

PENGARUH SERBUK KACA TERHADAP KUAT TEKAN, PERMEABILITAS AIR, DAN PENETRASI AIR BETON MUTU TINGGI BERSERAT GALVANIS

Slamet Prayitno¹⁾, Sunarmasto²⁾, Doddy Setyadi³⁾

^{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: doddy.stydy@gmail.com

Abstract

Concrete is a very important element and most dominant as material in the structure of building. Much effort done to gain concrete with higher quality than conventional concrete. Some efforts to done such as make fibrous concrete and give material added on a mixture of concrete. The purpose of this research is to know The Influence of Glass Powder To Compressive Strength, Water Permeability, And Water Penetration Of Fibrous Galvanized High Quality Concrete. This research using experimental method. Composition of mixture use weight ratio 1: 1.77: 2.37, with fas of 0.3 and maximum aggregate size of 1.25 cm. Variation in percentage addition of glass powder as much as 0%, 2%, 4%, 6%, and 8% and 1% galvanized fiber of weight mixture. The test object is a cylindrical with 15 cm in diameter and height 30 cm for compressive strength testing, cylindrical with diameter 7.5 cm and height 15 cm for permeability and penetration testing. Tests performed at 28 days of object test. The results of the research showed that compressive strength of concrete reaches the maximum value in the addition of glass powder 4.40% with increase of 14.36%, permeability of concrete reaches the minimum value in the addition of glass powder 4.29% with decrease of 18.31%, penetration of concrete reaches the minimum value in the addition of glass powder 4.22% with decrease of 10.64 with the addition of glass powder is compared to 0%.

Keywords: High Quality Concrete, Compressive Strength, Penetration, Permeability, Galvanized Fiber, Glass Powder.

Abstrak

Beton merupakan unsur yang sangat penting dan paling dominan sebagai material pada struktur bangunan. Banyak usaha dilakukan untuk mendapatkan beton dengan kualitas yang lebih tinggi dari beton konvensional biasa. Beberapa upaya yang dapat dilakukan seperti membuat beton berserat dan memberi bahan tambah pada campuran beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh serbuk kaca terhadap kuat tekan, permeabilitas air, dan penetrasi air beton mutu tinggi berserat galvanis. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Komposisi campuran menggunakan perbandingan berat 1:1,77:2,37, dengan fas sebesar 0,3 dan ukuran agregat maksimum 1,25 cm. Variasi persentase penggantian semen dengan serbuk kaca sebanyak 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% serta 1% serat galvanis terhadap berat campuran. Benda uji berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan, silinder berdiameter 7,5 cm dan tinggi 15 cm untuk pengujian permeabilitas dan penetrasi. Pengujian dilakukan pada umur benda uji 28 hari. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kuat tekan beton mencapai nilai maksimum pada penambahan serbuk kaca 4,39% dengan kenaikan sebesar 14,36%, permeabilitas beton mencapai nilai minimum pada penambahan serbuk kaca 4,29% dengan penurunan sebesar 18,31%, penetrasi beton mencapai nilai minimum pada penambahan serbuk kaca 4,22% dengan penurunan sebesar 10,64% dibandingkan dengan penambahan serbuk kaca 0%.

Kata kunci : Beton Mutu Tinggi, Kuat Tekan, Penetrasi, Permeabilitas, Serat Galvanis, Serbuk Kaca.

PENDAHULUAN

Beton merupakan unsur yang sangat penting dan paling dominan sebagai material pada struktur bangunan. Beton menjadi opsi yang sangat diminati karena harganya relatif murah bila dibandingkan dengan bahan lain seperti kayu dan baja. Banyak penelitian, pengujian, serta usaha dilakukan untuk mendapatkan beton dengan kualitas dan mutu tinggi, serta memiliki sifat-sifat yang lebih baik dari beton konvensional biasa. Salah satu penelitian yaitu beton berserat seperti yang telah dilakukan oleh Suhendro (1991) dengan menggunakan bahan lokal yang mudah didapat dan harga yang relatif murah yaitu berupa kawat bendrat. Penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan serat galvanis sebagai bahan fiber untuk campuran beton karena serat ini juga merupakan bahan lokal yang mudah didapat dengan harga yang terjangkau. Selain serat, penelitian ini juga memanfaatkan limbah kaca sebagai bahan tambah untuk campuran beton. Pemanfaatan limbah kaca untuk digunakan kembali merupakan salah satu solusi penanganan limbah. Bubuk kaca mempunyai kandungan SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ dan CaO yang berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti semen dan diharapkan menambah kuat desak beton karena butirannya yang sangat kecil dan mampu mengisi lubang pori pada beton (Hanafiah, 2011).

TINJAUAN PUSTAKA

Beton

Beton diperoleh dengan cara mencampurkan semen, air, dan agregat dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*) tertentu dan dicampur merata dengan komposisi tertentu yang dapat dibentuk sesuai keinginan. Campuran tersebut bila dibiarkan akan mengalami pengerasan sebagai akibat reaksi kimia antara semen dan air yang akan bertambah keras sejalan dengan umurnya. (Istimawan Dipohusodo, 1994).

Beton Mutu Tinggi

Beton mutu tinggi merupakan beton yang mempunyai sifat khusus yang berbeda dengan beton biasa, seperti tingkat susut (*shrinkage*) rendah, permeabilitas rendah modulus elastisitas tinggi dan kuat tekan tinggi. Beton mutu tinggi umumnya memiliki faktor air semen (fas) yang rendah dengan rentang 0,2-0,45. Beton mutu tinggi yang tercantum dalam SNI 03-6468-2000 didefinisikan sebagai beton yang mempunyai kuat tekan yang disyaratkan lebih besar sama dengan 41,4 MPa.

Beton Serat

Beton serat didefinisikan sebagai suatu konstruksi yang tersusun dari bahan semen, agregat halus dan kasar serta sejumlah kecil serat. Prinsip penambahan serat adalah memberi tulangan pada beton yang disebar merata kedalam adukan beton secara acak untuk mencegah terjadinya retakan-retakan beton yang terlalu dini di daerah tarik akibat panas hidrasi maupun akibat pembebanan (Soroushian dan Bayasi, 1987).

Serbuk Kaca

Serbuk kaca didapat dari limbah kaca sebagai alternatif pengurangan limbah dan memiliki kandungan SiO₂ diatas 60%, yang dapat meningkatkan kuat desak beton sehingga dapat berpengaruh baik terhadap struktural bangunan. Bubuk kaca mempunyai kandungan SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ dan CaO yang berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti semen dan diharapkan menambah kuat desak beton karena butirannya yang sangat kecil dan mampu mengisi lubang pori pada beton (Hanafiah, 2011).

Kawat Galvanis

Beberapa macam serat dapat dipakai untuk memperbaiki sifat-sifat beton yang telah dilaporkan oleh ACI Committee 54 (1902) dan Soroushian & Bayasi (1987). Ananta Ariatama (2005) menunjukkan bahwa dengan penggunaan kawat galvanis sebagai bahan fiber untuk campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan beton sebesar 14,67 % dari beton normal. Nilai kuat tekan optimal ini didapat pada beton serat dengan diameter serat 0,9 mm dan panjang 67,5 (l/d = 75).

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 pekerja beton. Cara ACI melihat bahwa dengan ukuran agregat tertentu, jumlah air perkubik akan menentukan tingkat konsistensi dari campuran beton yang pada akhirnya akan mempengaruhi pelaksanaan pekerjaan (*workability*).

Kuat Tekan

Kuat tekan merupakan kemampuan dari beton untuk dapat menerima gaya tekan persatuan luas. Pengujian kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan dari beton yang diinginkan hasilnya sesuai dengan yang sudah direncanakan. Pengujian nilai kuat tekan benda uji silinder berpedoman pada standart ASTM C 39-86 'Standart Test Method for Compressive Strenght of Cylindrical Concrete Specimens'.

$$f_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots [1]$$

keterangan :

f_c : Kuat tekan beton benda uji silinder (MPa)

P : Beban desak maksimum (N)

A : Luas permukaan benda uji silinder (mm²)

Permeabilitas dan Penetrasi

Nilai penetrasi pada beton ditentukan oleh besarnya nilai permeabilitas beton. Permeabilitas adalah sifat dapat dilewati/dimasuki zat atau gas. Jadi permeabilitas adalah kemudahan cairan atau gas untuk melewati beton. Beton yang baik adalah yang relatif tidak bisa dilewati oleh zat/gas, atau dengan kata lain mempunyai permeabilitas yang rendah. Semakin baik mutu beton maka permeabilitasnya semakin rendah yang mana penetrasi dari unsur-unsur

penyebab korosi juga semakin berkurang. Permeabilitas beton dapat diekspresikan sebagai koefisien permeabilitas (K), yang dievaluasi berdasarkan hukum Darcy sebagai berikut:

$$V = A' (h) \dots\dots\dots[2]$$

$$Q = \dots\dots\dots[3]$$

Dengan kombinasi dan integrasi persamaan [2] dan [3] didapat:

$$k = \dots\dots\dots[4]$$

Keterangan:

V : Volume total yang diserap sampel (m³)

A' : Luas penampang pipa (m²)

h : Tinggi air dalam pipa (m)

Q : Kecepatan aliran air (m³/dt)

A : Luas penampang sampel (m)

l : Ketebalan penetrasi air (m)

k : Koefisien permeabilitas air (m)

ho : Tinggi air mula-mula (m)

hi : Tinggi air akhir (m)

t : Waktu pengaliran (detik)

Keausan Beton (*Abrasion*)

Keausan beton di definisikan sebagai kemampuan beton khususnya bagian permukaan untuk menahan gaya atau beban yang melewatinya yang berupa gesekan maupun aliran. Keausan terjadi bila partikel-partikel bahan meluncur dengan tekanan melintang permukaan, atau permukaan bahan keras menggosok melintasi permukaan bahan lain. Ketahanan keausan yang terkena gosokan tergantung pada kekerasan bahan. Untuk menentukan keausan beton, maka dicari persentase kehilangan berat rata-ratanya yaitu dengan mencari selisih berat awal benda uji (Wawal) dengan berat akhirnya (Wakhir) setelah dilakukan pengujian dengan putaran tertentu, kemudian membaginya dengan berat awal dan dikalikan 100%, sehingga dapat dirumuskan:

$$N = \dots\dots\dots[5]$$

Keterangan:

N = Kehilangan berat yang merupakan koefisien keausan

Wawal = Berat awal sebelum benda uji diuji

Wakhir = Berat akhir setelah dilakukan pengujian.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Fakultas Teknik Universitas Negeri Sebelas Maret. Tahap awal, dilakukan pengujian terhadap bahan-bahan yang akan digunakan untuk membuat benda uji beton mutu tinggi metode *American Concrete Institute (ACI)*. Setelah pengujian bahan yang dilakukan memenuhi standar persyaratan, maka dilanjutkan dengan membuat benda uji. Benda uji yang telah dibuat nantinya akan diuji terhadap kuat desak, permeabilitas air, dan penetrasi air. Pengujian kuat tekan menggunakan silinder 15 cm x 30 cm, pengujian permeabilitas dan penetrasi menggunakan silinder 7,5 cm x 15 cm dengan variasi persentase serbuk kaca 0%; 2%; 4%; 6%; dan 8% berjumlah 3 buah per persentase.

Tabel 1. Jumlah dan Kode Benda Uji Kuat Tekan, Permeabilitas Air dan Penetrasi Air

No	Kadar Serbuk Kaca	Kode Benda Uji		Jumlah Benda Uji
		Kuat Tekan	Permeabilitas dan Penetrasi	
1	0%	GT-0	GP-0	3
2	2%	GT-2	GP-2	3
3	4%	GT-4	GP-4	3
4	6%	GT-6	GP-6	3
5	8%	GT-8	GP-8	3

Pengujian dilakukan setelah beton mencapai umur 28 hari dengan menggunakan alat uji tekan, permeabilitas air, dan penetrasi air yang ada di laboratorium. Data yang diperoleh dari hasil pengujian dianalisa menggunakan

analisis regresi pada program Microsoft Excel. Data hasil pengujian tersebut nantinya dapat diambil kesimpulan seberapa besar pengaruh penggantian sebagian semen dengan serbuk kaca dan penambahan serat kawat galvanis pada beton mutu tinggi terhadap kuat tekan, permeabilitas air, dan penetrasi air beton mutu tinggi dengan metode *American Concrete Institute* (ACI).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	Kandungan zat organik	Kuning Muda	0 - 10%	Memenuhi syarat
2	Kandungan lumpur	2 %	Maks 5 %	Memenuhi syarat
3	<i>Bulk specific gravity</i>	2,44 gr/cm ³	-	-
4	<i>Bulk specific SSD</i>	2,54 gr/cm ³	2,5-2,7	Memenuhi syarat
5	<i>Apparent specific gravity</i>	2,71 gr/cm ³	-	-
6	<i>Absorbtion</i>	4,17 %	-	-
7	Modulus Halus	2,42	2,3-3,1	Memenuhi syarat

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

Tabel 3. 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 Hitungan Rancang Campur Adukan Beton Metode *American Concrete Institute* (ACI)

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

- a. Pasir = 722,99 kg
- b. Agregat Kasar = 969,68 kg
- c. Semen = 409,17 kg
- d. Air = 122,75 liter

Kebutuhan bahan untuk tiap benda uji silinder yaitu :

- a. Pasir = 3,8329 kg
- b. Agregat Kasar = 5,1407 kg
- c. Semen = 2,1692 kg
- d. Air = 0,6507 kg
- e. Kawat Galvanis 1% = 0,1179 gram

Kebutuhan bahan untuk tiap benda uji balok yaitu :

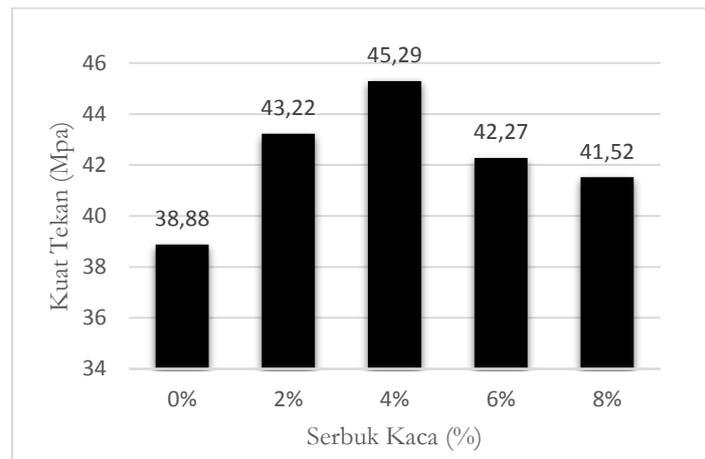
- a. Pasir = 6,9407 kg
- b. Agregat Kasar = 9,3089 kg
- c. Semen = 3,9280 kg
- d. Air = 1,1784 kg
- e. Kawat Galvanis 1% = 0,2135 gram

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Tabel 4. Hasil Pengujian Kuat Tekan

No	Kadar Serbuk Kaca	Kode Benda Uji	No Benda Uji	A (mm ²)	Pmaks (kN)	f'c (MPa)
1	0 %	GT	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	1	17662,50	800000	45,29
			2	17662,50	770000	43,60

		2 %		3	17662,50	720000	40,76
			Rerata			2290000	43,22
				1	17662,50	810000	45,86
3	4 %	GT		2	17662,50	760000	43,03
		4 %		3	17662,50	830000	46,99
			Rerata			2400000	45,29
				1	17662,50	730000	41,33
4	6 %	GT		2	17662,50	660000	37,37
		6 %		3	17662,50	850000	48,12
			Rerata			2240000	42,27
				1	17662,50	740000	41,90
5	8 %	GT		2	17662,50	770000	43,60
		8 %		3	17662,50	690000	39,07
			Rerata			2200000	41,52



Gambar 1. Diagram Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Persentase Serbuk Kaca

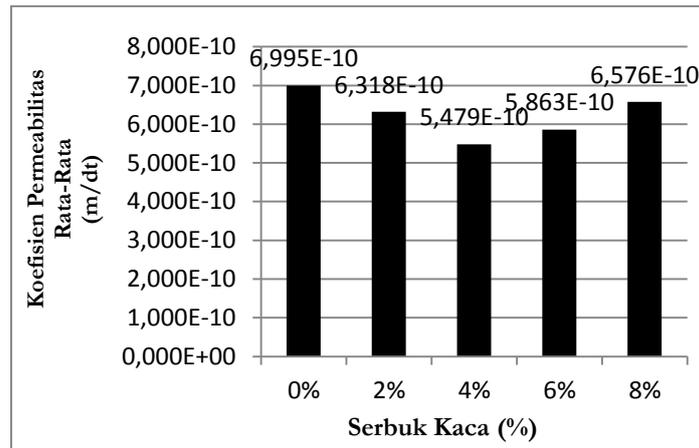
Berdasarkan hasil penelitian dan hitungan, didapat kuat tekan dengan variasi persentase serbuk kaca sebesar 0%; 2%; 4%; 6%; dan 8% yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut adalah 38,877 MPa; 43,218 MPa; 45,294 MPa; 42,274 MPa; dan 41,519 MPa. Kuat tekan maksimum yang terjadi pada penelitian ini yaitu dengan persentase serbuk kaca 4% dan menghasilkan kuat tekan sebesar 45,294 MPa. Terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 16,50% dibandingkan dengan beton mutu tinggi metode ACI tanpa campuran serbuk kaca dan serat galvanis. Berdasarkan grafik fungsi polinomial, persentase serbuk kaca optimum terjadi pada $x = 0,0439$ atau dalam persen adalah 4,39% dengan nilai kuat tekan sebesar 44,459 MPa.

Hasil Pengujian Permeabilitas

Tabel 5. Hasil Hitungan Permeabilitas

Persen Serbuk Kaca (%)	Kode Benda Uji	Kedalaman Penetrasi (m)	h_0 (m)	h_i (m)	t (dt)	D' (m)	A' (m)	D (m)	A (m)	Koefisien Permeabilitas (m/detik)	Koefisien Permeabilitas Rata-rata (m/dt)
0	GP-0	0,020	0,7	0,686	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,0044179	9,777E-10	6,995E-10
		0,016	0,7	0,69	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,0044179	5,571E-10	
		0,018	0,7	0,691	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,0044179	5,636E-10	
2	GP-2	0,014	0,7	0,691	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,0044179	4,384E-10	6,318E-10
		0,016	0,7	0,687	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,0044179	7,258E-10	
		0,021	0,7	0,69	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,0044179	7,312E-10	
4	GP-4	0,016	0,7	0,692	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,0044179	4,450E-10	5,479E-10
		0,014	0,7	0,69	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,0044179	4,874E-10	
		0,017	0,7	0,688	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,0044179	7,113E-10	
6	GP-6	0,019	0,7	0,688	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,0044179	7,950E-10	5,863E-10
		0,020	0,7	0,69	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,0044179	6,963E-10	
		0,011	0,7	0,693	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,0044179	2,675E-10	
8	GP-8	0,017	0,7	0,693	3600	0,007	0,0000385	0,075	0,0044179	4,134E-10	6,576E-10

0,019 0,7 0,689 3600 0,007 0,0000385 0,075 0,0044179 7,282E-10
 0,017 0,7 0,686 3600 0,007 0,0000385 0,075 0,0044179 8,311E-10

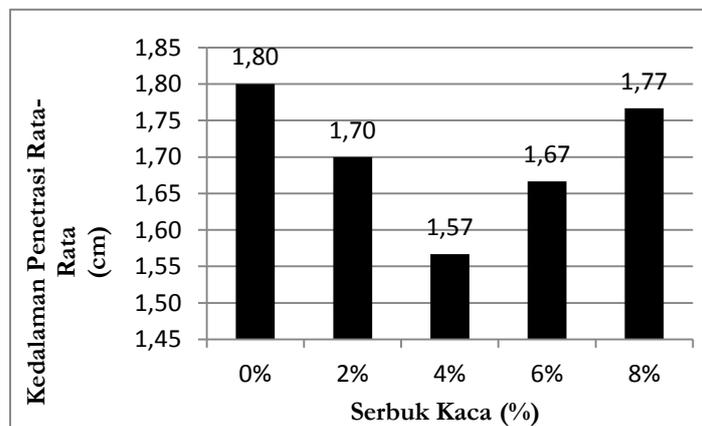


Gambar 2. Diagram Hubungan antara Koefisien Permeabilitas Rata-Rata dengan Persentase Serbuk Kaca Hasil Uji Laboratorium

Hasil Pengujian Penetrasi

Tabel 6. Hasil Hitungan Penetrasi

Persentase Serbuk Kaca (%)	Kode Benda Uji	Air Dalam Selang awal (cm)	Selang akhir (cm)	Penurunan Setelah 1 Jam (cm)	Kedalaman Penetrasi (cm)	Kedalaman Penetrasi Rata-Rata (cm)
0	GP-0	70	68,60	1,40	2,00	1,80
		70	69,00	1,00	1,60	
		70	69,10	0,90	1,80	
2	GP-2	70	69,10	0,90	1,40	1,70
		70	68,70	1,30	1,60	
		70	69,00	1,00	2,10	
4	GP-4	70	69,20	0,80	1,60	1,57
		70	69,00	1,00	1,40	
		70	68,80	1,20	1,70	
6	GP-6	70	68,80	1,20	1,90	1,67
		70	69,00	1,00	2,00	
		70	69,30	0,70	1,10	
8	GP-8	70	69,30	0,70	1,70	1,77
		70	68,90	1,10	1,90	
		70	68,60	1,40	1,70	



Gambar 3. Diagram Hubungan antara Kedalaman Penetrasi Rata-Rata dengan

Persentase Serat Hasil Uji Laboratorium

SIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

a. Kuat Tekan

Berdasarkan hasil penelitian didapat kuat tekan maksimum pada beton mutu tinggi metode *American Concrete Institute* (ACI) terjadi pada variasi serbuk kaca 4,39 % dengan nilai sebesar 44,46 MPa. Terjadi kenaikan sebesar 14,36% pada kuat tekan maksimum benda uji dengan persentase serbuk kaca 4,39% dibandingkan dengan beton mutu tinggi metode *American Concrete Institute* (ACI) tanpa serat dan tanpa penambahan serbuk kaca. Peningkatan kuat tekan dapat terjadi karena adanya serat galvanis yang menyebar secara acak dimana serat seolah-olah berfungsi sebagai tulangan. Serbuk kaca juga berkontribusi dalam peningkatan kuat tekan beton. Serbuk kaca yang ditambahkan mengandung senyawa yang bersifat *pozzolan* sehingga berpotensi untuk terjadinya reaksi *pozzolanic*, yaitu reaksi silika yang membentuk zat pengikat. Serbuk kaca juga dapat berfungsi sebagai *filler* sehingga menjadikan adukan beton semakin padat.

b. Permeabilitas

Berdasarkan hasil penelitian didapat koefisien permeabilitas minimum pada beton mutu tinggi metode *American Concrete Institute* (ACI) terjadi pada variasi serbuk kaca 4,29% dengan nilai sebesar $5,71 \times 10^{-10}$ m/detik. Terjadi penurunan koefisien permeabilitas sebesar 18,31% pada koefisien permeabilitas minimum benda uji penambahan serbuk kaca 4,29% dibandingkan dengan beton mutu tinggi metode *American Concrete Institute* (ACI) tanpa serat dan tanpa penambahan serbuk kaca, tetapi dalam penelitian ini semua sampel tidak memenuhi standar ACI 301-729 (maksimal $1,5 \times 10^{-11}$ m/det).

c. Penetrasi

Berdasarkan hasil penelitian didapat koefisien penetrasi minimum pada beton mutu tinggi metode *American Concrete Institute* (ACI) terjadi pada variasi serbuk kaca 4,22% dengan nilai sebesar 1,608 cm. Terjadi perubahan nilai penetrasi sebesar 10,64% pada penetrasi minimum benda uji penambahan serbuk kaca 4,22 % dibandingkan dengan beton mutu tinggi metode *American Concrete Institute* (ACI) tanpa serat dan tanpa serbuk kaca. Dalam penelitian ini semua sampel memenuhi standar SK SNI S-36-1990-03, yaitu dengan kedalaman penetrasi ≤ 30 mm untuk syarat agresif sedang dan ≤ 50 mm untuk syarat agresif kuat.

UCAPAN TERIMAKASIH

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

REFERENSI

- ACI Committee 544. 1982. State of The Art Report on Fiber Reinforced Concrete. ACI 544 IR-82. American Concrete Institute. Farmington Hills.
- American Concrete Institute. ACI 301-729, Specification for Structural Concrete Requirements. Farmington Hills.
- Ananta Ariatama. 2005. Pengaruh Pemakaian Serat Kawat Berkait Pada Kekuatan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan Optimasai Diameter Serat. Fakultas Teknik. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Arikunto S. 2006. Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik, Ed Revisi VI. Penerbit PT Rineka Cipta. Jakarta.
- Istimawan Dipohusodo. 1994. Struktur Beton Bertulang. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Joseph A. Dobrowolski. 1998. Concrete Construction. McGraw-Hill. New York.
- Kardiyono Tjokrodinuljo. 1996. Teknologi Beton. Jurusan Teknik Sipil FT. UGM. Yogyakarta
- 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. Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Neville, A. 1998. A New Look At High Aluminat Cement. Concrete International.
- Neville, A.M., Brooks, J.J. 1987. Concrete Technology. Longman Group. London.
- Putra, Dharma, 2006, Penambahan Abu Sekam Pada Beton Dalam Mengantisipasi Kerusakan Akibat Magnesium Sulfat Pada Air Laut. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol 10. Jakarta.
- Soroushian, P., and Bayasi, Z. 1987. Concept Of Fiber Reinforced Concrete. Proceeding Of The International Seminar On Fiber Reinforced Concrete. Michigan State University. USA.
- SK SNI T-15-1990-03. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Yayasan LPMB. Bandung.

- 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. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Suhendro. 1991. "Pengaruh Pemakaian Kawat Lokal Pada Sifat-Sifat Beton", Laporan Penelitian. Lembaga Penelitian UGM. Yogyakarta.