

PENGARUH JENIS ASPAL PADA TEMPERATUR PEMADATAN BERKAITAN DENGAN *WORKABILITY* DARI CAMPURAN BERASPAL PANAS (*THE EFFECT OF TYPE BITUMEN AT COMPACTION TEMPERATURE RELATED TO WORKABILITY OF HOT MIX ASPHALT*)

Neni Kusnianti ¹⁾, Furqon Affandi ²⁾

¹⁾ Pusat litbang Jalan dan Jembatan

^{1),2)} Jl. AH.Nasution 264 Bandung 40294

^{1), 2)} e-mail: neni.kusnianti@pusjatan.pu.go.id; furqon_affandi@yahoo.com

Diterima: 10 Juni 2013; direvisi: 02 Juli 2013; disetujui: 01 Agustus 2013

ABSTRAK

Penggunaan bahan tambah pada campuran beraspal panas telah mengalami perkembangan baik dari sifatnya maupun kegunaannya. Hal ini berkaitan erat dengan *workability* campuran atau temperatur pencampuran maupun temperatur pemadatan yang diperlukan. Umumnya jenis aspal yang dipergunakan ialah aspal keras dengan berbagai tingkatnya, yang mana penentuan *workability* campurannya, didasarkan pada temperatur pencampuran dan pemadatan yang mengikuti batasan nilai viskositas aspal 170 ± 20 cSt untuk pencampuran dan 280 ± 30 cSt untuk pemadatan. Tulisan ini menyampaikan penelitian pengaruh bahan tambah aspal pada penentuan temperatur pemadatan atau tingkat *workability* campuran, melalui percobaan eksperimental di laboratorium dan evaluasi serta analisis dari hasil percobaan campuran beraspal panas untuk lapisan aus. Jenis aspal yang diteliti ialah aspal Pen 60 tanpa dan dengan bahan tambah wax 1%, aspal modifikasi elastomer tanpa dan dengan bahan tambah wax 1%, serta aspal Pen 60 yang ditambah Styrene Butadyne Styrene 4,5% dan wax 1%. Hasil penelitian menunjukkan, bahwa batasan viskositas untuk penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan yang umum selama ini digunakan, tidak sesuai untuk aspal dengan bahan tambah wax. Temperatur pemadatan dari campuran dengan bahan tambah wax berdasarkan rongga dalam campuran (*void in mix*) yang sesuai dengan spesifikasi yang digunakan, lebih rendah sebesar 30°C dari temperatur berdasarkan batasan viskositas aspal. Berdasarkan hal tersebut, penentuan temperatur pemadatan berkaitan dengan *workability* campuran beraspal dengan bahan tambah, lebih baik didasarkan pada pengujian kepadatan atau temperatur pemadatan minimum yang masih bisa menghasilkan rongga dalam campuran (*Void In Mix*) sesuai dengan batasan *Void In Mix* pada spesifikasi yang dipergunakan.

Kata kunci: Viskositas, temperatur pemadatan, *Void In Mix*, bahan tambah, wax, *workability*.

ABSTRACT

The use of additive material for hot mix asphalt has been developed either its properties or usage. It is closely related to the *workability* of mix and mixing or compaction temperature required. Bitumen type which commonly used is straight bitumen with various grade, which determination of mix *workability* is based on mix and compaction temperature that following bitumen viscosity limit of 170 ± 20 cSt and 280 ± 30 cSt for mixing and compaction respectively. The paper explains the research result on the effect of asphalt additive material on determination of compaction temperature or mix *workability* level through the laboratory experiments and evaluation as well as the analysis of hot mix asphalt experiment for wearing course. Bitumen type examined is 60 Pen grade with and without 1% of wax, modified bitumen use elastomer with and without 1% wax 60 Pen grade bitumen added by 4,5% of Styrene Butadyne Styrene and 1% of wax. The result showed that viscosity limit for determination of mix and compaction temperature which commonly used recently not in accordance with bitumen with additive wax. Compaction temperature of mix with additive wax based on voids in mix conforming with specification of bituminous mixes used is 30°C lower than temperature which based on asphalt

viscosity limit. Accordingly, the determination of compaction temperature related to asphalt mix workability with additive material, preferably based on density test or minimum compaction temperature which still produce voids in mix in accordance with the limit of void in mix in specification used.

Keywords: Viscosity, compaction temperature, Void In Mix, additive, wax, workability

PENDAHULUAN

Sejalan dengan peningkatan jumlah dan beban lalu-lintas pada saat ini, penggunaan jenis aspal dituntut sesuai dengan beban lalu-lintas yang harus dilayaninya. Pada saat yang lalu aspal yang dipergunakan di Indonesia umumnya ialah aspal keras Pen 60, namun sejak beberapa tahun terakhir ini, telah disyaratkan penggunaan aspal modifikasi untuk jalan dengan beban lalu-lintas berat (Indonesia 2010). Penggunaan aspal modifikasi seperti aspal polymer di Indonesia, dipandang sesuai karena disamping beban lalu-lintas berat yang perlu dilayani, juga dikarenakan temperatur yang cukup tinggi di Indonesia ini.

Workability merupakan hal penting dalam campuran beraspal panas, untuk mencapai kualitas yang diinginkan. Pada aspal modifikasi seperti aspal polimer, tingkat *workability* dari campuran beraspal panas akan turun pada temperatur tertentu, dikarenakan polimer sebagai bahan tambah akan menaikkan kekentalan aspal. Dengan demikian pemadatan campuran beraspal yang menggunakan aspal modifikasi-aspal polimer akan lebih sulit untuk mencapai kepadatan tertentu dibandingkan dengan campuran beraspal biasa atau aspal tanpa bahan modifikasi. Begitu juga pada aspal konvensional, waktu tempuh yang lama dari *Asphalt Mixing Plant (AMP)* ke lokasi penghamparan akan menurunkan tingkat *workability* campuran beraspal tersebut. Jika komposisi dari campuran seperti sifat fisik agregat dan gradasi dibuat sama, maka *workability* dari campuran beraspal panas pada dasarnya merupakan fungsi dari sifat aspal pada temperatur tertentu. Semakin tinggi temperatur dari campuran beraspal, semakin baik tingkat *workability* campuran tersebut, karena kekentalan aspal akan menurun sejalan dengan naiknya temperatur aspal. Akan tetapi,

menaikkan temperatur campuran untuk mendapatkan tingkat *workability* yang baik, tidak selalu merupakan cara yang baik. Pemanasan campuran beraspal yang tinggi akan memunculkan permasalahan seperti kerusakan dari sifat aspalnya (menimbulkan kerusakan pada bahan tambah-polimer), menaikkan penggunaan bahan bakar, dan menaikkan emisi buang.

Pengertian *workability* diartikan sebagai kemudahan pelaksanaan suatu campuran beraspal panas dikerjakan setelah dihampar diatas lapis perkerasan jalan. *Workability* yang baik merupakan hal yang penting, guna mendapatkan lapisan dari campuran beraspal yang baik dengan kepadatan yang memadai pada saat pemadatan dengan alat pemadat yang dipergunakan. Campuran beraspal yang sudah mengalami penurunan temperatur yang cukup besar, akan mempunyai tingkat *workability* yang rendah, sehingga sulit untuk mendapatkan lapisan perkerasan yang baik. Lapisan beraspal dengan tingkat derajat kepadatan yang rendah akan menghadapi berbagai masalah yang disebabkan oleh rongga dalam campuran yang tinggi. Masalah tersebut ialah seperti masalah permeabilitas dan oksidasi yang akan menyebabkan penuaan dari aspal (*aging*). Penuaan aspal akan terjadi dengan cepat sehingga akan mereduksi umur pelayanan perkerasan jalan tersebut.

Pada umumnya nilai viskositas atau kekentalan aspal dipergunakan untuk menentukan temperatur pencampuran dan pemadatan dari campuran beraspal panas. Temperatur pemadatan dengan cara ini secara langsung mempengaruhi *workability* campuran beraspal. Seiring dengan meningkatnya penggunaan aspal modifikasi, seperti aspal polimer atau penambahan bahan untuk pencampuran beraspal hangat memerlukan penelitian berkaitan dengan temperatur

pemadatan tersebut. Tujuan dari tulisan ini adalah mengkaji pengaruh bahan tambah terhadap temperatur pemadatan dan *workability* dari campuran beraspal panas dengan jenis aspal Pen 60, aspal modifikasi dengan polimer dan aspal Pen 60 yang ditambah *Styrene Butadyne Styrene (SBS)* dan *wax*.

KAJIAN PUSTAKA

Workability campuran beraspal tergantung pada komposisi dari campuran, seperti kelas atau tingkat aspal, sifat agregat (tipe gradasi), begitu juga *workability* tergantung pada parameter luar lainnya seperti peralatan dan temperatur. Marvillet dan Bougalt's (1979) menyampaikan bahwa:

1. *Workability* dari campuran beraspal naik ketika viskositas aspal turun.
2. Perubahan pada kadar aspal tidak mempunyai hubungan langsung dengan *workability*.
3. Bila kadar *filler* pada campuran beraspal naik, maka *workability* nya turun.
4. Campuran dengan menggunakan butiran agregat angular yang tinggi mempunyai *workability* yang lebih rendah dibanding campuran yang menggunakan agregat yang semi-angular atau agregat bulat.

Ada beberapa alat yang bisa digunakan untuk mengukur *workability* campuran beraspal. Salah satu peralatan tersebut ialah *workability* - dua titik. Pada alat ini diukur torsi yang dibutuhkan untuk memutar *impeller* pada kecepatan konstan yang berada dalam campuran beraspal. Alat lainnya yang bisa dipergunakan ialah alat *Giratory Compactor Machine (GTM)* yang disampaikan oleh Siswosoebrotho, Ginting dan Soedirdjo (2005) sebagaimana yang dikemukakan oleh Cabrera dan Dixon (1994).

Penggunaan bahan tambah dan aspal modifikasi telah berkembang pada beberapa tahun terakhir ini termasuk di Indonesia, yang ditujukan untuk jalan yang melayani lalu-lintas berat. Beberapa bahan tambah untuk memodifikasi aspal, diantaranya ialah bahan elastomer, bahan plastomer dan bahan aspal

alam seperti Aspal batu Buton/Asbuton (Indonesia 2010). Aspal modifikasi mempunyai beberapa kelebihan dalam perkerasan beraspal. Menurut Terrel dan Epps (1998) penggunaan aspal modifikasi ini adalah untuk meningkatkan:

1. Ketahanan terhadap retak *fatigue*.
2. Ikatan antara aspal dan agregat dan sekaligus mengurangi *stripping*.
3. Ketahanan terhadap *aging* atau oksidasi.
4. Kekuatan serta stabilitas dari campuran beraspal.

Selain keuntungan dari penggunaan aspal modifikasi, ada juga beberapa permasalahan yang terjadi yaitu yang berkaitan dengan pelaksanaan seperti:

1. Temperatur pencampuran dan pemadatan yang lebih tinggi dari aspal biasa (aspal Pen 60/70).
2. Masalah pemompaan aspal modifikasi di *AMP*.
3. Masalah *aging* karena temperatur pemanasan yang tinggi.

Aspal modifikasi memerlukan temperatur yang tinggi untuk pemadatan, hal ini dapat menimbulkan banyak permasalahan, yaitu dapat menyebabkan terjadinya pemisahan antara bahan modifikasi dan aspal dasarnya sendiri, dan bila ini terjadi maka efektifitas dari modifikasi aspal ini akan berkurang. Permasalahan lainnya, pemanasan yang berlebihan akan mengakibatkan aspal mengalami oksidasi, yang pada akhirnya akan mengakibatkan terjadinya retak dini pada perkerasan (Read and Whiteoak 2003). Akibat permasalahan tersebut, bahan modifikasi bisa terpisah dari campuran beraspal dan melekat pada permukaan perkerasan akibat pemadatan awal (*breakdown rolling*). Selanjutnya hal ini akan menyebabkan terangkatnya bahan campuran beraspal tersebut bila dipadatkan oleh pemadat roda karet, yang akhirnya dapat mengakibatkan tekstur permukaan perkerasan menjadi tidak rata. Temperatur pemadatan yang tinggi, akan memerlukan temperatur pencampuran yang lebih tinggi lagi. Hal seperti ini, akan menyebabkan terjadinya "pengaliran aspal" atau *drain down* dari aspal sewaktu pengangkutan diatas truk, seperti campuran

Stone Mastic Asphalt dan *Open Graded Friction Course* yang memerlukan kadar aspal yang tinggi.

Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan

Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan, yang diusulkan oleh *Asphalt Institute* ialah berdasarkan viskositas kinematik, yang dilakukan pada berbagai temperatur dan kemudian di buat suatu grafik hubungan antara temperatur dan viskositas kinematik tersebut. Selanjutnya temperatur pencampuran ditentukan berdasarkan viskositas antara 170 ± 20 cSt, dan untuk temperatur pemadatan 280 ± 30 cSt, yang kemudian dilakukan pengujian campuran berdasarkan metoda Marshall.

Perencanaan campuran beraspal dengan metoda *Superpave*, prinsip dasarnya sama seperti metoda *Asphalt Institute*, yaitu berdasarkan hubungan viskositas dan temperatur, tetapi satuan viskositasnya berubah menjadi *Pascal-Second (Pa-s)*, serta pengukuran viskositasnya menggunakan alat "*rotational viscometer*" pada temperatur 135°C dan 165°C . Setelah hubungan antara viskositas dan temperatur didapat, maka temperatur pencampuran diambil pada daerah antara viskositas $0,17 \pm 0,02$ Pa-s dan untuk temperatur pemadatan pada daerah yang memberikan viskositas antara $0,28 \pm 0,03$ Pa-s.

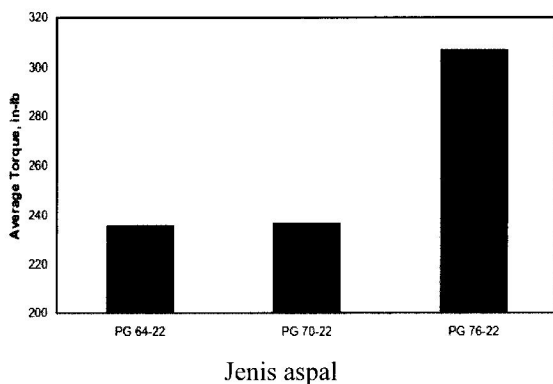
Dari uraian diatas, penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan didasarkan pada masing-masing nilai viskositas tertentu yang harus dicapai. Berdasarkan hal ini, maka aspal modifikasi memerlukan temperatur pencampuran dan pemadatan yang lebih tinggi dari aspal konvensional Pen 60/70. Gudimettla J.M (2003) menjelaskan bahwa aspal konvensional yang bukan aspal modifikasi pada dasarnya mengikuti hukum Newtonian, dimana viskositasnya tidak tergantung pada kecepatan geser. Aspal modifikasi pada temperatur

tertentu cenderung mempunyai sifat yang disebut *shear thinning*, atau *pseudo - plasticity*, dimana viskositas tergantung pada besarnya geser. Besarnya geser pada alat *rotational viscometer* tidak menggambarkan geser yang terjadi pada alat *Superpave gyratory compactor* selama pelaksanaan pemadatan. Dalam tulisannya menyarankan pertama harus menghitung geser yang terjadi pada *giratory compactor* dan grafik hubungan antara temperatur-viskositas harus didapat dengan melakukan pengukuran viskositas pada kecepatan geser tersebut. Setelah dua titik didapat, maka hubungan temperatur-viskositas dapat dipergunakan untuk menentukan temperatur pencampuran dan pemadatan.

Berdasarkan uraian tersebut, maka *workability* dari campuran beraspal panas tergantung pada tipe aspal, tipe gradasi, bahan tambah dan temperatur dari campuran beraspal. Metoda konvensional menggunakan hubungan antara viskositas dan temperatur dalam menentukan temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan yang dikembangkan untuk aspal konvensional (bukan aspal modifikasi). Pada metoda ini tidak memperhitungkan sifat agregat dan atau gradasi agregat dalam menentukan temperatur pemadatan.

Pengaruh tipe aspal

Faktor lainnya yang mempengaruhi *workability* ialah tipe aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Analisa Duncan's *Multiple Range Test (DMRT)* telah dilakukan dalam rangka mengevaluasi perbedaan yang signifikan antara berbagai tipe aspal berdasarkan Tabel 1, campuran beraspal yang menggunakan aspal *Performance Grade (PG)* 76-22, memerlukan torsi yang jauh lebih besar daripada campuran dengan aspal PG 70-22 dan PG 64-22. Hasil percobaan ini menunjukkan juga bahwa tidak ada perbedaan antara antara campuran dengan PG 70-22 dan PG 64-22.



Sumber: Gudimettla (2003)

Gambar 1. Pengaruh tipe aspal pada *workability*

Tabel 1. Duncan's *Multiple Range Test (DMRT)* ranking untuk berbagai tipe aspal

Tipe aspal	Rata-rata nilai torsi (in - lb)	DMRT Ranking
PG 76 - 22	307	A
PG 70 - 22	236	B
PG 64 - 22	236	B

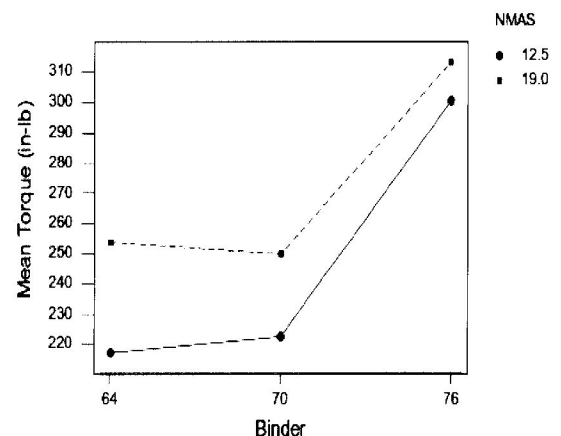
Sumber: Gudimettla (2003)

Hasil yang diperlihatkan pada Tabel 1, menyatakan bahwa mungkin modifikasi dibawah level tertentu, tidak akan mempengaruhi tingkat *workability*. Akan tetapi jika modifikasi di atas level tersebut, *workability* dari campuran beraspal akan berkurang dengan sangat berarti.

Selanjutnya *workability* sangat dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu jenis aspal, temperatur, tipe agregat dan ukuran nominal maksimum agregat (Gudimettla 2003).

Hal ini diilustrasikan pada Gambar 2, campuran beraspal dengan aspal PG 64 – 22 dan PG 70 – 22 mempunyai sifat *workability* yang serupa, baik dalam besaran maupun dalam kemiringannya. Akan tetapi, campuran beraspal dengan bahan aspal PG 76 – 22 tingkat *workability* nya kurang (karena perlu nilai torsi yg tinggi) dan lebih dipengaruhi oleh temperatur yang ditunjukkan oleh kemiringan yang lebih tajam.

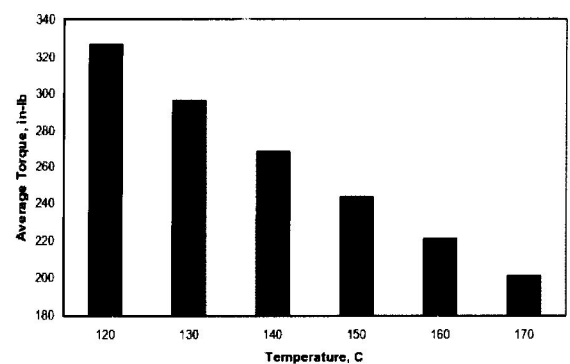
Pengaruh temperatur



Sumber: Gudimettla (2003)

Gambar 2. Hubungan *workability* dengan kelas aspal

Pengaruh lainnya yang begitu besar ialah pengaruh temperatur. Campuran menjadi lebih kaku dan sulit di kerjakan pada temperatur yang lebih rendah. Pengaruh temperatur pada *workability* diperlihatkan pada Gambar 3, dimana diperlukan torsi yang lebih besar pada temperatur yang lebih rendah.



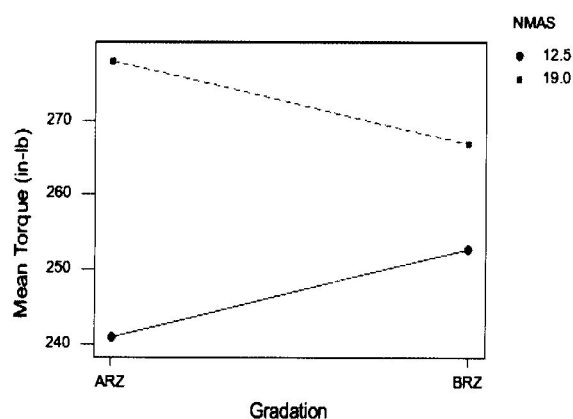
Sumber: Gudimettla (2003)

Gambar 3. Pengaruh temperatur terhadap *workability*

Pengaruh tipe agregat

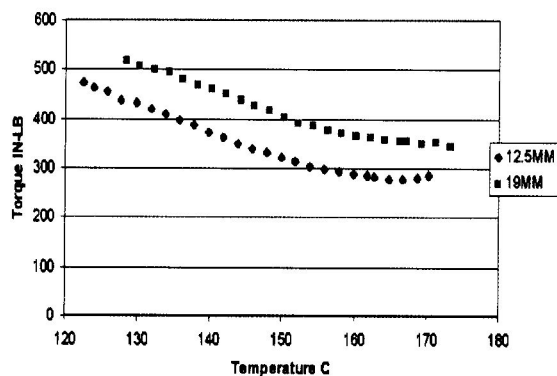
Workability dipengaruhi oleh tipe agregat, ukuran nominal maksimum agregat, tipe aspal dan temperatur. Tetapi *workability* tidak dipengaruhi secara signifikan oleh gradasi (Gudimettla 2003). Gambar 4 memperlihatkan

bahwa gradasi agregat mempunyai pengaruh yang besar untuk agregat dengan ukuran nominal maksimum 12,5 mm dari pada agregat dengan gradasi yang mempunyai ukuran nominal maksimum 19 mm. Sedangkan pada Gambar 5, diperlihatkan *workability* antara dua campuran beraspal dengan tipe aspal yang sama (PG 76-22), jenis agregat yang sama yaitu batu kapur dan gradasi yang sama tetapi berbeda ukuran agregat maksimumnya. Keberadaan ukuran agregat maksimum 19 mm, memerlukan torsi yang besar pada temperatur tertentu yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa *workability* menurun dengan adanya ukuran agregat nominal maksimum yang makin besar.



Sumber: Gudimettla (2003)
Keterangan: ARZ Above Restrictive Zone
BRZ Below Restrictive zone

Gambar 4. Pengaruh gradasi agregat terhadap *workability*

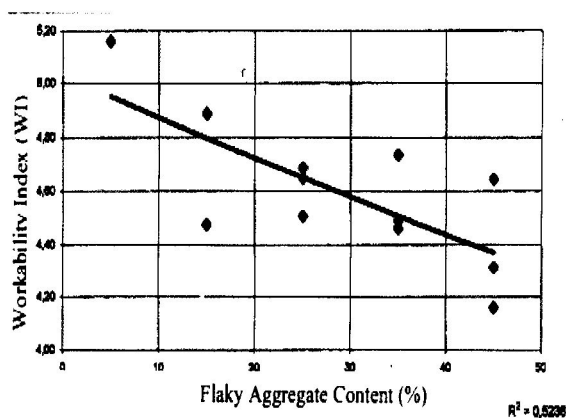


Sumber: Gudimettla (2003)

Gambar 5. Pengaruh ukuran agregat maksimum terhadap *workability*

Bentuk agregat juga sangat mempengaruhi *workability* campuran beraspal, Siswosoebrotho (2005) menyampaikan bahwa agregat yang pipih mempengaruhi *workability* campuran beraspal panas, semakin banyak prosentase agregat pipih, semakin sulit campuran beraspal dikerjakan (tingkat *workability*-nya rendah). Pengujian *workability* dilakukan dengan menggunakan alat *giratory* sesuai ASTM D 4123-82 dengan *pulse account* = 5, *condition pulse period* = 3000 ms, *test pulse period* = 2000 ms, *rise time* = 50 ms, *peak loading force* = 1000 N dan *poision ratio* = 0,35.

Hubungan antara kadar agregat pipih dengan *Workability Index (WI)*, ditunjukkan pada Gambar 6 (Siswosoebrotho 2005). Terlihat peningkatan kadar agregat pipih menurunkan tingkat *workability* campuran beraspal.



Sumber: (4) Siswosoebrotho

Gambar 6. Hubungan kepipihan agregat dengan *workability*

HIPOTESIS

Penentuan temperatur pemadatan berkaitan dengan *workability* campuran beraspal yang menggunakan bahan tambah aspal, tidak dapat ditentukan dari batasan viskositas aspalnya, tetapi harus berdasarkan temperatur yang memberikan *Void In mix (VIM)* sesuai batasan *VIM* yang ditentukan dalam spesifikasi.

METODOLOGI

Metoda yang digunakan pada penelitian ini, ialah metoda experimental di laboratorium, yang diikuti dengan evaluasi dan analisa dari hasil percobaan laboratorium tersebut. Percobaan yang dilakukan di laboratorium meliputi pengkajian atas sifat aspal, terutama sifat viskositas dikaitkan dengan sifat campuran beraspal yang erat kaitannya dengan *workability* suatu campuran beraspal. Sedangkan campuran beraspal yang digunakan pada penelitian ini adalah campuran beraspal untuk lapisan aus yang sesuai dengan Spesifikasi Umum revisi 2 (Indonesia 2010).

Kesamaan dari campuran beraspal yang digunakan pada percobaan ini, ialah kesamaan dari jenis agregat, gradasi agregat dan ukuran butir maksimumnya, sehingga faktor yang mempengaruhi *workability* campuran beraspal hanya dari pengaruh sifat aspalnya saja, dan temperatur yang digunakan pada campuran tersebut. Alat yang dipergunakan untuk mengkaji tingkat *workability* campuran beraspal ialah alat *Gyratory Compactor Machine* (GCM), dimana tingkat *workability* dilakukan dengan cara mengukur ketinggian secara otomatis dari contoh selama pemadatan pada setiap interval jumlah pemadatan tertentu, untuk setiap jenis aspal yang digunakan pada campuran beraspal tersebut.

Jenis aspal yang digunakan pada percobaan ini ialah aspal keras penetrasi 60 dari Indonesia, aspal penetrasi 60 yang dimodifikasi dengan elastomer, aspal Pen 60 yang ditambah "wax", aspal modifikasi, aspal modifikasi ditambah wax serta aspal penetrasi 60 yang ditambah SBS dan wax. Wax sebagai bahan tambah ini berbentuk rantai alifatik karbon yang panjang (C40-C115), yang ditambahkan suatu senyawa sintetik lain (Fazaeli 2012).

Pemilihan jenis aspal Pen 60, didasarkan bahwa jenis aspal tersebut paling banyak dipergunakan dan umum diproduksi di Indonesia, sedangkan aspal Pen 60 yang dimodifikasi dengan bahan elastomer pemilihannya didasarkan bahwa aspal tersebut

sudah banyak digunakan di Indonesia untuk lalu-lintas berat. Dan pemilihan aspal Pen 60 yang dimodifikasi dengan bahan SBS lainnya ditambah dengan bahan berbasis wax, dikarenakan jenis aspal tersebut sudah mulai banyak digunakan di dunia untuk mengurangi temperatur pencampuran dan emisi buang, (Gierhart 2009).

HASIL DAN ANALISIS

Aspal

Hasil pengujian sifat rheologi aspal Pen 60, aspal Pen 60 yang dimodifikasi dengan elastomer, serta aspal Pen 60 yang dimodifikasi dengan bahan SBS dan bahan tambah berbasis wax, ditunjukkan pada Tabel 2.

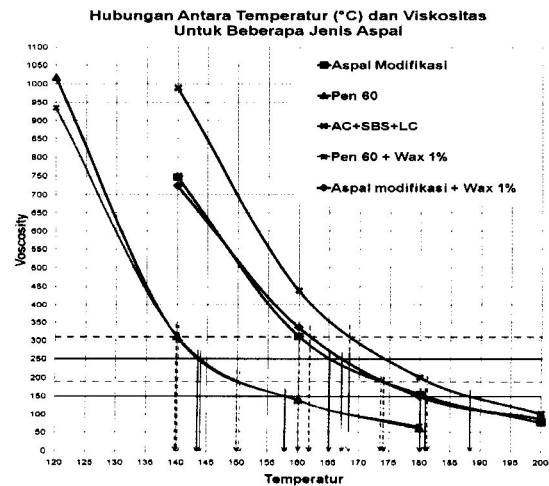
Tabel 2. Hasil pengujian aspal

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian				
			Aspal Pen 60	Aspal Pen 60 + Wax 1%	Aspal Modifikasi	Aspal Pen 60 + SBS + Wax 1%	Satuan
1	Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 detik	SNI 06-2456-1991	66	63	65,7	52	mm
2	Viskositas pada 135°C	SNI 06-6441-2000	424	400	-	1286	cSt
3	Titik lembek	SNI 06-2434-1991	49,2	49,1	61,3	57,9	°C
4	Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit	SNI 06-2432-1991	> 140	> 140	> 140	> 140	Cm
5	Titik nyala (COC)	SNI 06-2433-1991	334	315	312	329	°C
6	Kelarutan dalam C ₂ H ₄ Cl ₂	SNI 06-2438-1991	99,25	99,52	99,85	99,18	%
7	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	1,037	1,035	1,033	1,014	-
8	Kehilangan berat (RTFOT)	SNI 03-6835-2002	0,021	0,012	0,008	0,012	%
9	Penetrasi setelah RTFOT	SNI 06-2456-1991	86,4	86	84,2	84,6	%
10	Titik lembek setelah RTFOT	SNI 06-2434-1991	51,7	50,8	64,0	57,2	°C
11	Daktilitas setelah RTFOT	SNI 06-2432-1991	> 140	> 140	> 140	118	Cm
12	Keelastisan setelah pengembalian	AASHTO T 301-98	-	-	85	71,85	%
13	Perkiraan suhu pencampuran	AASHTO-72-1990	153-159	152-158	172-177	183-190	°C
14	Perkiraan suhu pemadatan	AASHTO-72-1990	141-146	140-145	160-165	169-175	°C

Pada setiap jenis aspal tersebut, dilakukan pengujian viskositas pada berbagai temperatur dengan menggunakan alat viskositas kinematik sesuai dengan metoda 7729:2011 (BSN 2011).

Hasil pengujian tersebut ditunjukkan pada Gambar 7.

Terlihat dari Gambar tersebut, bahwa grafik viskositas terhadap temperatur untuk berbagai jenis aspal yang diuji. Letak antara aspal Pen 60 ditambah *wax* dan aspal Pen 60, sangat berdekatan atau dapat dikatakan hampir berimpit, kemudian aspal modifikasi dan aspal modifikasi yang ditambah *wax* 1% juga sangat berdekatan sekali. Terakhir aspal Pen 60 tambah *SBS* 4,5% ditambah *wax* 1%, agak jauh di sebelah kanan.



Gambar 7. Hubungan antara viskositas dengan temperatur

Tingkat kemudahan perubahan sifat viskositas aspal terhadap temperatur, pada aspal Pen 60 dan aspal Pen 60 tambah *wax* 1%, tidak begitu berbeda bahkan dapat dikatakan sama, walaupun terlihat pada temperatur yang lebih rendah dari 140°C, nilai viskositas dari aspal penetrasi 60 ditambah *wax*, sedikit lebih rendah sedikit dari viskositas aspal penetrasi 60. Sedangkan pada aspal modifikasi dan aspal modifikasi yang ditambah *wax* 1% walaupun berdekatan tetapi tidak konsisten, dimana pada suhu yang lebih rendah dari 174°C viskositas aspal modifikasi yang ditambah *wax* lebih tinggi, dan pada temperatur yang lebih tinggi dari 174°C, viskositas aspal modifikasi tambah *wax* 1% lebih rendah dari aspal modifikasi itu sendiri. Sedangkan untuk aspal Pen 60 yang ditambah *SBS* 4,5% dan *wax* 1% nilai viskositasnya paling tinggi. Bila menggunakan batasan dari *Asphalt Institute*, dimana temperatur

pencampuran dan pemadatan didasarkan pada nilai viskositas antara 170 ± 20 cSt dan 250 ± 30 cSt, maka temperatur pencampuran dan pemadatan dari masing masing aspal yang tanpa dan dengan bahan tambah *wax* tersebut tidak jauh berbeda seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3

Bila dilihat dari Tabel 3 tersebut, terlihat bahwa temperatur pencampuran dan pemadatan untuk aspal penetrasi 60 dan aspal Pen 60 yang ditambah *wax* hampir sama dimana perbedaannya hanya 1°C. Sedangkan untuk aspal modifikasi lebih tinggi dari aspal Pen 60 sekitar 20°C dan 30°C. Perbedaan temperatur pencampuran dan pemadatan dari aspal modifikasi dan aspal modifikasi tambah *wax* 1%, yaitu masing masing sekitar 1,5°C dan 2,5°C. Aspal penetrasi 60 yang ditambah *SBS* 4,5% dan *wax* 1% mempunyai temperatur pencampuran dan pemadatan sekitar 6°C dan 8°C lebih tinggi dari aspal modifikasi. Bila berdasarkan batasan viskositas yang disampaikan oleh *Asphalt Institute* seperti yang disebut diatas, maka bisa diartikan bahwa tingkat *workability* dari aspal Pen 60 dan aspal Pen 60 tambah *wax* sangat dekat atau hampir sama. Sedangkan *workability* untuk pemadatan dari aspal modifikasi sedikit lebih tinggi dari *workability* aspal modifikasi ditambah *wax* 1%.

Tabel 3. Perkiraan temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan (berdasarkan nilai viskositas).

Jenis aspal	Temperatur pencampuran (°C)	Temperatur pemadatan (°C)
Pen 60 plus <i>wax</i> 1%	151,4 - 158	140,2 -144,5
Pen 60	151,1 - 158	140 – 144
Aspal modifikasi	173,9 -181	160,1 – 165,2
Aspal modifikasi plus <i>wax</i> 1%	174– 180	162 – 167
Aspal Pen 60 plus <i>SBS</i> 4,5% dan <i>wax</i> 1%	181,3– 188,2	168,5 – 174

Aspal Pen 60 tambah dengan *SBS* 4,5% dan *wax* 1%, *workability*-nya paling rendah, karena memerlukan temperatur yang paling tinggi baik untuk pencampuran maupun untuk pemadatan. Namun perlu diingat, bahwa ini

hanya berdasarkan sifat aspalnya saja dan berdasarkan batasan viskositas dari *Asphalt Institut Manual Series 2* (Asphalt Institute 1993), yang selama ini dipergunakan, yang belum menggambarkan sifat *workability* dari campuran beraspalnya sendiri.

Campuran beraspal

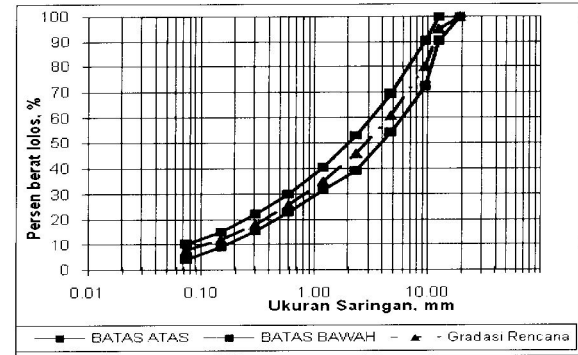
Campuran beraspal yang dipergunakan, ialah campuran beraspal untuk lapisan aus dari Spesifikasi Umum revisi 2 (Indonesia 2010), dengan gradasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Persyaratan campuran beraspal ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Persyaratan campuran lapisan aus (*wearing course*)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		WC	BC	Base
Penyerapan aspal (%)	Maks		1,2	
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rongga dalam campuran (V _{TM}) (%)	Min.		3	
	Maks		5	
Rongga dalam Agregat (V _{MA}) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	63	60
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800		1500
Pelelehan Minimum (mm)	Min.	3		4,5
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250		300
Stabilitas Marshall Sisa (%)	Min.		90	
Rongga dalam campuran (%)	Min.		2	
pada Kepadatan membal (<i>refusal</i>)				

Sumber: Spesifikasi Umum revisi 2 (Indonesia 2010).

Jenis dan gradasi agregat yang dipergunakan pada percobaan ini semua sama, sebagaimana ditunjukkan oleh garis putus putus pada Gambar 8, yang terletak antara batas bawah dan batas atas dari persyaratan gradasi tersebut. Dengan demikian *workability* dari campuran beraspal tidak dipengaruhi oleh jenis dan gradasi agregat



Gambar 8. Gradasi yang dipergunakan pada percobaan ini dan persyaratannya

Dalam rangka mengkaji *workability* campuran beraspal, pertama tama dicari kadar aspal optimum

Untuk masing-masing campuran dengan aspal yang berbeda, berdasarkan percobaan Marshall (AASHTO 2008), yang mengacu pada ketentuan campuran beraspal sesuai Spesifikasi Umum revisi 2 (Indonesia 2010). Dari hasil percobaan tersebut, didapat kadar aspal optimum untuk campuran beraspal dengan aspal Pen 60 sebesar 5,7%, campuran beraspal dengan aspal Pen 60 dan *wax* sebesar 5,8% dan campuran beraspal dengan aspal Pen 60 ditambah *SBS* dan *wax* 1% juga sebesar 5,8%. Jadi kadar aspal optimum dari masing masing campuran sangat dekat sekali atau dapat dikatakan sama.

Selanjutnya, pengujian *workability* campuran beraspal menggunakan alat *gyratory compactor* pada berbagai temperatur sebagai mana diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Temperatur pemadatan pada waktu pengujian dengan alat *GCM*

Jenis aspal	Temperatur Pemadatan (° C)					
Aspal Pen 60	144	134	124	114	84	74
Aspal Pen 60 + <i>wax</i>	132	122	112	102	82	72
Aspal Pen 60 dimodifikasi	163	153	143	133	123	115
Aspal Pen 60 dimodifikasi + <i>wax</i>	163	153	143	133	123	103
Aspal Pen 60 + <i>SBS</i> + <i>wax</i>	171	161	151	141	131	124

Prinsip dari pemadatan dengan alat *GCM* ini, yaitu dengan memberikan tekanan vertikal yang konstan dan pada waktu yang bersamaan dilakukan pemberian gaya dinamis sehingga berupa gaya pemadatan bukan tumbukan dengan sudut girasi sebesar 2 derajat. Pada pengkajian ini pemadatan dengan *gyropac* dilakukan dengan beban vertikal sebesar 240 kPa, sudut girasi sebesar 2 derajat dan kecepatan girasi 60 rpm. Pemadatan dengan cara ini merupakan simulasi dari cara pemadatan yang dilakukan di lapangan. Selama pemadatan tinggi benda uji diukur secara otomatis, sesuai dengan jumlah girasi yang sedang berjalan.

Cabrera dan Dixon (1994) menggunakan *workability* dengan menggunakan besaran *Workability Index (WI)* yang merupakan kebalikan dari sifat rongga dalam campuran dimana perputaran atau girasinya sama dengan nol.

Perhitungan *Workability Index*

Perhitungan *Workability Index* pada pengujian ini, didasarkan pada rongga dalam campuran (*Void in Mix*), dengan mencatat tinggi benda uji dan menghitung volume dari benda uji pada setiap girasi tertentu.

Perhitungan yang dilakukan:

A) Perhitungan volume benda uji selama pemadatan dengan *GCM*:

$$V_i = 0,25 \times \pi \times d^2 \times h_i \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

V_i = volume benda uji pada I puritan *gyropac*
 d = diameter benda uji (cm)
 h_i = tinggi benda uji pada putaran pemadat mesin ke- i

B) Perhitungan kepadatan dan rongga dalam campuran (*VIM*)

- Kepadatan:

$$\gamma_{di} = W / V_i \dots\dots\dots (2)$$

- Rongga dalam campuran (*VIM*)

$$VIM = 100 (1 - \gamma_{di} / SG) \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

γ_{di} = kepadatan benda uji pada putaran *gyropac* ke i (kg/cm³)
 W = berat benda uji (gram)
 V_i = volume benda uji pada putaran pemadat mesin ke i (cm³)
 SG = *Specific Gravity* dari campuran beraspal
 VIM = *Void In Mix* dari campuran (%)

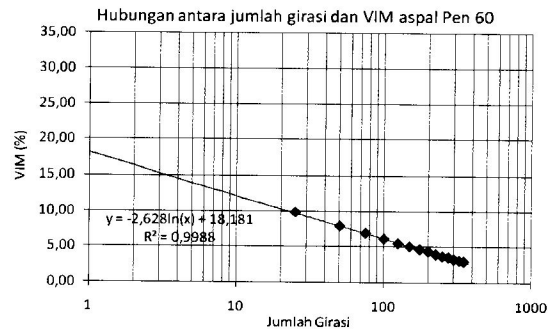
$$Workability Index (WI) = 100/A \dots\dots\dots (4)$$

Nilai A ialah *VIM* pada girasi sama dengan nol, yaitu dengan membuat extrapolasi hubungan antara *VIM* dengan jumlah girasi dari alat *GCM*.

Perhitungan volume, kepadatan dan rongga dalam (*VIM*) ditunjukkan pada Tabel 6, yang selanjutnya digambarkan seperti pada Gambar 9.

Tabel 6. Perhitungan rongga dalam campuran (*VIM*) pada temperatur 144°C untuk campuran beraspal dengan aspal Pen 60

Temperatur Pemadatan (°C)	Putaran <i>gyropac</i> ke	Tinggi benda uji (cm)	Volume benda uji (cm ³)	Kepadatan grm/cm ³	<i>VIM</i> (%)
144	1	8,99	705,7	1,850	25,59
	25	7,42	582,5	2,241	9,84
	50	7,26	569,9	2,291	7,86
	75	7,18	563,6	2,316	6,83
	100	7,12	558,9	2,336	6,04
	125	7,07	555,0	2,352	5,38
	150	7,04	552,6	2,362	4,98
	175	7,01	550,3	2,372	4,57
	200	6,99	548,7	2,379	4,30
	225	6,96	546,4	2,389	3,88
	250	6,94	544,8	2,396	3,61
	275	6,93	544,0	2,400	3,47
	300	6,91	542,4	2,407	3,19
	325	6,90	541,7	2,410	3,05
	350	6,89	540,9	2,414	2,91



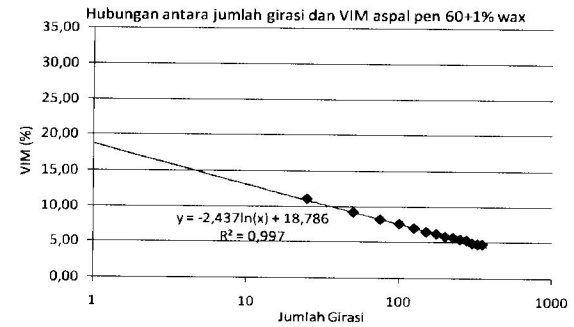
Gambar 9. Hubungan antara jumlah girasi dan *VIM* untuk campuran dengan aspal Pen 60

Dengan cara yang sama, dilakukan perhitungan rongga dalam campuran (*VIM*) pada temperatur lainnya dan jenis campuran beraspal dengan aspal Pen 60 yang ditambah bahan dasar *wax*, aspal modifikasi dan aspal Pen 60 yang dimodifikasi dengan *SBS* dan bahan tambah *wax*.

Hasil pengujian diperlihatkan pada Tabel 7, Gambar 10, Tabel 8 dan Gambar 11 serta Tabel 9 dan Gambar 12.

Tabel 7. Rongga dalam campuran (*VIM*) dari campuran beraspal dengan aspal Pen 60 dan bahan tambah *wax*

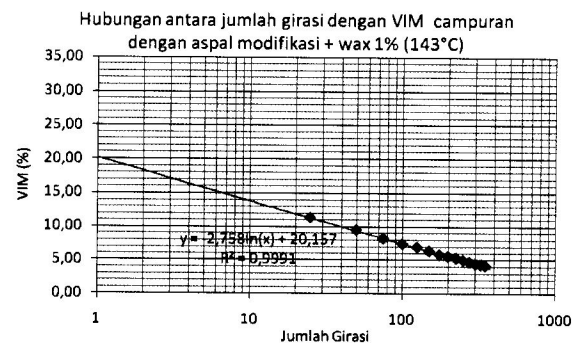
Temperatur pemadatan (° C)	Putaran gyropac ke	Volume (cm ³)	Kepadatan (gr/cc)	<i>VIM</i> (%)
142	1	710,4	1,845	25,65
	25	594,2	2,206	11,11
	50	581,7	2,254	9,19
	75	575,4	2,278	8,20
	100	571,5	2,294	7,57
	125	567,6	2,310	6,93
	150	564,4	2,323	6,42
	175	562,8	2,329	6,15
	200	560,5	2,339	5,76
	225	559,7	2,342	5,63
	250	558,1	2,349	5,36
	275	557,4	2,352	5,23
	300	555,0	2,362	4,83
	325	554,2	2,366	4,69
	350	554,2	2,366	4,69



Gambar 10. Hubungan antara jumlah girasi dan *VIM* (void in mix) untuk Pen 60 dan 1% *wax*

Tabel 8. Rongga dalam campuran dari campuran beraspal dengan aspal modifikasi

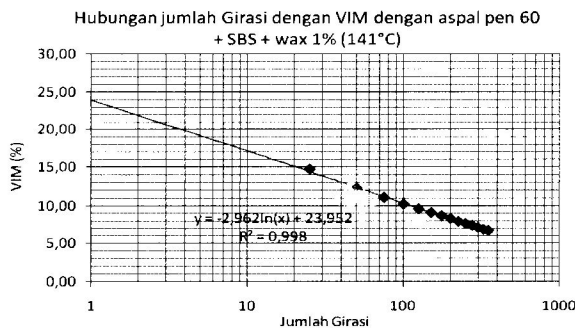
Temperatur pemadatan (° C)	Putaran gyropac ke	Volume (cm ³)	Kepadatan (gr/cc)	<i>VIM</i> (%)
143	1	697,1	1,798	26,90
	25	574,6	2,181	11,32
	50	562,8	2,226	9,46
	75	555,0	2,258	8,18
	100	550,3	2,277	7,39
	125	547,1	2,290	6,86
	150	544,0	2,303	6,32
	175	540,9	2,317	5,78
	200	539,3	2,324	5,51
	225	537,7	2,330	5,23
	250	536,2	2,337	4,95
	275	534,6	2,344	4,67
	300	533,0	2,351	4,39
	325	532,2	2,354	4,25
	350	531,4	2,358	4,11



Gambar 11. Hubungan jumlah girasi dan *VIM* campuran dengan aspal modifikasi dan *wax* 1%

Tabel 9. Rongga dalam campuran dari campuran beraspal dengan aspal Pen 60, *SBS* dan *wax* 1%

Temperatur pemadatan (° C)	Putaran <i>gyropac</i> ke	Volume (cm ³)	Kepadatan (gr/cc)	VIM (%)
141	1	723,0	1,729	29,49
	25	597,4	2,092	14,67
	50	580,9	2,152	12,25
	75	573,1	2,181	11,05
	100	567,6	2,202	10,19
	125	563,6	2,218	9,56
	150	560,5	2,230	9,05
	175	558,1	2,239	8,67
	200	555,8	2,249	8,28
	225	553,4	2,258	7,89
	250	551,9	2,265	7,63
	275	550,3	2,271	7,37
	300	548,7	2,278	7,10
	325	547,1	2,284	6,84



Gambar 12. Hubungan jumlah girasi dengan *VIM* dengan aspal Pen 60, *SBS* dan *wax* 1%

Dari semua hasil percobaan dan perhitungan tersebut, untuk masing masing jenis aspal yang dipergunakan dan berbagai temperatur pemadatan, dibuat grafik hubungan antara jumlah putaran alat pemadat *GCM* dan *VIM* guna mendapatkan nilai “A” yaitu nilai antara perpotongan garis hubungan antara jumlah putaran alat *GCM* terhadap *VIM* tersebut dengan sumbu Y. Contoh hubungan antara jumlah putaran *GCM* dengan *VIM* untuk campuran beraspal dengan aspal Pen 60 dan nilai “A” ditunjukkan pada Gambar 9.

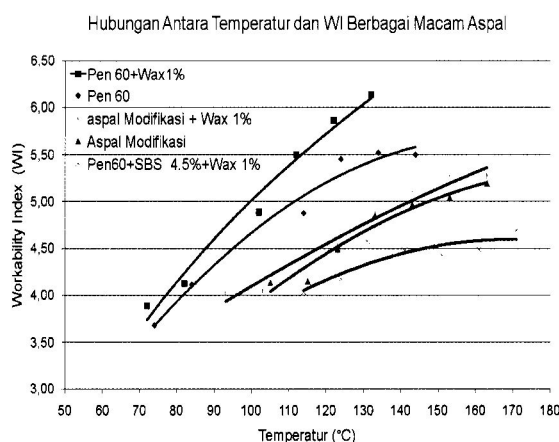
Selanjutnya dilakukan hal yang sama untuk berbagai campuran beraspal dengan aspal lainnya dan berbagai temperatur pemadatan, dimana hasilnya ditunjukkan pada Tabel 10 dan Gambar 13.

Tabel 10. Nilai *WI* dari berbagai campuran

beraspal dengan aspal Pen 60; aspal Pen 60 ditambah bahan tambah *wax* 1%; aspal modifikasi; aspal modifikasi tambah *wax* 1%; aspal Pen 60 ditambah *SBS* dan bahan 1% *wax*.

Jenis campuran	Campuran beraspal dengan aspal Pen 60						
Temperatur pemadatan (° C)	144	134	124	114	84	74	
A	18,18	18,12	18,39	20,53	24,33	27,25	
Nilai <i>WI</i>	5,50	5,52	5,45	4,87	4,11	3,67	
Jenis campuran	Campuran beraspal dengan aspal Pen 60+ <i>SBS</i> + <i>Wax</i> 1%						
Temperatur pemadatan (° C)	171	161	151	141	131	124	114
A	21,32	22,32	22,57	22,37	21,88	23,98	24,81
Nilai <i>WI</i>	4,69	4,48	4,43	4,47	4,57	4,17	4,03
Jenis campuran	Campuran beraspal dengan aspal Pen 60 + <i>wax</i> 1%						
Temperatur pemadatan (° C)	132	122	112	102	82	72	
A	16,31	17,03	18,18	20,45	24,27	25,71	
Nilai <i>WI</i>	6,13	5,87	5,50	4,89	4,12	3,89	
Jenis campuran	Campuran beraspal dengan aspal Modifikasi						
Temperatur pemadatan (° C)	163	153	143	133	123	115	105
A	19,27	19,84	20,16	20,66	22,27	24,09	24,21
Nilai <i>WI</i>	5,19	5,04	4,96	4,84	4,49	4,15	4,13
Jenis campuran	Campuran beraspal dengan aspal Modifikasi + <i>wax</i> 1%						
Temperatur pemadatan (° C)	163	153	143	133	123	103	93
A	18,97	19,01	19,65	20,66	22,17	24,69	24,87
Nilai <i>WI</i>	5,27	5,26	5,09	4,86	4,51	4,05	4,02

Dari Gambar 13 tersebut, terlihat bahwa untuk nilai *workability index* yang sama, campuran beraspal dengan aspal Pen 60 tambah *wax* 1% dapat dicapai pada temperatur yang paling rendah, diikuti dengan campuran beraspal menggunakan aspal Pen 60, kemudian aspal modifikasi yang ditambah *wax* 1%, diikuti dengan aspal modifikasi dan terakhir aspal Pen 60 tambah *SBS* 4,5% dan *wax* 1%. Dari Gambar 13 ini terlihat jelas urutan *workability index* dari masing masing jenis aspal tersebut, dimana campuran dengan aspal Pen 60 tambah *wax* 1% lebih mudah dikerjakan, dari pada campuran aspal Pen 60 saja, diikuti dengan campuran aspal modifikasi tambah *wax* 1%, kemudian aspal modifikasi dan terakhir aspal modifikasi tambah *SBS* tambah *wax* 1%. Pengaruh penambahan *wax* membuat campuran lebih mudah dipadatkan, yang ditunjukkan dengan grafiknya yang terletak disebelah kiri dari aspal yang sama tanpa tambahan *wax*.



Gambar 13. Hubungan antara nilai *WI* pada berbagai temperatur pemadatan dengan berbagai jenis aspal.

Pengujian kepadatan campuran beraspal pada berbagai temperatur

Pengujian kepadatan atau rongga dalam campuran (*VIM*) dari campuran beraspal pada berbagai temperatur, dimaksudkan untuk melihat besarnya kepadatan atau rongga dalam campuran yang bisa dicapai. Hal ini bisa menunjukkan tingkat *workability* dari campuran beraspal tersebut.

Campuran beraspal dengan berbagai jenis aspal pada kadar aspal optimumnya seperti yang disampaikan sebelumnya, dipadatkan dengan alat Marshall sebanyak 2x75 tumbukan. Temperatur pemadatan untuk aspal tanpa bahan tambah dilakukan pada temperatur pemadatan berdasarkan nilai viskositas untuk temperatur pemadatan, sedangkan yang menggunakan bahan tambah dilakukan pada berbagai temperatur pemadatan dari yang tinggi sampai yang rendah. Pada setiap temperatur pemadatan, dihitung parameter campuran seperti stabilitas, kepadatan dan rongga dalam campuran yang bisa didapat sampai batas temperatur yang paling rendah, tetapi masih memenuhi batas – batas ketentuan spesifikasi yang digunakan.

Hasil pengujian terkait dengan temperatur pemadatan minimum terhadap kepadatan dan rongga dalam campuran yang masih dalam batas Spesifikasi Umum revisi 2 (Indonesia 2010), ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Pengujian kepadatan dan *VIM* pada berbagai temperatur

Jenis campuran beraspal	Campuran dengan aspal Pen 60
Temperatur pemadatan (°C)	144 (144)*
γ_d (gr/cc)	2,375
<i>VIM</i> (%)	4
Jenis campuran beraspal	Campuran dengan aspal Pen 60 +wax 1%
Temperatur pemadatan (°C)	112 (142)*
γ_d (gr/cc)	2,369
<i>VIM</i> (%)	4,5
Jenis campuran beraspal	Campuran dengan aspal Modifikasi
Temperatur pemadatan (°C)	163(163)*
γ_d (gr/cc)	2,355
<i>VIM</i> (%)	4,2
Jenis campuran	Campuran dengan aspal Modifikasi +wax 1%
Temperatur pemadatan (°C)	132 (163)*
γ_d (gr/cc)	2,353
<i>VIM</i> (%)	4,4
Jenis campuran beraspal	Campuran dengan aspal Pen 60+SBS+Wax1%
Temperatur pemadatan (°C)	141(171)*
γ_d (gr/cc)	2,328
<i>VIM</i> (%)	4,9

*) temperatur pemadatan berdasarkan viskositas

Dari Tabel 11 tersebut, terlihat bahwa dengan *VIM* yang masih sesuai dengan batasan spesifikasi, temperatur pemadatan dari campuran dengan aspal penetrasi 60 ditambah wax 1% lebih rendah sekitar 30°C dari temperatur pemadatan berdasarkan viskositas. Pada campuran dengan aspal modifikasi yang ditambah wax, temperatur pemadatannya 31°C lebih rendah dari temperatur berdasarkan viskositasnya. Begitu juga temperatur pemadatan dari campuran dengan aspal penetrasi 60 tambah SBS 4,5% tambah wax 1% lebih rendah 30°C dari temperatur pencampuran berdasarkan viskositas sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 11.

Dari Tabel 11 tersebut terlihat, kepadatan dari masing-masing campuran beraspal dengan temperatur yang berbeda dapat dikatakan sama

karena kepadatannya berkisar antara 2,328 sampai 2,375 gr/cc.

Nilai nilai temperatur pemadatan ini berbeda dengan temperatur pemadatan yang berdasarkan batasan viskositas dari *Asphalt Institute* MS2 (*Asphalt Institute* 1993), seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian viskositas aspal untuk berbagai temperatur pengujian, didapat temperatur pemadatan yang didasarkan atas nilai viskositas antara 280 ± 30 cSt untuk aspal Pen 60 dan aspal Pen 60 ditambah *wax* 1%, dapat dikatakan tidak menunjukkan perbedaan karena perbedaannya sangat kecil sekitar $0,2^{\circ}\text{C}$ sampai $0,3^{\circ}\text{C}$, hal ini menunjukkan bahwa *workability* dari campuran dengan aspal tersebut sama saja.

Begitu juga dengan aspal modifikasi dan aspal modifikasi yang ditambah *wax* 1%, temperatur pemadatan yang didasarkan pada nilai viskositas 280 ± 30 cSt juga perbedaannya kecil antara 3°C sampai $3,2^{\circ}\text{C}$. Keadaan ini disebabkan oleh karena kurva viskositas terhadap temperatur antara aspal Pen 60 dan aspal Pen 60 ditambah *wax* hampir berimpitan, hal yang sama didapat untuk aspal modifikasi dan aspal modifikasi tambah *wax* 1%.

Namun kalau kita melihat dari nilai *WI*, terlihat jelas bahwa penambahan *wax* bisa meningkatkan *workability* campuran beraspal, dimana untuk temperatur yang sama, aspal yang mengalami penambahan *wax* mempunyai nilai *WI* yang lebih tinggi daripada aspal tanpa penambahan *wax*, sebagaimana terlihat pada Gambar 13.

Kurva *WI* terhadap temperatur dari aspal Pen 60 ditambah *SBS* 4,5% dan *wax* 1% terletak paling bawah, hal ini dimungkinkan karena penambahan bahan *SBS* yang cukup tinggi sebesar 4,5%.

Selanjutnya dari batasan spesifikasi campuran beraspal sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 3, salah satu parameter yang harus dipenuhi ialah rongga dalam campuran (*VIM*) antara 3-5%. Melalui

percobaan Marshall, target *VIM* 3-5% dapat dicapai dengan temperatur pemadatan 30°C lebih rendah pada campuran dengan bahan tambah *wax* dibanding dengan temperatur pemadatan berdasarkan batasan viskositas, baik pada aspal penetrasi 60, aspal modifikasi maupun aspal Pen 60 tambah *SBS*.

Hal ini menunjukkan bahwa *workability* campuran beraspal yang sama dapat dicapai pada temperatur yang lebih rendah pada campuran dengan menggunakan bahan tambah *wax*. Hal ini sejalan dengan percobaan yang dilakukan oleh Zaumanis (2010) yang menyatakan bahwa penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan dari campuran beraspal dengan bahan tambah, tidak dapat menggunakan dasar viskositas aspal. Temperatur pemadatan yang bisa lebih rendah ini, diperkirakan karena tegangan permukaan aspal yang ditambah *wax* lebih kecil dari tegangan permukaan aspal biasa seperti yang disampaikan oleh Hadisi dan Affandi (2013).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari uraian diatas, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tidak terlihat adanya pola yang konsisten dari pengaruh bahan tambah terhadap korelasi temperatur dan viskositas aspal yang menggunakan bahan tambah.
2. Batasan viskositas aspal untuk penentuan temperatur pemadatan, tidak dapat diterapkan untuk campuran beraspal dengan bahan tambah.
3. Pengujian *Workability Index* campuran beraspal memberikan gambaran yang jelas, tentang tingkat *workability* suatu campuran.
4. Perbedaan temperatur pemadatan yang berdasarkan batasan viskositas aspal dan berdasarkan *VIM* dari campuran yang ditambah *wax* melalui percobaan Marshall, cukup besar sekitar 30°C .
5. Penentuan temperatur pemadatan dari suatu campuran beraspal dengan bahan tambah, lebih cocok didasarkan batasan kepadatan atau *VIM* yang ingin dicapai.

Saran

Penentuan temperatur pemadatan campuran beraspal dengan bahan tambah, sebaiknya didasarkan atas target *VIM (Void In Mix)* yang harus dipenuhi.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. 2012. Resistance to plastic flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. AASHTO T 245-97(2008) . *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling And Testing* , Washington, DC.: AASHTO.
- Asphalt Institute. 1993. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types*. MS -2 Sixth Edition. Lexington: Asphalt Institute.
- Badan Standardisasi Nasional. 2011. *Cara uji viskositas aspal pada temperature tinggi dengan alat saybolt furol*. SNI 7729:2011. Jakarta: BSN.
- Cabrera, J.G and Dixon, J.R. 1994. "Performance and durability of bituminous material". In *Proceeding of symposium* . Leed: University of Leed.
- Fazaeli, H., et.al. 2012. "High and low temperatures properties of FT-Paraffin-modified bitumen". *Advances in Materials Science and Engineering*. 2012: p. 7-
- Gierhart, D. 2009. "Warm mix asphalt – what is it and how can we benefit?". In *SE States Pavement Association Management and Design Conference Southeast Pavement Preservation Partnership Meeting*. Lexington: Asphalt Institute.
- Gudimettla J M, Cooley A, Brown E R. 2003. *Workability for hot mix asphalt*. Technology Report 03 – 03. Auburn: National Center for Asphalt.
- Hadisi dan Affandi 2013. Pengaruh Bahan Tambah Leadcap Terhadap Perubahan Tegangan Permukaan Aspal Pen 60/70. *Proceeding Kolokium Jalan dan Jembatan*. Bandung: Pusjatan
- Indonesia. Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. *Spesifikasi Umum revisi 2*. Jakarta: Ditjen Marga.
- Marvillet, J. and P. Bougalt. 1979. Workability of Bituminous Mixes. Development of a Workability Meter. *Proceedings, Association of Asphalt Paving technologists. Volume 48*. Denver: AAPT
- Read and Whiteoak .2003. *The Shell Bitumen Handbook*. London: Thomas Telford Ltd.
- Siswosoebrotho B I, Ginting K, Soedirdjo T L. 2005." Workability and Resilient Modulus of Asphalt Concrete Mixtures Containing Flaky Aggregate Shape" *Journal of the eastern Asia. of society for transportation studies* Vol 6: pp 1302 – 1312.
- Terrel, R. L., J. A. Epps, and C. Crawford. 1988. *Making the Most of Temperature, Viscosity Characteristics*. Information Series 102. Maryland: NAPA.
- Zaumanis M. 2010. Warm mix asphalt Investigation. Master of Science Thesis, Riga Technical University.