-1	80	9911.46	2.97	
		BK 1.5-1	85	10530.93	3.16	
		BK 1.5-1	85	10530.93	3.16	
	2%	BK 2-1	75	9291.99	2.97	2.69
		BK 2-2	70	8672.53	2.79	
		BK 2-3	75	9291.99	2.97	
		BK 2-4	70	8672.53	2.79	



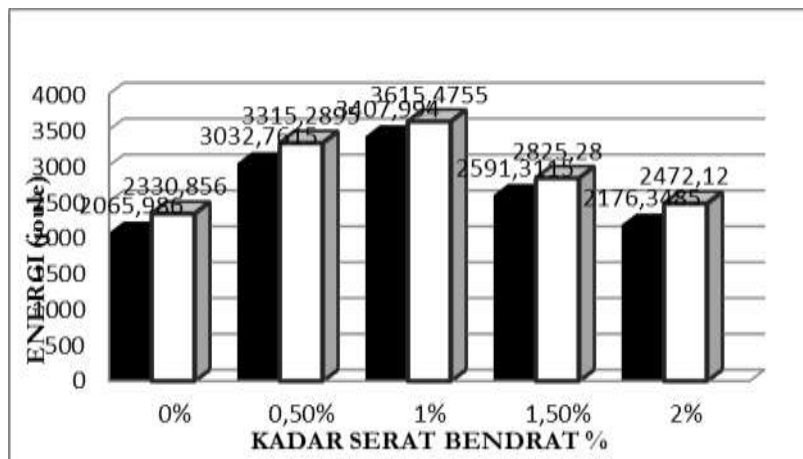
Gambar 2. Diagram Hubungan *Modulus Of Rupture* dengan % Serat Bendrat

Berdasarkan hasil penelitian didapat nilai *modulus of rupture* dengan kadar serat tembaga sebesar 0 %; 0,5%; 1 %; 1,5 %; dan 2% yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut adalah 2,88 MPa; 3,16 MPa; 3,30 MPa; 3,11 MPa; dan 2,69 MPa. Dari hasil perhitungan regresi pada grafik, nilai *modulus of rupture* maksimum pada beton mutu tinggi metode ACI terjadi pada kadar serat 0,975 % dengan nilai sebesar 3,30 MPa.

Hasil Pengujian Kuat Kejut (*Impact*)

Tabel 8. 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%	117.00	2065.986	132.00	2330.856
0,5 %	146.50	2586.897	155.50	2745.819
1%	193.00	3407.994	204.75	3615.4755
1,5 %	150.00	2648.700	159.25	2812.0365
2%	123.25	2176.3485	140.00	2472.12



Gambar 3. Diagram Hubungan Energi Serapan Kuat Kejut (*Impact*) dengan % Serat Bendrat.

Tabel 9. Perubahan Nilai Energi Serapan Kuat Kejut (*Impact*) Saat Retak Pertama

Kode Benda Uji	Energi (J)	Selisih Energi (J)	Selisih Energi (%)
BK 0%	2330.86	0	0
BK 0,5%	2745.81	414.96	15.11
BK 1%	3615.47	869.66	35.53
BK 1,5%	2812.03	803.44	17.11
BK 2%	2472.12	339.92	5.02

Tabel 10. Perubahan Nilai Energi Serapan Kuat Kejut (*Impact*) Saat Runtuh Total

Kode Benda Uji	Energi (J)	Selisih Energi (J)	Selisih Energi (%)
BK 0%	2065.99	0	0
BK 0,5%	2586.89	520.91	20.14
BK 1%	3407.99	1342.01	39.38
BK 1,5%	2591.31	525.33	20.27
BK 2%	2176.34	414.96	5.07

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 2065,986 J pada benda uji dengan kadar serat 0%, dan jumlah energi serapan maksimal adalah sebesar 3407,994 J pada benda uji dengan kadar serat 1% dengan selisih energi maksimal sebesar 39,38 %. Sedangkan jumlah energi serapan pada saat beton mengalami runtuh total sebesar 2330,860 J pada benda uji dengan kadar serat 0%, dan jumlah energi serapan maksimum adalah 3615,4755 J pada benda uji dengan kadar serat 1%, dengan selisih energi maksimal sebesar 35,53 %.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

- a. Kuat Tekan
Berdasarkan hasil penelitian didapat kuat tekan beton mutu tinggi Metode ACI berserat bendrat dengan bahan tambah bestmittel dan *fly ash* dengan kadar serat bendrat sebesar 0 %; 0,5%; 1 %; 1,5 %; dan 2%, yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut adalah 72,75 MPa; 80,25 MPa; 86,06 MPa; 74,17 MPa; dan 72,05 MPa. Berdasarkan grafik fungsi polynomial, kadar serat optimum terjadi pada kadar serat 0,906% dengan nilai sebesar 86,36 MPa. Serat yang ditambahkan masih dapat menyebar secara random dimana serat seolah-olah berfungsi sebagai tulangan. Serat bendrat juga mampu terekat kuat dengan adukan beton yang menyebabkan terbentuklah suatu massa yang kompak dan padat sehingga dapat meningkatkan nilai kuat tekannya. Akan tetapi pada penambahan kadar serat diatas 1% terjadi penurunan nilai kuat tekan, diakibatkan jumlah serat yang terlalu banyak sehingga mempengaruhi *workability* adukan beton dan penyebaran serat yang kurang merata.
- b. *Modulus Of Rupture*
Berdasarkan hasil penelitian didapat nilai *modulus of rupture* beton mutu tinggi metode ACI dengan kadar serat bendrat sebesar 0 %; 0,5%; 1 %; 1,5 %; dan 2% yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut adalah 2,88 MPa; 3,16 MPa; 3,30 MPa; 3,11 MPa; dan 2,69 MPa. Nilai kekakuan terbesar terdapat pada beton mutu tinggi dengan kadar penambahan serat bendrat 1%, Dari hasil perhitungan regresi pada grafik kadar serat optimum terjadi pada kadar serat 0,975 % dengan nilai sebesar 3,3004 MPa. penambahan serat bendrat 1%, menghasilkan nilai *modulus of rupture* sebesar 3,30 MPa atau terjadi kenaikan nilai *modulus of rupture* sebesar 14,52 %.
- c. Kuat Kejut (*Impact*)
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 2065,986 J dan jumlah energi serapan maksimal adalah sebesar 3407,994 J. Energi serapan beton mengalami peningkatan sebesar 39,38 %. Dari hasil perhitungan regresi pada grafik di dapat kadar serat optimum sebesar 1,10599% dengan jumlah energi sebesar 3429,9605 J . Sedangkan jumlah energi serapan pada saat beton mengalami runtuh total sebesar 2330,860 J dan jumlah energi serapan maksimum adalah 3615,4755 J. Energi serapan pada saat beton runtuh total mengalami kenaikan sebesar 35,53 %. Dari hasil perhitungan regresi pada grafik di dapat kadar serat optimum sebesar 1,13056% dengan jumlah energi sebesar 3633,5572 J. Peningkatan nilai kuat kejut (*impact*) tersebut antara lain disebabkan karena adanya kontribusi dari serat bendrat terhadap volume adukan beton yang semakin padat, maka untuk masing-masing pengujian kuat tekan, *Modulus Of Rupture*, dan Kuat Kejut (*Impact*) Serat bendrat berbentuk Z (*hooked*) juga mampu terekat kuat dengan adukan beton yang menyebabkan terbentuknya suatu campuran yang solid, sehingga beton menjadi lebih kaku dan daktilitas beton meningkat sehingga didapat kuat tekan yang maksimal dan dapat meningkatkan nilai *Modulus Of Rupture* dan kuat kejut (*impact*). Sedangkan Pada penambahan serat bendrat < 1% terjadi penurunan kuat tekan dikarenakan semakin banyaknya serat yang ditambahkan akan mempengaruhi *workability* adukan sehingga bisa menyebabkan *balling effect* yaitu penggumpalan serat dimana serat tidak tersebar merata meskipun dalam metode penyebarannya dilakukan secara acak sehingga daktilitas beton semakin rendah akibat banyaknya serat bendrat yang dicampurkan. Dari penelitian ini bisa dilihat bahwa prosentase volume optimal yang dapat memperbaiki sifat – sifat beton yaitu pada kadar serat bendrat 0,9% - 1,1%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada Ir. Slamet Prayitno, MT, Ir. Purwanto, MT, Ir. Supardi, MT dan Ir. Endang Rismunarsi, MT. yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

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 Consrete Testing)*. Philadelphia: ASTM Philadelphia.
- Adib Rifa'i. 2011. *Kajian Ketahanan Kejut (Impact) dan Abrasi Beton Ringan Berserat Polythelene*, Program Sarjana UNS, Surakarta
- Anang Pambudi Widodo. 2011. *Kajian Ketahanan Kejut (Impact) dan Abrasi Beton dengan Campuran Metakaolin, Slag dan Kapur Padam Sebagai Pengganti Semen*, Program Sarjana UNS, Surakarta
- Adi Saputra Hendri L. 2011. *Studi Perilaku Susut dan Kuat Tekan Pada Beton dengan Metode ACI Laporan Penelitian*, Program Teknik Sipil, Universitas Indonesia.
- Balaguru, P.N., Shah, S.P. (1992). *Fiber Reinforced Cement Composites*, McGraw-Hill International Edition, Singapore.
- Cement & Concrete Institute. (2001). *Fibre Reinforced Concrete*, Cement & Concrete Institute, Midrand.
- Dipohusodo, I. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Gramedia. Jakarta.
- 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
- Muhammad Rosyid.R. 2011. *Kajian serapan dan penetrasi beton ringan metakaolin berserat alluminium pasca bakar*. Progran S1 Teknik Sipil. Universitas Sebelas Maret.
- Soroushian, P. Lee, and Bayasi,Z. 1987, "*Consept of Fiber Reinforced Concrete*", Michigan State University, Michigan.
- Tjokrodimulyo, K. 1996. *Teknologi Beton*, Nafitri. Yogyakarta.