

PENGARUH PENAMBAHAN SERAT TEMBAGA DENGAN *FLY ASHPADABETON* MUTU TINGGI METODE *DREUX* TERHADAP KUAT TEKAN, *MODULUS OF RUPTURE*, DAN *IMPACT*

Slamet Prayitno¹⁾, Purwanto²⁾, Aningtyas Diningrum,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:

tyas.diningrum@gmail.com

Abstract

Reinforced concrete structure is a reliable strength structure now, and widely used as Portal, column, beam, and etc. That structure require high strength concrete with compressive strength greater than 6000 psi or 41.4 MPa are used to support structural components. That needs to improve the quality of concrete with adding fiber into the fresh concrete, the chosen material added copper fiber derived from waste materials or recycling of electrical wiring that is not useful, to be reused as an added ingredient that aims to enhance the compressive strength of concrete. The purpose of this study was to determine the effect of adding copper to fiber mechanical properties of the concrete form of compressive strength, Modulus Of Rupture and Impact.

The method used is a method that is carried out in a laboratory experiment UNS material. Cylindrical test specimen with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm for compressive strength testing, cube-shaped test specimens with dimensions of 10 × 10 × 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 the levels of addition of fiber. Percentage of the fiber used was 0%; 0.5%; 1%; 1.5%; and 2%. Tests using a CTM (Compression Testing Machine) for compressive strength testing, Loading Frame for Modulus Of Rupture and Drop Weight Impact for impact testing. Calculation used is statistical analysis with a linear regression on the elastic limit of the concrete using a Microsoft Excel program.

The results of this study is the increase in the compressive strength, modulus of rupture and impact high strength concrete after plus fiber copper. The compressive strength of concrete with the addition of copper fiber content of 0%; 0.5%; 1%; 1.5%; and 2% is 62.00 MPa; 64.76 MPa; 66.81 MPa; 63.06 MPa; and 61.57 MPa. Modulus Of Rupture of concrete with the addition of copper fiber content of 0%; 0.5%; 1%; 1.5%; and 2% was 2.51 MPa; 2.88 MPa; Of 3.39 MPa; 2.74 MPa; and 2.32 MPa. Impact with the addition of copper fiber percentage of 0%; 0.5%; 1%; 1.5%; and 2% when the first crack is 3112.222 J; 3611.061 J; 4207.018 J; 3831.786 J and 3165.196 J. Currently a total collapse is 3487.455 J; 4061.341 J; 4750.002 J; 3831.786 J and 3646.377 J. Addition of fiber resulted in an increase in compressive strength, Modulus Of Rupture and Impact, respectively for 0.9%-1.1% compared with high strength concrete without fibers.

Key Words : Compressive Strength, Modulus Of Rupture, Impact

Abstrak

Struktur beton bertulang merupakan struktur yang sangat diandalkan kekuatannya saat ini dan banyak dimanfaatkan pada pembangunan gedung-gedung tinggi, dan sebagainya. Struktur tersebut membutuhkan beton mutu tinggi dengan kuat tekan lebih besar dari 6000 Psi atau 41,4 MPa yang digunakan untuk menopang komponen struktur. Perlu adanya peningkatan mutu beton dengan cara menambahkan serat pada beton segar, maka dipilihlah bahan tambah serat tembaga yang berasal dari bahan limbah kabel listrik atau daur ulang, 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 *Impact*.

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 *Impact*. Benda uji masing-masing berjumlah 4 buah untuk 1 variasi kadar penambahan serat. Persentase serat yang digunakan adalah 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2%. 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*). 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, *Modulus Of Rupture* dan *Impact* beton mutu tinggi setelah ditambah serat tembaga. Nilai kuat tekan beton dengan kadar penambahan serat tembaga sebesar 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2% adalah 62,00MPa; 64,76 MPa; 66,81 MPa; 63,06 MPa; dan 61,57 MPa. Nilai *modulus of rupture* beton dengan kadar penambahan serat tembaga sebesar 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2% adalah 2,51 MPa; 2,88 MPa; 3,39 MPa; 2,74 MPa; dan 2,32 MPa. Nilai ketahanan kejut (*impact*) dengan persentase penambahan serat tembaga sebesar 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; dan 2% saat retak pertama adalah 3112,222 J; 3611,061 J; 4207,018 J; 3831,786 J dan 3165,196 J. Saat runtuh total adalah 3487,455 J; 4061,341 J; 44750,002 J; 3831,786 J dan 3646,377 J. Penambahan kadar serat tembaga untuk masing-masing peningkatan kuat tekan, *modulus of rupture*, dan ketahanan kejut (*impact*) berturut-turut sebesar 0,9%-1,1% dibandingkan dengan beton mutu tinggi tanpa serat.

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

PENDAHULUAN

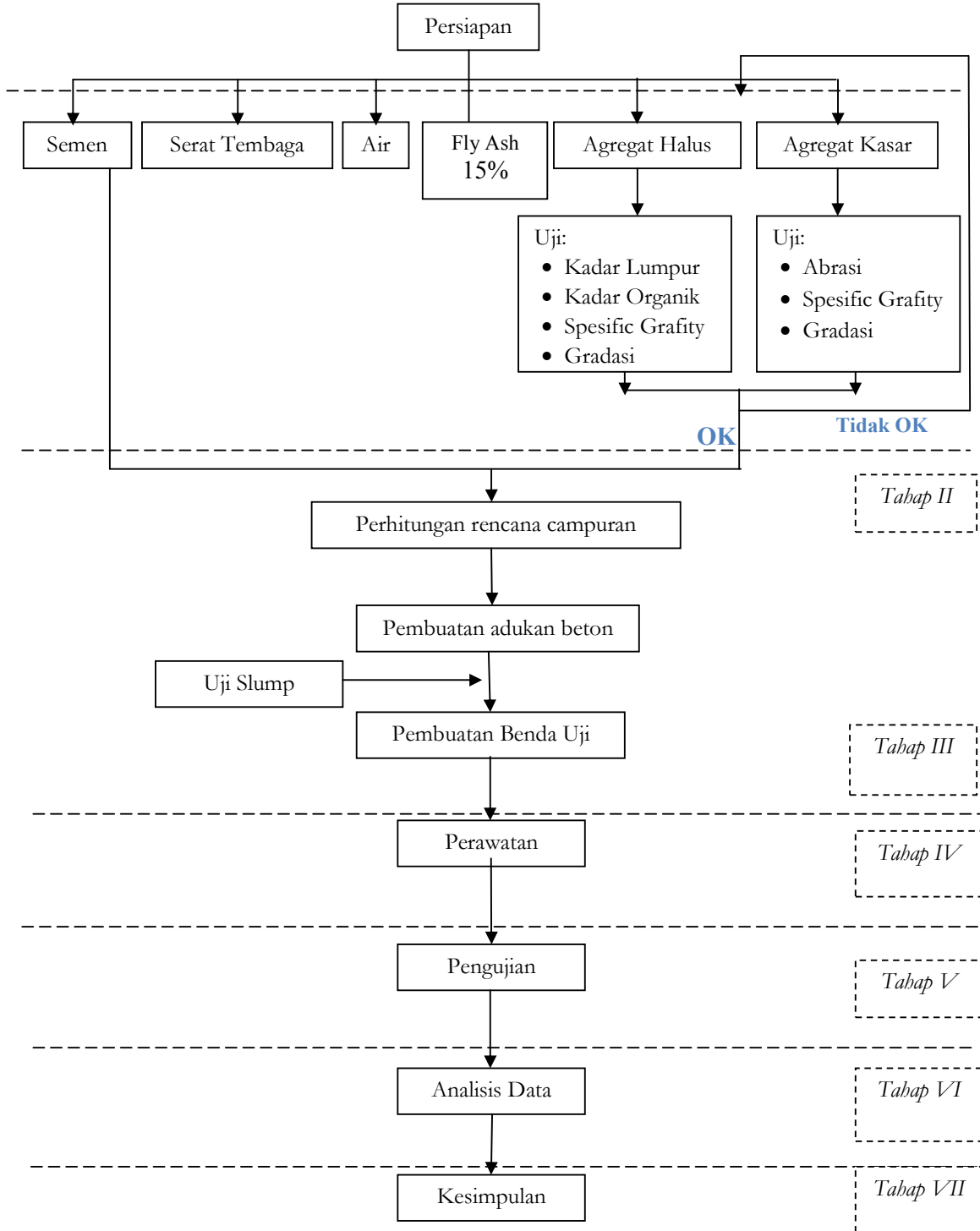
Beton mutu tinggi metode *Dreux* berserat tembaga yaitu beton yang terdiri dari agregat kasar (kerikil), agregat halus (pasir), *portland cement*, air ditambah dengan serat tembaga. Dengan demikian menjadikan suatu problem yang menarik bagi peneliti, untuk meningkatkan kuat tekan, *Modulus Of Rupture*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

LANDASAN TEORI

Beton serat merupakan beton yang terbuat dari campuran semen, agregat, air, dan sejumlah serat yang disebarkan secara random. Prinsip penambahan serat ini adalah untuk memberi tulangan pada beton yang disebar merata ke dalam adukan beton dengan orientasi *random* untuk mencegah terjadinya retakan-retakan beton yang terlalu dini di daerah tarik akibat panas hidrasi maupun akibat pembebanan. Hasil positif dari penggunaan serat melandasi pemikiran bagaimana aplikasi yang praktis dan ekonomis, karena serat tembaga yang akan digunakan merupakan hasil limbah kabel. Salah satu ide yang ingin dikembangkan dalam penelitian ini adalah bagaimana kontribusi serat dalam material beton mutu tinggi metode *Dreux* berserat tembaga.

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini dapat dilihat secara skematis dalam bentuk bagan alir pada **Gambar 1.1.** sebagai berikut :



Gambar 1.1. Bagan Alir Tahap Penelitian

HASIL PENGUJIAN BENDA UJI

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan beton menggunakan CTM (*Compression Testing Machine*) merk *Control* 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 4.1.

$$f'_c = \frac{P_{maks}}{A} \quad (4.1)$$

Dengan:

f'_c = kuat desak beton (MPa)

P_{maks} = beban maksimum (N)

A = luas penampang benda uji beton (mm²)

Sebagai contoh perhitungan diambil data dari benda uji silinder 4 serat 1,0 % sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_{maks} &= 1180000 \text{ N} \\ A &= \frac{1}{4} \pi \times 15^2 \\ &= 17662,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka kuat tekan betonnya adalah:

$$f'_c = \frac{1180000}{17662,5} = 66,81 \text{ MPa.}$$

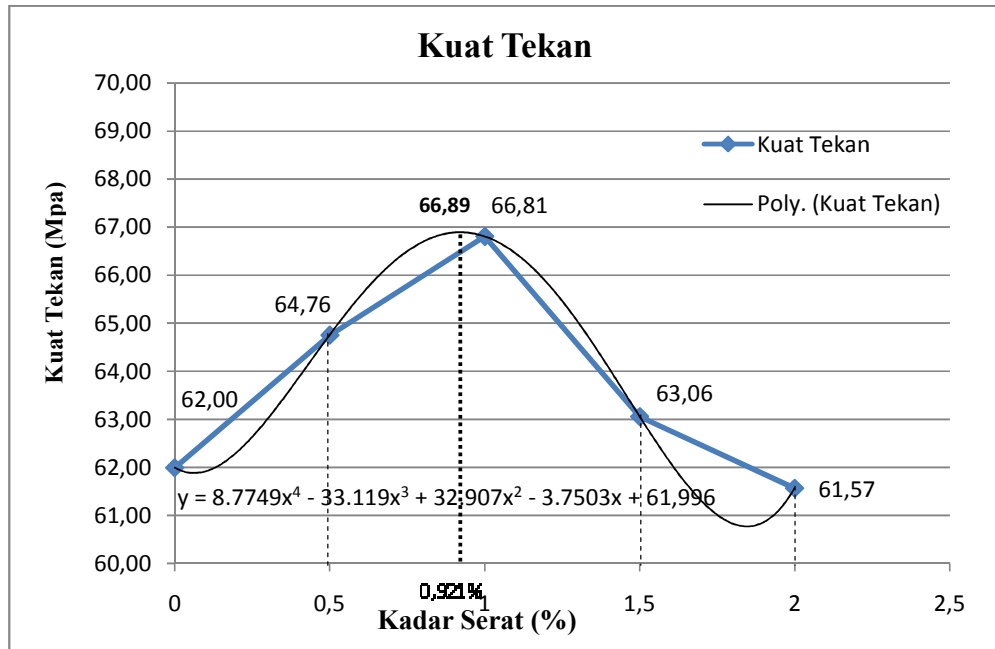
Hasil pengujian kuat tekan beton pada benda uji silinder pada umur 28 hari selengkapnya disajikan dalam **Tabel. 1.1**

Tabel 1.1 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	1095000	62,00	62,00
			17662,50	1105000	62,56	
			17662,50	1100000	62,28	
			17662,50	1080000	61,15	
2	0,50	BS 0,5 %	17662,50	1155000	65,39	64,76
			17662,50	1165000	65,96	
			17662,50	1120000	63,41	
			17662,50	1135000	64,26	
3	1,00	BS 1 %	17662,50	1170000	66,24	66,81
			17662,50	1175000	66,53	
			17662,50	1195000	67,66	
			17662,50	1180000	66,81	
4	1,5	BS 1,5 %	17662,50	1115000	63,13	63,06
			17662,50	1105000	62,56	
			17662,50	1125000	63,69	

			17662,50	1110000	62,85	
5	2	BS 2 %	17662,50	1095000	62,00	61,57
			17662,50	1110000	62,85	
			17662,50	1095000	62,00	
			17662,50	1050000	59,45	

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



Gambar 1.2. Kurva regresi Hasil Pengujian Kuat Tekan

Dari grafik diatas didapat nilai fungsi $y(x)$ sebagai berikut :

$$y = 8,7749x^4 - 33,119x^3 + 32,907x^2 - 3,7503x + 61,996$$

Nilai optimum kuat tekan kemudian dihitung dengan cara :

$$dy/dx = 0$$

$$0 = 35,0996x^3 - 99,357x^2 + 65,814x - 3,7503$$

$$x_1 = 1,847, \quad x_2 = 0,921 \text{ dan } x_3 = 0,063$$

dipilih $x_2 = 0,921 \%$

$$y = 8,7749(0,921)^4 - 33,119(0,921)^3 + 32,907(0,921)^2 - 3,7503(0,921) + 61,996$$

$$y = 66,89 \text{ MPa}$$

Hasil Pengujian *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. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan beban maksimum (P_{maks}), yaitu saat beton hancur.

Saat pengujian, semua benda uji patah pada bagian bentang tengah efektif sehingga dapat dilakukan perhitungan. Sebagai contoh, diambil perhitungan pada beton dengan bahan tambah serat tembaga daur ulang 0,5% dan perilaku *curing* menggunakan air normal berikut :

$$P_{maks} = 80 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Luas hidraulik} = \frac{1}{4}\pi \times 4,01^2 = 12,6293 \text{ cm}^2$$

$$P_{maks} = 80 \times 12,6293 \times 9,81 = 9911,46 \text{ N}$$

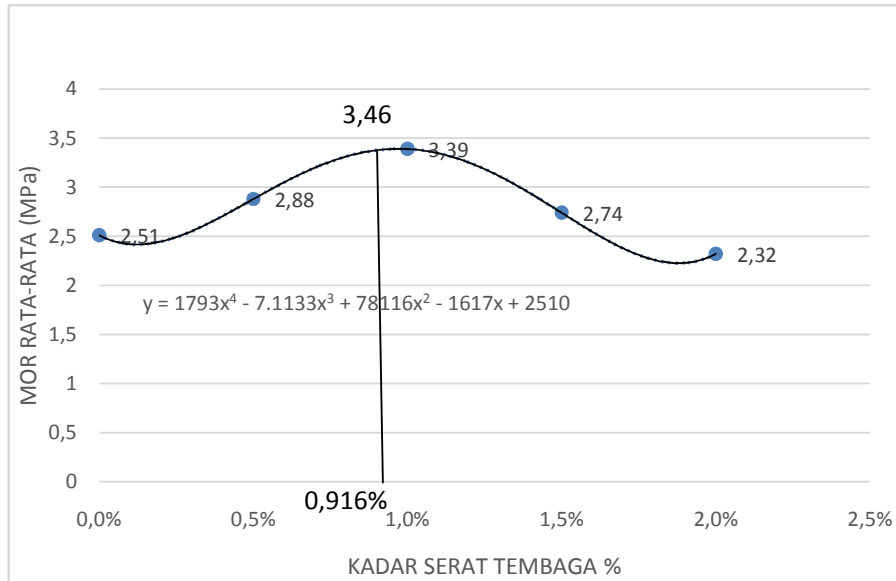
Maka *Modulus of Rupture* :

$$OR = \frac{PL}{bd^2} = \frac{9911,46 \times 300}{100 \times 100^2} = 2,97 \text{ MPa}$$

Hasil pengujian *Modulus Of Rupture* selengkapnya disajikan dalam **Tabel. 1.2**
Tabel 1.2 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	8053,06	2,42	2,51
		BK 0-2	65	8053,06	2,42	
		BK 0-3	70	8672,53	2,60	
		BK 0-4	70	8672,53	2,60	
	0.5%	BK 0.5-1	80	9911,46	2,97	2,88
		BK 0.5-2	80	9911,46	2,97	
		BK 0.5-3	75	9291,99	2,79	
		BK 0.5-4	75	9291,99	2,79	
	1 %	BK 1-1	95	11769,86	3,53	3,39
		BK 1-2	90	11150,39	3,35	
		BK 1-3	90	11150,39	3,35	
		BK 1-4	90	11150,39	3,35	
	1.5 %	BK 1.5-1	75	9291,99	2,79	2,74
		BK 1.5-1	75	9291,99	2,79	
		BK 1.5-1	75	9291,99	2,79	
		BK 1.5-1	70	8672,53	2,60	
	2 %	BK 2-1	60	7433,59	2,23	2,32
		BK 2-2	60	7433,59	2,23	
		BK 2-3	65	8053,06	2,42	
		BK 2-4	65	8053,06	2,42	

Dari Tabel dapat dibuat kurva regresi yang menggambarkan perbandingan penambahan kadar serat tembaga terhadap *Modulus Of Rupture*.



Gambar 1.3.Kurva Regresi Hasil Pengujian *Modulus Of Rupture*

Dari grafik diatas didapat nilai fungsi $y(x)$ sebagai berikut :

$$y = 1793 x^4 - 71133 x^3 + 78117 x^2 - 1617 x + 2510$$

Nilai maksimum kuat tekan kemudian dihitung dengan cara :

$$dy/dx = 0$$

$$0 = 71733 x^3 - 33999 x^2 + 15623 x - 1617$$

$$x_1 = 0,130 \text{ dan } x_2 = 0,916$$

Dipilih $x_2 = 0,916 \%$

$$y = 1793(0,916^4) - 71133(0,916^3) + 78116(0,916^2) - 1617(0,916) + 2510$$

$$y = 3,46 \text{ MPa}$$

Hasil Pengujian *Impact*

Pengujian terhadap beban kejut ini menggunakan 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. Berikut ini contoh perhitungan energi yang diserap oleh beton.

Saat silinder beton mengalami retak pertama :

N = jumlah pukulan

$m = 2 \text{ kg}$

$h = 45 \text{ cm} = 0,45 \text{ m}$

$g = 9,81 \text{ m/dt}^2$

Energi serapan = $n \times 2mgh$

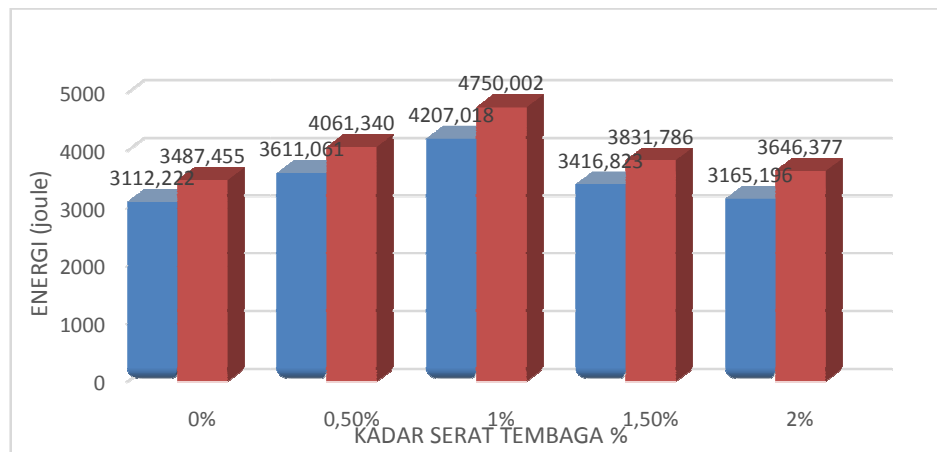
$$= 176,25 \times 2 \times 2 \times 9,81 \times 0,45$$

$$= 3112,222 \text{ J}$$

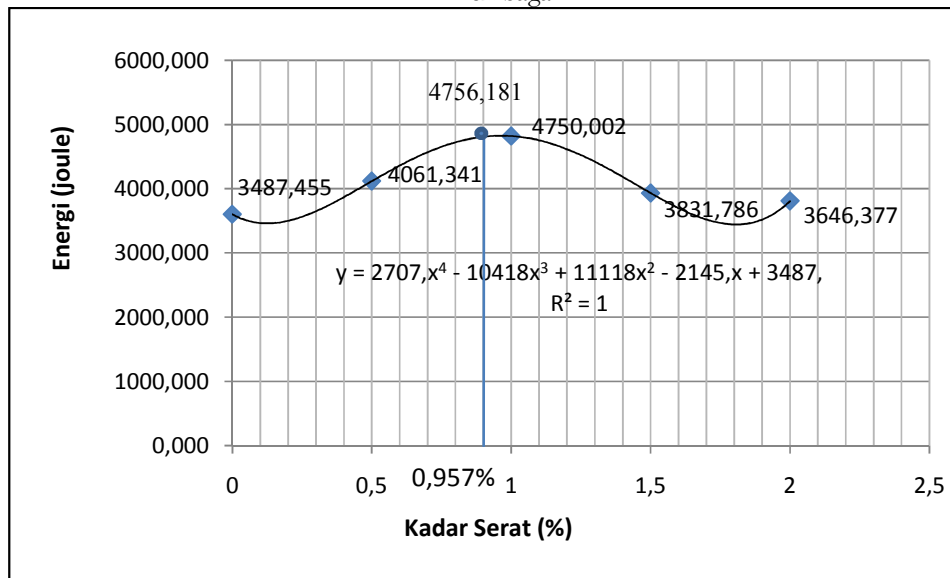
Perhitungan selanjutnya bisa dilihat pada **Tabel 1.3**

Tabel 1.3 Energi Serapan Saat Benda Mengalami Retak Pertama dan Runtuh Total.

kadar serat tembaga	rata-rata jumlah	energi	rata-rata jumlah	energi
	pukulan retak pertama (N)	(J)	pukulan runtuh total (N)	(J)
0%	176,25	3112,222	197,50	3487,455
0,5 %	204,50	3611,061	230,00	4061,340
1%	238,25	4207,018	269,00	4750,002
1,5 %	193,50	3416,823	217,00	3831,786
2%	179,25	3165,196	206,50	3646,377



Gambar 1.4. Diagram Hubungan Energi Serapan Kuat Kejut (*Impact*) dengan % Serat Tembaga



Gambar 1.5. Kurva Regresi Nilai Kuat Kejut (*Impact*) Beton dengan % Tembaga Saat Runtuh Total.

Dari grafik diatas didapat nilai fungsi $y(x)$ runtuh total sebagai berikut :

$$y = 2707x^4 - 10418x^3 + 11118x^2 - 2145x + 3487$$

Nilai *Impact* kemudian dihitung dengan cara :

$$dy/dx = 0$$

$$0 = 10830x^3 - 31254x^2 + 22237x - 2145$$

$$x_1 = 1,81435, x_2 = 0,11401, x_3 = 0,95751$$

Dipilih $x_2 = 0,95751 = 0,95751\%$

$$y = 2707(0,95751^4) - 10418(0,95751^3) + 11118(0,95751^2) - 2145(0,95751) + 3487$$

$$y = 4756,181 \text{ J}$$

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu :

a. Kuat Tekan

Berdasarkan hasil penelitian didapat kuat tekan dengan kadar serat tembaga sebesar 0 %; 0,5 %; 1 %; 1,5 %; dan 2 % yang diujipada umur 28 hari berturut-turut adalah 62,00 MPa; 64,76 MPa; 66,81 MPa; 63,06 MPa; dan 61,57 MPa. Kuat tekan maksimal pada beton mutu tinggi metode *Dreux* terjadi pada kadar serat 0,921 % dengan nilai sebesar 66,89 MPa.

b. *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 diujipada umur 28 hari berturut-turut adalah 2,51 MPa; 2,88 MPa; 3,39 MPa; 2,74 MPa; dan 2,32 MPa. *Modulus Of Rupture* maksimum pada beton mutu tinggi metode *Dreux* terjadi pada kadar serat 0,916 % dengan nilai sebesar 3,46 MPa.

c. Kuat Kejut (*Impact*)

Dari hasil pengujian dan analisis data yang telah dilakukan diperoleh energi serapan rata-rata saat benda mengalami tatak pertama dengan kadar serat tembaga sebesar 0 %; 0,5%; 1 %; 1,5 %; dan 2% yang diujipada umur 28 hari berturut-turut adalah 3112,222 J; 3611,061 J; 4207,018 J; 3831,786 J; dan 3165,196 J. pada saat benda mengalami runtuh total dengan kadar serat tembaga sebesar 0 %; 0,5%; 1 %; 1,5 %; dan 2% yang diujipada umur 28 hari berturut-turut adalah 3487,455 J; 4061,341 J; 4750,002 J; 3831,786 J; 3646,377 J. Pada pengujian kuat kejut (*Impact*) saat runtuh total beton mutu tinggi metode *Dreux* terjadi pada kadar serat 0,957% dengan nilai 4756,181 J. Peningkatan nilai kuat kejut (*impact*) tersebut antara lain disebabkan karena adanya kontribusi kadar serat tembaga terhadap volume adukan beton yang semakin padat, maka untuk masing-masing pengujian kuat tekan, *Modulus Of Rupture*, dan Kuat Kejut (*Impact*) pada beton mutu tinggi metode *Dreux* dengan kadar serat 0,9% - 1% tersebut mampu terekat kuat dengan adukan beton sehingga terbentuknya suatu campuran yang solid dan beton memiliki kekakuan yang

lebih baik dikarenakan adanya reaksi ikatan tersebut pada beton dibanding beton tanpa serat. Padapenambahanserat tembaga lebih dari 1% terjadipenurunandisebabkanpenambahanseratlebihbanyaksehinggapenyebaranserattersebutkurangmerata yang mengakibatkanserattersebuttidakdapatperikatsempurnadenganbeton, bahkanterjadipenggumpalanantaraserat yang satudenganseratlainnya.

Saran

Beberapa koreksi yang harus diperhatikan agar penelitian ini menjadi lebih sempurna dan dapat dijadikan sebagai acuan bagi penelitian-penelitian selanjutnya, Adapun saran-saran untuk penelitian selanjutnya antara lain :

- a. Perlu dilakukan penelitian terhadap penambahan material lain yang dapat meningkatkan kuat tekan, *modulus of rupture* dan Kuat kejut (*impact*).
- b. Mix design dapat direncanakan dengan metode selain metode *Dreux*.

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