



FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI MODULUS KEKAKUAN RESILIEN CEMENT TREATED ASPHALT MIXTURE

R. Anwar Yamin

RINGKASAN

Metode perencanaan tebal perkerasan secara mekanistik memungkinkan penggunaan berbagai jenis bahan untuk perkerasan jalan. Cement Treated Asphalt Mixture (CTAM) adalah suatu lapisan permukaan perkerasan jalan yang merupakan campuran komposit yang terdiri dari agregat-aspal dan semen. CTAM dibuat dari campuran beraspal bergradasi terbuka dengan mortar semen sebagai bahan pengisi rongga udaranya sehingga membentuk suatu campuran baru yang bersifat unik. Sejauh ini CTAM kurang populer digunakan karena belum tersedianya chart ataupun model matematis yang dapat digunakan untuk memprediksi besarnya modulus kekakuan resilien CTAM (S_{CTAM}). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi S_{CTAM} . Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan percobaan di laboratorium modulus kekakuan resilien dengan menggunakan CTAM yang dibuat dari tiga jenis aspal; aspal minyak pen 60 (AM), campuran AM dengan 3% latek tipe KKK-60 (AK) dan campuran AM dengan asbuton jenis Retona-60 dengan perbandingan 4 : 1 (AA) dan mortar dengan kuat tekan yang berbeda. Pengujian ini dilakukan pada rentang elastis CTAM pada tiga temperatur yang berbeda. Sebagai hasilnya diketahui bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi S_{CTAM} adalah modulus kekakuan (S_{bit}), kuat tekan mortar (K), kadar aspal (KA), rongga udara CTAM (VIM_{CTAM}), rongga terisi mortar (VFM_{CTAM}) dan temperatur (T). Interaksi dari faktor-faktor ini terhadap S_{CTAM} memberikan korelasi yang baik dengan nilai $R^2 = 92,2\%$.

SUMMARY

Design thickness of pavement by mechanistic method may allow use of many types of pavement materials. Cement Treated Asphalt Mixture (CTAM) is one type of pavement surfacing layer which is a composite mixture consist of aggregates, asphalt and mortar cement. CTAM made from open graded and mortar cement as air void grouting agent resulted a new type of asphaltic mixture with a unique characteristic. So far, use of CTAM is not too popular since its chart or constitutive model for determination of it stiffness modulus is not available yet. The aim of this study was to know factors which affect stiffness modulus of CTAM. For meet this purpose, a laboratory experiment using CTAM made by varied types of asphalt; petroleum asphalt Pen 60 (AM), AM plus 3% latex type KKK-60 and AM plus Asbuton type of Retona-60 by ratio 4 : 1 (AA), three different of compressive strength of mortar cement. This test was conducted in elastic range of CTAM on three different temperatures. As a result, factor affects S_{CTAM} derived from this study are stiffness modulus of asphalt (S_{bit}), compressive strength of mortar (K), asphalt content (KA), void in mix of CTAM (VIM_{CTAM}), void filled by mortar (VFM_{CTAM}) and temperature (T). Interaction of these factors to S_{CTAM} give a good correlation with $R^2 = 92.2\%$.

diletakan pada posisi diametrikal dan pembebanan dilakukan pada sumbu vertikal sepanjang panjang benda uji dengan menggunakan batang pembeban yang bagian bawahnya berbetuk lengkung dengan diameter yang sama dengan diameter benda uji.

2.3. Pembuatan Benda Uji CTAM

Campuran aspal porus yang digunakan untuk pembuatan CTAM dibuat dengan tiga variasi jenis aspal yang memiliki modulus kekakuan (S_{bit}) dan Indeks Penetrasi (IP) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Nilai pada kadar aspal optimum untuk masing-masing yang digunakan adalah 3,5% untuk AM, 3,25% untuk AK dan 3,25% untuk AA. Jenis gradasi dan metode penentuan kadar aspal optimum campuran aspal porus yang digunakan untuk pembuatan CTAM telah disampaikan pada kesempatan terdahulu (Yamin et al., 2002.a). Mortar yang digunakan dibuat dengan menggunakan semen, abu terbang, pasir, air dan aditif. Komposisi pemakaian dari bahan-bahan ini didapat dari penelitian sebelumnya Yamin et al. (2002,b), yaitu seperti yang diberikan pada Tabel 2. Selanjutnya benda uji CTAM dibuat dengan memasukan mortar tersebut secara gravitasi. Kuantitas mortar yang digunakan diatur sedemikian hingga sehingga didapatkan benda uji CTAM dengan persentase kandungan rongga yang diinginkan.

2.4. Pengujian Modulus Kekakuan Resilien CTAM

Dalam penelitian ini, untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi modulus kekakuan resilien CTAM dilakukan pengujian modulus kekakuan resilien pada kondisi pengujian seperti yang diberikan pada Tabel 3.

Tabel 1.
MODULUS KEKAKUAN DAN INDEKS PENETRASI ASPAL YANG DIGUNAKAN

No	Sifat Aspal	Jenis Aspal		
		AM	AK	AA
1	Indeks Penetrasi (IP)	1,07	2,02	2,84
2	Modulus Kekakuan Aspal (S_{bit} , MPa) pada :			
	- Temperatur 25° C	1,00	1,8	2,00
	- Temperatur 37,5° C	0,18	0,40	0,50
	- Temperatur 50° C	0,02	0,06	0,10

Tabel 2.
KOMPOSISI MORTAR PADA KADAR AIR 35% DAN KADAR ADITIF 35% DAN VISKOSITAS SERTA KUAT TEKAN MORTAR YANG DIHASILKANNYA (Yamin et al., 2002.b)

Kode	Semen		Pasir		Abu Terbang		Viskositas (detik)	K (kg/cm ²) hari ke	
	(gram)	% s/total	(gram)	% p/s	(gram)	% at/s		3	28
23	495,8	50	99,2	20	99,2	20	2,2	158,0	339
28	495,8	50	86,8	17,5	86,8	17,5	2,2	142,3	294
38	495,8	50	62,0	12,5	62,0	12,5	2	101,3	331

Tabel 3.
KONDISI PENGUJIAN MODULUS KEKAKUAN RESILIEN CTAM

Kondisi Pengujian CTAM			
Temperatur, °C	25	37,5	50
Beban puncak, Newton	2500	1500	1000
Periode pembebanan (<i>pulse period</i>), 10 ⁻³ detik	4000	4000	4000
Waktu pencapaian beban puncak (<i>rise time</i>), 10 ⁻³ detik	60	60	60
Angka Poisson	0,25	0,25	0,25

Variasi temperatur pengujian modulus kekakuan resilien yang digunakan dalam penelitian ini adalah variasi temperatur maksimum, nilai tengah dan temperatur maksimum perkerasan di Indonesia sehubungan dengan temperatur udara minimum dan maksimumnya (Yamin et al., 2003). Periode pembebanan yang digunakan adalah periode pembebanan dimana CTAM masih dalam rentang elastisnya (Yamin et al., 2003). Hasil pengujian modulus kekakuan resilien yang didapat merupakan nilai rata-rata dari lima kali pengukuran pada setiap benda uji yang dihitung secara otomatis oleh komputer pada saat uji modulus dilakukan.

III. HASIL PENELITIAN

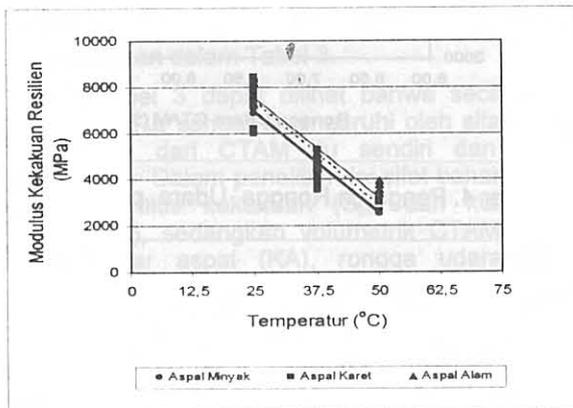
3.1. Faktor yang Mempengaruhi Modulus Kekakuan Resilien CTAM (S_{CTAM})

Campuran beraspal adalah suatu material yang dapat bersifat viskos sampai elastis. Sifat ini tergantung pada waktu pembebanan, temperatur, sifat dan kadar aspal, tipe agregat dan gradasi kepadatan dan rongga udara yang terkandung dalam campuran tersebut. Oleh karena itu, respon campuran terhadap tegangan yang diberikan dapat dengan jelas bila digambarkan oleh modulus kekakuannya ($S_{i,T}$) yaitu rasio hubungan antara tegangan dengan regangan. Sebagai campuran yang juga mengandung aspal, sifat elastisitas CTAM juga tergantung atau dipengaruhi oleh banyak faktor seperti halnya campuran beraspal. Berikut ini diuraikan faktor-faktor yang pengaruh S_{CTAM} .

a. Pengaruh Temperatur pada S_{CTAM}

Sebagai campuran yang terbuat dari kombinasi antara agregat-aspal dan mortar sifat mekanistik campuran CTAM masih dipengaruhi oleh temperatur. Pengaruh temperatur terhadap modulus kekakuan resilien campuran yang mengandung aspal secara dominan terutama disebabkan karena terjadinya perubahan sifat aspal yang terkandung didalamnya. Hal ini disebabkan karena aspal adalah material yang bersifat viskoelastis dimana sifatnya dapat berubah dari viskos ke elastis ataupun sebaliknya yang disebabkan karena perubahan temperatur.

Relatif kecilnya kandungan aspal dalam CTAM, yaitu dalam rentang 3,25 - 3,5% terhadap berat campuran, ternyata tidak dapat mengeliminasi pengaruh temperatur pada perubahan sifat mekanistik CTAM. Gambar 1 menunjukkan pengaruh temperatur pada modulus kekakuan resilien, CTAM akibat perubahan temperatur.



Gambar 1. Pengaruh Temperatur pada S_{CTAM}

Gambar 1 ditunjukkan bahwa bila temperatur meningkat S_{CTAM} akan menurun. Kenaikan temperatur pengujian dari 25° C ke 50° C akan menurunkan S_{CTAM} menjadi hampir 50%-nya. Penurunan ini menunjukkan bahwa sifat aspal sangat mempengaruhi besar dan penurunan S_{CTAM} akibat temperatur. Dilihat dari kemiringan garis hubungan antara modulus kekakuan resilien dengan temperatur, aspal dengan IP yang tinggi (AA memiliki IP = 2,84) memiliki kemiringan garis yang lebih landai dibandingkan dengan aspal dengan nilai IP lebih rendah. Kemiringan garis yang paling curam dimiliki oleh AM yang nilai IP-nya (1,07) paling kecil dari ketiga jenis aspal yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa kepekaan CTAM terhadap temperatur masih dipengaruhi oleh sifat aspal yang digunakan. Dari gambar ini dapat dilihat pula bahwa walaupun penurunan S_{CTAM} cukup drastis tetapi nilainya pada temperatur 50° C ini masih tinggi dan secara tipikal relatif sama dengan modulus kekakuan resilien campuran beraspal pada temperatur 25° C.

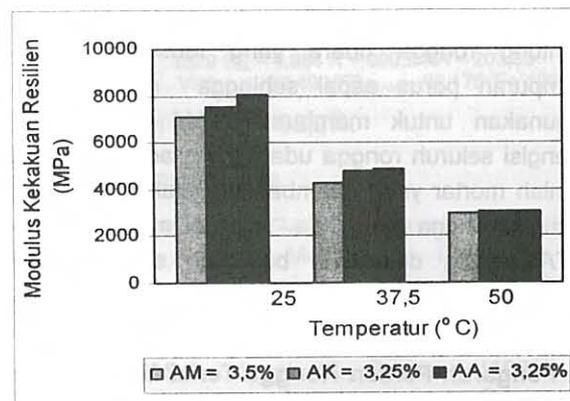
b. Pengaruh Kadar Aspal pada S_{CTAM}

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa besar kecilnya modulus kekakuan resilien CTAM lebih dipengaruhi oleh tingkat kekakuan aspal yang digunakan dan kepekaan aspal tersebut terhadap temperatur dari pada kadar aspal yang terkandung di dalam CTAM tersebut. S_{CTAM} yang mengandung kadar aspal yang relatif sama tetapi dengan sifat reologi yang berbeda akan berbeda pula. Perbedaan ini secara nyata terlihat pada temperatur 25° C dan 37,5° C, dimana pada temperatur ini CTAM yang mengandung aspal dengan modulus kekakuan dan IP yang tinggi akan memiliki modulus kekakuan resilien yang

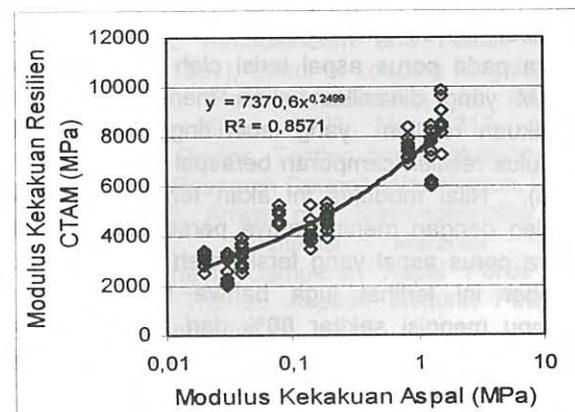
tinggi pula. Pada temperatur 50° C perbedaan S_{CTAM} akibat perbedaan kadar dan sifat rheologi aspal ini tidak lagi begitu nyata, hal ini disebabkan karena pada temperatur ini aspal yang terkandung di dalam CTAM sudah dalam kondisi plastis sehingga modulus kekakuan resilien CTAM sudah tidak dipengaruhi lagi oleh sifat aspal yang terkandung dalam CTAM sehingga CTAM yang dibuat dari agregat dan mortar yang sama akan memiliki modulus kekakuan resilien yang relatif sama pula.

c. Pengaruh Modulus Kekakuan Aspal pada S_{CTAM}

CTAM yang merupakan suatu benda yang terbentuk dari campuran antara agregat, aspal dan mortar oleh sebab itu elastisitasnya sangat dipengaruhi oleh elastisitas bahan pembentuknya dan perubahan sifat dari bahan pembentuknya juga akan merubah sifat CTAM. Pada Gambar 3 terlihat bahwa adanya korelasi yang baik antara modulus kekakuan resilien aspal dengan S_{CTAM} dimana semakin besar modulus kekakuan aspal yang digunakan semakin besar pula S_{CTAM} yang dihasilkan.



Gambar 2. Pengaruh Kadar Aspal pada S_{CTAM}



Gambar 3. Pengaruh Modulus Kekakuan Aspal pada S_{CTAM}

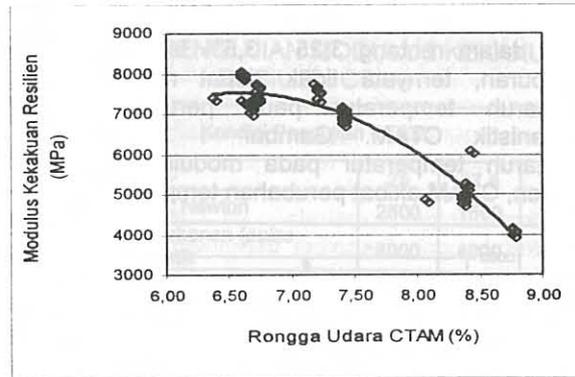
Dalam Gambar 3 ditunjukkan bahwa CTAM yang dibuat dengan menggunakan tiga jenis aspal yang modulus kekakuannya bervariasi antara 0,2 MPa – 2 MPa akan memiliki nilai modulus kekakuan resilien yang bervariasi antara 2000 MPa – 10000 MPa. Mengingat bahwa aspal yang digunakan memiliki modulus kekakuan yang rendah (<5 Mpa) maka ada kemungkinan bahwa variasi modulus kekakuan resilien CTAM yang dihasilkan tidak semata-mata hanya tergantung pada modulus kekakuan aspal tetapi juga oleh sifat bahan lainnya dan sifat volumetrik dari CTAM itu sendiri.

d. Pengaruh Rongga Udara pada S_{CTAM}

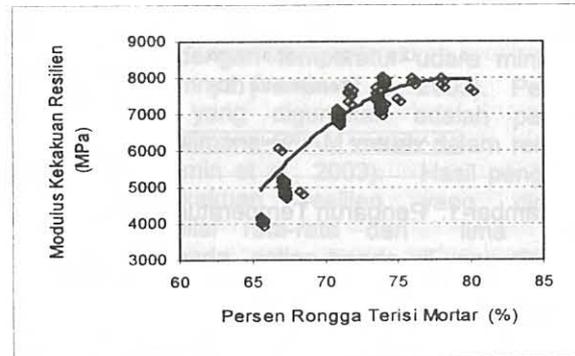
Seperti halnya benda pejal pada umumnya, S_{CTAM} juga dipengaruhi oleh kandungan rongga yang terdapat didalamnya. Gambar 4 menunjukkan bahwa kenaikan S_{CTAM} proporsional dengan penurunan rongga udara yang terkandung di dalamnya, artinya semakin tinggi kandungan rongga yang terdapat dalam CTAM akan semakin rendah modulus kekakuan resiliennya dan sebaliknya. Rongga udara yang ada di dalam CTAM ini terbentuk karena adanya kantong-kantong rongga udara yang terisolasi dalam campuran porus aspal sehingga mortar yang digunakan untuk membuat CTAM tidak dapat mengisi seluruh rongga udara yang ada walaupun jumlah mortar yang ditambahkan telah melampaui volume rongga yang ada. Hal ini menyebabkan CTAM yang dihasilkan bukanlah suatu benda padat yang masif karena didalamnya masih terdapat sekitar 6-7 % rongga udara.

e. Pengaruh Persen Rongga Terisi Mortar pada S_{CTAM}

Besarnya kandungan rongga dalam CTAM berbanding terbalik dengan banyaknya mortar yang masuk mengisi rongga tersebut. Pada Gambar 5 ini terlihat bahwa bila 65% rongga udara pada porus aspal terisi oleh mortar maka CTAM yang dihasilkan akan memiliki modulus kekakuan resilien yang lebih tinggi dari tipikal modulus resilien campuran beraspal (3000 – 4000 MPa). Nilai modulus ini akan terus meningkat sejalan dengan meningkatnya persentase rongga udara porus aspal yang terisi oleh mortar. Dari gambar ini terlihat juga bahwa mortar hanya mampu mengisi sekitar 80% dari rongga udara yang ada, 20% sisanya merupakan rongga yang berupa kantong-kantong udara yang tidak saling berhubungan sehingga tidak dapat terisi oleh mortar.



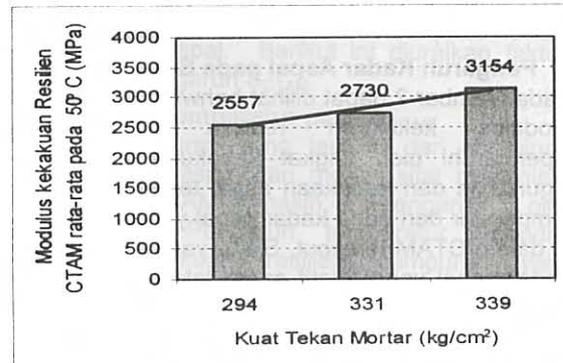
Gambar 4. Pengaruh Rongga Udara pada S_{CTAM}



Gambar 5. Pengaruh Persentase Rongga Terisi Mortar pada S_{CTAM}

f. Pengaruh Kuat Tekan Mortar pada S_{CTAM}

Pada Gambar 6 ditunjukkan pengaruh penggunaan kuat tekan mortar pada S_{CTAM} , pada gambar ini dapat dilihat bahwa penggunaan mortar dengan kuat tekan yang lebih besar akan menghasilkan CTAM dengan modulus kekakuan resilien yang besar pula. Pengaruh kuat tekan mortar ini sama halnya dengan pengaruh yang diberikan oleh tingkat kekerasan aspal yang digunakan untuk CTAM. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kekerasan bahan yang digunakan untuk pembuatan CTAM merupakan faktor penting yang sangat mempengaruhi S_{CTAM} yang dihasilkan.



Gambar 6. Pengaruh Kuat Tekan Mortar pada S_{CTAM}

Dari uraian-uraian tersebut di atas jelaslah bahwa banyak faktor-faktor yang memberikan pengaruh pada modulus kekakuan resilien CTAM (S_{CTAM}), faktor-faktor tersebut antara lain temperatur (T), kadar aspal (KA), modulus kekakuan aspal (S_{bil}), rongga udara dalam CTAM (VIM_{CTAM}), Rongga terisi mortar (VFM_{CTAM}) dan kuat tekan mortar (K). Pengaruh perubahan dari faktor-faktor tersebut terhadap modulus kekakuan resilien CTAM diresumekan dalam Tabel 3.

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa secara garis besar S_{CTAM} sangat dipengaruhi oleh sifat bahan, volumetrik dari CTAM itu sendiri dan kondisi pengujian. Dalam penelitian ini sifat bahan diwakili oleh modulus kekakuan (S_{bil}) dan kuat tekan mortar (K), sedangkan volumetrik CTAM diwakili oleh kadar aspal (KA), rongga udara CTAM (VIM_{CTAM}) dan rongga terisi mortar (VFM_{CTAM}).

Untuk kondisi pengujian, karena semua pengujian yang dilakukan pada penelitian ini hanya menggunakan satu nilai frekwensi tetapi pada temperatur yang bervariasi, maka hanya temperatur (T) saja yang diambil sebagai faktor yang mewakili kondisi pengujian. Secara matematis interaksi S_{bil} , K, KA, VIM_{CTAM} , VFM_{CTAM} dan temperatur (T) terhadap S_{CTAM} yang didapat adalah

$$S_{CTAM} = 1529 S_{bil} - 0,984 K + 990,2 KA - 203,83 VIM_{CTAM} - 87,49 VFM_{CTAM} - 97,175 T + 12286,2$$

dengan nilai $R^2 = 92,2\%$.

Tabel 3.
FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI
MODULUS KEKAKUAN RESILIEH CTAM

Kriteria Faktor	Faktor	Perubahan Faktor	Pengaruh perubahan faktor pada S_{CTAM}
Aspal	Modulus kekakuan aspal (S_{bil})	Meningkat	Meningkat
Mortar	Kuat tekan mortar (K)	Meningkat	Meningkat
Volumetrik CTAM	Kadar aspal (KA)	Meningkat	Menurun*
	Rongga udara CTAM (VIM_{CTAM})	Meningkat	Menurun
	Rongga terisi mortar (VFM_{CTAM})	Meningkat	Meningkat
Kondisi Pengujian	Temperatur (T)	Meningkat	Menurun

Catatan : * Tidak begitu nyata terlihat dalam hasil penelitian ini

IV. KESIMPULAN

- Kepekaan CTAM terhadap temperatur masih dipengaruhi oleh sifat aspal yang digunakan. Kenaikan temperatur pengujian dari 25° C ke 50° C akan menurunkan modulus kekakuan resilien CTAM menjadi hampir 50%-nya.
- Relatif kecilnya kandungan aspal dalam CTAM, yaitu dalam rentang 3,25 - 3,5% terhadap berat campuran, ternyata tidak dapat mengeliminasi pengaruh temperatur pada S_{CTAM} .
- Adanya korelasi yang baik antara modulus kekakuan resilien aspal dengan S_{CTAM} , dimana semakin besar modulus kekakuan aspal yang digunakan semakin besar pula S_{CTAM} yang dihasilkan.

- Kenaikan S_{CTAM} proporsional dengan penurunan rongga udara yang terkandung di dalamnya dan CTAM bukanlah suatu benda padat yang masih karena didalamnya masih terdapat sekitar 6% - 7 % rongga udara.
- Bila 65% rongga udara pada porus aspal terisi oleh mortar maka CTAM yang dihasilkan akan memiliki modulus kekakuan resilien yang lebih tinggi dari tipikal modulus resilien campuran beraspal (3000 MPa – 4000 MPa).
- Penggunaan mortar dengan kuat tekan yang lebih besar akan menghasilkan CTAM dengan modulus kekakuan resilien yang besar pula. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kekerasan bahan yang digunakan pada pembuatan CTAM merupakan faktor penting yang sangat mempengaruhi modulus kekakuan resilien CTAM yang dihasilkan.
- Dengan demikian faktor-faktor campuran yang dominan dan kondisi pengujian yang mempengaruhi S_{CTAM} adalah modulus kekakuan aspal (S_{bil}), temperatur pengujian (T), kadar aspal (KA), persen rongga yang terisi mortar (VFM_{CTAM}), rongga udara dalam CTAM (VIM_{CTAM}) dan kuat tekan mortar (K) yang digunakan.
- Hubungan dari faktor-faktor tersebut di atas dengan S_{CTAM} adalah

$$S_{CTAM} = 1529 S_{bil} - 0,984 K + 990,2 KA - 203,83 VIM_{CTAM} - 87,49 VFM_{CTAM} - 97,175 T + 12286,2$$

dengan nilai $R^2 = 92,2\%$.

DAFTAR PUSTAKA

- Bonnaure, F., G. Gest, A. Gravois and P. Uge, (1977), A New Method of Predicting the Stiffness of Asphalt Paving Mixtures, Proceeding Association of Asphalt Paving Technologies, Vol. 46. pp.64-100.
- Brown, S.F., Janet, M., Bruton, (1982), An Introduction to The Analytical Design of Bituminous Pavement, 2nd Edition, University of Nottingham, U. K.
- Huang Yang, H., (1993), Pavement Analysis and Design, Prentice Hall, Inc. New Jersey.
- Jamal A. Almudaiheem and Faisal, H. Al-Sugair, (1991), Effect of Loading Magnitude on Measured Resilient Modulus of Asphaltic Concrete Mixes, TRR. No. 1317, Asphalt Mixtures Design, Testing and Evaluation, TRB, National Research Council, Washington, D. C.
- Yamin R. Anwar dan Siswosoebrotho B. I., (2002.a), Modifikasi Marshall Dalam Perencanaan Campuran Aspal Porus untuk Cement Treated Asphalt Mixture, *Puslitbang Jalan, Jurnal No.19. Vol. 3.*

Penulis :

R. Anwar Yamin, *Adjun Peneliti Madya, pada Puslitbang Prasarana Transportasi Badan Litbang Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah.*