

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT TEMBAGA PADABETON MUTU TINGGI METODE DREUX TERHADAP KUAT TEKAN, *MODULUS OF RUPTURE*, DAN KETAHANAN KEJUT (*IMPACT*)

Slamet Prayitno¹⁾, Purnawan Gunawan²⁾, Andy Feby Develya,³⁾

^{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: andyfebydevelya29@gmail.com

Abstract

The structure of the building has developed very rapidly. Reinforced concrete structure is one that is highly reliable structure strength of current and widely used in the construction of tall buildings, long-span bridge, tower and so on. The structure thus requiring high strength concrete with compressive strength greater than 6,000 psi or 41.4 MPa being used to prop up the components of the structure. Thus the need to improve the quality of concrete with steps to add fiber to the fresh concrete, the chosen material added copper fiber derived from waste materials or recycling of electrical wires that are not useful, to be reused as an added ingredient which aims to improve the compressive strength of concrete. The purpose of this study was to determine the effect of adding copper to fiber mechanical properties of concrete in the form of compressive strength, modulus of rupture and impact. Cylindrical test specimen with a diameter of 15 cm and 30 cm high compressive strength testing, cube-shaped test specimens with dimensions of 10 x 10x 50 cm for modulus of rupture testing and cylindrical test specimen with a diameter of 15 cm and height 5 cm for impact. Tests using a CTM (Compression Testing Machine) for compressive strength testing, Loading Frame for Impact modulus of rupture and Drop Weight for testing impact. Results of this study was the increase in the compressive strength, modulus of rupture and impact of high quality after copper plus fiber at levels of 1% of the volume weight. The addition of fiber content of 1% resulted in an increase in compressive strength, modulus of rupture, and shock resistance (impact), respectively for 11.56%; 34.69%; and 39.16% compared with the high quality concrete without fiber.

Key Words : Compressive Strength, Modulus of Rupture, Impact

Abstrak

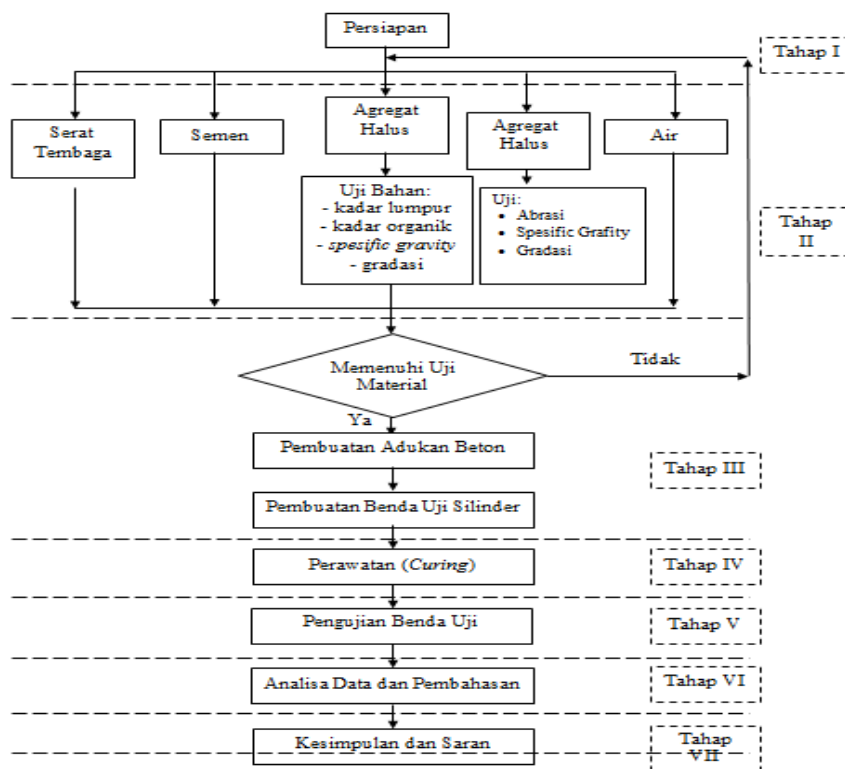
Struktur bangunan mengalami perkembangan yang sangat pesat. Struktur beton bertulang merupakan salah satu struktur yang sangat diandalkan kekuatannya saat ini dan banyak dimanfaatkan pada pembangunan gedung-gedung tinggi, jembatan dengan bentang panjang, tower dan sebagainya. Struktur demikian membutuhkan 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, *modulus of rupture* dan ketahanan kejut (*impact*). 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*). Pengujian menggunakan alat CTM (*Compression Testing Machine*) untuk pengujian kuat tekan, *Loading Frame* untuk modulus of rupture dan *Impact Drop Weight* untuk pengujian ketahanan kejut (*impact*). Hasil dari penelitian ini adalah peningkatan nilai kuat tekan, *modulus of rupture* dan ketahanan kejut (*impact*) mutu tinggi setelah ditambah serat tembaga pada kadar 1% dari berat volume. Penambahan kadar serat sebesar 1% menghasilkan peningkatan kuat tekan, *modulus of rupture*, dan ketahanan kejut (*impact*) berturut-turut sebesar 11,56%; 34,69%; dan 39,16 % dibandingkan dengan beton mutu tinggi tanpa serat.

Kata Kunci: Kuat Tekan, *Modulus of Rupture*, *Impact*

PENDAHULUAN

Beton mutu tinggi metode coba Dreux berserat tembaga yaitu beton yang terdiri dari agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir), *portland cement*, air ditambah dengan serat tembaga. Dengan demikian menjadikan suatu problem yang menarik bagi peneliti, untuk meningkatkan kuat tekan, *modulus of rupture* dan ketahanan kejut (*impact*) beton menjadi tinggi, apalagi dengan adanya penambahan serat tembaga daur ulang, dimungkinkan kuat tekan, *modulus of rupture* dan ketahanan kejut (*impact*) bertambah lagi, sehingga kuat tekan, *modulus of rupture* dan ketahanan kejut (*impact*) beton metode coba Dreux dengan penambahan serat tembaga menjadi meningkat sesuai dengan harapan konstruktor.

Tahapan Penelitian



HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian dan Pembahasan Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton menggunakan CTM (*Compression Testing Machine*) merk *Controls* pada benda uji silinder ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada umur 28 hari didapat beban maksimum (P_{maks}). Dengan beban maksimum tersebut dapat diperoleh kuat tekan beton dengan menggunakan Persamaan 1

$$f'_c = \frac{P_{maks}}{A} \quad (1)$$

dengan:

f'_c = kuat desak beton (MPa)

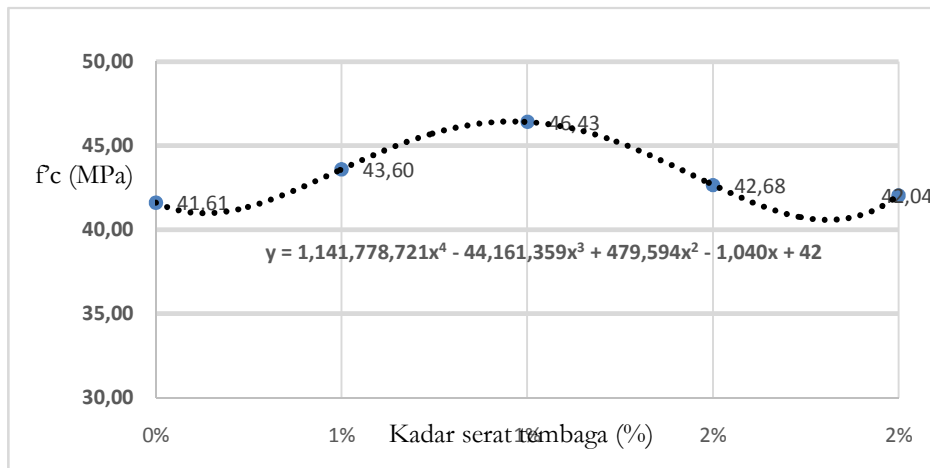
P_{maks} = beban maksimum (N)
 A = luas penampang benda uji beton (mm²)

Hasil pengujian kuat tekan beton pada benda uji silinder pada umur 28 hari selengkapnya disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

No	Kadar Serat (%)	Kode Benda Uji	A (mm ²)	Pmaks (kN)	f'c (MPa)	f'c rata-rata (MPa)
1	0	BS 0 %	17662,50	730	41,33	41,61
			17662,50	730	41,33	
			17662,50	740	41,90	
			17662,50	740	41,90	
2	0,50	BS 0,5 %	17662,50	730	41,33	43,60
			17662,50	790	44,73	
			17662,50	780	44,16	
			17662,50	780	44,16	
3	1,00	BS 1 %	17662,50	810	45,86	46,43
			17662,50	820	46,43	
			17662,50	820	46,43	
			17662,50	830	46,99	
4	1,5	BS 1,5 %	17662,50	765	43,31	42,68
			17662,50	750	42,46	
			17662,50	740	41,90	
			17662,50	760	43,03	
5	2	BS 2 %	17662,50	730	41,33	41,47
			17662,50	740	41,90	
			17662,50	720	40,76	
			17662,50	740	41,90	

Dari Tabel 1 dapat dibuat kurva regresi yang menggambarkan perbandingan penambahan kadar serat tembaga terhadap kuat tekan



Gambar 1. Kurva Regresi Hasil Pengujian Kuat Tekan

Berdasarkan hasil penelitian 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 41,61MPa; 43,60 MPa; 46,43 MPa; 42,68 MPa; dan 42,04 MPa. Kuat tekan maksimum adalah pada beton mutu tinggi metode coba Dreux dengan kadar penambahan serat sebesar 1%, menghasilkan kuat tekan sebesar 46,43MPa atau terjadi kenaikan kuat tekan sebesar 11,56% dibandingkan dengan beton mutu tinggi metode coba Dreux tanpa serat. Berdasarkan grafik fungsi polynomial, kuat tekan optimum terjadi pada kadar serat 0,96 % dengan nilai sebesar 46,84 MPa.

Peningkatan kuat tekan tersebut antara lain disebabkan karena adanya kontribusi dari serat tembaga terhadap volume adukan beton yang semakin padat. Serat tembaga sendiri berperan sebagai pengganti tulangan didalam beton. Serat tembaga juga mampu terekat kuat dengan adukan beton yang menyebabkan terbentuklah suatu campuran yang solid atau padat sehingga dapat meningkatkan nilai kuat tekan. Pada penambahan serat tembaga 1,5 % dan 2 % terjadi penurunan kuat tekan dikarenakan terlalu banyak volume serat yang ditambahkan kedalam beton sehingga mengurangi kekuatan beton.

Hasil Pengujian dan Pembahasan *Modulus of Rupture*

Pengujian dilakukan saat beton berumur 28 hari dengan bahan tambah serat tembaga 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2% dari berat beton. Pengujian *modulus of rupture* menggunakan benda uji berupa balok dengan ukuran 100 mm × 100 mm × 500 mm, dua beban terpusat pada jarak 10 cm dari masing-masing tumpuan. Dengan beban maksimum tersebut dapat diperoleh *modulus of rupture* beton dengan menggunakan Persamaan 2.

$$MOR = \frac{PL}{bd^2} \quad (2)$$

dengan:

- P = beban maksimum (N)
- L = panjang bentang (cm)
- b = tebal balok benda uji (cm)
- d = tinggi balok benda uji (cm)

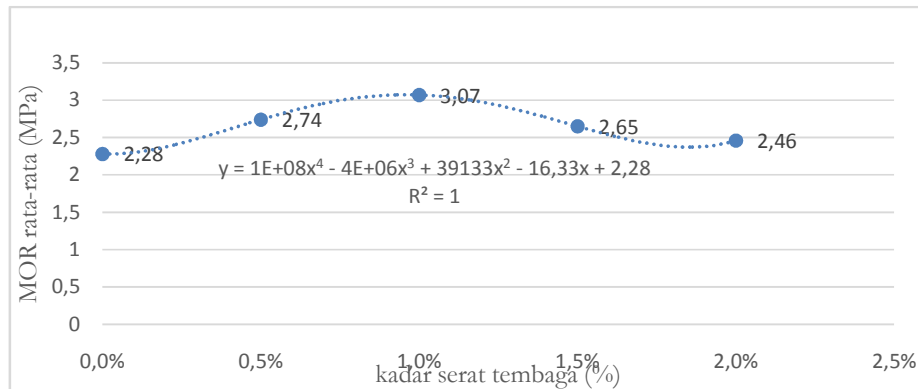
Berdasarkan hasil pengujian didapatkan beban maksimum (P_{maks}), yaitu saat beton hancur. Hasil pengujian dan perhitungan *Modulus of Rupture* secara keseluruhan disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan pada Pengujian *Modulus of Rupture*

Curing	Variasi Serat Tembaga (%)	Kode Benda uji	Hasil Bacaan manometer Maksimum		MOR (MPa)	Rata-rata (MPa)
			(kg/cm ²)	(N)		
Air Tawar Diam	0%	BK 0-1	60	7433,59	2,23	2,28
		BK 0-2	60	7433,59	2,23	
		BK 0-3	65	8053,06	2,42	
		BK 0-4	60	7433,59	2,23	
	0.5%	BK 0.5-1	75	9291,99	2,79	2,74
		BK 0.5-2	75	9291,99	2,79	
		BK 0.5-3	75	9291,99	2,79	
		BK 0.5-4	70	8672,53	2,60	
		BK 1-1	80	9911,46	2,97	3,07

	1 %	BK 1-2	80	9911,46	2,97	2,65
		BK 1-3	85	10530,93	3,16	
		BK 1-4	85	10530,93	3,16	
	1.5 %	BK 1.5-1	70	8672,53	2,60	
		BK 1.5-1	70	8672,53	2,60	
		BK 1.5-1	70	7433,59	2,60	
		BK 1.5-1	75	9291,99	2,79	
	2 %	BK 2-1	65	8053,06	2,42	
		BK 2-2	70	8672,53	2,60	
		BK 2-3	65	8053,06	2,42	
		BK 2-4	65	8053,06	2,42	

Dari Tabel 2 dapat dibuat kurva regresi yang menggambarkan perbandingan penambahan kadar serat tembaga terhadap *modulus of rupture*



Gambar 2. Kurva Regresi Perbandingan Penambahan Serat Tembaga terhadap *Modulus of Rupture*

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 2,28 MPa; 2,74 MPa; 3,01 MPa; 2,65 MPa; dan 2,46 MPa. Kuat tekan maksimum adalah pada beton mutu tinggi metode coba Dreux dengan kadar penambahan serat tembaga sebesar 1%, menghasilkan nilai *modulus of rupture* sebesar 3,01MPa atau terjadi kenaikan nilai *modulus of rupture* sebesar 34,69 % dibandingkan dengan beton mutu tinggi metode coba Dreux tanpa serat. Berdasarkan grafik fungsi polynomial, nilai *modulus of rupture* optimum terjadi pada kadar serat 0,92% dengan nilai sebesar 3,04 MPa.

Peningkatan nilai *modulus of rupture* tersebut antara lain disebabkan karena adanya kontribusi dari serat tembaga terhadap volume adukan beton yang semakin padat. Serat tembaga sendiri berperan sebagai pengganti tulangan didalam beton. Serat tembaga juga mampu terikat kuat dengan adukan beton yang menyebabkan terbentuklah suatu campuran yang solid atau padat sehingga dapat meningkatkan nilai *modulus of rupture*. Pada penambahan serat tembaga 1,5 % dan 2 % terjadi penurunan kuat tekan dikarenakan terlalu banyak volume serat yang ditambahkan kedalam beton sehingga mengurangi nilai *modulus of rupture*.

Hasil Pengujian dan Pembahasan Ketahanan Kejut Beton (*Impact*)

Pengujian terhadap beban kejut ini menggunakan tiga buah benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 50 mm untuk tiap variasi penambahan serat tembaga. Pengujian

dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari. Parameter yang perlu dicatat dalam pengujian ini adalah jumlah pukulan yang diperlukan untuk membuat benda uji mengalami retak pertama kali dan jumlah pukulan yang diperlukan untuk membuat benda uji runtuh total.

Analisa Perhitungan Terhadap Peningkatan Energi Serapan

Energi serapan dihitung dengan menggunakan jumlah pukulan sebagai acuannya. Semakin banyak suatu beton menerima pukulan, maka energi yang diserap oleh beton akan semakin besar. Energi serapan diperhitungkan dengan menggunakan Persamaan 3.

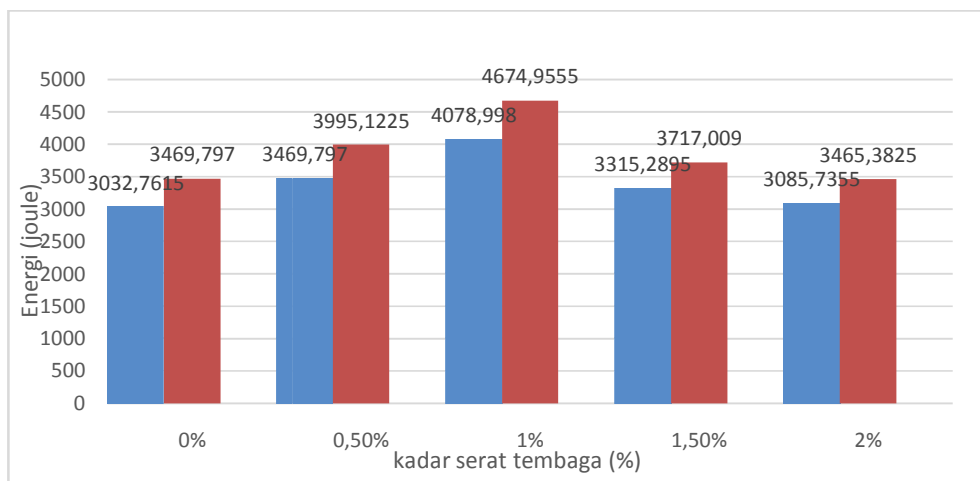
$$(3)$$

dimana :

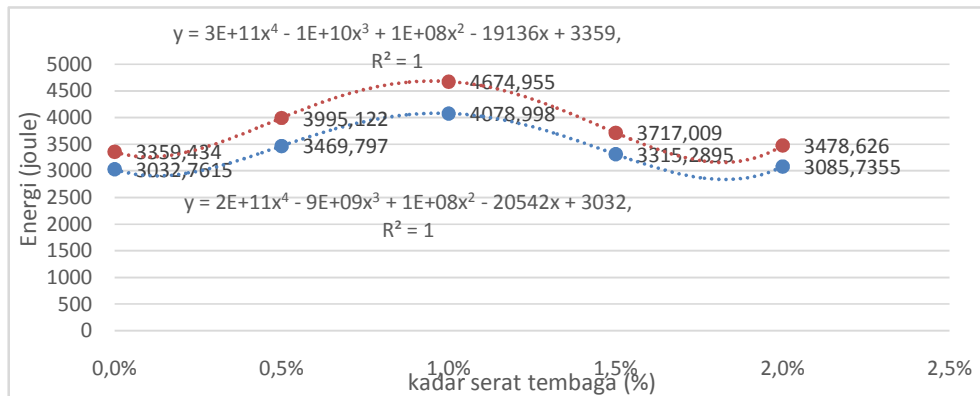
- E_{maks} = energi serapan (joule)
- m = massa beban yang dijatuhkan (kg)
- g = gravitasi (m/detik²)
- h = tinggi jatuh (m)
- n = jumlah pukulan

Tabel 3. Energi Serapan Saat Benda Mengalami Retak Pertama dan Runtuh Total.

kadar serat tembaga	rata-rata jumlah pukulan retak pertama	energi J	rata-rata jumlah pukulan runtuh total	energi J
	0%	171,75	3032,76	190,25
0,5 %	196,50	3469,80	226,25	3995,12
1%	231,00	4079,00	264,75	4674,96
1,5 %	187,75	3315,29	210,50	3717,01
2%	174,75	3085,74	197,00	3478,63



Gambar 3. Perbandingan Penambahan Kadar Serat Tembaga Kuat Kejut (*Impact*) Beton.



Gambar 4. Kurva Nilai Kuat Kejut (*Impact*) Beton Berbahan Tambah Serat Tembaga Saat Retak Pertama dan Runtuh Total.

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 3032,76 J dan jumlah energi serapan maksimal adalah sebesar 4078,99 J. Energi serapan beton mengalami peningkatan sebesar 34,49 %. Energi serapan maksimal dicapai pada penambahan variasi kadar serat tembaga 1%. Sedangkan jumlah energi serapan pada saat beton mengalami runtuh total sebesar 3359,12 J dan jumlah energi serapan maksimum adalah 4674,95 J. Energi serapan pada saat beton runtuh total mengalami kenaikan sebesar 39,16 %. Energi serapan maksimal dicapai pada penambahan variasi kadar serat tembaga 1%.

Peningkatan nilai kuat kejut (*impact*) tersebut antara lain disebabkan karena adanya kontribusi dari serat tembaga terhadap volume adukan beton yang semakin padat. Serat tembaga sendiri berperan sebagai pengganti tulangan didalam beton. Serat tembaga juga mampu terikat kuat dengan adukan beton yang menyebabkan terbentuknya suatu campuran yang solid atau padat sehingga didapat energi serapan yang maksimal dan dapat meningkatkan nilai kuat kejut (*impact*). Pada penambahan serat tembaga 1,5 % dan 2 % terjadi penurunan kuat tekan dikarenakan terlalu banyak volume serat yang ditambahkan kedalam beton sehingga mengurangi energi serapan yang diterima beton dan mengurangi nilai kuat kejut (*impact*).

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, analisis data dan pembahasan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Penambahan bahan tambah serat tembaga pada beton mutu tinggi metode coba Dreux mempengaruhi nilai kuat tekan sebesar 11,56 % .Kandungan serat maksimum diperoleh pada kadar serat tembaga 1% dengan kuat tekan sebesar 46,43 MPa, dibandingkan dengan beton mutu tinggi tanpa serat tembaga yang hanya mencapai 41,61 MPa.
- Penambahan bahan tambah serat tembaga pada beton mutu tinggi metode coba Dreux, sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton dibandingkan dengan beton normal. Bahan tambah serat tembaga mempengaruhi nilai kuat *modulus of rupture* sebesar 34,69 %.Kandungan serat maksimum diperoleh pada kadar serat tembaga 1% dengan nilai *modulus of rupture* sebesar 3,01 MPa, dibandingkan dengan beton mutu tinggi metode coba Dreux tanpa serat tembaga yang hanya mencapai 2,28 MPa.
- Penambahan bahan tambah serat tembaga pada beton mutu tinggi metode coba Dreux mempengaruhi nilai kuat kejut (*impact*) sebesar 39,16 %.Kandungan serat maksimum diperoleh pada kadar serat tembaga 1 % dengan energi serapan maksimal saat retak pertama sebesar 4078.99 J dan saat runtuh total sebesar 4674,95 J.

Saran

- a. Perlu dilakukan penelitian terhadap penambahan material lain yang dapat meningkatkan kuat tekan, *modulus of rupture* dan Ketahanan beban kejut (*impact*).
- b. Penelitian dengan menggunakan alat uji kuat kejut (*Impact Drop Weight*) dengan alat buatan perlu dilakukan dengan teliti dan konsisten, untuk mempertahankan ketinggian yang konstan. Karena ketinggian beban jatuh sangat berpengaruh terhadap jumlah pukulan dan energi serapan benda uji.
- c. *Mix design* dapat direncanakan dengan metode selain metode coba Dreux.
- d. Perlu pengawasan yang baik pada pengujian *modulus of rupture* pada saat pembacaan *dial gauge*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan. Terelesaikannya 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 Purnawan Gunawan, ST, 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 Consrete Testing)*. Philadelphia: ASTM Philadelphia.
- 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.
- 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, *Nouvean Guide Du Bet on*, Service Pressee, Editions Eyrolles, Boulevard Saint-Germain,
- Murdock, L.J dan K.M Brook (Terjemahan : Stephanus Hendarko). 1999. *Bahan dan Praktek Beton*. Jakarta: Erlangga
- Soroushian, P. Lee, and Bayasi, Z. 1987, "*Consept of Fiber Reinforced Concrete*", Michigan State University, Michigan.
- Tjokrodimulyo, K. 1996. *Teknologi Beton*, Nafitri. Yogyakarta