

KINERJA BETON SERAT MENGGUNAKAN UJI TOUGHNESS PANEL PADA KANDUNGAN SERAT YANG BERBEDA

Eriia Imam S¹⁾, Solihin As'ad²⁾, Achmad Basuki³⁾

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik, Jurusan teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

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

Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta 57126; Telp. 0271-634524. Email: imamalsaputra@gmail.com

Abstract

Concrete is the most widely used material for construction. This material has a high compressive strength, on the other hand its weakness is a low tensile strength and easily crack due to brittle. Various building infrastructure such as tunnels require a ductile material such as steel fiber reinforced concrete by mixing steel fiber into concrete. This thesis presents a toughness test of steel fiber reinforced concrete panels containing various fiber dosage based on EFNARC method.

Four fiber reinforced concrete mixture of 20 kg/m³, 40 kg/m³, 60 kg/m³, and 80 kg/m³ and a concrete mix without fiber as a comparison were prepared. Fiber reinforced concrete mixed with normal concrete made of steel fiber-end hooked shaped of DRAMIX RC80/60 BN. Each concrete mixture was molded in three panels of 600 mm x 600 mm x 100 mm. The samples were tested on 28 days of concrete age. Load – deformation curve of each sample were recorded and compared.

The test results showed that the fiber affects the load-deformation curve. The plain concrete cracked and immediately collapsed after reaching the maximum load. While the samples of fiber reinforced concrete showed a ductile collapse, where after the maximum load was reached the load-deformation curve still existed due to the fiber pulling process from the cracked concrete. The effect of fiber content is the higher the fiber content the higher load-deformation curve of the samples. The higher dose of the fiber, the absorbed energy for the samples to collapse is also higher. In this test the highest energy was recorded by the 80 kg/m³ sample with 56.604 Joule energy. The fiber content also affects the crack pattern of the samples. The higher the fiber content, the amount of crack is also higher. Interaction of concrete and fiber tend to propagate a new crack before it collapses when the load is given to the sample was loaded.

Keywords: fiber reinforced concrete, toughness test panels, EFNARC, steel fiber, energy absorption

Abstrak

Beton merupakan bahan yang paling banyak digunakan untuk konstruksi. Material ini memiliki kuat tekan yang tinggi, sebaliknya kelemahannya adalah kuat tarik yang sangat kecil, mudah retak karena getas. Berbagai bangunan infrastruktur misal nyaterowongan memerlukan material daktil, yaitu dengan mencampurkan serat baja ke dalam beton. Penelitian ini menyajikan uji toughness panel beton serat baja berdasarkan metode EFNARC dengan berbagai kandungan serat.

Empat campuran beton serat 20 kg/m³, 40 kg/m³, 60 kg/m³, dan 80 kg/m³ beton dan satu campuran beton tanpa serat sebagai pembandingan disiapkan. Beton serat bahan beton normal yang dicampur serat baja berbentuk *end-hooked* DRAMIX RC80/60 BN. Setiap campuran beton dicetak dalam tiga panel berukuran 600 mm x 600 mm x 100 mm. Benda uji diujibeban pada umur 28 hari. Kurva hubungan beban-deformasi masing-masing benda uji dicatat dan dibandingkan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa serat mempengaruhi kurva beban – deformasi. Beton tanpa serat retak dan langsung runtuh setelah mencapai beban maksimal. Sedangkan benda uji beton serat menunjukkan keruntuhan daktil, dimana setelah beban maksimal tercapai masih dilanjutkan kurva beban – deformasi akibat proses cabutan serat dari beton-serat yang retak. Pengaruh kandungan serat adalah semakin tinggi kandungan serat semakin tinggi kurva beban-deformasi benda uji.

Semakin tinggi dosis serat maka energi untuk keruntuhan benda uji semakin tinggi. Pada pengujian ini energi tertinggi ditunjukkan oleh benda uji 80 kg/m³ dengan energi 55,4388 Joule. Kandungan serat juga mempengaruhi pola retak benda uji. Semakin tinggi kandungan serat, jumlah retak yang terjadi semakin banyak. Interaksi beton dan serat cenderung memunculkan retak baru sebelum terjadi keruntuhan pada saat pemberian beban pada benda uji.

Kata kunci : beton serat, *uji toughness panel*, EFNARC, serat baja, energi absorpsi

PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan yang paling banyak digunakan untuk konstruksi di Indonesia. Beton banyak digunakan dalam pembuatan konstruksi dikarenakan kekuatan, keawetan dan juga kemudahan dalam pengerjaannya (*workability*). Namun demikian beton memiliki kelemahan yaitu kuat tarik beton sangat kecil jika dibandingkan dengan kuat tekan beton, mudah retak serta pola keruntuhan yang bersifat getas. Sehubungan dengan pembangunan infrastruktur seperti pembangunan terowongan ataupun bangunan gedung bertingkat yang berada di daerah gempa tinggi membutuhkan material yang memiliki mekanisme keruntuhan yang daktil. Hal ini bertujuan untuk apabila terjadi keruntuhan beton masih mampu menahan beban secara terus menerus walaupun dalam kondisi retak se-

hingga masih memungkinkan tindakan penyelamatan. Oleh karena itu diperlukannya suatu cara untuk mengatasi hal tersebut dengan menambahkan tulangan ataupun dengan mencampurkan serat kedalam campuran beton. Menurut Dining Y (2003) dalam As'ad (2006) pemberian serat kedalam beton akan meningkatkan kinerja beton dalam hal kuat tarik, kuat geser, kuat lentur, kemampuan mereduksi retak, kemampuan menahan susut, kemampuan menahan dampak, kemampuan menahan api.

Untuk mengetahui perilaku daktil suatu material dapat diidentifikasi dari perilaku suatu material pada waktu menerima beban lentur. Penelitian ini akan menggunakan uji *toughness panel* beton serat yang akan memberikan gambaran tentang perilaku *bi-axial bending* terhadap beban terpusat dengan *simple support* tertentu yang dapat merepresentasikan dengan perilaku *in situ lining* yang sebenarnya.

LANDASAN TEORI

Beton Berserat (*fibre reinforced concrete*)

Menurut Mulyono (2003) beton serat didefinisikan sebagai campuran beton ditambah serat, umumnya berupa batang-batang dengan ukuran 5-500 μm , dengan panjang sekitar 25 mm. Beton serat pada dasarnya beton dengan penambahan serat yang secara *random* untuk menaikkan kuat tariknya. Beton serat akan memberikan kuat tarik yang lebih baik dari beton biasa, menaikkan ketahanan terhadap retak (*crack*), serat menaikkan daktilitas. Kekuatan beton berserat ditentukan oleh interaksi antara matriks dan serat pengisi. Menurut Balaguru dan Syah (1992) dalam Istiqomah dan Imran (2012) parameter yang menentukan kekuatan dari beton berserat adalah: kondisi matriks sebelum dan sesudah retak, komposisi matriks, geometri serat, tipe serat yang digunakan, permukaan serat, kekakuan serat dibanding dengan kekakuan matriks, volume serat yang ditambahkan.

Uji *Toughness Panel*

Untuk mengetahui perilaku daktil suatu material dapat dilihat dari perilaku material pada waktu menerima beban lentur. Selain itu dari beton berserat dapat juga diamati perilaku paska retaknya. Lentur *toughness* (*flexural toughness*) adalah kapasitas absorpsi energi dari suatu material yang dapat dihitung dari luasan dibawah kurva tegangan regangan atau perilaku pada hubungan beban dan defleksi dari suatu elemen. kontribusi utama serat baja dalam kinerja beton adalah peningkatan *toughness* yang signifikan karena resistensi tarik sisa oleh serat menjembatani kekuatan setelah kegagalan retak beton. Uji *toughness panel* merupakan salah satu uji penelitian yang digunakan untuk mengetahui kapasitas absorpsi energi serta mengetahui perilaku beton berserat paska retak. Uji *toughness panel* beton serat akan memberikan gambaran tentang perilaku *bi-axial bending* terhadap beban terpusat dengan *simple support* tertentu yang dapat merepresentasikan mode kegagalan *in situ lining* yang sebenarnya seperti pada konstruksi *concrete slab on grade*, *shotcrete tunnel lining*, serta *shotcrete embankment stabilization linings*.

Lentur merupakan sumber yang paling umum dalam tegangan tarik struktur. Pengujian lentur sangat beragam untuk dapat mengevaluasi perilaku beban – lendutan dan kekuatan tarik yang terjadi pada suatu pengujian. Pengujian lentur menggunakan metode *third point loading* maupun metode *four point loading* yang sudah dideskripsikan dan digunakan dalam pengujian lentur laboratorium. Pengujian dengan metode *four point loading* memiliki kelebihan dibandingkan metode *third point loading* karena daerah pengujian tengah *specimen* mengalami momen lentur yang lebih konstan, terutama apabila diaplikasikan dalam pengujian lentur beton berserat baja. Lebih spesifik lagi, apabila diterapkan dalam rekayasa terowongan akan lebih tepat dengan pengujian *fourth point loading* dibanding metode *third point loading* dimana membutuhkan momen lentur rendah yang dikombinasikan dengan gaya normal tinggi.

Uji *toughness panel* ini berbeda dengan pengujian metode *third point loading* maupun *fourth point loading* dilihat pada gaya lentur yang bekerja. Untuk pengujian *toughness panel* memang dirancang agar sesuai dengan pola kegagalan serta perilaku *in situ lining* yang sesuai kondisi sebenarnya yang mana pengujian *toughness panel* ini menghasilkan *bi-axial bending* sedangkan pada metode *third point loading* akan bekerja gaya lentur uni aksial.

Uji *toughness panel* yang akan dilakukan dalam penelitian ini menggunakan standar EFNARC EN 14488-5 yang menggunakan benda uji persegi yang berukuran 600 x 600 x 100 mm yang ditumpu pada *simple support* yang berukuran 500 x 500 mm yang dibebani dengan beban terpusat pada tengah bentang benda uji dengan tambahan pada *load point* yang berukuran 100 x 100 mm. Penelitian ini tidak menggunakan standar ASTM C 1550 (*standard test method flexural toughness of fiber reinforced concrete using centrally loaded round panel*) dikarenakan untuk standar Eropa menggunakan standar EFNARC sedangkan standar ASTM digunakan pada Negara bagian Amerika. Perbedaan signifikan pada kedua standar terletak pada benda uji yang mana standar ASTM menggunakan *round panel* dengan berbagai variasi dalam diameter dan ketebalan. Serta *support system* pada standar ASTM yang menggunakan tiga penjepit dengan letak yang simetris. Sedangkan standar EFNARC menggunakan *simple support* yang berbentuk

persegi yang menopang benda uji (pelat) dalam dua arah. Berikut gambar perbandingan metode EFNARC serta ASTM.

Dalam pengujian panel tes, kurva beban lendutan benda uji dicatat. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan analisa penyerapan energi panel. Analisa dapat dengan mudah ditentukan dengan mengintegrasikan daerah di bawah kurva beban lendutan sampai lendutan tertentu. Hasil keluaran dari panel tes berupa kurva beban-lendutan benda uji dan turunannya sebagai plot penyerapan energi dibandingkan defleksi.

Teori Garis Leleh (*yield line theory*)

Keruntuhan pelat dua arah pada beton tanpa serat sebagaimana disampaikan oleh K. W. Johansen yang disebut teori garis leleh. Teori garis leleh menghasilkan solusi batas atas pada masalah pelat. Ini berarti momen kapasitas yang diprediksi pada pelat merupakan harga tertinggi yang diharapkan dibandingkan dengan percobaan. Selain itu, teori ini beranggapan bahwa berlaku perilaku plastis-kaku total, yaitu pelat tetap dasar pada saat collapse sehingga menghasilkan sistem kegagalan yang kaku-bidang.

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dibagi dalam beberapa tahapan. Tahapan ini dimulai dari tahapan pengujian material komposisi beton, tahapan benda uji penelitian dan tahap pengujian benda uji (panel tes).

Benda Uji Penelitian

Benda uji pada penelitian ini berupa panel beton berukuran 10 x 60 x 60 cm sebanyak 18 buah dengan menggunakan *mix design* menurut SK.SNI .T-15-1990-03. Penelitian ini menggunakan satu jenis serat baja berupa berbentuk *end hook* dengan panjang 60 mm dengan dosis yang berbeda. Kadar serat sebesar 0 kg/m³, 20 kg/m³, 40 kg/m³, 60 kg/m³, dan 80 kg/m³.

Pengujian Panel Test

Pengujian ini dilakukan berdasarkan EFNARC Panel Test EN 14488-5 untuk mengetahui hubungan antara deformasi beton berserat baja dengan gaya yang dibebankan. Pengujian ini dilakukan pada umur benda uji 28 hari. Sistem pembebanan dengan terpusat pada tengah benda uji dengan dilengkapi *support system* yang menopang benda uji dalam dua arah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Beton Segar

Tabel 1 Hasil Pengujian Nilai *Slump*

No	Jenis Benda Uji	Kode benda uji	Nilai Slump (cm)
1	Tanpa Serat	NF-0	10
2	Serat Baja 20	NF-20	10
3	Serat Baja 40	NF-40	8
4	Serat Baja 60	NF-60	7
5	Serat Baja 80	NF-80	7

Berdasarkan tabel 1 didapat hasil dimana nilai slump benda uji semakin menurun. Hal ini dikarenakan adanya efek dari penambahan serat akan mengurangi *workability* beton. Serat akan menambah komponen pengisi beton oleh karena itu semakin banyak serat yang dicampurkan akan memberikan gaya tarik antar komponen yang semakin kuat juga yang akan menyebabkan semakin susah dalam pemrosesan komponen.

Tabel 2 Hasil Pemeriksaan Distribusi Serat Beton Segar

Jenis Benda Uji	Pengambilan Ke-					Rata-rata	Teoritis	Standar Deviasi
	1	2	3	4	5			
NF20A	14	15	17	21	14	17	19	3.082
NF40A	28	29	25	23	32	28	37	3.571
NF60A	46	39	43	48	37	43	56	4.637

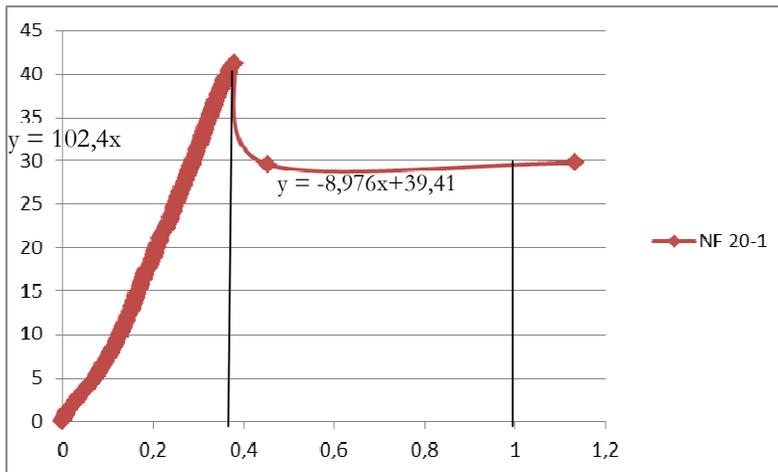
Pengujian Panel Tes

Pengujian panel dilakukan dengan menggunakan alat *Loading Frame* didapatkan nilai beban maksimum (P_{max}). Berdasarkan data P_{max} tersebut kemudian dapat dibandingkan antara lendutan pada retak pertama serta lendutan pada beban ultimit pelat. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut:

Table 3 Hubungan Beban – Lendutan Pelat dengan Kadar Serat yang Berbeda.

Dosis Serat (kg/m ³)	Kode Benda Uji	Retak Pertama		Ultimit Beban (kN)	Lendutan (mm)
		Beban (kN)	Lendutan (mm)		
0	NF0-1	35	0.296	35	0.296
	NF0-2	32.20	0.239	32.20	0.239
	NF0-3	37.40	0.367	37.40	0.367
20	NF20-1	41.20	0.453	41.20	0.453
	NF20-2	29.40	0.332	33.20	0.4
	NF20-3	27.65	0.436	35.40	0.601
40	NF40-1	33.20	0.246	48.20	1.171
	NF40-2	34.60	0.247	59.20	0.402
	NF40-3	34.40	0.265	65.40	0.689
60	NF60-1	29.40	0.304	69.80	1.129
	NF60-2	33.80	0.258	78.60	0.588
	NF60-3	47	0.46	76	0.846
80	NF80-1	88.8	0.727	101.80	1.054
	NF80-2	45.40	0.342	106.20	0.915
	NF80-3	54.60	0.457	60.80	0.925

Berdasarkan kurva beban-lendutan dapat dihitung kapasitas energinya. Perhitungan menggunakan integral dengan pendekatan regresi linier maupun regresi polinomial dengan batas lendutan=1 ($\delta=1$) pada kurva beban-lendutan. Contoh perhitungan kapasitas energi pada penambahan serat 20 kg/mm³ sebagai berikut:



Gambar 1 Contoh Perhitungan Kapasitas Energi pada Kurva Beban-Lendutan

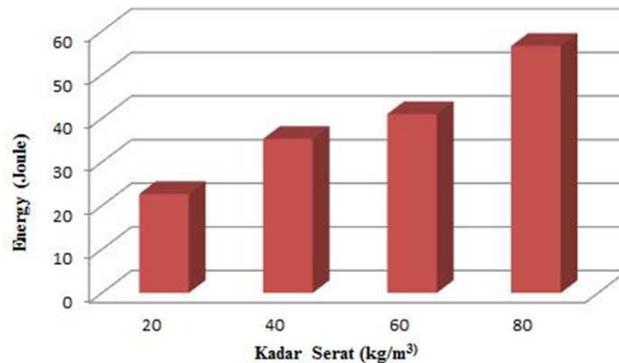
Hasil perhitungan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

- 1.
- 2.

Total Kapasitas Energi = 27,9744 J

Tabel 4 Kapasitas Energi Pelat dengan Kadar Serat yang Berbeda

Dosis Serat (kg/m ³)	Kode Benda Uji	Kapasitas Energi (Joule)	Rata-rata (Joule)
20	NF20-1	27,9744	24,2465867
	NF20-2	17,1783	
	NF20-3	27,5871	
40	NF40-1	31,0234	35,7694667
	NF40-2	37,1616	
	NF40-3	39,1234	
60	NF60-1	45,6827	45,8585167
	NF60-2	47,1211	
	NF60-3	44,7718	
80	NF80-1	62,2044	55,4388333
	NF80-2	59,4862	
	NF80-3	44,6259	

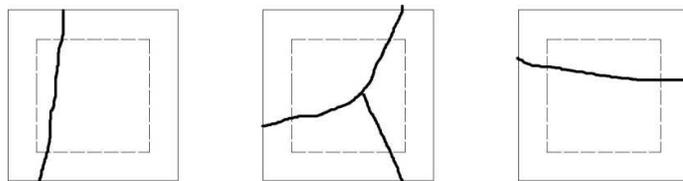


Gambar 2 Luasan Absorpsi Pelat dengan Berbagai Dosis Serat

Berdasarkan hasil pengujian di atas didapat peningkatan penambahan serat efektif dan optimal pada kadar 80 kg/m³ dengan nilai absorpsi energi rata-rata sebesar 55,4388 J. Hal ini masih sesuai dengan *spacing concept* yang menyatakan bahwa volume serat efektif serat hanya dapat dianggap 2 % dari volume sebenarnya. Karena semakin banyak serat yang terdapat pada daerah retak akan semakin memberikan perlawanan terhadap retak itu sendiri sampai serat putus atau terlepas dari mortar. Semakin banyak jumlah serat pada daerah retakan semakin besar pula perlawanan yang diberikan.

Analisis Retak Pelat

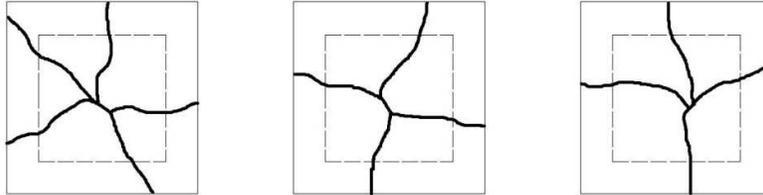
Pelat dengan Kadar Serat 0 kg/m³



Gambar 3 Retak Pelat dengan kadar 0 kg/m³

Pelat tanpa kandungan serat apabila mencapai titik beban maksimum akan terjadi runtuh tanpa adanya gaya penahan runtuh dari serat baja. Dari ketiga benda uji pelat akan mengalami runtuh pada sisi terpanjang (diagonal pelat). Beban ultimit runtuh pada pelat tanpa serat terjadi pada kisaran 35-40 kN. Berdasarkan metode garis leleh, leleh terjadi pada beton non serat hanya membentuk satu sampai tiga garis. Tidak adanya cabang garis lainnya ini menandakan bahwa beton tanpa serat tidak dapat menahan beban kembali paska retak.

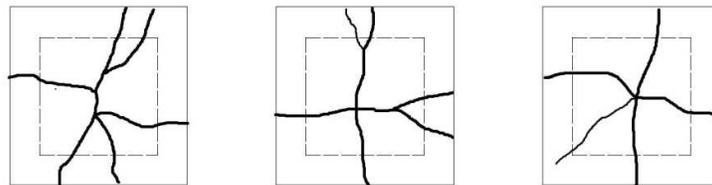
Pelat dengan Kadar Serat 20 kg/m³



Gambar 4 Retak Pelat dengan kadar 20 kg/m³

Pelat dengan kadar serat 20 kg/m³ mengalami retak pada pusat pelat kemudian akan menjalar ke sisi samping. Pelat dengan kadar 20 kg/m³ akan mengalami *first crack* pada kisaran 25-30 kN yang akan mencapai beban ultimit 40 kN. Hal ini menandakan bahwa serat dalam pelat akan menopang gaya runtuh walapun beton telah mengalami retak. Berdasar metode garis leleh, beton dengan kadar serat 20 kg/m³ ini memiliki setidaknya empat garis leleh yang terjadi akan tetapi belum menandakan adanya celah serabut yang menyertai sepanjang garis leleh. Ini merupakan efek dari jumlah serat yang kurang dominan terhadap luasan pelat.

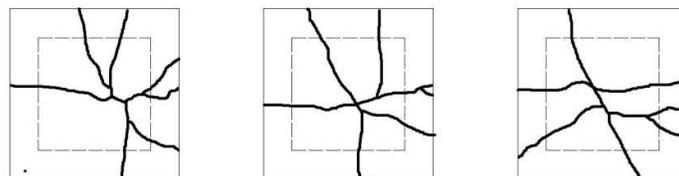
Pelat dengan Kadar Serat 40 kg/m³



Gambar 5 Retak Pelat dengan kadar 40 kg/m³

Pelat dengan kandungan serat 40 kg/m³ mengalami retak pada bagian tengah, ada juga yang pada bagian tengah bentang, serta ada juga retak pada sisi terpendeknya. Pelat akan mengalami *first crack* pada kisaran beban 30-40 kN yang mampu mencapai ultimit pada beban 65 kN. Secara teoritis pelat dengan kandungan 40 kg/m³ memberikan kinerja yang lebih baik dilihat dari retak pertama maupun beban ultimitnya. Berdasarkan metode garis leleh, garis yang membentuk pada pelat beton serat dengan kandungan serat 40 kg/m³ terdapat setidaknya enam garis leleh. Pelat dengan kandungan serat 40 kg/m³ ini sudah muncul serabut-serabut kecil pada garis leleh yang terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa serat dalam pelat masih berfungsi menahan beban paska retak terjadi ketika pelat terus menerus dibebani.

Pelat dengan Kadar Serat 60 kg/m³

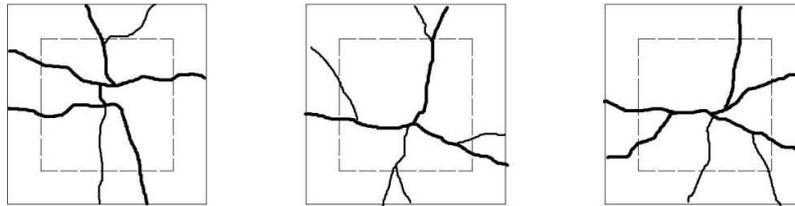


Gambar 6 Retak Pelat dengan kadar 60 kg/m³

Pelat dengan kandungan serat 60 kg/m³ akan mengalami retak pada sisi terpendek pelat. Retak juga bermula pada tengah bentang pelat akan tetapi pelat dengan kadar 60 kg/m³ ini dapat menyokong retak lebih baik dibandingkan 40 kg/m³. *First crack* pada pelat dengan kadar 60 kg/m³ terjadi pada kisaran 30-50 kN dan mampu menca-

apai ultimitnya pada beban >70 kN. Hal ini menunjukkan bahwa dengan distribusi serat pada daerah retak pelat akan mampu memberikan gaya penahan lebih optimal. Berdasarkan metode garis leleh, pelat beton dengan kandungan serat 60 kg/m³ memiliki setidaknya enam sampai tujuh garis leleh yang terjadi. berbeda dengan pelat dengan kandungan 40 kg/m³ serabut-serabut serat yang terjadi pada garis leleh sudah terlihat jelas seperti garis leleh. Sehingga serabut garis yang terjadi pada pelat beton ini sudah bisa diidentifikasi sebagai garis leleh lanjutan yang terjadi pada garis leleh retak pertama.

Pelat dengan Kadar Serat 80 kg/m³



Gambar 7 Retak Pelat dengan kadar 80 kg/m³

Pelat dengan kadar serat 80 kg/m³ mengalami runtuh yang mana terjadi retak pada tengah bentang pelat yang menjalar pada sisi-sisi terpendek pelat. Kinerja beton serat dengan kandungan serat 80 kg/m³ ini mampu menahan retak dari ratak pertama pada kisaran 40-60 kN hingga mencapai beban ultimit pada 100 kN. Ini menunjukkan bahwa serat mampu menahan retak pada beton secara maksimum dengan memperhatikan distribusi serat itu sendiri. Berdasarkan metode garis leleh, garis leleh yang terjadi pada pelat beton dengan kandungan 80 kg/m³ ini terdapat Sembilan garis leleh yang terjadi, yang mana garis leleh lanjutan terjadi pada serabut garis terhadap garis leleh pertama. Ini mengidentifikasikan bahwa pelat beton dengan kadar 80 kg/m³ ini mampu menahan retak terus menerus mencapai titik leleh sekumpulan serat yang ada pada garis leleh yang terjadi akibat retak pertama.

Pengaruh Kadar Serat pada Kinerja Beton Serat ditinjau dari Uji Lentur dan Kuat Tari Belah

Tabel 5 Rekapitulasi Hasil Pengujian

Dosis Serat (kg/m ³)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Lentur (MPa)	feqms (MPa)	feqmu (MPa)
0	3.067	2.478	0	0
20	3.421	2.973	1.836	3.773
40	3.845	3.407	1.261	3.947
60	4.081	3.903	1.167	4.401
80	4.435	5.575	0.991	5.206

Sumber : *Ahmad Saifudin, 2014*

Tabel 5 menunjukkan bahwa kuat lentur beton cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya dosis serat. Kenaikan kuat lentur terbesar terjadi pada pemakaian serat dengan aspek rasio 80 dengan dosis 80 kg/m³ yang meningkat 122,5% dibandingkan dengan beton normal. Peningkatan nilai kuat lentur pada beton serat ini disebabkan oleh adanya mekanisme penyerapan energi yang terjadi akibat adanya serat. Sifat serat dalam beton berfungsi maksimal dengan menahan beton dalam keadaan retak. Semakin banyak jumlah serat pada daerah retakan semakin besar pula transfer beban yang dapat dilakukan. Hal ini relevan dengan hasil uji panel tes yang dilakukan dengan hasil seiring bertambahnya dosis serat mengalami energi penyerapan absorpsi yang cenderung meningkat juga. Dosis serat paling optimal terjadi pada kandungan 80 kg/m³ yang memiliki energi absorpsi rata-rata sebesar 55,4388 J. Peningkatan ini dikarenakan pada beton serat gaya tarik yang terjadi di dalam beton ditahan bersama-sama oleh beton dan serat walaupun retak sudah terjadi pada pelat beton.

Tabel 5di atas menunjukkan bahwa kuat tarik belah beton cenderung mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya dosis serat. Hal ini terlihat dari tren kenaikan kuat tarik belah beton dengan aspek rasio 80 selalu lebih tinggi dan mencapai puncaknya saat dosis 80 kg/m³ yang meningkat 44,62% dibandingkan beton normal. Hal ini sesuai dengan *composite material concept* yang menyatakan bahwa antara matrik beton dan serat merupakan satu kesatuan yang saling mendukung yang menahan tegangan dalam yang timbul akibat pembebanan. Hal ini juga sangat relevan dengan hasil pengujian panel tes. Yang memiliki kecenderungan semakin banyak jumlah serat yang ditambahkan semakin banyak pula perlawanan serat dalam beton untuk menahan beban terutama paska retaknya. Dengan dosis 80 kg/m³ yang ditambahkan dalam beton maka akan memberikan dampak menahan beban yang paling optimal dengan besar rata-rata energi absorpsi sebesar 55,4388J.

SIMPULAN

Berdasarkan seluruh pengujian, analisis data, dan pembahasan yang dilakukan dalam penelitian, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemakaian serat baja memberikan dampak yang signifikan terhadap beton dilihat dari kurva kemiringan baban-lendutan yang mana kurva tersebut masih bisa mengalami peningkatan walau beton sudah mengalami *crack* berkali-kali. Berdasar kurva beban-lendutan panel dengan dosis serat 80 kg/m³ bisa mengalami retak sebanyak 5 kali.
2. Pemakaian serat baja menghasilkan beton yang lebih kaku dan daktil dari beton biasa, dan optimal pada penambahan serat dengan dosis 80 kg/m³ yang memiliki nilai energi absorpsi rata-rata sebesar 55,4388 Joule.
3. Kinerja paling optimal terjadi pada beton serat dengan kandungan serat 80 kg/m³ ini mampu menahan retak dari ratak pertama pada kisaran 40-60 kN hingga mencapai beban ultimit pada 100 kN. Serta kuat lentur terbesar terjadi pada pemakaian serat dengan aspek rasio 80 dengan dosis 80 kg/m³ yang mencapai 5,513 MPa dan juga kuat tarik belahnya mencapai puncaknya saat dosis 80 kg/m³ yang mencapai 4,435.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Dr. techn. Ir. Sholihin As'ad, MT dan Achmad Basuki, ST, MT yang telah membimbing, memberi arahan dan masukan dalam penelitian ini.

REFERENSI

- As'ad, S. 2007. *Teknologi Beton Serat*. dalam buku: Potret Hasil Karya Iptek, 32 Tahun UNS Mengabdikan Bangsa. ISBN 979-498-401-9. UNS Press
- Baros J et al. 2014. Evaluation of The Influence of Post-Cracking Response of Steel Fibre Reinforced Concrete (SRFC) on Load Carrying Capacity of SFRC Panels. Thesis. Department of Civil Engineering, University of Minho, Guimaraes, Portugal
- Dwicahyani, Arum. 2012. *Perbandingan Kuat Tekan dan Kuat Lentur Beton Serat Limbah Bubut Besi Terhadap Beton Serat Fabrikasi*. Skripsi. Program Studi Teknik Sipil, UNS, Surakarta
- Mulyono, Tri. 2003. *Teknologi beton*. Jakarta: Penerbit Andi.
- Mc. Cormac, J.C. 2003. *Design of Reinforced Concrete (Fifth edition)* (terjemahan). Jakarta: Erlangga
- Istiqomah, Iswandi. 2012. Perilaku Lentur Mortar Dengan Sabut Kelapa. Jurnal Ilmiah Konteks 6. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.
- Saifudin. Ahmad. 2014. Pengaruh Dosis, Aspek rasio, dan Distribusi serat terhadap Kuat Lentur dan Kuat Tarik Belah Beton Berserat Baja. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Soroushian, P. And Bayasi, Z. 1987. *Concept of Fibre Reinforced Concrete*. Michigan State University, Michigan
- Tjokrodinuljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada.
- Yenny Nurchasanah. 2012. Durabilitas Beton Dengan Bahan Baku Tanah Sebagai Pozolan Alam. Jurnal Ilmiah Konteks 6. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.
- Zollo, RF. 1997. Fibre-reinforced concrete, an overview after 30 years of development. *Cement and Concrete Composite*, 19: 107-122