

APPLICATION OF MARSHALL APPARATUS TO ANALYSE THE INFLUENCE OF TEMPERATURE ON ELASTICITY MODULUS OF ASPHALT CONCRETE

PENGGUNAAN ALAT MARSHALL UNTUK MENGANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP MODULUS ELASTISITAS BETON ASPAL

Sri Widodo¹⁾, Ika Setiyaningsih²⁾

¹⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan Kartasura Surakarta 57102 E-mail : swdd.ums@gmail.com

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan Kartasura Surakarta 57102 E-mail : ik4setiya@gmail.com

ABSTRACT

Nowadays, the modulus of elasticity has been used to determine the layer coefficient of road pavement. However in the construction of road asphalt pavement, the control of the strength of asphalt concrete is still using Marshall's stability value, so it is not appropriate with the principle of pavement design. Considering that the Indonesian laboratories of road still rarely have Marshall Apparatus, it will be interest to research the elasticity modulus of asphalt concrete at various temperatures by using Marshall apparatus. The procedure of the elasticity modulus test using Marshall apparatus was done by observe the stability gradually carried out for every 0.5 mm of flow addition. The stress is gained by dividing the stability with the area of compression surface while the strains is gained by dividing the flow with the diameter of specimen. The modulus of elasticity of the asphalt concrete is the gradient of the straight line of relation between stress and strain. The research shows that the value of modulus of elasticity of the Asphalt Concrete Wearing Course at the temperature 25°C, 35°C, 45°C, 55°C, and 65°C respectively are 4,063 kg/cm², 3,872 kg/cm², 2,599 kg/cm², 2,395 kg/cm², and 2,187 kg/cm². The model of the influence of temperature towards the value of modulus of elasticity is $y = 0,74 x^2 - 118,76x + 6723,74$, where y is modulus of elasticity (kg/cm²) and x is temperature (°C).

Key words : stress, strain, modulus of elasticity, asphalt concrete, Marshall apparatus

ABSTRAK

Pada saat ini modulus elastisitas telah digunakan untuk menentukan koefisien lapis perkerasan jalan raya. Akan tetapi pada pelaksanaan pekerjaan lapis perkerasan aspal, pengendalian kekuatan beton aspal masih menggunakan nilai stabilitas Marshall sehingga tidak sesuai dengan perancangan tebal perkerasan jalan. Mengingat hampir semua laboratorium jalan raya di Indonesia mempunyai alat Marshall, maka menarik untuk menguji modulus elastisitas beton aspal pada berbagai temperatur benda uji dengan alat Marshall. Pengujian modulus elastisitas 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 ditentukan dari garis hubungan antara tegangan dan regangan beton aspal. Hasil penelitian modulus elastisitas beton aspal Asphalt Concrete Wearing Course dengan alat Marshall pada temperatur 25°C, 35°C, 45°C, 55°C, dan 65°C secara berturut turut adalah 4.063 kg/cm², 3.872 kg/cm², 2.599 kg/cm², 2.395 kg/cm², dan 2.187 kg/cm². Model pengaruh temperatur terhadap nilai modulus elastisitas beton aspal adalah $y = 0,74 x^2 - 118,76x + 6723,74$ dengan y modulus elastisitas(kg/cm²) dan x temperatur (°C).

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

PENDAHULUAN

Latar Belakang Penelitian

Bitumen merupakan bahan *visco-elastis*, sehingga perubahan bentuknya jika menerima tegangan merupakan fungsi dari temperatur 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 bitumen akan bersifat elastis tetapi getas. Variasi temperatur merupakan salah satu faktor penting yang harus diperhitungkan dalam desain struktur perkerasan aspal, karena pada kenyataannya modulus lapis aspal di lapangan sangat dipengaruhi oleh temperatur.

AASHTO mulai tahun 1986 dalam perancangan tebal lapis perkerasan jalan raya telah mulai menggunakan modulus elastisitas untuk menentukan

koefisien lapis perkerasan jalan raya. 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. Jika terjadi kemacetan lalu lintas waktu pembebanan terhadap lapisan perkerasan jalan akan bertambah sehingga jalan tersebut akan mudah menjadi rusak.

Dari segi pelaksanaan konstruksi jalan beton aspal, pengendalian kualitas di lapangan kurang sesuai dengan persyaratan bahan campuran yang di laboratorium. Pengendalian kualitas terhadap perkerasan yang telah digelar di lapangan hanya meliputi kepadatan dan ketebalan gelaran. Padahal dari persyaratan campuran perlu di kendalikan juga gradasi, stabilitas dan rongga dalam campuran. Demikian pula dari segi perencanaan tebal perkerasan kualitas bahan beton aspal yang dimasukkan sebagai parameter adalah modulus elastisitas (AASHTO, 1993 dan Departemen Kimpraswil, 2002).

Mengingat elastisitas bahan perkerasan sangat penting dalam menunjang keawetan, maka faktor modulus elastisitas campuran aspal perlu dijadikan menjadi salah satu parameter dalam perencanaan tebal lapis perkerasan dan pengendalian kualitas pekerjaan lapis perkerasan aspal. Akan tetapi sampai saat ini alat untuk menguji modulus elastisitas beton aspal belum banyak dipunyai oleh laboratorium jalan raya di Indonesia. Pada penelitian ini akan dicoba menguji modulus elastisitas beton aspal dengan menggunakan alat Marshall. Pengujian dilakukan pada berbagai temperatur beton aspal sehingga akan diperoleh model pengaruh temperatur terhadap nilai modulus elastisitas beton aspal. Hasil penelitian ini diharapkan akan bermanfaat pada proses perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan jalan raya dengan perkerasan beton aspal

Konsep Elastisitas Bitumen

Untuk mendefinisikan sifat-sifat elastis, Van der Poel pada tahun 1954 (Yoder dan Witczak, 1975) memperkenalkan konsep modulus kekakuan sebagai parameter dasar untuk menjelaskan sifat-sifat mekanik aspal, dengan analogi modulus elastis benda padat. Jika tegangan tarik σ , bekerja pada bahan dengan regangan ϵ , maka modulus elastisitas E, dari suatu bahan dinyatakan dengan hukum Hook adalah :

$$E = \frac{\tau}{\epsilon} \quad (1)$$

Pada kasus bahan *visco elastis*, seperti bitumen, tegangan tarik σ , yang bekerja pada waktu pembebanan t, menyebabkan regangan ϵ_t . Modulus kekakuan S_t , pada waktu pembebanan t, didefinisikan

sebagai perbandingan antara tegangan yang bekerja dan regangan pada waktu pembebanan t :

$$S_t = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2)$$

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 :

$$S_{t,T} = \frac{\sigma}{\epsilon_{t,T}} \quad (3)$$

Estimasi Modulus Kekakuan Campuran Aspal

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

$$C_v = \frac{\text{Volume agregat}}{\text{Vol. agregat} + \text{Vol. aspal}} \quad (4)$$

$$= \frac{(Ma/Ga)}{(Ma/Ga) + (Mb/Gb)}$$

dengan :

- C_v = konsentrasi volume agregat
- Ma = persentase berat agregat
- Mb = persentase bahan pengikat
- G = *Specific gravity* agregat.
- G_b = *Specific gravity* aspal

Kekakuan campuran aspal selanjutnya dihitung sebagai berikut (Yoder&Witczak,1975):

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

$$N = 0,83 \log \left(\frac{4 \times 10^5}{S_b} \right) \quad (6)$$

dengan :

- S_m = Modulus kekakuan campuran aspal
- S_b = Modulus kekakuan aspal

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 (1965) merekomendasikan menggunakan C_v' seperti dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_v' = \frac{C_v}{1 - (V_v - 0,03)} \quad (7)$$

dengan :

- C_v' = konsentrasi volume agregat yang telah dimodifikasi
- V_v = volume rongga udara dalam campuran

Bazin, P. dan Saunier, J. (1967) mengatakan bahwa yang mempengaruhi modulus campuran beton aspal adalah waktu pembebanan, temperatur, jenis aspal yang digunakan dan kadar rongga udara dalam campuran. Hasil penelitian Sudjarmiko (1999) di Jakarta menunjukkan bahwa nilai *Mean Monthly Air Temperature (MMAT)* 27,6°C dapat digunakan sebagai temperatur referensi bagi desain struktur perkerasan aspal di area Jakarta. Jika nilai *MMAT* 27,6°C tersebut digunakan sebagai temperatur referensi, maka nilai modulus efektif sebesar 1.807 Mpa dapat digunakan dalam analisis struktur perkerasan aspal. Haryanto dkk (2003) telah menguji modulus kekakuan campuran aspal dengan alat *UMMATA* terhadap 40 sampel dengan kadar aspal 6,5%. Penelitian dilakukan dengan temperatur perkerasan 25°C, 37,5°C dan 50°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa :

1. Penambahan temperatur perkerasan diiringi dengan pengurangan modulus kekakuan
2. Modulus kekakuan campuran aspal bervariasi sesuai dengan periode pembebanan dan temperaturnya.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan alat Marshall pada campuran aspal *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* gradasi halus. Pada penelitian ini ada perbedaan prosedur pembacaan beban dan *flow* (pelelehan). Pengamatan beban Marshall dilakukan pada setiap terjadinya penambahan pelelehan benda uji sebesar 0,5 mm. Mekanisme pembebanan benda uji pada pelaksanaan tes Marshall seperti pada Gambar 1.

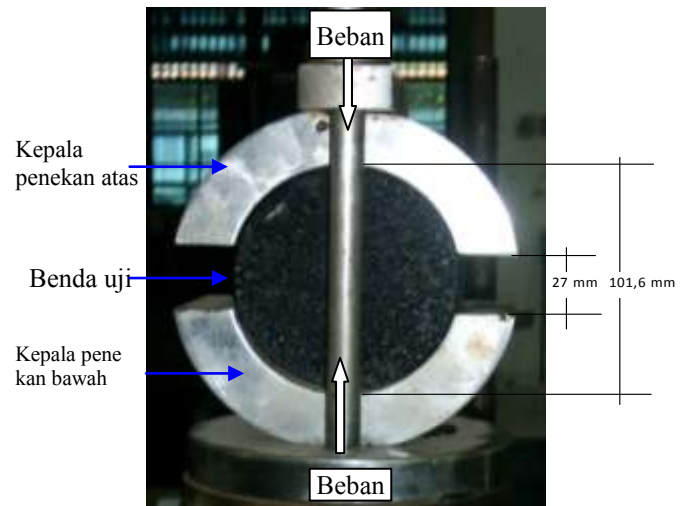
Tegangan dan regangan yang terjadi pada benda uji saat pengujian Marshall dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{P}{d.t} \quad (8)$$

$$\varepsilon = \frac{F}{d} \quad (9)$$

dengan :

- σ = tegangan yang terjadi pada benda uji
- P = beban yang bekerja
- d = diameter benda uji
- t = tebal/tinggi benda uji
- ε = regangan yang terjadi pada benda uji
- F = pelelehan benda uji



Gambar 1. Skema pembebanan pada pengujian dengan alat Marshall

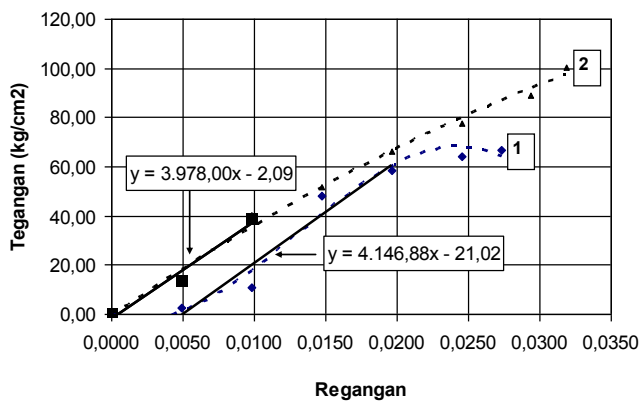
Tegangan dan regangan yang diperoleh selama pengujian Marshall kemudian di plot pada suatu gambar. Gambar hubungan antara tegangan dan regangan terdiri dari sumbu y yang mewakili besaran tegangan dan sumbu x yang mewakili besaran regangan. Modulus elastisitas campuran beton aspal adalah merupakan kemiringan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

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

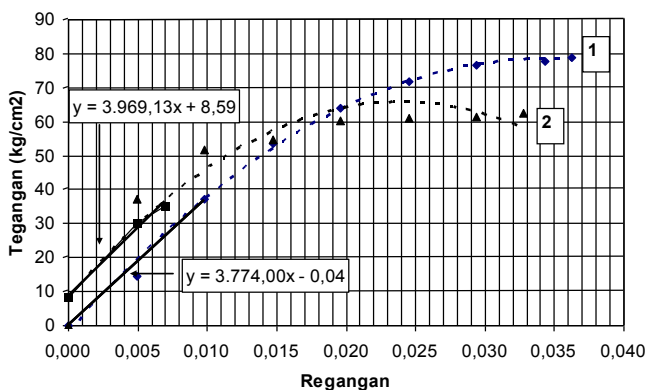
Penelitian modulus elastisitas *AC-WC* dilakukan dengan menggunakan campuran kadar aspal optimum (6,4%). Benda uji dibuat sebanyak 15 buah. Setiap 3 benda uji diuji pada temperatur 25°C, 35°C, 45°C, 55°C, dan 65°C. Hasil penelitian terhadap 3 benda uji dianalisis kemudian diambil 2 data yang paling baik. Dari 2 data ini kemudian diambil rata-ratanya sebagai data yang dapat mewakili karakteristik benda uji tersebut.

Hasil penelitian modulus elastisitas *AC-WC* terhadap 2 benda uji pada temperatur 25°C, 35°C, 45°C, 55°C, dan 65°C secara berturut turut seperti terlihat pada Gambar 2 sampai Gambar 6. Gambar 2 sampai Gambar 6 memperlihatkan hubungan antara tegangan dan regangan 2 benda uji yang diuji dengan alat Marshall. Pembebanan dilakukan sampai benda uji mengalami keruntuhan yang ditunjukkan dengan tidak bertambahnya stabilitas Marshall walaupun proses pembebanan masih berlangsung. Pembacaan beban dan *flow* juga dihentikan saat benda uji mengalami keruntuhan. Dari semua hasil penelitian menunjukkan bahwa pada awal-awal pembebanan gambar hubungan tegangan dan regangan cenderung berbentuk lurus kemudian berbentuk parabola. Bentuk gambar tegangan regangan yang lurus menunjukkan benda uji masih bersifat elastis. Pada kondisi ini modulus elastisitas beton aspal masih

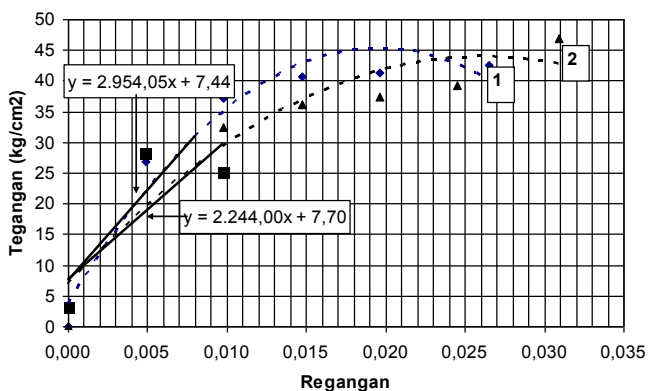
tidak dipengaruhi oleh waktu pembebanan. Setelah kondisi elastis dilewati, gambar tegangan dan regangan akan berbentuk parabola. Bentuk parabola ini menunjukkan bahwa benda uji sudah kurang elastisitasnya dan cenderung akan mengalami keruntuhan jika pembebanan terus bertambah. Puncak dari parabola menunjukkan kemampuan maksimum benda uji menahan beban atau dalam pengujian Marshall disebut sebagai stabilitas campuran aspal. Besarnya defleksi yang terjadi pada saat keruntuhan benda uji dilaporkan sebagai pelelehan (*flow*).



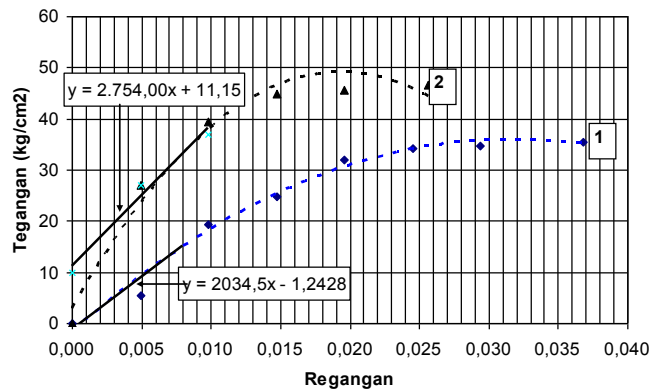
Gambar 2. Hubungan tegangan dan regangan pada temperatur pengujian 25°C



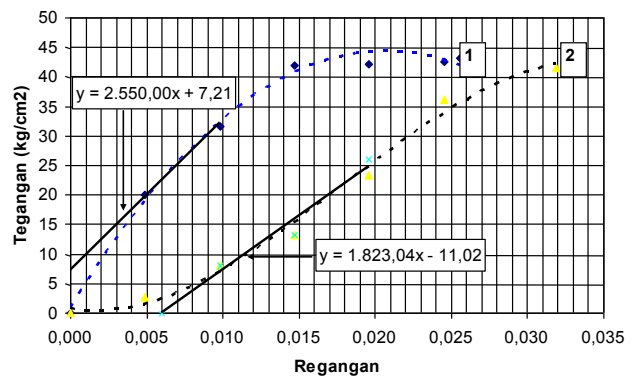
Gambar 3. Hubungan antara tegangan dan regangan pada temperatur pengujian 35°C



Gambar 4. Hubungan tegangan dan regangan pada temperatur pengujian 45°C



Gambar 5. Hubungan tegangan dan regangan pada temperatur pengujian 55°C



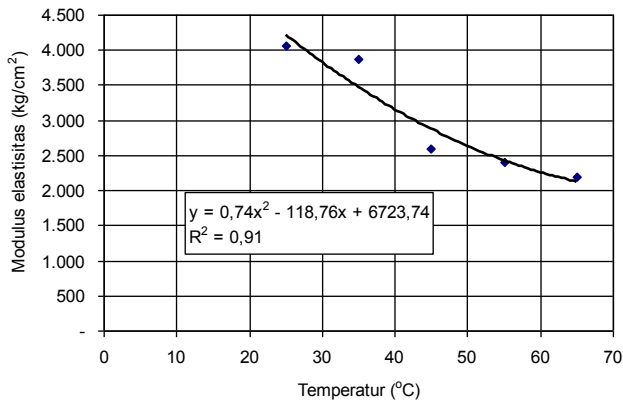
Gambar 6. Hubungan tegangan dan regangan pada temperatur pengujian 65°C

Modulus elastisitas merupakan kemiringan dari garis lurus gambar hubungan tegangan dan regangan yang terjadi pada awal pembebanan. Dari hasil pembacaan kemiringan garis lurus tersebut nilai modulus elastisitas rata-rata benda uji untuk berbagai temperatur pengujian seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh temperatur terhadap modulus elastisitas

Temperatur (°C)	Modulus elastisitas		
	(kg/cm ²)	(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

Untuk mendapatkan model modulus elastisitas sebagai fungsi dari temperatur maka perlu dilakukan 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 dari benda uji tersebut. Model matematis tersebut dapat diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Model hubungan temperatur dan modulus elastisitas

Model matematis modulus elastisitas sebagai fungsi temperatur benda uji yang diperoleh dari Gambar 7 adalah $y = 0,74x^2 - 118,76x + 6723,74$ dengan y merupakan modulus elastisitas(kg/cm²) dan x temperatur (°C). Hubungan antara temperatur dan modulus elastisitas tersebut cukup kuat yang ditunjukkan dengan nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,91. Dari Model tersebut dapat dicari prediksi nilai modulus elastisitas untuk berbagai temperatur benda uji.

Model ini dapat digunakan untuk menentukan koefisien kekuatan relatif lapisan beton aspal berdasarkan perancangan tebal perkerasan Departemen Kimpraswil 2002. Pada metode Kimpraswil 2002 tersebut koefisien kekuatan relatif lapisan beton aspal ditentukan berdasarkan nilai modulus elastisitas bahan campuran aspal pada temperatur 68°F (20°C). Dengan model matematis yang diperoleh prediksi nilai Modulus elastisitas beton aspal *AC-WC* pada temperatur 20°C adalah : $0,74(20)^2 - 118,76(20) + 6723,74 = 4.645 \text{ kg/cm}^2 = 66.019 \text{ psi}$.

Konsep penentuan koefisien kekuatan relatif beton aspal dengan menggunakan data modulus elastisitas sangat berbeda dengan penentuan koefisien kekuatan relatif berdasarkan nilai stabilitas Marshall seperti pada metode penentuan lapisan perkerasan aspal Bina Marga dengan analisa komponen tahun 1987. Penentuan koefisien kekuatan relatif berdasarkan nilai modulus elastisitas lebih realistis, karena jika pembebanan (tegangan) yang terjadi belum melewati batas elastisitasnya maka campuran aspal masih belum mengalami perubahan bentuk walaupun pada saat menerima beban beton aspal tersebut mengalami pelenturan. Akan tetapi jika penentuan koefisien kekuatan relatif berdasar stabilitas Marshall, maka posisi stabilitas Marshall sudah pada posisi tidak elastis sempurna sehingga pada saat pembebanan mendekati nilai stabilitas Marshall kondisi bahan sebetulnya sudah akan mulai mengalami proses keruntuhan.

KESIMPULAN DAN SARAN

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

1. 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/cm², 3.872 kg/cm², 2.599 kg/cm², 2.395 kg/cm², dan 2.187 kg/cm²
2. Model pengaruh temperatur terhadap nilai modulus elastisitas beton aspal adalah $y = 0,74x^2 - 118,76x + 6723,74$ dengan y merupakan modulus elastisitas(kg/cm²) dan x temperatur (°C)

Adapun saran berdasarkan hasil pengujian modulus elastisitas beton aspal *AC-WC* dengan alat Marshall adalah sebagai berikut :

1. Perlu diadakan pengujian modulus elastisitas beton aspal dengan benda uji seperti pada pengujian Marshall akan tetapi arah pembebanan searah dengan arah pemadatan. Hal ini mengingat bahwa beban kendaraan di lapangan arahnya vertikal dan searah dengan beban alat pemadat di lapangan.
2. Hasil modulus elastisitas dengan alat Marshall perlu divalidasi dengan modulus elastisitas yang dihasilkan dengan alat yang memang dikhususkan untuk secara langsung menguji modulus elastisitas seperti misalnya *Universal Material Testing Apparatus (UMATA)*.
3. Model pengaruh temperatur terhadap nilai modulus elastisitas beton aspal hanya berlaku untuk *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*. Akan tetapi karena model yang dihasilkan berasal dari pengujian terhadap 2 benda uji untuk setiap temperatur benda uji *AC-WC*, maka perlu divalidasi lagi dengan jumlah benda uji yang lebih banyak agar syarat statistik bisa dipenuhi.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, 1993. *Guide for Design of Pavement Structure*. AASHTO, Washington D.C.
- Brown, S., 1990. *The Shell Bitumen Handbook*. Shell Bitumen U.K.
- Bazin, P. dan Saunier, J., 1994. Deformability, Fatigue and Healing Properties of Asphalt Mixes. *Proceeding International Conference Structural Design Asphalt Pavement*
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987. *Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen*. Yayasan Penerbit PU, Jakarta.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002. *Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pt T-01-2002-B*. Pusat Litbang Teknologi Prasarana Transportasi, Bandung
- Haryanto, D. Aschuri, I. Yamin, R.A., 2003. Temperature and Time Loading Influence on Stiffness Modulus of Asphalt Concrete Mixture and Design Life by Using Analytical Method on Indonesian Tropical Condition. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.4, October, 2003
- Sudjatmiko, A.E.T, 1999. Karakteristik Modulus Lapis Aspal Untuk Kondisi Temperatur di Indonesia. *Tesis Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung*
- Yoder, E.J. dan Witzack, M.W., 1975, *Principles of Pavement Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York USA.