

# KINERJA PERKERASAN JALAN BETON SEMEN DENGAN SERAT POLIMER SINTETIS (CEMENT CONCRETE ROAD PAVEMENT PERFORMANCE WITH SYNTHETIC POLYMERS FIBERS)

A. Tatang Dachlan

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan  
Jl. A.H. Nasution 264 Bandung 40294  
Email : atatangd@yahoo.com  
Diterima : 05 September 2011; Disetujui : 07 Desember 2011

## ABSTRAK

Beton semen Portland dianggap sebagai material yang relatif rapuh, karena bila mengalami tarik yang melampaui kuat tarik lentur, beton tanpa perkuatan akan retak. Beton dengan bahan tambah serat sintetis sebagai perkerasan jalan menjadi suatu alternatif karena berdasarkan literatur telah membuktikan bahwa kinerja perkerasan tersebut menunjukkan keunggulannya. Ujicoba skala penuh perkerasan tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kinerjanya setelah dimonitor selama dua tahun. Hasil uji laboratorium dan lapangan dibandingkan dengan perkerasan jalan beton konvensional, termasuk aspek-aspek selama pelaksanaan ujicoba. Hasil uji laboratorium menunjukkan pola keruntuhan beton yang relatif lebih tahan, dapat menyerap energi lebih besar, lebih efektif digunakan pada struktur dengan luas area yang besar seperti lantai jembatan dan perkerasan jalan. Hasil evaluasi lapangan menunjukkan bahwa serat polimer sintetis dalam beton dapat menghambat penyebaran retak yang relatif besar, memiliki daktilitas yang sangat tinggi, dan untuk struktur berbentuk slab dapat meningkatkan kapasitas lentur setelah retak awal beton. Panjang slab dapat dibuat sekitar (7–15) meter.

**Kata kunci:** serat polimer sintetis, beton serat, beton konvensional, daktilitas, perkerasan jalan beton, beton bertulang serat (BBS)

## ABSTRACT

Portland cement concrete is considered as a relatively brittle material, because if it experiences exceeded flexural tensile strength, the concrete without reinforcement will crack. Concrete added with synthetic fibers becomes an alternative solution for road pavement material, based on some literature studies showed its superiority. Full-scale trial was conducted to find out its performance after two-year monitoring. Laboratory and field test results were compared with conventional concrete pavement including aspects of experiments. Laboratory tests show the collapse pattern which relatively more resistant, absorb more energy, used more effectively on structures with a large area such as bridges and pavement slab. The result of field evaluation shows that the synthetic polymer fibers in concrete can inhibit the spread of bigger crack, has very high ductility, for slab-shaped structure can increase flexural capacity after the initial cracking of concrete. The length of slab can be created of about 7–15 metres.

**Keywords:** synthetic polymer fiber, fiber concrete, conventional concrete, ductility, road concrete pavement, fiber reinforced concrete (FRC)

## PENDAHULUAN

Beton semen Portland dikenal sebagai bahan yang kuat menahan tekan tetapi sampai batas tertentu relatif rapuh. Bagian tarik pada balok akan mengalami retak walaupun hanya mengalami tegangan tarik yang tidak terlalu besar. Hal ini disebabkan adanya retak rambut yang merupakan sifat alami dari beton semen. Secara struktural kondisi semacam ini sering dianggap bahwa retak hanya terdapat pada permukaan dan tidak dalam sehingga dapat diabaikan karena tegangan tarik telah disokong sepenuhnya oleh perkuatan tulangan tertentu pada posisi yang benar dan dalam jumlah yang cukup. Bila beton mengalami tarik, beton tanpa perkuatan akan retak dan runtuh.

Sejak pertengahan 1800's, baja tulangan telah digunakan untuk mengatasi masalah ini. Sebagai sistem komposit, baja tulangan dianggap dapat mengakomodasi semua beban tarik. Bila serat penguat ditambahkan pada campuran beton, dapat menambah kapasitas tegangan tarik dari sistem komposit. Dari beberapa literatur penelitian menunjukkan bahwa kekuatan utama dari beton dapat ditingkatkan sampai sekitar lima kali lipat dengan menambahkan serat penguat (*Hedda Vikan, 2007*). Bahan serat sintetis sebagai bahan tambah campuran beton semen sudah banyak digunakan untuk berbagai keperluan infrastruktur karena dianggap tidak berkarat, ringan dan lebih murah dari pada serat baja.

Maksud dan tujuan tulisan ini adalah melakukan uji laboratorium dan lapangan untuk mengetahui keunggulan beton dengan bahan tambah serat sintetis, melalui suatu monitoring dan evaluasi setelah perkerasan beton berumur sekitar dua tahun.

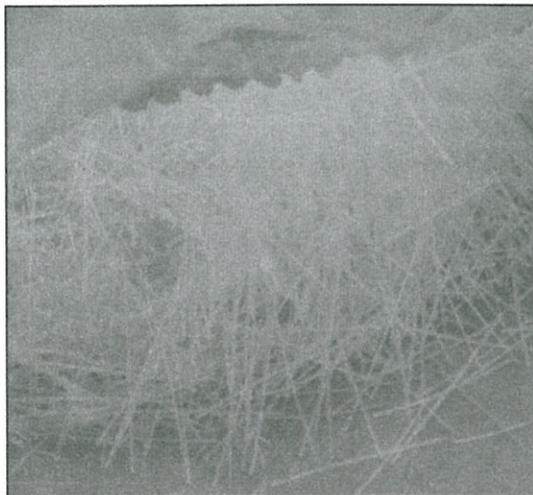
## KAJIAN PUSTAKA

Kamran M. Nemati, (2010) dalam bukunya *Concrete Technology* menerapkan serat dalam campuran beton semen untuk lembaran tipis beton (panel), genteng, pipa, beton pracetak, slab beton, beton tembak (*Shotcrete*), dinding, dek beton komposit, brankas, dan beton struktur

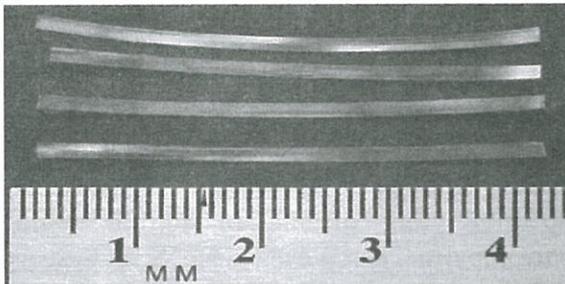
tahan tumbukan. Untuk bangunan struktural dan non struktural, serat baja adalah paling umum digunakan dari semua serat. Dalam beton serat terbukti ada peningkatan yang cukup besar pada perilaku pasca retak beton yang mengandung serat. Meskipun kekuatan tarik dalam beton serat tidak meningkat banyak, tetapi mampu mencegah pecah (*rupture*) oleh kemampuan tegangan tarik yang dimilikinya. Dibandingkan dengan beton biasa, beton bertulang serat jauh lebih alot (*tough*) dan lebih tahan terhadap tumbukan.

Roesler J.R. dan Gaedicke M.C. dari *University of Illinois, Dept of Civil & Environmental Engineering* (2004) dalam makalahnya tentang *Fiber Reinforced Concrete for Airfield Rigid Pavements* menyampaikan bahwa serat sintetis telah terbukti meningkatkan ketahanan terhadap tumbukan, dapat meningkatkan keuletan (*toughness*) beton terutama bila ditambah dengan serat lebih dari satu persen, serta dapat meningkatkan kedapapan pada struktur beton. Jenis utama dari bahan serat polimer yang digunakan adalah nilon, polypropylene, dan polyethylene. Serat tersebut tersedia dalam berbagai bentuk, aspek rasio (panjang/diameter serat), dan kemasan. Penambahan serat struktural sintetis untuk balok beton polos telah menunjukkan nilai yang setara dengan kuat lentur beton bertulang serat baja. Perkerasan beton dengan bahan tambah serat telah berhasil dirancang dan dibangun walaupun terdapat beberapa kerusakan yang prematur. Secara keseluruhan, kerusakan perkerasan beton serat karena tebal yang tidak cukup terutama untuk rancangan pelapisan tambah dan/atau jarak sambungan yang relatif lebih dari 10 meter (30ft.).

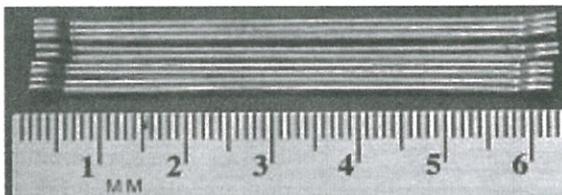
Pada lapisan beton serat ultra-tipis dengan ukuran slab yang relatif besar, pada usia dini biasanya terjadi retak sudut, retak lebar, dan *spalling* pada sambungan. Serat sintetis (*synthetic fiber*) berbentuk batang ditunjukkan dalam Gambar 1 dan serat baja berbagai bentuk dan ukuran ditunjukkan dalam Gambar 2.



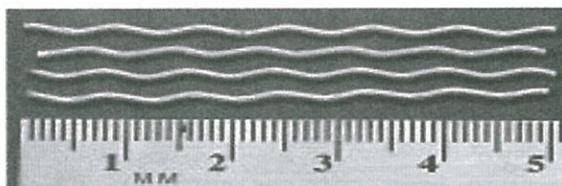
**Gambar 1.** Serat sintetik (*Synthetic Fibre*) berbentuk batang panjang 60 mm (Retno 2010)



a. Serat makro sintesis

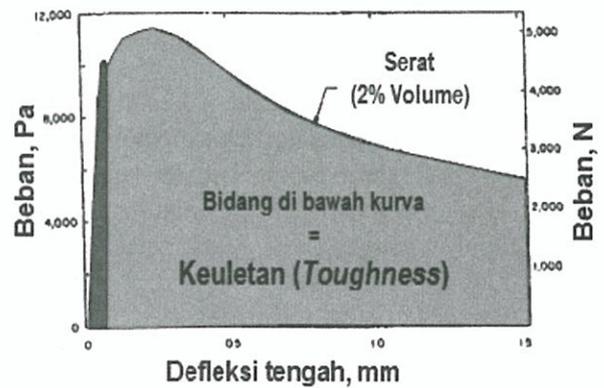


b. Serat baja dengan ujung-berkait



c. Serat baja keriting

**Gambar 2.** Tipikal jenis serat yang digunakan dalam beton (J.R. Roesler, 2004. *Technical Note*)



**Gambar 3.** Defleksi vs Beban

Beton polos yang mengalami defleksi tiba-tiba pecah setelah melampaui kuat lentur, tetapi beton bertulang serat dapat terus menahan beban yang cukup besar melebihi defleksi beton biasa.

Pengujian retak pada benda uji beton bertulang serat menunjukkan bahwa kegagalan terjadi terutama disebabkan serat terlepas ikatannya. Pada benda uji beton bertulang serat, setelah terlebih dahulu mulai retak, tidak segera pecah. Hal ini dapat meningkatkan efek samping berupa ketahanan terhadap pecah seperti digambarkan oleh area di bawah kurva beban-lendutan dalam Gambar 3. Mekanisme keruntuhan adalah adanya tarikan (*pull-out*). Penambahan serat dalam beton biasa dapat mengurangi kemudahan kerja (*workability*), tetapi tetap memiliki konsistensi yang sangat rendah. Penuangan (*placeability*) dan pemadatan (*compactability*) pada beton biasa tetap jauh lebih baik dari pada beton serat dengan konsistensi rendah.

### Pengaruh Serat Pada Beton

Serat biasanya digunakan dalam beton untuk mengontrol penyusutan retak plastis dan retak susut akibat pengeringan. Hal ini juga mengurangi permeabilitas beton sehingga mengurangi penggumpalan air. Beberapa jenis serat menghasilkan ketahanan tumbukan, abrasi dan ketahanan hancur yang lebih tinggi. Umumnya serat tidak meningkatkan kekuatan lentur beton, sehingga tidak dapat menggantikan momen untuk menahan seperti tulangan baja struktural.

Beberapa serat mengurangi kekuatan beton. Jumlah serat yang ditambahkan ke campuran beton biasa diukur sebagai persentase dari total volume komposit (beton biasa dan serat) disebut (Vf). Vf biasanya berkisar 0,1-3%.

Aspek rasio ( $l / d$ ) dihitung dengan membagi panjang serat ( $l$ ) dengan diameter ( $d$ ). Serat dengan penampang non-sirkular menggunakan diameter ekuivalen untuk perhitungan rasio aspek. Jika modulus elastisitas serat lebih tinggi daripada matriks (pengikat beton biasa atau mortar), hal itu membantu untuk meningkatkan kekuatan tarik bahan.

Peningkatan serat biasanya pada segmen-segmen kekuatan lentur dan ketahanan dari matriks. Serat yang terlalu panjang cenderung membola dalam campuran dan menciptakan masalah *workability*. Beberapa penelitian terbaru menunjukkan bahwa menggunakan serat dalam beton biasa memiliki efek terbatas pada perlawanan dampak. Temuan ini sangat penting karena biasanya orang memikirkan bahwa daktilitas meningkat jika beton bertulang dengan serat. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa serat mikro lebih baik dalam ketahanan terhadap tumbukan dibandingkan dengan serat panjang.

Beberapa kemungkinan beton dengan bahan tambah serat meliputi antara lain:

- a) Meningkatkan kekuatan tarik beton.
- b) Mengurangi rongga udara dan rongga air yang melekat porositas gel.
- c) Meningkatkan durabilitas beton.
- d) Serat seperti grafit dan kaca memiliki ketahanan yang sangat baik untuk rangkai, tetapi tidak berlaku untuk kebanyakan resin. Oleh karena itu, orientasi dan volume serat memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja rangkai baja tulangan / tendon.

#### **Beton Bertulang Serat Polimer (*Polymer Fibre Reinforced Concrete, PFRC*)**

Menurut Sikder et al yang dilaporkan oleh Soni Dr. K. M., dari New Delhi (2012), serat polimer yang digunakan tidak ada resiko korosi dan juga biaya yang efektif. Serat polimer yang biasanya digunakan adalah salah satu dari poliester atau *polypropylene*. Hasil pengamatan

menunjukkan bahwa jarak retakan pada perkerasan jalan beton dapat dibuat antara 7 dan 9 m.

#### **Serat Sintetik BarchipR60 (*Setiati, Retno.N 2010*)**

Hasil penelitian beton serat sintetik BarchipR60 yang telah dilaksanakan dan dilaporkan (R. Setiati, 2010) mempunyai karakteristik seperti ditunjukkan dalam Tabel 1. Sifat-sifat serat sintetik yang diuji di laboratorium adalah sebagai berikut:

- Serat BarChip dalam beton dapat menghambat penyebaran retak yang lebih besar, memiliki daktilitas yang sangat tinggi, dan untuk struktur seperti slab dapat meningkatkan kapasitas lentur.
- Dapat mempertahankan beban setelah retak awal beton.
- Pola keruntuhan beton lebih tahan.
- Menyerap energi lebih besar.
- Lebih efektif digunakan pada struktur dengan luas area yang besar (pelat perkerasan jalan, dinding terowongan, lantai dll).

**Tabel 1.** Serat Sintetik BarChipR60

Karakteristik	Sifat Material
Resin Dasar	Modified Olefein
Panjang	60 mm
Kuat Tarik	640 MPa
Tekstur permukaan	Timbul bersulam menerus
Jumlah serat per kilogram	33.000 buah
Berat Jenis	-- --
Modulus Youngs	10 GPa
Titik leleh	150 – 165°C
Titik nyala	Lebih dari 450°C

<sup>\*)</sup> Sumber: Retno, 2010

#### **HIPOTESIS**

Perkerasan beton dengan bahan tambah serat polimer sintesis yang dilaksanakan dengan cara cor di tempat, dapat menahan kecepatan retak, kuat menahan beban berat dan jarak sambungan dapat lebih panjang dari pada beton konvensional.

## METODOLOGI

Metodologi penelitian yang digunakan adalah metoda deskriptif kajian literatur hasil penelitian dari negara-negara yang telah menerapkan perkerasan jalan beton serat, pengumpulan data primer hasil uji laboratorium dan hasil ujicoba skala penuh serta data survai penilaian kondisi, pemetaan kerusakan, dan pengukuran defleksi vertikal.

### Pengujian Standar

Pengujian kuat tekan untuk semua benda uji dilakukan dengan mengikuti prosedur sesuai dengan standar SNI 03-1974. Pengujian uniaksial tekan ( $\sigma_1 = \sigma_3$ ,  $\sigma_2 \neq 0$ ) dilakukan menggunakan alat *Umatta Testing Machine* (UTM).

Pengujian kuat tarik belah beton untuk semua benda uji dilakukan sesuai dengan SNI 03-2491. Uji kuat tarik belah merupakan alternatif terhadap uji kuat tarik langsung. Benda uji berupa silinder yang digunakan untuk pengujian kuat tekan. Kuat tarik belah dihitung dengan rumus  $f_{ct} = 2P/L.D$ .  $f_{ct}$  = kuat tarik belah;  $P$  = beban uji maksimum;  $L$  = panjang benda uji, dan  $D$  = diameter atau lebar benda uji.

Pengujian kuat tarik lentur balok dengan dua titik pembebanan dilakukan menggunakan benda uji berukuran 150 mm x 150 mm x 750 mm sesuai dengan SNI 03-4431.

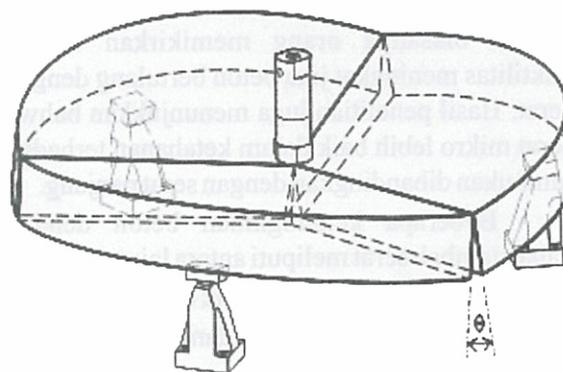
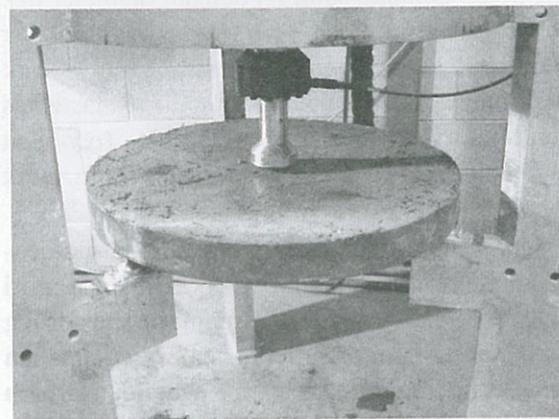
Pengujian *Flexural Toughness* pada beton bertulang serat (*Fiber Reinforced Concrete*) menggunakan pembebanan terpusat di tengah benda uji. Benda uji berbentuk panel di laboratorium menurut ASTM C 1550 *Round Determinate Panel* (RDP), ditunjukkan dalam Gambar 4. Dalam metode uji ini, energi yang terserap dianggap sebagai kemampuan beton yang terdistribusi terhadap tegangan pada beton sampai runtuh.

### Penilaian Kondisi Visual dan Pemetaan (*Visual Distress and Mapping*)

Penilaian kondisi permukaan meliputi pencatatan kondisi retak memanjang, retak melintang, retak sudut, retak tidak beraturan

(*irregular*), *spalling*, *faulting*, *rocking*, *pumping* dan kerusakan lainnya.

Pemetaan kerusakan dilakukan secara rinci dengan memplotkan jenis kerusakan dan lokasi yang tepat, lengkap dengan posisinya sesuai dengan titik acuan yang ada.

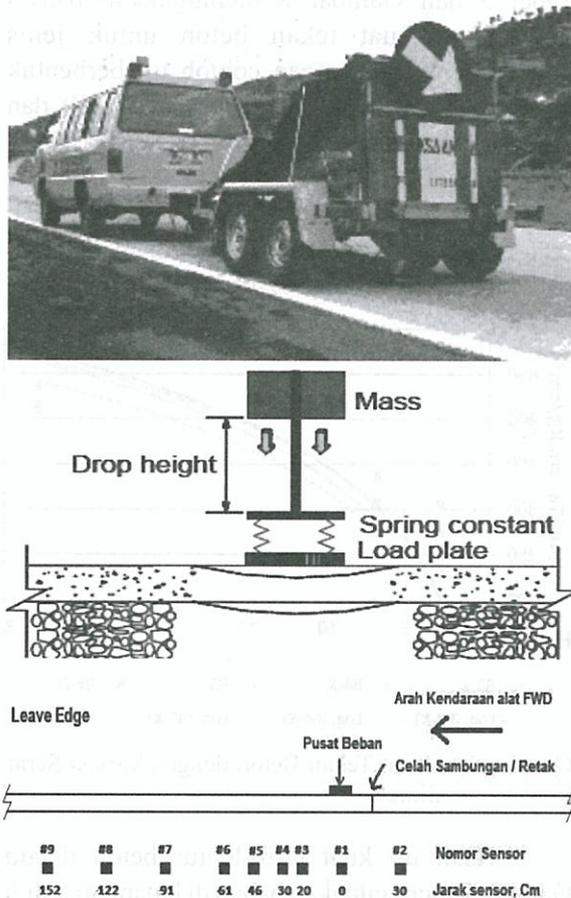


Gambar 4. Uji *Flexural Toughness* dengan *Round Determinate Panel* (RDP)

### Uji Defleksi Vertikal dengan *Falling Weight Deflectometer* (FWD)

Pada penilaian kondisi, titik-titik yang mengalami kerusakan seperti *pumping*, getaran atau lendutan yang besar biasanya dapat dilihat secara kasat mata pada saat kendaraan truk berat melintasi sambungan antar slab. Pada titik tersebut dilakukan uji defleksi vertikal menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD). FWD dapat mengukur lendutan vertikal

pada sambungan antara slab beton, di sudut slab dan di tengah slab. Alat tersebut mengukur lendutan perkerasan akibat beban yang dijatuhkan di atas permukaan, ditunjukkan dalam Gambar 5. Dalam Gambar 6 diperlihatkan alat FWD dan mekanisme pembebanan dan lendutan yang dicatat komputer pada penelitian oleh *The California Department of Transportation* (FHWA, 2007).



**Gambar 5.** Mekanisme Pengukuran Lendutan dengan alat FWD

### Metoda Evaluasi dan Kriteria Defleksi

AASHTO (1993) dan *The Asphalt Institute*, (2000) merekomendasikan pengukuran voids di bawah panel seperti ditunjukkan dalam Gambar 6. Untuk evaluasi kondisi defleksi sebelum perbaikan dilakukan survei pengukuran lendutan sesuai dengan parameter data pada Tabel 2 dan Tabel 3. Dengan data tersebut sudah

cukup dapat mengidentifikasi kondisi rongga dan efisiensi transfer beban.

**Tabel 2.** Kriteria Defleksi (*The Asphalt Institute MS-17*)

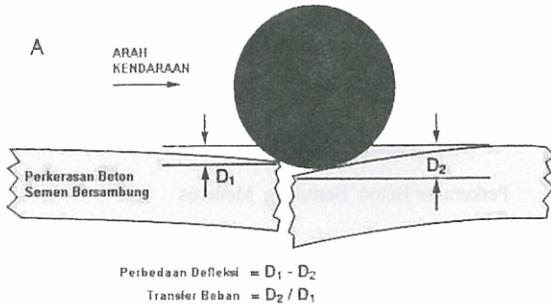
No.	Kriteria	Defleksi Maksimum (mm)	
		B.Beam	FWD
A	Perkerasan Beton Bersambung		
	a. Perbedaan defleksi ( $D_2-D_1$ )	0,05	0,08
	b. Nilai tengah defleksi $(D_2+D_1)/2$	0,36	0,57
B	Perkerasan Beton Bertulang Menerus ( $D_3$ )	0,27	0,44

**Tabel 3.** Rasio Defleksi dan Efisiensi Transfer Beban (*The Asphalt Institute MS-17*)

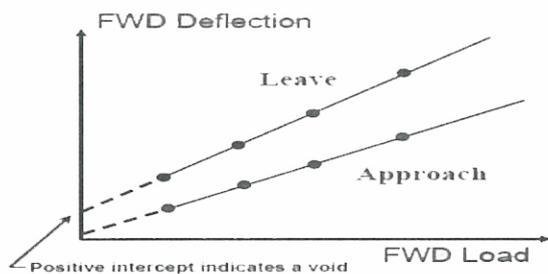
Rasio $D_2/D_1$	Efisiensi Transfer Beban
$> 0,75$	Baik
" "	Cukup
$< 0,60$	Buruk

Bila defleksi menunjukkan nilai lebih besar dari pada ketentuan dalam Tabel 2 dan rasio defleksi atau transfer beban  $D_2/D_1$  dalam Tabel 3 kurang dari 0,6 merupakan indikasi bahwa slab tidak stabil, terjadi pumping dan kerusakan lainnya, maka tindakan korektif seperti *undersealing slab* harus dilakukan.  $D_1$  adalah lendutan pada tepi slab yang dibebani (*loaded*) dan  $D_2$  lendutan di bawah tepi slab yang tidak dibebani (*unloaded*). Ketentuan dalam Gambar 6 berlaku untuk perkerasan beton bertulangan menerus. Dalam Tabel 3 untuk beton bertulangan menerus dibatasi lendutan  $D_3$  maksimum adalah 0,44 mm dan bila lebih besar dari 0,44 mm maka tindakan korektif harus dilakukan. Berdasarkan batasan defleksi FWD pada Tabel 2 dan Tabel 3, maka  $d_2$  maksimum 610 mikron dan  $d_1$  maksimum 690 mikron. Untuk evaluasi kondisi defleksi atau untuk mengetahui kemungkinan adanya void di bawah sambungan atau retak, dilakukan pengukuran lendutan menggunakan

tiga variasi beban (30 kN, 40 kN, dan 50 kN) dan digunakan kriteria defleksi dalam Gambar 7. Bila perpotongan perpanjangan garis hubungan beban-lendutan dengan sumbu-Y (*void-Y intercept*) yang lebih besar dari 0,05 mm (2 mils) merupakan indikasi bahwa di bawah slab terdapat rongga.



Gambar 6. Perhitungan Transfer Beban (*The Asphalt Institute MS-17*)



Gambar 7. Identifikasi Rongga di Bawah Perkerasan

### Variabel Kinerja Lapangan yang Diukur

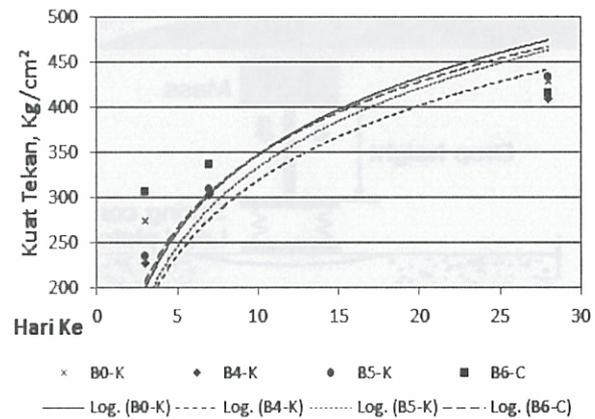
Penelitian dilakukan melalui ujicoba skala penuh di ruas jalan antara Buntu dan Kebumen, Km 198+000 (Semarang, Jawa Tengah). Beton serat makro dengan kadar serat 6% dihampar cor di tempat sepanjang 230 meter, lebar 3,60 m, dengan variasi panjang 2 x 10m, 2 x 15m, 2 x 20 m, 2 x 25 m, dan 2 x 30 m, masing-masing untuk arah ke Kebumen dan ke Buntu. Total segmen dengan panjang yang bervariasi tersebut menjadi 20 segmen. Konfigurasi penempatan segmen-segmen perkerasan beton tersebut dapat dilihat dalam Gambar 14. Variasi tambahan tersebut dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kejadian retak akibat lalu lintas yang ada. Untuk 6 segmen dengan panjang 10 m dan tebal 20 cm adalah untuk mengetahui kemampuan kinerjanya

secara empiris yang dibandingkan dengan tebal 28 cm. Kinerja perkerasan dimonitor selama sekitar dua tahun, sejak Maret 2010 sampai dengan Agustus 2011.

## HASIL DAN ANALISIS

### Data Laboratorium

Hasil uji laboratorium dalam Tabel 4, Tabel 5 dan Gambar 8 menunjukkan bahwa pemenuhan kuat tekan beton untuk jenis perkerasan beton dengan contoh uji berbentuk silinder (C) untuk kadar serat 6% (B6-C) dan kubus (K) untuk kadar serat 0%, 4%, 5% (B0-K, B4-K, dan B5-K) menghasilkan tendensi nilai kuat tekan > 400 kg/cm<sup>2</sup> umur 28 hari dengan faktor air semen 0,45. Ukuran butir maksimum (MS) adalah 37,5 mm (1 ½ inci)



Gambar 8. Kuat Tekan Beton dengan Variasi Serat Sintetis

Hasil uji kuat tarik-lentur beton dalam Gambar 9 menggunakan bahan di lapangan untuk ujicoba skala penuh di Buntu-Kebumen menunjukkan nilai yang konsisten sekitar 50 kg/cm<sup>2</sup> (5 MPa).

Dari diagram beban-lentur beton dalam Gambar 10 menunjukkan bahwa kelenturan beton dengan bahan tambah serat relatif lebih lentur dari pada beton konvensional. Nilai modulus elastisitas beton dengan/tanpa bahan tambah dalam Gambar 11 relatif tidak berbeda secara signifikan yaitu sekitar (200.000 - 210.000) kg/cm<sup>2</sup>.

**Tabel 4.** Rancangan Campuran Beton Normal dan Beton Serat Sintetis Per m<sup>3</sup>

No	Tanggal	Komposisi (kg)							Slump (cm)	B.Isi (kg/dm <sup>3</sup> )	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )			Kuat Lentur 28 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Ket.
		Semen	Pasir	Batu	F.Ash	Air	Fiber	Adtv.			3 hari	7 hari	28 hari		
4	Sept 2009	446	775,5	872,9	-	205	0	-	9	2,302	275	339	429	39,3	Jabar
5	Sept 2009	446	780,8	872,6	-	205	4	-	8	2,275	227	303	410	32	Jabar
6	Sept 2009	446	762,4	872,9	-	205	5	-	6	2,278	236	309	434	32,7	Jabar

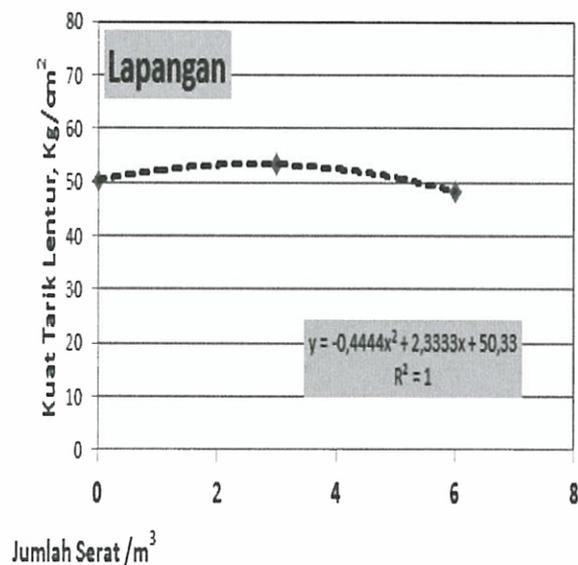
Catatan : Bahan agregat dan pasir dari Jawa Barat.

**Tabel 5.** Rancangan Campuran Beton Normal dan Beton Serat Sintetis untuk Ujicoba Skala Penuh Perkerasan Jalan

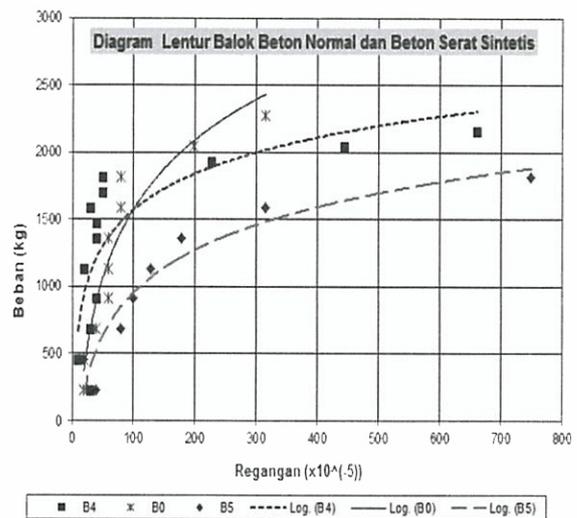
No	Tanggal	Komposisi (kg)							Slump (cm)	B.Isi (kg/dm <sup>3</sup> )	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )			Kuat Lentur 28 hari (kg/cm <sup>2</sup> )	Ket.
		Semen	Pasir	Batu	F.Ash	Air	Fiber	Adtv.			3 hari	7 hari	28 hari		
1	30-10-09	440	805,6	962,3	-	185	-	Mighty 150s = 4,4 kg	7	2,389	288	410	494	53,3	Semen TR, Psr. Serayu, - ..
											374	434	518	47,3	
2	5-11-09	431,8	794,6	962,3	-	185	3	Mighty 150s = 4,32 kg	7	2,379	300	325	446	56,7	Semen TR, Psr. Serayu, MS. 1,5"
											270	288	422	50	
3	4-11-09	431,8	813,8	932,8	-	190	6	Mighty 150s = 4,32 kg	6	2,379	313	349	398	53,3	Semen TR, Psr. Muntilan, MS. 1,5"
											300	325	434	43,3	

Catatan .:

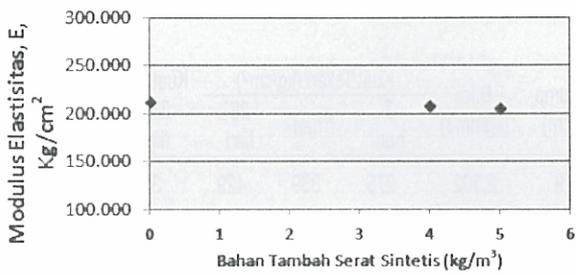
1. Bahan dari lokasi yang berdekatan dengan lokasi ujicoba skala penuh
2. Hasil uji coba campuran no. 1 direkomendasikan untuk produksi beton normal (tanpa serat)
3. Hasil uji coba campuran no. 3 direkomendasikan untuk produksi beton serat



**Gambar 9.** Kuat Tarik Lentur Beton dengan Variasi Serat Sintetis



**Gambar 10.** Hubungan Beban-Regangan pada Uji Kuat tarik lentur Beton dengan Variasi Serat Sintetis



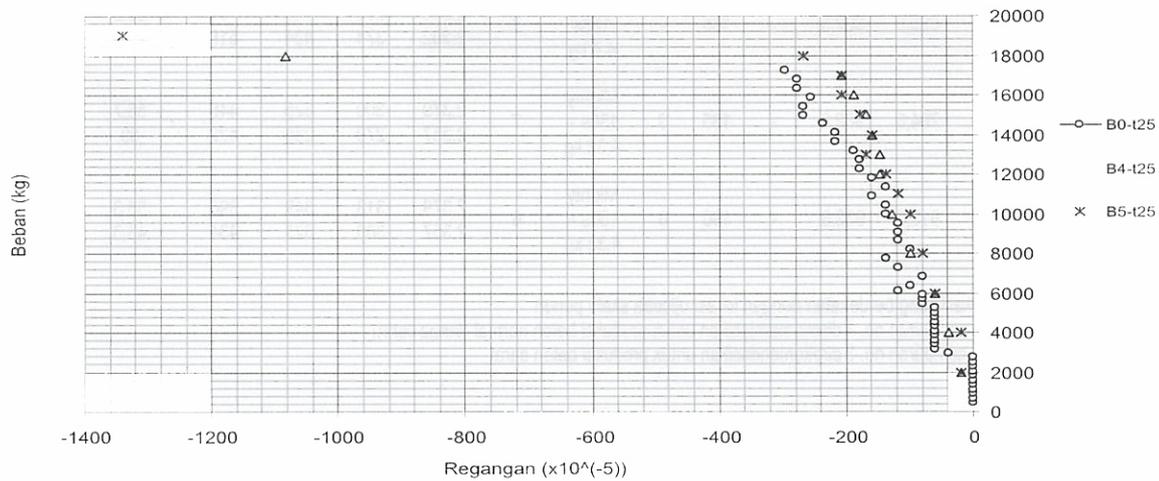
**Gambar 11.** Modulus Elastisitas dan Variasi Serat Sintetis

Hasil uji pembebanan dengan RDP dalam Gambar 12 menunjukkan bahwa beton dengan bahan tambah serat sintetis dan dengan tebal pelat

25 cm memiliki tendensi kelenturan yang sangat tinggi sekitar  $1300 \times 10^{-5}$  mm dengan beban sekitar (18,0 – 18,5) ton untuk mencapai kondisi runtuh, sedangkan kelenturan beton tanpa bahan tambah serat sekitar  $100 \times 10^{-5}$  mm dengan beban sekitar 17,5 ton.

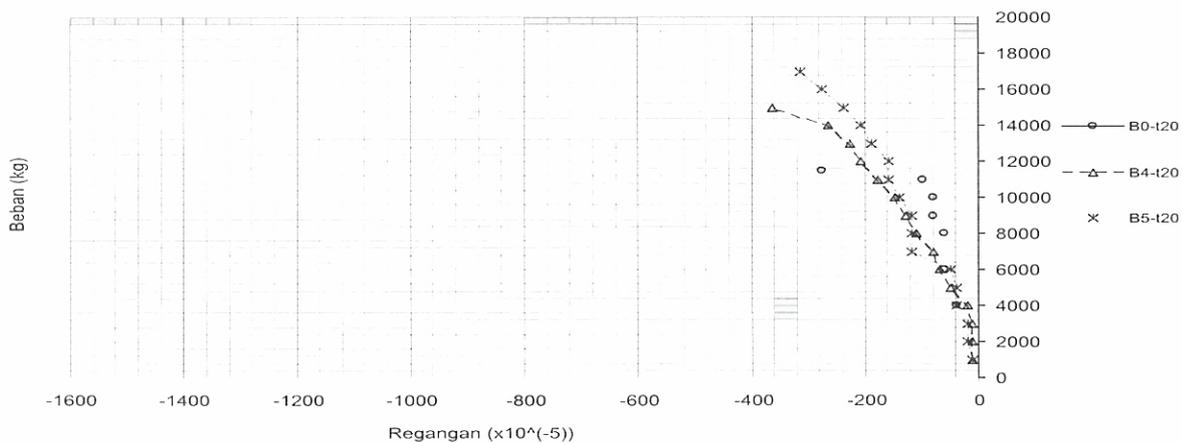
Untuk pelat beton dengan tebal 20 cm tanpa bahan tambah serat dalam Gambar 13 mempunyai kelenturan yang relatif lebih rendah dan mudah runtuh pada beban yang relatif rendah sekitar 11 ton. Untuk beton dengan bahan tambah serat keruntuhan terjadi pada beban 17 ton.

Diagram Beban - Regangan Pelat Beton Normal t-25

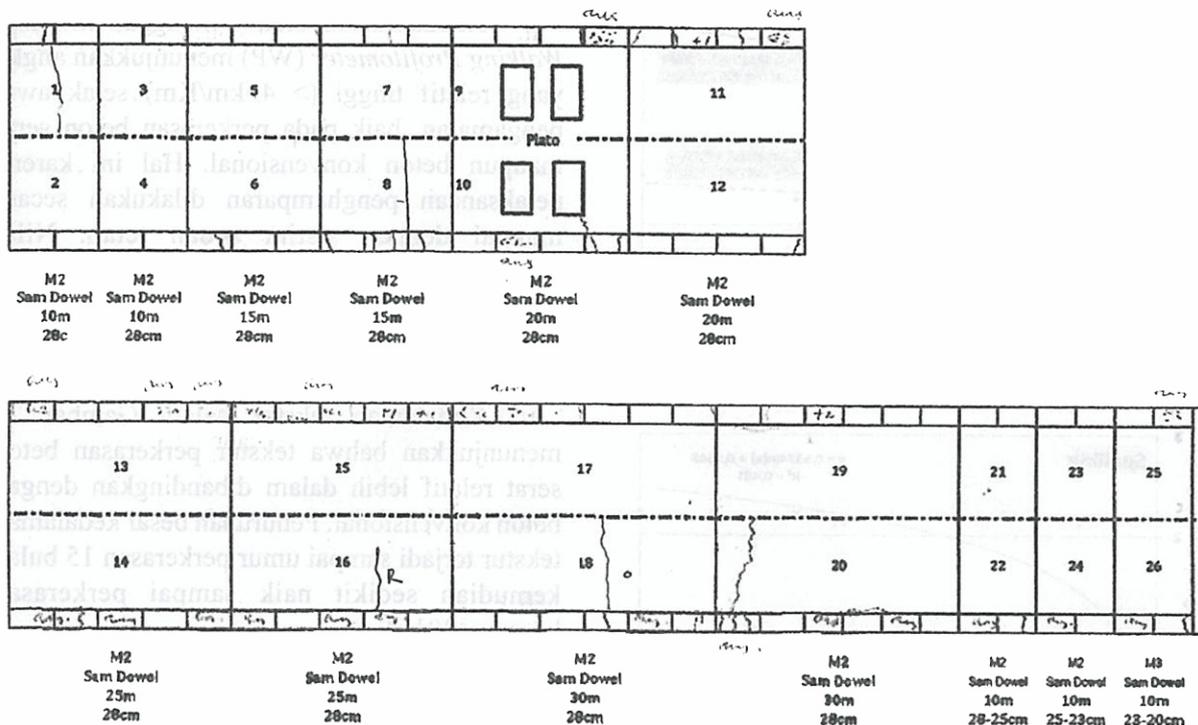


**Gambar 12.** Kurva analisis pembebanan pelat tebal 25 cm

Diagram Beban - Regangan Pelat Beton BarChip Tebal 200 mm



**Gambar 13.** Kurva Analisis Pembebanan Pelat Tebal 20 Cm



Gambar 14. Perkerasan Beton Fiber Cor Di Tempat (M2) Umur 20 Bulan (Agustus 2011)

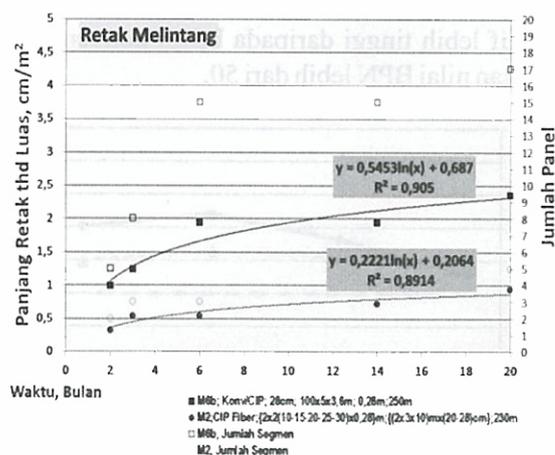
### Analisis Kondisi Permukaan

Adanya formasi retak permukaan perkerasan sebelum injeksi dapat diindikasikan hilangnya daya dukung dan atau tegangan dalam beton, atau disebabkan masalah kestabilan lapisan bawah slab, atau karena beban lalu lintas. Peningkatan *faulting* dalam beberapa tahun sebagai indikasi adanya erosi bahan pondasi. *Spalling dan rocking* diindikasikan karena mutu bahan atau adanya bahan-bahan pada penutup sambungan (*sealant*) yang keras sehingga mengganggu kebebasan bergerak saat slab kontraksi akibat beban kendaraan atau perubahan temperatur. *Pumping* diindikasikan adanya rongga di bawah slab atau sambungan yang memerlukan tindakan korektif seperti *undersealing* dengan suntikan semen kental atau aspal panas.

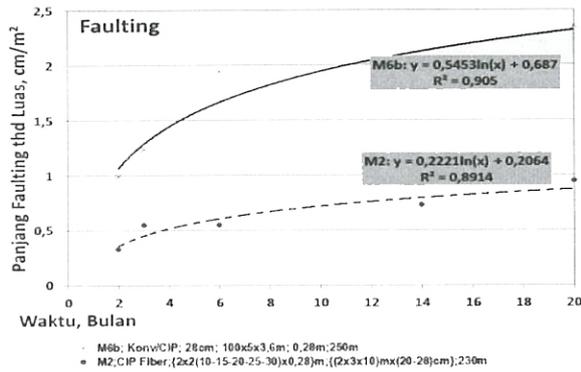
Pada perkerasan beton serat sintetis (M2) berumur dua bulan belum menunjukkan adanya kerusakan tetapi pada umur 5 bulan terjadi retak melintang pada slab nomor 18 dan 20 masing-masing pada slab panjang 25 meter dan 20 meter seperti ditunjukkan dalam Gambar 14. Jarak

retak masing-masing sekitar 18 meter dan 19 meter dari sambungan. Retak bertambah setelah umur 10 bulan pada slab nomor 8 dan 16.

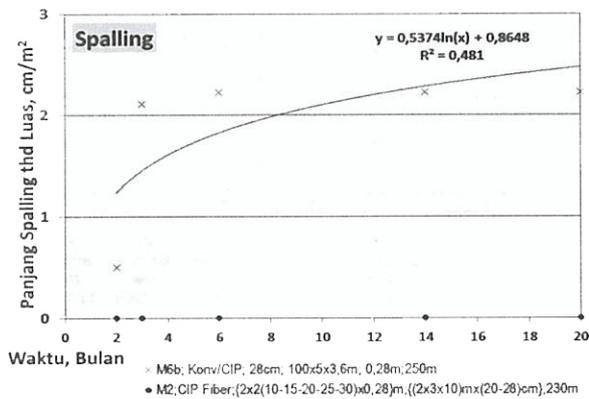
Perkembangan kondisi diukur kembali pada umur 15 bulan. Pada umur 20 bulan retak bertambah hanya pada slab nomor 1. Dibandingkan dengan beton konvensional, kecepatan retak melintang beton dengan bahan tambah serat relatif lebih lambat seperti ditunjukkan dalam Gambar 15.



Gambar 15. Panjang Retak (Melintang) dan Umur Perkerasan Beton



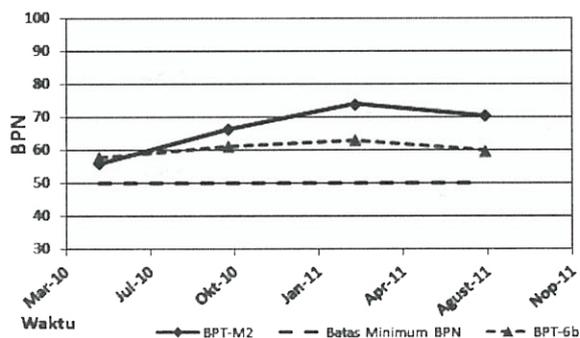
Gambar 16. Faulting dan Umur Perkerasan Beton



Gambar 17. Spalling dan Umur Perkerasan Beton

### Analisis Karakteristik Permukaan

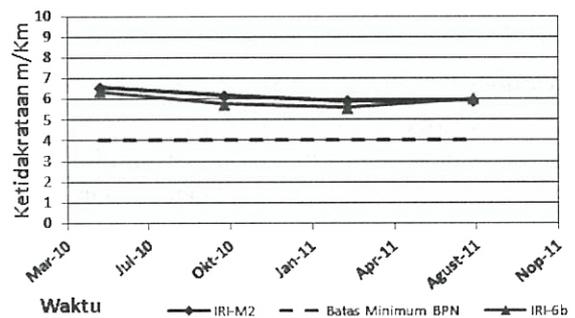
Karakteristik permukaan perkerasan jalan meliputi kekesatan, ketidakrataan dan kedalaman tekstur. Dari empat kali pengamatan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kekesatan pada perkerasan berumur sekitar satu tahun kemudian menurun setelah berumur 15 bulan, lihat Gambar 18. Kekesatan rata-rata relatif lebih tinggi daripada beton konvensional dengan nilai BPN lebih dari 50.



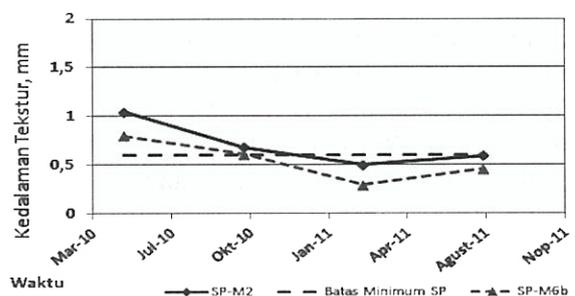
Gambar 18. Kekesatan Permukaan dan Umur Perkerasan Beton

Ketidakrataan diukur menggunakan alat *Walking Profilometer* (WP) menunjukkan angka yang relatif tinggi (> 4 m/Km) sejak awal pengamatan, baik pada perkerasan beton serat maupun beton konvensional. Hal ini karena pelaksanaan penghamparan dilakukan secara manual dengan sistim acuan tetap. Nilai ketidakrataan setelah dilakukan perbaikan sambungan kerataan pada umur sekitar 15 bulan, relatif sedikit menurun walaupun masih di atas 4 m/Km. Lihat Gambar 19.

Kedalaman tekstur dalam Gambar 20 menunjukkan bahwa tekstur perkerasan beton serat relatif lebih dalam dibandingkan dengan beton konvensional. Penurunan besar kedalaman tekstur terjadi sampai umur perkerasan 15 bulan kemudian sedikit naik sampai perkerasan berumur 20 bulan.



Gambar 19. Ketidakrataan dan Umur Perkerasan Beton



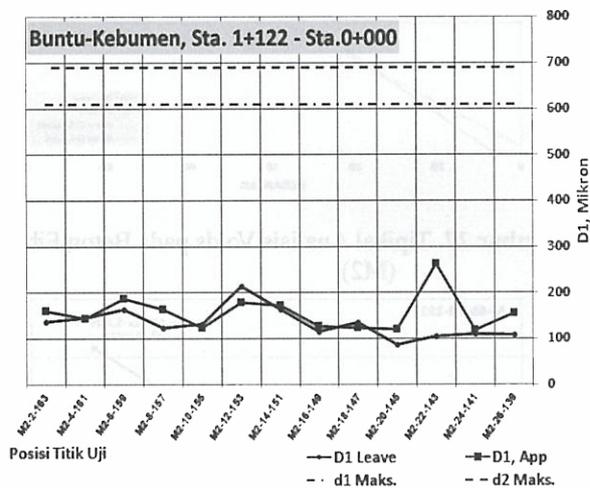
Gambar 20. Kedalaman Tekstur dan Umur Perkerasan Beton

### Analisis Defleksi

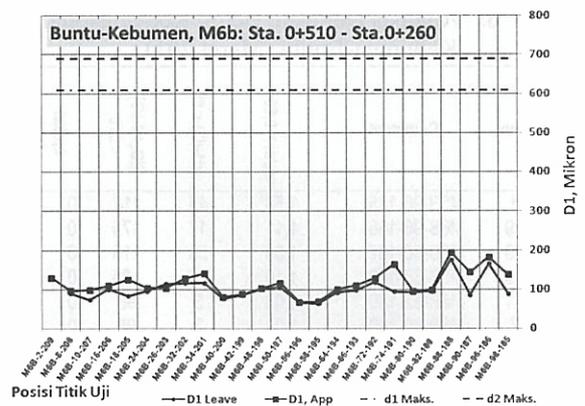
Berdasarkan data defleksi menggunakan alat FWD, sampai umur 20 bulan menunjukkan efisiensi transfer beban yang relatif baik (> 0,60)

seperti ditunjukkan dalam Tabel 6 dan Tabel 7. Demikian pula selisih defleksi absolut lendutan pada sambungan berdasarkan data defelksi pada *approach edge* ( $d_2$ ) dan *leave edge* ( $d_1$ ) menunjukkan nilai lendutan yang relatif rendah ( $< 0,80$  mm), dan nilai tengah defleksi kurang dari 0,57 mm.

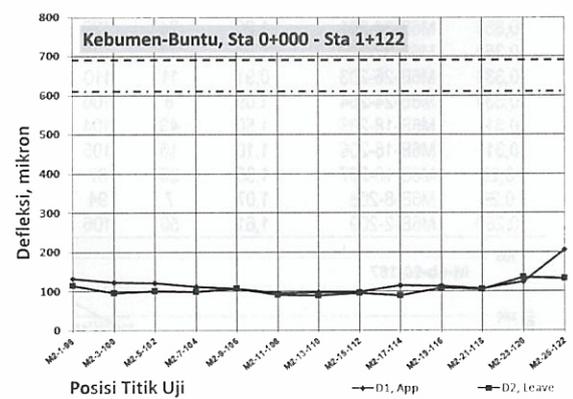
Berdasarkan batasan defleksi FWD pada Tabel 2 dan Tabel 3, maka  $d_2$  maksimum 610 mikron dan  $d_1$  maksimum 690 mikron. Dalam Gambar 21 dan Gambar 22 menunjukkan pula bahwa defleksi yang terjadi relatif rendah ( $D_2 < 610$  mikron dan  $D_1 > 690$  mikron). Analisis berdasarkan persyaratan defleksi tersebut di atas menunjukkan bahwa kinerja perkerasan relatif baik karena diindikasikan bahwa di bawah slab beton tidak terdapat rongga (*voids*) sebagai penyebab *pumping*. Analisis rongga dikuatkan dengan data defleksi menggunakan tiga variasi beban (30 kN, 40 kN, dan 50 kN). Dalam Gambar 25 sampai dengan Gambar 28 menunjukkan bahwa *Y-intercept deflection* kurang dari 0,050 mm (2 mils) sehingga diindikasikan kuat, tidak terjadi rongga di bawah sambungan antar slab pada kedua jenis perkerasan beton tersebut.



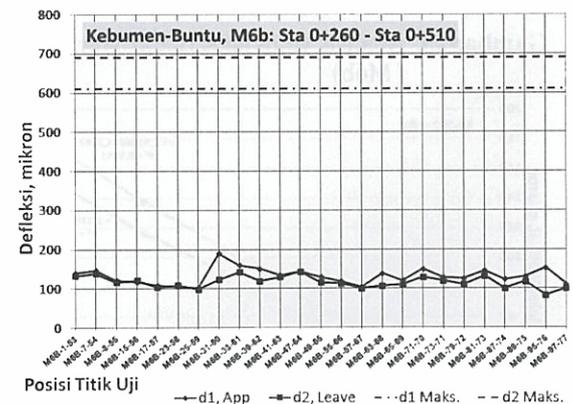
**Gambar 21.** Defleksi Vertikal pada Sambungan Perkerasan Beton Serat (M2), Arah ke Kebumen



**Gambar 22.** Defleksi Vertikal pada Sambungan Perkerasan Beton Konvensional (M6b), Arah ke Kebumen



**Gambar 23.** Defleksi Vertikal pada Sambungan Perkerasan Beton Serat (M2), Arah ke Buntu



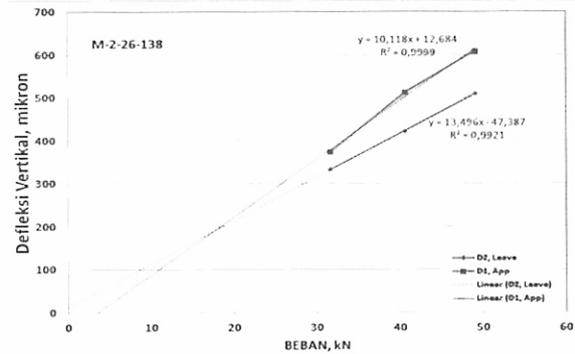
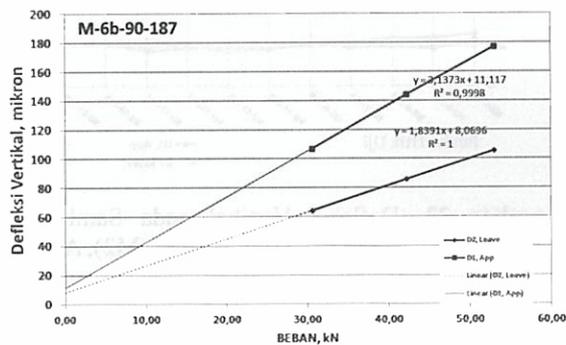
**Gambar 24.** Defleksi Vertikal Pada Sambungan Perkerasan Beton Konvensional (M6b), Arah Ke Buntu

**Tabel 6.** Analisis Defleksi, Beton Konvensional, Kebumen-Buntu (Maret 2011)

Station	Comment	$<d_2/d_1 > 0,60$	$(d_1-d_2) < 80$	$[(D_2+D_1)/2] < 570;$	Indeksi Voids
0,51	M6B-98-185	1,54	48	114	0
0,509	M6B-96-186	1,11	17	174	0
0,489	M6B-90-187	1,68	58	115	0
0,489	M6B-88-188	1,10	18	185	0
0,471	M6B-82-189	1,03	3	98	0
0,47	M6B-80-190	1,04	3	95	0
0,45	M6B-74-191	1,72	69	130	0
0,45	M6B-72-192	1,08	9	124	0
0,432	M6B-66-193	1,13	13	105	0
0,431	M6B-64-194	1,09	8	97	0
0,411	M6B-58-195	1,08	5	67	0
0,411	M6B-56-196	1,04	2	67	0
0,391	M6B-50-197	1,10	11	111	0
0,391	M6B-48-198	1,02	2	103	0
0,371	M6B-42-199	1,03	2	87	0
0,371	M6B-40-200	1,04	3	79	0
0,351	M6B-34-201	1,20	24	129	0
0,351	M6B-32-202	1,10	12	122	0
0,331	M6B-26-203	0,91	11	110	0
0,331	M6B-24-204	1,09	8	100	0
0,311	M6B-18-205	1,50	42	104	0
0,311	M6B-16-206	1,10	10	105	0
0,29	M6B-10-207	1,35	26	87	0
0,29	M6B-8-208	1,07	7	94	0
0,269	M6B-2-209	1,61	50	106	0

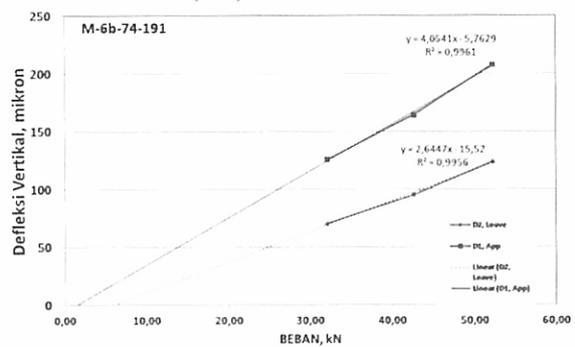
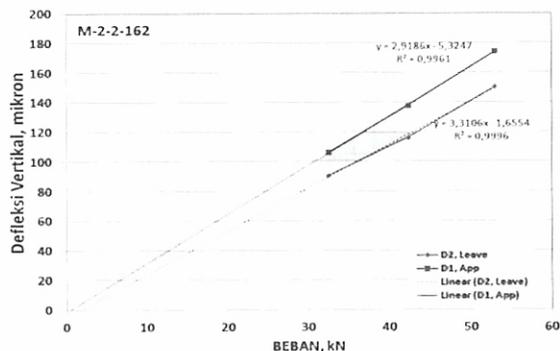
**Tabel 7.** Analisis Defleksi, Beton Konvensional Buntu-Kebumen (Maret 2011)

Station	Comment	LTE $> 0,60$	$(d_1-d_2) < 80;$	$[(D_2+D_1)/2] < 570$	Ind Voids
0,51	M6B-98-185	1,54	48	114	0
0,509	M6B-96-186	1,11	17	174	0
0,489	M6B-90-187	1,68	58	115	0
0,489	M6B-88-188	1,10	18	185	0
0,471	M6B-82-189	1,03	3	98	0
0,47	M6B-80-190	1,04	3	95	0
0,45	M6B-74-191	1,72	69	130	0
0,45	M6B-72-192	1,08	9	124	0
0,432	M6B-66-193	1,13	13	105	0
0,431	M6B-64-194	1,09	8	97	0
0,411	M6B-58-195	1,08	5	67	0
0,411	M6B-56-196	1,04	2	67	0
0,391	M6B-50-197	1,10	11	111	0
0,391	M6B-48-198	1,02	2	103	0
0,371	M6B-42-199	1,03	2	87	0
0,371	M6B-40-200	1,04	3	79	0
0,351	M6B-34-201	1,20	24	129	0
0,351	M6B-32-202	1,10	12	122	0
0,331	M6B-26-203	0,91	11	110	0
0,331	M6B-24-204	1,09	8	100	0
0,311	M6B-18-205	1,50	42	104	0
0,311	M6B-16-206	1,10	10	105	0
0,29	M6B-10-207	1,35	26	87	0
0,29	M6B-8-208	1,07	7	94	0
0,269	M6B-2-209	1,61	50	106	0



**Gambar 25.** Analisis Voids pada Beton Normal (M6b)

**Gambar 27.** Tipikal Analisis Voids pada Beton Fiber (M2)

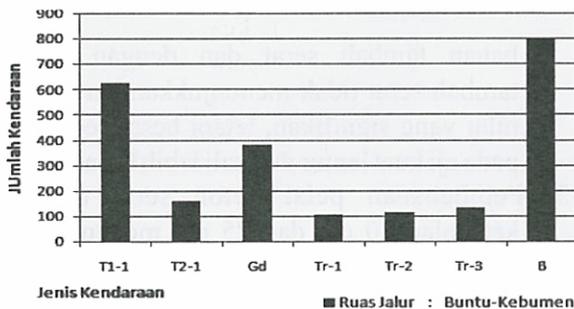


**Gambar 26.** Tipikal Analisis Voids pada Beton Fiber (M2)

**Gambar 28.** Analisis Voids pada Beton Normal (M6b)

## Lalu lintas

Volume lalu lintas kendaraan berat seperti truk dan bus berbagai jenis sebanyak sekitar 2300 kendaraan per hari selama tahun 2010, ditunjukkan dalam Gambar 27 (Dachlan, A.T., 2010). Jumlah jenis mobil penumpang sebanyak 8071 kendaraan tidak digambarkan. Berdasarkan jumlah beban akumulasi kendaraan dengan sumbu standar tunggal (ESAL) diperoleh nilai 25 juta ESAL untuk umur rencana 25 tahun.



Gambar 29. Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahun 2010

## PEMBAHASAN

### Data Laboratorium.

Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa besar nilai kuat tekan beton  $>400 \text{ kg/cm}^2$ , dengan/tanpa bahan tambah serat sudah memenuhi mutu yang dikehendaki untuk diuji secara skala penuh sebagai perkerasan jalan dan dimonitor selama sekitar dua tahun. Nilai kuat tekan beton tanpa bahan tambah rata-rata lebih tinggi dibandingkan dengan beton dengan bahan tambah serat namun tidak seberapa besar. Nilai kuat tarik seluruh variasi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Regangan pada uji kuat lentur relatif lebih besar lebih dari dua kali lipat beton tanpa bahan tambah serat.

Hasil uji pembebanan menunjukkan secara signifikan bahwa beton serat dengan tebal 25 cm memiliki kelenturan yang cukup tinggi dengan beban sampai 18,5 ton.

### Karakteristik Permukaan

Pola permukaan perkerasan beton pracetak tidak jauh berbeda setelah perkerasan

berumur lebih dari 20 bulan. Hasil pengamatan perkembangan retak melintang diukur dengan satuan panjang retak melintang per satuan luas menunjukkan bahwa kecepatan retak jauh lebih lambat dari pada beton konvensional. Satuan perbandingan ini jauh lebih terukur dibandingkan dengan satuan panjang retak yang selama ini digunakan. Berdasarkan prediksi menggunakan persamaan  $Y = 0,5453 \cdot \ln(x) + 0,687$  dalam Gambar 15, dengan koefisien korelasi relatif cukup tinggi sebesar 0,91, maka pada laju retak  $3,8 \text{ cm/m}^2$  akan dicapai pada umur 25 tahun untuk beton konvensional tanpa bahan tambah serat. Dengan laju retak melintang yang sama, maka beton dengan bahan tambah serat akan menempuh umur lebih dari 50 tahun. Retak sudut dan *spalling* ditemukan pada beton konvensional tetapi tidak ditemukan retak sudut pada beton dengan bahan tambah serat.

Ketidakrataan permukaan relatif tinggi ( $> 4 \text{ m/Km}$ ) karena dilaksanakn secara manual, walaupun kekesatan memenuhi ketentuan. Untuk pelaksanaan skala besar perlu dilaksanakan dengan acuan gelincir agar diperoleh nilai ketidakrataan yang memadai.

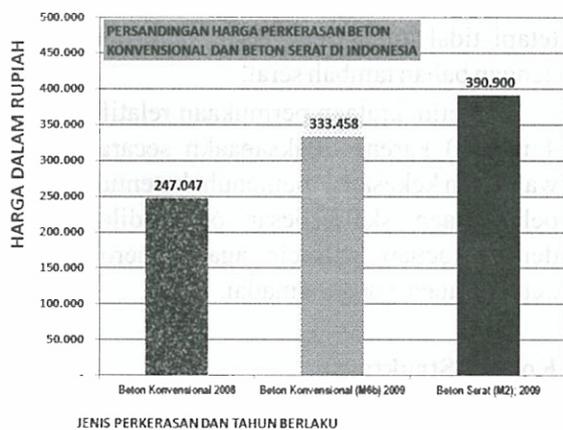
### Kondisi Struktural

Bentuk lendutan maksimum perkerasan di tengah bentang slab dan tebalnya dapat digunakan untuk memperkirakan kekuatan lapisan. Tebal slab harus diukur secara tepat. Lendutan diukur di setiap tepi sambungan dan dihitung perbandingan besar defleksinya baik pada sambungan melintang atau memanjang. memberikan contoh dalam Gambar 6. Lendutan maksimum dengan beban bervariasi pada sudut-sudut slab dan tepi slab dapat memperkirakan adanya rongga di bawah perkerasan beton atau pondasi. Bila tepi slab tidak secara langsung didukung oleh tanah dasar pada saat belum dibebani, maka lendutan maksimum dengan besar beban yang lain berbeda pada lendutan tepi lainnya. Berdasarkan uji defleksi menunjukkan bahwa defleksi yang terjadi yang diukur pada sambungan slab tidak menunjukkan kemungkinan adanya rongga. Nilai LTE rata-rata lebih dari

0,60 dan defleksi yang terjadi dalam kondisi aman. Besar *Y-intercept deflection* rata-rata kurang dari 0,050 mm (*2 mils*).

### Harga perkerasan beton

Harga perkerasan beton denan tebal 28 cm di Jawa Tengah (Buntu) Rp 333.458,-/m<sup>2</sup> (Tahun 2009) relatif lebih mahal karena menggunakan pasir Muntilan yang dikenal sangat baik untuk campuran beton, serta biaya transportasi (jarak angkut sekitar 90 Km). Harga perkerasan beton serat sintetis (simbol M2) dengan tebal yang sama menjadi Rp 390.00,-/m<sup>2</sup> atau 17,2% lebih mahal dari pada beton konvensional (simbol M6b), lihat Gambar 30.



**Gambar 30.** Harga Beton Konvensional dan Beton Serat Sintetis

Perkerasan beton dengan bahan tambah serat untuk harga tahun 2009 relatif lebih mahal sekitar 17,2% dibandingkan dengan harga beton konvensional di lokasi yang sama. Bila dilihat dari kecepatan retak beton serat yang lebih lambat maka pemilihan beton serat akan jauh lebih murah. Bila dikaitkan dengan kondisi retak pada beton konvensional dapat mencapai umur 25 tahun pada kondisi retak sebesar 3,8 cm/m<sup>2</sup>, maka dengan retak yang sama pada beton serat dapat dicapai lebih dari 50 tahun, sehingga secara ekonomis akan lebih menguntungkan menggunakan beton serat sebagai perkerasan jalan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Dari uraian tersebut di atas dapat diambil kesimpulan dan saran.

### Kesimpulan

1. Serat sintetis dalam beton berbentuk pelat dapat menghambat penyebaran retak sampai 50% dari pada pada beton konvensional.
2. Nilai kuat tekan dan kuat tarik beton tanpa bahan tambah serat dan dengan bahan tambah serat tidak menunjukkan perbedaan nilai yang signifikan, tetapi besar regangan pada uji kuat lentur dua kali lebih besar.
3. Pembebanan pelat beton serat dengan ketebalan 20 cm dan 25 cm menunjukkan bahwa beton serat memiliki regangan yang relatif lebih tinggi dari pada beton normal.
4. Makin tebal pelat beton akan makin tinggi daktilitasnya. Beton serat dengan tebal 25 cm mempunyai daktilitas 70% lebih tinggi dari pada beton serat dengan tebal 20 cm. Pola keruntuhan beton normal bersifat getas (*brittle*) dan memiliki sifat daktilitas yang sangat rendah dibandingkan beton serat.
5. Jarak sambungan untuk perkerasan beton dengan bahan tambah serat sintetis dapat dilaksanakan lebih panjang yaitu sekitar 7 m dan maksimum 15 meter.
6. Harga beton serat makro fiber ini sekitar 17,2 % lebih mahal tetapi lebih menguntungkan karena akan berumur sekitar dua kali dibandingkan dengan beton konvensional.

### Saran

1. Model regresi kerusakan pada beton serat perlu dikaji lebih lanjut.
2. Pencampuran serat sintetis ke dalam mesin pencampur tidak boleh dimasukkan sekaligus dari kantong ke dalam pencampur, tetapi harus dicampurkan bersama agregat dan setengah bagian air, untuk mencegah terjadinya bola-bola serat, kemudian campurkan seluruhnya bersama semen dan sisa air.

3. Hal-hal yang perlu diperhatikan selama pelaksanaan meliputi pemenuhan seluruh spesifikasi bahan, pemadatan tanah dasar/timbunan, fondasi dengan bahan berdrainase, perlu penghamparan dengan acuan gelincir, serta kerataan, tekstur yang memadai dan harus di bawah pengawasan yang ketat.
4. Perlu diteliti lebih lanjut penggunaan serat lainnya seperti serat alam dan jenis serat mikro dan serat makro lainnya sebagai perkerasan jalan beton semen.

#### DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. 1993. *The Guide of Pavement Design*. Washington, DC: AASHTO
- Asphalt Institute. 2000. *Asphalt overlays for highway and street rehabilitation*. MS 17. Kentucky: Asphalt Institute
- Concrete Technology, 2010. *Fibre Reinforced Concrete*. <http://theconstructor.org/concrete/fibre-reinforced-concrete/150/>
- Dachlan, A.T. 2010. *Monitoring dan Evaluasi perkerasan jalan beton semen pracetak-prategang*. Bandung: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.
- Federal Highway Administration. 2007. *Precast concrete panel systems for full-depth pavement repairs. Field trials*. FHWA - HIF - 07 - 019. Washington, DC.:FHWA
- Hedda, Vikan. 2007. *Concrete workability and fibre content*. Norway: Concrete Innovation Centre
- Nemati, Kamran M. 2010. "Fiber Reinforced concrete (FRC)". Accessed January,

1

5

<http://courses.washington.edu/cm425/frc/>

Roesler, J.R. and M.C. Gaedicke. *Fiber reinforced concrete for airfield rigid pavements*. Technical Note. Illinois: University of Illinois. [jroesler@uiuc.edu](mailto:jroesler@uiuc.edu).

Setiati, N. Retno. 2010. *Laporan hasil Pengujian Penggunaan Seerat Sintetik Barchip R 60 untuk campuran beton*. Bandung: Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

Soni, K.M. "Polymer Fiber reinforced concrete in pavement". <http://theconstructor.org/concrete/fibre-reinforced-concrete-in-pavements>.

University of Washington. 2010. *Fibre Reinforced Concrete (FRC)*. CM 425. Concrete Technology. <http://courses.washington.edu/cm425/frc.pdf>. Professor Kamran M. Nemati. Spring Quarter 2011