

# PENGARUH PENAMBAHAN SERAT GALVANIS DAN SERBUK KACA TERHADAP KUAT TEKAN, MODULUS OF RUPTURE, DAN KETAHANAN KEJUT (IMPACT) BETON

Slamet Prayitno<sup>1)</sup>, Sunarmasto<sup>2)</sup>, Ma'sum Budi Prakoso<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Fakultas Teknik, Program Studi teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>2), 3)</sup> Pengajar Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret  
Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524.

Email: [budi.maksum@yahoo.co.id](mailto:budi.maksum@yahoo.co.id)

## Abstract

*The progress of knowledge the world construction of a technology concrete allow investigation to get products construction better. The high quality of concrete will allow a big construction on high buildings and transportation facilities. The studies have done and one of them was substitution several cement with glass powder because the womb in the glass powder utilized as a filler, besides added fibers galvanized wire on the concrete fresh will contribute to improvement characteristic of concrete. The purpose of this research is to find the influence of replacement some cement with the glass powder and the addition of fibers galvanized wire to compressive strength, modulus of rupture, and impact. The experimental methods was used in this research. The research was done in material laboratory of Sebelas Maret University Surakarta. Compressive strength test use cylindrical with 15 cm of diameters and 30 cm of height, cube-shaped test specimens with dimensions of 10 x 10 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 substitution several cement with glass powder. Percentage of the fiber used was 0% ; 2% ; 4% ; 6% ; and 8% . Tests using Compression Testing Machine for compressive strength testing , Loading Frame for modulus of rupture and Drop Weight Impact for impact testing. Calculation was using Microsoft Excel program. The results of research suggests that the steady substitution several cement with glass powder is 4% to 4,3% give the maximum value of the increase in the compressive strength, modulus of rupture, and impact. And each of ; 44.4587 MPa; 2.9275 MPa; 3625.709 J (when crack first); 4186.995 J (currently a total collapse).*

**Key Words** :: High Quality Concrete, Glass Powder, Galvanized Wire Fibers, Compressive Strength, Modulus of Rupture, Impact.

## Abstrak

Kemajuan pengetahuan dunia konstruksi tentang teknologi beton memungkinkan dilakukan penelitian untuk mendapatkan produk-produk konstruksi yang lebih baik. Beton yang baik memungkinkan untuk dibangunnya struktur-struktur besar baik yang berupa gedung-gedung bertingkat maupun sarana transportasi. Penelitian telah dilakukan dan salah satunya adalah dengan penggantian sebagian semen dengan serbuk kaca karena kandungan dalam serbuk kaca dimanfaatkan sebagai filler, selain itu menambahkan serat kawat galvanis pada beton segar akan memberikan kontribusi terhadap perbaikan karakteristik beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggantian sebagian semen dengan serbuk kaca dan penambahan serat kawat galvanis terhadap kuat tekan, modulus of rupture dan ketahanan kejut (impact). Metode yang digunakan adalah metode eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium Bahan UNS. Benda uji berbentuk kubus dengan dimensi 10 x 10 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 3 buah untuk 1 variasi kadar serbuk kaca. Persentase serbuk yang digunakan adalah 0%; 2%; 4%; 6%; dan 8%. 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 analisis menggunakan bantuan program Microsoft Excel. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kadar penggantian sebagian semen dengan serbuk kaca dari 4% - 4,3% memberikan nilai optimum dari kuat tekan, modulus of rupture, dan kuat kejut masing-masing sebesar: 44,4587 MPa; 2,9275 MPa; 3625,709 J (pada saat retak pertama); 4186,995 J (pada saat runtuh total).

**Kata Kunci:** Beton Mutu Tinggi, Serbuk kaca, Serat Galvanis, Kuat Tekan, Modulus of Rupture, Impact.

## PENDAHULUAN

Pengetahuan dunia konstruksi tentang teknologi beton memungkinkan dilakukan penelitian untuk mendapatkan produk-produk konstruksi yang lebih baik. Perencanaan produk-produk tersebut dalam konstruksi bangunan dibutuhkan berbagai bahan dan material, salah satu bahan yang sangat penting adalah beton. Beton yang baik memungkinkan untuk dibangunnya struktur-struktur besar baik yang berupa gedung-gedung bertingkat maupun sarana transportasi. Dalam mendukung perkembangan pembangunan dan memperbaiki kekurangan beton, dilakukan usaha-usaha untuk mendapatkan beton dengan mutu tinggi dan memiliki sifat-sifat yang lebih baik.

Penambahan serat pada campuran beton akan memberikan kontribusi terhadap perbaikan karakteristik beton dan beberapa bahan campuran terbukti dapat meningkatkan kinerja beton dengan komposisi tertentu. Penelitian ini menggunakan serbuk kaca sebagai bahan pengganti sebagian semen dan menambahkan serat kawat galvanis pada beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggantian sebagian semen dengan serbuk kaca dan penambahan serat kawat galvanis terhadap kuat tekan, *modulus of rupture*, dan ketahanan kejut dengan menggunakan metode *American Concrete Institute* (ACI).

## TINJAUAN PUSTAKA

### Beton

Beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen, air, dan agregat (dan kadang-kadang bahan tambah, yang sangat bervariasi mulai dari bahan kimia tambahan, serat, sampai bahan bangunan non-kimia) pada perbandingan tertentu. Campuran tersebut bila dituang dalam cetakan kemudian dibiarkan maka akan mengeras seperti batuan (Tjokrodimuljo, 1996).

### Bahan Tambah

Bahan tambah adalah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera atau selama pengadukan beton. Tujuannya ialah mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras, misalnya mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah kuat tekan, menambah daktilitas mengurangi sifat getas, mengurangi retak-retak pengerasan dan sebagainya (Tjokrodimuljo, 1996)

### Beton Serat

Beton yang diberi bahan tambah serat disebut beton serat (*fibre reinforced concrete*). Serat pada umumnya berupa batang-batang dengan diameter antara 5 dan 500  $\mu\text{m}$ , bahkan sampai dengan 1300  $\mu\text{m}$  (mikro meter), dan panjang sekitar 25 mm sampai 100 mm. Bahan serat dapat berupa: serat asbestos, serat tumbuh-tumbuhan (rami, bambu, ijuk), serat plastik (*polypropylene*), atau potongan kawat baja. (Tjokrodimuljo, 1996).

### Beton Mutu Tinggi dengan Serbuk Kaca dan Serat Kawat Galvanis

Beton mutu tinggi metode *American Concrete Institute* (ACI) dengan campuran serbuk kaca dan serat kawat galvanis, bahan betonnya mudah didapat dari limbah-limbah rumah tangga yang berupa botol kaca dan kawat galvanis yang merupakan kawat lokal yang biasanya di jual di pasaran dan harga yang relative terjangkau. Beton mutu tinggi ini diharapkan kuat tekan, *modulus of rupture* dan ketahanan kejut menjadi bertambah. Beton mutu tinggi dengan campuran serbuk kaca dan serat kawat galvanis diharapkan dapat mencapai kuat tekan  $f'c > 41,4 \text{ Mpa}$ .

### 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 (Tjokrodimuljo, 1996). Untuk mengetahui tegangan hancur dari benda uji tersebut dilakukan dengan perhitungan :

$$f'c = \frac{P}{A} \left( \frac{N}{\text{mm}^2} \right) \dots\dots\dots (1)$$

(1)

Keterangan :

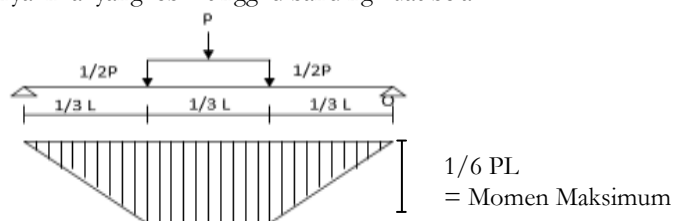
$f'c$  = Kuat tekan beton pada umur 28 hari yang didapat dari benda uji (MPa).

P = beban maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji ( $\text{mm}^2$ )

### Modulus Of Rupture

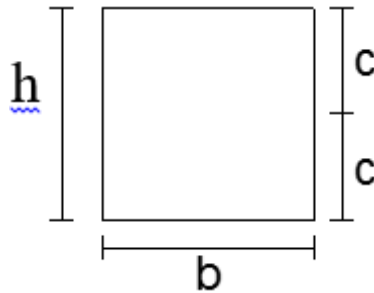
*Modulus of Rupture* merupakan kuat tarik maksimum yang secara teoritis dicapai pada serat bagian bawah dari sebuah balok uji (Neville, 1997). Nilai dari *modulus of rupture* bergantung pada dimensi dari balok uji dan susunan beban. Untuk memperoleh nilai *modulus of rupture* digunakan metode third point loading. *Modulus of rupture* diukur dengan menguji balok polos berpenampang bujursangkar  $10 \times 10 \times 50 \text{ cm}^3$  dan di bebani di titik-titik sepertiga bentang hingga gagal. *Modulus of rupture* mempunyai nilai yang lebih tinggi dibanding kuat belah.



Gambar 1. Momen Yang Terjadi Akibat Beban P

Secara umum nilai *modulus of rupture* dapat dihitung dengan rumus:

$$MOR = \frac{M_{maks}}{S}, \text{ Dimana } S = \frac{I}{c} \dots\dots\dots (2)$$



Gambar 2. Luas Penampang MOR

$$MOR = \frac{P \times L}{b \times h^2} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- MOR = Modulus Of Rupture (MPa)
- Mmaks = Momen Maksimum (Nmm)
- S = Modulus Penampang (mm<sup>3</sup>)
- 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.

— dimana — ..... (4)

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:

$$= 2nmgh \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

- $E_{maks}$  = energi serapan (joule)
- m = massa beban yang dijatuhkan (kg)
- g = gravitasi (m/detik<sup>2</sup>)
- h = tinggi jatuh (m)
- n = jumlah pukulan

**METODE 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 3 buah untuk 1 variasi kadar penambahan serbuk. Persentase serbuk yang digunakan adalah 0%; 2%; 4%; 6%; dan 8%. 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 Serbuk Kaca	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1	0%	GT-0	3
2	2%	GT-2	3
3	4%	GT-4	3
4	6%	GT-6	3
5	8 %	GT-8	3

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

No	Kadar Serbuk Kaca	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1	0%	BR-0	3
2	2%	BR-2	3
3	4%	BR-4	3
4	6%	BR-6	3
5	8 %	BR-8	3

Tabel 3. Jumlah dan Kode Benda Uji *Impact*

No	Kadar Serbuk Kaca	Kode Benda Uji	Jumlah Benda Uji
1	0%	BK-0	3
2	2%	BK-2	3
3	4%	BK-4	3
4	6%	BK-6	3
5	8%	BK-8	3

## 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	2 %	Maks 5 %	Memenuhi syarat
3	<i>Bulk specific gravity</i>	2,44 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
4	<i>Bulk specific SSD</i>	2,54 gr/cm <sup>3</sup>	2,5-2,7	Memenuhi syarat
5	<i>Apparent specific gravity</i>	2,71 gr/cm <sup>3</sup>	-	-
6	<i>Absorbtion</i>	4,17 %	-	-
7	Modulus Halus	2,42	1,5-3,8	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	7,80	5 - 8	Memenuhi syarat
2	Bulk Specific Gravity	2,38	-	-
3	Bulk Specific Gravity SSD	2,53	-	-
4	Apparent Specific Gravity	2,78	-	-
5	Absorbtion	6,03	-	-
6	Abrasi	44,32 %	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 m<sup>3</sup> yaitu :

- Pasir = 722,99 kg
- Agregat Kasar = 969,68 kg
- Semen = 409,17 kg
- Air = 122,75 liter

Kebutuhan bahan untuk tiap sampel kuat tekan yaitu :

- Pasir = 3,8329 kg
- Agregat Kasar = 5,1407 kg

- c. Semen = 2,1692 kg  
 d. Air = 0,6507 liter  
 e. Kawat Galvanis 1% = 0,1179 kg
- Kebutuhan bahan untuk tiap sampel *modulus of rupture* yaitu :
- a. Pasir = 3,6149 kg  
 b. Agregat Kasar = 4,8484 kg  
 c. Semen = 2,0458 kg  
 d. Air = 0,6137 liter  
 e. Kawat Galvanis 1% = 0,11123 kg

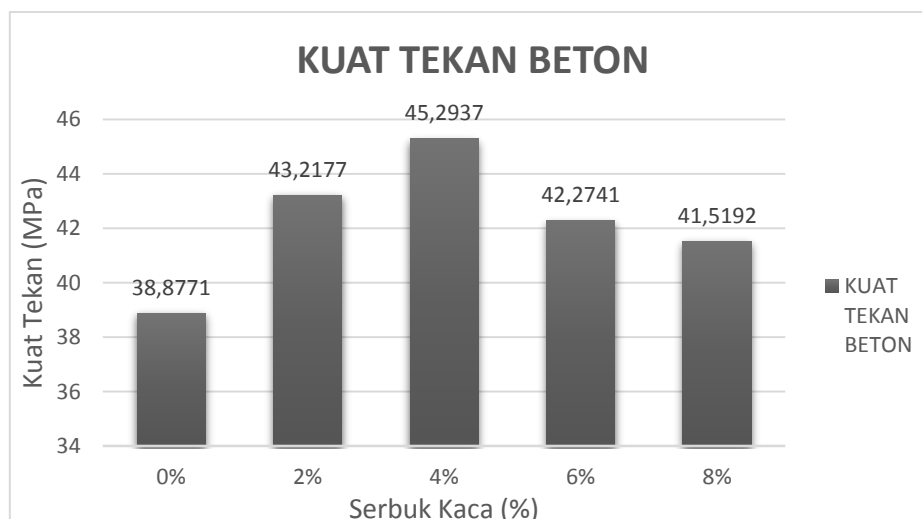
Kebutuhan bahan untuk tiap sampel ketahanan kejut yaitu :

- a. Pasir = 0,6288 kg  
 b. Agregat Kasar = 0,8568 kg  
 c. Semen = 0,3615 kg  
 d. Air = 0,1085 liter  
 e. Kawat Galvanis 1% = 0,01966 kg

### Hasil Pengujian Kuat Tekan

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan

NO	KADAR SERBUK KACA	KODE BENDA UJI	NO BENDA UJI	LUAS PERM. (mm <sup>2</sup> )	UJI TEKAN (kN)	f'c (MPa)
1	0%	GT 0%	1	17662,50	690000	39,07
			2	17662,50	730000	41,33
			3	17662,50	640000	36,23
			Rerata		2060000	<b>38,88</b>
2	2%	GT 2%	1	17662,50	800000	45,29
			2	17662,50	770000	43,60
			3	17662,50	720000	40,76
			Rerata		2290000	<b>43,22</b>
3	4%	GT 4%	1	17662,50	810000	45,86
			2	17662,50	760000	43,03
			3	17662,50	830000	46,99
			Rerata		2400000	<b>45,29</b>
4	6%	GT 6%	1	17662,50	730000	41,33
			2	17662,50	660000	37,37
			3	17662,50	850000	48,12
			Rerata		2240000	<b>42,09</b>
5	8%	GT 8%	1	17662,50	740000	41,90
			2	17662,50	770000	43,60
			3	17662,50	690000	39,07
			Rerata		2200000	<b>41,33</b>



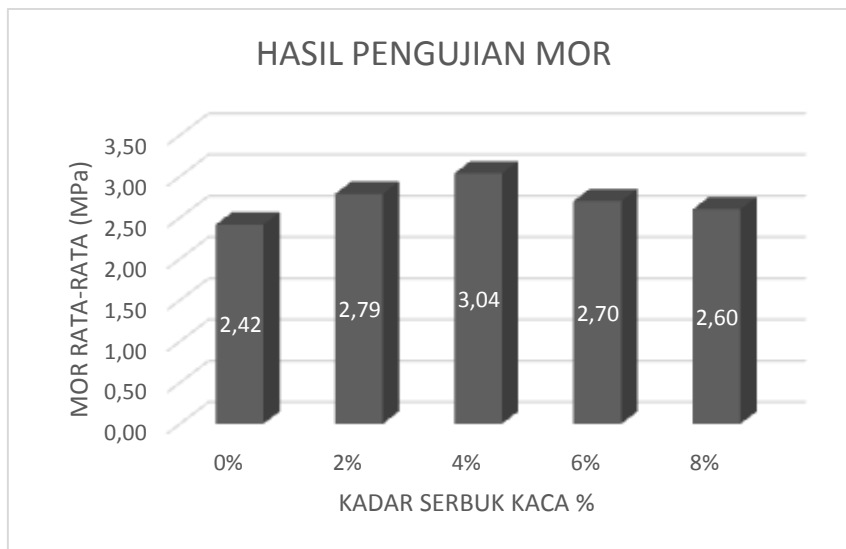
Gambar 3. Diagram Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Persentase Serbuk Kaca

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan, didapat kuat tekan dengan variasi kadar serbuk kaca sebesar 0 %; 2 %; 4 %; 6 %; dan 8% yang diuji pada umur 28 hari secara berturut-turut adalah 38,8771 MPa; 43,2177 MPa; 45,2937 MPa; 42,2741 MPa; dan 41,5192 MPa. Kuat tekan maksimum beton mutu tinggi metode ACI ini adalah dengan kadar serbuk kaca sebesar 4 % yang menghasilkan kuat tekan sebesar 45,2937 Mpa atau terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 16,50% dibandingkan dengan beton mutu tinggi metode ACI tanpa campuran serbuk kaca dan serat kawat galvanis. Berdasarkan grafik fungsi polinomial, kadar serbuk kaca optimum terjadi pada  $x_1 = 0,0372$  atau dalam persen adalah 3,72% dengan nilai kuat tekan sebesar 45,2937MPa.

**Hasil Pengujian *Modulus Of Rupture***

Tabel 7. Hasil Pengujian MOR

Kadar Serbuk Kaca (%)	Kode Benda uji	Beban Maksimum (kgf/cm2)	Beban Maksimum (N)	MOR (MPa)	Rata-rata (MPa)
0%	BR 0-1	65	8053.06	2.42	2.42
	BR 0-2	70	8672.53	2.60	
	BR 0-3	60	7433.59	2.23	
2%	BR 2-1	75	9291.99	2.79	2.79
	BR 2-2	70	8672.53	2.60	
	BR 2-3	80	9911.46	2.97	
4%	BR 4-1	80	9911.46	2.97	3.04
	BR 4-2	85	10530.93	3.16	
	BR 4-3	80	9911.46	2.97	
6%	BR 6-1	80	9911.46	2.97	2.70
	BR 6-2	70	8672.53	2.60	
	BR 6-3	70	8672.53	2.52	
8%	BR 8-1	70	8672.53	2.60	2.60
	BR 8-2	75	9291.99	2.79	
	BR 8-3	65	8053.06	2.42	



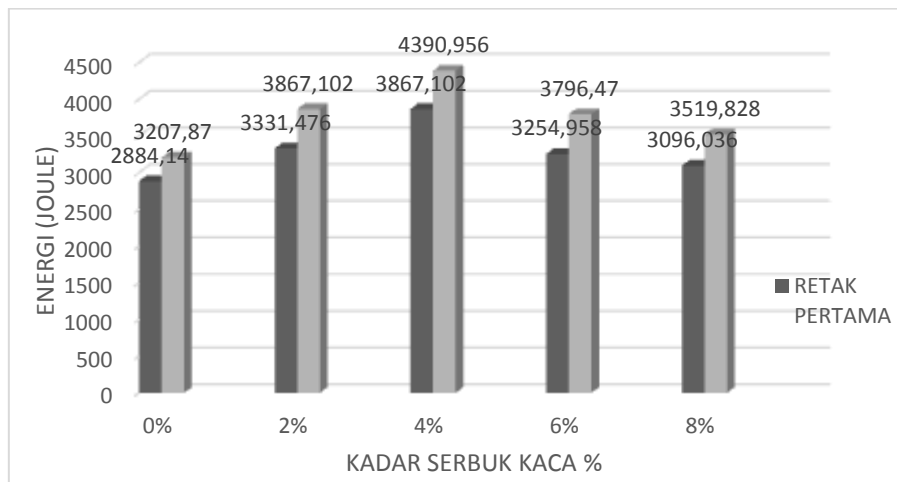
Gambar 4. Diagram Hubungan *Modulus Of Rupture* dengan Persentase Serbuk Kaca.

Berdasarkan hasil penelitian didapat nilai *modulus of rupture* dengan kadar serbuk kaca sebesar 0%; 2%; 4%; 6%; dan 8% yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut adalah 2,42 MPa; 2,79 MPa; 3,04 MPa; 2,70 MPa; dan 2,60 MPa. Dari hasil perhitungan regresi pada grafik, nilai *modulus of rupture* optimum pada beton mutu tinggi metode ACI terjadi pada kadar serbuk kaca 4,2 % dengan nilai sebesar 2,928 MPa.

### Hasil Pengujian Ketahanan Kejut (*Impact*)

Tabel 8. Energi serapan saat benda mengalami retak pertama dan runtuh total

kadar serbuk kaca	rata-rata jumlah pukulan retak pertama	energi (J)	rata-rata jumlah pukulan runtuh total	energi (J)
0%	163.33	2884.14	181.67	3207.87
2%	188.67	3331.476	219.00	3867.102
4%	219.00	3867.102	248.67	4390.956
6%	184.33	3254.958	215.00	3796.47
8%	175.33	3096.036	199.33	3519.828



Gambar 5. Diagram Hubungan Energi Serapan Ketahanan Kejut (*Impact*) dengan Persentase Serbuk Kaca.

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

Kode Benda Uji	Energi (J)	Selisih Energi (J)	Selisih Energi (%)
BK 0%	2884.14	0	0
BK 2%	3331.48	447.34	13.43
BK 4%	3867.10	982.96	25.42
BK 6%	3254.96	370.82	11.39
BK 8%	3096.04	158.92	6.84

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

Kode Benda Uji	Energi (J)	Selisih Energi (J)	Selisih Energi (%)
BK 0%	3207.87	0	0
BK 2%	3867.102	659.23	17.05
BK 4%	4390.956	523.85	26.94
BK 6%	3796.47	594.49	15.50
BK 8%	3519.828	276.64	9.72

Dari hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan diperoleh energi serapan rata-rata saat benda mengalami retak pertama pada pengujian ketahanan kejut (*Impact*) adalah 2884,14 J pada benda uji dengan kadar serat 0%, dan jumlah energi serapan maksimal adalah sebesar 3867,102 J pada benda uji dengan kadar serbuk kaca 4% dengan selisih energi maksimal sebesar 25,42%, sedangkan jumlah energi serapan pada saat beton mengalami runtuh total



sebesar 3207,87 J pada benda uji dengan kadar serat 0%, dan jumlah energi serapan maksimum adalah 4390,956 J pada benda uji dengan kadar serbuk kaca 4%, dengan selisih energi maksimal sebesar 26,94%.

## **KESIMPULAN**

Dari hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

### a. Kuat Tekan

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa pada pemakaian serbuk kaca dengan kadar optimum penambahan sebagian semen dengan serbuk kaca ditinjau dari kuat tekannya adalah pada kadar serbuk kaca 4,39 % berdasarkan grafik fungsi polinomial dengan nilai kuat tekan sebesar 44,4587 MPa. Penggantian sebagian semen kadar serbuk kaca diatas 4,4 % mengalami penurunan karena kandungan serbuk kaca yang banyak sehingga bereaksi dengan alkali semen mengakibatkan terjadi ekspansi beton. Serat gakvanis juga mampu terekat kuat dengan adukan beton yang menyebabkan terbentuk suatu massa yang kompak dan padat sehingga dapat meningkatkan nilai kuat tekannya.

### b. *Modulus Of Rupture*

Berdasarkan hasil penelitian dan grafik fungsi polinomial diperoleh nilai optimum pada pemakaian serbuk kaca dengan kadar 4,2% dalam campuran beton mutu tinggi metode ACI berserat kawat galvanis ditinjau dari modulus of rupture sebesar 2,9275 MPa. Akan tetapi penambahan lebih dari nilai optimum kadar serbuk kaca memberikan pengaruh penurunan pada kekuatan beton.

### c. Ketahanan Kejut (*Impact*)

Dari hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan pada grafik fungsi polinomial di dapat kadar serbuk optimum sebesar 4,2% dengan energi saat retak pertama sebesar 3625,709 J. Sedangkan nilai optimum energi serapan pada saat beton mengalami runtuh total energi sebesar 4186,995 J.

## **UCAPAN TERIMAKASIH**

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

## **REFERENSI**

- Adi Saputra Hendri L. 2011. Studi Perilaku Susut dan Kuat Tekan Pada Beton dengan Metode ACI Laporan Penelitian, Program Teknik Sipil, Universitas Indonesia, Jakarta
- 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
- Anonim. 1918. Concrete and Material Agregates (including Manual of Agregates and Concreate Testing). Philadelphia: ASTM Philadelphia.
- Anonim. 1996. Fiber Reinforced Concrete. Michigan: ACI International Michigan.
- Edy Purwanto. 2011. Studi Kuat Lentur Beton Ringan Berserat Kawat Galvanis, Fakultas Teknik Universitas Lampung
- Gere, J.M., Timoshenko, S.P., 1996. Mekanika Bahan, Penerbit Erlangga. Jakarta
- Istimawan Dipohusodo. 1994. Struktur Beton Bertulang. Gramedia. Jakarta.
- Kardiyono Tjokrodimulyo. 1996. Teknologi Beton, Nafitri. Yogyakarta.
- Laily Fatmawati. 2011. Tinjauan Modulus of Rupture Beton Mutu Tinggi Berserat Baja Dengan Menggunakan filler Nanomaterial, Program Sarjana UNS, Surakarta
- Muhammad Rosyid.R. 2011. Kajian serapan dan penetrasi beton ringan metakaolin berserat alluminium pasca bakar. Progran S1 Teknik Sipil. Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- Murdock, L.J dan K.M Brook (Terjemahan : Stephanus Hendarko). 1999. Bahan dan Praktek Beton. Erlangga. Jakarta
- Setiawan Adi Subagio. 2010. Tinjauan kejut beton mutu tinggi dengan penambahan silica fume, fly ash dan serat baja, Program Sarjana UNS, Surakarta
- Wibowo. 2013. Pengaruh Penambahan Serbuk Kaca dan Water Reducing High Range Admixtures terhadap Kuat Desak dan Modulus Elastisitas pada Beton. Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta.