

## MODULUS REAKSI INTERLAYER (NILAI-KV) SAMI-RUBBERCRET DAN APLIKASINYA PADA DESAIN UNBONDED OVERLAY PERKERASAN BANDARA

Edward Ngii<sup>1\*</sup>, Iman Satyarno<sup>2</sup>, Latif Budi Suparma<sup>2</sup>, Suprpto Siswosukarto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Pascasarjana, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Lingkungan, UGM

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UGM

Jl. Grafika 2, Kampus UGM, Yogyakarta, 55281

\*Email: dwrd.ngii@gmail.ac.id

### Abstrak

Nilai modulus reaksi interlayer sangat berpengaruh terhadap desain tebal perkerasan kaku terutama pada konstruksi dengan beban berat seperti perkerasan bandara. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa rubbercret dapat dirancang lebih daktail sehingga berpotensi sebagai bahan stress absorbing membran interlayer (SAMI) pada overlay perkerasan kaku. Tujuan penelitian saat ini adalah untuk mengetahui nilai modulus reaksi interlayer SAMI-rubbercret untuk desain lapis overlay perkerasan bandara. Perancangan komposisi awal SAMI-RC dilakukan dengan cara coba-coab terhadap nilai faktor air semen (fas). Jumlah semen yang digunakan sebesar 400 kg/m<sup>3</sup> dengan perbandingan berat karet serutan terhadap pasir yaitu 0/100; 20/80; 40/60; 60/40; 80/20; dan 100/0. Perancangan nilai fas melalui uji sebar mengacu pada standar ASTM C 230. Nilai fas yang digunakan dalam perencanaan mengacu pada ASTM C270-57T dengan nilai konsistensi mortar yang disyaratkan adalah 70-115%. Benda dibuat berbentuk silinder dengan diameter 16 cm dengan tebal 1, 2, dan 3 cm atau sebesar 4%, 8% dan 12% dari tebal eksisting. Pengujian nilai-kv dilakukan setelah bahan SAMI-Rubbercret berumur 28 hari menggunakan mesin uji tekan, LVDT dan data logger. Hasil analisis diperoleh nilai-kv SAMI-Rubbercret yang dapat memberikan dukungan yang sama antara pada lapis overlay dengan full depth diperoleh pada penggunaan SAMI-RC40 setebal 2 cm. Tegangan maksimum yang diperoleh pada penggunaan SAMI-RC40 setebal 2 cm pada sistem overlay yaitu sebesar 2,203 MN/m<sup>3</sup>. Nilai ini telah mendekati tegangan yang terjadi pada full depth pavement sehingga lapis overlay dapat berfungsi seperti perkerasan baru.

**Kata kunci:** interlayer; Overlay; SAMI-Rubbercret;; Unbonded;

### PENDAHULUAN

Kinerja perkerasan kaku dipengaruhi oleh daya dukung tanah dasar di bawah pelat beton. Daya dukung tanah dasar, dikarakterisasi oleh nilai *modulus of subgrade reaction* (nilai-kv). Menurut Yoder & Witczak (1975), nilai-kv memiliki pengaruh besar pada desain tebal pelat beton untuk konstruksi dengan beban besar dibandingkan beban kecil. Oleh karenanya nilai-kv merupakan variabel penting dalam desain perkerasan kaku bandara akibat beban pesawat yang beroperasi.

Overlay beton di atas perkerasan kaku eksisting adalah metode yang sering digunakan sehubungan dengan peningkatan kapasitas beban pesawat yang lebih besar. Tipe overlay dengan sistem interlayer (unbonded overlay) memiliki keunggulan karena dapat menahan penyebaran retak refleksi. Potensi retak refleksi pada overlay perkerasan kaku sangat tinggi karena dirancang untuk melayani beban yang berat (Harrington, 2008).

Pada konstruksi *unbonded overlay*, nilai-kv yang dihitung berada di atas lapis interlayer (Harrington, 2008). Permasalahan saat ini, belum ada standar untuk pengujian nilai-kv bahan interlayer namun dari beberapa referensi (Yoder & Witczak, 1975; AASHTO T-222) dapat diketahui variabel-variabel yang mempengaruhi besarnya nilai-kv yaitu tekanan dan defleksi. Selain itu penggunaan rumus empirik dalam desain tebal lapis overlay oleh FAA (1995) dan Harrington (2008) tidak memperhitungkan keberadaan lapis interlayer, sehingga kontribusi struktural terhadap lapis overlay tidak diperhitungkan.

Beton karet (*rubbercet*) dapat dirancang agar mempunyai daktalitas yang tinggi (Satyarno, 2006). Penelitian sebelumnya oleh Ngii et.al (2014), diperoleh kesimpulan bahwa beton karet sangat potensial dirancang sebagai lapis interlayer penahan retak refleksi (*Stress Absorbing*

*Membrane Interlayer*) pada penggunaan semen 400 kg/cm<sup>3</sup> dengan variasi penggunaan karet diatas 40%. Dari penelitian bahan SAMI-Rubbercret yang telah dilakukan, belum diketahui berapa nilai daya dukung bahan tersebut jika digunakan sebagai lapis interlayer.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya nilai-kv bahan interlayer SAMI-Rubbercret (SAMI-R) dan aplikasinya dalam desain tebal overlay perkerasan kaku bandara.

**Nilai-kv Perkerasan Kaku Bandara**

Standar nilai-kv lapis tanah dasar dan lapis pondasi untuk perkerasan kaku bandara diberikan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Kriteria nilai-kv tanah dasar perkerasan kaku bandara (ICAO, 1983)**

Kode	Kategori	Nilai wakil	Rentang nilai
A	High strength	k = 150 MN/m <sup>3</sup>	k > 120
B	Medium strength	k = 80 MN/m <sup>3</sup>	60 < k < 120
C	Low strength	k = 40 MN/m <sup>3</sup>	25 < k < 60
D	Ultra low strength	k = 20 MN/m <sup>3</sup>	k < 25

Berdasarkan nilai-kv pada Tabel 1, nilai modulus elastisitas tanah dasar dapat ditentukan menggunakan persamaan yang terdapat dalam Hermann (1997) sebagai berikut:

$$k_v = 10^{((\log E - 1,415)/1,284)} \tag{1}$$

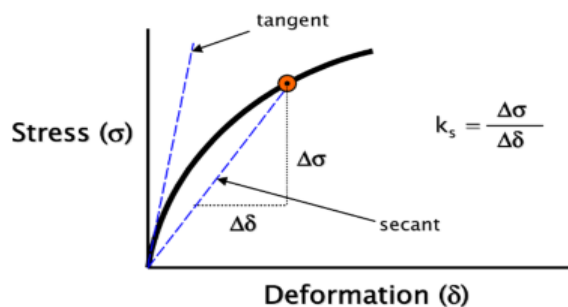
Dengan:

k<sub>v</sub> = nilai-kv tanah dasar (MN/m<sup>3</sup>)

E = modulus elastisitas tanah dasar (MPa)

**Pengujian Nilai-kv**

Penentuan nilai-kv dilakukan melalui uji beban pelat (plate loading test) pada permukaan tanah-dasar sesuai dengan standar ASTM D-1995 dan AASHTO T-222. Menurut Westergaard (1926), reaksi tanah-dasar dan defleksi adalah sebanding. Karena itu kurva hubungan beban terhadap penurunan pada uji beban pelat akan garis lurus dan kemiringan garis ini menyatakan nilai modulus reaksi tanah-dasar (nilai-kv). Modulus reaksi tanah dasar menunjukkan beban persatuan luas yang bekerja pada luasan beban yang bekerja pada tanah dasar, dibagi lendutan tanah-dasar akibat beban. Rilem (2011) menunjukkan bahwa kemiringan garis dalam penentuan nilai-kv dapat dinyatakan dengan tangent modulus atau secant seperti pada Gambar 2. Nilai-kv dipengaruhi oleh *level stress* yang digunakan, apakah menggunakan tangent modulus atau secant.



**Gambar 1. Grafik menentukan nilai modulus subgrade reaction (Rilem, 2011)**

**Nilai-kv Gabungan**

Nilai-kv subgrade komposit dipengaruhi oleh pelat beton eksisting, dapat dihitung menggunakan rumus empirik yang terdapat dalam FHWA (2006), seperti pada Persamaan (2) berikut.

$$k_v = \frac{0,65E_s}{B(1 - \nu^2)} \sqrt[12]{\frac{E_s B^4}{E_c I}} \quad (2)$$

Dengan:

$k_v$ = koefisien subgrade reaction (MPa/cm)

$E_s$ = modulus elastisitas subgrade (MPa)

$E_c$ = modulus elastisitas beton (MPa)

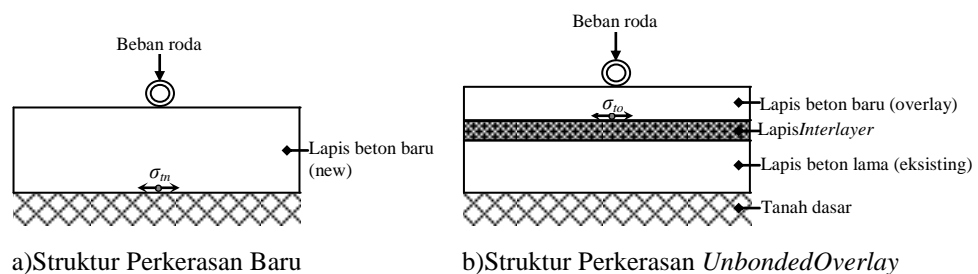
$I$  = momen inersia (cm<sup>4</sup>)

$B$  = lebar balok (cm)

$\nu$ = poisson ratio subgrade

### Prinsip Desain Unbonded Overlay

Metode PCA menggunakan prinsip desain unbonded overlay berdasarkan konsep *stress equivalent* (Huang, 2004). Konsep ini mengijinkan analisis struktur perkerasan multilayer dilakukan dengan cara mengkonversi menjadi struktur yang ekuivalen dengan system single layer seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Konsep *stress equivalent* perkerasan baru dan overlay berdasarkan metode PCA (Huang, 2004)

Konsep *stress equivalent* menyatakan bahwa tegangan di tepi (*stess edge*) dalam *unbonded overlay* ( $\sigma_{to}$ ) adalah sama atau lebih kecil dari pada tegangan tepi ( $\sigma_n$ ) pada perkerasan baru ( $\sigma_{to} \leq \sigma_{tn}$ ). Pada perkerasan kaku lapangan terbang, tegangan maksimum di tepi perkerasan akibat beban pesawat yang bekerja dapat dihitung menggunakan persamaan empirik dari Westergaard sebagai berikut:

$$\sigma_e = \frac{0,803P}{h^2} \left[ 4 \log \left( \frac{l}{a} \right) + 0,666 \left( \frac{a}{l} \right) - 0,034 \right] \quad (3)$$

Radius kekakuan relatif ( $l$ ) dihitung menggunakan Persamaan (4) berikut

$$l = \sqrt[4]{\frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)k}} \quad (4)$$

Dengan:

$\sigma_e$ = tegangan di tepi slab (psi)

$l$  = radius kekakuan relatif (in)

$P$  = Beban roda pesawat (lb)

$h$ = tebal pelat (in)

$E$  = Modulus elastisitas beton (psi)

$a$  = radius kontak beban (in)

$\nu$  = Poisson's ratio beton

## METODOLOGI

### Bahan dan peralatan

Material beton karet dalam penelitian ini terdiri dari semen portland tipe I (berat jenis 3,15), Pasir alami Merapi dengan berat jenis 2,740 dan berat satuan 1571 kg/m<sup>3</sup>, karet serutan hasil vulkanisir ban yang lolos saringan No.4 dengan berat jenis 1,137 dan berat satuan 451 kg/m<sup>3</sup>, air ,

pipa paralon diameter 6 inci, kawat pengikat, tripleks 1 cm, lem pvc. Bahan karet serutan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



**Gambar 3. Karet serutan (*shredded rubber*) hasil vulkanisir ban**

Peralatan yang digunakan antara lain mixer pencampur kapasitas 3 kg, mesin sebar, timbangan, kaliper, pikometer, gelas ukur, stopwatch, mesin uji tekan, LVDT, dan data logger

### **Mix Design SAMI-RC**

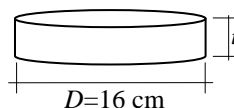
Perancangan komposisi awal SAMI-RC dilakukan dengan cara trial terhadap nilai faktor air semen (fas). Jumlah semen yang digunakan sebesar 400 kg/m<sup>3</sup> dengan perbandingan berat karet serutan terhadap pasir yaitu 0/100; 20/80; 40/60; 60/40; 80/20; dan 100/0. Perancangan nilai fas melalui uji sebar mengacu pada standar ASTM C 230. Nilai fas yang digunakan dalam perencanaan mengacu pada ASTM C270-57T dengan nilai konsistensi mortar yang disyaratkan adalah 70-115%. Hasil perancangan komposisi SAMI-RC diberikan pada Tabel 3

**Tabel 2. Komposisi SAMI-Rubbercret untuk pengujian nilai-kv**

Variasi	Karet (%)	Pasir (%)	Fas	Kebutuhan bahan dalam 1 m <sup>3</sup>				Berat Campuran (kg/m <sup>3</sup> )
				Semen (kg)	Air (lt)	Karet (kg)	Pasir (kg)	
1	0	100	0,61	400	244	0	1513	2157
2	20	80	0,56	400	224	85	1190	1900
3	40	60	0,64	400	256	135	706	1497
4	60	40	0,78	400	312	179	416	1307
5	80	20	0,84	400	336	205	178	1119
6	100	0	0,96	400	384	292	0	1076

### **Benda Ujidan Setup Pengujian**

Benda uji dirancang berbentuk silinder menggunakan pipa paralon. Diameter pipa paralon yang digunakan dipilih yang mendekati diameter silinder standar. Diameter pipa yang tersedia di pasaran berukuran 16 cm dan dibuat sesuai dengan ketebalan interlayer yang akan diuji yaitu 1, 2, dan 3 cm. Perancangan tebal benda uji mengacu pada standar (AASHTO, 1993) dan (Kimpraswil, 2003) yaitu minimal berkisar 1-2 inci (2,5-5cm). Tebal lapis interlayer dihitung berdasarkan presentase dari tebal eksisting, yang diambil sebesar 4%, 8% dan 12% dari tebal eksisting.



**Gambar 4. Dimensi benda uji untuk pengujian nilai-kv**

Setiap variasi campuran pada Tabel 2 dibuat benda uji dengan variasi tebal 1 cm, 2 cm, dan 3 cm. Total benda uji yang dibuat 18 benda uji. Seluruh benda uji dirawat di laboratorium selama 28 hari sebelum dilakukan pengujian dengan setup pengujian seperti pada Gambar 5 berikut.



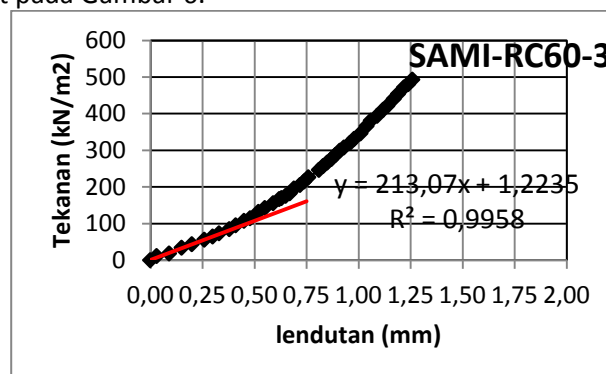
Gambar 5. Setup pengujian nilai-kv SAMI-RC dengan mesin uji tekan

Pengujian nilai-kv dilakukan setelah bahan SAMI-Rubbercret berumur 28 hari. Beban diaplikasikan dengan menset *data logger* mulai dari 0 dengan kecepatan pembebanan 0,075 MPa per detik. Pengujian dihentikan jika benda uji patah/retak, atau kenaikan beban dan lendutan telah stabil.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Rekapitulasi Nilai-kv

Nilai-kv diperoleh dari grafik hubungan tekanan yang diberikan pada permukaan SAMI-RC dan lendutan seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan tekanan-lendutan pada benda uji SAMI-RC60 tebal 3 cm

Gradien garis yang diperoleh dari *trendline* tangen modulus merupakan nilai-kv hasil pengujian yaitu sebesar 213,07 kN/m<sup>2</sup>/mm atau 213,07 MN/m<sup>3</sup>. Seluruh benda uji dianalisis dengan cara yang sama dan rekapitulasi pembacaan nilai-kv ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi nilai-kv SAMI-Rubbercret

Tipe SAMI-Rubbercret	Nilai-kv SAMI-Rubbercret (MN/m <sup>3</sup> )		
	Tebal 1 cm	Tebal 2 cm	Tebal 3 cm
SAMI-RC0	874	1968	2682
SAMI-RC20	861	831	805
SAMI-RC40	655	569	426
SAMI-RC60	136	203	213
SAMI-RC80	107	160	140
SAMI-RC100	70	140	132

Hasil pengamatan visual pada campuran SAMI-RC memperlihatkan adanya pemisahan (segregasi) air-semen dengan campuran mortar. Nilai fas yang digunakan pada SAMI-RC100 yaitu sebesar 0,96. Nilai sebar yang diperoleh memenuhi syarat ASTM C270-57T dengan nilai konsistensi mortar yang disyaratkan adalah 70-115%, seperti terlihat pada Tabel 4 berikut:

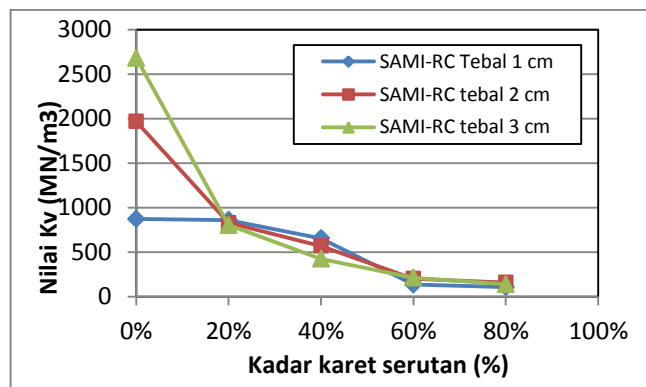
**Tabel 4. Hasil pengujian nilai sebar SAMI-Rubbercret**

Variasi	Karet (%)	Pasir (%)	Fas Awal	Fas Pengujian	Nilai Sebar (%)
1	0	100	0,69	0,61	78
2	20	80	0,61	0,56	83
3	40	60	0,55	0,64	81
4	60	40	0,52	0,78	78
5	80	20	0,50	0,84	85
6	100	0	0,48	0,96	75

Berdasarkan hasil pada Tabel 4, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan jumlah karet pada campuran SAMI-RC sebagai bahan interlayer berada pada range 20-80%. Semakin banyak jumlah karet yang digunakan, semakin banyak kadar air yang dibutuhkan untuk mencapai konsistensi mortar yang memenuhi syarat ASTM C270-57T

**Pengaruh Jumlah Karet Terhadap Nilai-kv**

Pengaruh kadar karet dalam campuran SAMI-RC diperlihatkan pada Gambar 7 berikut.



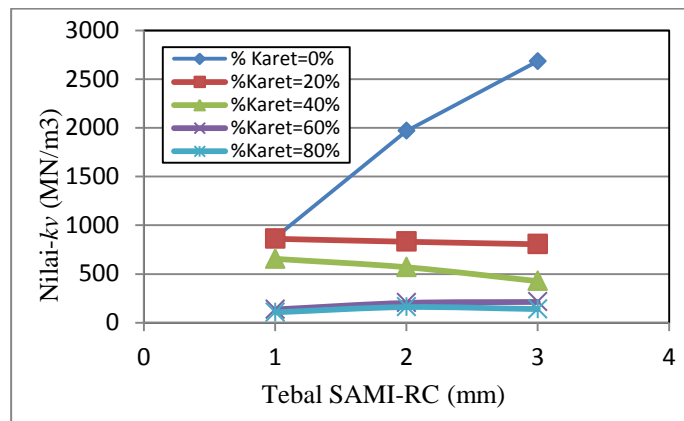
**Gambar 7. Hubungan kadar karet dengan nilai-kv SAMI-RC berdasarkan variasi tebal**

Berdasarkan Gambar 7, terlihat bahwa semakin banyak penggunaan karet dalam SAMI-RC, nilai-kv yang diperoleh semakin rendah pada semua variasi ketebalan. Nilai-kv terendah diperoleh pada pengujian SAMI-RC80, dengan nilai-kv 107 MN/m<sup>3</sup> (tebal 1 cm), 160 MN/m<sup>3</sup> (tebal 2 cm), dan 140 MN/m<sup>3</sup> (tebal 3 cm). Jika dibandingkan dengan kekuatan tanah dasar atau lapis pondasi seperti tercantum pada Tabel 1, maka nilai-kv SAMI-RC80 masih lebih kuat dari nilai-kv lapis pondasi dan berada pada range medium-high strength dari kekuatan tanah dasar.

Hasil yang diperoleh sangat menguntungkan dalam desain lapis overlay, karena kekuatan lapis interlayer SAMI-RC akan lebih tinggi dari kekuatan tanah dasar perkerasan kaku yang umumnya dapat dirancang pada kekuatan tanah dasar yang lebih rendah (*low strength*). Lapis interlayer SAMI-RC dapat memberikan daya dukung tambahan bagi lapis komposit dibawahnya (pelat beton eksisting dan subgrade). Kondisi ini akan menguntungkan dalam desain tebal overlay karena ketebalan lapis overlay dapat dirancang lebih tipis.

### Pengaruh Tebal SAMI-RC Terhadap Nilai-kv

Pengaruh ketebalan SAMI-RC terhadap nilai-kv diperlihatkan pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Hubungan kadar karet dengan nilai-kv SAMI-RC berdasarkan variasi tebal

Berdasarkan Gambar 8, terlihat bahwa perubahan ketebalan berpengaruh secara signifikan pada SAMI-RC0%. Nilai-kv SAMI-RC20 cenderung hampir sama pada semua ketebalan, sehingga penambahan ketebalan tidak banyak mempengaruhi nilai-kv yang diperoleh. Jika dibandingkan antara nilai-kv SAMI-RC20 dengan kontrol (SAMI-RC0), terlihat bahwa penurunan nilai-kv akibat penambahan karet terjadi pada ketebalan 2 cm dan 3 cm.

Pada SAMI-RC40 terlihat adanya penurunan nilai-kv dengan adanya penambahan tebal lapisan SAMI-RC. Penurunan ini diduga disebabkan karena proporsi karet dan pasir yang hampir berimbang (40% karet dan 60% pasir). Kondisi ini menyebabkan banyak rongga dalam campuran, atau campuran bersifat porous sehingga penambahan ketebalan akan menyebabkan penurunan nilai-kv.

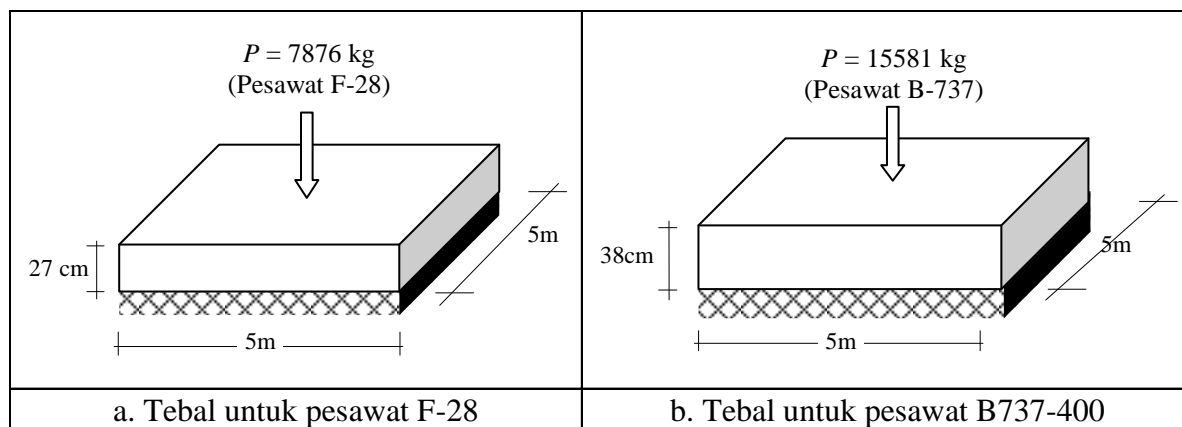
Pada SAMI-RC60 dan SAMI-RC80 terlihat trend yang hampir sama, dimana penambahan tebal lapisan SAMI-RC dapat meningkatkan sedikit nilai-kv. Peningkatan ini diduga karena kontribusi karet dengan jumlahnya cukup banyak dalam campuran, sehingga campuran padat karena jumlah karet. Karena kepadatan campuran banyak dipengaruhi oleh jumlah karet maka kekuatan SAMI-RC60 dan SAMI-RC80 masih dibawah dari tipe SAMI-RC lainnya

### Aplikasi Terhadap Desain Lapis Overlay

Untuk mengukur implikasi desain tebal lapis overlay dengan penggunaan SAMI-RC sebagai lapis interlayer, maka diberikan contoh kasus sebagai berikut.

Diketahui perkerasan eksisting dirancang untuk beban roda pesawat F-28 (Gambar 9a). Dalam rangka peningkatan pelayanan bandara, akan dioperasikan pesawat yang lebih besar yaitu B737-400 dengan kebutuhan tebal perkerasan seperti pada Gambar 9b.

Tegangan maksimum akibat beban yang bekerja di masing-masing pelat (Gambar 9), yang dihitung dengan Persamaan (3) yaitu sebesar  $\sigma_{F28} = 1,958$  MPa dan  $\sigma_{B737} = 2,203$  MPa. Geometrik pelat beton pada Gambar 9a dan 9b dihitung dengan metode FAA menggunakan nilai-kv 54 MN/m<sup>3</sup>. Berdasarkan rumus pada Persamaan (2), untuk mencapai nilai-kv sebesar 54 MN/m<sup>3</sup> maka dilakukan trial nilai  $E$  sehingga diperoleh nilai modulus elastisitas tanah dasar yang digunakan sebesar 205 MPa (Tabel 6). Berdasarkan Persamaan (1) maka nilai-kv tanah dasar sendiri berkisar 5MN/m<sup>3</sup> atau 5000 kN/m<sup>3</sup>

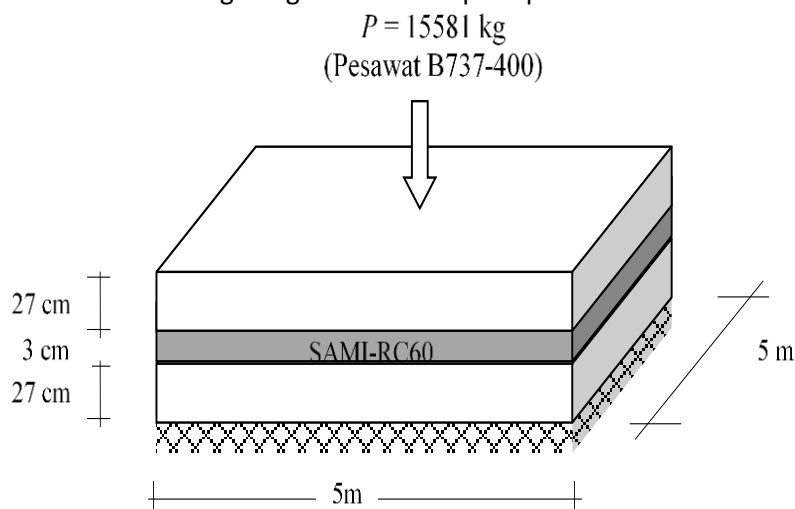


Gambar 9. Hubungan kadar karet dengan nilai-kv SAMI-RC berdasarkan variasi tebal

Tabel 5. Analisis nilai-kv komposit

Komponen	B (m)	t (cm)	E (MPa)	v	I (cm <sup>4</sup> )	Nilai-kv (MN/m <sup>3</sup> )
Pelat	5	27	27806	0,15	820125	-
Beton	-	-	205	0,40	-	54
Subgrade	-	-	-	-	-	-

Karena ketebalan yang ada lebih kecil dari yang dibutuhkan maka dilakukan overlay perkerasan eksisting dengan dimensi seperti pada Gambar 10

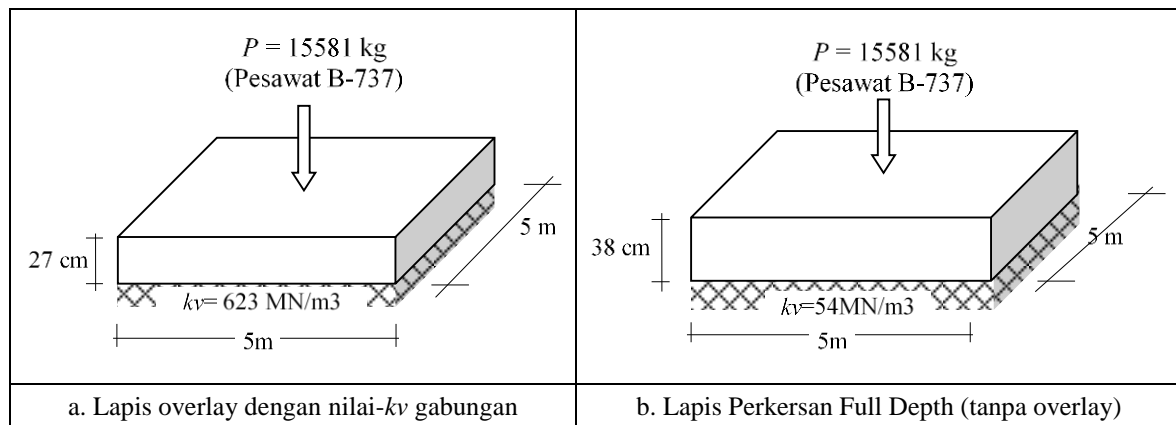


Gambar 10. Desain overlay dengan interlayer SAMI-RC60 tebal 3 cm

Peningkatan nilai-kv dihitung dengan menjumlahkan nilai-kv komposit dan nilai-kv SAMI-RC40 dengan tebal 2 cm ( $k_v=569\text{MN/m}^3$ ) sehingga diperoleh nilai  $k_v$ -gabungan sebesar 623 MN/3. Untuk keperluan analisis tegangan maksimum, maka dibuat model perbandingan seperti pada Gambar 11.

Tegangan maksimum akibat beban pesawat B737-400 yang bekerja di masing-masing pelat (Gambar 10), yang dihitung dengan Persamaan (3) yaitu sebesar  $\sigma_{ov} = 2,204\text{ MPa}$  dan  $\sigma_{FD} = 2,203\text{ MPa}$ . Tegangan maksimum yang terjadi pada lapis overlay telah mendekati tegangan pada full depth berdasarkan konsep stress equivalent, sehingga lapis overlay dapat berfungsi seperti lapis perkerasan baru.





**Gambar 11. Model perbandingan antara overlay dengan full depth**

## KESIMPULAN

Berdasarkan konsep tegangan equivalent, nilai- $k_v$  SAMI-Rubbercret yang dapat memberikan dukungan yang sama antara pada lapis overlay diperoleh pada penggunaan SAMI-RC40 setebal 2 cm dengan nilai tegangan maksimum yang dihasilkan sebesar 2,203 MN/m<sup>3</sup>.

## 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*
- Edward-Ngii, Satyarno, I., Suparma, L. B. & Siswosukarto, S., 2014. Rancangan Laboratorium Beton karet (rubcret) sebagai bahan interlayer. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil V*, UMS, Surakarta.
- FHWA, 2006. *Geotechnical Aspects of Pavements Reference Manual*, Publication FHWA No. NHI-05-03, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.
- FAA, 1995. *Airport Pavement Design and Evaluation, United States of America*: Advisory Circular AC-150/5320-6E.
- Harrington, D., 2008. *Guide to Concrete Overlays*, Second edition, Iowa State University: National Concrete Pavement Technology Center.
- Hermann, F.V., 1997, A Sensitivity Study of Layered Elastic Theory for Airport Pavement Design. *Proceeding of Aircraft/Pavement Technology In The Midst of Change, Airfield Pavement Committee*, ASCE, August 17-20, Seattle, Washington.
- ICAO, 1983. *Aerodrome Design Manual*, Part 3-Pavements. 2nd ed. USA: International Civil Aviation Organization.
- Rilem, 2011. Bonded Cement-Based Material Overlays for the Repair, the Lining or the Strengthening of Slabs or Pavements, *State of the Art Report of the RILEM Technical Committee*, Volume 3, Springer, New York.
- Satyarno, 2006. Penggunaan Serutan Karet Ban Bekas Untuk Campuran Beton, *Jurnal Media Teknik*, No. 4, Vol. XXVIII, pp. 45-51.
- Westergaard, H., 1926. Stress in Concrete Pavements Computed by Theoretical Analysis. *Journal of Public Roads*, Volume 7, pp. 225-235.
- Yoder, E. J. dan Witczak, M. W., 1975. *Principals of Pavement Design*. 2nd ed. New York: John Wiley and Sons, Inc.