

PENGARUH PENUAAN TERHADAP KUAT GESER LANGSUNG CAMPURAN BERASPAL

Iman Haryanto

Program Diploma Teknik Sipil
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jalan Yacaranda, Sekip Unit IV, Bulaksumur, Kampus UGM, Yogyakarta
Tlp./Fax. (0274) 522126
E-mail: ihbm2001@yahoo.com

Abstrak

Penuaan campuran beraspal adalah pengerasan aspal akibat pemanasan atau oksidasi, sehingga aspal kehilangan sebagian komponen ringan (*volatile*) sehingga lebih getas, mudah retak, kurang awet. Namun demikian, penuaan juga meningkatkan kekakuan aspal. Proses penuaan dapat disimulasikan di laboratorium secara jangka pendek dan jangka panjang. Penuaan jangka pendek dimaksudkan untuk mensimulasikan pengerasan aspal selama fase konstruksi, sedangkan penuaan jangka panjang dimaksudkan untuk mensimulasikan proses oksidasi selama umur pelayanan jalan.

Penelitian ini bertujuan meneliti pengaruh penuaan terhadap perubahan sifat geser campuran beraspal karena sifat geser cukup penting. Sifat ini penting karena jika kuat geser campuran beraspal lebih rendah dari tegangan geser akibat kendaraan maka terjadi deformasi permanen pada lapis permukaan. Pengujian dilakukan di laboratorium dengan menggunakan dudukan Marshall yang dimodifikasi.

Pengujian menunjukkan bahwa kuat geser (τ) dan modulus geser (G) campuran beraspal yang tidak diberi perlakuan penuaan adalah 0,87 MPa dan 48,99 MPa, sedangkan kuat geser dan modulus geser campuran beraspal yang diberi perlakuan penuaan adalah 0,57 MPa dan 20,14 MPa. Uji statistik menggunakan uji t menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan pada τ dan G_{\max} diantara kedua populasi. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa terdapat pengaruh perlakuan penuaan terhadap kuat geser dan modulus geser maksimum campuran beraspal.

Kata-kata kunci: campuran beraspal, penuaan, geser langsung, kuat geser, modulus geser.

PENDAHULUAN

Penuaan campuran beraspal adalah pengerasan aspal yang terdapat pada campuran beraspal akibat pemanasan atau oksidasi. Ada dua jenis penuaan yaitu penuaan jangka pendek dan jangka panjang. Penuaan jangka pendek merujuk pada pengerasan aspal yang terjadi selama fase konstruksi, sedangkan penuaan jangka panjang merujuk pada pengerasan aspal yang terjadi selama masa pelayanan jalan atau pengerasan aspal yang terjadi selama masa pasca konstruksi. Kedua proses penuaan tersebut sebenarnya dapat disimulasikan di laboratorium. Namun demikian, pada saat ini pelaksanaan simulasi penuaan campuran beraspal belum diadopsi sebagai standar resmi perencanaan campuran beraspal. Disatu sisi, proses penuaan memang dapat meningkatkan kekakuan campuran beraspal. Namun, di sisi lain proses penuaan dapat mengakibatkan aspal kehilangan sebagian komponen ringan (*volatile*) sehingga lebih getas, mudah retak dan kurang awet. Oleh karena itu, proses penuaan menjadi sangat penting untuk dipelajari karena memiliki hubungan yang kuat terhadap keawetan campuran beraspal (Brown & Scholz, 2000).

Salah satu sifat teknis yang nampaknya belum dipelajari dalam kaitan antara proses penuaan dan sifat teknis campuran beraspal adalah tahanan geser atau kuat gesernya. Brown (1997) menyatakan bahwa konsep pencegahan *rutting* dengan hanya membatasi regangan vertikal pada

subgrade perlu ditinjau. Sejumlah peneliti juga mengindikasikan pentingnya studi tentang ketahanan geser campuran beraspal (Quintus dkk., 1991), (Brown, 1997), dan (Mcrae, 1993). Bahkan, Kiryukhin dari *Road Pavement Laboratory of Soyuzdornii* (Rusia) telah mengusulkan suatu prosedur perancangan struktural perkerasan lentur berdasarkan kriteria ketahanan geser untuk memperoleh campuran beraspal yang memiliki ketahanan tinggi terhadap deformasi permanen.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui dampak proses penuaan terhadap kuat geser campuran beraspal. Hal tersebut diperlukan untuk mengetahui perubahan kuat geser campuran beraspal selama masa umur pelayanan jalan. Dengan mengetahui perubahan kuat geser tersebut, selanjutnya akan dapat diketahui apakah kuat geser campuran beraspal dapat menahan tegangan geser yang ditimbulkan oleh setiap beban lalu lintas.

TINJAUAN PUSTAKA

Teori multi lapis adalah dasar bagi perancangan perkerasan lentur yaitu perkerasan yang menggunakan campuran beraspal sebagai lapis permukaannya. Pada sistem ini lapis permukaan menerima tegangan ditimbulkan oleh beban kendaraan dan menyebarkan tegangan tersebut ke lapisan-lapisan di bawahnya yaitu lapis pondasi dan tanah dasar. Tegangan yang timbul akibat pembebanan di permukaan jalan adalah tegangan vertikal, tegangan radial, tegangan tangensial, tegangan geser radial vertikal, tegangan geser tangensial vertikal (Yoder & Witczak, 1975: 25-26). Tegangan geser radial vertikal bernilai maksimum pada pertengahan kedalaman lapis permukaan tepat di keliling terluar bidang kontak roda kendaraan dan lapis permukaan (Yoder & Witczak, 1975: 73). Tegangan radial merupakan tegangan horisontal tarik dan bernilai maksimum pada bagian bawah lapis permukaan (Yoder & Witczak, 1975: 75).

Selanjutnya, ditulis bahwa dalam konsep perancangan perkerasan lentur berdasarkan teori multi lapis, ada empat parameter penting yang perlu diperhatikan yaitu tegangan pada *subgrade*, defleksi, tegangan geser dan tegangan tarik. Tegangan pada *subgrade* menghasilkan regangan kompresif vertikal yang bersama dengan defleksi berperan penting dalam mekanisme kerusakan deformasi permanen campuran beraspal akibat *subgrade* yang lemah. Tegangan tarik pada *interface* bawah lapis permukaan berperan penting dalam mekanisme kerusakan retak lelah (*fatigue cracking*) (Yoder & Witczak, 1975: 72-75). Tegangan geser maksimum berperan penting dalam mekanisme kerusakan deformasi permanen campuran beraspal baik akibat aliran plastis (Quintus dkk., 1991: 43).

Tahanan geser campuran beraspal merupakan fungsi dari kohesi campuran beraspal dan friksi internal agregat dalam campuran beraspal. Kohesi campuran beraspal tergantung pada kadar aspal, tebal lapis film aspal, suhu, kondisi penuaan aspal, tekstur dan porositas agregat. Internal friksi campuran beraspal diperoleh dari tegangan yang bekerja, bentuk dan tekstur agregat, gradasi dan kadar aspal (Quintus dkk, 1991: 164).

Uji geser yang paling sederhana adalah uji geser langsung. Pada pengujian tersebut dapat diketahui nilai tegangan geser dan regangan geser sebagai berikut (Head, 1994: 198-200).

$$\tau = F / A \quad (1)$$

$$\gamma = d / h \quad (2)$$

$$G = \tau / \gamma \quad (3)$$

dengan:

τ = tegangan geser (kN/m²)

F = gaya horisontal (kN)
A = luas permukaan horisontal (m²)
 γ = regangan geser (radian)
h = tebal sampel
d = *displacement* horisontal
G = modulus geser (MPa)

Dari teori elastisitas diperoleh hubungan sebagai berikut (Yoder & Witczak, 1975: 263).

$$E = 2G (1 + \mu) \quad (4)$$

dengan:

E = modulus elastisitas (kN/m²).

μ = *poisson ratio* (0,35–0,5).

Bekheet dkk. (2002) telah melakukan studi pengukuran kuat geser dan modulus geser campuran beraspal di lapangan. Nilai τ yang diperoleh berada diantara selang 0,67 MPa sampai dengan 1,34 MPa, sedangkan nilai G berselang diantara 12,1 MPa dan 16,7 MPa.

Nakanishi dkk. melaporkan tentang hasil uji triaksial terhadap campuran beraspal jenis aspal porous. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai kuat geser campuran beraspal pada suhu 60°C berkisar antara 5 kgf/cm² (0,5 MPa) sampai dengan 7 kgf/cm² (0,7 MPa).

Brown & Scholz (2000) menemukan bahwa campuran beraspal yang disimpan dalam keadaan lepas (di laboratorium) pada suhu 135°C selama 2 jam akan meningkat kekakuan sebesar 9–24% dari campuran beraspal yang langsung dipadatkan tanpa proses penyimpanan. Peningkatan tersebut kurang lebih setara dengan nilai kekakuan sejumlah contoh uji campuran beraspal yang diambil dari lapangan. Oleh karena, kelompok benda uji yang diperoleh di lapangan telah mengalami proses penuaan selama proses produksi, pengangkutan dan pelaksanaan maka disimpulkan bahwa benda uji campuran beraspal yang disimpan dulu dalam kondisi lepas pada suhu 135°C selama 1 jam telah mengalami proses penuaan seperti halnya contoh benda uji campuran beraspal yang mengalami proses penuaan jangka pendek.

Brown & Scholz (2000) juga mengambil contoh lapangan campuran beraspal dari sejumlah perkerasan lentur yang telah dikenal memiliki kinerja baik selama kira-kira 15 tahun. Selama umur pelayanan tersebut, campuran beraspal tersebut telah mengalami proses penuaan jangka panjang terutama yang diakibatkan oleh faktor lingkungan. Kelompok benda uji tersebut kemudian diukur nilai kekakuannya. Ternyata, interval nilai modulus yang hampir sama, juga dapat diperoleh dari campuran beraspal sejenis yang baru dibuat namun kemudian lebih dulu disimpan dalam oven selama 120 jam pada suhu 85°C. Oleh karena itu, maka Brown & Scholz (2000) mengusulkan prosedur tersebut sebagai prosedur laboratorium untuk mensimulasikan proses penuaan jangka panjang di lapangan.

METODOLOGI

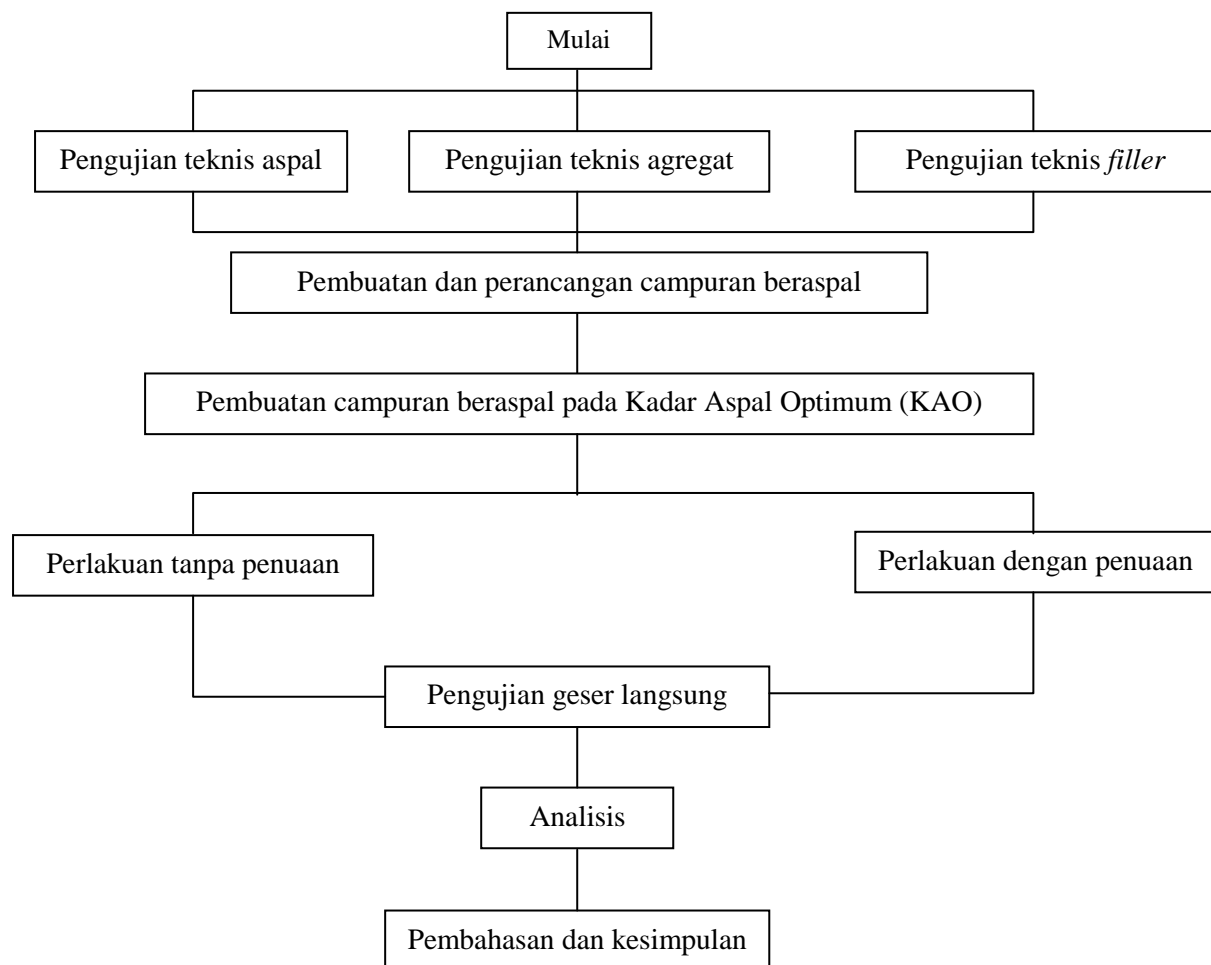
Cara Penelitian

Cara penelitian disajikan pada Gambar 1. Semua pengujian bahan aspal, agregat dan bahan pengisi mengacu pada peraturan SNI yang sesuai. Perancangan Kadar Aspal Optimum (KAO)

mengacu pada sejumlah kriteria teknis campuran beraspal yang ditetapkan dalam Rancangan SK SNI tentang Perencanaan Campuran Beraspal panas dengan Metode Kepadatan Mutlak (Departemen Pekerjaan Umum, 1999) seperti disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Kriteria Teknis Campuran Beraspal (Departemen Pekerjaan Umum, 1999)

Sifat Teknis	Nilai
<i>Voids In the Mixture</i> (VIM)	3%–5%
<i>Voids in the Mineral Aggregates</i> (VMA)	≥ 18%
<i>Voids Filled with Asphalt</i> (VFA)	≥ 65%
Stabilitas	≥ 800 kg (8 kN)
Kelelahan atau <i>flow</i>	≥ 2 mm



Gambar 1 Bagan Alir Penelitian

Kelompok benda uji campuran beraspal tidak mendapat perlakuan penuaan, direndam dulu dalam bak air bersuhu 60°C selama 30 menit sebelum diuji geser langsung. Sedangkan kelompok benda uji campuran beraspal akan mendapat perlakuan penuaan diberlakukan sebagai berikut.

- (1) Sebelum dipadatkan dengan pematat Marshall, terlebih dulu disipan dalam *oven* bersuhu 135°C selama 2 jam.
- (2) Setelah peng-*oven*-an pertama selesai, benda uji-benda uji tersebut dipadatkan dengan pemadatan Marshall dengan jumlah pemadatan 2 x 75 kali.
- (3) Benda uji tersebut selanjutnya disimpan dalam *oven* bersuhu 85°C selama 120 jam.
- (4) Benda uji dikeluarkan dari *oven* dan didinginkan pada suhu ruangan.
- (5) Benda uji direndam dalam bak air bersuhu 60°C selama 30 menit sebelum diuji geser langsung. Hal tersebut dimaksudkan untuk mencapai pengkondisian yang lazim dilaksanakan untuk suatu pengujian dengan menggunakan mesin uji Marshall.

Uji geser langsung dilakukan pada suhu ruangan dengan kecepatan pembebanan 50 mm/menit. Prosedur pelaksanaannya sama dengan *destructive test* menggunakan mesin uji Marshall yaitu benda uji dibebani sampai tercapai beban maksimum. Pada saat beban maksimum tercapai, dicatat juga nilai *displacement* maksimum yang terjadi.

Untuk menilai apakah terdapat perbedaan antara kuat geser kelompok benda uji yang diberi perlakuan penuaan dan yang tidak mendapat perlakuan penuaan, dilakukan analisis uji t. Tahapan analisis adalah sebagai berikut.

- (1) Dihitung nilai s_c^2 (variansi populasi terkombinasi) yang dirumuskan sebagai berikut.

$$s_c^2 = \{ s_1^2 (n_1 - 1) + s_2^2 (n_2 - 1) \} / \{ (n_1 - 1) + (n_2 - 1) \} \quad (5)$$

dengan:

s_1^2 = variansi kelompok sampel 1

s_2^2 = variansi kelompok sampel 2

n_1 = jumlah sampel dalam kelompok sampel 1

n_2 = jumlah sampel dalam kelompok sampel 2.

- (2) Dihitung nilai s_d (standar deviasi perbedaan nilai rerata). yang dirumuskan sebagai berikut.

$$s_d = s_c \{ (n_1 + n_2) / n_1 n_2 \}^{1/2} \quad (6)$$

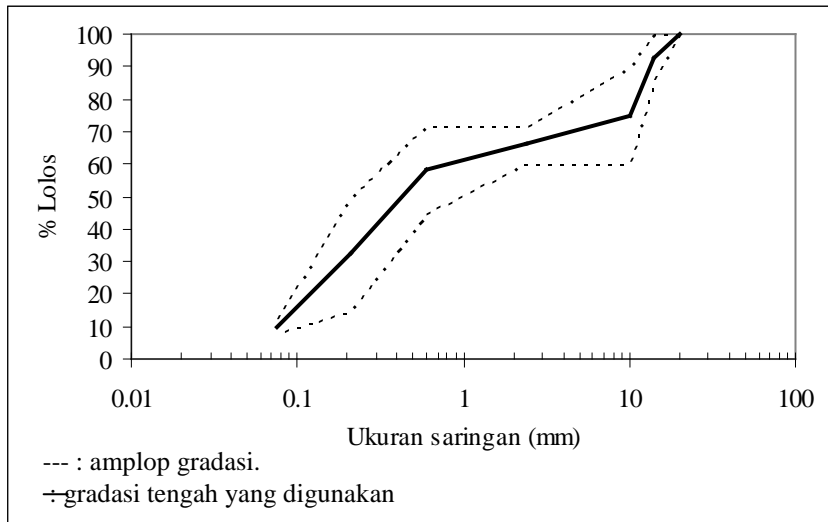
- (3) Dihitung nilai t yang dirumuskan sebagai berikut.

$$t = | \bar{x}_1 - \bar{x}_2 | / s_d \quad (7)$$

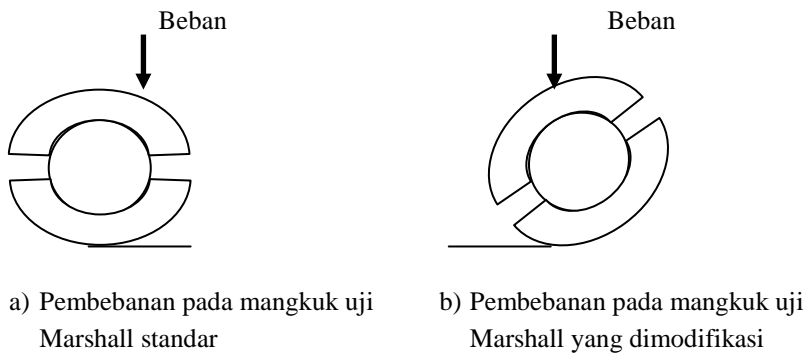
- (4) Ditentukan nilai t tabel untuk derajat kebebasan sebesar jumlah sampel total dikurangi 2.

Bahan dan Peralatan Utama Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan terdiri dari aspal keras produksi Pertamina dengan nilai penetrasi 60/70 dan agregat kasar dan pasir hasil *stone crusher*. Gradasi yang digunakan adalah gradasi *Hot Rolled Asphalt* tipe F (British Standard Institution, 1992) yang masih memenuhi persyaratan titik-titik kontrol untuk campuran beraspal jenis *lataston* (lihat Gambar 2). Peralatan utama penelitian terdiri dari *oven* serta 1 set alat pemadatan, mangkuk uji standar, mangkuk uji modifikasi dan mesin uji Marshall. Jumlah total benda uji yang dibuat dalam penelitian ini adalah 16 briket Marshall. Prinsip kerja pembebanan yang terjadi dengan adanya modifikasi mangkuk uji Marshall disajikan pada Gambar 4.



Gambar 2 Gradasi yang Digunakan



Gambar 3 Prinsip Pembebanan pada Mangkuk Uji Marshall Standar dan Modifikasi

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Campuran Beraspal

Mula-mula dilakukan perancangan campuran beraspal untuk mengetahui nilai KAO. Proses tersebut mencakup pembuatan dan pengujian 12 benda uji campuran beraspal. Hasil yang diperoleh dalam tahap tersebut disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 4.

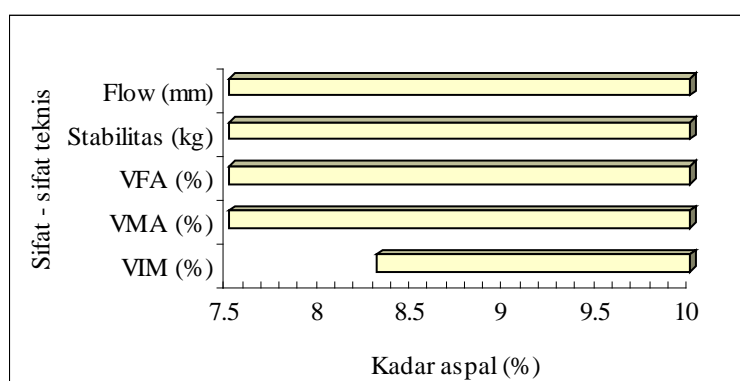
Nilai KAO ditetapkan sebesar 9,25% dan selanjutnya digunakan untuk pembuatan kelompok benda uji-benda uji yang akan diuji dengan alat geser langsung.

Hasil Uji Geser Langsung Campuran Beraspal

Pengujian geser langsung dilakukan dengan mesin uji Marshall. Ada dua kelompok benda uji yang dibuat, yaitu kelompok benda uji tanpa perlakuan penuaan dan kelompok benda uji dengan perlakuan penuaan.

Tabel 2 Hasil Pengujian Campuran Beraspal dalam Rangka Mencari KAO

Kadar Aspal	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	Stabilitas (kg)	Flo (mm)
7,5%	6,17	22,94	73,01	1203,47	3,30
7,5%	6,14	22,58	72,80	1248,83	3,80
Rerata:	6,16	22,76	72,91	1226,15	3,55
8%	6,03	23,24	74,07	1106,90	3,80
8%	6,04	23,10	73,84	1314,32	4,70
Rerata:	6,04	23,17	73,96	1210,61	4,25
8,5%	3,52	23,15	84,81	1514,82	4,50
8,5%	4,63	23,21	80,07	1402,35	4,80
Rerata:	4,08	23,18	82,44	1409,09	4,65
9%	4,36	23,09	81,09	1438,61	4,85
9%	3,71	22,85	83,76	1469,67	6,05
Rerata:	4,04	22,97	82,43	1454,14	5,45
9,5%	4,33	23,54	81,62	1463,46	5,20
9,5%	3,06	23,14	86,79	1466,57	5,10
Rerata:	3,70	23,34	84,21	1465,01	5,15
10%	3,26	23,34	86,05	1278,45	5,50
10%	2,13	23,29	90,87	1273,34	6,10
Rerata:	2,70	23,32	88,46	1275,89	5,80

**Gambar 4** Nilai kadar aspal yang memenuhi persyaratan

Pada uji geser langsung benda uji diletakkan dalam mangkuk Marshall yang telah dimodifikasi sedemikian sehingga gaya tekan yang diberikan oleh mesin Marshall selanjutnya dapat diuraikan menjadi dua komponen gaya yaitu gaya normal dan gaya horisontal. Gaya horisontal inilah yang kemudian berlaku sebagai gaya geser terhadap benda uji campuran beraspal. Selama pengujian ada 2 (dua) dial yang diamati yaitu dial beban dan dial pengukur *displacement* horisontal (d). Hasil pengujian geser langsung dan data lain yang relevan disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Hasil Pengujian Langsung dan Data Lain yang Relevan

Benda Uji*	Diameter	Tebal	Beban Maksimum	Displacement	Gaya Horizontal	Kuat Geser	Modulus Geser	Modulus Elastisitas
	h (mm)	t (mm)	P (N)	d (mm)	F** (N)	τ (MPa) (Pers. 1)	G (MPa) (Pers. 3)	E (MPa) (Pers. 4)
NA-1	101,8	70,3	862,86	1,2	6.101,34	0,85	49,95	149,84
NA-2	101,5	71	899,27	1,3	6.357,35	0,88	48,04	144,11
Rerata	101,7	70,65	881,06	1,25	6.229,35	0,87 (Pers. 1)	48,99 (Pers. 3)	146,98 (Pers. 4)
A-1	100,6	72	659,62	2,4	4.664,22	0,64	19,09	57,27
A-2	100,5	71	518,77	1,7	3.668,26	0,51	21,20	63,59
Rerata	100,6	71,5	589,19	2,05	4.166,24	0,57	20,14	60,43

Keterangan:

*) NA = *non-aged* sedangkan A = *aged*.

**) Nilai $F = P \sin \alpha$, dalam hal ini $\alpha = 45^\circ$.

Dari Tabel 1 terlihat bahwa kelompok benda uji yang mengalami perlakuan penuaan memiliki nilai kuat geser, modulus geser dan modulus elastisitas yang lebih rendah dari kelompok benda uji yang tidak mengalami perlakuan penuaan. Hal tersebut mungkin disebabkan perlakuan penuaan melalui pemanasan telah mengakibatkan pengerasan aspal kohesi campuran beraspal menurun dan konsekuensinya tahanan gesernya pun menurun.

Jika dibandingkan studi terdahulu yang dilakukan oleh Bekhet dkk (2003) dan Nakanishi dkk (1995) dapat diketahui nilai-nilai kuat geser yang diperoleh dari uji geser langsung ini berada dalam selang yang lazim, yaitu 0,5–1,34 MPa. Untuk nilai G, hasil pengujian dengan alat geser langsung ini mendekati nilai G hasil pengukuran lapangan yang diperoleh namun jauh lebih rendah dari hasil pengukuran laboratorium menggunakan alat *non destructive resilient modulus*.

Tabel 3 juga menyajikan perkiraan nilai E campuran beraspal pada saat terjadi keruntuhan geser pada campuran beraspal dimana nilai modulus elastisitas yang diperoleh relatif rendah. Hal tersebut dapat dimengerti karena sebelum pengujian geser dilakukan semua benda uji lebih dulu direndam dalam air bersuhu 60°C selama 30 menit. Pengkondisian tersebut mengakibatkan kekakuan aspal (sebagai bahan termoplastis) menurun drastis sehingga sangat mudah terdeformasi.

Analisis Statistik

Analisis statistik dimaksudkan untuk menguji apakah perlakuan penuaan terhadap benda uji campuran beraspal berpengaruh terhadap nilai kuat geser dan modulus gesernya. Analisis menggunakan uji t dengan hipotesis yang diuji adalah sebagai berikut.

- (1) H₀: tidak ada perbedaan signifikan antara kuat geser (modulus geser) antara kelompok benda uji yang tidak diberi perlakuan penuaan dengan kelompok benda uji yang diberi perlakuan penuaan.
- (2) H₁: H₀ ditolak.

Berdasarkan analisis statistik pada Tabel 4 dan Tabel 5, diperoleh kesimpulan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai rerata kedua populasi baik dalam hal nilai τ maupun nilai G_{\max} . Oleh karena itu, disimpulkan bahwa terdapat pengaruh perlakuan penuaan terhadap kuat geser dan modulus geser maksimum campuran beraspal.

Tabel 4 Uji t untuk pengaruh penuaan terhadap τ

Nilai τ sebagai x_i	f_i	$x_i \cdot f_i$	$x_i^2 \cdot f_i$
Kelompok benda uji tanpa perlakuan penuaan (populasi 1)			
0,85	1	0,85	0,73
0,89	1	0,89	0,79
Jumlah	2	1,74079	1,52
$s_1^2 = \{ \sum x_i^2 \cdot f_i - (\sum x_i \cdot f_i)^2 / \sum f_i \} / \{ \sum f_i - 1 \}$			0,000637
Kelompok benda uji dengan perlakuan penuaan (populasi 2)			
0,64	1	0,64	0,42
0,51	1	0,51	0,26
Jumlah	2	1,16	0,68
$s_2^2 = \{ \sum x_i^2 \cdot f_i - (\sum x_i \cdot f_i)^2 / \sum f_i \} / \{ \sum f_i - 1 \}$			0,000841
$s_c^2 = \{ s_1^2 (n_1 - 1) + s_2^2 (n_2 - 1) \} / \{ (n_1 - 1) + (n_2 - 1) \}$			$3,57 \times 10^{-5}$
$s_d = s_c \{ (n_1 + n_2) / n_1 n_2 \}^{1/2}$			0,005978
t hitungan = $ \bar{x}_1 - \bar{x}_2 / s_d$			97,48
t tabel (pada derajat kebebasan 2 dan $\alpha = 1\%$)			9,925
t tabel-t hitungan			- 87,55
H0 diterima jika t tabel-t hitungan > 0			Ho ditolak

Tabel 5 Uji t untuk Pengaruh Penuaan Terhadap G_{max}

Nilai G_{max} sebagai x_i	f_i	$x_i \cdot f_i$	$x_i^2 \cdot f_i$
Kelompok benda uji tanpa perlakuan penuaan (populasi 1)			
49,95	1	49,95	2494,55
48,04	1	48,04	2307,65
Jumlah	2	97,99	4808,20
$s_1^2 = \{ \sum x_i^2 \cdot f_i - (\sum x_i \cdot f_i)^2 / \sum f_i \} / \{ \sum f_i - 1 \}$			1,819258
Kelompok benda uji dengan perlakuan penuaan (populasi 2)			
19,09	1	19,09	346,45
21,20	1	21,20	449,29
Jumlah	2	40,29	816,74
$s_2^2 = \{ \sum x_i^2 \cdot f_i - (\sum x_i \cdot f_i)^2 / \sum f_i \} / \{ \sum f_i - 1 \}$			2,217
$s_c^2 = \{ s_1^2 (n_1 - 1) + s_2^2 (n_2 - 1) \} / \{ (n_1 - 1) + (n_2 - 1) \}$			4,113
$s_d = s_c \{ (n_1 + n_2) / n_1 n_2 \}^{1/2}$			2,028059
t hitungan = $ \bar{x}_1 - \bar{x}_2 / s_d$			28,45
t tabel (pada derajat kebebasan 2 dan $\alpha = 1\%$)			9,925
t tabel-t hitungan			- 18,52
H0 diterima jika t tabel-t hitungan > 0			Ho ditolak

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

- (1) Nilai rerata rerata kuat geser dan modulus geser campuran beraspal yang tidak diberi perlakuan penuaan adalah 0,87 MPa dan 48,99 MPa. Sedangkan rerata kuat geser dan modulus geser campuran beraspal yang diberi perlakuan penuaan adalah 0,57 MPa dan 20,14 MPa.
- (2) Hasil analisis statistik dengan uji t (pada nilai α sebesar 1%) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada nilai rerata τ maupun nilai G_{max} pada kedua populasi yang

ditinjau. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa terdapat pengaruh perlakuan penuaan terhadap kuat geser dan modulus geser maksimum campuran beraspal.

- (3) Hasil uji geser langsung campuran beraspal dapat digunakan untuk memperkirakan nilai modulus elastisitas pada saat terjadi keruntuhan geser dan perkiraan nilai kedalaman alur yang terjadi di lapangan.

Namun disadari bahwa pengujian dengan mesin uji Marshall secara relatif bersifat statik sehingga tidak memungkinkan pelaksanaan pembebanan secara dinamis atau berulang. Hal tersebut tentunya tidaksesuai dengan karakteristik aspal sebagai bahan viskoelastik. Oleh karena itu, untuk penelitian lanjutan perlu dilakukan perbandingan hasilnya dengan pengujian yang menggunakan mesin uji dinamis misalnya dengan *repeated loading triaxial test* atau *repeated loading uniaxial test* pada beragam frekuensi pembebanan dan suhu pengujian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Saudara Zulham Hadi Rakhmanto atas bantuannya dalam tahap pengumpulan data di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Bekheet, W., Abd. El Halim, A.O., Easa S. & Ponniah, J. 2002. *Field Study of The Influence of Shear Stiffness on Rutting of Asphalt Mixes*. Makalah disajikan dalam Transportation Research Board Annual Meeting.
- British Standard Institution. 1992. *British Standard (BS) 594: Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas (Part 1: Specification for Constituent materials and Asphalt Mixtures)*. London.
- Brown, S.F. 1997. *Achievements and Challenges in Asphalt Pavement Engineering, Keynote Address*. Makalah disajikan dalam 8th ISAP (International Conference on Asphalt Pavement), Seattle.
- Brown S.F. & Scholz, T.V. 2000. *Development of Laboratory Protocols for The Ageing of Asphalt Mixtures*. Makalah disajikan dalam Second Conference of Euroasphalt and Eurobitume Barcelona, 2000.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1999. *Rancangan SK SNI Standar: Spesifikasi Campuran Beraspal Panas*. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Kennedy, J.B. & Neville, A.M. 1964. *Basic Statistical Methods for Engineers and Scientists* (2nd ed.). New York: Thomas Y. Crowell, Inc., Harper and Row Publisher.
- Quintus, V.H.L., Scherochman, J.A., Hughes C.S. & Kennedy, T.W. 1991. *Asphalt Aggregates Mixtures Analysis System (AAMAS)–NCHRP 338*. Washington, D.C.
- Kiryukhin, G.N. Tanpa tahun. *Designing of Asphalt Pavement on The Ultimately Permissible Irreversible Deformation*, (Online), <http://www.balticroads.org/pdf>.
- Nakanishi, H., Takei, S. & Goto, K. Tanpa tahun. *Suggestion to the Improvement in Durability of The Function of Porous Asphalt Pavement*. Versi Inggris dari publikasi dalam Bahasa Jepang pada *Road Construction August 1995*. Nagoya, Jepang.
- Yoder, E.J. & Witczak, W.W. 1975. *Priciples of Pavement Design* (2nd ed.). New York: John Wiley and Sons.