

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT TEMBAGA PADA BETON MUTU TINGGI METODE DREUX TERHADAP KUAT TEKAN, KUAT TARIK BELAH DAN MODULUS ELASTISITAS

¹⁾Rahmat Budiyo, ²⁾Slamet Prayitno, ³⁾Endang Rismunarsi,

¹⁾Mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta

^{2), 3)}Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret Surakarta, Jln Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126

Telp: 0271-634524. Email : rah_dyan@yahoo.com

Abstract

Due to the times, the development of building structure has very rapid. Reinforced concrete structure is one that is very reliable structure strength today and widely used in the construction of high rise buildings, bridge with a length, and towers etc. This structure requires a high strength concrete with compressive strength more than 6000 Psi or 41,4 MPa. The solution to improve this concrete's strength is by adding fiber to concrete, then select the additional material copper fiber derived from wasted electrical materials wiring which is copper fiber that come from recycled useless materials to increase the compressive strength of concrete. The purpose of this study is to determine the effect of copper fiber addition to the concrete's mechanical properties, such as compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity. The method used was experimental observations and theoretical analysis then performed to support the conclusion eventually. The specimen is in form of cylinder with diameter of 15 cm and height of 30 cm for testing the compressive strength, split tensile strength and modulus of elasticity. This experiment using CTM (Compression Testing Machine) tool. The result of the research is the increase of the value of foam lightweight concrete's compressive strength, split tensile strength, and modulus of elasticity on the copper fiber addition rate of 1% from the concrete's volume weight. Fiber additional rate of 1% resulting the increase of compressive strength, split tensile strength, and the modulus of elasticity consecutively 11,56%; 49,37%; and 17,15% compared to the high strength concrete which has no fiber.

Keywords: High Strength, Copper fiber, 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 tembaga yang berasal dari bahan limbah kabel listrik atau daur ulang yang tidak bermanfaat, untuk dimanfaatkan kembali sebagai bahan tambah yang bertujuan meningkatkan kuat tekan beton. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan serat tembaga terhadap sifat-sifat mekanik beton berupa kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Metode yang digunakan adalah pengamatan secara eksperimental dan kemudian dilakukan analisis secara teoritis untuk mendukung kesimpulan akhirnya. Benda uji berupa silinder 15cmx30cm untuk pengujian kuat tekan, kuat tarik belah dan modulus elastisitas. Alat yang digunakan untuk pengujian adalah CTM (Compression Testing Machine). Hasil dari penelitian ini adalah peningkatan nilai kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas beton mutu tinggi setelah ditambah serat tembaga pada kadar 1% dari berat volume. Penambahan kadar serat sebesar 1% menghasilkan peningkatan kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas berturut-turut sebesar 11,56%; 49,37%; dan 17,15% dibandingkan dengan beton mutu tinggi tanpa serat.

Kata kunci : Beton Mutu Tinggi, Serat Tembaga, Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Modulus Elastisitas

PENDAHULUAN

Struktur beton bertulang merupakan salah satu struktur yang sangat diandalkan kekuatannya saat ini, banyak dimanfaatkan sebagai kerangka portal, balok kolom, struktur plat lantai, plat pondasi dinding geser, talud penahan tanah untuk pembangunan dan sebagainya. Beton mutu tinggi metode Dreux berserat tembaga bahan betonnya mudah didapat di Pulau Jawa. Karena Pulau Jawa banyak didapat gunung vulkanik, sedangkan serat tembaga dapat dibeli dalam bentuk kawat tembaga atau kabel listrik daur ulang dari tembaga. Beton mutu tinggi metode Dreux berserat tembaga bisa dibuat rancang campuran $f_c = 60$ MPa; menjadi kira-kira $f_c = 50$ MPa. Beton mutu tinggi menurut Debrowski (1998) kuat tekan mutu tinggi lebih besar dari 41,4 MPa. Dengan demikian beton mutu tinggi metode Dreux berserat tembaga diharapkan kuat tekannya menjadi bertambah. Kekuatan tekan pada beton konvensional hanya 17,5 Mpa. Sedangkan beton mutu tinggi metode Dreux berserat tembaga dapat direncanakan kuat tekannya $f_c > 41,4$ MPa.

TINJAUAN PUSTAKA

Beton Metode Dreux

Dreux (1979) dalam penelitiannya telah memberikan rumus :

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

Dengan ketentuan σ_{28} , kekuatan tekan rata-rata beton pada umur 28 hari yang didasarkan atas benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Jika menggunakan kubus, maka silinder (15 cm x 15 cm) = 0,83. σ_{kubus} (15 cm x 15 cm x 15 cm). G adalah faktor granular, yang menunjukkan besar volume yang diisi oleh bahan butiran, σ_c adalah kekuatan semen berdasarkan data yang diperoleh dari pabrik semen yang dipakai maupun informasi dari lembaga penelitian bahan. C adalah berat semen perkubikasi beton dan E adalah berat air perkubikasi beton. Menurut Dreux (1979), besarnya faktor granular G pada rumus (2.1), diatas sangat dipengaruhi oleh kualitas butiran dan besarnya diameter maksimum agregat kasar yang digunakan pada perancangan campuran beton. Permukaan agregat yang kasar akan mempengaruhi kekuatan beton dan lebih kuat bila dibandingkan agregat yang permukaannya halus.

Beton Serat

Menurut ACI Comitee 544 (1984) beton bertulang serat, fiber reinforced concrete, adalah bahan komposit yang dibuat dari bahan semen hidrolis, agregat halus atau campuran agregat kasar ditambah dengan sejumlah serat yang disebarkan secara acak. Hasil dari percobaan menunjukkan bahwa serat yang disebarkan secara acak mempunyai tahanan lentur dan kuat tarik yang lebih besar bila dibandingkan dengan serat yang disebarkan secara teratur dengan peningkatan kuat tarik sebesar 20% (Giaccio dkk, 1986).

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

Kuat tarik belah adalah kuat tarik beton yang ditentukan berdasarkan kuat tekan belah dari silinder beton yang ditekan pada sisi panjangnya (SK SNI-T-15-1991-03). Menurut Dipohusodo (1994:10), nilai kuat tarik dan kuat tekan beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Secara kasar nilai kuat tarik beton normal hanya berkisar antar 9%-15% dari kuat tekannya. Tegangan tarik yang timbul saat benda uji beton terbelah disebut split cylinder strength, diperhitungkan dengan Persamaan.

$$f_t = \frac{2P}{\pi \cdot L_s \cdot D} \quad (2)$$

Dengan :

f_t = kuat belah beton (N/ mm^2)

P = beban pada waktu beton terbelah (N)

D = diameter silinder (mm)

L_s = tinggi silinder (mm)

Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas yang besar menunjukkan kemampuan beton menahan beban yang besar dengan kondisi regangan yang terjadi kecil. 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 yang diberikan pada Persamaan

$$E_C = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \quad (3)$$

dimana, S_2 = tegangan sebesar $0,4 f_c$
 S_1 = tegangan sesuai dengan regangan arah longitudinal sebesar $0,0000531$ MPa
 ε_2 = regangan longitudinal akibat tegangan S_2

Regangan (ε) yang terjadi diperhitungkan dengan Persamaan

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 0,01 \quad (4)$$

dimana, ΔL = penurunan arah longitudinal
 L = tinggi beton relatif (jarak antara dua strain gauge)
 $0,01$ = konversi satuan dial menjadi mm

METODELOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental yang dilaksanakan di laboratorium. Benda uji berupa beton ringan *foam* silinder dengan ukuran $15\text{cm} \times 30\text{cm}$ untuk pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas dengan variasi kadar serat 0% , $0,5\%$, 1% , $1,5\%$, dan 2% dari berat beton. Benda uji masing-masing berjumlah 4 buah per variasi penambahan serat, dapat dilihat pada Tabel 1, 2 dan 3. Pengujian dilakukan setelah umur beton 28 hari, dengan menggunakan CTM (*Compression Testing Machine*).

Tabel 1. Jumlah dan Kode Benda Uji Kuat Tekan

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

Tabel 2. Jumlah dan Kode Benda Uji Kuat Tarik Belah

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

Tabel 3. Jumlah dan Kode Benda Uji Modulus Elastisitas

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

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat

Tabel 4. Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Standar	Kesimpulan
1	Kandungan zat organik	Kuning Muda	0 - 10%	Memenuhi syarat
2	Kandungan lumpur	4 %	Maks 5 %	Memenuhi syarat
3	<i>Bulk specific gravity</i>	2,52 gr/cm ³	-	-
4	<i>Bulk specific SSD</i>	2,58 gr/cm ³	2,5-2,7	Memenuhi syarat
5	<i>Apparent specific gravity</i>	2,67 gr/cm ³	-	-

6	Absorbtion	1,63 %	-	-
7	Modulus Halus	2,77	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	7,98	5 - 8	Memenuhi syarat
2	Bulk Specific Gravity	2,57	-	-
3	Bulk Specific Gravity SSD	2,61	-	-
4	Apparent Specific Gravity	2,68	-	-
5	Absorbtion	1,63	-	-
6	Abrasi	33 %	50 %	Memenuhi syarat

Hasil Perhitungan Rancang Campur Adukan Beton Metode Dreux

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

- a. Pasir = 637,907 kg
- b. Kerikil Halus = 107,615 kg
- c. Agregat Kasar = 1083,502kg
- d. Semen = 480kg
- e. Air = 171,428 liter

Kebutuhan bahan untuk tiap sampel yaitu :

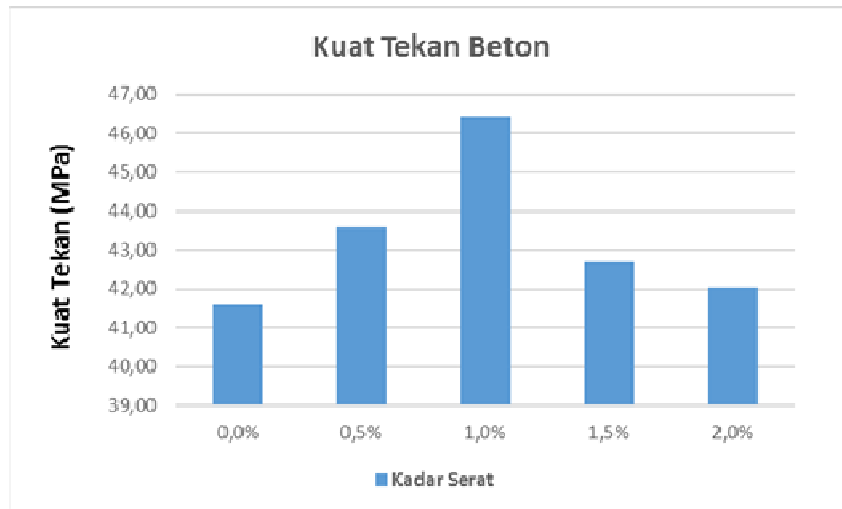
- a. Pasir = 3,375 kg
- b. Kerikil Halus = 0,569 kg
- c. Agregat Kasar = 5,732 kg
- d. Semen = 2,539 kg
- e. Air = 907 ml

Hasil Pengujian dan Pembahasan Kuat Tekan

Tabel 5. 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%	KT BS 0%	1	17662,50	730	41,33
			2	17662,50	730	41,33
			3	17662,50	740	41,90
			4	17662,50	740	41,90
			Rerata			41,61
2	0,5%	KT BS 0,5%	1	17662,50	730	41,33
			2	17662,50	790	44,73
			3	17662,50	780	44,16
			4	17662,50	780	44,16
			Rerata			43,60
3	1 %	KT BS 1 %	1	17662,50	810	45,86
			2	17662,50	820	46,43
			3	17662,50	820	46,43
			4	17662,50	830	46,99
			Rerata			46,43
4	1,5%	KT BS 1,5%	1	17662,50	765	43,31
			2	17662,50	750	42,46
			3	17662,50	740	41,90
			4	17662,50	760	43,03
			Rerata			42,68
5	2 %		1	17662,50	730	41,33

KT BS	2	17662,50	740	41,90
2 %	3	17662,50	720	40,76
	4	17662,50	740	41,90
	Rerata			41,47



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

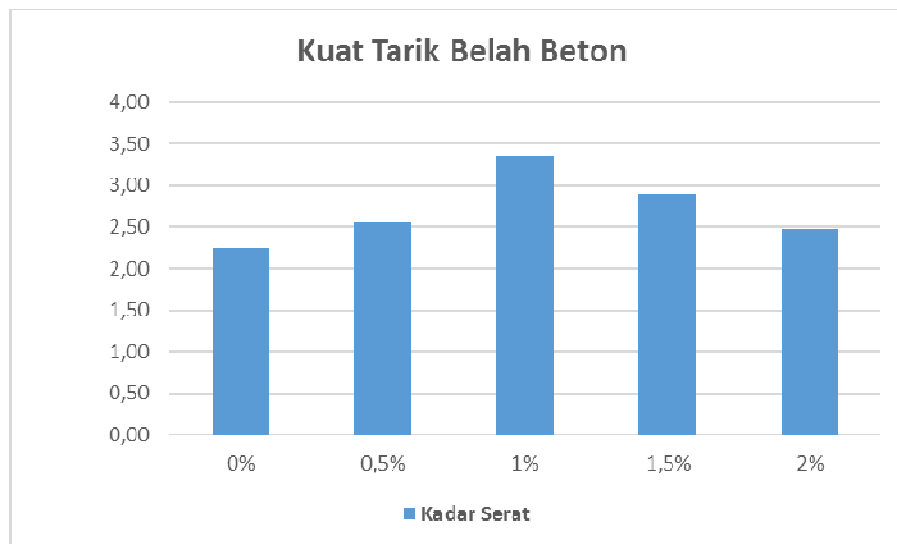
Berdasarkan hasil pengujian didapat kuat tekan dengan kadar serat tembaga sebesar 0 %; 0,5 %; 1 %; 1,5 %; dan 2% yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut adalah 41,61 MPa; 43,60 MPa; 46,43 MPa; 42,68 MPa; dan 42,04 MPa. Kuat tekan maksimal terjadi pada beton mutu tinggi metode Dreux dengan kadar penambahan serat sebesar 1%, menghasilkan kuat tekan sebesar 46,43 MPa atau terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 11,56% dibandingkan dengan beton mutu tinggi metode Dreux tanpa serat. Berdasarkan grafik fungsi polinomial, kadar serat optimum terjadi pada kadar serat 0,96 % dengan nilai sebesar 46,84 MPa.

Hasil Pengujian Kuat dan Pembahasan Tarik Belah

Tabel 6. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

NO	KADAR SERAT	KODE BENDA UJI	NO BENDA UJI	UJI TEKAN (N)	ft MPa
1	0%	KTB 0%	1	160000	2,26
			2	150000	2,21
			3	160000	2,26
			4	160000	2,26
			Rerata		2,25
2	0,5%	KTB 0,5%	1	190000	2,69
			2	180000	2,55
			3	180000	2,55
			4	170000	2,41
			Rerata		2,55
3	1 %	KTB 1%	1	240000	3,40
			2	230000	3,26
			3	240000	3,40
			4	240000	3,40
			Rerata		3,36
4	1,5%	KTB 1,5%	1	200000	2,83
			2	210000	2,97
			3	200000	2,83
			4	210000	2,97
			Rerata		2,90

5	2 %	KTB 2%	1	170000	2,41
			2	170000	2,41
			3	180000	2,55
			4	180000	2,55
			Rerata		2,48



Gambar 2. Diagram Hubungan Kuat Tarik Belah Beton dengan % serat tembaga

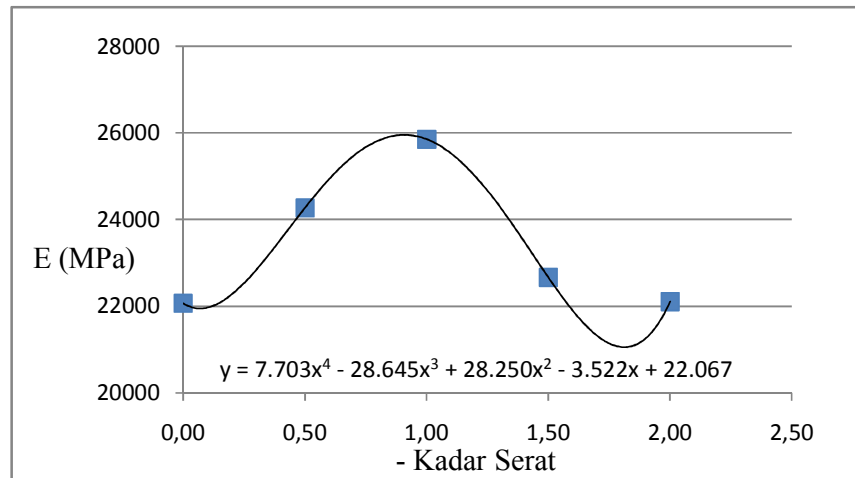
Berdasarkan hasil pengujian didapat kuat tarik belah dengan kadar penambahan serat tembaga sebesar 0 %; 0,5%; 1%; 1,5 %; dan 2 % berturut-turut adalah 2,22 MPa; 2,55 MPa; 3,36 MPa; 2,90 MPa; dan 2,48 MPa. Pengujian tersebut menunjukkan bahwa kuat tekan beton mutu tinggi metode Dreux dengan penambahan serat tembaga dapat mengalami peningkatan sebesar 13,21%; 49,37 %; 28,93 %; dan 10,06 %. Kuat tarik belah maksimal terjadi pada kadar penambahan serat sebesar 1% yang menghasilkan kuat tarik belah sebesar 3,36 MPa atau terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 49,37% dibandingkan dengan beton mutu tinggi metode Dreux tanpa serat. Berdasarkan grafik fungsi polinomial, kadar serat optimum terjadi pada kadar serat 1,11 % dengan nilai kuat tarik belah sebesar 3,12 MPa.

Hasil Pengujian dan Pembahasan Modulus Elastisitas

Tabel 7. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

NO	KADAR SERAT	KODE BENDA UJI	Ec PERHITUNGAN (MPa)	Ec RATA-RATA (MPa)
1	0%	ME BS 0 - 1	24368,41	22066,75
		ME BS 0 - 2	21232,82	
		ME BS 0 - 3	21835,30	
		ME BS 0 - 4	20830,48	
2	0,5%	ME BS 0,5 - 1	25429,04	24268,74
		ME BS 0,5 - 2	23673,35	
		ME BS 0,5 - 3	26250,46	
		ME BS 0,5 - 4	21722,10	
3	1 %	ME BS1 - 1	24930,56	25851,75
		ME BS1 - 2	24238,51	
		ME BS1 - 3	26918,46	
		ME BS1 - 4	27319,48	
4	1,5%	ME BS1,5 - 1	24969,29	22663,62
		ME BS1,5 - 2	20445,91	
		ME BS1,5 - 3	22224,89	
		ME BS1,5 - 4	23014,40	

5	2 %	ME BS2 - 1	27062,67	22106,82
		ME BS2 - 2	19557,95	
		ME BS2 - 3	20849,34	
		ME BS2 - 4	20957,31	



Gambar 3. Nilai Modulus elastisitas pada berbagai variasi kadar serat tembaga

Berdasarkan hasil pengujian didapat nilai modulus elastisitas dengan kadar serat tembaga sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2% yang diuji pada umur 28 hari adalah 22066,75 MPa; 24268,74 MPa; 25851,75 MPa; 22663,62 MPa dan 22106,82 MPa. Nilai Modulus elastisitas maksimal terjadi pada beton mutu tinggi metode Dreux dengan kadar penambahan serat sebesar 1 %. Penambahan kadar serat sebesar 1 % menghasilkan nilai modulus elastisitas mengalami peningkatan sebesar 17,15 % dibandingkan dengan beton mutu tinggi metode Dreux tanpa serat.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian serta analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Nilai kuat tekan beton mutu tinggi metode dreux dengan kadar penambahan serat tembaga sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut adalah 41,61 MPa; 43,60 MPa; 46,43 MPa; 42,68 MPa; dan 42,04 MPa dengan peningkatan 4,76%; 11,56%; 2,55%; dan 1,02% dari kuat tekan beton mutu tinggi metode dreux tanpa serat.
- Nilai kuat tarik belah beton mutu tinggi metode dreux dengan kadar penambahan serat tembaga sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% yang diuji pada umur 28 hari berturut-turut adalah 2,22 MPa; 2,55 MPa; 3,36 MPa; 2,90 MPa; dan 2,48 MPa dengan peningkatan 13,21%; 49,37 %; 28,93 %; dan 10,06 % dari kuat tarik belah beton mutu tinggi metode dreux tanpa serat.
- Hasil nilai modulus elastisitas rata-rata beton mutu tinggi metode dreux dengan kadar penambahan serat tembaga sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% secara berturut-turut adalah 22066,75 MPa; 24268,74 MPa; 25851,75 MPa; 22663,62 MPa dan 22106,82 MPa.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Terelesaiannya penyusunan penelitian ini berkat dukungan dan doa dari orang tua, untuk itu kami ucapkan terima kasih. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Ir. Slamet Prayitno, MT dan Ir. Endang Rismunarsi, MT selaku pembimbing yang dengan penuh kesabaran telah memberi koreksi dan arahan sehingga menyempurnakan penyusunan. Pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah berperan dalam mewujudkan penelitian ini secara langsung maupun tidak langsung khususnya mahasiswa sipil UNS 2012.

REFERENSI

ASTM C 33-74a. American Society For Testing and Materials. 1918. Concrete and Material Agregates (Including Manual of Agregates and Concrete Testing). Philadelphia: ASTM Philadelphia.

Cement & Concrete Institute. (2001). *Fibre Reinforced Concrete*, Cement & Concrete Institute, Midrand.

Djaja Mungok, Chrisna, 1993, Studi Perencanaan Campuran Beton Mutu Tinggi dengan Metode Dreux Laporan Penelitian, Program Teknik Sipil Struktur Fakultas Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung.

Dreux, Georges, 1979, *Nouveau Guide Du Beton*, Service Presse, Editions Eyrolles, Boulevard Saint-Germain, Tjokrodinulyo, K. 1996. *Teknologi Beton*, Nafitri. Yogyakarta.