

Modulus Kekakuan Campuran Beraspal yang Mengandung Butiran Ban Bekas Sebagai Agregat Pengganti Sebagian

Fauna Adibroto¹⁾
Bambang Ismanto Siswosoebrotho²⁾

Abstrak

Selama dua dekade terakhir, metoda untuk perencanaan perkerasan lentur dikembangkan berdasarkan metoda analitik, dimana dalam pemakaian metoda ini sangat diperlukan untuk mengetahui modulus kekakuan dari material perkerasan.

Tujuan utama dari penelitian yang diuraikan dalam tesis ini adalah untuk menentukan dan membandingkan nilai modulus kekakuan dari campuran beraspal yang mengandung butiran ban bekas sebagai agregat pengganti sebagian dengan campuran beraspal Konvensional. Campuran Hot Rolled Asphalt (HRA) tipe C (BS 594.1992) dipilih dalam penelitian ini, dan pengaruh butiran ban bekas pada campuran selanjutnya diselidiki dalam penelitian ini dan nilai kadar aspal optimum untuk masing-masing campuran tersebut ditentukan dengan analisa Marshall.

Kata-kata kunci: *Modulus, butiran ban bekas, HRA, agregat pengganti.*

Abstract

During last two decade method of flexible pavement design developed based on analytical method, by which the use of this method stiffness is strongly required modulus of pavement material.

The main research objective described in this thesis is to predict and compare stiffness modulus of bituminous mixtures containing scrap rubber tire as partially aggregate replacement with the conventional bituminous mixtures. A Hot Rolled Asphalt (HRA) type C (BS 594.1992) was selected for investigation and the influences of scrap rubber tire as partially aggregate replacement in the mixture were investigated and the optimum bitumen content was determined.

Keywords: *Modulus, scrap rubber tire, HRA, aggregate replacement.*

1. Pendahuluan

Struktur perkerasan lentur jalan pada umumnya terdiri dari sistim multi lapis atau lebih dari satu lapis, dimana saat menerima beban lalu lintas pada setiap lapisan perkerasan akan timbul tegangan dan regangan. Kekuatan struktur dari masing-masing lapisan tersebut tergantung dari batas maksimum tegangan dan regangan. Batas maksimum tegangan dan regangan dapat dianggap sebagai batas kekuatan lapisan perkerasan dalam menahan beban. Faktor yang mempengaruhi besarnya tegangan dan regangan tersebut antara lain adalah modulus elastis, angka *Poisson*, dan tebal dari masing-masing lapisan perkerasan.

Banyak sudah usaha-usaha untuk meningkatkan kinerja campuran beraspal di lapangan dengan menambahkan bahan-bahan *additive* berupa zat-zat kimia yang sebagian besar masih diimpor dari luar negeri yang tentunya harganya akan mahal, untuk itu perlu adanya alternatif bahan pengganti yang bisa didapat dengan mudah, secara lokal dan tentunya murah. Sejalan dengan pikiran tersebut, maka dalam hal ini dicoba meneliti tentang penggunaan butiran ban bekas sebagai bahan pengganti (*replacement*) sebagian (persentase volume bahan ditentukan) untuk agregat fraksi tertentu pada campuran beraspal, terutama menyangkut nilai modulus kekakuannya pada campuran beraspal.

1) Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Padang

2) Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil ITB

Catatan : Usulan makalah dikirimkan pada 20 Nopember 2003 dan dinilai oleh peer reviewer pada tanggal 23 Desember 2003 – 8 Januari 2004. Revisi penulisan dilakukan antara tanggal 9 Januari 2004 hingga 17 Januari 2004.

1.1 Perhitungan modulus kekakuan

Perhitungan nilai modulus kekakuan campuran beraspal telah banyak dilakukan antara lain berdasarkan pengujian :

- Triaxial beban berulang
- Tekanan rangkai uniaksial beban berulang
- Tarik langsung beban berulang
- Uji kekakuan dinamis dan kelelahan

Modulus kekakuan campuran beraspal didefinisikan sebagai perbandingan tegangan dengan regangan pada waktu dan temperatur tertentu.

Metode yang banyak digunakan untuk menghitung nilai modulus kekakuan dari campuran beraspal adalah :

- Metode Shell
- Metode Asphalt Institute

1.1.1 Metode Shell

Pada tahun 1977, Shell berhasil membuat sebuah nomograf seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. guna menghitung besarnya modulus kekakuan dari campuran beraspal. Masukan yang diperlukan untuk nomograf ini adalah :

- Nilai modulus kekakuan dari aspal, N/m²
- Volume aspal (dalam persen)
- Volume agregat (dalam persen)

Penentuan besarnya modulus kekakuan dari aspal (*bitumen*) diperoleh dari nomograf yang dikembangkan oleh Van der Poel seperti yang terlihat pada **Gambar 2**. atau dengan persamaan yang dikembangkan oleh Ullidtz (1979) sebagai berikut :

$$S_b = 1.157 \times 10^{-7} \times t^{-0.368} \times 2.718^{-P_{ir}} \times (SP_r - T)^5$$

dimana : S_b = Stiffness bitumen dalam Mpa

t = Waktu pembebanan, detik

P_{ir} = Penetration index recovered

SP_r = Temperatur titik lembek °C

T = Temperatur aspal °C

Persamaan di atas dapat dipakai jika memenuhi syarat sebagai berikut :

T = 0,01 - 0,1 detik

P_{ir} = -1 sampai +1

$(SP_r - T)$ = 20°C - 60°C

1.1.2 Metode Asphalt Institute

Program computer DAMA dipergunakan pada prosedur perancangan analitik yang diusulkan oleh Asphalt Institute (Shook, et all, 1986)), yaitu dengan menggunakan persamaan regresi untuk penaksiran modulus kekakuan campuran beraspal. Persamaan yang agak rumit tersebut merupakan fungsi dari beberapa parameter sebagai berikut :

$$E = f(P_{200}, f, V_v, \eta_{70}^{\circ F}, T, V_B)$$

dimana : E = modulus kekakuan campuran beraspal

P_{200} = persentase lolos saringan No. 200

f = frekuensi, Hz

V_v = rongga udara

$\eta_{70}^{\circ F}$ = nilai viskositas awal aspal pada 70°F

T = temperatur, °F

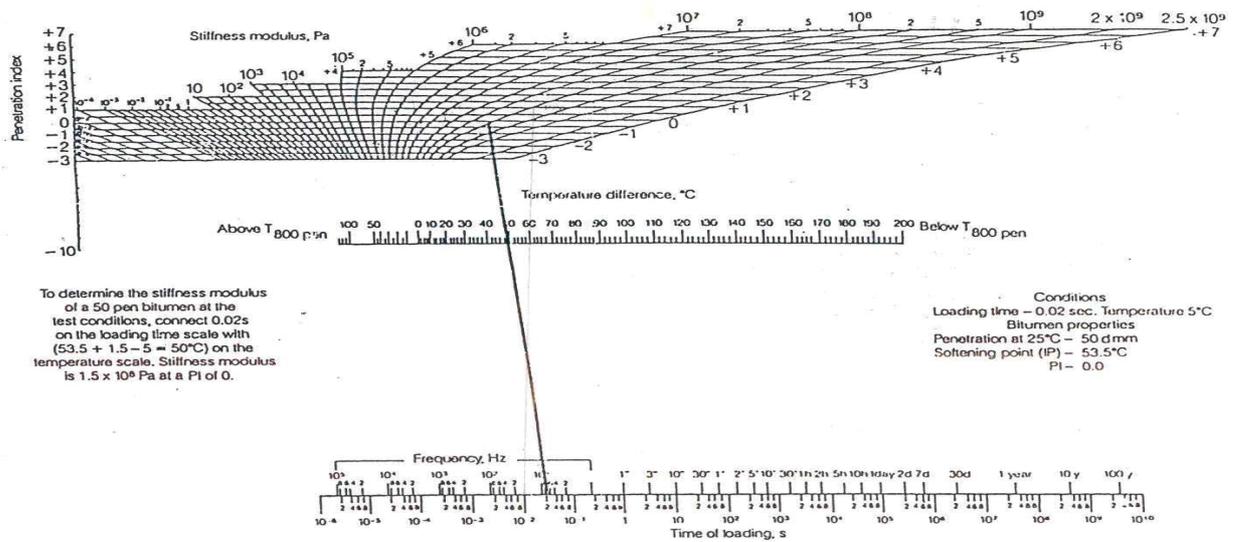
V_B = persentase volume aspal

Metode Shell dan Asphalt Institute di atas pada prinsipnya memiliki dasar yang intinya sama sehingga keduanya mempunyai kesesuaian.

1.2 Pengukuran modulus kekakuan dengan alat UMATTA

UMATTA (*Universal Material Testing Material*) adalah suatu alat yang dapat dipakai untuk mengukur modulus kekakuan campuran aspal dan material *unbound* yang telah dikembangkan oleh *Industrial Process Control Limited* (IPCL). Alat tersebut terdiri dari *Control and Data Acquisition System* (CDAS), sebuah *Personal Computer* (PC) yang kompatibel dengan IBM, dan perangkat lunak terpadu bersifat "*User Friendly*" yang ditulis dalam bahasa Pascal. Gambaran alat UMATTA dapat dilihat seperti pada **Gambar 3**. Peralatan ini dikembangkan dengan kerja sama dengan Badan Penelitian Jalan Australia (ARRB), "Australian State Road Authorities dan Asosiasi Aspal Australia (AAA), Industri, Kelompok Penelitian dan Konsultan.

Sistem pengoperasian alat UMATTA dimulai dengan CDAS akan menangkap data dinamik melalui *transducer* yang dipasang pada benda uji dan merubahnya menjadi analog sinyal digital, kemudian meneruskannya ke komputer untuk diolah lebih lanjut melalui standar saluran komunikasi RS-232C. Manfaat umum penggunaan komputer mesin pembebanan pneumatic yang dikendalikan komputer adalah biaya yang rendah. Sistem ini memiliki sarana untuk mencatat dan

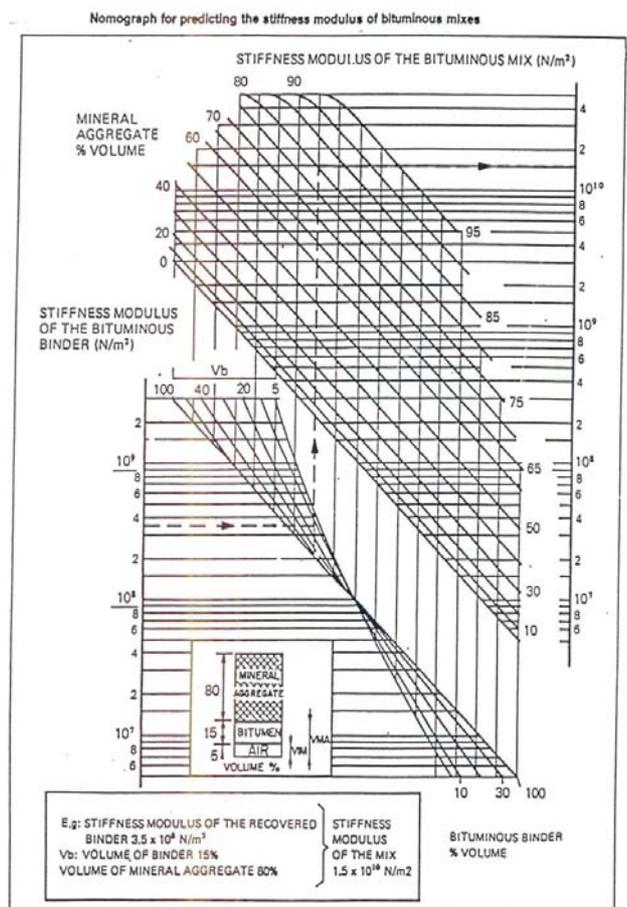


Gambar 1. Nomogram penentuan kekakuan bitumen
 Sumber : Brown, S.F., and Brunton, J.M. 1982

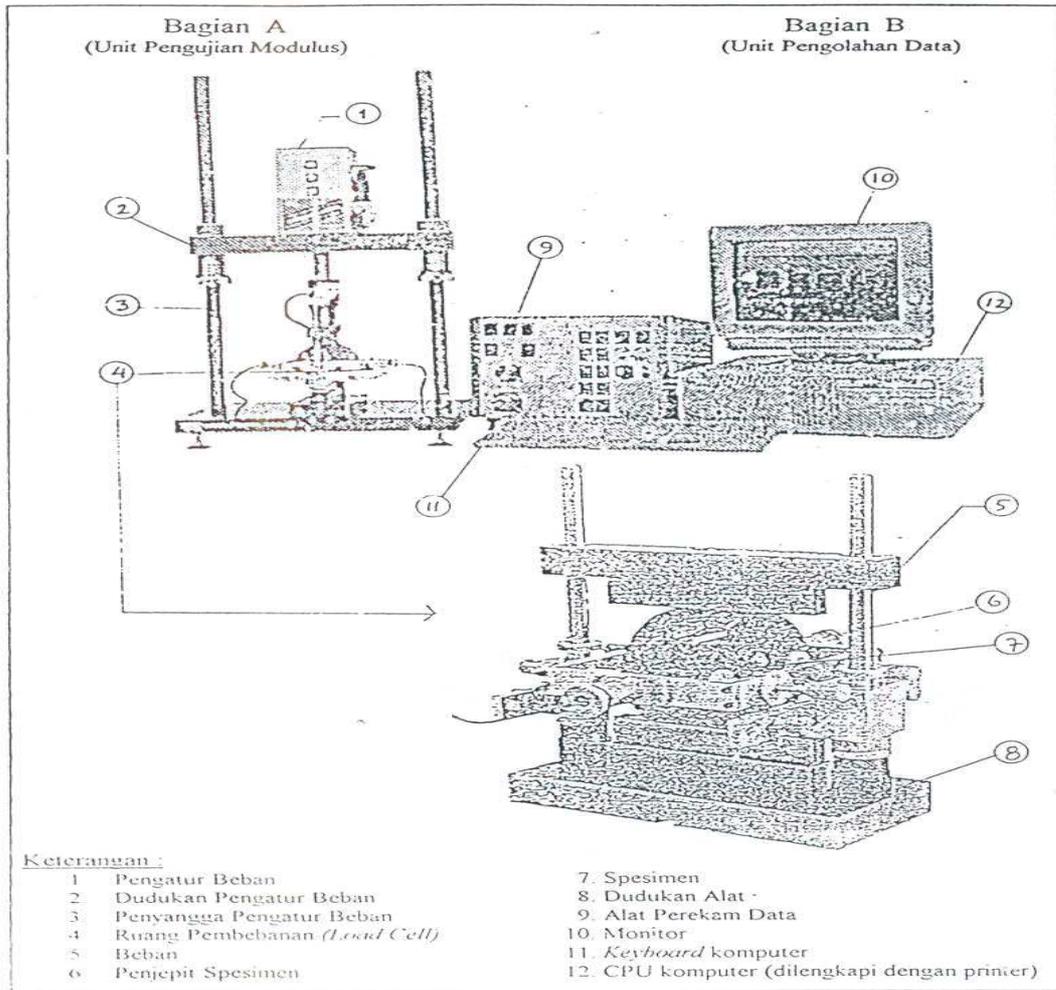
menampilkan tegangan, regangan, modulus elastis benda uji, dan gambaran periode waktu atau siklus jumlah pembebanan. Perangkat lunak akan menyimpan data hasil pengujian pada *Binary files* yang juga menyediakan fasilitas tak langsung dari data pengujian sebelumnya melalui layar gambar, selanjutnya informasi data yang telah direkam akan mengikuti perintah operator untuk mulai atau menghentikan pengujian.

Ada 6 (enam) jenis pengujian yang dapat dilakukan dengan perangkat lunak alat UMATTA ; 4 (empat) jenis untuk benda uji campuran beraspal dan 2 (dua) untuk benda uji butiran tanpa pengikat atau bahan tanah dasar. Selanjutnya pengujian kekakuan tarik tak langsung dapat pula dipakai untuk menentukan modulus kekakuan benda uji. Pengujian yang dapat dilakukan didefinisikan sebagai berikut :

- Pengujian kekakuan tarik tak langsung dengan pembebanan diametrikal lima pulsa.
- Pengujian kekakuan tarik tak langsung dengan pembebanan diametrikal berulang.
- Pengujian rangkai dengan pembebanan uniaksial statis.
- Pengujian rangkai dengan pembebanan uniaksial berulang.
- Pengujian modulus dan regangan triaksial beban berulang baik dengan tekanan sel statis atau siklis.
- Pengujian modulus tegangan berjenjang triaksial beban berulang baik dengan tekanan sel statis atau siklis.



Gambar 2. Nomogram penentuan kekakuan campuran (Smix)
 Sumber : SHELL Pavement Design Manual, 1978



Gambar 3. Perlengkapan UMATTA
Sumber : IPC Ltd, 1996

2. Program Penelitian

Program penelitian yang dilakukan adalah untuk mengevaluasi nilai modulus kekakuan dari campuran beraspal konvensional dan campuran beraspal yang mengandung butiran ban bekas untuk campuran lapis permukaan (*Wearing Course*) menggunakan alat UMATTA serta perhitungan secara analitis menggunakan metode Shell dan Asphalt Institute pada berbagai temperatur dan pembebanan, kemudian membandingkan nilai yang diperoleh.

2.1 Jenis campuran yang digunakan

Spesifikasi campuran beraspal yang digunakan adalah campuran tipe C dari Hot Rolled Asphalt (HRA) dengan batas tengah dari *envelop grading* mengikuti gradasi yang dianjurkan oleh British Standard (BS) 595 :1992. seperti dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut :

Tabel 1. Batasan untuk gradasi campuran lapis permukaan HRA tipe C designation 30/14 tebal 40 mm

Sieve	Percent passing			% Retained middle gradation
	Upper limit	Lower limit	Middle limit	
20,00 mm	100,0	100,0	100,0	0
14,00 mm	100,0	85,0	92,5	7,5
10,00 mm	90,0	60,0	75,0	17,5
6,30 mm	-	-	-	-
2,36 mm	72,0	60,0	66,0	9,0
600,00 µm	45,0	25,0	35,0	31,0
212,00 µm	30,0	15,0	22,5	12,5
75,00 µm	12,0	8,0	10,0	12,5
Pan				10,0

2.2 Pengujian material

Pengujian yang berhubungan dengan komponen individu dari material penyusun campuran HRA akan dilakukan sesuai dengan kebutuhan.

2.2.1 Pengujian agregat

Agregat kasar, agregat halus serta filler sebelum digunakan terlebih dahulu dilakukan analisa laboratorium berdasarkan standar pengujian seperti terlihat pada **Tabel 2**. Untuk agregat halus pengujian utama adalah berat jenis, penyerapan air dan *sand equivalent*. Sedangkan untuk filler adalah pengujian berat jenisnya saja. Agregat yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari lokasi quarry material Banjaran Bandung.

Pengujian yang penting untuk butiran ban sebagai agregat pengganti adalah pengujian berat jenisnya, karena diperlukan untuk perhitungan persen volume pada agregat gabungan mengingat perbedaan yang cukup besar nilai berat jenis karet dengan batuan alam.

2.2.2 Jenis dan pengujian aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal Pen 60/70 produksi Pertamina, dimana standar pengujian yang dilaksanakan adalah seperti yang tercantum pada **Tabel 3**.

2.3 Pengujian Marshall

Pengujian dan analisis yang akan dilakukan terhadap benda uji Marshall secara detail mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991. Dalam menentukan kadar aspal optimum, disiapkan tiga benda uji untuk lima sampai enam kadar aspal. Variasi kadar aspal yang dipilih yaitu antara 5% sampai 9% terhadap berat total campuran agregat, dengan selang kenaikan 1%.

Dalam analisa, parameter yang diukur adalah kepadatan bulk benda uji, kepadatan agregat terkompaksi (*density*), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam mineral agregat (VMA), dan rongga terisi aspal (VFB). Pengujian yang dilakukan di laboratorium adalah menentukan stabilitas dan kelelahan.

Analisa dibagi dalam dua kategori yaitu ; pertama berdasarkan perhitungan kepadatan bulk dan rongga dalam benda uji, kedua berdasarkan pengukuran terhadap stabilitas dan kelelahan. Kepadatan bulk setiap benda uji ditentukan berdasarkan berat kering dan berat dalam air. Berat jenis untuk masing-masing agregat dan aspal serta proporsi campuran tiap benda uji, diperlukan untuk menentukan berat jenis maksimum teoritis benda uji.

Tabel 2. Standar pengujian agregat

Jenis pengujian	Standar pengujian
Agregat Kasar :	
• Analisa saringan	SNI 03-1968-1990
• Berat jenis	SNI 03-1969-1990
• Penyerapan terhadap air	SNI 03-1969-1990
• Keausan dengan Los Angeles	SNI 03-2417-1991
• Kelekatan terhadap aspal	SNI 03-2439-1991
• Nilai tekanan	BS 812.1992
• Bentuk Sudut	BS 812.1992
Agregat Halus :	
• Berat jenis	SNI 03-1970-1990
• Penyerapan terhadap air	SNI 03-1970-1990
• <i>Sand equivalent</i>	AASHTO T - 176
Filler :	
• Berat jenis	SNI 15-2531-1991

Tabel 3. Standar pengujian aspal pen 60/70

Jenis pemeriksaan	Standar pengujian
Penetrasi (25°C, 100gr, 5 detik)	SNI 06-2456-1991
Titik lembek (<i>ring and ball</i>)	SNI 06-2434-1991
Titik nyala (<i>cleveland open cup</i>)	SNI 06-2433-1991
Kehilangan berat (163°C, 5jam)	SNI 06-2440-1991
Kelarutan	AASHTO T-44-90
Daktilitas (25°C, 5 cm/menit)	SNI 06-2432-1991
Penetrasi setelah kehilangan berat	SNI 06-2456-1991
Daktilitas setelah kehilangan berat	SNI 06-2432-1991
Berat jenis (25°C)	SNI 06-2441-1991

2.4 Pengujian dengan alat UMATTA

Pengujian ini merujuk pada *The American Society for Testing and Material* (ASTM) D 4123-82 (1987). Dalam pengujian ini suatu pembebanan yang disebut *pulsed diametral loading force* dilakukan pada benda uji dan menghasilkan yang disebut *total recoverable diametral strain* kemudian diukur dari sumbu aksis 90 derajat terhadap pusat pembebanan. Regangan pada sumbu yang sama tidak diukur, dengan demikian *Poisson Ratio* harus dimasukkan secara terpisah untuk menggantikan angka *default* 0,4 dari sistem UMATTA.

Bentuk dari gelombang pembebanan pada alat UMATTA adalah triangular dan tidak bisa diubah. Urutan pengujian terdiri dari sejumlah pilihan atas *conditioning pulse* yaitu 5 (lima) pulsa dimana data tambahan disimpan. *Conditioning pulse* tersebut men-

jamin bahwa pembebanan silinder yang terletak di atas benda uji akan menjamin perolehan hasil yang konsisten berturut-turut.

Parameter berikut ini adalah hasil perhitungan dari data untuk setiap pembebanan :

- *Stiffness* modulus benda uji
- *Force pulse fall time*
- *Force pulse rise time*
- *Tensile stress*
- *Peak loading force*
- *Total recoverable strain*

Dengan menggunakan data dari seluruh pembebanan dengan lima pulsa tersebut, rata-rata, standar deviasi dan koefisien variansi dari modulus dapat dihitung. Pengujian dilakukan pada temperatur yang teratur. Temperatur permukaan dan dalam benda uji diukur dengan menggunakan suatu *transducer* yang dimasukkan dalam *dummy specimen* yang diletakkan berdekatan dengan benda uji yang sedang diteliti. Benda uji yang dipersiapkan untuk pengujian ini adalah benda uji pada kadar aspal optimum.

Pengujian dilakukan dengan rentang temperatur dan waktu pembebanan yang sesuai dengan kondisi Indonesia. Temperatur yang digunakan adalah 25°C, 35°C, 45°C dan waktu pembebanan adalah 60 ms, 80 ms dan 100 ms.

Formula yang dipakai dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

St =	2F
	H.L.D
E =	F(R + 0.27)
	L.H
Cr =	H
	D

Dimana :

St = *Tensile strength*

E = *Total resilient modulus of elasticity (Mpa)*

L = *Specimen length (mm)*

D = *Specimen diameter (mm)*

F = *Maximum applied force (repeated load) (N)*

R = *Assumed resilient Poisson's Ratio*

H = *Total recoverable horizontal deformation*

Cr = *Total recoverable strain*

3. Hasil-hasil Percobaan dan Pembahasan

3.1 Hasil-hasil percobaan

3.1.1 Hasil pengujian karakteristik agregat

Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa agregat yang diuji memenuhi syarat untuk campuran yang direncanakan, baik agregat kasar, agregat halus maupun fillernya, seperti dapat dilihat hasilnya pada **Tabel 4**.

Khusus untuk butiran ban bekas sebagai agregat pengganti yang diuji adalah berat jenisnya. Prosedur pengujian mengikuti SNI 03-1969-1990 dan dari hasil pengujian diperoleh berat jenisnya adalah 0,99. Namun sebagai informasi tambahan berdasarkan hasil pengujian bahan karet yang dilakukan oleh Balai Besar Bahan Dan Barang Teknik Bandung tahun 2000 mencatat bahwa karet ban mempunyai titik bakar berkisar 255°C sampai 260°C dan titik nyala berkisar 465°C sampai 470°C.

Informasi lain berdasarkan hasil pengujian kandungan kimia terhadap butiran ban bekas yang digunakan dalam penelitian ini pada Labor Kimia ITB diperoleh hasilnya sebagai berikut :

- Kandungan Karbon (C) = 60,970%
- Kandungan Sulfur (S) = 0,0102%
- Kandungan Silikat (SiO₂) = 5,002%

3.1.2 Hasil pengujian karakteristik aspal

Tabel 5 menunjukkan hasil pengujian aspal yang telah dilakukan. Dalam tabel tersebut juga diperoleh hasil uji aspal setelah ekstraksi dari benda uji dengan kadar aspal optimum.

Tabel 4. Hasil pengujian agregat dan filler

Jenis pengujian	Satuan	Hasil	Batasan	
			Min.	Maks.
Abrasi dengan mesin Los Angeles	%	22,36	-	40
Kelekatan terhadap Aspal	%	\$95	95	-
Indeks kepipihan	%	24,69	-	25
Kekuatan terhadap tekanan	%	15,6	-	30
Berat jenis agregat efektif :				
14 mm		2,64		
10 mm		2,67		
2,36 mm		2,65		
0,600 mm	-	2,62	2,50	-
0,212 mm		2,63		
0,075 mm		2,63		
filler		2,60		
Penyerapan agregat (absorsi):				
14 mm		2,54		
10 mm		2,48		
2,36 mm	%	2,57	-	3
0,600 mm		2,77		
0,212 mm		2,46		
0,075 mm		2,22		
<i>Sand equivalent</i>	%	78,57	50	-
Pelapukan agregat dengan sodium sulfat	%	8,295	-	15

Tabel 5. Hasil pengujian aspal keras AC 60/70

Jenis pengujian	Satuan	Hasil	Batasan	
			Min.	Maks.
Penetrasi (25°C,100gr,5 detik)	0,1 mm	63,8	60	79
Titik lembek (<i>ring and ball</i>)	°C	55	48	58
Titik nyala (<i>cleveland open cup</i>)	°C	359	200	-
Kehilangan berat (163°C,5jam)	%	0,0015	-	0,8
Kelarutan	%	99,591	99	-
Daktilitas (25°C,5 cm/menit)	cm	\$100	100	-
Penetrasi setelah kehilangan berat	%	60	54	-
Daktilitas setelah kehilangan berat	cm	\$100	50	-
Berat Jenis (25°C)	-	1,034	1	-
Campuran HRA type C (30/14) konvensional sesudah ekstrasi				
Penetrasi (25°C,100gr,5 detik)	0,1 mm	45		
Titik lembek (<i>ring and ball</i>)	°C	56,1		
Campuran HRA Type C (30/14) modifikasi butiran ban sebagai agregat pengganti fraksi 2,36 mm 100% sesudah ekstrasi				
Penetrasi (25°C,100gr,5 detik)	0,1 mm	65		
Titik lembek (<i>ring and ball</i>)	°C	50,5		

Tabel 6. Kadar aspal optimum (KAO) dan analisa Marshall campuran HRA tipe C konvensional dan modifikasi dengan butiran ban bekas

Tipe campuran	KAO (%)	Stabilitas (Kg)	Density (gr/ml)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
Campuran konvensional	7,77	1320	2,27	3,2	17,5	80	4,25	310,6
Agregat pengganti Fraksi 0,6 mm dan 2,36 mm 100%	8,00	162	1,70	6,5	19,7	67	8,5	19,1
Agregat pengganti Fraksi 0,6 mm 100%	7,67	165	1,72	11,5	24,0	52	8,2	20,1
Agregat pengganti Fraksi 0,6 mm 50%	9,33	280	1,97	5,0	22,4	77	8,0	35,0
Agregat pengganti Fraksi 2,36 mm 100%	9,43	585	2,12	3,5	20,4	82	6,7	87,3
Agregat pengganti Fraksi 2,36 mm 50%	8,67	1050	2,21	3,0	10,8	73	4,0	262,5

Tabel 7. Perbandingan hasil pengujian dan perhitungan nilai modulus kekakuan campuran beraspal campuran HRA modifikasi yang mengandung butiran ban bekas

Jenis campuran	Waktu pembebanan (ms)	Temperatur (°C)	Modulus kekakuan		
			UMATTA (MPa)	SHELL (MPa)	A.I. (MPa)
HRA konvensional	60	25°C	3807,0	2663,7	1996,3
		35°C	1263,0	892,8	635,3
		45°C	452,0	179,9	179,9
	80	25°C	2744,0	2509,3	1794,6
		35°C	1108,0	840,9	571,6
		45°C	421,1	137,6	164,4
	100	25°C	2431,0	2396,3	1646,4
		35°C	847,6	802,9	525,8
		45°C	379,2	131,4	153,4
HRA modifikasi dengan butiran ban bekas sebagai agregat pengganti fraksi 2,36 mm 100%	60	25°C	896,4	2216,5	1576,1
		35°C	381,7	357,1	446,5
		45°C	203,4	16,4	111,2
	80	25°C	808,4	1472,8	1395,4
		35°C	378,4	335,3	395,7
		45°C	156,4	15,4	100,3
	100	25°C	713,9	1402,5	1264,4
		35°C	250,9	319,3	359,6
		45°C	136,2	14,7	92,6

3.1.3 Hasil pengujian Marshall

Tabel 6. menunjukkan hasil pengujian Marshall yang telah dilakukan, dimana diperoleh kadar aspal optimum dan analisa Marshall untuk masing-masing variasi campuran yang dimodifikasi.

3.1.4 Hasil pengujian dan perhitungan modulus kekakuan campuran

Untuk perhitungan modulus kekakuan campuran beraspal dalam hal ini digunakan campuran dengan kadar aspal optimum. Untuk campuran yang dimodifikasi dipilih campuran yang terbanyak mengandung butiran ban bekas sebagai agregat pengganti namun masih memenuhi syarat teknis, yaitu fraksi pengganti 2,36 mm 100%. Selanjutnya hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 7.

3.2 Pembahasan

3.2.1 Pengaruh temperatur dan waktu pembebanan

Berdasarkan hasil analisa modulus Kekakuan campuran beraspal dari pengujian dengan alat UMATTA dan perhitungan dengan metoda Shell serta program DAMA dari Asphalt Institute menunjukkan adanya pengaruh yang sangat berarti akibat kenaikan temperatur dan waktu pembebanan yang mengakibatkan nilai modulus kekakuan campuran beraspal menurun

Hal ini tampak jelas seperti dapat dilihat pada **Gambar 4.** dan **Gambar 5.** dimana tergambar grafik nilai modulus kekakuan semakin menurun akibat peningkatan temperatur maupun peningkatan waktu pembebanan

3.2.1 Pengaruh butiran ban bekas pada modulus kekakuan campuran

Pengaruh butiran ban bekas sebagai agregat pengganti sebagian dalam hal ini fraksi 2,36 mm 100% berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian dengan alat UMATTA maupun perhitungan dengan metoda Shell dan Program DAMA dari Asphalt Institute memberikan hasil yang kurang menggembirakan dimana terjadi penurunan nilai modulus kekakuan yang sangat besar sekali.

Berdasarkan hasil pengujian dengan alat UMATTA diperoleh rasio antara campuran HRA modifikasi dengan campuran HRA konvensional seperti dapat dilihat pada **Tabel 8.** dimana terlihat rasio terbesar 0,45 terjadi pada waktu pembebanan 60 ms dan temperatur 45°C. Rasio terkecil 0,24 terjadi pada waktu pembebanan 60 ms dan temperatur 25°C. Pada kondisi lain terlihat rasio berkisar antara 0,29 sampai 0,37.

Dari hasil perhitungan SHELL diperoleh rasio antara campuran HRA modifikasi dengan campuran HRA konvensional seperti dapat dilihat pada **Tabel 9.** dimana terlihat rasio terbesar 0,83 terjadi pada waktu pembebanan 60 ms dan temperatur 25°C. Rasio terkecil 0,09 terjadi pada waktu pembebanan 60 ms dan temperatur 45°C. Pada kondisi lain terlihat rasio berkisar antara 0,11 sampai 0,59.

Tabel 8. Hasil pengujian alat UMATTA

Waktu Pemb. (ms)	Temp. (°C)	Resilient modulus UMATTA (MPa)		Rasio	
		HRA konvensional	HRA modifikasi	HRA konvensional	HRA modifikasi
60	25	3807,0	896,4	0,24	
	35	1263,0	381,7	0,30	
	45	452,0	203,4	0,45	
80	25	2744,0	808,4	0,29	
	35	1108,0	378,4	0,34	
	45	421,1	156,4	0,37	
100	25	2431,0	713,9	0,29	
	35	847,6	250,9	0,30	
	45	379,2	136,2	0,36	

Menurut hasil perhitungan program DAMA dari Asphalt Institute diperoleh rasio antara campuran HRA modifikasi dengan campuran HRA konvensional seperti dapat dilihat pada **Tabel 10.** dimana terlihat rasio terbesar hanya 0,79 terjadi pada waktu pembebanan 60 ms dan temperatur 25°C. Pada kondisi yang lain terlihat besarnya nilai rasio relatif hampir sama besar berkisar antara 0,61 sampai 0,78. Hal ini disebabkan bahwa sifat aspal yang digunakan pada perhitungan merupakan sifat asli aspal, sehingga pengaruh butiran ban bekas sebagai agregat pengganti hanya terwakili pada besarnya persentase volume aspal dan besarnya rongga udara .

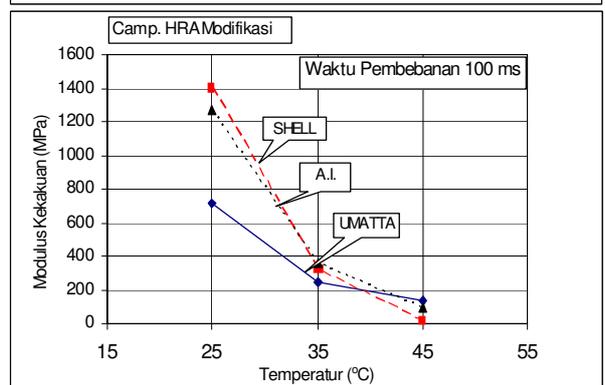
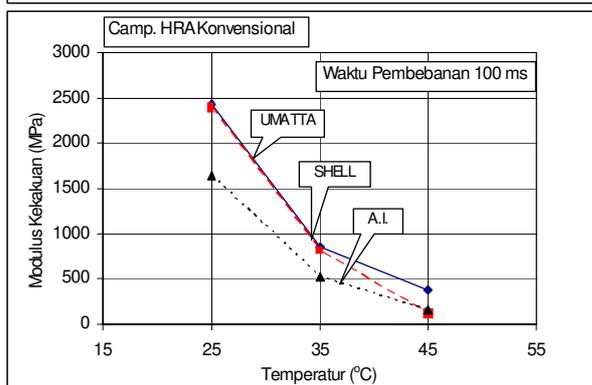
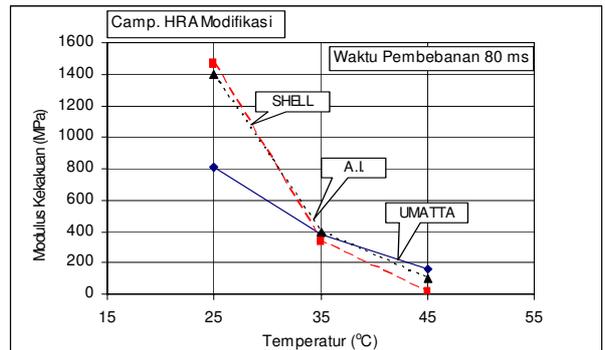
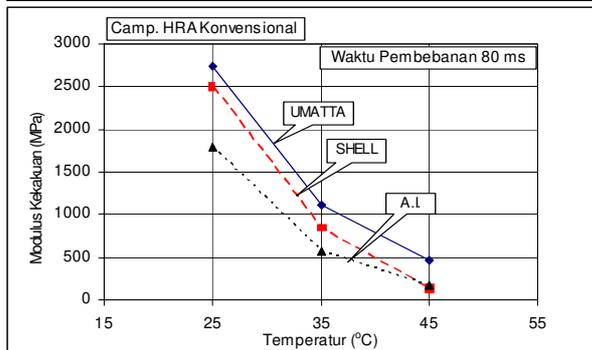
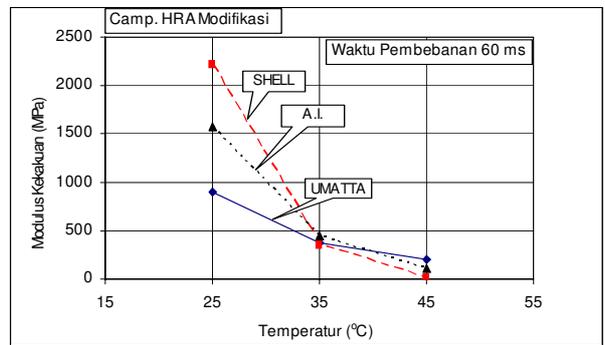
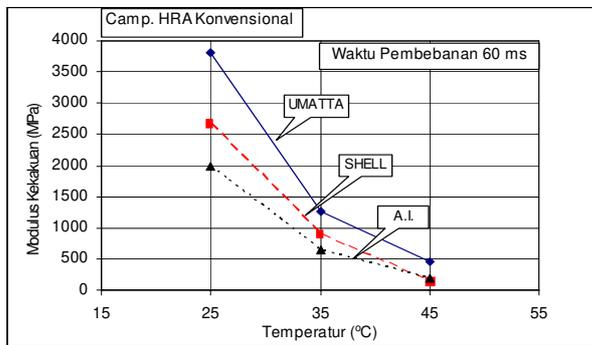
Hasil yang dapat kita lihat pada **Tabel 7.** yang merupakan perbandingan nilai modulus kekakuan dari hasil pengujian dengan alat UMATTA dan hasil perhitungan menggunakan metoda Shell dan metoda Asphalt Institute, tampak dari ketiga cara tersebut ternyata untuk campuran HRA Konvensional hasil pengujian dengan alat UMATTA memberikan nilai modulus kekakuan yang lebih besar pada semua variasi temperatur dibanding dengan hasil perhitungan menurut Shell dan Asphalt Institute. Hal tersebut mungkin pada kenyataannya bahwa alat UMATTA di dalam menentukan nilai modulus berdasarkan pada pengukuran total *recoverable horizontal strain* (dimana regangan yang diukur bukan pada saat pembebanan tidak pada beban puncak), sementara berdasarkan perhitungan didasarkan pada *peak strain* (regangan yang diukur pada saat beban puncak).

Tabel 9. Hasil perhitungan metoda Shell

Waktu Pemb. (ms)	Temp. (°C)	Stiffness modulus SHELL (MPa)		Rasio	
		HRA konvensional	HRA modifikasi	HRA konvensional	HRA modifikasi
60	25	2663,7	2216,5	0,83	
	35	892,8	357,1	0,40	
	45	179,9	16,4	0,09	
80	25	2509,3	1472,8	0,59	
	35	840,9	335,3	0,40	
	45	137,6	15,4	0,11	
100	25	2396,3	1402,5	0,59	
	35	802,9	319,3	0,40	
	45	131,4	14,7	0,11	

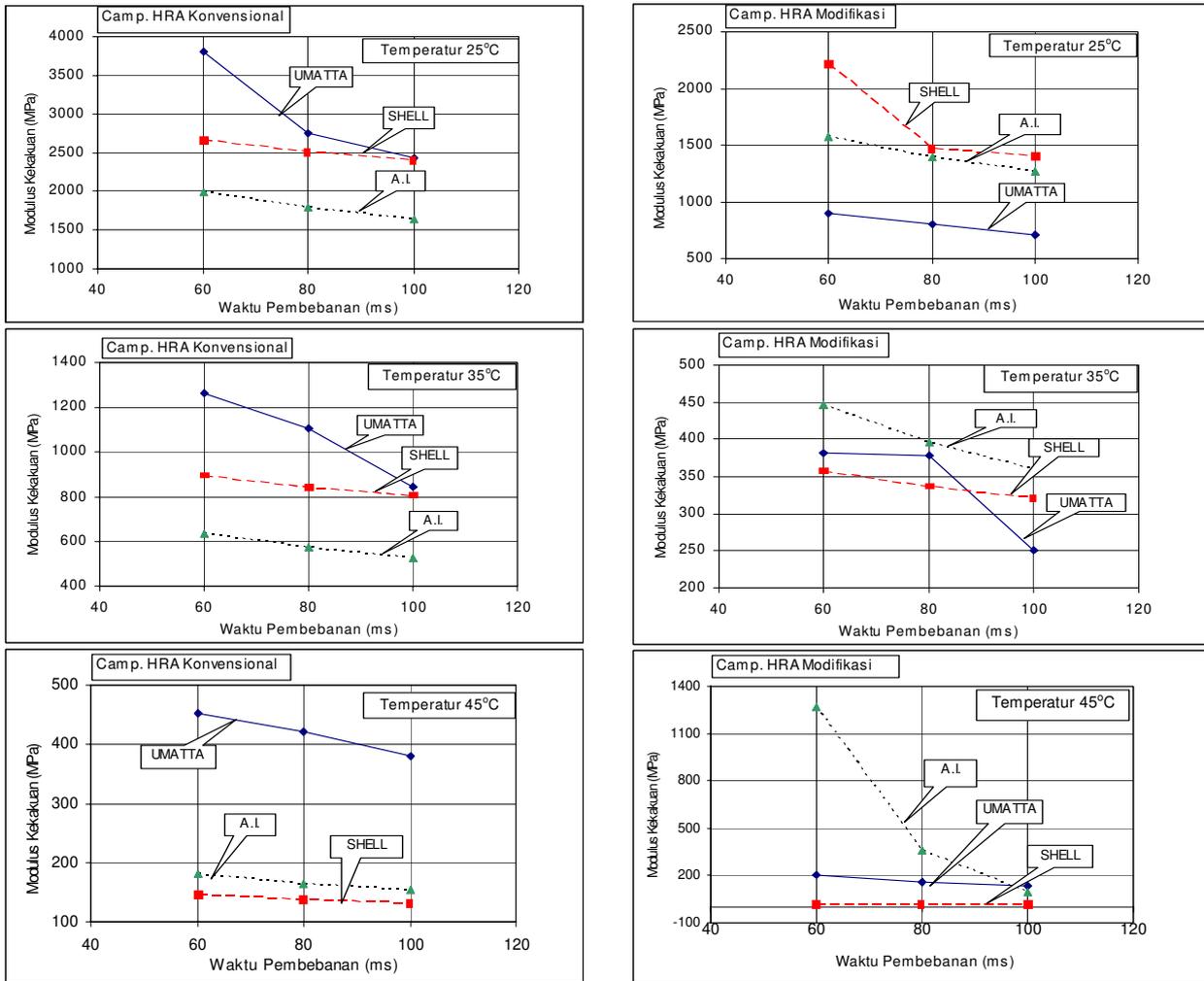
Tabel 10. Hasil perhitungan metoda Asphalt Institute

Waktu Pemb. (ms)	Temp. (°C)	Stiffness modulus A.I. (MPa)	
		HRA konvensional	Rasio
60	25	1996,3	1576,1
	35	635,3	446,5
	45	179,9	111,2
80	25	1794,6	1395,4
	35	571,6	395,7
	45	164,4	100,3
100	25	1646,4	1264,4
	35	525,8	359,6
	45	153,4	92,6



catatan : A.I. = Asphalt Institute

Gambar 4. Pengaruh temperatur pada modulus kekakuan campuran HRA konvensional dan HRA modifikasi dengan butiran ban bekas sebagai agregat pengganti Fraksi 2,360 mm 100%



catatan : A.I. = Asphalt Institute

Gambar 5. Pengaruh waktu pembebanan pada modulus kekakuan campuran HRA konvensional dan HRA modifikasi dengan butiran ban bekas sebagai agregat pengganti Fraksi 2,360 mm 100%

Namun untuk campuran HRA modifikasi terjadi hal sebaliknya yaitu nilai modulusnya lebih kecil pada variasi temperatur 25°C dan waktu pembebanan 60 ms serta 80 ms, juga pada waktu pembebanan 100 ms pada temperatur 25°C serta 35°C dibanding dengan hasil perhitungan menurut Shell dan Asphalt Institute. Hal ini mungkin disebabkan oleh butiran ban bekas pada campuran modifikasi pada perhitungan dianggap mempunyai sifat seperti agregat batuan alam.

Pada penelitian ini nilai modulus kekakuan campuran beraspal yang tertinggi untuk campuran HRA konvensional dengan aspal pen 60/70 diperoleh sebesar 3807,0 MPa pada pengujian dengan waktu pembebanan 60 ms dan temperatur 25°C. Sedangkan untuk campuran HRA yang dimodifikasi dengan butiran ban bekas sebagai agregat pengganti fraksi 2,36 mm 100% diperoleh sebesar 896,4 MPa pada pengujian dengan waktu pembebanan 60 ms dan temperatur 25°C.

Wahyudi (1996) menggunakan alat UMATTA untuk meneliti karakteristik kekakuan campuran HRA yang dibuat dengan aspal pen 60 dan 3 (tiga) jenis bahan pengisi ; semen, abu terbang dan *hydrated lime*. Nilai modulus tertinggi tercatat sebesar 4817 MPa pada temperatur 25°C dan waktu pembebanan 64 ms untuk campuran terbuat dengan abu terbang sebagai filler. Terdapat perbedaan nilai yang cukup besar dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Wahyudi, hal ini erat kaitannya pengaruh filler yang digunakan.

AASHTO 1986 (*Guide for Design of Pavement Structures*) memberikan rekomendasi bahwa untuk campuran beraspal sebagai lapisan permukaan nilai modulusnya pada suhu 68°F (20°F) berkisar antara 100.000 psi sampai 450.000 psi atau setara dengan 690 MPa sampai 3103 Mpa. Berdasarkan rekomendasi tersebut ternyata nilai modulus kekakuan dari campuran HRA yang dimodifikasi dengan butiran ban bekas sebagai

agregat pengganti 100% fraksi 2,36 mm sesungguhnya masih dapat diterima, namun terbatas pada suhu 25°C sebab pada suhu di atasnya nilai modulusnya sudah jauh menurun dari yang direkomendasikan. Kenyataan di lapangan suhu perkerasan dapat melebihi 25°C.

Penelitian lain yang khusus menggunakan butiran ban bekas sebagai agregat pengganti sebagian seperti belum pernah dipublikasikan, sehingga dalam penelitian ini sulit mencari pembandingnya. Hanya dari nilai modulus yang diperoleh dan mengikuti rekomendasi AASHTO, jenis campuran yang mengandung butiran ban bekas ini masih dapat diaplikasikan untuk jalan dengan lalu lintas yang sangat rendah. Nilai Modulus kekakuan yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran beraspal tidak awet dan dapat menimbulkan jejak roda pada lalu lintas yang cukup tinggi.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Penelitian modulus kekakuan campuran beraspal ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Kadar aspal optimum dari campuran beraspal merupakan fungsi dari jenis material yang digunakan, nilai yang diperoleh untuk campuran HRA konvensional adalah 7,77% sedangkan untuk campuran HRA yang dimodifikasi dengan butiran ban bekas sebagai agregat pengganti fraksi 2,36 mm 100% adalah 9,43%.
2. Sifat dari *recovered* aspal juga tampak dipengaruhi oleh jenis material yang digunakan. Aspal dari campuran HRA konvensional mempunyai nilai penetrasi 45 mm dan titik lembek 56,1°C sedangkan untuk campuran HRA yang dimodifikasi dengan butiran ban bekas sebagai agregat pengganti fraksi 2,36 mm 100% mempunyai nilai penetrasi 65 mm dan titik lembek 50,5°C.
3. Pengujian modulus dengan alat UMATTA pada suhu 25°C dan waktu pembebanan 60 ms untuk campuran HRA Konvensional menghasilkan nilai sebesar 3807,0 MPa sedangkan untuk campuran HRA dengan butiran ban bekas sebagai agregat pengganti fraksi 2,36 mm hanya memberikan nilai modulus kekakuan sebesar 896,4 MPa dan jika dibandingkan rasionya sebesar 0,24. Secara umum pada kondisi temperatur dan waktu pembebanan normal sampai tinggi rasio modulus campuran HRA modifikasi dengan campuran HRA konvensional adalah relatif kecil.
4. Nilai pengujian modulus kekakuan dengan alat

UMATTA hampir pada semua kondisi lebih tinggi dari nilai hasil perhitungan dengan metoda Shell atau Asphalt Institute, misal pada campuran HRA konvensional rasio Shell dengan alat UMATTA bervariasi 0,33 – 0,99 dan rasio Asphalt Institute dengan alat UMATTA bervariasi 0,39 – 0,68. Namun pada campuran HRA modifikasi terjadi hal dimana rasio nilai modulus Shell dengan alat UMATTA lebih besar pada variasi temperatur 25°C dan waktu pembebanan 60 ms serta 80 ms yaitu sebesar 2,47 dan 1,82, juga pada waktu pembebanan 100 ms pada temperatur 25°C serta 35°C yaitu sebesar 1,96 dan 1,27. Rasio nilai modulus Asphalt Institute dengan alat UMATTA juga kecil pada waktu pembebanan 60 ms pada temperatur 25°C serta 35°C yaitu sebesar 1,76 dan 1,17 dan waktu pembebanan 80 ms pada temperatur 25°C dan 35°C sebesar 1,73 dan 1,05 serta waktu pembebanan 100 ms pada temperatur 25°C serta 35°C yaitu sebesar 1,77 dan 1,43.

5. Mengikuti rekomendasi nilai modulus AASHTO (690 sampai 3103 MPa), jenis campuran yang mengandung butiran ban bekas sebagai agregat pengganti fraksi 2,36 mm 100% ini hanya dapat diaplikasikan di lapangan untuk lalu lintas yang relatif rendah, karena mempunyai modulus kekakuan yang relatif kecil sebesar 896,4 MPa dan nilai stabilitas yang dihasilkan juga relatif kecil yaitu sebesar 585 kg

4.2 Saran

Untuk pengembangan terhadap penelitian yang telah dilaksanakan, saran-saran berikut ini disampaikan :

1. Perlu dilakukan penelitian lanjut terhadap campuran beraspal yang dimodifikasi dengan bahan butiran ban bekas sebagai agregat pengganti secara parsial yang kiranya dapat memberikan gambaran yang lebih lengkap terhadap nilai modulus kekakuan yang dihasilkan.
2. Lebih lanjut dapat dikaji sifat durabilitas campuran yang mengandung butiran ban bekas sebagai agregat pengganti sebagian.

Daftar Pustaka

- AASHTO, 1990, “*Standard Specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing Materials*”, Part I Specification, 15th Edition, AASHTO Publication, Washington.
- ASTM, 1980, “*Annual Book of ASTM Standards Part*

- 15", Road and Paving, Bituminous Materials, Traveled Surface Characteristics.
- Boonaure, F., Gest, G., Gravois, A., Uge, P., 1977, "A New Method of Predicting the Stiffness of Asphalt Paving Mixtures", Proceedings of Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 46, pp 64-104.
- British Standards Institution, BS 594, 1992, "Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas, part I". Specification for Constituents of Asphalt Mixtures, London 1985.
- Brown, S.F., and Brunton, J.M., 1982, "An Introduction to the Analytical Design of Bituminous Pavements, 2nd edition", Department of Civil Engineering, University of Nottingham.
- Cox John, B., Lea N.D., and Associates, 1982, "The Choise of Surfacing for Non Structural Overlay in Indonesia", Discussion paper 2/82, DPUP Technical Support Service.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1989, "Tata Cara Pelaksanaan lapis Aspal Beton (LASTON) untuk Jalan Raya", SNI 03-1737-1989, Jakarta.
- De Vos, K.B., 1982, "UMATTA (Universal Material Testing Apparatus) for Asphalt and Unbound Specimen", Reference and Operating Manual.
- De Vos, K.B., 1996, "UTM (Universal Testing Machine)", Reference Manual, IPC, Ltd.
- Haley, O., Hudson W.R., and Kennedy, T.W., 1970, "A Method of Estimating Tensile Properties of Material Tested in Indirect Tension", Research Report 98-7, Center for Highway Research, University of Texas at Austin.
- Hatherlay, L.W., and Leaver, P.C., 1967, "Asphaltic Road Materials", Edward Arnold (Publisher) Ltd. London.
- Kennedy, T.W., 1978, "Characterization of Asphalt Pavement Material Using Indirect Tensile Test", Proceedings of Association of Asphalt Paving Technologists, Asphalt Paving Technology, Vol. 46, pp 132-149.
- Schmidt, R.J., 1972, "A Practical Method of Measuring the Resilient Modulus of Asphalt Treated Mixes", Highway Research Record No. 404, Highway Research Board Washington D.C. pp 76 – 68.
- Shell, 1978, "Pavement Design Manual", U.K.
- Shell Bitumen, 1990, "Shell Bitumen Handbook", Shell Bitumen U.K.
- The Asphalt Institute, 1969, "Mix Design Method for Asphaltic Concrete and Other Hot Mix Types", Manual series No. 2,1969.
- The Asphalt Institute, 1983, "Computer program DAMA User's Manual".
- Van De Loo, P.J., 1976, "Practical Approach to the Prediction of Rutting in Asphalt Pavement", The Shell Method Transportation Research Record No. 616.
- Van Der Poel, C., 1955, "Time and Temperature Effects on the Deformation of Asphaltic Bitumen Mineral Mixtures", Society of Petroleum Engineers Journal.
- Wahyudi, 1996, "Measurement of stiffness Modulus Using UMATTA", Magister Thesis, STJR, Institut Teknologi Bandung, Bandung.