



PENGUKURAN MODULUS KEKAKUAN HRA MENGUNAKAN ALAT UMATTA

*Wahyudi Mandala Putra.
Bambang Sugeng S.*

RINGKASAN

Selama beberapa tahun ini, penggunaan model yang dikembangkan oleh Shell dan The Asphalt Institute untuk memperkirakan modulus kekakuan campuran aspal telah banyak dipakai, hal ini disebabkan oleh karena pemakaian peralatan di laboratorium untuk suatu penelitian adalah kompleks dan mahal, serta pada umumnya pemakaian model lebih tepat untuk suatu penelitian. Beberapa usaha telah dilakukan untuk mengembangkan peralatan yang bisa digunakan untuk mengukur modulus kekakuan secara rutin dan mudah, Universal Material Testing Apparatus (UMATTA) yang dikembangkan di Australia dimaksudkan untuk memenuhi tujuan tersebut.

Campuran Hot Rolled Asphalt Type C (BS. 594, 1984) dipilih dalam penelitian ini, dan pengaruh tipe filler pada campuran selanjutnya diteliti. Semen, abu terbang dan kapur terhidrasi dipilih untuk diselidiki dalam penelitian ini dan nilai kadar aspal optimum untuk masing-masing campuran tersebut ditentukan dengan analisa Marshall.

Secara umum, ada kesesuaian nilai prediksi antara metoda Shell dan Asphalt Institute pada temperatur normal (25°C), sedangkan pada temperatur tinggi (45°C), hasil kedua model tersebut jauh berbeda.

SUMMARY

For a number of years, extensive use has been made of models developed by Shell and The Asphalt Institute for prediction of asphalt modulus; equipment used for laboratory determinations was relatively complex and expensive and generally more appropriate for research investigations. Efforts have been made to develop equipment that can be used for routine measurement of asphalt modulus; for this purpose the Universal Material Testing Apparatus (UMATTA), was developed in Australia.

A Hot Rolled Asphalt type C (BS.594,1985) mix was selected for investigation and the influence of filler type on measured values was studied. Cement, fly-ash and hydrated lime filler were investigated and the optimum bitumen content was determined for mixes containing these fillers by Marshall analysis.

In general, there is reasonable agreement between the Shell and Asphalt Institute predictions at relatively low temperature (25°C); different emerge as temperature increases and at 45°C the predictions by two method are very different.

I. PENDAHULUAN

Pengetahuan tentang sifat dasar (Modulus Young dan Rasio Poisson) dan karakteristik mekanik lainnya (ketahanan terhadap kelelahan dan perubahan bentuk tetap) dari bahan perkerasan sangatlah penting untuk rancangan struktur perkerasan. Karena itu diperlukan metode untuk menaksir perilaku perkerasan dengan ketepatan yang memadai guna mencegah pengujian yang berlebihan.

Aspal merupakan bahan viskoelastik yang mempunyai sifat yang sangat menarik yaitu tergantung pada temperatur dan waktu pembebanan. Kerumitan masalah meningkat akibat heterogenitas unsur campuran. Aspal berpengaruh pada sifat viskoelastik sedang kerangka mineral berpengaruh pada sifat elastik. Perbedaan besar sifat unsur (aspal dan agregat) dan komposisi campuran menyebabkan kesulitan dalam melakukan penaksiran sifat campuran.

1.1 Pengukuran Modulus Kekakuan

Pengukuran dari modulus kekakuan campuran aspal telah banyak dipergunakan antara lain :

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

1.2 Penaksiran Kekakuan Campuran Aspal

Modulus kekakuan campuran aspal didefinisikan sebagai perbandingan tegangan dan regangan pada keadaan waktu dan temperatur tertentu.

Metode yang banyak digunakan guna menaksir kekakuan dari campuran aspal adalah :

- Metode Shell
- Metode Asphalt Institute

1.2.1 Metode Shell

Pada tahun 1977, Shell menghasilkan sebuah nomograf seperti yang ditunjukkan pada Gambar II guna menaksir besarnya modulus kekakuan dari campuran aspal. Masukan yang diperlukan untuk nomograf ini adalah :

- Modulus kekakuan dari aspal, N/m^2
- 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 1 atau persamaan yang dikembangkan oleh ULLIDIZ (1979).

1.2.2 Metode Asphalt Institute

Program komputer DAMA dipergunakan pada prosedur perancangan analitik yang diusulkan oleh Asphalt Institute (SHOOK, et al, 1986), menggunakan persamaan regresi untuk penaksiran modulus kekakuan campuran aspal. Persamaan yang agak rumit ini dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$E = P (P_{200}, f, V_v, N_{700}, T, V_b)$$

Dimana :

- E = Modulus, atau kekakuan, campuran aspal (psi)
- P_{200} = Persentasi lolos saringan No. 200
- f = Prekuensi pembebanan

- V_v = Persen rongga udara
- $\eta_{70^\circ F}$ = Viskositas mutlak bitumen asli pada $70^\circ F$
- T = Temperatur, $^\circ F$
- V_b = Persentasi volume aspal

Baik tata cara penaksiran dari Shell maupun Asphalt Institute memiliki dasar yang pada intinya sama sehingga konsekwensinya kedua metode ini memiliki kesesuaian.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil prediksi dari model yang dibuat oleh Shell dan Asphalt Institute, dan selanjutnya membandingkan nilai tersebut dengan hasil pengukuran dari penggunaan alat UMATTA.

II. PELAKSANAAN PERCOBAAN

II.1 Universal Material Testing Apparatus (UMATTA)

UMATTA terdiri atas CDAS, sebuah komputer pribadi (PC) yang kompatibel dengan IBM dan panel perangkat lunak terpadu. CDAS merangkap dan me-digitasi sinyal analog dari sejumlah "transducers" kemudian meneruskannya ke PC untuk pengolahan lebih lanjut melalui suatu hubungan komunikasi standard BS-232C. Manfaat umum penggunaan mesin pembebanan pneumatic yang dikendalikan komputer adalah biaya yang rendah. Sistem ini memiliki prasarana untuk mencatat dan menampilkan tegangan, regangan dan data kekakuan dari benda uji yang sedang diuji dan untuk periode berikutnya atau jumlah siklus pembebanan.

Hingga sekarang, perangkat lunak telah dikembangkan agar memungkinkan empat jenis uji dikerjakan pada benda uji campuran aspal dan dua jenis pada butiran tanpa ikatan atau bahan tanah dasar. Lebih jauh, uji kekakuan tarik tak langsung dapat juga dipergunakan untuk menentukan modulus benda uji. Uji-uji tersebut didefinisikan sebagai berikut :

- Uji kekakuan tarik tak langsung pembebanan diametral 5 pulsa.

- Uji kekakuan tarik tak langsung pembebanan di-
ametral 5 pulsa.

- Uji kekakuan tarik tak langsung pembebanan di-
ametral berulang.

- Uji rangka pembebanan uniaksial statik.

- Uji rangkai dan regangan triaksial beban beru-
lang dengan tekanan pulsa atau tekanan ter-
tahan statik.

- Uji modulus dan regangan triaksial beban beru-
lang dengan tekanan pulsa atau tekanan ter-
tahan statik.

Peralatan ini di kembangkan dengan kerja
sama dengan Badan Penelitian Jalan Australia
(ARRB), "Australian State Road Authorities" dan
Asosiasi Aspal Australia (AAA), Industri, Kelom-
pok Penelitian dan Konsultan.

Perangkat lunak bersifat: "user friendly", "menu
driver" di tulis dalam bahasa Pascal. Pada pen-
gorganisasiannya, sistem menghimpun dinamik
dari transduser yang di pasang pada benda uji
yang sedang di uji kemudian menampilkan plot
regangan, modulus atau bentuk gelombang
(sesuai dengan tiap jenis uji dan "function
mode"). Secara langsung (real time) pada PC.
Perangkat lunak secara otomatis menyimpan in-
formasi uji pada "binary file" yang kemudian me-
nyediakan presentase tak langsung untuk meng-
kaji uji-uji yang sebelumnya dijalankan. Melalui
layar gambar dari sistem atau menghasilkan "file"
data untuk di import ke paket pengolah angka.

II. 2 Jenis Campuran yang di pakai

Spesifikasi gradasi untuk HRA type C dan batas
tengah dan envelope grading menurut BS 1985,
dipakai dalam penelitian.

II. 2. 1 Pengujian Agregat

Agregat kasar, agregat halus serta filter sebelum
dipakai dilakukan dahulu analisa laboratotium.

II. 2. 2 Jenis dan Pengujian Aspal

Aspal pen 60 digunakan dalam penelitian ini
sesuai dengan standar Bina Marga, dan hasilnya
disajikan pada tabel I.

II.3 Pengujian Campuran Aspal

II.3.1 Uji Marshall

Prosedur dalam AASHTO T 254-82 dipakai
untuk mempersiapkan dan menganalisa benda
uji. Untuk memperoleh kadar aspal optimum,
sebanyak tiga kelompok benda uji yang
berlainan jenis filler dipersiapkan, masing-
masing kelompok tersebut terdiri dari lima buah
benda uji.

Kadar aspal kelima benda uji tersebut berkisar
antara 6,54 % sampai dengan 11,5 % terhadap
berat total campuran. Pencampuran dan
pemadatan dilakukan pada saat viskositas aspal
berkisar 170 ± 20 centistokes untuk
pencampuran dan pada $280 \pm$ centistokes pada
saat pemadatan.

II.4 Pengukuran Modulus Kekakuan

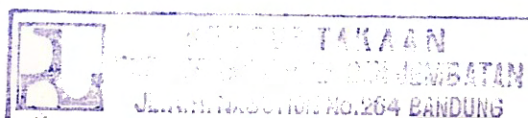
Pengujian indirect tensile strain ini merujuk pada
The American Society for Testing And Material
(ASTM) D 41-82 (1987). Dalam pengujian ini
suatu pembebanan yang disebut pulsed
diametral loading force dilakukan pada suatu
benda uji dan responsnya yang disebut *total
recoverable diametral strain* kemudian diukur
dari sumbu aksis 90 derajat terhadap pusat
pembebanan. Regangan pada sumbu yang
sama diukur, dengan demikian rasio Poisson
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 test terdiri dari sejumlah pulsa
pengkondisian yang diikuti dengan lima
pembebanan pulsa, dimana data tambahan
akan terjadi. Pulsa pengkondisian tersebut
menjamin bahwa pembebanan silinder yang
terletak di atas benda uji akan menjamin
perolehan hasil yang konsisten.

Hasil berikut ini diperoleh dari data dari masing-
masing pembebanan lima pulsa :

- Specimen stiffness atau modulus
- Force fulse time
- Force fulse fall time
- Tensile stress
- Peak loading force, and
- Total recoverable strain

Dengan menggunakan data dari seluruh beban
lima pulsa tersebut, dihitung nilai rata-rata,



standar deviasi dan koefisien variance. Pengujian dilakukan pada temperatur yang konstan. Suhu permukaan dan dalam benda uji ini diukur dengan menggunakan suatu contoh *dummy* yang diletakkan berdekatan dengan benda uji yang sedang diamati. Untuk pengujian *Indirect Tensile Modulus*, semua benda uji disiapkan pada kadar aspal optimum. Rumus yang dipakai adalah sebagai berikut

$$\begin{aligned} St &= 2F / \pi LD \\ E &= F (R + 0,27) / LH \\ \epsilon_r &= H / D \end{aligned}$$

Dimana :

- St = Tegangan Tarik (MPa)
- E = Total Resilient Modulus of Elasticity (MPa)
- L = Panjang Benda Uji (mm)
- D = Diameter Benda Uji (mm)
- F = Beban Maksimum (Repeated Load) (N)
- R = Assumed Resilient Poisson's Ratio
- H = Total Recoverable Horizontal Deformation
- ϵ_r = Total Recoverable Strain

III. HASIL PERCOBAAN

III.1 Uji Marshall

Penggunaan Marshall digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum yang dihasilkan oleh masing-masing jenis filler. Untuk lebih jelasnya hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel II.

III.2 Uji Indirect Tensile Modulus

Kadar aspal optimum dipakai pada pengujian indirect tensile modulus, tiga benda uji disiapkan bagi masing-masing jenis filler. Temperatur yang dipakai dalam percobaan yaitu 25°C, 35°C, 45°C dan waktu pembebanan sebesar 64 ms, 96 ms dan 156 ms, banyaknya sampel yang digunakan 81 buah.

III.2.1 Pengaruh Temperatur dan Waktu Pembebanan

Modulus kekakuan campuran aspal sangat dipengaruhi oleh temperatur dan waktu pembebanan. Suatu pengujian dengan waktu pembebanan yang tetap dan temperatur yang berbeda akan memberikan kekakuan yang berbeda. Misalnya untuk filler semen dengan waktu pembebanan 64 ms, modulus kekakuan pada temperatur 25°C adalah sebesar 4125 Mpa, pada temperatur 35°C modulus kekakuan turun 75 % menjadi 1029 Mpa, dan pada temperatur 45°C turun sebesar 87 % menjadi 538 Mpa. Pengujian pada temperatur konstan 25°C, dengan waktu pembebanan yang berbeda akan memberikan hasil yang berbeda. Misalnya untuk benda uji dengan filler semen dengan waktu pembebanan 64 ms, modulus kekakuan campuran aspal sebesar 4125 Mpa, pada 96 ms modulus kekakuan campuran aspal berkurang 22 % menjadi 3228 Mpa, dan pada 156 ms nilai modulus kekakuan berkurang 38 % menjadi 2554 Mpa. Untuk lebih jelasnya dapat terlihat pada Gambar III dan Gambar IV.

III.2.2 Pengaruh Jenis Filler pada Modulus Kekakuan Campuran Aspal

Jenis campuran dengan filler abu terbang memiliki nilai modulus kekakuan yang paling rendah disusul oleh semen dan kapur terhidrasi. Ini disebabkan oleh rendahnya nilai kadar aspal optimum pada abu terbang dan kandungan rongga udara jika dibandingkan dengan filler jenis lainnya. Modulus kekakuan campuran aspal untuk berbagai campuran dan variasi temperatur dan waktu pembebanan tercantum pada Tabel III.

III.3 Penaksiran Modulus Kekakuan

III.3.1 Penaksiran The Asphalt Institute

Hasil percobaan yang diperoleh menunjukkan bahwa kenaikan waktu pembebanan dan atau temperatur akan mengakibatkan modulus kekakuan aspal menurun, misalnya untuk filler abu terbang pada waktu pembebanan 64 ms, modulus kekakuan campuran pada suhu 25°C adalah sebesar 1480 Mpa. Pada temperatur 35°C modulus ini akan berkurang menjadi 464 Mpa dan pada temperatur 45°C kekakuan campuran aspal akan menjadi 124 Mpa. Dengan menjaga suhu campuran konstan sebesar 25°C, dan dengan waktu pembebanan

yang berbeda akan memberikan kekakuan yang berbeda pula, Misalnya untuk filler abu terbang dengan waktu pembebanan 64 ms modulus kekakuan akan menjadi 1480 Mpa, pada kondisi 96 ms modulus kekakuan akan berkurang menjadi 1263 Mpa, dan pada saat 156 ms modulus kekakuannya sebesar 1031 Mpa.

III.3.2 Penaksiran Shell

Penaksiran modulus kekakuan campuran aspal dengan menggunakan metode Shell memberikan kesimpulan yang sama dengan program DAMA dari Asphalt Institute dalam hal pengaruh suhu dan waktu pembebanan dan pengukuran dengan menggunakan UMATTA. Suatu kenaikan waktu pembebanan dan atau suhu menghasilkan penurunan modulus kekakuan. Misalnya filler abu terbang pada waktu pembebanan 64 ms, modulus kekakuan pada kondisi suhu 25°C adalah 1383 Mpa, pada suhu 35°C modulus kekakuan berkurang menjadi 338 Mpa dan pada temperatur 45°C modulus ini menjadi 25 Mpa. Dengan menjaga temperatur konstan (sebesar 25°C), pada saat waktu pembebanan sebesar 64 ms modulus kekakuan aspal sebesar 1285 Mpa, pada saat 96 ms nilai modulus ini berkurang menjadi 1173 Mpa dan pada kondisi 156 ms modulus kekakuan berkurang menjadi 1052 Mpa.

III.4 Perbandingan Nilai Penaksiran Modulus Kekakuan Campuran Aspal dengan Metode Shell dan Asphalt Institute.

Program DAMA dari Asphalt Institute menggunakan karakteristik campuran dan sifat-sifat asli aspal (*original properties of bitumen*) untuk menghitung modulus kekakuan.

Sedangkan metode Shell menggunakan karakteristik campuran dan sifat-sifat dari *recovered bitumen* untuk menghitung modulus kekakuan. Hasil perhitungan terlihat pada Tabel IV. Dari data yang terdapat pada Tabel IV menunjukkan hal-hal sebagai berikut :

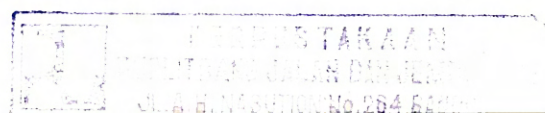
1. Pada temperatur 25°C ada kesesuaian antara perkiraan dengan Shell dan Asphalt Institute untuk campuran yang mengandung semen dan filler abu terbang (perbedaan rata-rata 7 %); pada kasus campuran kapur terhidrasi ada perbedaan yang berarti

(perbedaan rata-rata 27 %). Perbedaan ini diakibatkan oleh pengaruh modulus kekakuan recovered bitumen yang digunakan. Modulus kekakuan recovered bitumen filler kapur terhidrasi lebih rendah bila dibandingkan dengan yang lainnya.

2. Pada temperatur 35°C, terdapat perbedaan yang berarti di antara kedua metode perkiraan ini untuk semua jenis campuran aspal (perbedaan rata-rata untuk semen dan abu terbang masing-masing sebesar 27 % dan 28 %); suatu perbedaan yang sangat mencolok terjadi pada campuran yang menggunakan filler kapur terhidrasi (perbedaan rata-rata sebesar 53 %).
3. Pada temperatur 45°C, tidak terdapat kesesuaian antara nilai yang diperkirakan oleh kedua metode tersebut, hasil perkiraan dari metode Asphalt Institute untuk semua kasus memberikan nilai yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai perkiraan dari metode Shell (perbedaan rata-rata masing-masing untuk semen, abu terbang dan kapur terhidrasi adalah sebesar : 83 %, 76 % dan 95 %). Perbedaan ini disebabkan pengaruh modulus recovered bitumen yang digunakan pada metode Shell untuk semua jenis sangat rendah bila dibandingkan dengan persyaratan minimum kekakuan aspal (5 Mpa).
4. Pada semua temperatur dan waktu pembebanan yang diteliti, hasil penaksiran dari kedua metode tersebut menunjukkan bahwa kapur terhidrasi memberikan modulus kekakuan yang paling rendah.

III.5 Perbandingan Hasil Pengukuran Modulus Kekakuan Campuran Aspal dengan Hasil Penaksiran Menurut Prosedur Asphalt Institute dan Shell.

Pada Tabel V ditunjukkan perbandingan antara hasil pengukuran modulus kekakuan dengan hasil penaksiran menurut prosedur Asphalt Institute dan Shell. Hasil pengukuran menunjukkan nilai yang lebih besar bila dibandingkan dengan nilai penaksiran, hal ini kemungkinan disebabkan karena semua perhitungan di dasarkan pada pengukuran total recoverable horizontal strain : (adalah regangan



yang diukur bukan pada saat pembebanan tidak nol atau pada saat beban puncak), sementara perhitungan perkiraan di dasarkan pada peak strain (regangan yang diukur pada saat beban puncak).

Data yang tercantum pada Tabel V menunjukkan pada semua temperatur dan waktu pembebanan nilai pengukuran modulus kekakuan selalu lebih besar bila dibandingkan dengan nilai perkiraan dari kedua model tersebut.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

IV.1 Kesimpulan

Penelitian modulus kekakuan campuran aspal ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai taksiran dan pengukuran dari modulus kekakuan campuran aspal menunjukkan adanya pengaruh nyata dari temperatur dan waktu pembebanan pada parameter ini.
2. Kadar aspal optimum dari campuran aspal merupakan fungsi dari jenis bahan pengisi yang dipakai; nilai yang diperoleh untuk bahan pengisi semen, abu terbang, kapur terhidrasi masing-masing adalah, 9,3 %, 8,9 % dan 10,2 % terhadap total berat dari campuran.
3. Sifat dari recovered aspal juga tampak dipengaruhi oleh jenis bahan pengisi. Aspal dari campuran kapur terhidrasi berpenetrasi 47,3, aspal campuran semen dan abu terbang masing-masing 39,2 dan 42,2.
4. Variasi kadar aspal dan sifat diantara campuran, sebagai mana dibahas di atas, mempengaruhi baik nilai taksiran maupun pengukuran dari modulus. Tekstur permukaan dan bentuk partikel bahan pengisi juga akan mempengaruhi nilai dari pengukuran modulus.
5. Penaksiran dengan metode Shell dan Asphalt Institute mempunyai kesesuaian pada suhu 25°C pada berbagai waktu dan pembebanan, dengan taksiran rata-rata 7 % pada campuran dengan bahan pengisi semen dan abu terbang sedangkan untuk bahan pengisi kapur terhidrasi perbedaan rata-rata 27 %. Dengan naiknya temperatur, perbedaan antara kedua penaksiran

menjadi nyata dan pada temperatur 45°C terlihat tidak ada kesesuaian antara kedua penaksiran (rata-rata perbedaan 82,9 %, 76,0 % dan 94,4 % berturut-turut untuk campuran yang mengandung bahan pengisi semen, abu terbang dan kapur terhidrasi). Pada temperatur yang lebih tinggi, nilai penaksiran dengan metode Asphalt Institute jauh lebih tinggi dari pada metode Shell.

6. Nilai pengukuran modulus kekakuan campuran aspal, pada semua kasus lebih tinggi dari nilai taksiran, kira-kira dengan 3 kali lebih besar pada temperatur yang rendah dan dengan 5,0 kali lebih besar pada suhu yang tinggi pada model Asphalt Institute; Pada temperatur yang tinggi faktor yang diberikan model Shell jauh lebih besar, pada salah satu kasus mencapai 100,9. Hal ini mungkin disebabkan oleh perbedaan definisi regangan pada campuran aspal; Pada perhitungan modulus, UMATTA menggunakan recoverable strain, sedangkan informasi persamaan yang digunakan dalam taksiran dari kepustakaan bahwa nilai peak strain (regangan puncak) yang dipakai.

IV.2 SARAN

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

1. Perlu dilakukan penelitian laboratorium atas modulus kekakuan HRA pada batas-batas yang lebih tinggi dan lebih rendah dari *envelope grading* dan menggunakan penetrasi yang berbeda .
2. Nilai-nilai moduls kekakuan yang dihitung berdasarkan pengukuran dengan UMATTA dipengaruhi oleh jenis regangan yang digunakan. Perlu diteliti pengaruh peak strain (regangan puncak) disamping recoverable strain.

Penulis :

Ir. Wahyudi Mandala Putra MSc; alumni Pasca Sarjana STJR-ITB dan Dr. Ir. Bambang Sugeng S; Dosen Jurusan Teknik Sipil ITB dan Peneliti pada Laboratorium Rekayasa Jalan Raya ITB.

Tabel I. Sifat-Sifat Bahan Aspal

Description	Standard	Result	Specification
Penetration (25 °C, 5 sec)	PA 0301-76	74.9	60 - 79
Softening Point °C (ring and ball)	PA 0302-76	48.5	48 - 58
Flash Point (°C)	PA 0303-76	320	>200
Loss on heating (°C)	PA 0304-76	0.227	<0.4
Solubility in Trichlorethylene (%)	PA 0305-76	99	99
Ductility (25 °C, 5 cm/minute) cm	PA 0306-76	>140	>100
Penetration after loss of weight (%)	PA 0301-76	81	<75
Specific gravity (25 °C)	PA 0307-76	1.03	>1
After extraction (for mixture with cement filler)			
Penetration (25 °C, 5 sec)	PA 0301-76	39.2	
Softening Point °C (ring and ball)	PA 0302-76	52.3	
After extraction (for mixture with fly-ash filler)			
Penetration (25 °C, 5 sec)	PA 0301-76	42.2	
Softening Point °C (ring and ball)	PA 0302-76	53.1	
After extraction (for mixture with hyd lime filler)			
Penetration (25 °C, 5 sec)	PA 0301-76	47.5	
Softening Point °C (ring and ball)	PA 0302-76	50.2	

Tabel II. Kadar Aspal Optimum Pada Campuran Aspal

No	TYPE OF FILLER	OPTIMUM BITUMEN CONTENT (% BY WEIGHT OF TOTAL MIX)	STABILITY (Kg)	DENSITY (g/cc)	VOIDS IN MIX (%)	FLOW (mm)
1	CEMENT	9.3	1199	2.20	5	3.25
2	FLY ASH	8.9	1140	2.18	4	3.40
3	HYD.LIME	10.2	1260	2.19	4.5	3.90

Tabel III. Pengaruh Tipe Filler Terhadap Modulus Kekakuan Campuran Aspal

No.	FILLER TYPE	OPTIMUM BITUMEN CONTENT (% BY WEIGHT OF TOTAL MIX, MA)	AGGREGATE CONTENT (% BY WEIGHT OF TOTAL MIX, MB)	VOID CONTENT, W (%)	VOLUME OF BITUMEN, Vb (%)	VOLUME OF AGGREGATE, Va (%)	VOL. CONCENTRATION OF AGGREGATE (Cv)	TEMPERATURE (°C)	TIME OF LOADING (min)	STIFFNESS MODULUS (MPa)
1.	CEMENT	8.3	80.7	8	18.88	78.08	0.79	25	04	4128
								09	3228	
								150	2554	
								04	4817	
								09	3854	
								150	2707	
2.	FLY ASH	8.9	81.1	8	18.97	77.93	0.89	25	04	4217
								09	3564	
								150	2727	
								04	4128	
								09	3228	
								150	2554	
3.	HYD. LIME	10.2	80.8	4.8	21.49	74.54	0.77	25	04	3928
								09	3148	
								150	2444	
								04	4128	
								09	3854	
								150	2554	

Note:
 $Cv = (MA \times Mb) / (MA \times Mb) + (MA \times Va)$
 $Pa = 80 \times Aggregate$
 $Ob = 80 \times Bitumen$

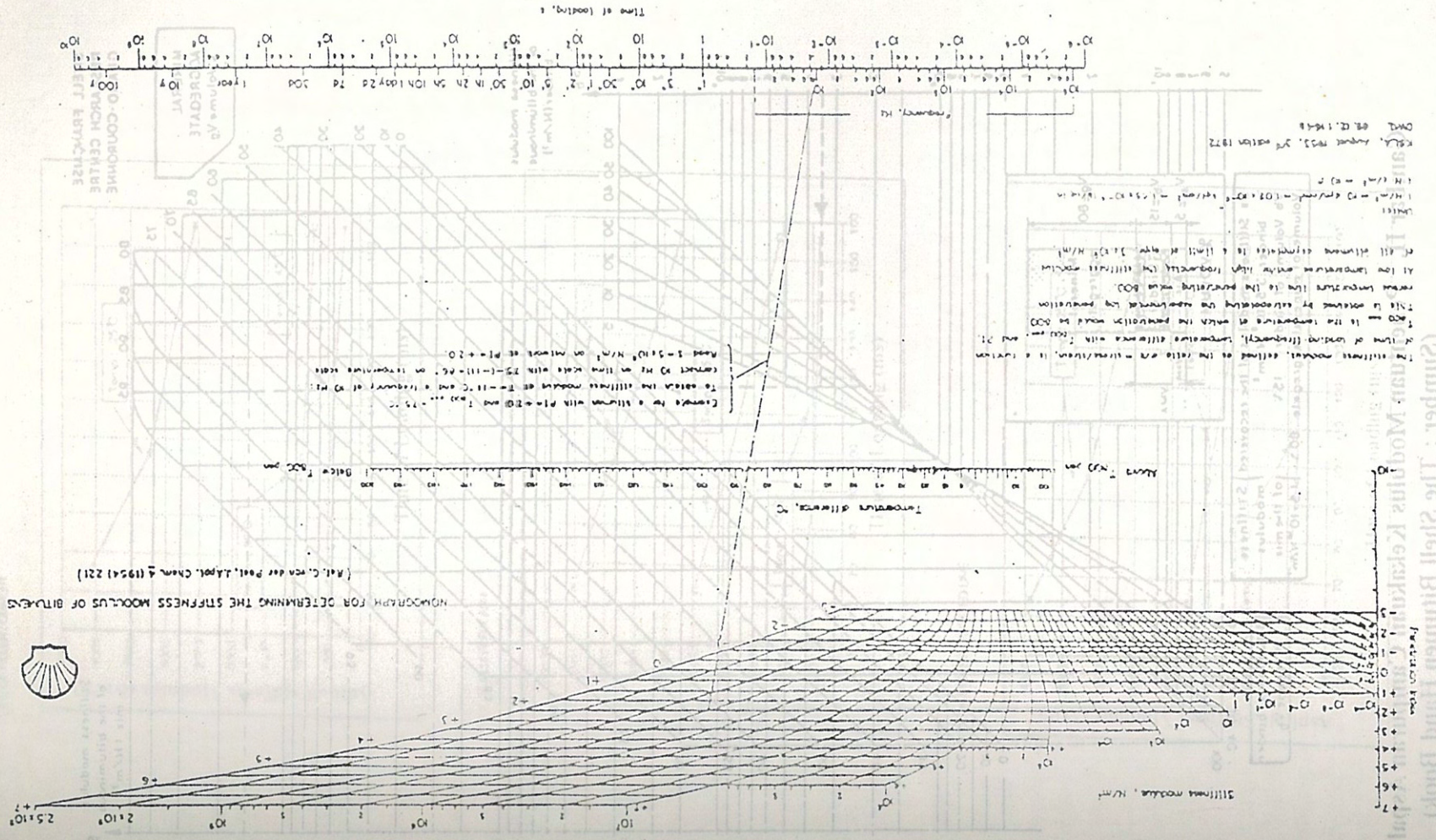
Tabel IV. Perbandingan Nilai Penaksiran Modulus Kekakuan Campuran Aspal.

No.	TEMPERATURE (°C)	FILLER TYPE	TIME OF LOADING (min)	STIFFNESS MODULUS ASPHALT INSTITUTE (MPa)	STIFFNESS MODULUS BUREAU (MPa)	$\frac{B}{A}$	AVERAGE $\frac{B}{A}$
1	25	CEMENT	04	1258	1108	0.88	0.7
			09	1288	1054	0.82	
			150	268	208	0.78	
		FLY ASH	04	1488	1288	0.86	1.2
			09	1508	1179	0.78	
			150	1021	1018	0.99	
		HYD. LIME	04	1158	778	0.67	27.0
			09	878	708	0.80	
			150	708	628	0.89	
2	35	CEMENT	04	287	254	0.88	37.8
			09	328	284	0.87	
			150	287	278	0.97	
		FLY ASH	04	484	328	0.68	32.1
			09	387	327	0.84	
			150	328	278	0.85	
		HYD. LIME	04	327	198	0.60	51.2
			09	288	131	0.45	
			150	231	118	0.51	
3	45	CEMENT	04	88	18	0.20	62.8
			09	88	15	0.17	
			150	78	12	0.15	
		FLY ASH	04	124	88	0.71	76.8
			09	128	88	0.68	
			150	88	88	1.00	
		HYD. LIME	04	88	4	0.04	84.8
			09	78	4	0.05	
			150	81	8	0.09	

Tabel V. Perbandingan Hasil Pengukuran dan Penaksiran Modulus Kekakuan Campuran Aspal

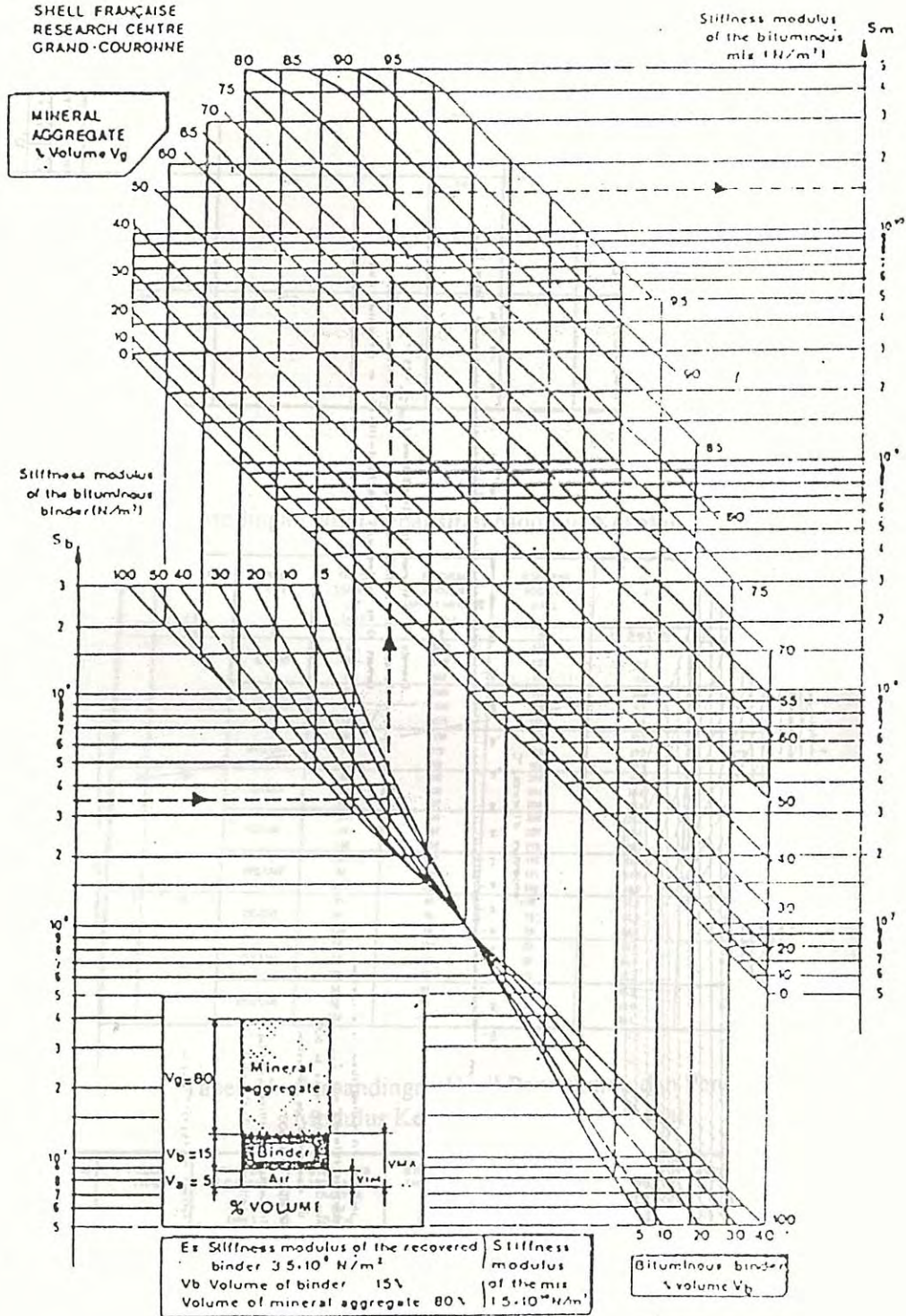
No.	TEMPERATURE (°C)	FILLER TYPE	TIME OF LOADING (min)	STIFFNESS MODULUS UMATTA (MPa)	STIFFNESS MODULUS AI (MPa)	STIFFNESS MODULUS BUREAU (MPa)	RATIO UMATTA / AI	AVERAGE	RATIO UMATTA / BUREAU	AVERAGE		
1	25	CEMENT	04	4128	1258	1108	3.3	3.1	3.7	3.3		
			09	3228	1098	1004	3.0		3.2			
			150	2554	898	808	2.9		2.9			
		FLY ASH	04	4817	1488	1288	3.7	2.9	3.3	3.2		
			09	3854	1288	1179	3.1		3.3			
			150	2707	1031	1018	2.9		2.7			
		HYD. LIME	04	3928	1158	778	3.4	5.2	6.1	4.6		
			09	3148	878	708	3.2		4.8			
			150	2444	782	628	3.1		3.9			
		2	35	CEMENT	04	1029	53	254	2.7	2.7	4.0	5.8
					09	901	29	254	2.9		3.8	
					150	721	27	254	2.7		3.5	
FLY ASH	04			2472	484	328	4.8	4.8	7.4	6.9		
	09			1821	387	327	4.8		6.3			
	150			1070	328	278	3.8		3.9			
HYD. LIME	04			1704	327	198	6.3	6.2	12.3	10.8		
	09			1811	288	131	6.9		11.8			
	150			1017	231	118	4.4		8.8			
3	45	CEMENT	04	88	18	18	4.8	5.1	31.0	30.1		
			09	88	18	18	4.8		24.8			
			150	78	12	12	4.4		17.4			
		FLY ASH	04	124	88	88	1.4	4.7	22.8	19.5		
			09	128	88	88	1.4		18.3			
			150	88	88	88	1.0		17.4			
		HYD. LIME	04	88	4	4	22.0	6.1	81.0	100.8		
			09	88	4	4	22.0		81.0			
			150	81	8	8	10.1		81.0			

NOTE:
 AI - ASPHALT INSTITUTE



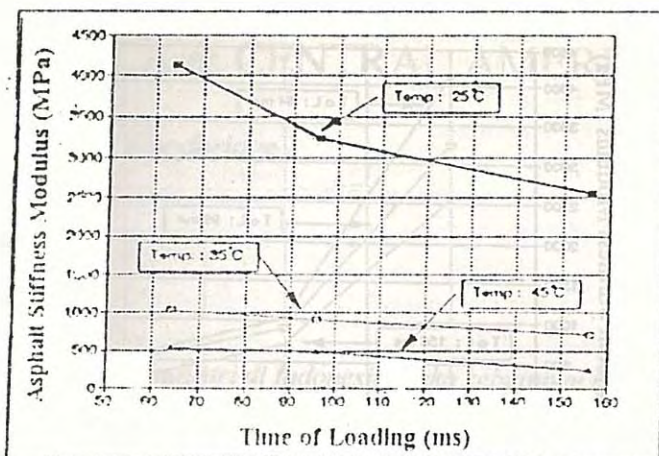
Gambar I. Penentuan Modulus Kekakuan Aspal
 (Sumber : The Shell Bitumen Hand Book)

SHELL FRANÇAISE
RESEARCH CENTRE
GRAND-COURONNE

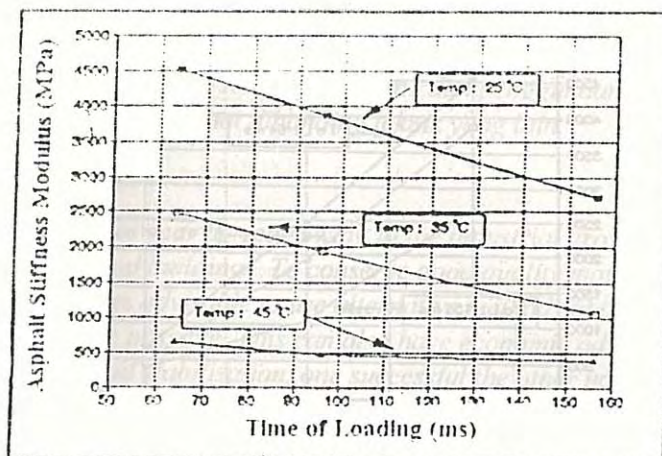


Gambar II. Penentuan Modulus Kekakuan Campuran Aspal
(Sumber : The Shell Bitumen Hand Book)

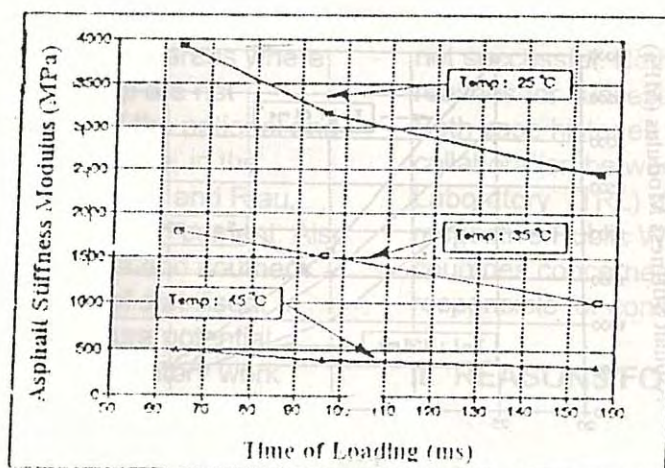
TYPE OF FILLER: CEMENT



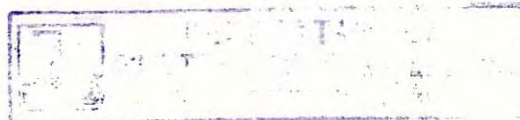
TYPE OF FILLER: FLY ASH



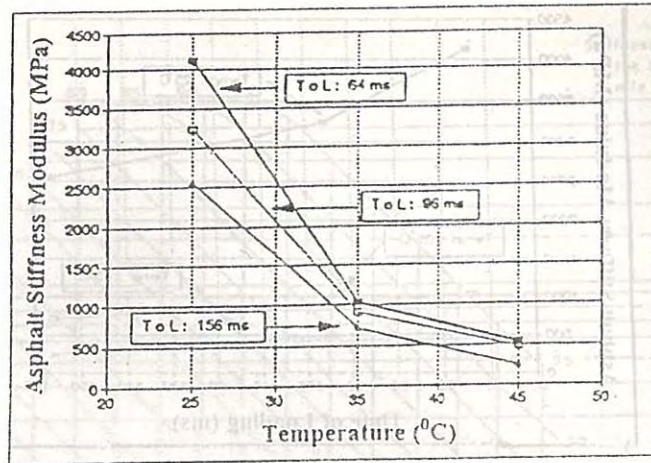
TYPE OF FILLER: HYDRATED LIME



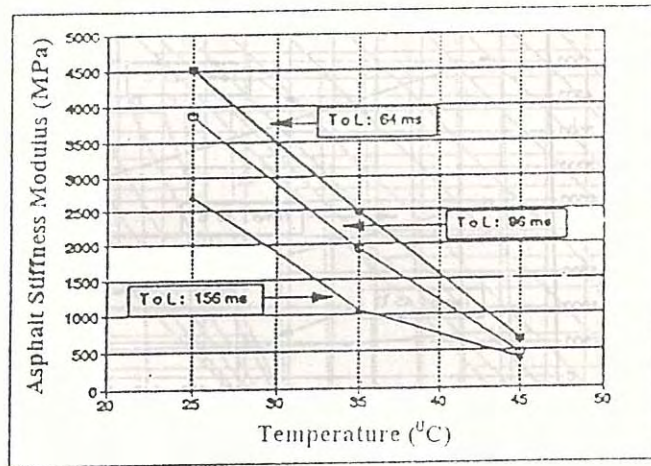
Gambar III. Pengaruh Temperatur Terhadap Modulus Kekakuan Campuran Aspal pada Perbedaan Tipe Filler dan Waktu Pembebanan.



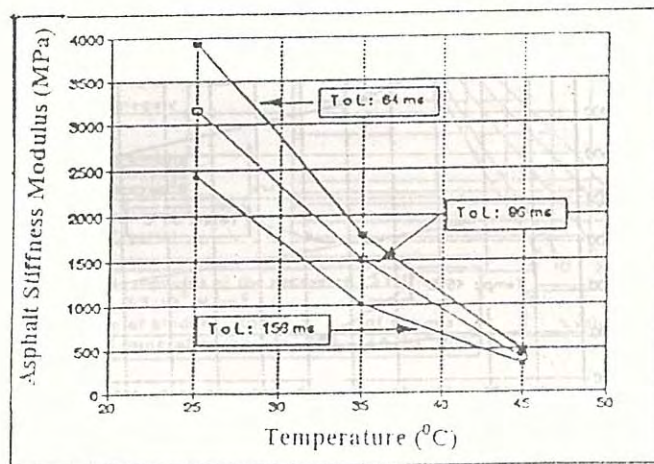
TYPE OF FILLER : CS/BENT



TYPE OF FILLER : FLY ASH



TYPE OF FILLER : HYDRATED LIME



Gambar IV. Pengaruh Waktu Pembebanan Terhadap Modulus Kekakuan Campuran Aspal pada Perbedaan Tipe Filler dan Temperatur