

## PENGUNAAN ALAT MARSHALL UNTUK MENGUJI MODULUS ELASTISITAS BETON ASPAL

Sri Widodo, Ika Setyaningsih

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta

E-mail : [swdd.ums@gmail.com](mailto:swdd.ums@gmail.com)

### Abstrak

Pada perencanaan tebal lapis perkerasan jalan, modulus elastisitas beton aspal telah digunakan untuk menentukan koefisien lapis perkerasan jalan. Akan tetapi pada pelaksanaan pekerjaan lapis perkerasan jalan, pengendalian kualitas beton aspal masih menggunakan nilai stabilitas Marshall, sehingga tidak sesuai dengan parameter perencanaan tebal perkerasan yang menggunakan modulus elastisitas. Penelitian penggunaan alat Marshall untuk menguji modulus elastisitas beton aspal perlu dilakukan karena alat uji modulus elastisitas beton aspal saat ini belum banyak dipunyai oleh laboratorium jalan raya di Indonesia. Pengujian dengan alat Marshall dilakukan dengan cara mengamati stabilitas benda uji untuk setiap penambahan *flow* 0,5 mm. Tegangan diperoleh dengan membagi stabilitas dengan luas bidang tekan sedangkan regangan diperoleh dengan jalan membagi *flow* dengan diameter benda uji. Modulus elastisitas beton aspal merupakan kemiringan garis hubungan antara tegangan dan regangan yang berbentuk garis lurus yang terjadi pada awal pembebanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai modulus elastisitas beton aspal semakin kecil seiring dengan bertambahnya temperatur beton aspal. Modulus elastisitas beton aspal pada temperatur 25°C, 35°C, 45°C, 55°C, dan 65°C secara berturut turut adalah 4.063 kg/cm<sup>2</sup>, 3.872 kg/cm<sup>2</sup>, 2.599 kg/cm<sup>2</sup>, 2.395 kg/cm<sup>2</sup>, dan 2.187 kg/cm<sup>2</sup>. Model pengaruh temperatur ( $x$ , °C) terhadap nilai modulus elastisitas beton aspal ( $y$ , kg/cm<sup>2</sup>) adalah  $y = 0,74 x^2 - 118,76x + 6723,74$ .

**Kata-kata kunci** : tegangan, regangan, modulus elastisitas, beton aspal, alat Marshall

### Pendahuluan

Pada saat ini perancangan tebal lapis perkerasan jalan raya telah mulai menggunakan modulus elastisitas untuk menentukan koefisien lapis perkerasan jalan raya (AASHTO, 1993). Modulus elastisitas merupakan faktor yang sangat penting yang akan mempengaruhi kinerja perkerasan aspal. Jika modulus elastisitas bahan mulai menurun, seperti misalnya terjadinya penuaan aspal, maka perkerasan aspal akan menjadi mudah retak saat menerima beban yang berat. Apalagi jika terjadi kemacetan lalu lintas yang akan menambah waktu pembebanan terhadap lapisan perkerasan jalan, maka jalan tersebut akan mudah menjadi rusak.

Mengingat elastisitas bahan perkerasan sangat penting dalam menunjang keawetan maka, maka faktor modulus elastisitas campuran aspal ini perlu dijadikan menjadi salah satu faktor dalam perencanaan tebal lapis perkerasan dan pengendalian kualitas pekerjaan lapis perkerasan aspal. Akan tetapi sangat disayangkan bahwa alat untuk menguji modulus elastisitas beton aspal sampai saat ini belum banyak dipunyai oleh laboratorium jalan raya di Indonesia. Pengendalian kualitas beton aspal di lapangan masih menggunakan hasil pengujian dengan alat Marshall (Ditjen Bina Marga, 2010). Pada penelitian ini akan digunakan alat Marshall untuk menguji modulus elastisitas beton aspal. Modulus elastisitas beton aspal akan dicari untuk berbagai temperatur beton aspal sehingga akan diperoleh model pengaruh temperatur perkerasan terhadap nilai modulus elastisitas beton aspal.

Bitumen merupakan bahan visco-elastis dan perubahan bentuknya jika menerima tegangan merupakan fungsi dari temperature dan waktu pembebanan (Brown, 1990). Pada temperatur yang tinggi dan waktu pembebanan yang lama dia akan bersifat *viscous liquids*, sedangkan pada temperatur rendah dan waktu pembebanan yang pendek dia akan bersifat elastis tetapi getas.

Pada kasus bahan visco elastis, seperti bitumen, tegangan tarik  $\sigma$ , yang bekerja pada waktu pembebanan  $t$ , menyebabkan regangan  $\epsilon_t$ . Modulus elastisitas  $S_t$ , pada waktu pembebanan  $t$ , didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan yang bekerja dan regangan pada waktu pembebanan  $t$  :

$$St = \frac{\sigma}{\epsilon_t} \quad (1)$$

Selanjutnya karena modulus elastisitas bitumen juga tergantung oleh temperatur T, kosekuensinya perlu untuk menyatakan kedua faktor waktu pembebanan dan temperatur ke dalam perhitungan modulus kekakuan :

$$S_{t,T} = \frac{\sigma}{\epsilon_{t,T}} \quad (2)$$

Dari hasil penelitian Van Der Poel (Yoder&Witczak,1975) disimpulkan bahwa kekakuan campuran aspal ( $S_m$ ) sangat dipengaruhi oleh kekakuan aspal ( $S_b$ ) dan konsentrasi volume agregat ( $C_v$ ). Kekakuan campuran aspal selanjutnya dihitung sebagai berikut :

$$S_m = S_b \left[ 1 + \left( \frac{2,5}{n} \right) \left( \frac{C_v}{1 - C_v} \right) \right]^n \quad (3)$$

$$n = 0,83 \log \left( \frac{4 \times 10^5}{S_b} \right) \quad (4)$$

dengan :

$S_m$  = Modulus kekakuan campuran aspal

$S_b$  = Modulus kekakuan aspal, dapat dicari dengan

Persamaan kekakuan campuran aspal di atas berlaku untuk kadar rongga udara sekitar 3 dan nilai  $C_v$  antara 0,7 dan 0,9. Untuk rongga udara lebih dari 3 %, Van Draat dalam Yoder&Witczak (1975) merekomendasikan menggunakan  $C_v'$  seperti dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_v' = \frac{C_v}{1 - (V_v - 0,03)} \quad (5)$$

dengan :

$C_v'$  = konsentrasi volume agregat yang telah dimodifikasi

$V_v$  = volume rongga udara dalam campuran

Bazin dan Saunier (1967) menyatakan bahwa yang mempengaruhi modulus elastisitas campuran beton aspal adalah waktu pembebanan, temperatur, jenis aspal yang digunakan dan kadar rongga udara dalam campuran. Nilai *Mean Monthly Air Temperature* (MMAT) 27,6 °C dapat digunakan sebagai temperatur referensi bagi desain struktur perkerasan aspal di area Jakarta. (Sudjatmiko ,1999). Jika nilai MMAT 27,6 °C tersebut digunakan sebagai temperatur referensi, maka nilai modulus efektif sebesar 1807 Mpa dapat digunakan dalam analisa struktur. Penambahan *crumb rubber* dalam campuran beton aspal cenderung menurunkan nilai *indirect tensile strength* (ITS) dan *resilient modulus* campuran aspal. Akan tetapi penambahan *reclaimed asphalt pavement* (RAP) menaikkan ITS dan *resilient modulus*nya (Xiao dan Amirhanian, 2008). Haryanto at.al (2003) menyatakan bahwa penambahan temperatur perkerasan akan diiringi dengan pengurangan modulus kekakuan. Penambahan temperatur dari 25°C ke 37,5°C menurunkan modulus kekakuan campuran aspal 71,8 %. Kalau penambahan temperatur dihitung dari 15°C ke 50°C penurunan modulus kekakuannya sebesar 91,5 %.

### Metode Penelitian

Modulus elastisitas dicari dari gambar hubungan antara tegangan dan regangan yang terjadi pada benda uji saat pengujian dengan alat Marshall. Penelitian dilakukan dengan cara melakukan pengamatan beban pada setiap penambahan pelelehan benda uji sebesar 0,5 mm. Mekanisme pembebanan benda uji pada pelaksanaan tes Marshall seperti pada Gambar 1.

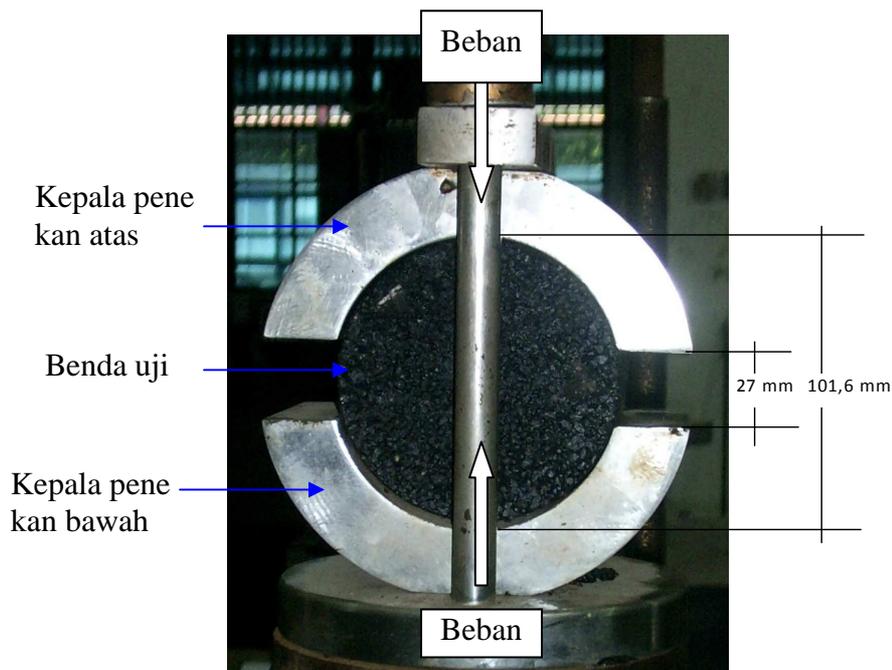
Tegangan dan regangan yang terjadi pada benda uji saat pengujian Marshall dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{d.t} \quad (6)$$

$$\varepsilon = \frac{F}{d} \quad (7)$$

dengan :

- $\sigma$  = tegangan yang terjadi pada benda uji
- P = beban yang bekerja
- d = diameter benda uji
- t = tebal/tinggi benda uji
- $\varepsilon$  = regangan yang terjadi pada benda uji
- F = pelelehan benda uji



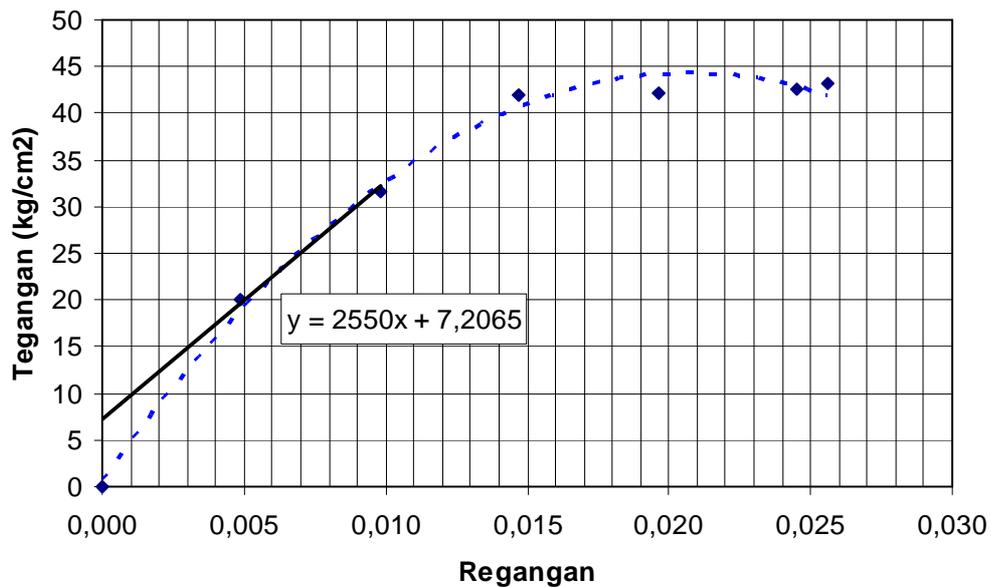
Gambar 1. Skema pembebanan pada pengujian dengan alat Marshall

Tegangan dan regangan yang diperoleh selama pengujian Marshall kemudian di plot pada suatu gambar dengan sumbu y yang mewakili besaran tegangan dan sumbu x yang mewakili besaran regangan. Modulus elastisitas campuran beton aspal adalah merupakan kemiringan dari garis lurus gambar hubungan antara tegangan dan regangan.

### Hasil Penelitian dan Pembahasan

Penelitian modulus elastisitas beton aspal dilakukan dengan menggunakan campuran kadar aspal optimum. Benda uji dibuat sebanyak 15 buah. Setiap 3 benda uji diuji pada temperatur 25°C, 35°C, 45°C, 55°C, dan 65°C. Hasil penelitian terhadap 3 benda uji dianalisis kemudian diambil 2 data yang paling baik. Dari 2 data ini kemudian diambil rata-ratanya sebagai data yang dapat mewakili karakteristik benda uji tersebut.

Gambar 2 merupakan salah satu contoh hubungan antara tegangan dan regangan beton aspal yang diuji dengan alat Marshall pada temperatur 65°C. . Bentuk gambar tegangan regangan yang berupa garis lurus menunjukkan benda uji masih bersifat elastis, sedangkan yang berbentuk parabola menunjukkan benda uji sudah berkurang elastisitasnya dan cenderung akan mengalami keruntuhan jika pembebanan terus bertambah. Puncak dari parabola menunjukkan kemampuan maksimum benda uji menahan beban. Keruntuhan beban ditunjukkan pada akhir grafik. Beban pada akhir grafik atau saat benda uji mengalami keruntuhan disebut dengan stabilitas Marshall. Besarnya defleksi yang terjadi pada saat keruntuhan benda uji dilaporkan sebagai pelelehan (*flow*).



Gambar 2. Tegangan regangan benda uji 1 pada temperatur pengujian 65°C

Modulus elastisitas merupakan kemiringan dari garis lurus gambar hubungan tegangan dan regangan yang terjadi pada awal-awal pembebanan. Hasil pengujian modulus elastisitas benda uji untuk berbagai temperatur pengujian seperti terlihat pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur beton aspal maka nilai modulus elastisitasnya semakin rendah. Hal ini disebabkan pada temperatur tinggi campuran aspal menjadi lebih lunak sehingga pada saat menerima beban berkurang kemampuannya mempertahankan elastisitas bahannya.

Tabel 1. Pengaruh temperatur terhadap modulus elastisitas

Temperatur (°C)	Modulus elastisitas		
	(kg/cm <sup>2</sup> )	(Mpa)	(psi)
25	4.063	399	57.740
35	3.872	380	55.025
45	2.599	255	36.939
55	2.395	235	34.033
65	2.187	214	31.076

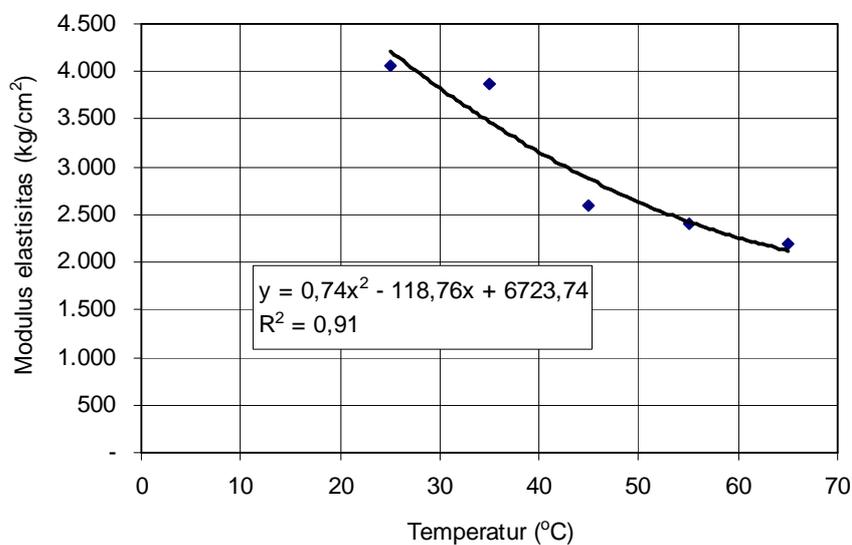
Dalam metode Van Der Poel kekakuan campuran aspal (Sm) sangat dipengaruhi oleh modulus kekakuan aspal (Sb) dan konsentrasi volume agregat (Cv). Modulus kekakuan aspal sendiri sangat tergantung pada temperatur dan lama pembebanan. Diagram tegangan regangan hasil pengujian dengan alat Marshall memperlihatkan bahwa sebetulnya pengaruh waktu pembebanan tidak selalu mempengaruhi modulus elastisitas beton aspal. Pada awal terjadinya pembebanan jika tegangan yang terjadi masih berada dalam posisi elastis atau berada pada garis lurus, maka waktu pembebanan tidak mempengaruhi modulus elastisitasnya. Waktu pembebanan akan mempengaruhi modulus elastisitas beton aspal jika waktu pembebanan menyebabkan tegangan berada pada daerah tidak elastis yaitu pada garis tegangan regangan yang berbentuk parabola.

Nilai modulus elastisitas beton aspal yang dicari dengan alat Marshall sampai pada nilai regangan tertentu tidak akan dipengaruhi oleh waktu pembebanan, akan tetapi nilai modulus elastisitas dengan metode Van Der Poel besarnya sepenuhnya akan di pengaruhi oleh waktu pembebanan. Besarnya waktu pembebanan pada metode Van Der Poel yang menghasilkan nilai modulus elastisitas yang sama dengan yang dihasilkan dengan alat Marshall dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur benda uji, maka waktu pebebanan semakin kecil. Jika waktu pembebanan pada benda uji melebihi dari yang tercantum pada Tabel 2, maka nilai modulus prediksi menggunakan metode Van Der Poel akan lebih kecil dari nilai modulus elastisitas yang diperoleh dengan menggunakan alat Marshall.

Tabel 2. Prediksi nilai modulus elastisitas berdasar metode Van Der Poel

Temp. (°C)	Waktu pembebanan (detik)	T <sub>diff</sub> (°C)	S <sub>bit</sub>		Cv	Cv'	n	S <sub>mix</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )
			(N/m <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )				
25	0,2	23	1.250.000	12,75	0,85	0,91	3,73	4.057
35	0,02	13	1.150.000	11,73	0,85	0,90	3,76	3.818
45	0,01	3	680.000	6,94	0,85	0,89	3,95	2.597
55	0,002	-7	610.000	6,22	0,85	0,90	3,99	2.393
65	0,0008	-17	540.000	5,51	0,85	0,90	4,03	2.185

Model modulus elastisitas sebagai fungsi dari tempetarur dapat dicari dengan analisa regresi. Regresi dilakukan dengan menggambarkan hubungan antara modulus elastisitas dan temperatur benda uji. Dari titik-titik koordinat modulus elastisitas dan temperatur akan diketahui persamaan matematisnya yang merupakan model dari modulus elastisitas benda uji tersebut. Model matematis tersebut dapat diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan temperatur dan modulus elastisitas

Model matematis modulus elastisitas sebagai fungsi temperatur benda uji yang diperoleh dari Gambar 3 adalah  $y = 0,74 x^2 - 118,76x + 6723,74$  dengan y merupakan modulus elastisitas(kg/cm<sup>2</sup>) dan x temperatur (°C). Hubungan antara temperatur dan modulus elastisitas tersebut cukup kuat yang ditunjukkan dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) = 0,91.

**Kesimpulan dan Saran**

Dari hasil pengujian modulus elastisitas beton aspal AC-WC dengan alat Marshall dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- a. Nilai modulus elastisitas beton aspal semakin kecil seiring dengan bertambahnya temperatur beton aspal. Nilai modulus elastisitas beton aspal pada temperatur 25°C, 35°C, 45°C, 55°C, dan 65°C secara berturut turut adalah 4.063 kg/cm<sup>2</sup>, 3.872 kg/cm<sup>2</sup>, 2.599 kg/cm<sup>2</sup>, 2.395 kg/cm<sup>2</sup>, dan 2.187 kg/cm<sup>2</sup>
- b. Model pengaruh temperatur terhadap nilai modulus elastisitas beton aspal adalah  $y = 0,74 x^2 - 118,76x + 6723,74$  dengan y merupakan modulus elastisitas(kg/cm<sup>2</sup>) dan x temperatur (°C)

Untuk menyempurnakan hasil penelitian ini, pada penelitian selanjutnya disarankan hal-hal sebagai berikut :

- a. Perlu diadakan pengujian modulus elastisitas beton aspal dengan benda uji seperti pada pengujian Marshall akan tetapi arah pembebanan searah dengan arah pemadatan.
- b. Hasil modulus elastisitas dengan alat Marshall perlu di validasi dengan modulus elastisitas yang dihasilkan dengan alat yang memang dikhususkan untuk secara langsung menguji modulus elastisitas seperti misalnya *Universal Material Testing Apparatus* (UMATA).

**Daftar Pustaka**

- AASHTO, 1993. *Guide for Design of Pavement Structure*. AASHTO, Washington D.C.
- Bazin, P. dan Saunier, J., 1994. *Deformability, Fatigue and Healing Properties of Asphalt Mixes*. Proceeding International Conference Structural Design Asphalt Pavement
- Brown, S., 1990. *The Shell Bitumen Handbook*. Shell Bitumen U.K.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010. *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 6 Perkerasan Beraspal*. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan Badan Penelitian dan Pengembangan, Bandung.
- Sudjatmiko, A.E.T.,1999. *Karakteristik Modulus Lapis Aspal Untuk Kondisi Temperatur di Indonesia*. Thesis Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung
- Xiao, F., Amirkhanian, S., 2008. *Resilient Modulus Behavior of Rubberized Asphalt Concrete Mixtures Containing Reclaimed Asphalt Pavement*. Road . Materials and Pavement Design. Volume 9, Issue 4 - 2008 - pp.633-649
- Youder, E.J. dan Witczak, M.W., 1975. *Principles of Pavement Desgn*, Edisi 2, John Wiley & Sons, Inc., Toronto.

**Hasil diskusi**

Tanya : Apakah uji Marshall bisa diujicobakan dengan foamed aspal basah? (Lubab)

Jawab : Perencanaan berdasarkan modulus, bukan berdasarkan stabilitas