

CAMPURAN BERASPAL HANGAT UNTUK PERKERASAN JALAN

Salah satu faktor yang mempengaruhi umur pakai suatu perkerasan adalah kualitas bahan yang digunakan. Salah satu jenis bahan yang digunakan adalah campuran beraspal hangat. Campuran beraspal hangat adalah campuran dari agregat, aspal, dan air yang digunakan untuk perkerasan jalan. Campuran beraspal hangat memiliki beberapa kelebihan, seperti mudah diproses, tahan lama, dan tahan terhadap cuaca. Campuran beraspal hangat juga memiliki beberapa kekurangan, seperti biaya yang relatif mahal dan memerlukan peralatan khusus untuk produksinya.

Salah satu faktor yang mempengaruhi umur pakai suatu perkerasan adalah kualitas bahan yang digunakan. Salah satu jenis bahan yang digunakan adalah campuran beraspal hangat. Campuran beraspal hangat adalah campuran dari agregat, aspal, dan air yang digunakan untuk perkerasan jalan. Campuran beraspal hangat memiliki beberapa kelebihan, seperti mudah diproses, tahan lama, dan tahan terhadap cuaca. Campuran beraspal hangat juga memiliki beberapa kekurangan, seperti biaya yang relatif mahal dan memerlukan peralatan khusus untuk produksinya.

CAMPURAN BERASPAL HANGAT UNTUK PERKERASAN JALAN



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
JALAN DAN
JEMBATAN

CAMPURAN BERASPAL HANGAT UNTUK PERKERASAN JALAN



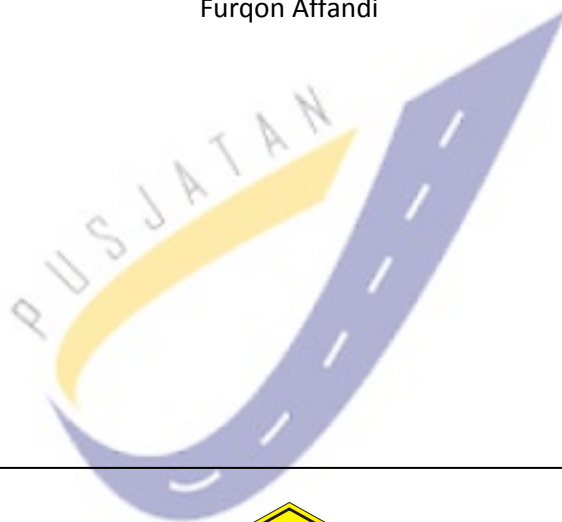
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
JALAN DAN
JEMBATAN





CAMPURAN BERASPAL HANGAT UNTUK PERKERASAN JALAN

Furqon Affandi



INFORMATIKA
Bandung

**CAMPURAN BERASPAL HANGAT UNTUK PERKERASAN JALAN
(Campuran Beraspal Hangat dengan Zeolit Alam)**

Furqon Affandi
(Desember 2011)

Cetakan Ke-1, Desember 2011 (xiv + 66 Halaman)

© Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

No. ISBN : 978-602-8758-60-4
Kode Kegiatan : 04-PPK3-01-149-11
Kode Publikasi : RE-TR-051/ST/2011
Kata Kunci : *Campuran Hangat, Zeolit Alam, Stabilitas Campuran, Penurunan Temperatur Pencampuran, Penurunan Temperatur Pemadatan, Emisi Buang*

Penulis:

Furqon Affandi

Editor :

Dr. Djoko Widayat, M.Sc

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2011, pada paket pekerjaan Campuran Beraspal Hangat Untuk Perkerasan Jalan.

Pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini tidak menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum, unsur pimpinan, maupun instruksi pemerintah lainnya.

Kementerian Pekerjaan Umum tidak menjamin akurasi data yang disampaikan dalam publikasi ini, dan tanggung jawab atas data dan informasi sepenuhnya dipegang oleh penulis.

Kementerian Pekerjaan Umum mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan. Pengguna dibatasi dalam menjual kembali, mendistribusikan atau pekerjaan kreatif turunan untuk tujuan komersil tanpa izin tertulis dari Kementerian Pekerjaan Umum.

Diterbitkan oleh:

Penerbit Informatika - Bandung

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan

info@pusjatan.pu.go.id

TENTANG PUSLITBANG JALAN DAN JEMBATAN

Puslitbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) adalah institusi riset yang dikelola oleh Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Lembaga ini mendukung Kementerian PU dalam menyelenggarakan jalan dengan memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi dan nilai – nilai baru dalam pengembangan infrastruktur.

Pusjatan memfokuskan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna.

KEANGGOTAAN TIM TEKNIS DAN SUBTIM TEKNIS

TIM TEKNIS:

1. Prof (R) Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
2. Ir. Agus Bari Sailendra. MT
3. Ir. I. Gede Wayan Samsi Gunarta, M.Appl.Sc.

4. Prof (R) Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
5. Prof (R) Ir. Lanneke Tristanto, APU
6. Ir. GJW Fernandez
7. Ir. Soedarmanto Darmonegoro
8. DR. Djoko Widayat, MSc.

SUBTIM TEKNIS:

1. Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.
2. Prof (R) Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
3. Prof (R) Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
4. Dr. Djoko Widayat, M.Sc.
5. Ir. Kurniadji, M.T.
6. Dr. Ir. Siegfried, M.Sc.
7. Dr. Ir. Anwar Yamin, M.Sc.



Kata Pengantar

Pada saat ini pembangunan berwawasan lingkungan menjadi perhatian dunia, di mana isu pemanasan global dan penghematan penggunaan bahan bakar menjadi isu utama. Indonesia juga termasuk negara yang mempunyai komitmen penurunan emisi buang dari industri berkaitan dengan pembangunan yang bersifat “*go green*”. Dibidang perkerasan jalan, Indonesia memerlukan aspal sekitar 1,2 sampai 1,3 juta ton per tahun dan banyak banyak sekali digunakan untuk campuran beraspal panas (*hot mix*). Pada cara ini perlu pemanasan yang cukup tinggi di AMP baik untuk aspal maupun agregatnya, sehingga memerlukan bahan bakar dan akan menghasilkan emisi yang cukup tinggi.

Sementara itu di luar negeri telah dikembangkan campuran beraspal hangat, dengan temperatur pencampuran yang lebih rendah dari campuran beraspal panas, di mana aspalnya/campuran beraspalnya ditambah dengan bahan tambah tertentu. Bahan tambah ini bermacam macam, ada yang berbahan dasar kimia, ataupun bahan dasar air. Campuran beraspal hangat ini, dikarenakan temperatur pencampurannya lebih rendah, maka akan bisa

menekan penggunaan bahan bakar dan juga menekan emisi buang. Di Indonesia sendiri ada bahan alam yang dikenal zeolit dalam jumlah yang cukup banyak dan tersebar di berbagai daerah, di mana sifatnya bisa menyerap dan melepaskan air dengan mudah bila dipanaskan. karena sifatnya inilah maka zeolit ini berpotensi untuk dijadikan bahan tambah pada pembuatan campuran beraspal hangat.

Naskah Ilmiah ini merupakan salah satu kontribusi Puslitbang Jalan dan Jembatan dan penyediaan teknologi campuran beraspal hangat yang ramah lingkungan. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi para praktisi, akademisi, maupun pelaksana lapangan.

Bandung, Desember 2011

Furqon Affandi
NIP : 195006301980101001



Daftar Isi

PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
2. KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Pustaka	5
3. HASIL DAN ANALISIS	9
3.1 Hasil Pengujian Aspal dan Aspal yang Ditambah Bahan Tambah	9
3.2 Pengujian Agregat	10
3.3 Garadasi Gabungan Agregat untuk Campuran Beraspal	11
3.4 Campuran Beraspal	12
3.4.1 Campuran Beraspal dengan Aspal Konvensional pen 60	13

3.4.2	Campuran Beraspal dengan Aspal untuk Campuran Hangat	14
3.4.3	Pengaruh Temperatur Pemadatan terhadap Karakterik Campuran Beraspal dengan Marshall..	15
3.4.4	Pengaruh Temperatur Pemadatan terhadap Karakterik Campuran Beraspal dengan Giratory...	17
3.4.5	Pengujian Resilient Modulus Campuran Beraspal.	20
3.4.6	Kuat Tarik Tidak Langsung	21
3.4.7	Ketahanan terhadap Alur	23
3.4.8	Ketahanan terhadap Fatik (<i>Fatigue</i>).....	25
3.5	Sifat Campuran Aspal yang Dicampur dan Dipadatkan pada Temperatur yang Lebih Rendah	26
3.5.1	Sifat Kekuatan dan Volumetrik Campuran	26
3.5.2	Modulus Campuran Beraspal	28
4.	PERCOBAAN CAMPURAN HANGAT DENGAN ZEOLIT ALAM	31
4.1	Sumber Zeolit Alam	31
4.2	Pengelolaan Zeolit untuk Campuran Beraspal	37
4.2.1	Metode Aktifasi secara Fisika	39
4.2.2	Metode Aktifasi secara Kimia	39
4.2.3	Metode Aktifasi secara Fisika-Kimia	40
4.2.4	Metode Aktifasi yang Dipilih	40
4.3	Prinsip Kerja Zeolit dalam Campuran Beraspal Panas.....	41
4.4	Campuran Beraspal dengan Zeolit	42
4.4.1	Sifat Campuran Beraspal	42
4.4.2	Sifat Campuran dengan Temperatur Pencampuran dan Pemadatan yang Lebih Rendah	43
4.4.3	Pengujian Ketahanan Campuran	48
	DAFTAR PUSTAKA	63

Daftar Tabel

Tabel 3.1	Hasil pengujian aspal konvensional pen 60/70	9
Tabel 3.2	Pengujian sifat aspal untuk campuran hangat dengan bahan tambah kimia.....	10
Tabel 3.3	Hasil pengujian agregat kasar, sedang dan abu batu.....	11
Tabel 3.4	Persyaratan gradasi gabungan untuk lapisan aus (<i>wearing course</i>).....	11
Tabel 3.5	Persyaratan campuran beraspal untuk lapisan aus (<i>wearing course</i>).	12
Tabel 3.6	Sifat campuran beraspal dengan aspal konvensional pen 60	13
Tabel 3.7	Sifat campuran beraspal dengan aspal untuk campuran hangat, pada temperatur pencampuran 149°C dan temperatur pemadatan 137 °C.	14
Tabel 3.8	Sifat campuran beraspal yang dipadatkan pada berbagai temperatur.	15
Tabel 3.9	Sifat <i>volumetric</i> dan stabilitas benda uji yang dipadatkan dengan giratory, dengan jumlah 100 kali.....	18
Tabel 3.10	Nilai kuat tarik tak langsung (ITS) dan nilai perbandingan kuat tarik tak langsung (ITSR).....	21
Tabel 3.11	Hasil pengujian ketahanan terhadap alur	23

Tabel 4.1	Karakteristik Deposit di Tasikmalaya.....	31
Tabel 4.2	Komposisi kimia dari zeolit sesuai lokasi nya	32
Tabel 4.3	Komposisi kimia zeolit Bayah	33
Tabel 4.4	Hasil pengujian gradasi dan kadar air zeolit.....	36
Tabel 4.5	Metoda dan hasil aktivasi pada pengolahan zeolit	41
Tabel 4.6	Hasil pengujian campuran beraspal pada kadar aspal optimum dan pada temperatur perkiraan untuk pencampuran/ pematatan	43
Tabel 4.7	Langkah – langkah persiapan contoh sebelum diuji	54
Tabel 4.8	Prakiraan pengurangan CO2 untuk berbagai penurunan temperatur	61



Daftar Gambar

Gambar 2.1	Deposit Zeolit di Tasikmalaya.....	7
Gambar 2.2	Deposit Zeolit di Bogor.....	7
Gambar 3.1	Gradasi agregat gabungan untuk lapisan aus (wearing)	12
Gambar 3.2	Grafik perubahan parameter campuran, dengan temperatur pemadatan yang berbeda pada campuran dengan aspal konvensional pen 60 dan aspal untuk campuran hangat	16
Gambar 3.3	Grafik perubahan parameter campuran, dengan temperatur pemadatan yang berbeda pada campuran dengan aspal konvensional pen 60 dan aspal untuk campuran hangat	17
Gambar 3.4	Hubungan antara VIM dengan jumlah girasi pada berbagai temperature pemadatan	18
Gambar 3.5	Grafik perubahan parameter campuran, dengan temperatur pemadatan yang berbeda pada campuran dengan aspal konvensional pen 60 dan aspal untuk campuran hangat.	19

Gambar 3.6	Grafik perubahan parameter campuran, dengan temperatur pemadatan yang berbeda pada campuran dengan aspal konvensional pen 60 dan aspal untuk campuran hangat.	20
Gambar 3.7	Grafik Pengaruh temperatur terhadap Resilient Modulus	21
Gambar 3.8	Nilai ITS yang dilakukan secara langsung	22
Gambar 3.9	Nilai ITS yang dilakukan pada benda uji yang telah mengalami rendaman	22
Gambar 3.10	Nilai perbandingan kuat tarik tidak langsung (ITSR)	22
Gambar 3.11	Grafik ketahanan terhadap alur	24
Gambar 3.12	Grafik regangan dan jumlah pengulangan beban pada pengujian fatik.....	25
Gambar 3.13	Hubungan antara temperatur pencampuran./ pemadatan dengan kepadatan	27
Gambar 3.14	Hubungan antara temperatur pencampuran./ pemadatan dengan VIM.....	27
Gambar 3.15	Hubungan antara temperatur pencampuran./ pemadatan dengan Stabilitas.....	27
Gambar 3.16	Hubungan antara temperatur pencampuran./ pemadatan dengan Marshall Quotient.....	27
Gambar 3.17	Modulus campuran beraspal hangat dan campuran aspal konvensional yang dicampur dan dipadatkan pada berbagai temperatur.....	29
Gambar 4.1	Deposit zeolit alam di daerah Tasikmalaya (Cipatujah)	33
Gambar 4.2	(a) Deposit zeolit di Banten (Bayah); (b) Mesin pemecah zeolit di lokasi Bayah (Banten)	34
Gambar 4.3	Zeolit dari Sukabumi, yang sudah dipecah.....	34
Gambar 4.4	Mesin pemecahan zeolit (Pabrik I).....	35
Gambar 4.5	Penyaringan zeolit (Pabrik I)	35
Gambar 4.6	Alat pemasok zeolit ke karung (Pabrik I).....	35
Gambar 4.7	Zeolit yang siap dalam karung (Pabrik I)	35
Gambar 4.8	Bahan dasar zeolit (Pabrik II).....	36
Gambar 4.9	Mesin pemecah zeolit (Pabrik II).....	36

Gambar 4.10	Penyaringan zeolit hasil pecah (Pabrik II)	36
Gambar 4.11	Zeolit siap kirim (Pabrik II).....	36
Gambar 4.12	Contoh zeolit belum diaktivasi dari pabrik I dan pabrik II	37
Gambar 4.13	Bongkahan zeolit yang siap di pecah	38
Gambar 4.14	Mesin pemecah agregat, digunakan memecah zeolit .	38
Gambar 4.15	Penghalusan butiran zeolit.....	38
Gambar 4.16	Penyaringan zeolit hasil penghalusan dengan # 200	38
Gambar 4.17	Proses Kalsinasi, zeolit dipanaskan dalam tanur.....	39
Gambar 4.18	Proses kalsinasi Kimia.....	40
Gambar 4.19	Karakteristik campuran dengan aspal pen 60 (P60/70) dan campuran yang ditambah zeolit 1%.....	46
Gambar 4.20	Batasan temperatur pencampuran dan pemadatan	47
Gambar 4.21	Grafik ketahanan deformasi yang diuji dengan wheel tracking machine	48
Gambar 4.22	Grafik pelepasan butir campuran dengan zeolit.....	49
Gambar 4.23	Pengaruh temperature terhadap modulus campuran beraspal	49
Gambar 4.24	Benda uji dengan dan tanpa zeolit yang telah diuji Cantabro.....	50
Gambar 4.25	Hubungan antara VIM dan jumlah tumbukan, campuran dengan zeolit.....	52
Gambar 4.26	Hubungan antara VIM dan jumlah tumbukan, campuran tanpa zeolit.....	53
Gambar 4.27	Benda uji untuk penentuan VIM – rongga dalam campuran 7%.....	53
Gambar 4.28	Pengkondisian contoh untuk uji Kuat Tarik Tidak Langsung (ITSR)	55
Gambar 4.29	Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (ITSR).....	55
Gambar 4.30	Penampang belahan benda uji setelah pengujian ITS, campuran tanpa zeolit	56
Gambar 4.31	Penampang belahan benda uji setelah pengujian ITS, campuran dengan zeolit.....	56
Gambar 4.32	Perbandingan hasil pengujian kuat tarik tidak langsung	57

Gambar 4.33	Contoh benda uji untuk pengujian fatik.....	58
Gambar 4.34	Alat Pengujian fatik	59
Gambar 4.35	Grafik ketahanan fatik dari campuran tanpa dan dengan zeolit.....	59
Gambar 4.36	Kecepatan penurunan temperatur dari campuran.....	61



1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Panjang jaringan jalan di Indonesia tahun 2008 sudah mencapai 372.173 km yang meliputi jalan nasional 9,30%, jalan provinsi 13,08% jalan kabupaten/kota 77,43% dan jalan tol 0,18% (Ditjen Bina Marga 2008). Sekitar 98 % dari jalan yang diperkeras pada jalan nasional ialah perkerasan lentur (Widayat 2009) sedangkan sisanya ialah perkerasan beton.

Untuk memenuhi keperluan pembangunan dan pemeliharaan perkerasan lentur tersebut setiap tahun diperlukan aspal sekitar 1,2 – 1,3 juta ton dimana sekitar 900.000 ton untuk jalan nasional dan 300.000 – 400.000 ton untuk jalan di daerah (Danis Sumadilaga, 2007). Bila dianggap semua jenis campuran yang digunakan ialah campuran beraspal panas (*hot mix*) dengan perkiraan rata rata kadar aspal dalam campuran 6%, maka akan menghasilkan $(100/6) \times 1,3 \text{ juta ton} = 21,6 \text{ juta ton}$ campuran beraspal panas.

Sesuai dengan nama dan sifatnya, campuran beraspal panas (*hot mix*) tersebut memerlukan pemanasan pada suhu tertentu yang cukup tinggi pada *Asphalt Mixing Plant* (AMP), sesuai dengan jenis aspal yang

digunakannya, untuk mendapatkan campuran dengan hasil yang baik. Akibat dari ini, diperlukan bahan bakar yang cukup banyak serta akan menghasilkan emisi buang yang besar pula. Padahal saat ini, penggunaan bahan bakar harus diminimalkan mengingat cadangan minyak bumi yang semakin menipis. Selain itu masalah lainnya ialah *global warming*, yang salah satunya perlu menekan emisi buang dari bidang Industri, di mana Indonesia sesuai perjanjian Kyoto, telah menyepakati akan menurunkan emisi buang dan sekaligus meningkatkan program pembangunan ramah lingkungan.

Di bidang konstruksi perkerasan jalan lentur, khususnya pada campuran beraspal, salah satu hal yang bisa diupayakan untuk menekan penggunaan bahan bakar dan emisi buang, ialah dengan membuat campuran beraspal yang suhu pencampurannya lebih rendah dari yang umum saat ini, yang dikenal dengan campuran hangat.

Dalam membuat campuran beraspal hangat ini, berbagai produk bahan tambah telah dihasilkan dengan berbagai pendekatan teknisnya, antara lain dengan menggunakan media air sebagai bahan tambahnya, atau menggunakan bahan tambah yang bersifat kimia.

Penggunaan campuran beraspal hangat di luar negeri telah berkembang, dengan berbagai jenis bahan tambahnya. Beberapa jenis bahan tambah ini bisa menurunkan temperatur pencampuran sampai 40%. Campuran dengan bahan tambah untuk campuran hangat ini, bisa membuat campuran dengan temperatur 121 °C atau lebih rendah. Ini berarti ada penghematan biaya untuk penggunaan bahan bakar bagi kontraktor. Dari pengamatan berdasarkan percobaan, penghematan penggunaan bahan bakar pada campuran hangat ini bisa mencapai sampai 30% (*The Asphalt Pavement Association of Oregon*, 2003).

Temperatur campuran yang lebih rendah, juga berarti pengurangan pada emisi. Keuntungan lainnya dari campuran beraspal hangat, dilihat dari sisi

teknis ialah oksidasi pada campuran beraspal menjadi lebih rendah sejalan dengan rendahnya temperatur pencampuran, yang selanjutnya juga mengurangi retak *thermal*, retak blok, dan mencegah campuran beraspal mengalami kerusakan ketika dihampar dan dipadatkan.

Campuran beraspal hangat di Indonesia belum dikembangkan, padahal persoalan menekan penggunaan bahan bakar bahkan sampai mencari alternatif pengganti bahan bakar tengah diupayakan.

Jenis bahan tambah lainnya untuk campuran beraspal hangat di luar negeri yang telah dikembangkan, ialah dengan menggunakan zeolit buatan dengan berbagai merek dagangnya, seperti Aspha - Min dan Advera.

Sementara Indonesia banyak mempunyai kekayaan alam yang berupa zeolit, yang tersebar di beberapa tempat seperti di Provinsi Jawa Barat (Kabupaten Sukabumi, Bogor, Tasikmalaya), Provinsi Jawa Tengah (Wonogiri, kabupaten Klaten), serta Sulawesi Barat (Kabupaten Mamasa dan Kabupaten Majene mengandung 43 juta ton (Harian Republika Indonesia). Zeolit alam ini, mempunyai sifat mudah menyerap air dan melepaskannya bila kena panas, sehingga punya potensi untuk bahan tambah pada campuran beraspal hangat.



2

KAJI AN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Salah satu sifat yang diperlukan dalam membuat campuran beraspal panas di AMP, ialah perlunya temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan yang cukup tinggi, sesuai dengan jenis dan *grade* aspal yang digunakan, guna mendapatkan kualitas yang memuaskan.

Temperatur pencampuran dan pemadatan didasarkan atas sifat viskositas dari aspal tersebut, di mana temperatur pencampuran harus berada pada temperatur yang mempunyai viskositas 170 ± 20 cSt sedangkan untuk temperatur pemadatan viskositas aspalnya antara 280 ± 30 cSt (*Asphalt Institute, mix design 1993*).

Secara umum, selain sifat agregat dan aspalnya, sifat campuran beraspal yang baik, harus memenuhi beberapa ketentuan yang sudah disyaratkan pada spesifikasi.

Pada campuran beraspal hangat, hasil penyelimutan agregat dan pemadatan yang sama didapat dengan melakukan penambahan bahan tambah pada aspal atau pada agregat bersamaan dengan penambahan

aspal, tetapi dengan suhu yang lebih rendah. Fungsi bahan tambah dengan memanfaatkan air yang dikandungnya, bisa untuk memperbesar volume aspal sewaktu pencampuran dan sekaligus memudahkan tingkat pengerjaan pencampuran maupun pemadatan (Hurley G.C dan Prowel B.D). Tipe bahan tambah lainnya ialah sebagai “asphalt flow improver” di mana bahan tersebut bisa menurunkan viskositas aspal, sehingga akan menurunkan temperatur yang diperlukan untuk pencampuran maupun pemadatan. (Damm, K – W, J. Abraham, T. Butz, G. Hilderbrand and G. Riebeschl. April 20020).

Salah satu bahan tambah untuk campuran hangat ialah Aspha – min® yang berasal dari Jerman. Aspha- min® dibuat dari sodium aluminium *silicate* sintesis dengan rongga yang besar dan dapat menahan dan melepaskan air dengan cepat tanpa merusak struktur *crystal*-nya, yang lebih dikenal dengan nama Zeolit.

Pada umumnya zeolit alam dibentuk oleh reaksi dari air pori dengan berbagai material seperti gelas, *poorly cristalline clay*, plagioklas maupun silika, sedangkan zeolit sintesis dimana mineral buaatannya tidak dapat sama dengan mineral pada zeolit alam (Rodhie Saputra, 2006)

Deposit zeolit alam banyak terdapat di Indonesia, di mana potensi bahan tambang zeolit ini sangat melimpah. Hampir setiap daerah yang memiliki pegunungan kapur maka di situlah kaya akan zeolit, di antaranya di Provinsi Jawa Barat (Kabupaten Sukabumi, Bogor, Tasikmalaya), Provinsi Jawa Tengah (Wonogiri, kabupaten Klaten), serta Sulawesi Barat (Kabupaten Mamasa dan Kabupaten Majene mengandung 43 juta ton (Harian Republik Indonesia). Zeolit dikenal sebagai bahan yang bisa menyimpan air, dan mudah untuk diolah. (Mulyanto, B dan Suwardi, 2006). Contoh deposit zeolit di Propinsi Jawa Barat, Indonesia ditunjukkan pada Gambar 1a dan 1b.



Gambar 2.1 Deposit Zeolit di Tasikmalaya



Gambar 2.2 Deposit Zeolit di Bogor

Bahan tambah lainnya untuk campuran hangat ialah yang dikenal dengan merek dagang Sasobit, yang merupakan bahan dari **zeolit buatan**. Bahan tambah lainnya yang terbuat dari wax, misalnya LEADCAP yang diproduksi dan digunakan di Korea Selatan, yang bisa menurunkan temperatur pencampuran sebesar 30 °C (Dong Woo Cho, 2011)

Sejak tahun 1997, lebih dari 142 proyek telah dilaksanakan perkerasan dengan menggunakan Sasobit dengan jumlah 2.271.499 m², yang dilaksanakan di beberapa Negara seperti Austria, Belgia, Cina, Denmark, Perancis, Jerman, Hongaria, Itali, Macau, Malaysia, Belanda, Selandia Baru, Rusia, Afrika Selatan, Swedia, Switzerland, Inggris dan Amerika Serikat dengan berbagai jenis campuran beraspal seperti campuran beraspal bergradasi rapat, *Stone Mastic Asphalt* dan *Gussasphalt*. Penggunaan Sasobit sekitar antara 0,8 sampai 4% dari berat aspal (Hurley G.C and Prowel B.D).

Jenis lainnya ialah Evotherm[®] yang dasarnya ialah merupakan satu paket kimia, yang di dalamnya sudah termasuk aditif untuk perbaikan kelekatan terhadap agregat (*coating*) dan kemudahan kerja, meningkatkan adhesi dan emulsifikasi *agent*, dengan penggunaan sekitar 0,5 % dari berat aspal (Evoterm).



3

HASIL DAN ANALISIS

3.1 Hasil pengujian Aspal dan Aspal yang Ditambah Bahan Tambah

Pengujian aspal dilakukan pada aspal tanpa bahan tambah dengan *grade* 60/70 dan aspal yang telah dicampur dengan bahan tambah sebelumnya. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Hasil pengujian aspal konvensional pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode	Hasil	Spesifikasi ^{*)}	Satuan
		Pengujian	Pengujian		
1.	Penetrasi pada 25 °C, 100 g, 5 detik	SNI 06-2456-1991	65.3	60 - 70	Dmm
2.	Titik lembek	SNI 06-2434-1991	50.9	≥ 48	°C
3.	Daktilitas pada 25 °C, 5 cm / menit	SNI 06-2432-1991	>140	≥ 100	Cm
4.	Titik nyala (COC)	SNI 06-2433-1991	-	≥ 232	°C
5.	Kelarutan dalam C ₂ HCL ₃	SNI 06-2438-1991	99.63	≥ 99	%
6.	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	1.0359	≥ 1,0	-
7.	Kehilangan berat (TFOT)	SNI 06-2440-1991	0.0174	≤ 0,8	%
8.	Penetrasi setelah TFOT	SNI 06-2456-1991	83.9	≥ 54	%
9.	Titik lembek setelah TFOT	SNI 06-2434-1991	53.4	-	°C
10.	Daktilitas setelah TFOT	SNI 06-2432-1991	>140	≥ 100	Cm
11.	Kadar parafin	SNI 03-3639-1994	-	≤ 2	%

No.	Jenis Pengujian	Metode	Hasil	Spesifikasi ^{*)}	Satuan
		Pengujian	Pengujian		
12.	Perkiraan suhu pencampuran	ASSHTO-27-1990	154-160	-	°C
13.	Perkiraan suhu pemadatan	ASSHTO-27-1990	143-147	-	°C
14.	Uji bintik dengan Hephtane - Xylene	SNI-03-6885-2002	-	Negatif	-

- Catatan : Spesifikasi yang digunakan ialah spec. Departemen Pekerjaan Umum, Bina Marga 2006

Tabel 3.2 Pengujian sifat aspal untuk campuran hangat dengan bahan tambah kimia

No.	Jenis Pengujian	Metode	Hasil	Spesifikasi ^{*)}	Satuan
		Pengujian	Pengujian		
1.	Penetrasi pada 25 °C, 100 g, 5 detik	SNI 06-2456-1991	63	60 - 70	Dmm
2.	Titik lembek	SNI 06-2434-1991	49.8	≥ 48	°C
3.	Daktilitas pada 25 °C, 5 cm / menit	SNI 06-2432-1991	>140	≥ 100	Cm
4.	Titik nyala (COC)	SNI 06-2433-1991	-	≥ 232	°C
5.	Kelarutan dalam C ₂ HCL ₃	SNI 06-2438-1991	99.637	≥ 99	%
6.	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	1.0359	≥ 1,0	-
7.	Kehilangan berat (TFOT)	SNI 06-2440-1991	0.0573	≤ 0,8	%
8.	Penetrasi setelah TFOT	SNI 06-2456-1991	84.1	≥ 54	%
9.	Titik lembek setelah TFOT	SNI 06-2434-1991	53.6	-	°C
10.	Daktilitas setelah TFOT	SNI 06-2432-1991	>140	≥ 100	Cm
11.	Kadar parafin	SNI 03-3639-1994	-	≤ 2	%
12.	Perkiraan suhu pencampuran	ASSHTO-27-1990	146-152	-	°C
13.	Perkiraan suhu pemadatan	ASSHTO-27-1990	135-138	-	°C
14.	Uji bintik dengan Hephtane - Xylene	SNI-03-6885-2002	-	Negatif	-
15.	Coffe cup test	--	-	-	-

- Catatan : Spesifikasi yang digunakan ialah spec. Departemen Pekerjaan Umum, Bina Marga 2006

3.2 Pengujian Agregat

Pengujian agregat dilakukan terhadap dua macam agregat, yaitu agregat kasar dan agregat halus, yang ke dua duanya diambil dari sumber yang sama yaitu dari P.T Kadi, di Karawang Timur.

Hasil pengujian sifat sifat teknis agregat disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Hasil pengujian agregat kasar, sedang dan abu batu

JENIS PENGUNJUN	AGREGAT KASAR (mm)	AGREGAT SEDANG (mm)	ABU BATU (mm)	PERSYARATAN		BATU/ASI
				Agregat Kasar	Agregat Halus	
TEKSTUR						
BAW	2.551	2.649	2.662			
SSB	2.555	2.687	2.688			
Aspalment	2.714	2.704	2.710			
POVOCIDAN	1.425	1.449	1.506			8%
AB 348	15.73			Maks 20		8%
KERATAN				Maks 10		8%
LOLOS 200				Maks 1	Maks 3	8%
UNDALANLEMBUNG						8%
ANTRILARTAS KURANG	58.105.55	29.78		50.93	Min 40	8%
ANGSURITAS HALUS			32.5			8%
SARUFEMUNALANI				Min 35		8%
KETIKATAN		81 +				8%
ANALISA BERINGAN						8%
20.4 (17)	100					8% kelas
19.1 (24.1)	95.3					8% kelas
15.7 (10.7)	90.1					8% kelas
9.52 (7.0)	6.4	133				8% kelas
No.4	4.2	85.3	100			8% kelas
No.8	1.7	44.0	33.8			8% kelas
No.16	0.8	7.5	41.3			8% kelas
No.30	0.4	2.7	31.0			8% kelas
No.60	0.2	3.3	57.4			8% kelas
No.100	0.1	2.5	11.3			8% kelas
No.200	0.0	1.0	23.3			8% kelas
No.200	0.0	1.2	15.7			8% kelas

3.3 Gradasi Gabungan Agregat untuk Campuran Beraspal

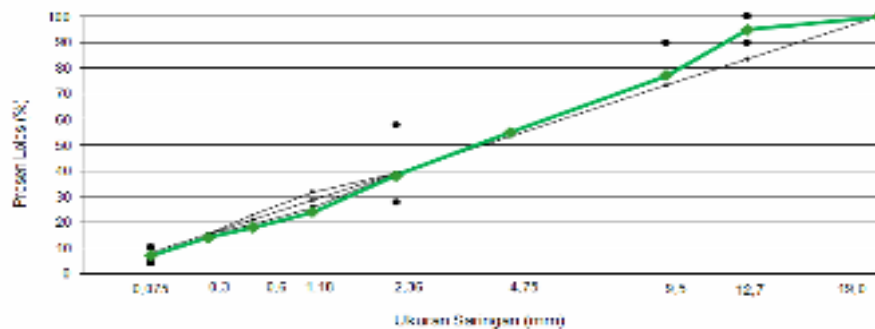
Gradasi agregat untuk campuran beraspal, didasarkan pada spesifikasi lapisan *wearing course*, Departemen Pekerjaan Umum, Bina Marga Tahun 2006.

Adapun batasan gradasi agregat campuran tersebut, dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Persyaratan gradasi gabungan untuk lapisan aus (*wearing course*)

Saringan	Ukuran saringan								
	¾"	½"	3/8"	No 4	No.8	No.16	No.30	No 50	No.200
ASTM	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,075
(mm)	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,075
% berat lolos	100	90 - 100	Maks 90	-	28 - 58	-	-	-	4 - 10
Daerah Larangan	-	-	-	-	39,1	25,6 - 31,6	19,1 - 23,1	15,5	-

Berdasarkan hasil pengujian gradasi agregat yang telah dilakukan, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.4, maka dibuat campuran agregat dari ketiga bahan tersebut, yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Gradasi agregat gabungan untuk lapisan aus (*wearing*)

3.4 Campuran Beraspal

Sifat campuran beraspal mengacu pada spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum, Bina Marga 2006, untuk lapisan aus (*wearing course*) seperti disajikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Persyaratan campuran beraspal untuk lapisan aus (*wearing course*).

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		WC	BC	Base
Penyerapan aspal (%)	Maks.	1,2		
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽¹⁾
Rongga dalam campuran (%) ⁽³⁾	Min.	3,5		
	Maks	5,5		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	63	60
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800		1500 ⁽¹⁾
Pelelehan (mm)	Min.	3,5		5,5 ⁽¹⁾
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250		300
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C ⁽⁴⁾	Min.	75		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membatal (refusal) ⁽²⁾	Min.	2,5		

3.4.1 Campuran Beraspal dengan Aspal Konvensional pen 60

Untuk mendapatkan pembandingan dari campuran beraspal hangat yang akan dicoba, terlebih dahulu dibuat campuran beraspal sesuai spesifikasi yang diacu, dengan menggunakan jenis aspal konvensional pen 60, dengan menggunakan metoda Marshall.

Percobaan Marshall dilakukan pada kadar aspal antara 5% sampai 7% dengan kenaikan setiap 0,5%, yang dilakukan pada temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan sesuai dengan hasil pengujian aspal konvensional pen 60 yang akan dipergunakan. Berdasarkan hasil pengujian aspal konvensional pen 60, temperatur pencampuran didapat antara 154 – 160 °C, sedangkan temperatur pemadatan antara 143 – 147 °C, di mana ditetapkan untuk percobaan ini suhu pencampuran 157 C dan temperatur pemadatan 145 °C.

Berdasarkan hasil percobaan Marshall tersebut diperoleh kadar aspal optimum 5.9%, dengan sifat campuran seperti ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Sifat campuran beraspal dengan aspal konvensional pen 60

Marshall Suhu Normal Pengujian Pada KAO	Temp. pencampuran/Pemadatan 157°C / 145° C	Persyaratan
Kadar Aspal	5.9	
Kepadatan (t/m ³)	2.357	-
VMA (%)	16.31	min 15
VIM (%)	4.04	3.5 - 5.5
VFB (%)	75.35	min 65
Stabilitas (kg)	1245.1	min 800
Stabilitas Rendaman (kg)	1104.9	-
Persen Stabilitas Sisa (%)	88.7	min 75
Kelelehan (mm)	3.84	min 3
MQ (kg/mm)	310.8	min 250

3.4.2 Campuran Beraspal dengan Aspal untuk Campuran Hangat

Percobaan Marshall dengan aspal untuk campuran hangat ini, pertama tama dilakukan berdasarkan temperatur pencampuran dan pemadatan yang didapat dari hasil pengujian aspal di laboratorium, di mana temperatur pencampuran berkisar antara 146-152°C sedangkan temperatur pemadatan antara 135-138 °C.

Selanjutnya percobaan Marshall ini, ditujukan untuk mendapatkan kadar aspal optimum dan sifat kekuatan serta sifat volumetrilnya, dengan melakukan pembuatan benda uji dengan kadar aspal yang bervariasi mulai dari 5% sampai 7%, dengan perbedaan kadar aspal 0,5%, sedangkan temperatur pencampuran ditentukan 149°C dan temperatur pemadatan 137 °C.

Hasil pengujian ini, dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Sifat campuran beraspal dengan aspal untuk campuran hangat, pada temperatur pencampuran 149 °C dan temperatur pemadatan 137 °C.

Sifat Marshall	Temp. pencamp/pemadatan 149°C / 137 °C	Persyaratan
Kadar Aspal (%)	5.9	-
Kepadatan (t/m ³)	2.345	-
VMA (%)	16.75	min 15
VIM (%)	4.54	3.5 - 5.5
VFB (%)	73.1	min 65
Stabilitas (kg)	979	min 800
% Stabilitas Sisa	97.7	75
Kelelehan (mm)	3.86	min 3
MQ	259	min 250

3.4.3 Pengaruh Temperatur Pemadatan terhadap Karakterik Campuran Beraspal dengan Marshall

Untuk mengetahui pengaruh temperatur pemadatan, terhadap sifat campuran beraspal, maka dilakukan dua macam penurunan temperatur, yaitu

1. pertama penurunan temperatur pada pemadatan saja, sedangkan temperatur pencampuran tetap, dan
2. kedua ialah dilakukan penurunan temperatur baik pada temperatur pencampuran maupun temperatur pemadatan.

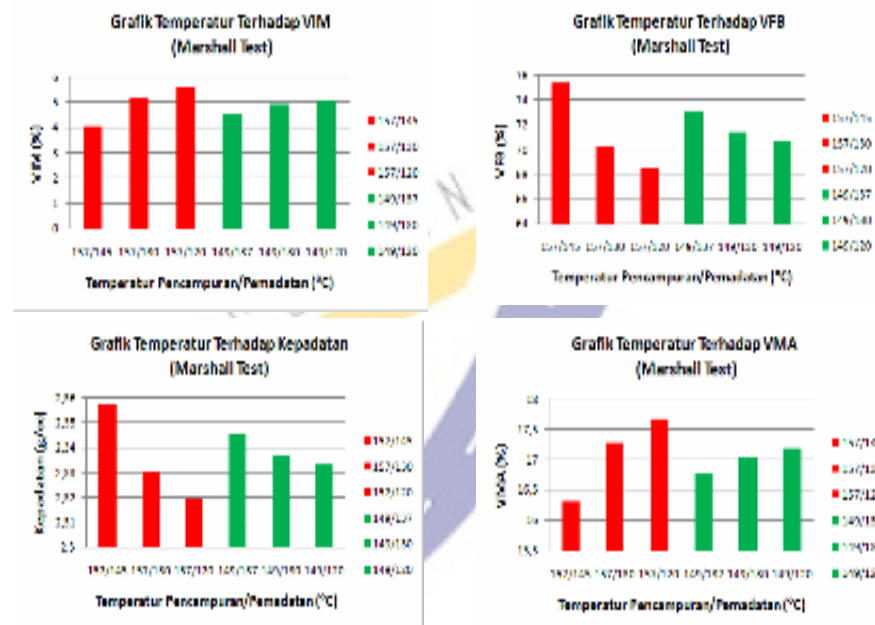
Penurunan temperatur yang dilakukan pada saat pemadatan saja, sedangkan temperatur pencampuran tetap sesuai dengan temperatur berdasarkan viskositas aspal yang harus dicapai, dimaksudkan untuk mendapatkan temperatur pemadatan minimum yang masih dapat dilakukan di mana sifat campuran beraspalnya masih memenuhi ketentuan yang ditetapkan. Untuk itu dilakukan pengujian benda uji campuran beraspal, yang telah dicampur pada temperatur pencampuran, sedangkan temperatur pemadatan dilakukan pada temperatur 145; 130 dan 120 untuk campuran dengan aspal konvensional serta 137; 130 dan 120 untuk campuran yang menggunakan aspal untuk campuran hangat. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8 Sifat campuran beraspal yang dipadatkan pada berbagai temperatur.

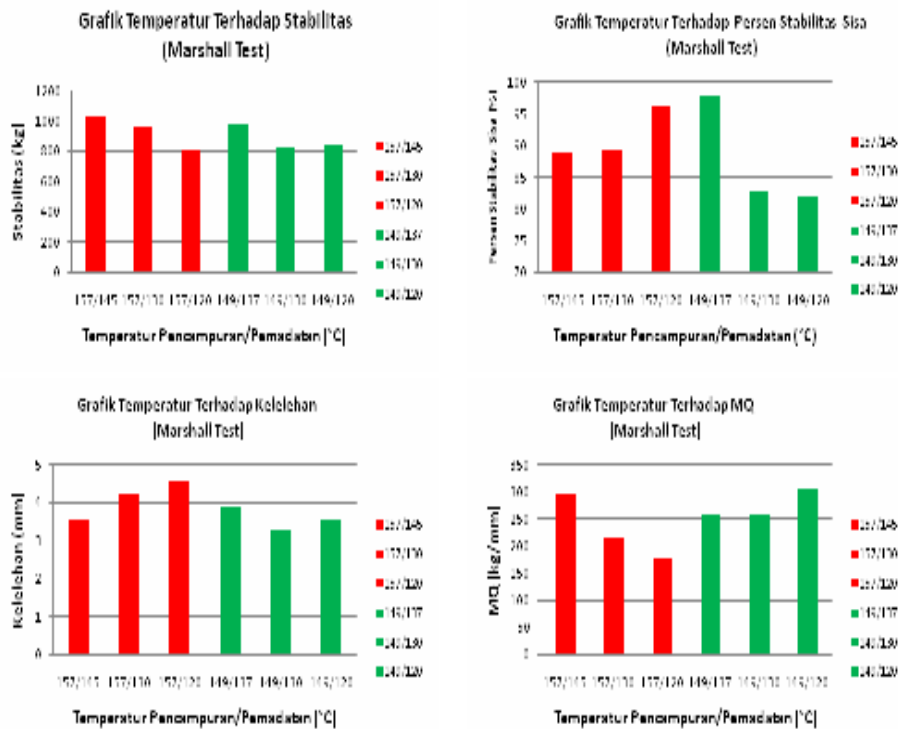
Marshall /Suhu (C)	Aspal konvensional pen 60			Aspal Campuran Hangat			Persyaratan
	157/145	157/130	157/120	149/137	149/130	149/120	
Kadar Aspal	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	-
Kepadatan (t/m ³)	2.341	2.33	2.320	2.345	2.337	2.329	-
VMA (%)	16.8	17.28	17.66	16.75	17.05	17.1	min 15
VIM (%)	4.64	5.15	5.58	4.54	4.88	4.93	3.5 - 5.5
VFB (%)	72.53	70.27	68.45	73.1	70.46	71.24	min 65

	Aspal konvensional pen 60			Aspal Campuran Hangat			Persyaratan
Marshall /Suhu (C)	157/145	157/130	157/120	149/137	149/130	149/120	
Stabilitas (kg)	1032	967.9	810.4	979	828	846	min 800
% Stabilitas Sisa	88.7	89.4	96.2	97.7	82.6	82.1	75
Kelelahan (mm)	3.56	4.23	4.6	3.86	3.27	3.55	min 3
MQ (kg/mm)	294	215.2	175.2	259	259	304	min 250

Untuk mempermudah melihat perbandingan dari setiap parameter campuran beraspal, maka dibuat grafik yang menyatakan nilai setiap parameter parameter dari hasil pengujian dengan benda uji yang dipadatkan pada temperatur pemadatan yang berbeda. Grafik grafik tersebut, dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3



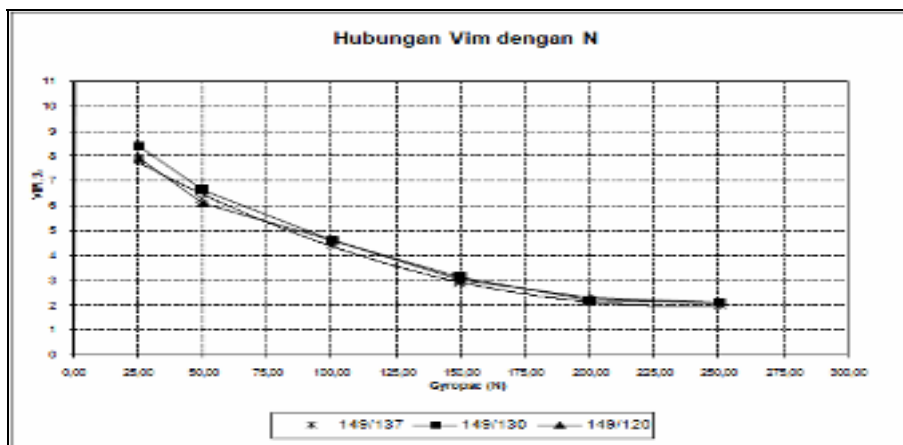
Gambar 3.2 Grafik perubahan parameter campuran, dengan temperatur pemadatan yang berbeda pada campuran dengan aspal konvensional pen 60 dan aspal untuk campuran hangat



Gambar 3.3 Grafik perubahan parameter campuran, dengan temperatur pemadatan yang berbeda pada campuran dengan aspal konvensional pen 60 dan aspal untuk campuran hangat

3.4.4 Pengaruh Temperatur Pemadatan terhadap Karakter Campuran Beraspal dengan Giratory

Untuk mengetahui sifat campuran beraspal hangat lebih lengkap, maka dilakukan pemadatan contoh dengan menggunakan alat pemadat giratory pada berbagai temperatur pemadatan. Temperatur pencampuran dan pemadatan yang diambil ialah 149/137; 149/130; dan 149/120 C, yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Hubungan antara VIM dengan jumlah girasi pada berbagai temperatur pemadatan

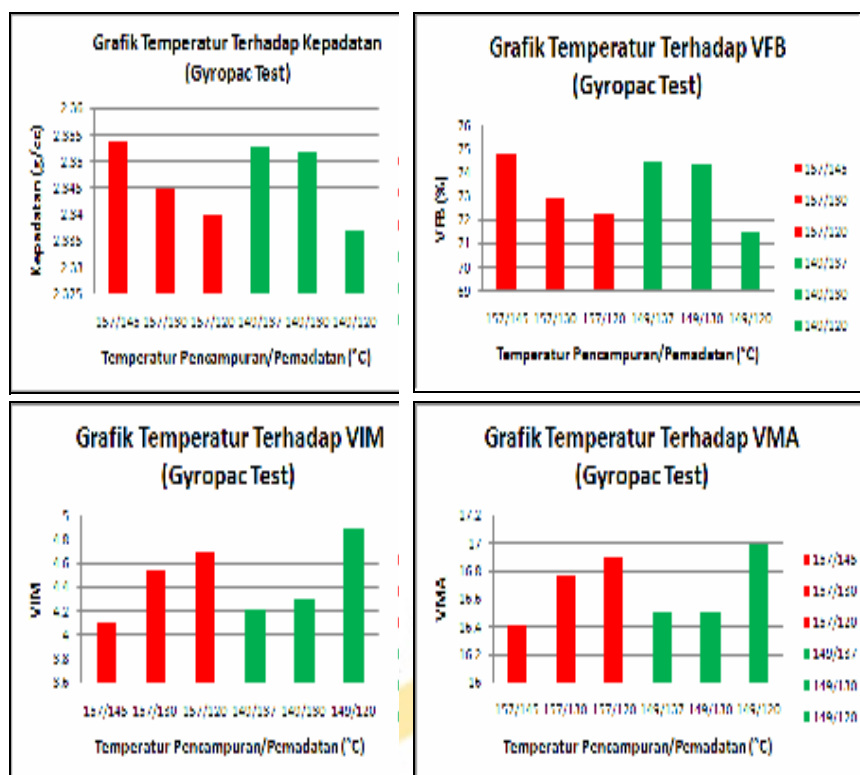
Dari grafik tersebut terlihat, bahwa pengaruh temperatur pemadatan, hanya memberikan perbedaan VIM yang sangat sedikit sekali, sehingga dalam pengujian selanjutnya, jumlah girasi diambil sama yaitu 100, berdasarkan target VIM yang diinginkan sebesar 4,5%.

Benda uji yang dipadatkan dengan menggunakan alat pemadat Giratory, selanjutnya diuji sifat sifat volumetriknya serta kepadatan dan juga stabilitasnya dengan menggunakan alat Marshall. Hasil pengujian tersebut, diperlihatkan pada Tabel 3.9.

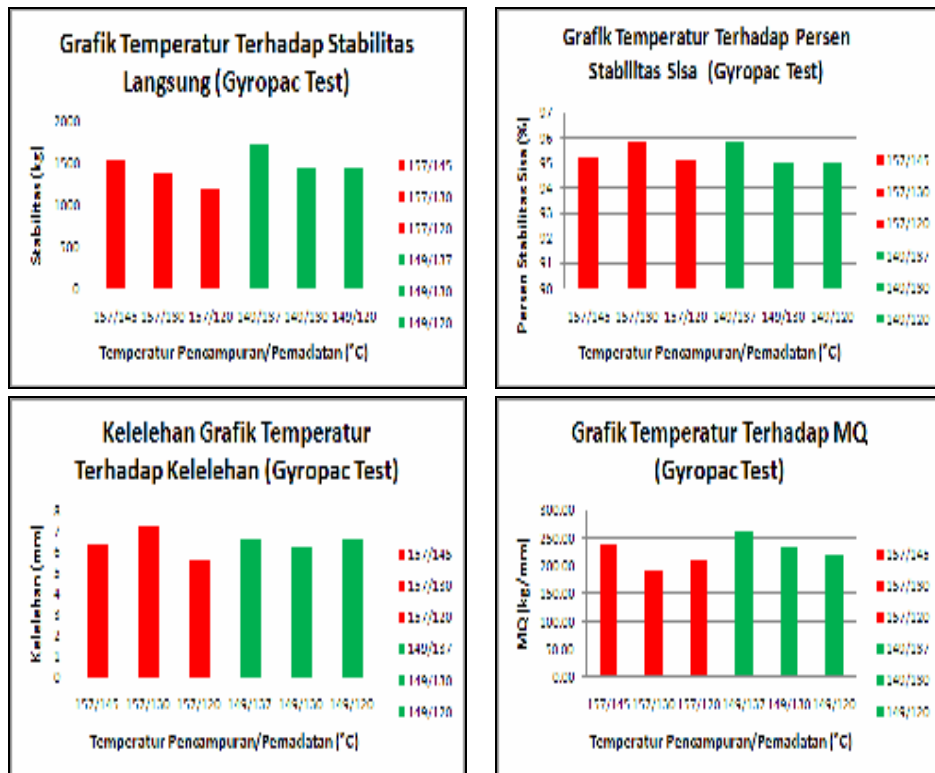
Tabel 3.9 Sifat *volumetric* dan stabilitas benda uji yang dipadatkan dengan giratory, dengan jumlah 100 kali.

Suhu Peng/Suhu Pem	15/145	15/130	15/120	149/137	149/130	149/120	
Komp optimum	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	
Kepadatan	2.314	2.314	2.314	2.313	2.312	2.317	
VIR	74.8	73.0	72.7	74.5	74.3	74.5	Min 55
VIM giripac	4.1	4.9	4.7	4.2	4.3	4.9	Min 5.5
VMA	16.4	16.8	16.9	16.5	16.5	17	Min 15
Stabilitas Longitud	1629.1	1594.4	1175.9	1777.0	1492.9	1492.9	Min 820
Stabilitas Transvers	1459.5	1338.3	1118.4	1861.3	1379.9	1379.9	
Stabilitas Sisa	91.2	99.8	99.1	99.8	91	91	Min 75 %
Kawakan	6.4	7.3	8.8	6.8	6.7	6.8	Min 3
MG	238.70	180.6	210.9	261.1	234.9	220.1	Min 210
TGA	7	7	7	7	7	7	

Grafik dari masing masing parameter campuran, yang dipadatkan dengan giratory untuk setiap temperatur pemadatan yang berbeda baik untuk campuran dengan aspal konvensional pen 60 maupun aspal untuk campuran hangat diperlihatkan pada Gambar 3.5.



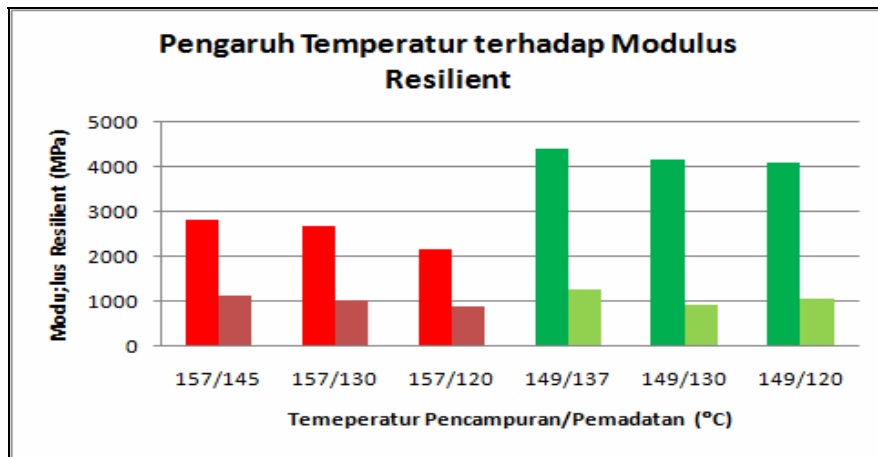
Gambar 3.5 Grafik perubahan parameter campuran, dengan temperatur pemadatan yang berbeda pada campuran dengan aspal konvensional pen 60 dan aspal untuk campuran hangat.



Gambar 3.6 Grafik perubahan parameter campuran, dengan temperatur pemadatan yang berbeda pada campuran dengan aspal konvensional pen 60 dan aspal untuk campuran hangat.

3.4.5 Pengujian Resilient Modulus Campuran Beraspal

Pengujian resilient Modulus, dilakukan pada contoh yang menggunakan aspal konvensional pen 60 maupun aspal untuk campuran hangat, dengan menggunakan alat UMMATTA. Pengujian dilakukan pada temperatur 25 °C dan 35 °C, dan hasilnya dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Grafik Pengaruh temperatur terhadap Resilient Modulus

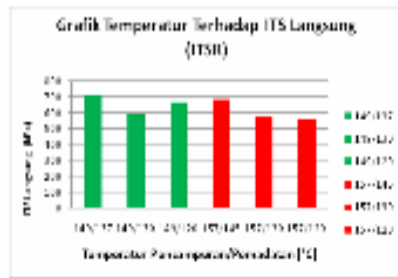
3.4.6 Kuat Tarik Tidak Langsung

Pengujian kuat tarik tak langsung dari campuran beraspal di sini, dimaksudkan untuk mengetahui kekuatan campuran tersebut akibat pengaruh air, yang dilakukan sesuai metoda AASHTO T 283.

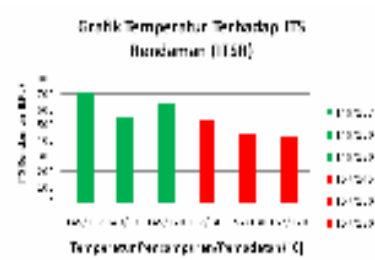
Pengujian dilakukan pada campuran beraspal dengan menggunakan aspal konvensional pen 60 dan campuran beraspal yang menggunakan aspal untuk campuran hangat, sehingga bisa didapat perbandingan kekuatan dari kedua campuran tersebut.

Tabel 3.10 Nilai kuat tarik tak langsung (ITS) dan nilai perbandingan kuat tarik tak langsung (ITSR).

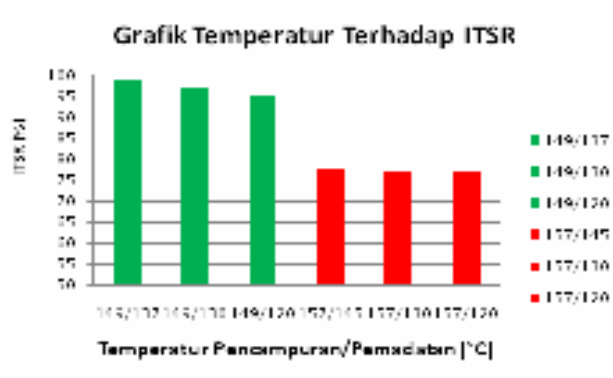
Jenis Aspal Suhu Penc/Suhu Pemdatan	Aspal campuran hangat Pada Kadar Aspal Optimum			Aspal 60/70 Suhu Normal (optimum)		
	149/137	149/130	149/120	157/145	157/130	157/120
Kadar Aspal (%total)	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9
ITS Langsung (kPa)	715.99	592.46	668.76	687.8	574.4	553.4
ITS Rendaman (kPa)	708.53	557.82	635.68	532.2	442.7	426.7
ITSR (%)	98.96	97.19	95.05	77.4	77.1	77.1



Gambar 3.1 Nilai ITS yang dilakukan secara langsung



Gambar 3.2 Nilai ITS yang dilakukan pada benda uji yang telah mengalami rendaman



Gambar 3.10 Nilai perbandingan kuat tarik tidak langsung (ITSR)

Terlihat pada Gambar tersebut, kuat tarik dari benda uji yang menggunakan aspal untuk campuran hangat, selalu lebih besar dari campuran dengan aspal konvensional pen 60, baik pada pengujian langsung maupun pada pengujian benda uji yang telah mengalami rendaman (pengondisian) untuk berbagai penurunan temperatur pemadatan.

Begitu juga nilai ITSr nya dari campuran yang menggunakan aspal untuk campuran hangat jauh lebih besar dari campuran dengan menggunakan aspal konvensional pen 60, di mana campuran dengan aspal konvensional nilai ITSr nya berkisar sekitar 77% sedangkan yang menggunakan aspal

untuk campuran hangat nilainya antara 95 sampai 98%. Pengaruh penurunan temperatur pemadatan, tidak menunjukkan penurunan yang berarti terhadap nilai ITS_R-nya, baik pada campuran yang menggunakan aspal konvensional pen 60 maupun yang menggunakan aspal untuk campuran hangat.

Dilihat dari hasil ini, terlihat bahwa aspal yang digunakan untuk campuran hangat ini, mempunyai ketahanan terhadap pengaruh air yang lebih baik dari pada aspal konvensional pen 60

Hal ini diperkirakan, aspal yang digunakan untuk campuran hangat ini, telah mengandung bahan anti *stripping*.

3.4.7 Ketahanan terhadap Alur

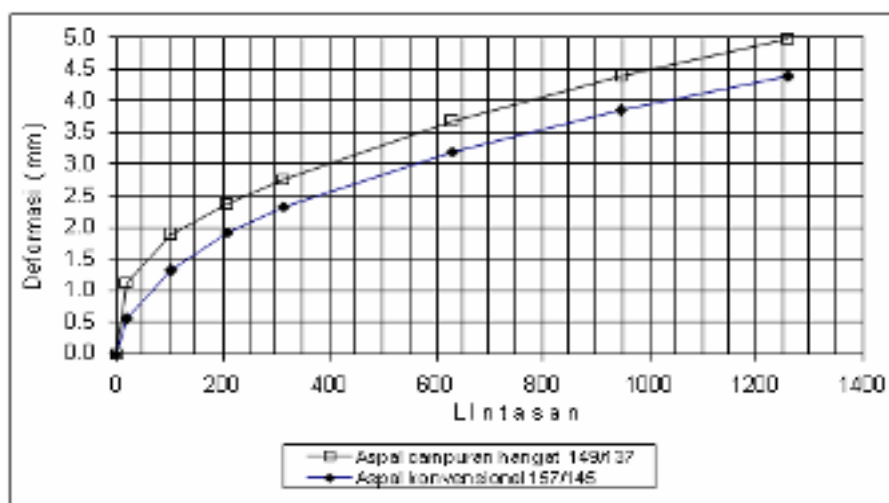
Ketahanan terhadap alur, dilakukan dengan alat *Wheel Tracking Machine* dengan menggunakan beban 6,4 kg/cm² pada kedua campuran tersebut, yaitu yang menggunakan aspal konvensional pen 60 dan aspal untuk campuran hangat.

Temperatur pengujian pada 60°C dengan jumlah lintasan per menit 42. Hasil dari pengujian tersebut diperlihatkan pada Tabel 3.11 dan Gambar 3.11.

Tabel 3.11 Hasil pengujian ketahanan terhadap alur

Waktu (menit)	Lintasan	Jenis contoh uji		Satuan
		Aspal camp hangat 149/137	Aspal konven pen 60 157/145	
0	0	0.00	0.00	Mm
1	21	1.13	0.55	Mm
5	105	1.88	1.32	Mm
10	210	2.38	1.92	Mm

Waktu (menit)	Lintasan	Jenis contoh uji		Satuan
		Aspal camp hangat 149/137	Aspal konven pen 60 157/145	
15	315	2.76	2.33	Mm
30	630	3.67	3.20	Mm
45	945	4.39	3.85	Mm
60	1260	4.99	4.38	Mm
DO = Deformasi Awal		2.59	2.26	Mm
RD = Kecepatan Deformasi		0.0400	0.0353	mm/menit
DS = Dinamis Stabilitas		1050.0	1188.7	lintasan/mm



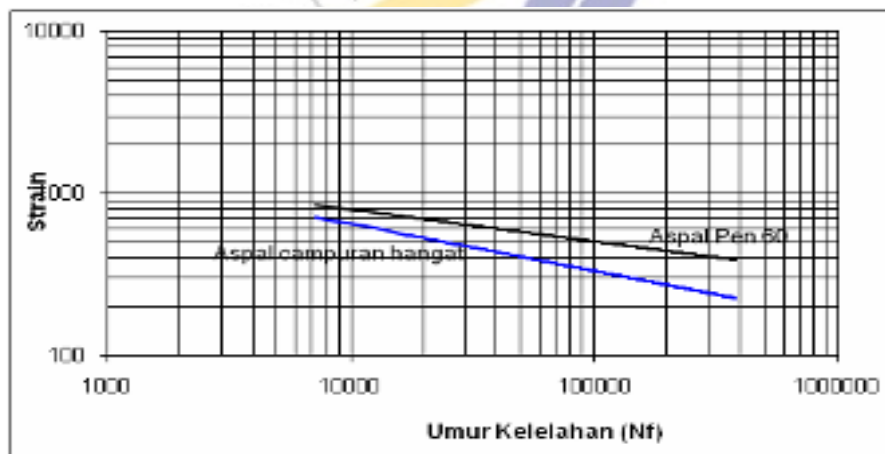
Gambar 3.11 Grafik ketahanan terhadap alur

Dari hasil pengujian, terlihat campuran dengan aspal untuk campuran hangat mempunyai ketahanan sedikit lebih rendah dibanding dengan campuran yang menggunakan aspal konvensional pen 60. Hal ini terlihat dari kecepatan deformasi pada campuran dengan aspal konvensional yang lebih rendah dari aspal untuk campuran hangat, begitu juga dengan nilai

Stabilitas Dinamis campuran beraspal dengan aspal pen 60 yang sedikit lebih besar dari campuran dengan aspal untuk campuran hangat. Perbedaan ini kecil, hanya sekitar 10%. Kecepatan deformasi dari kedua campuran tersebut yang hampir sama, juga ditunjukkan oleh garis singgung dari kedua grafik tersebut hampir sejajar. Perbedaan lainnya ialah deformasi awal (D_0) dari campuran dengan aspal untuk campuran hangat lebih besar dari campuran dengan aspal konvensional pen 60.

3.4.8 Ketahanan terhadap Fatik (*fatigue*)

Ketahanan campuran terhadap fatik, dilakukan pada kedua campuran dengan menggunakan metoda pengujian sesuai AASHTO T321. Benda uji dipadatkan dengan alat pemadat *whell Tracking Machine*, dengan tebal contoh yang disesuaikan untuk keperluan pengujian fatik. Benda uji berupa balok dengan ukuran 6 cm x 5 cm x 48 cm diberi beban berulang dengan regangan yang tetap, sampai balok tersebut mengalami keruntuhan yang didefinisikan saat Modulus nya telah mencapai 50% dari modulus awalnya. Besar regangan awal, untuk masing masing benda uji berbeda beda yang bervariasi mulai dari 700 μ strain sampai 300 μ strain. Grafik hasil pengujian, diperlihatkan pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Grafik regangan dan jumlah pengulangan beban pada pengujian fatik

Dari gambar 4.12, terlihat bahwa garis fatik dari campuran dengan aspal untuk campuran hangat, berada di bawah dari garis kelelahan campuran dengan aspal konvensional. Keadaan ini menunjukkan, bahwa ketahanan fatik dari campuran dengan aspal untuk campuran hangat lebih rendah dari campuran dengan aspal konvensional. Hal lain yang dapat dilihat dari grafik tersebut ialah kemiringan dari kedua garis tersebut, dimana campuran hangat mempunyai kemiringan yang lebih curam dibanding kemiringan campuran dengan aspal konvensional pen 60. Dari kemiringan ini terlihat pula, bahwa penurunan ketahanan terhadap umur fatik (kelelahan) pada campuran dengan aspal untuk campuran hangat lebih besar dari pada campuran dengan aspal konvensional pen 60 untuk besar regangan yang sama.

3.5 Sifat Campuran Beraspal yang Dicampur dan Dipadatkan pada Temperatur yang Lebih Rendah

3.5.1 Sifat Kekuatan dan Volumetrik Campuran

Hal lain yang ingin didapat dari percobaan ini, ialah mengetahui sifat campuran dengan bahan tambah yang dicampur dan dipadatkan pada temperatur yang lebih rendah, dari temperatur yang didapat berdasarkan hasil viskositas pengujian aspal.

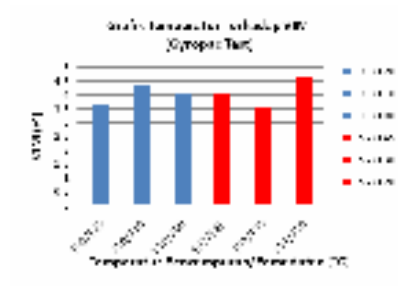
Temperatur yang dipilih untuk percobaan ini, ialah 130 °C/120°C ; 120°C /110°C ; 110°C/100°C untuk campuran hangat dan dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal konvensional pen 60 yang dicampur/dipadatkan pada temperatur 157 °C /145°C ; 157°C /130°C dan 157°C /120°C yang menggambarkan temperatur pemadatan saja yang mengalami penurunan.

H

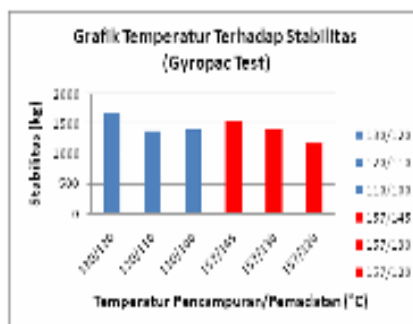
Hasil pengujian kepadatan, stabilitas dan parameter volumetrik kedua pengujian tersebut diperlihatkan pada Gambar 3.13 sampai dengan Gambar 3.16



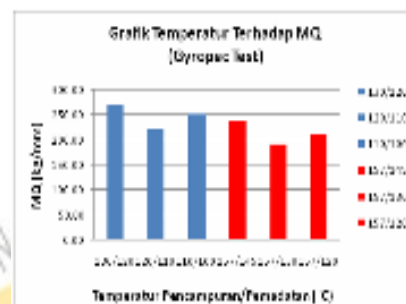
Gambar 3.13 Hubungan antara temperatur pencampuran./pemadatan dengan kepadatan



Gambar 3.14 Hubungan antara temperatur pencampuran./pemadatan dengan VIM



Gambar 3.15 Hubungan antara temperatur pencampuran./pemadatan dengan Stabilitas



Gambar 3.3 Hubungan antara temperatur 6 pencampuran./pemadatan dengan Marshall Quotient

Dari Gambar antara temperatur pencampuran/pemadatan dengan kepadatan, terlihat semua temperatur pelaksanaan memberikan kepadatan yang cukup tinggi, terlihat nilai kepadatan yang dihasilkan diatas 2,34 gr/cc, walaupun trend kepadatan terhadap temperatur tidak begitu teratur. Begitu juga nilai rongga dalam campuran (VIM) menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda antara kedua cara pemadatan tersebut, berkisar antara 3,5 % sampai 4,6 %.

Perbandingan stabilitas campuran beraspal dari campuran hangat dan campuran dengan aspal konvensional, terlihat tidak menunjukkan perbedaan yang besar. Begitu juga perbandingan Marshall Quotient antara campuran beraspal hangat dan campuran beraspal dengan aspal konvensional yang dipadatkan pada temperatur yang lebih rendah dari temperatur berdasarkan viskositas menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda, tetapi hal yang menonjol disini ialah nilai Marshall Quotient-nya yang cukup rendah, khususnya pada campuran dengan aspal pen 60. Hal ini dikarenakan, nilai "kelelahan" atau flow dari kedua campuran itu cukup besar, sekitar dan diatas 6 mm.

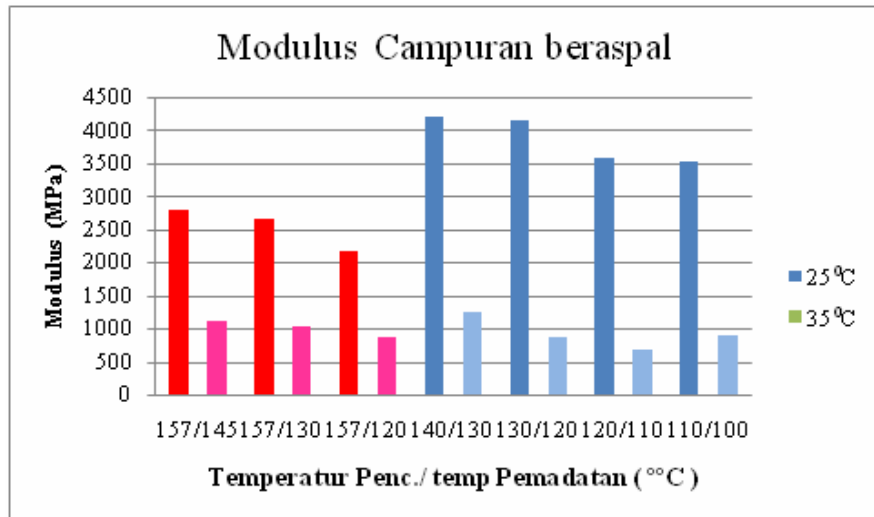
Perlu diingat kembali, bahwa benda uji ini disiapkan bukan dengan menggunakan pemadatan Marshall, tetapi dengan menggunakan alat pemadat Giratory dengan target VIM dari pemadatan dengan giratori sama dengan VIM yang dipadatkan dengan alat pemadat Marshall. Sehingga hal ini menjadikan persyaratan campuran dengan Marshall belum tentu sepenuhnya bisa diberlakukan pada campuran yang dipadatkan dengan alat giratory.

Tetapi dari apa yang didapat dan dipaparkan diatas, perbedaan yang tidak jauh dari sifat sifat campuran tersebut, bisa menunjukkan bahwa sifat campuran beraspal yang dicampur dan dipadatkan dengan temperatur yang lebih rendah dari campuran beraspal hangat sampai 110/100 mempunyai sifat yang setara dengan campuran beraspal yang menggunakan aspal konvensional dan dicampur pada temperatur normal berdasarkan viskositas aspalnya.

3.5.2 Modulus Campuran Beraspal

Modulus campuran beraspal diuji dengan menggunakan alat UMATTA pada temperatur 25°C dan 35°C. Hasil pengujian dari kedua campuran diperlihatkan pada Gambar 4.12.

Terlihat dari Gambar 3.12 tersebut, campuran beraspal hangat mempunyai nilai modulus yang lebih tinggi dari campuran beraspal dengan aspal konvensional pen 60, khususnya pada temperatur pengujian 25°C. Pada pengujian 35°C, nilai modulus turun cukup banyak, khususnya pada campuran beraspal dengan aspal campuran hangat, walaupun masih setara dengan modulus dari campuran dengan aspal konvensional yang diuji pada temperatur 35 °C.



Gambar 3.17 Modulus campuran beraspal hangat dan campuran aspal konvensional yang dicampur dan dipadatkan pada berbagai temperatur.



4

PERCOBAAN CAMPURAN HANGAT DENGAN ZEOLIT ALAM

4.1 Sumber Zeolit Alam

Zeolit alam yang dipergunakan pada percobaan ini, ialah zeolit alam yang berada di Sukabumi, Tasikmalaya (Karangnunggal; Cipatujah; Cikalong) dan Banten (Bayah).

Lokasi, jumlah deposit serta *overburden*-nya dari deposit zeolit yang ada di Tasikmalaya, adalah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Karakteristik Deposit di Tasikmalaya

Lokasi / Blok	Letak (dpl)	Deposit (metrik ton)	Overburden (m)	Nilai KTK (Kapasitas Tukar Ion)
Karangnunggal	235 – 270	6.000.000	0 – 2,5	139,8
Cipatujah	12,5 – 47,5	4.158.000	6,5 - 20	
Cikalong	115 – 132,5	2.750.000	0,5 – 3,5	160,2

Komposisi utama dari unsur kimia pada zeolit zeolit, baik secara umum dari zeolit, maupun dari zeolit yang berasal dari lokasi Karangnunggal, Cipatujah dan Cikalong disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Komposisi kimia dari zeolit sesuai lokasi nya

Unsur Kimia (%)	Lokasi			
	Zeolit pada umumnya	Karangnunggal (Tasikmalaya)	Cipatujah (Tasikmalaya)	Cikalong (Tasikmalaya)
SiO ₂	61,5 – 73,09	61,4 – 70,60	64,42 – 70,98	67,18 – 69,77
Al ₂ O ₃	9,28 – 13,22	11,49 – 13,84	10,19 – 14,17	10,93 – 11, 69
MgO	0,02 – 0,07	0,40 – 2,77	0,41 – 2,04	0,40 – 1,02
Na ₂ O	0,00 – 2,25	0,90 – 2,53	0,90 – 3,13	1,36 – 2,68
K ₂ O	0,24 – 6,17	0,90 – 4,01	0,75 – 2,94	1,05 – 1,86
P ₂ O ₅	0,01 – 0,11	0,00 – 0,14	-	-
TiO ₂	0,55 – 4,11	0,06 – 0,85	-	-
CaO	0,96 – 2,96	1,88 – 4,16	0,96 – 3,21	2,10 – 3,21
Fe ₂ O ₃	0,55 – 4,11	1,15 – 5,30	0,85 – 3,64	0,96 – 1,46
H ₂ O	-	1,98 – 4,46	3,08 – 6,60	4,17 – 5,77
HD	-	6,21 – 11,67	9,19 – 13,86	10,02 – 13,86

Dari tabel tersebut terlihat zeolit dari Tasikmalaya tersebut, mempunyai Oksida Silica dan alumina zeolit masing masing berkisar antara 61,40% - 70,98% dan 10,19% - 14,17% atau jumlah oksida silica dan oksida alumina berkisar 75 – 80%, sesuai dengan sifat zeolit pada umumnya.

Gambaran deposit zeolit dari daerah Tasikmalaya tersebut, dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Deposit zeolit alam di daerah Tasikmalaya (Cipatujah)

Deposit lainnya, ialah dari daerah Banten (Bayah)

Deposit zeolit dari daerah Bayah di wilayah Banten ini, dengan daerah sebaran meliputi Kecamatan Bayah, Kecamatan Gunung Kencana dan Kecamatan Ciligrang (Desa Cibareno) dengan jumlah cadangan sekitar 34 juta m³. Komposisi kimia zeolit Bayah, ditunjukkan pada Tabel 5.3.

Tabel 4.3 Komposisi kimia zeolit Bayah

No	Unsur	Bobot (cps)
1	Al	5,43
2	Si	91,55
3	P	2,05
4	K	6,35
5	Ca	17,44
6	Ti	2,80
7	Fe	20,98
8	S	42,69

Sumber: Karakteristik Komposisi Kimia , Luas Permukaan Pori Dan Sifat Termal Dari Zeolit Bayah, Tasikmalaya, Dan Lampung (J.Tek.Bhn.Nukl. Vol 3No 1 Januari 2007: 1 – 48 Ginting dkk.)

Deposit zeolit di daerah Banten (Bayah), diperlihatkan pada Gambar 4.2



4.2 (a)



4.2 (b)

Gambar 4.2 (a) Deposit zeolit di Banten (Bayah); (b) Mesin pemecah zeolit di lokasi Bayah (Banten)

Zeolit dari Sukabumi, didapat dari produser yang ada di daerah Bandung, yang sudah dipecah menjadi berukuran kerikil kecil, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Zeolit dari Sukabumi, yang sudah dipecah

Produksi Umum Zeolit

Produksi umum zeolit sudah banyak dilakukan di pabrik pabrik pemecahan dari bahan berukuran bongkahan menjadi ukuran yang lebih kecil untuk kegunaan lain selain untuk campuran beraspal. Pada produksi ini, hanya pemecahannya saja, tanpa proses lebih lanjut sesuai kegunaan dari zeolit

itu sendiri. Di daerah Jawa Barat selain di tempat deposit seperti disampaikan diatas, juga beberapa pabrik pemecah zeolit ini, didapat di daerah Padalarang – Bandung.

Gambar 4.4 sampai gambar 4.11 menunjukkan alat pemecah zeolit yang digunakan di beberapa pabrik di daerah Padalarang – Bandung dan produksinya.



Gambar 4.4 Mesin pemecahan zeolit (Pabrik I)



Gambar 4.5 Penyaringan zeolit (Pabrik I)



Gambar 4.6 Alat pemasok zeolit ke karung (Pabrik I)



Gambar 4.7 Zeolit yang siap dalam karung (Pabrik I)



Gambar 4.8 Bahan dasar zeolit (Pabrik II)



Gambar 4.9 Mesin pemecah zeolit (Pabrik II)



Gambar 4.10 Penyaringan zeolit hasil pecah (Pabrik II)



Gambar 4.11 Zeolit siap kirim (Pabrik II)

Contoh zeolit yang diambil dari pabrik pemecah zeolit di daerah Padalarang, diuji kadar air dan gradasinya, dimana hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil pengujian gradasi dan kadar air zeolit

Contoh	Pabrik I	Pabrik II
No Saringan	Gradasi (% lolos)	
No 30 ()	100	100
No 50 (0,308 mm)	100	93,87
No 100 (0,154 mm)	97,66	81,32
No 200 (0.074 mm)	96,54	64,55
Kadar air (%)	9,01	10,53

Adapun contoh visual dari masing masing pabrik tersebut diperlihatkan pada Gambar 4.12



Gambar 4.12 Contoh zeolit belum diaktivasi dari pabrik I dan pabrik II

4.2 Pengelolaan Zeolit untuk Campuran Beraspal

Pengelolaan zeolit disini, dimaksudkan untuk mengolah zeolit alam menjadi zeolit yang mampu menyerap air dalam jumlah yang banyak dan sekaligus dapat melepaskannya ketika dipanaskan, melalui metode aktivasi.

Untuk maksud tersebut dilakukan percobaan metode aktivasi yang dimaksudkan untuk memaksimalkan ukuran pori-pori zeolit. Dalam percobaan ini dilakukan tiga cara aktivasi, yaitu:

- Metode aktifasi secara fisika
- Metode aktifasi secara kimia
- Metode aktifasi secara kimia - fisika

Sebelum dilakukan metoda aktivasi, bongkahan zeolit yang berukuran besar atau yang sudah berukuran kerikil, dipecah menjadi ukuran yang sangat kecil, yaitu lolos saringan no 200 (0,074 mm).

Proses pemecahan dan penghalusan zeolit alam, ditunjukkan pada Gambar 4.13 sampai Gambar 4.16



Gambar 4.13 Bongkahan zeolit yang siap di pecah



Gambar 4.14 Mesin pemecah agregat, digunakan memecah zeolit



Gambar 4.15 Penghalusan butiran zeolit



Gambar 4.16 Penyaringan zeolit hasil penghalusan dengan # 200

Metode aktivasi secara fisika, dilakukan dengan cara pemanasan yang bertujuan untuk menguapkan air kristal yang terperangkap dalam pori-pori zeolit, sehingga luas permukaan internal pori meningkat. Proses aktivasi secara fisika, dilakukan dengan memanaskan zeolit pada temperatur 350°C selama 6 jam

Sedangkan aktifasi kimia, ditujukan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dipertukarkan. Prinsip dari aktivasi secara kimia ini dilakukan dengan penambahan pereaksi tertentu sehingga didapat pori-pori zeolit yang bersih (aktif). Pada proses secara kimia ini, dilakukan dengan melalui pemanasan atau tidak, dan didapat proses tanpa pemanasan telah memberikan penyerapan kadar air yang tinggi.

Proses aktivasi secara kimia– fisika dilakukan dengan menggabungkan cara kimia dan cara fisika, dimana zeolit setelah mengalami proses aktivasi selanjutnya dipanaskan (proses fisika), untuk selanjutnya dibiarkan dalam ruangan biasa agar bisa menyerap uap air dari udara selama 24 jam.

4.2.1 Metode Aktivasi secara Fisika

Metode aktivasi secara fisika yang dilakukan di laboratorium, ialah dengan memanaskan zeolit yang sudah halus (lolos saringan no 200) pada temperatur 300 °C sampai 400 °C selama 6 jam. Setelah dipanaskan pada temperatur tersebut, zeolit dikondisikan dalam temperatur ruang untuk penyerapan uap air dari udara selama 24 jam. Selanjutnya untuk mengetahui kadar air yang bisa diserap, dilakukan pengujian kadar air seperti pengujian kadar air pada agregat ataupun tanah.

Proses aktivasi secara fisika yang dilakukan di laboratorium, ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Proses Kalsinasi, zeolit dipanaskan dalam tanur

4.2.2 Metode Aktivasi secara Kimia

Metode aktivasi secara kimia, dilakukan dengan memanaskan zeolit yang berukuran maksimum lolos # 200 dengan larutan bahan kimia yang diinginkan pada temperatur sekitar dan tidak lebih dari 80°C selama 3 jam.

Bahan zeolit yang telah mengalami pemanasan sambil direndam dengan bahan larutan kimia, ditiriskan dalam suhu ruang dan selanjutnya dicuci dengan air "D mineral" sampai bersih. Hasil cucian ditiriskan dan dipanaskan (tidak dipanaskan, sesuai cara yang dipilih) pada oven dengan temperatur 105°C selama 24 jam. Langkah terakhir membiarkan zeolit tersebut dalam suhu ruang, untuk bisa menyerap air yang berasal dari udara.

Proses kalsinasi Kimia diperlihatkan pada Gambar 4.18



Gambar 4.18 Proses kalsinasi Kimia

4.2.3 Metode Aktivasi secara Fisika - Kimia

Metode ini merupakan gabungan antara metoda fisika dan kimia seperti yang diuraikan sebelumnya.

4.2.4 Metode Aktivasi yang Dipilih

Ketiga metode aktivasi ini dilakukan di laboratorium dengan berbagai cara dan dengan berbagai bahan kimia, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.5

Tabel 4.5 Metode dan hasil aktivasi pada pengolahan zeolit

Metoda aktivasi		Kadar air optimum (%)
Fisika	Kalsinasi	6,04
Kimia	Pencucian dengan HCl dan Pemanasan pada temperatur 105 C	0,69
	Pencucian dengan Natrium Sulfat dan Pemanasan pada temperatur 105 C	3,38
	Pencucian dengan HCl dan NaOH Pemanasan pada temperatur 105 C	4,39
	Pencucian dengan NaOH dan Pemanasan pada temperatur 105 C	5,03
	Larutan HCl	13,77
Kimia – Fisika	Dua kali pencucian dengan HCL dan Kalsinasi	5,78
	Dua kali pencucian dengan HCL dan dua kali Kalsinasi	6,57
	Pencucian dengan NaOH dan Kalsinasi	5,24
	Pencucian dengan NaOH dua kali dan Kalsinasi	3,35
	Pencucian dengan HCL dan NaOH dan Kalsinasi	3,66
	Dua kali pencucian dengan HCL, dua kali pencucian dengan aqua DM dan dua kali kalsinasi	7,38

Dari ketiga metode tersebut, metoda yang memberikan penyerapan air yang tinggi, ialah metode kimia HCL tanpa pemanasan, di mana zeolit dari Cipatujah yang diaktivasi dengan cara kimia tanpa pemanasan, menghasilkan penyerapan kadar air sebesar 14,7%. Selanjutnya zeolit Cipatujah ini, yang dipergunakan sebagai bahan penurun temperatur pencampuran dan pemadatan pada percobaan campuran beraspal.

4.3 Prinsip Kerja Zeolit dalam Campuran Beraspal Panas

Pemanasan aspal pada campuran beraspal panas, merupakan salah satu faktor yang menentukan keberhasilan dari campuran beraspal itu sendiri. Temperatur yang diperlukan untuk memanaskan aspal, tergantung pada tingkat penetrasi aspal tersebut yang harus mencapai tingkat keenceran yang diinginkan (viskositas tertentu). Zeolit yang mengandung air tersebut, dicampurkan kepada agregat dan aspal yang telah dipanaskan, sehingga akan memberikan efek busa pada aspal, dan akan menjadikan aspal mudah menyelimuti agregat secara merata pada temperatur yang lebih rendah.

Dengan jumlah kadar air yang tinggi yang bisa diserap oleh zeolit, dan mudah dilepaskan kembali ketika kena panas, maka penggunaan zeolit dalam campuran akan semakin sedikit, dan bisa memberikan pemakaian yang efisien dan efektif.

4.4 Campuran Beraspal dengan zeolit

Seperti pada campuran beraspal dengan bahan aspal untuk temperatur rendah, maka dalam percobaan ini dilakukan percobaan dengan dan tanpa zeolit yang dimaksudkan sebagai campuran pembanding.

Agregat yang digunakan, sama dengan agregat pada campuran dengan aspal temperatur rendah.

Adapun aspal yang digunakan ialah aspal penetrasi 60 (pen 60) baik untuk campuran pembanding, maupun campuran dengan bahan tambah zeolit hasil aktivasi.

4.4.1 Sifat Campuran Beraspal

Campuran beraspal, mengacu kepada spesifikasi jalan dan jembatan, Departemen Pekerjaan Umum tahun 2006, untuk lapisan aus, sebagaimana ditunjukkan pada tabel 4.5 sebelumnya.

Percobaan dilakukan menggunakan kadar aspal yang bervariasi dari 5% sampai 7%, dengan tingkat kenaikan kadar aspal setiap 0,5%, baik pada campuran dengan ataupun tanpa bahan tambah zeolit. Untuk campuran beraspal yang ditambah zeolit, kadar zeolit yang digunakan ialah sebanyak 1% dan 2% terhadap berat agregat.

Kadar aspal optimum dan sifat campuran beraspalnya ditunjukkan pada Tabel 5.6.

Tabel 4.6 Hasil pengujian campuran beraspal pada kadar aspal optimum dan pada temperatur perkiraan untuk pencampuran / pemadatan

Sifat Marshall	Aspal pen 60	Aspal pen 60, dengan zeolit 1%	Aspal pen 60, dengan zeolit 2%	Persyaratan
Temp Penc/Pemdt.	154 /143	154 /143	154 /143	-
Kadar Aspal opt.	6	5.8	6	-
Kepadatan (t/m ³)	2.341	2.345	2.333	-
VMA ,%	16.962	16.7052	17.214	min 15
VIM ,%	4.39	4.41132	4.474	3.5 - 5.5
VFB ,%	74.118	73.64648	74.404	min 65
Stabilitas, kg	1105.4	1089.355	948	min 800
Kelelehan , mm	3.536	3.49576	3.821	min 3
MQ , kg/mm	264.88	320.1248	258.54	min 250

Berdasarkan hasil di atas, karena penambahan zeolit 1% masih memenuhi persyaratan campuran, maka percobaan selanjutnya dilakukan dengan penambahan zeolit 1%

4.4.2 Sifat Campuran dengan Temperatur Pencampuran dan Pemadatan yang lebih Rendah

Untuk mengetahui kemampuan campuran yang menggunakan bahan tambah zeolit, dilakukan pengujian campuran pada temperatur pencampuran dan pemadatan yang lebih rendah dari temperatur yang normal, pada kadar aspal optimum sesuai hasil yang didapat sebelumnya. Temperatur pencampuran/ pemadatan yang digunakan ialah 154 / 143 °C; 144 / 133 °C; 134 / 123 °C; 124 / 114 °C; 114/ 103 °C .

Untuk memudahkan penyajian, yang dimasukkan pada sumbu horizontal pada gambar hanya temperatur pencampurannya saja, tetapi artinya ada temperatur pemadatan yang mengikutinya (misalnya tertulis dalam grafik

154 C artinya pencampuran 154 C dan pemadatannya 143 C, begitu seterusnya).

Pengaruh penurunan temperatur campuran/pemadatan terhadap karakteristik campuran yang diperiksa berdasarkan pengujian Marshall diperlihatkan pada Gambar 4.19 (a) sampai Gambar 4.19 (g)

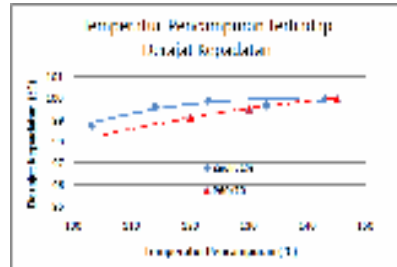
Derajat kepadatan; dari Gambar 4.19(a) hubungan antara temperatur dan derajat kepadatan, terlihat adanya kecenderungan penurunan kepadatan sejalan dengan turunnya temperatur. Penurunan derajat kepadatan pada campuran dengan zeolit lebih kecil dibandingkan penurunan pada campuran dengan aspal pen 60 (tanpa zeolit), hal ini berarti temperatur pencampuran/pemadatan yang lebih rendah pada campuran dengan zeolit masih akan menghasilkan kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan campuran tanpa zeolit.

Void in Mineral Aggregate (VMA); Pengaruh penambahan zeolit pada campuran terhadap VMA, ditunjukkan pada Gambar 4.19(b), di mana untuk rentang temperatur pencampuran/pemadatan antara 110 C sampai 154 C, memperlihatkan bahwa persyaratan VMA masih dapat dipenuhi oleh campuran dengan atau tanpa zeolit yang ditunjukkan dengan nilai garis VMA kedua campuran tersebut berada diatas persyaratan minimum 15%.

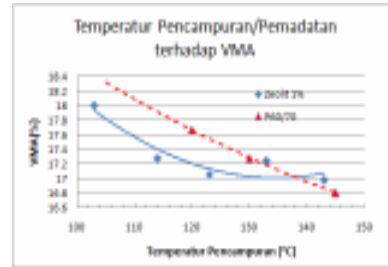
Void in Mix – VIM (rongga dalam campuran); pada campuran dengan zeolit bisa dipenuhi pada temperatur pencampuran 106 °C ke atas, sedangkan pada campuran tanpa zeolit persyaratan VIM baru bisa dipenuhi pada temperatur 124 °C ke atas, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.19(c). Hal ini menunjukkan bahwa campuran dengan zeolit bisa dicampur pada temperatur yang lebih rendah dibanding dengan campuran tanpa zeolit terkait dengan pemenuhan VIM (rongga dalam campuran).

Void Filled Bitumen – Rongga terisi aspa; dari Gambar 4.19(d), terlihat untuk campuran dengan zeolit VFB bisa dipenuhi mulai temperatur

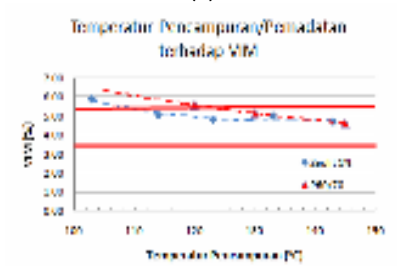
pencampuran 104 °C keatas, sedangkan pada campuran tanpa zeolit persyaratan VFB baru bisa dipenuhi pada temperatur pencampuran 119 °C ke atas. Keadaan ini menunjukkan dilihat dari persyaratan VFB, campuran dengan zeolit bisa dipadatkan pada temperatur yang lebih rendah dibanding temperatur yang diperlukan oleh campuran tanpa zeolit.



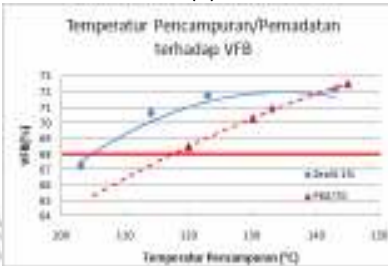
(a)



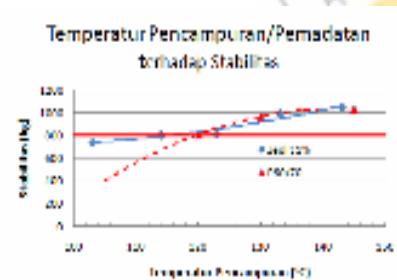
(b)



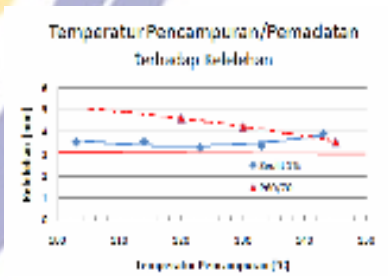
(c)



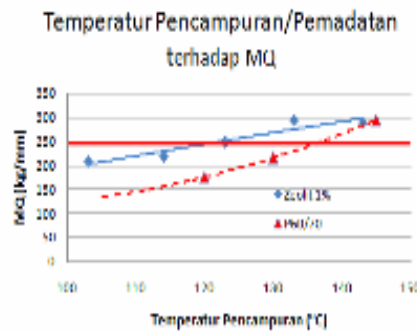
(d)



(e)



(f)



(g)

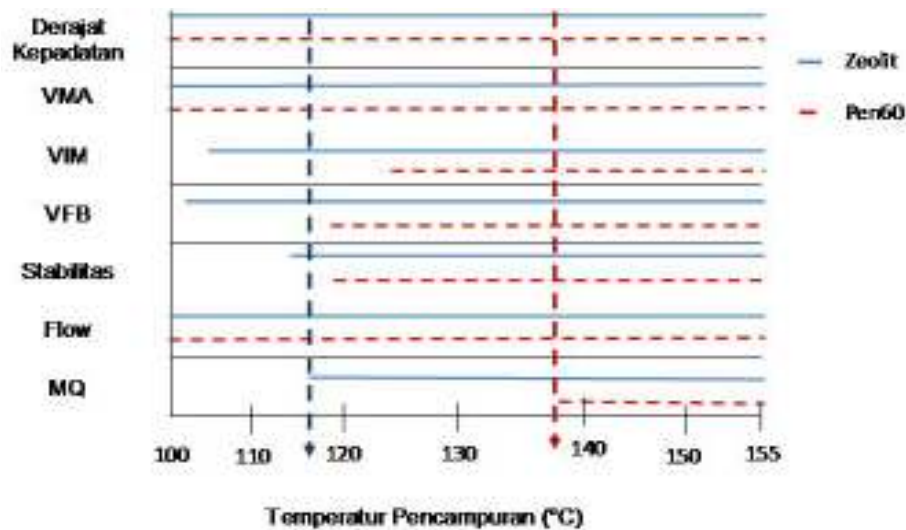
Gambar 4.19 Karakteristik campuran dengan aspal pen 60 (P60/70) dan campuran yang ditambah zeolit 1%.

Stabilitas; Persyaratan stabilitas dari campuran dengan zeolit bisa dipenuhi mulai dari temperatur pencampuran 114°C ke atas, sedangkan untuk campuran tanpa zeolit stabilitas baru bisa dipenuhi mulai dari temperatur pencampuran 120°C ke atas, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.19 (e).

Flow – kelelehan; untuk kelelehan baik pada campuran dengan zeolit maupun campuran tanpa zeolit, mempunyai rentang pencampuran/pemadatan yang sama di mana untuk semua rentang temperatur pencampuran kedua campuran tersebut, memenuhi persyaratan kelelehan minimum, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.19 (f).

Marshall Quotient- MQ; grafik MQ untuk campuran dengan zeolit berada diatas grafik tanpa zeolit, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.19 (g). Pada grafik itu terlihat bahwa campuran dengan zeolit hanya memerlukan temperatur pencampuran sekitar 118°C ke atas dibanding dengan campuran tanpa zeolit yang memerlukan temperatur 138 °C ke atas untuk memenuhi persyaratan Marshall Quotient yang disyaratkan. Sekali lagi dilihat dari MQ, campuran dengan zeolit bisa dikerjakan pada temperatur yang lebih rendah dari campuran tanpa zeolit.

Dari hasil dan penjelasan diatas, dapat dibuat grafik yang memudahkan batasan yang bisa di capai oleh campuran dengan dan tanpa zeolit berkaitan dengan batas temperatur pencampuran dan pemadatan, seperti yang digambarkan pada Gambar 5.20



Gambar 4.20 Batasan temperatur pencampuran dan pemadatan

Dari Gambar 4.20 tersebut terlihat bahwa campuran agar memenuhi persyaratan parameter Marshall, untuk campuran dengan zeolit bisa dicampur mulai temperatur 118°C ke atas, sedangkan untuk campuran tanpa zeolit (konvensional) minimum mulai temperatur 138 °C. Jadi disini ada penurunan temperatur pencampuran /pemadatan sebesar 20°C. Bila diambil sebagai pembandingnya ialah temperatur campuran normal pada contoh tanpa zeolit sebesar 154°C, dan campuran dengan zeolit 125 °C (> 118 °C), maka penurunan temperatur pencampuran/pemadatan mencapai $154 - 125 = 29$ °C.

4.4.3 Pengujian Ketahanan Campuran

Pengujian ketahanan campuran dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan terhadap alur, pelepasan butir, kekakuan (modulus), kecepatan penurunan temperatur, dan ketahanan terhadap beban berulang (fatik).

Ketahanan terhadap alur

Ketahanan terhadap alur, diuji dengan alat *Wheel Tracking Machine* pada temperatur pengujian 60°C, dengan jumlah lintasan 1260 kali (Japan Road Association, 1989).



Gambar 4.21 Grafik ketahanan deformasi yang diuji dengan *wheel tracking machine*

Terlihat pada Gambar 4.21, deformasi pada campuran dengan zeolit sedikit lebih besar dari campuran tanpa zeolit, yang ditandai dengan letak grafiknya berada di atas grafik campuran tanpa zeolit. Selanjutnya kecepatan deformasi dari kedua campuran tersebut ialah 0,0387 mm/menit untuk campuran dengan zeolit, sedangkan untuk campuran tanpa zeolit sebesar 0,0353 mm/menit. Jadi kecepatan deformasi dari campuran dengan zeolit lebih besar sekitar 9,6% dari campuran tanpa zeolit. Berdasarkan hasil pengujian diatas didapat stabilitas dinamis dari campuran dengan zeolit sebesar 1086,2 lintasan/mm sedangkan campuran tanpa zeolit sebesar 1188,7 lintasan/mm, yang berarti stabilitas dinamis campuran tanpa zeolit lebih besar sekitar 8,6%.

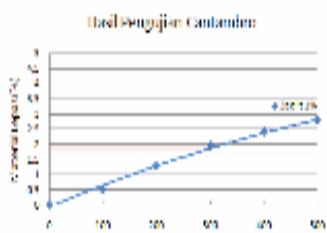
Perlu disampaikan bahwa campuran dengan zeolit, dicampur dan dipadatkan pada temperatur 134°C/123°C sedangkan campuran tanpa zeolit dipadatkan pada temperatur yang lebih tinggi yaitu 154°C/143 C.

Pengujian ketahanan terhadap alur dengan alat *wheel tracking machine* ini, dimaksudkan untuk melihat perbandingan dari kedua campuran tersebut, karena untuk campuran dengan aspal pen 60, tidak ada batasan nilai yang diberlakukan.

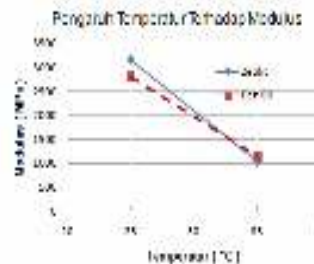
Pengujian ketahanan terhadap pelepasan butir (Cantabro)

Untuk mengetahui ketahanan campuran beraspal terhadap pelepasan butir, dilakukan pengujian dengan metoda Cantabro, dimana benda uji yang telah dibuat sama seperti untuk pengujian Marshall, dimasukkan kedalam mesin abrasi (*Loss Angeles Abrasion*) dan diputar sampai 500 putaran. Selama pemutaran setiap 100 putaran dihentikan dan dihitung berat contoh yang lepasnya, begitu selanjutnya sampai putaran yang lima ratus. Benda uji dengan zeolit dicampur dan dipadatkan pada temperatur 134°C/ 123°C yang lebih rendah dari temperatur *hot mix* untuk aspal pen 60.

Hasil pengujian ketahanan terhadap pelepasan butir, untuk contoh dengan zeolit diperlihatkan pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.23.



Gambar 4.22 Grafik pelepasan butir campuran dengan zeolit



Gambar 4.23 Pengaruh temperatur terhadap modulus campuran beraspal



Gambar 4.24 Benda uji dengan dan tanpa zeolit yang telah diuji Cantabro

Nilai pelepasan butir dihitung pada putaran yang ke tiga ratus, dimana pelepasan butir dari campuran dengan zeolit hanya sebesar 1,8%. Nilai ini menunjukkan nilai yang kecil, masih jauh dibawah batas pelepasan butir maksimum 20% (ASTM D 70 64. 2005)

Bentuk benda uji setelah pengujian Cantabro dari contoh yang mengandung zeolit, masih berbentuk utuh, tidak belah.

Pengaruh temperatur terhadap Modulus Resilient campuran beraspal

Salah satu parameter campuran beraspal lainnya yang penting ialah modulus campurannya sendiri. Modulus campuran pada percobaan ini diukur melalui pengujian Resilient Modulus (ASTM D 4123. 2005) dengan menggunakan alat UMMATA pada temperature pengujian 25°C dan 35°C, baik untuk campuran dengan zeolit maupun tanpa zeolit. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.23.

Terlihat modulus campuran dengan zeolit pada temperature 25°C sedikit lebih tinggi dari pada campuran tanpa zeolit (campuran konvensional pen 60) dan pada temperature 35 °C kedua campuran tersebut mempunyai nilai modulus yang dapat dikatakan sama. Dengan demikian, secara umum dapat dikatakan campuran dengan dan tanpa zeolit mempunyai sifat kekakuan dan penyebaran beban yang hampir sama.

Kekuatan campuran terhadap pengaruh air

Penyiapan benda uji

Kekuatan campuran terhadap pengaruh air diuji sesuai dengan metoda AASHTO T283 – 03, *“Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture – Induced Damage”* dengan melakukan penyesuaian dengan kondisi Indonesia, yaitu tidak dilakukan pengondisian benda uji pada temperatur – 18°C. Hal ini, dikarenakan pengondisian tersebut untuk daerah beriklim dingin di mana ada musim salju.

Sebelum pengujian dilakukan, benda uji disiapkan seperti pembuatan benda uji untuk pengujian ketahanan dengan alat Marshall, namun disini benda uji dipadatkan sedemikian rupa sehingga mempunyai rongga dalam campuran (*Void in Mix –VIM*) sebesar 7% sesuai dengan metoda AASHTO t283 – 03 diatas.

Dalam rangka itu dilakukan percobaan benda uji dengan jumlah tumbukan mulai dari 2x 25; 2x 35; 2x 50 serta 2x 75 tumbukan, yang selanjutnya diukur rongga dalam campurannya masing masing. Untuk campuran yang mengandung zeolit, pencampuran dan pemadatan dilakukan pada temperatur 134 °C/ 123 °C

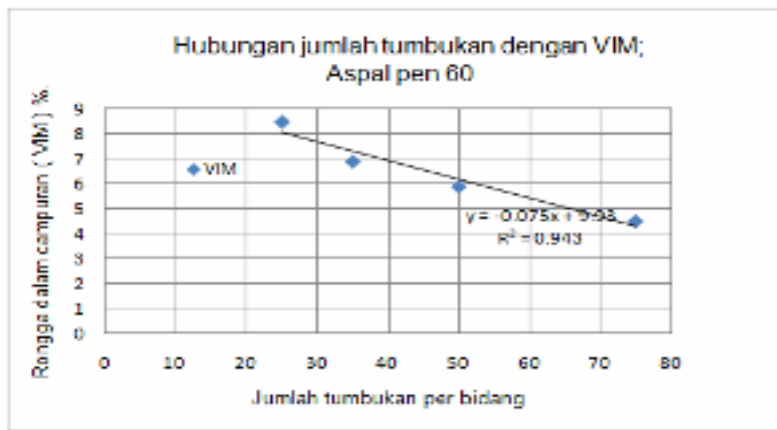
Hasil pengujian rongga dari campuran yang mengandung zeolit diperlihatkan pada Gambar 4.25



Gambar 4.25 Hubungan antara VIM dan jumlah tumbukan, campuran dengan zeolit

Terlihat dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5.25 tersebut, semakin banyak jumlah tumbukan semakin kecil rongga dalam campuran yang terjadi, dan rongga dalam campuran (VIM) sebesar 7% didapat pada jumlah tumbukan 51

Begitu juga halnya pada campuran tanpa zeolit, dimana jumlah tumbukan sebanyak 39 kali yang dilakukan pada suhu campuran 154°C dan pemadatan sebesar 143°C menghasilkan rongga dalam campuran sebesar 7%, sebagaimana terlihat pada gambar 4.26



Gambar 4.1 Hubungan antara VIM dan jumlah tumbukan, campuran tanpa zeolit

Benda–benda uji, untuk menentukan VIM (rongga dalam campuran), diperlihatkan pada Gambar 4.27



Contoh Dengan Zeolit 1%



Contoh Dengan Aspal Pen 60

Gambar 4.27 Benda uji untuk penentuan VIM – rongga dalam campuran 7%

Pengujian Kuat Tarik Tak Langsung (*Indirect Tensile Strength*)

Pengujian kuat tarik tak langsung, dibedakan atas dua macam yaitu yang langsung dan yang mengalami pengondisian perendaman terlebih dahulu. Selanjutnya dilakukan pengujian kuat tarik tidak langsung dari masing masing keadaan, dan dihitung perbandingan kuat tarik tak langsung

(*Indirect Tensile Strength Ratio- ITSR*) yaitu kekuatan dari benda uji yang mengalami rendaman dibagi kekuatan benda uji yang diuji secara langsung.

Tabel 4.7 Langkah – langkah persiapan contoh sebelum diuji

No	Langkah	Langsung	Perendaman
1	Pembuatan contoh masing-masing sebanyak tiga buah untuk mendapatkan VIM $7 \pm 0,5\%$	V	V
2	Campuran diletakan dalam pan yang tebalnya 2,5 cm pada temperature ruang selama 2 jam $\pm 0,5$ jam	V	V
3	Masukan kedalam oven dengan temperature $60^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ selama 16 jam ± 1 jam	V	V
4	Masukan ke dalam oven pada suhu pemadatan selama 2 jam ± 10 menit, lalu dipadatkan.	V	V
5	Padatkan contoh dan keluarkan dari mold dan biarkan pada temperatu ruang selama 24 ± 3 jam.		
6	Contoh yang sudah dipadatkan, dan dibiarkan sesuai langkah 5 masukan kedalam kantong plastik yang tidak bocor, kemudian rendam dalam air selama 2 jam ± 10 menit dengan temperatur 25°C .	V	X
7	Pengujian ITSR (catat sebagai hasil pengujian kering)	V	X
8	Masukan contoh untuk tes rendaman kedalam wadah dan direndam air denga suhu ruang (seluruh contoh terendam air) serta divacum. Vacum dengan tekanan 10-26 inHg sekitar 5-10 menit, terus mesin vacum dihentikan dan biarkan terendam dalam air selama 5-10 menit.	X	V
9	Tentukan masa dalam keadaan jenuh permukaan (ssd) dan hitung volume air yang terserap (J') dan derajat kejenuhan (S')	X	V
10	Bila derajat kejenuhan antara 70-80% pengujian dilanjutkan.	X	V
11	Masukan contoh ke dalam waterbath dengan temperature $60 \pm 3^{\circ}\text{C}$ selama $24 \pm 0,5$ jam, sedemikian rupa sehingga seluruh contoh terendam air.	X	V
12	Kemudian contoh dimasukan dalam water bath dengan temperature $25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ selama 2 jam ± 10 menit (sehingga seluruh contoh terendam air)	X	V
13	Kemudaian keluarkan contoh dari waterbath dan uji dengan ITSR (catat sebagai hasil pengujian rendaman)	X	V

Catatan : X tidak dilakukan; V dilakukan

Dari hasil pengujian, untuk contoh tanpa zeolit didapat kuat tarik tidak langsung dari contoh yang diuji langsung ialah sebesar 943 kPa dan yang mengalami rendaman sebesar 775 kPa. Sedangkan untuk contoh yang mengandung zeolit, kuat tarik tak langsung tanpa rendaman ialah 856 kPa dan yang mengalami rendaman 643 kPa. Dengan demikian nilai perbandingan kekuatan tarik tidak langsung (ITS) antara campuran dengan dan tanpa zeolit yang diuji secara langsung adalah sebesar 91 persen dan yang direndam sebesar 83%. Dari sini terlihat penurunan kekuatan sebesar 9% pada pengujian langsung dan 17% pada pengujian rendaman.

Pengujian kuat tarik tidak langsung diperlihatkan pada Gambar 4.28, sedangkan penampang bagian dalam dari belahan benda uji setelah pengujian diperlihatkan pada Gambar 4.29 dan Gambar 4.30

Untuk memudahkan, hasil pengujian kuat tarik tidak langsung (TSR) di atas disajikan juga pada Gambar 4.32



Gambar 4.28 Pengondisian contoh untuk uji Kuat Tarik Tidak Langsung (ITSR)



Gambar 4.29 Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (ITSR)



Gambar 4.30 Penampang belahan benda uji setelah pengujian ITS, campuran tanpa zeolit



Gambar 4.31 Penampang belahan benda uji setelah pengujian ITS, campuran dengan zeolit



Gambar 4.32 Perbandingan hasil pengujian kuat tarik tidak langsung

Berdasarkan pengamatan kondisi permukaan dari belahan benda uji, terlihat bahwa permukaan belahan contoh yang diuji ITS dari contoh tanpa zeolit, menunjukkan semua permukaan terselimuti aspal dan tidak ada yang mengalami pecah agregat, baik yang diuji langsung maupun yang mengalami rendaman. Pada contoh yang mengandung zeolit permukaannya yang tidak terselimuti aspal atau yang agregatnya mengalami pecah juga tidak ada, baik pada contoh dengan pengujian langsung maupun untuk yang mengalami kondisi rendaman sebelum pengujian. Menurut AASHTO T 283 - 03, bagian yang tidak terselimuti aspal dan yang mengalami pecah agregat diklasifikasikan dalam 5 tingkat, di mana yang paling jelek diberi nilai 5. Karena permukaan bidang pecah tidak menunjukkan bagian aspal yang terlepas dari permukaan agregat maka diklasifikasikan baik dengan nilai nol, artinya campuran tersebut dapat diklasifikasikan mempunyai ketahanan yang baik terhadap air. Berdasarkan hal tersebut, maka campuran yang mengandung zeolit dapat dikategorikan campuran yang mempunyai ketahanan yang baik terhadap air.

Ketahanan terhadap kelelahan- fatik (*fatigue*)

Ketahanan campuran terhadap fatik untuk campuran dengan zeolit ini, sama seperti yang dilakukan untuk campuran dengan bahan tambah kimia,

yaitu menggunakan metode pengujian sesuai AASHTO T321. Benda uji dipadatkan dengan alat pemadat wheel Tracking Machine, dengan tebal contoh yang disesuaikan untuk keperluan pengujian fatik. Sekali lagi pencampuran dan pemadatan campuran beraspal disesuaikan dengan jenis campurannya, yaitu untuk campuran tanpa zeolit pada temperatur 154°C/143°C dan untuk campuran yang mengandung zeolit pada temperatur 134°C/123°C. Benda uji berupa balok dengan ukuran 6 cm x 5 cm x 48 cm diberi beban berulang dengan regangan yang tetap, sampai balok tersebut mengalami keruntuhan yang didefinisikan saat Modulusnya telah mencapai 50% dari modulus awalnya.

Contoh benda uji untuk pengujian fatik dari contoh dengan dan tanpa zeolit diperlihatkan pada Gambar 4.33.

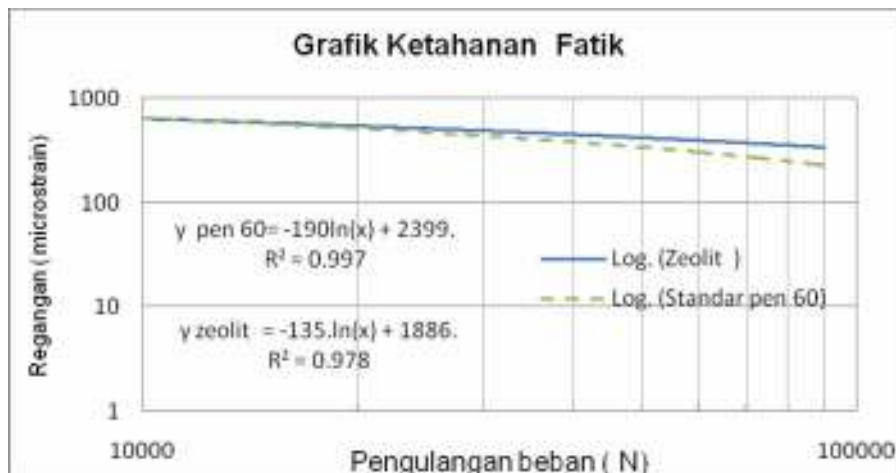


Gambar 4.33 Contoh benda uji untuk pengujian fatik

Besar regangan awal, untuk masing masing benda uji berbeda beda yang bervariasi mulai dari 700 μ strain sampai 230 μ strain, dengan alat penguji fatik seperti diperlihatkan pada gambar 4.34. Grafik hasil pengujian, diperlihatkan pada Gambar 4.35



Gambar 4.34 Alat Pengujian fatik



Gambar 4.35 Grafik ketahanan fatik dari campuran tanpa dan dengan zeolit.

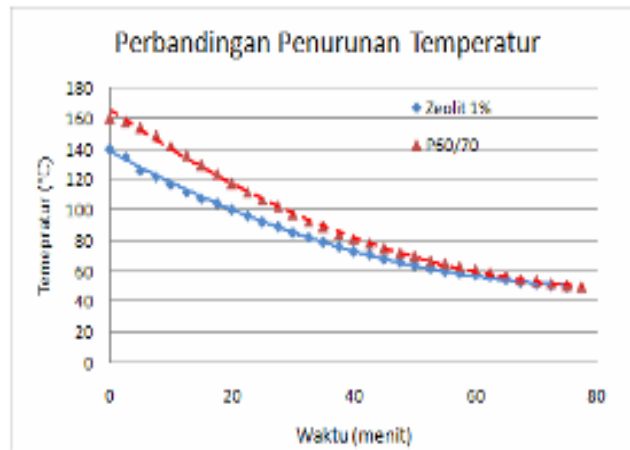
Dari Gambar 4.35, terlihat bahwa garis fatik dari campuran dengan aspal untuk campuran hangat yang mengandung zeolit, berada di atas garis kelelahan campuran dengan aspal konvensional (pen 60). Keadaan ini menunjukkan, bahwa ketahanan fatik dari campuran dengan aspal untuk campuran hangat yang mengandung zeolit lebih tinggi dari campuran dengan aspal konvensional. Hal lain yang dapat dilihat dari grafik tersebut ialah kemiringan dari kedua garis tersebut, dimana campuran hangat yang mengandung zeolit mempunyai kemiringan yang lebih landai dibanding

kemiringan campuran dengan aspal konvensional pen 60. Dari kemiringan ini terlihat pula, bahwa penurunan ketahanan terhadap umur fatik (kelelahan) pada campuran dengan aspal untuk campuran hangat yang mengandung zeolit lebih kecil dari pada campuran dengan aspal konvensional pen 60 untuk besar regangan yang sama.

Kecepatan penurunan suhu campuran

Hal lain yang penting dari campuran beraspal panas atau hangat ialah kecepatan penurunan campuran, karena batasan temperatur adalah merupakan factor penting dalam pelaksanaan. Untuk itu, telah dilakukan pengujian kecepatan penurunan temperatur campuran di laboratorium dari campuran dengan dan tanpa zeolit, dimana hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.36.

Dari gambar 10 terlihat, penurunan temperatur campuran dengan zeolit lebih lambat dibanding dengan campuran tanpa zeolit (campuran konvensional/normal), yang ditunjukkan oleh garisnya yang lebih landai dibanding campuran tanpa zeolit (campuran konvensional). Hal ini sangat menguntungkan untuk campuran hangat dengan zeolit, karena waktu pengangkutan dan pelaksanaan bisa lebih lama sehingga gangguan keterlambatan pengangkutan, misalnya akibat jaraknya yang jauh antara lokasi penghamparan dan AMP atau adanya kemacetan lalu lintas dan masa pelaksanaan sewaktu penghamparan dan pemadatan bisa ikut diatasi dengan sifat tersebut.



Gambar 4.36 Kecepatan penurunan temperatur dari campuran

Pengaruh temperatur pencampuran terhadap emisi buang

Dari hasil percobaan di atas, campuran beraspal dengan zeolit dapat dicampur pada temperatur yang lebih rendah yaitu minimal sebesar 118°C dan pemadatannya lebih rendah lagi.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Mallick.R.B dan Bergendahi. J (2009), didapat pengaruh penurunan temperature campuran beraspal terhadap emisi buang, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Prakiraan pengurangan CO2 untuk berbagai penurunan temperatur

Temperatur Hot Mix (perkiraan °C)	Emisi Hot Mix Asphalt (ppm)	Temperatur Warm Mix Asphalt (campuran hangat – C)	Emisi Warm Mix Asphalt (campuran hangat) (ppm)	% pengurangan emisi
150	755,23	140	511.3	32,29
150	755,23	130	346.2	54,16
150	755,23	120	234.4	68,96

Sumber: A laboratory study on CO2 emission from asphalt binder and its reduction with the use of warm mix asphalt (2009)

Dengan menggunakan table 5 dan temperature campuran dari campuran tanpa zeolit (hot mix), sebesar $154^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ dan campuran hangat dengan zeolit 130°C didapat pengurangan emisi buang yang dihasilkan sekitar sebesar 54,16%. Begitu juga bila temperature pencampuran hot mix sekitar $138^{\circ}\text{C} \sim 140^{\circ}\text{C}$ dan temperatur pencampuran $118^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$, maka penurunan emisi diperkirakan sekitar 54,16 % juga.

Pengurangan penggunaan bahan bakar

Karena temperatur campuran pada campuran hangat (dengan aspal untuk campuran hangat ataupun penambahan zeolit), maka penggunaan bahan bakar pun akan turun pula. Berdasarkan pengalaman yang telah dilakukan sebelumnya di luar negeri, penurunan temperature campuran sebesar 30°C , bisa menurunkan penggunaan bahan bakar sebesar 30%. (*Asphalt Pavement Association of Oregon*, 2003) seperti yang sudah dikemukakan sebelumnya pada pendahuluan.

Bila dikaitkan dengan penurunan temperatur pencampuran pada campuran yang ditambah zeolit yang bisa mencapai 29°C , maka penurunan penggunaan bahan bakarpun sedikit lebih kecil dari 30%.



DAFTAR PUSTAKA

- 1) AASHTO T321 . *Determining the Fatigue Life of Compacted hot mix asphalt (HMA) Subjected to Repeated Flexural Bending*..Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing , Twenty Fourth Edition (2004)
- 2) AASHTO T 283-03(2004) *Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture – Induced Damage*. Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling And Testing , Twenty Fourth Edition (2004)
- 3) Asphalt Institute, *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types . MS -2 Sixth Edition*. Lexington USA. 1993.
- 4) ASTM D 4123 *Standard test method for Indirect tension test for resilient modulus of bituminous mixture*. ASTM 2005
- 5) ASTM D 4867 “*Standard test method for effect of moisture on Asphalt concrete paving mixtures*. ASTM 2005
- 6) ASTM D 70 64. *Standard Practice for Open Graded Friction Course (OGFC) Mix Design*. 2005.
- 7) Brits, C.H.Sasobit Investigation. Report No. 100035/S9/2004/11/05/CHB/av/l, Geostrada Engineering, Material Laboratory, South Africa, 2004.

- 8) Damm, K – W, J. Abraham, T. Butz, G. Hilderbrand and G. Riebeschl. Asphalt flow improvers as, Intelligent Fillers' for hot asphalt – A New Chapter in Asphalt Technology. In Journal of Applied Asphalt Binder Technology, April 2002, pp 36 – 69.
- 9) Danis Sumadilaga, Balitbang – Dit Jen Bina Marga, 2007.
- 10) Ditjen. Binamarga, 2008. Kolokium Pusat Litbang Jalan dan Jembatan . Bandung 2008.
- 11) Dong Woo Cho, 2011. Development and Application of Korean WMA Technologies. Proceeding International seminar on the green road construction and international workshop on the vetiver systems; Institute of Road Engineering. Ministry of public works Indonesia.
- 12) Evoterm
- 13) Graham C Hurley 1 and Brian D Prowell . Evaluation of potential processes for use in warm mix asphalt, National Center for Asphalt Technology
- 14) Hurley G.C dan Prowel B.D
- 15) Harian Republik Indonesia 17 – 06 -2010; Majene-Mamasa Mengandung Mineral Zeolit 43 Juta Ton, Didaerah Kabupaten Mamasa Dan Kabupaten Majene
- 16) Harjono. SUARA MERDEKA Senin, 23 Februari 2004 ; Zeolit, Bahan Pembenh Tanah.
- 17) Lefon .S,J., 1983. Industrial minerals and Rocks (Nonmetallic other than fuels) Inc New York , fifth 5th edition. Vol 2 AIME p 1391 – 1431. Rodhie Saputra; Januari 2006.
- 18) Mulyanto, B dan Suwardi, 2006 Departmen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB;Email: bdmulyanto@yahoo.com
- 19) Rodhie Saputra; Januari 2006, Pemanfaatan Zeolit sintesis sebagai alternatif pengolahan limbah Industri.

- 20) Salem, OR; Fall .The asphalt pavement association of Oregon “ warm mix asphalt shows promise for cost reduction , environmental benefit” Centerline, The Asphalt Pavement Association of Oregon ,.2003.
- 21) Stroup – Gardiner,M and C. Lange. Characterization of Asphalt Odors and emissions. Proceedings of the ninth International Conference on Asphalt Pavement, Copenhagen, Denmark, August 2002.
- 22) U.S Departmen of Transportation Federal Highway Administration. Warm Mix Technologies and Research .
www.fhwa.dot.gov/pavement/wma.html.
- 23) Widayat 2009. Road Map Perkerasan Lentur, Puslitbang Jalan , Kementerian Pekerjaan Umum. Bandung 2009.



