

PENGARUH PENGGANTIAN SEBAGIAN SEMEN DENGAN SERBUK KACA DAN PENAMBAHAN SERAT GALVANIS TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK BELAH, DAN MODULUS ELASTISITAS BETON MUTU TINGGI

Slamet Prayitno¹⁾, Endang Rismunarsi²⁾, Agus Irawan³⁾

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

³⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Program Studi teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524.

Email: agusirawan599@yahoo.com

Abstract

Due to the times, the building structure has developed very rapidly. Reinforced concrete structures is one of the very structure of power is now reliable and widely used in the construction of tall buildings, long-span bridges, towers and so forth. The structure thus requiring high strength concrete with compressive strength greater than 6,000 psi or 41.4 MPa which is used to support structural components. Thus, an improvement in the quality of concrete with steps add fiber to the fresh concrete, the chosen material added fiber galvanized wire, as the added material that aims to improve the compressive strength of concrete. The purpose of this study was to determine the effect of fiber galvanized wire and glass powder on the mechanical properties of concrete such as compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity. The method used is an experimental method that is carried out in the laboratory Material UNS. The test object is a cylinder with a diameter of 15 cm and 30 cm high for testing compressive strength, tensile strength and modulus of elasticity sides. Each test specimen consists of 3 pieces for 1 additional content variation glass powder. The percentage of glass powder used is 0%; 2%; 4%; 6%; and 8%. Tests using a CTM (Compression Testing Machine). Calculation used is the statistical analysis with a linear regression on the elastic limit of the concrete using the Microsoft Excel program.

The results of this research is to increase the compressive strength, split tensile strength, modulus of elasticity and high strength concrete after adding glass powder. Increasing the maximum levels of addition of fiber found in 4% of the weight of concrete. The compressive strength of concrete with the addition of fiber bendrat levels of 0%; 2%; 4%; 6%; and 8% is 38.8771 MPa; 43.2177 MPa; 45.2937 MPa; 42.2741 MPa; and 41.5192 MPa. Values for tensile strength of concrete sides with the addition of fiber bendrat levels of 0%; 2%; 4%; 6%; and 8% is 2.3119 MPa; 2.6893 MPa; 2.8309 MPa; 2.6421 MPa and 2.5478 MPa. Modulus of elasticity with the addition of fiber bendrat percentage of 0%; 2%; 4%; 6%; and 8% were 23661.01 MPa; 34361.96 MPa; 36534.84 MPa; 33308.98 and 32767.41 MPa MPa. The addition of the fiber content of 4% resulted in an increase in compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity, respectively for 16.50%; 22.45%; and 54.40% compared with the high quality concrete without fiber.

Keywords: High Quality Concrete, Fiber Wire Galvanized, Glass Powder, Compressive Strength, Split Tensile Strength, Modulus of elasticity

Abstrak

Disebabkan perkembangan zaman, struktur bangunan mengalami perkembangan yang sangat pesat. Struktur beton bertulang merupakan salah satu struktur yang sangat diandalkan kekuatannya saat ini dan banyak dimanfaatkan pada pembangunan gedung-gedung tinggi, jembatan dengan bentang panjang, tower dan sebagainya. Struktur demikian membutuhkan beton mutu tinggi dengan kuat tekan lebih besar dari 6000 Psi atau 41,4 MPa yang digunakan untuk menopang komponen struktur. Dengan demikian perlu adanya peningkatan mutu beton dengan langkah menambahkan serat pada beton segar, maka dipilihlah bahan tambah serat kawat galvanis, sebagai bahan tambah yang bertujuan meningkatkan kuat tekan beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan serat kawat galvanis dan *Serbuk kaca* terhadap sifat-sifat mekanik beton berupa kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. 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, kuat tarik belah dan modulus elastisitas. Benda uji masing-masing berjumlah 3 buah untuk 1 variasi kadar penambahan serbuk kaca. Persentase serbuk kaca yang digunakan adalah 0%; 2%; 4%; 6%; dan 8%. Pengujian menggunakan alat CTM (*Compression Testing Machine*). Perhitungan yang digunakan adalah analisis statistik dengan regresi linear pada batas elastis beton menggunakan program *Microsoft Excel*.

Hasil dari penelitian ini adalah peningkatan nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton mutu tinggi setelah ditambah serbuk kaca. Peningkatan paling maksimum terdapat pada kadar penambahan serat sebesar 4 % dari berat beton. Nilai kuat tekan beton dengan kadar penambahan serat bendrat sebesar 0%; 2%; 4%; 6%; dan 8% adalah 38,8771 MPa; 43,2177 MPa; 45,2937 MPa; 42,2741 MPa; dan 41,5192 MPa. Nilai kuat tarik belah beton dengan kadar penambahan serat bendrat sebesar 0%; 2%; 4%; 6%; dan 8% adalah 2,3119 MPa; 2,6893 MPa; 2,8309 MPa; 2,6421 Mpa dan 2,5478 MPa. Nilai modulus elastisitas dengan persentase penambahan serat bendrat sebesar 0%; 2%; 4%; 6%; dan 8% adalah 23661,01 MPa; 34361,96 MPa; 36534,84 MPa; 33308,98 MPa dan 32767,41 MPa. Penambahan kadar serat sebesar 4% menghasilkan peningkatan kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas berturut-turut sebesar 16,50%; 22,45%; dan 54,40% dibandingkan dengan beton mutu tinggi tanpa serat.

Kata kunci : Beton Mutu Tinggi, Serat Kawat Galvanis, *Serbuk Kawai*, Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Modulus

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 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 :

$$f_c = \frac{P}{A} \left(\frac{N}{mm^2} \right) \quad (1)$$

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)

Kuat Tarik Belah

Pengujian kuat tarik belah dan lentur beton dilaksanakan pada umur 28 hari. Alat yang digunakan adalah mesin Elle untuk pengujian kuat lentur dan mesin desak dengan kapasitas 2000 KN untuk pengujian kuat tarik belah. Kuat tarik beton berkisar seperdelapan belas kuat tekannya pada umur masih muda dan berkisar seperduapuluh pada umur sesudahnya. Nilai kuat tekan dan tarik bahan beton tidak berbanding lurus. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai bahwa nilai kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 9% - 15% dari kuat tekannya. Nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian berulang kali mencapai kekuatan 0.50 - 0.60 kali $\sqrt{f_c}$, sehingga untuk beton normal digunakan nilai 0,57 $\sqrt{f_c}$. Cara yang digunakan untuk mengukur kuat tarik beton adalah dengan pengujian kuat tarik belah sesuai SK SNI M-60-1990-03 (SNI 03-2492-1991). Spesimen

yang digunakan adalah silinder dan ditekan oleh dua plat paralel pada arah diameternya.

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$$

dengan pengertian :

f_{ct} = Kuat tarik-belah, dalam MPa

P = Beban uji maksimum (benda belah/hancur) dalam Newton (N) yang ditunjukkan mesin uji tekan

L = Panjang benda uji dalam mm

D = Diameter benda uji dalam mm

Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas atau modulus Young merupakan hubungan linier antara tegangan dan regangan untuk suatu batang yang mengalami tarik atau tekan. Semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi pada suatu tingkat pembebanan tertentu, atau dapat dikatakan material tersebut semakin kaku (*stiff*). Modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastis yang linier, diberikan oleh:

$$E = \sigma / \varepsilon \quad \text{atau} \quad E = \tan \alpha$$

Dimana

σ = tegangan aksial searah sumbu benda uji

ε = regangan aksial

α = sudut yang dibentuk oleh daerah elastis kurva tegangan-regangan

E = konstanta proporsionalitas yang dikenal dengan modulus elastisitas bahan tersebut.

Modulus elastisitas dapat juga dihitung berdasarkan nilai kuat tekan dan berat volume beton dengan menggunakan rumus empiris dari *ACI 318 M 1989* sebagai berikut:

$$E_c = W_c^{1.5} \cdot 0,043 \sqrt{f'_c}$$

Dengan:

E_c = Modulus elastisitas beton (MPa)

W_c = berat volume beton (kg/m^3)

f'_c = kuat tekan beton (MPa).

Modulus elastisitas ditentukan berdasarkan rekomendasi ASTM C-459, yaitu Modulus Chord. Adapun modulus elastisitas chord (E_C) dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris dari ASTM C-459 sebagai berikut:

- Modulus elastisitas chord (E_C)

$$E_C = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005}$$

Dimana :

S_2 = tegangan sebesar 0,4 f'_c

S_1 = tegangan yang bersesuaian dengan regangan arah longitudinal sebesar 0,00005

ε_2 = regangan longitudinal akibat tegangan S_2

Dengan rumus menghitung regangan (ε) yang terjadi adalah sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Dimana :

ΔL = penurunan arah longitudinal

L = tinggi beton relatif (jarak antara dua strain gauge) (mm).

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, kuat tarik belah dan Modulus elastisitas. 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*. 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 Kuat Tarik Belah

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

Tabel 3. Jumlah dan Kode Benda Uji Modulus Elastisitas

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

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
Kandungan zat organik	Kuning Muda	0 – 10 %	Memenuhi syarat
Kandungan lumpur	2 %	Maks 5%	Memenuhi syarat
<i>Bulk specific gravity</i>	2,44 gr/cm ³	-	-
<i>Bulk specific gravity SSD</i>	2,54 gr/cm ³	2,5 - 2,7	Memenuhi syarat
<i>Apparent spesific gravity</i>	2,71 gr/cm ³	-	-
<i>Absorbtion</i>	4,17 %	-	-
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

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Syarat (Standar)	Kesimpulan
Modulus Halus Butir	7,80	5 – 8	Memenuhi syarat
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,38	–	–
<i>Bulk Specific Gravity SSD</i>	2,53	–	–
<i>Apparent Specific Gravity</i>	2,78	–	–
<i>Absorbtion</i>	6,03 %	–	–
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 m³ yaitu :

- Pasir = 722,99 kg/m³
- Agregat Kasar = 969,68 kg/m³
- Semen = 409,17 kg/m³

d. Air = 122,75 liter/m³

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan

No	Kadar Serbuk (%)	Kode Benda Uji	No Benda Uji	A (mm ²)	Pmaks (N)	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	38,88
2	2	GT 2%	1	17662,50	800000	45,29
			2	17662,50	770000	43,60
			3	17662,50	720000	40,76
			Rerata		2290000	43,22
3	4	GT 4%	1	17662,50	810000	45,86
			2	17662,50	760000	43,03
			3	17662,50	830000	46,99
			Rerata		2400000	45,29
4	6	GT 6%	1	17662,50	730000	41,33
			2	17662,50	660000	37,37
			3	17662,50	850000	48,12
			Rerata		2240000	42,27
5	8	GT 8%	1	17662,50	740000	41,90
			2	17662,50	770000	43,60
			3	17662,50	690000	39,07
			Rerata		2200000	41,52



Gambar 1. Diagram Hubungan Kuat Tekan Beton dengan % 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 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 $x_3 = 0,0372$ atau dalam persen adalah 3,72% dengan nilai kuat tekan sebesar 45,2937 MPa.

Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

Tabel 7. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

No	Kadar Serbuk (%)	Kode Benda Uji	No Benda Uji	Ls (mm)	D (mm)	Pmaks (N)	ft (Mpa)
1	0	GTB 0%	1	300	150	160000	2,26
			2	300	150	170000	2,41
			3	300	150	160000	2,26
			Rerata				2,31
2	2,00	GTB 2%	1	300	150	160000	2,26
			2	300	150	210000	2,83
			3	300	150	200000	2,83
			Rerata				2,69
3	4,00	GTB 4%	1	300	150	200000	2,83
			2	300	150	200000	2,83
			3	300	150	200000	2,83
			Rerata				2,83
4	6,00	GTB 6%	1	300	150	160000	2,26
			2	300	150	200000	2,97
			3	300	150	200000	2,83
			Rerata				2,64
5	8,00	GTB 8%	1	300	150	180000	2,55
			2	300	150	180000	2,55
			3	300	150	180000	2,55
			Rerata				2,55



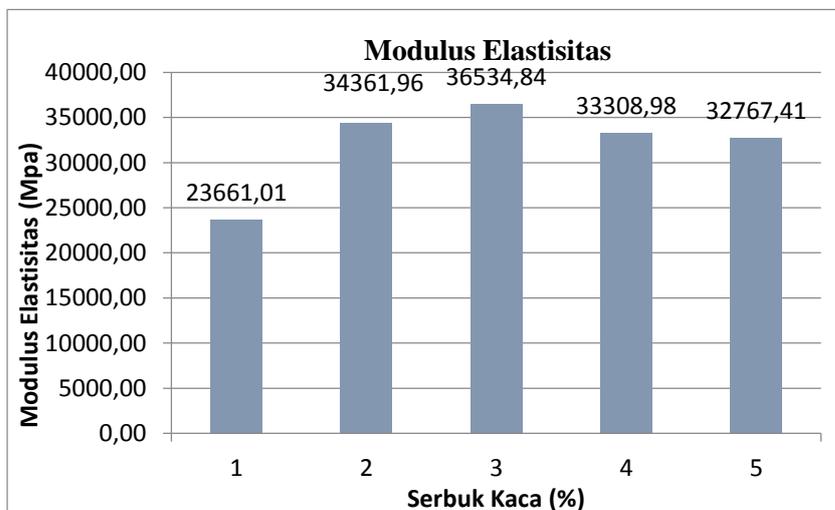
Gambar 2. Diagram Hubungan Kuat Tarik Belah dengan % Serbuk Kaca

Berdasarkan pengujian kuat tarik belah rata-rata pada beton mutu tinggi metode ACI tanpa serat sebesar 2,60 MPa, pada beton mutu tinggi metode ACI berserat kawat galvanis dengan persentase serbuk kaca 0 %; 2 %; 4 %; 6% dan 8 % sebesar 2,3119 MPa; 2,6893 MPa; 2,8309 MPa; 2,6421 Mpa dan 2,5478 MPa. Kuat tarik belah maksimum adalah pada beton mutu tinggi metode ACI dengan kadar penambahan serbuk kaca 4 %, menghasilkan kuat tarik belah sebesar 2,8309 MPa atau terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 22,45 % dibandingkan dengan beton mutu tinggi metode ACI tanpa serbuk kaca. Berdasarkan grafik fungsi polinomial, kadar serbuk kaca optimum terjadi pada kadar serbuk kaca 0,037332 atau dalam persen adalah 3,73 % dengan nilai sebesar 2,83435 Mpa.

Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Tabel 8. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

No.	Kadar Serbuk (%)	Kode Benda Uji	Ec Perhitungan (MPa)	Ec Rata-rata (MPa)
1	0,00	BS 0%	19070,11	23661,01
		BS 0%	19742,09	
		BS 0%	32170,84	
2	2,00	BS 2%	30703,21	34361,96
		BS 2%	16731,69	
		BS 2%	55650,97	
3	4,00	BS 4%	25827,14	36534,84
		BS 4%	26466,80	
		BS 4%	57310,57	
4	6,00	BS 6%	50017,02	33308,98
		BS 6%	26741,50	
		BS 6%	23168,41	
5	8,00	BS 8%	42681,65	32767,41
		BS 8%	25845,16	
		BS 8%	29775,41	



Gambar 3. Diagram Hubungan Modulus Elastisitas dengan % Serbuk Kaca

Berdasarkan hasil pengujian didapat nilai modulus elastisitas dengan kadar serbuk kaca sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8% yang diuji pada umur 28 hari adalah 23661,01 MPa; 34361,96 MPa; 36534,84 MPa; 33308,98 MPa dan 32767,41 MPa. Modulus elastisitas maksimum adalah pada beton mutu tinggi metode ACI dengan kadar penambahan serbuk kaca sebesar 4 %, menghasilkan modulus elastisitas sebesar 32767,41 MPa atau terjadi kenaikan sebesar 54,40 % dibandingkan dengan beton beton mutu tinggi metode ACI tanpa serbuk kaca. Berdasarkan grafik fungsi polinomial, kadar serbuk kaca optimum terjadi pada kadar serbuk kaca 3,54 % dengan nilai sebesar 36706,33 MPa. Besarnya nilai modulus elastisitas akan sebanding dengan kuat tekan yang dihasilkan, semakin besar nilai kuat tekannya maka nilai modulus elastisitas akan besar pula dan faktor-faktor yang mempengaruhi modulus elastisitas sama seperti halnya yang terjadi pada kuat tekannya.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

- Kuat Tekan

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

b. Kuat Tarik Belah

Berdasarkan pengujian kuat tarik belah rata-rata pada beton mutu tinggi metode ACI berserat kawat galvanis dengan serbuk kaca tanpa serat sebesar 2,60 MPa, pada beton mutu tinggi metode ACI berserat kawat galvanis dengan bahan tambah serbuk kaca dengan persentase serbuk kaca 0 %; 2 %; 4 %; 6% dan 8 % sebesar 2,3119 MPa; 2,6893 MPa; 2,8309 MPa; 2,6421 Mpa; dan 2,5478 MPa . Kuat tarik belah maksimum adalah pada beton mutu tinggi metode ACI dengan kadar penambahan serbuk kaca sebesar 4%, menghasilkan kuat tarik belah sebesar 2,8309 MPa atau terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 22,45 % dibandingkan dengan beton mutu tinggi metode ACI tanpa serbuk kaca. Berdasarkan grafik fungsi polinomial, kadar serbuk kaca optimum terjadi pada kadar serbuk kaca 3,73 % dengan nilai sebesar 2,83435 MPa.

c. Modulus Elastisitas

Berdasarkan hasil pengujian didapat nilai modulus elastisitas dengan kadar serbuk kaca sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8% yang diuji pada umur 28 hari adalah 23661,01 MPa; 34361,96 MPa; 36534,84 MPa; 33308,98 MPa dan 32767,41 MPa. Modulus elastisitas maksimum adalah pada beton mutu tinggi metode ACI dengan kadar penambahan serbuk kaca sebesar 4 %, menghasilkan modulus elastisitas sebesar 32767,41 MPa atau terjadi kenaikan sebesar 54,40 % dibandingkan dengan beton beton mutu tinggi metode ACI tanpa serbuk kaca. Berdasarkan grafik fungsi polinomial, kadar serbuk kaca optimum terjadi pada kadar serbuk kaca 3,54 % dengan nilai sebesar 36706,33 MPa. Besarnya nilai modulus elastisitas akan sebanding dengan kuat tekan yang dihasilkan, semakin besar nilai kuat tekannya maka nilai modulus elastisitas akan besar pula dan faktor-faktor yang mempengaruhi modulus elastisitas sama seperti halnya yang terjadi pada kuat tekannya. Pada penambahan kadar serat diatas 1% terjadi penurunan nilai modulus elastisitas, diakibatkan jumlah serat yang terlalu banyak sehingga mempengaruhi *workability* adukan beton dan penyebaran serat yang kurang merata.

UCAPAN TERIMAKASIH

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

REFERENSI

- ACI Committe 544. 1982. *State of The Art Report on Fiber Reinforced Concrete*. ACI 544 IR-82. Farmington Hills : American Concrete Institute.
- American Concrete Institute. ACI 301-729, *Specification for Structural Concrete Requirements*.
- Ananta Ariatama. 2005. *Pengaruh Pemakaian Serat Kawat Berkait pada Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Optimasi Diameter Serat*. Universitas Diponegoro : Semarang.
- Arikunto S. 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik, Ed Revisi VI*. Jakarta: Penerbit PT Rineka Cipta.
- Istimawan Dipohusodo. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Joseph A. Dobrowolski. 1998. *Concrete Construction*. New York : Mc Graw-Hill.
- Kardiyo Tjokrodinuljo. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Jurusan Teknik Sipil FT. UGM.
- Mario Ota Hamonangan Manik. 2014. *Tinjauan Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Mutu Tinggi Metode ACI yang Berserat Bendrat dengan Fly Ash dan Bahan Tambah Besmittel*. Universitas Sebelas Maret : Surakarta.
- Neno Hanafiah. 2011. *Pengaruh Penambahan Bubuk Kaca Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Semen dengan Variasi 2%, 4%, 6% dan 8% terhadap Kuat Tekan dan Nilai Slump*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta : Yogyakarta.
- SK SNI T-15-1990-03. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Bandung : Yayasan LPMB.
- Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 03-6468-2000 Pd T-18-1999-03. 2010. *Tata Cara Perencanaan Campuran Beton Berkekuatan Tinggi dengan Semen Portland dan Abu Terbang*. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- Suhendro. 1991. "Pengaruh Pemakaian Kawat Lokal Pada Sifat Beton". Laporan Penelitian. Yogyakarta : Lembaga Penelitian UGM.