

RANCANGAN LABORATORIUM BETON KARET (*RUBCRET*) SEBAGAI BAHAN *INTERLAYER*

Edward-Ngii¹, Iman Satyarno², Latif Budi Suparma³, Suprpto Siswosukarto⁴

¹Mahasiswa Pascasarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

^{2,3,4}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika 2, Kampus UGM, Yogyakarta, 55281 Telp 0274 545675

Email: dwrdr.ngii@gmail.com

Abstrak

Upaya peningkatan kapasitas struktur perkerasan beton dengan cara overlay senantiasa diperhadapkan pada masalah retak refleksi dikarenakan volume beban yang tinggi. Penggunaan interlayer dalam sistem overlay dianggap sebagai metode yang efisien dari segi kinerja dan biaya. Namun sampai saat ini belum ada bahan yang memberikan solusi sempurna untuk mencegah retak refleksi. Oleh karenanya pengembangan bahan-bahan interlayer masih terus dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan sifat-sifat mekanis beton karet (*rubcret*) sebagai bahan interlayer. Bahan beton karet terdiri dari semen portland tipe I, pasir alami, karet serutan (bj 1,137 kg/m³ dan berat satuan 451 kg/m³) merupakan hasil vulkanisir ban lolos No.4, dan air PDAM. Mix design beton karet mengacu pada ASTM C270-57T dengan syarat konsistensi mortar 70-115%. Beton karet dirancang dengan kadar semen 400 kg/m³ dengan 5 variasi serutan karet terhadap pasir berdasarkan volume yaitu 40%:60%, 30%:70%, 20%:80%, 10%:90%, and 0%:100%. Tiap variasi dibuat 3 benda uji tekan (silinder 150×300 mm) dan 3 benda uji lentur (balok 600×150×150 mm) dengan total benda uji sebanyak 30 buah. Pengujian dilakukan setelah beton telah berumur 28 hari menggunakan standar SNI 1974:11 (uji tekan) dan third point loading sesuai standar SNI 4431:2011 (uji lentur). Analisis dilakukan terhadap nilai kuat tekan, kuat lentur, nilai modulus dan subgrade reaction. Hasil penelitian memperlihatkan adanya penurunan sifat mekanis beton karet terhadap kontrol (tanpa karet). Beton karet sebagai bahan interlayer dengan fungsi pondasi (*base*), diperoleh pada penggunaan karet serutan antara 20-40%. Sedangkan untuk fungsi subse penggunaan diatas 40% masih dimungkinkan.

Kata kunci: beton karet; interlayer; perkerasan

Pendahuluan

Rehabilitasi perkerasan telah menjadi salah satu isu penting di perkerasan jalan maupun bandara. Metode overlay (pelapisan ulang) merupakan cara yang umumnya dalam proses rehabilitasi perkerasan. Permasalahan saat ini, bahwa teknik perbaikan dengan cara overlay, senantiasa dihadapkan pada masalah retak refleksi baik saat diterapkan di perkerasan lentur (Suparma,2005) maupun di perkerasan kaku (Khodaii dan Fallah,2009). Retak refleksi akan berdampak pada kapasitas menahan beban, biaya perawatan perkerasan yang semakin tinggi, air mudah masuk dan membuat perlemahan tanah dasar, *pumping*, patahan arah melintang (Hardiyatmo, 2011).

Sistem kontrol retak refleksi telah banyak dikembangkan, namun penggunaan lapis interlayer sebagai sistem kontrol retak refleksi dalam sistem overlay, telah dianggap sebagai metode yang efisien baik dari segi kinerja dan biaya (Vanelstraete dan de Bondt, 1997; Buttlar, 2000). Vanelstraete, et al. (1997) menyatakan bahwa bahan yang kekakuan dan modulus elastisitasnya sangat kecil dapat berfungsi menahan deformasi horisontal yang besar pada berbagai temperatur, sehingga dapat memperlambat proses retak refleksi dalam banyak kasus.

Karet dikenal sebagai bahan yang ringan dan mempunyai daktilitas tinggi yang tahan terhadap deformasi. Potensi pemanfaatan karet sebagai bahan interlayer sangat didukung oleh potensi buangan karet setiap tahunnya. Satyarno (2006) melaporkan, di Jerman lebih dari 600.000 ton ban bekas yang dibuang setiap tahunnya sedangkan di Amerika pembuangan serupa juga terjadi setiap tahunnya dengan jumlah ban lebih dari 279.000.000 unit. Di Indonesia masih belum terdata seberapa banyak ban bekas yang dibuang untuk setiap tahunnya, namun laporan data penjualan APBI 2010 menunjukkan angka 41.000.000 unit. Dengan demikian, maka limbah karet ban yang tidak terpakai semakin lama semakin meningkat. Masalah ini menjadi semakin besar karena ban tidak dapat terurai dengan mudah apabila hanya dibiarkan begitu saja sehingga diperlukan usaha untuk memanfaatkan buangan karet ban tersebut sebagai bahan interlayer. Oleh karenanya penelitian pendahuluan ini bertujuan untuk menentukan sifat-sifat mekanis beton karet (*rubcret*) sebagai bahan interlayer.

Bahan-bahan Interlayer

AASHTO (1993) dan Kimpraswil (2003) merekomendasikan campuran aspal konvensional dengan tebal berkisar 1-2" (3-5 cm) sebagai bahan interlayer untuk overlay perkerasan kaku. Beberapa karakteristik bahan interlayer pabrikan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Sifat-sifat dasar interlayer nonwoven dan grid (Vanelstraete, et.al. 1997)

Properties	Nonwoven		Grid		
Material dasar	<i>polyester</i>	<i>polypropylene</i>	<i>polyester</i>	<i>polypropylene</i>	<i>fibreglass</i>
Type	-	-	<i>fillet/woven</i>	<i>grid</i>	<i>fillet/woven</i>
1. <i>Ultimate strength</i> (kN/m)					
- Arah memanjang	5 – 10	5 – 10	50 – 90	14 – 25	35 – 100
- Arah melintang	5 – 10	5 – 10	50 – 90	18 – 25	50 – 200
2. <i>Strain at Ultimate strength</i> (%)					
- Arah memanjang	35 – 100	50 – 90	10 – 15	10 – 15	3 – 4
- Arah melintang	35 – 100	50 – 90	10 – 15	8 – 10	3 – 4
3. Kekakuan pada 2% <i>strain</i> (kN/m)	10 – 20	10 – 20	200 – 400	400 – 800	1500 – 8000
4. Modulus Kekakuan pada 2% <i>strain</i> (MPa)	7 – 30	7 – 30	3000 – 6000	4000 – 5000	4000 – 7000

Sebagai gambaran karakteristik modulus kekakuan bahan interlayer yang digunakan oleh beberapa peneliti adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai modulus kekakuan bahan interlayer

Nama peneliti	Bahan Interlayer	Keterangan
1. Suparma (2005)	a. LDPE- SAMI b. Sand SAMI	Stiffness Modulus= 1941 MPa Stiffness Modulus= 731 Mpa
2. Qin dan Zhu (2011)	HMA Layer	Modulus 1200-1400 MPa
3. Ogundipe (2012)	SAMI pada: Suhu 10oC Suhu 20oC Suhu 30°C	Stiffness Modulus= 8548 Mpa Stiffness Modulus= 2725 Mpa Stiffness Modulus= 1034 Mpa

Pemanfaatan Karet Dalam Campuran Beton

Nehdi dan Khan (2001) meneliti penggunaan karet dalam campuran beton dan menyimpulkan bahwa beton karet memiliki keterbatasan aplikasi akibat sifat-sifat mekanisnya yang rendah, namun memiliki beberapa sifat yang diperlukan seperti *lower density, higher toughness, higher impact resistance, enhance ductility, more efficient sound and heat insulation* dibandingkan beton konvensional. Hasil tersebut sejalan dengan Satyarno (2006) yang menunjukkan adanya peningkatan nilai daktilitas beton akibat penambahan karet dalam campuran beton. Pemanfaatan yang lebih luas juga telah direkomendasikan untuk aplikasi subbase fleksibel di perkerasan (Nehdi dan Khan, 2001) ataupun sebagai perkerasan beton (Hernandez-Olivares et al., 2006). Berdasarkan karakteristik yang dimiliki, beton karet dapat menjadi alternatif bahan interlayer sebab dapat dirancang untuk memiliki nilai *strain* pada *ultimate strength* yang cukup besar. Sifat ini merupakan sifat utama bahan interlayer agar dapat menahan deformasi horisontal yang besar pada berbagai variasi temperatur, karena bahan tersebut dapat memperlambat proses retak refleksi.

Metode Penelitian

Bahan

Material beton karet dalam penelitian ini terdiri dari semen portland tipe I (berat jenis 3,15), Pasir alami eks. Merapi (berat jenis 2,740 gr/cm³) dengan modulus kehalusan 3,026 dan berat satuan 1571 kg/m³. Bahan karet serutan (berat jenis 1,137 kg/m³) merupakan hasil vulkanisir ban lolos No.4 dengan dan berat satuan 451 kg/m³. Air yang digunakan adalah air PDAM yang tersedia di laboratorium.



Gambar 1. Karet serutan (*shredded rubber*) hasil vulkanisir ban

Mix Design

Perancangan campuran beton karet mengacu pada ASTM C270-57T dengan nilai konsistensi mortar yang disyaratkan adalah 70-115%. Beton karet dirancang dengan kadar semen 400 kg/m^3 dengan variasi serutan karet terhadap pasir sebesar 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Rancangan awal nilai Fas beton karet

N	Variasi	Karet (%)	Pasir (%)	Fas awal	Kebutuhan bahan dalam 1 m ³			
					Semen (kg)	Air (lt)	Karet (kg)	Pasir (kg)
1	Variasi 1	40	60	0,57	400	228,00	180,40	942,60
2	Variasi 2	30	70	0,58	400	232,00	135,30	1099,70
3	Variasi 3	20	80	0,59	400	236,00	90,20	1256,80
4	Variasi 4	10	90	0,61	400	244,00	45,10	1413,90
5	Variasi 5	0	100	0,63	400	252,00	0,00	1571,00

Fas pelaksanaan diperoleh dari pengujian nilai sebar sesuai ASTM C 230 dengan nilai sebaran berkisar 70% - 115%. Nilai fas pelaksanaan yang memenuhi persyaratan nilai sebar disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Nilai Sebar

N o.	Variasi	Karet (%)	Pasir (%)	Fas awal	Fas pelaksanaan	Nilai Sebar (%)
1	Variasi 1	40	60	0,57	0,55	74,00
2	Variasi 2	30	70	0,58	0,58	81,25
3	Variasi 3	20	80	0,59	0,61	81,50
4	Variasi 4	10	90	0,61	0,63	79,25
5	Variasi 5	0	100	0,63	0,69	77,00

Dari hasil pengujian nilai sebar, selanjutnya dibuat revisi terhadap rancangan awal yang sesuai dengan nilai fas baru sebagai berikut:

Tabel 5. Komposisi beton karet berdasarkan fas baru

No.	Variasi	Karet (%)	Pasir (%)	Fas Pelaksaan	Kebutuhan bahan dalam 1 m ³			
					Semen (kg)	Air (lt)	Karet (kg)	Pasir (kg)
1	Variasi 1	40	60	0,55	400	220,0	180,40	942,60
2	Variasi 2	30	70	0,58	400	232,0	135,30	1099,70
3	Variasi 3	20	80	0,61	400	244,0	90,20	1256,80
4	Variasi 4	10	90	0,63	400	252,0	45,10	1413,90
5	Variasi 5	0	100	0,69	400	276,0	0,00	1571,00

Benda Uji

Tiap variasi campuran dibuat benda uji 3 benda uji tekan dan 3 benda uji lentur sehingga total benda uji sebanyak 30 buah. Benda uji tekan berupa silinder ukuran 150×300 mm (SNI 1974:11) sedangkan benda uji lentur berupa balok ukuran 600×150×150 mm (SNI 4431:2011). Komposisi bahan mengacu pada Tabel 5 yang disesuaikan dengan volume benda uji yang dibutuhkan. Selama pencampuran, kontrol terhadap nilai sebar dilakukan agar mendekati hasil perancangan. Pengukuran berat jenis beton segar tiap benda uji dilakukan untuk memastikan proporsi bahan telah sesuai dengan hasil perencanaan. Selanjutnya benda uji dirawat sampai umur 28 hari sebelum dilakukan pengujian tekan dan lentur.

Pengujian

Pelaksanaan uji tekan dilaksanakan setelah beton telah berumur 28 hari. Uji kuat tekan dengan modulus dilakukan sesuai standar SNI 1974:11. Uji kuat lentur balok dilakukan dengan cara *third point loading* sesuai standar SNI 4431:2011. Pengamatan dilakukan terhadap tegangan, regangan, dan beban puncak yang menyebabkan benda uji rusak

Analisis

Analisis berat beton karet, kuat tekan dan kuat lentur masing-masing dihitung menggunakan Persamaan (1), Persamaan (2) dan Persamaan (3). Nilai modulus elastisitas beton karet ditentukan dari slop/kemiringan dari hubungan kurva σ - ϵ pada uji tekan. Modulus yang ditentukan adalah modulus *secant* yang diperoleh dari kemiringan garis yang ditarik dari titik asal ke titik pada kurva yang sesuai dengan tegangan 40% dari kegagalan pembebanan. Selain itu analisis juga dilakukan terhadap nilai modulus subgrade reaction yang diperoleh dari pengujian tekan.

$$B_b = \left[\frac{W}{0,25\pi d^2 H} \right] \quad (1)$$

$$f_c = \left[\frac{P}{0,25\pi d^2} \right] \quad (2)$$

$$f_r = \left[\frac{PL}{bh^2} \right] \quad (3)$$

Hasil dan Pembahasan

Berat Beton Karet

Berat beton merupakan nilai perbandingan antara berat dengan volume beton. Pengukuran berat beton dilakukan pada 0, 1 dan 28 hari. Hasil pemeriksaan berat beton pada benda uji silinder disajikan pada tabel berikut:

Tabel 6. Hasil pemeriksaan berat beton karet

Variasi	Kode benda uji silinder	Perbandingan bahan (%)		Berat beton karet rata-rata per m ³ (kg)		
		Pasir	Karet	Umur	Umur	Umur
				0 hr	1 hr	28 hr
Variasi 1	C-SR60/40	60%	40%	1861,64	1836,48	1803,19
Variasi 2	C-SR70/30	70%	30%	1921,38	1918,24	1870,36
Variasi 3	C-SR80/20	80%	20%	2050,31	2031,45	1955,41
Variasi 4	C-SR90/10	90%	10%	2125,79	2113,21	1999,59
Variasi 5	C-SR100/0	100%	0%	2157,23	2144,65	2108,58

Tabel 6 memperlihatkan bahwa semakin banyak jumlah karet dalam campuran beton, berat beton semakin menurun. Besarnya penurunan berat beton sebesar 3,5–14,5%. Lapis interlayer dapat berfungsi sebagai base maupun subbase dari lapis overlay di atasnya, sehingga penggunaannya beton karet pada kadar 40% sangat potensial digunakan untuk memenuhi kedua fungsi tersebut sesuai standar Kimpraswil 2003.

Kuat Tekan Beton Karet

Hasil uji kuat tekan pada umur 28 hari disajikan pada tabel berikut:

Tabel 7 Kuat tekan beton karet pada umur 28 hari

Variasi	Perbandingan bahan (%)		F_{as}	Kuat tekan (f'_c) (MPa)
	Pasir	Karet		
Variasi 1	60%	40%	0,550	10,097
Variasi 2	70%	30%	0,580	11,041
Variasi 3	80%	20%	0,610	16,538
Variasi 4	90%	10%	0,630	21,513
Variasi 5	100%	0%	0,690	23,327

Tabel 7 memperlihatkan bahwa semakin besar penggunaan karet, kuat tekan beton semakin menurun. Penurunan mencapai 29% pada penggunaan karet 20% dan mencapai 57% akibat penggunaan karet 40% dalam campuran beton. Penurunan kuat tekan ini akan berpengaruh pada penggunaan beton karet pada konstruksi berdasarkan kriteria SNI 03-3449-1994. Penggunaan karet antara 20-40%, menyebabkan beton karet hanya digunakan untuk struktur yang ringan seperti lapis base diperkerasan.

Kuat Lentur Beton Karet

Hasil uji kuat lentur pada umur 28 hari disajikan pada tabel berikut:

Tabel 8. Kuat lentur beton karet pada umur 28 hari

Variasi	Perbandingan volume bahan (%)		F_{as}	Kuat lentur (f'_r) (MPa)
	Pasir	Karet		
Variasi 1	60%	40%	0,550	1,191
Variasi 2	70%	30%	0,580	1,616
Variasi 3	80%	20%	0,610	1,869
Variasi 4	90%	10%	0,630	2,385
Variasi 5	100%	0%	0,690	2,421

Tabel 8 memperlihatkan bahwa kuat lentur balok mengalami penurunan dengan bertambahnya prosentase karet. Pada kadar karet 10%, penurunan kuat lentur hanya sebesar 1,9% namun pada penggunaan karet 40%, nilai kuat lentur turun sebesar 50,82%.

Hubungan Kuat Tekan dan Kuat Lentur

Hubungan antara kuat tekan dan lentur beton karet ditunjukkan melalui persamaan dalam SNI T-15-1991-03. Hasil evaluasi hubungan kuat tekan dan kuat lentur beton karet dari data pengujian laboratorium, memberikan persamaan sebagai berikut:

$$f_r = 0,67\sqrt{f'_c} - 0,821 \quad (4)$$

Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan karet lebih berpengaruh pada penurunan kuat tekan beton dibandingkan kuat lenturnya, untuk umur beton yang sama (28 hari).

Modulus Elastisitas Beton Karet

Nilai modulus elastisitas beton karet yang ditentukan dari slop/kemiringan dari hubungan kurva σ - ϵ pada uji tekan adalah sebagai berikut:

Tabel 9. Nilai rerata modulus elastisitas beton karet

Variasi	Perbandingan volume bahan (%)		F_{as}	Modulus elastisitas (E) (MPa)
	Pasir	Karet		
Variasi 1	60%	40%	0,550	8755
Variasi 2	70%	30%	0,580	10523
Variasi 3	80%	20%	0,610	12742
Variasi 4	90%	10%	0,630	18900
Variasi 5	100%	0%	0,690	19721

Beton Karet Sebagai Interlayer

Bahan interlayer yang direkomendasi oleh AASHTO 1993 dan Kimpraswil 2003 saat ini berupa campuran aspal konvensional. Penggunaan karet serutan dalam campuran beton akan meningkatkan daktilitas beton sehingga dapat mengakomodir terjadinya deformasi yang lebih besar di interlayer akibat pengaruh beban dan thermal.

Dalam penelitian ini, penggunaan karet serutan sampai 40% dengan jumlah semen 400 kg/m³, masih menghasilkan nilai modulus kekakuan yang cukup tinggi untuk digunakan sebagai bahan interlayer jika dibandingkan kebutuhan modulus interlayer untuk perkerasan kaku yang hanya berkisar 1200-1400 Mpa (Qin dan Zhu, 2011). Gambaran nilai modulus of subgrade reaction yang diperoleh dari hasil pembacaan uji tekan seperti pada tabel berikut:

Tabel 10. Rekapitulasi Nilai k_v

Variasi Karet %	Nilai k_v (MN/m ³)
40	21653
30	24257
20	30794
10	33453
0	32827

Hasil ini juga menunjukkan bahwa beton karet sebagai interlayer masih dapat dirancang dengan kadar karet serutan di atas 40%. Hal ini dikarenakan kebutuhan nilai modulus of subgrade reaction seperti pada perkerasan beton di bandara hanya berkisar 14 – 136 MN/m³.

Kesimpulan

Penggunaan karet serutan 40%, menyebabkan penurunan kuat tekan beton sebesar 57%, kuat lentur sebesar 50,82% dan modulus kekakuan sebesar 55,61%. Penambahan karet lebih berpengaruh pada penurunan kuat tekan beton dibandingkan kuat lenturnya, untuk umur beton yang sama (28 hari). Penggunaan beton karet sebagai interlayer dengan fungsi sebagai base, direkomendasikan pada penggunaan karet serutan antara 20-40% sedangkan untuk fungsi interlayer sebagai subbase penahan retak refleksi, penggunaan karet serutan diatas 40% masih cukup potensial digunakan dalam campuran beton.

Daftar Notasi

f_c	= kuat tekan silinder beton, MPA
f_r	= kuat lentur beton, MPA
P	= beban maksimum, ton
L	= jarak antara dua perletakan, mm
b	= lebar balok, mm
h	= tinggi balok, mm
d	= diameter silinder beton, mm
E_c	= modulus elastisitas beton tekan, MPA
w_c	= berat jenis beton, kg/m ³

Daftar Pustaka

- AASHTO, 1993, Guide for Design of Pavement Structure, American Association of State Highway and Transportation Officials, USA.
- ASTM C 230, 2008. Standard Test Method for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement.
- ASTM C270-57T Standard Specification for Mortar for Unit Masonry
- Buttlar, B. 2000. Reflective Crack Relief Interlayers. Cracking in Pavements Symposium. Laramie, WY: University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Hernandez-Olivares, F., Barluenga, G., Parga-Landa, B., Bollati, M., Witoszek, B., 2006. Fatigue behaviour of Recycled Tyre Rubber-Filled Concrete and its Implications in The Design of Rigid Pavements, Journal of Construction and Building Materials, No. 21, pp.1918-1927.
- Hardiyatmo, H.C., 2011, *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Khodaii, A. and Fallah, S., 2009, Effect of Geosynthetic Reinforcement on the Propagation of Reflection Cracking in Asphalt Overlays. *International Journal of Civil Engineering*, Vol. 7, No.2.
- Kimpraswil, 2003, *Perencanaan Perkerasan Jalan Beton Semen (Pd T-14-2003)*, Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah.
- Nehdi, M. dan Khan, A., 2001, Cementitious Composites Containing Recycled Tire Rubber. An Overview of Engineering Properties and Potential Applications, Cement, Concrete, and Aggregates Journal, CCAGDP, No.1, Vol. 23, pp. 3–10
- Ogundipe, O.M., Thom, N.H., and Collop, A.C., 2013, Evaluation of Performance of Stress-Absorbing Membrane Interlayer (SAMI) Using Accelerated Pavement Testing, *International Journal of Pavement Engineering*, Vol.14, No.6, pp. 569–578
- Qin, X. dan Zhu, S., 2011, Study of Function Layer Base on Unbonded PCC Overlays on Old Cement Concrete Pavement, *IEEE Online Journal*.
- Satyarno, 2006. Penggunaan Serutan Karet Ban Bekas Untuk Campuran Beton, *Media Teknik*, No. 4, Vol. XXVIII, pp. 45-51.
- Suparma, L.B., 2005, Laboratory Design and Performance of Stress Absorbing Membrane Interlayer (SAMI) Incorporating Waste Recycled Plastic. *Jurnal Media Teknik*. No. 2 Tahun XXVII Edisi Mei
- SNI T-15-1991-03. Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung
- SNI 03-3449-1994. Tata cara rencana pembuatan campuran beton ringan
- SNI 4431-2011. Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan
- SNI 1974:2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder
- Vanelstraete, Bondt, A.H., Courard, L., 1997, Characterization of overlay system. RILEM Conference in Prevention of Reflective Cracking in Pavements Report. Brussels. Edited by A.Vanelstraete and L. Francken pp. 61-62.