

# **KINERJA** **CAMPURAN BERASPAL** **KHUSUS SMA** **DAN** **POROUS ASPHALT** **MODIFIKASI**





# KINERJA CAMPURAN BERASPAL KHUSUS SMA DAN POROUS ASPHALT MODIFIKASI

Ir. Iriansyah, AS  
Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.

Puslitbang Jalan dan Jembatan



**INFORMATIKA**  
Bandung



# **KINERJA CAMPURAN BERASPAL KHUSUS SMA DAN POROUS ASPHALT MODIFIKASI**

Desember, 2011

Cetakan ke-1, 2011, (xiv + 74 halaman)

©Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

No. ISBN : 978-602-8758-58-1  
Kode kegiatan : 04-PPK3-01-139-11  
Kode Publikasi : IRE-TR-041/ST/2011  
Kata kunci : aspal porus, pelekatan, campuran panas, lapis aus, aspal modifikasi, kinerja lapangan.

## **Penulis:**

Ir. Iriansyah, AS  
Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.  
Puslitbang Jalan dan Jembatan

## **Editor:**

Prof (R) DR. Ir. M. Syahdanulirwan, M.Sc.  
Puslitbang Jalan dan Jembatan

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2011, pada paket pekerjaan Kinerja Campuran Beraspal Khusus SMA dan Porous Asphalt Modifikasi. Pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini tidak menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum, unsure pimpinan maupun institusi pemerintah lainnya.

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

Kementerian Pekerjaan Umum mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan Umum. 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:**

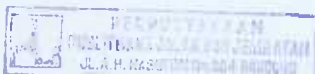
Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan  
[info@pusjatan.pu.go.id](mailto:info@pusjatan.pu.go.id)

# TENTANG PUSLITBANG JALAN DAN JEMBATAN

Merupakan lembaga litbang yang bertanggung jawab mencari berbagai investasi di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi serta menggali potensi pelayagunaannya (inovasi).

Memiliki visi sebagai lembaga penelitian dan pengembangan terkemuka dan terpercaya, dengan misi yang terdiri atas:

1. Meneliti dan mengembangkan teknologi bidang jalan dan jembatan yang inovatif, aplikasi, dan berdaya sang.
2. Memberikan pelayanan teknologi dalam rangka mewujudkan jalan dan jembatan yang andal.
3. Menyebarluaskan dan mendorong penerapan hasil litbang bidang jalan dan jembatan.



## KEANGGOTAAN TIM TEKNIS DAN SUBTIM TEKNIS

- Tim Teknis dan Sub Tim Teknis:
1. Pro<sup>o</sup> (R). Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
  2. Ir. Agus Bari Sailendra, MT
  3. Pro<sup>o</sup> (R). Ir. Lanneke Tristanto, APU
  4. Pro<sup>o</sup> (R). Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
  5. Ir. GJW Fernandez
  6. Ir. Soedarmanto Darmonegoro
  7. Dr. Djoko Widajat, M.Sc.
  8. Ir. Kurniadji, MT
  9. Dr. Ir. Siegfried, M.Sc.
  10. Dr. Ir. R. Anwar Yamin, M.Sc.

# Kata Pengantar

Dengan terlaksananya kajian dan pengawasan Uji coba skala penuh teknologi SMA dan Porous *asphalt* di lapangan dengan mengambil lokasi ruas jalan Jatibarang – Palimanan (sta. 29+350 s.d. sta. 31+050) sepanjang 1,7 km di Pantura Jawa Barat pada tahun 2010 ini diharapkan dapat memberikan data kondisi dan kinerja dari konstruksi lapis perkerasan tersebut, akibat pengaruh cuaca dan beban lalu lintas.

Pada tahun anggaran 2011 setelah kemudian kemudian dilanjutkan dengan monitoring dan evaluasi kinerja campuran SMA dan porous *asphalt* modifikasi yang diharapkan dapat memberikan data kondisi dan kinerja dari konstruksi lapis perkerasan jalan tersebut sehingga terwujud salah satu perkerasan jalan sebagai alternatif konstruksi dalam rangka peningkatan aksesibilitas jaringan jalan dan meningkatkan efisiensi biaya penyelenggaraan konstruksi jalan di Indonesia.





# Daftar Isi

Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vii
Daftar Tabel .....	ix
Daftar Gambar .....	xi
Glosari .....	xiii
<b>BAB 1. Pendahuluan .....</b>	<b>1</b>
<b>BAB 2. SMA &amp; Porous Asphalt .....</b>	<b>3</b>
<b>BAB 3. Lalu Lintas Rencana .....</b>	<b>9</b>
<b>BAB 4. Konstruksi Perkerasan .....</b>	<b>11</b>
<b>BAB 5. Penilaian Kinerja .....</b>	<b>13</b>
5.1 Penilaian Kondisi .....	13
5.2 Ketidakrataan Permukaan .....	14
5.3 Kekesatan Permukaan .....	16
5.4 Pengambilan Contoh Inti .....	16
5.5 Lendutan Perkerasan .....	16
<b>BAB 6. Pelaksanaan .....</b>	<b>17</b>
6.1 Lapisan Campuran SMA ¾" Aspal Starbit + 0,3% <i>Cellulosa</i> .....	17
6.2 Lapisan Campuran SMA 1" Aspal Starbit + 0,3% <i>Cellulosa</i> .....	27
6.3 Lapisan Campuran SMA ¾ Aspal 60/70 + 8% TPS .....	34
6.4 Lapisan Campuran SMA ¾ Aspal 60/70 + 12% TPS .....	41



6.5	Lapisan Campuran Porous <i>Asphalt</i> 60/70 + 12% TPS .....	49
6.6	Ketidakrataan Permukaan .....	63
<b>BAB 7.</b>	<b>Rangkuman Evaluasi .....</b>	<b>65</b>
7.1	Lapisan Campuran SMA 3/4" Aspal Starbit+0,3% <i>Cellulosa</i>	65
7.2	Lapisan Campuran SMA 1" Aspal Starbit + 0,3% <i>Cellulosa</i>	66
7.3	Lapisan Campuran SMA 3/4 Aspal 60/70 + 8% TPS .....	67
7.4	Lapisan Campuran SMA 3/4 Aspal 60/70 + 12% TPS ....	68
7.5	Lapisan Campuran Porous <i>Asphalt</i> 60/70 + 12% TPS....	69
7.6	Pengujian Ketidakrataan Lapisan SMA dan Porous <i>Asphalt</i>	70
<b>Daftar Pustaka .....</b>		<b>71</b>

# Daftar Tabel

Tabel 1.	Kumulatif ESA jalan Jatibarang – Plimanan sampai tahun 2015	9
Tabel 2.	Jenis kerusakan perkerasan beraspal .....	14
Tabel 3.	Sifat-sifat aspal Starbit E 55 .....	18
Tabel 4.	Sifat-sifat campuran SMA gradasi 3/4", aspal starbit+0,3% cellulosa .....	19
Tabel 5.	Sifat-sifat campuran SMA 3/4", aspal starbit+0,3% <i>cellulosa</i>	12
Tabel 6.	Sifat-sifat fisik aspal SMA 3/4", aspal starbit+0,3% <i>cellulosa</i>	13
Tabel 7.	Alur terjadi setelah perkerasan umur 10 bulan.....	22
Tabel 8.	Jenis kerusakan lapis SMA 3/4" aspal starbit+0,3% <i>Cellulosa</i>	23
Tabel 9.	Kepadatan lapangan SMA 3/4", aspal starbit+0,3% <i>cellulosa</i>	24
Tabel 10.	Rongga dalam campuran SMA 3/4", aspal starbit+0,3% <i>cellulosa</i> .....	24
Tabel 11.	Nilai Pendulum SMA gradasi 3/4", aspal starbit+0,3% <i>cellulosa</i> .....	25
Tabel 12.	Hasil pengujian sifat-sifat aspal SMA 3/4" starbit+0,3% <i>Cellulosa</i> .....	26
Tabel 13.	Sifat-sifat campuran SMA gradasi 1", aspal starbit+0,3% <i>cellulosa</i> .....	28
Tabel 14.	Sifat-sifat campuran SMA Gradasi 1", aspal starbit+0,3% <i>cellulosa</i> .....	29
Tabel 15.	Alur terjadi setelah perkerasan umur 10 bulan.....	31
Tabel 16.	Kepadatan lapangan SMA 1", aspal starbit+0,3% <i>cellulosa</i> .	32

Tabel 17.	Rongga dalam campuran SMA 1", aspal starbit+0,3% <i>cellulosa</i>	32
Tabel 18.	Nilai Pendulum SMA gradasi 1", aspal starbit+0,3% <i>cellulosa</i>	33
Tabel 19.	Hasil pengujian sifat-sifat aspal SMA 1" starbit+0,3% <i>Cellulosa</i>	34
Tabel 20.	Sifat-sifat campuran SMA gradasi 3/4", aspal 60/70+8% TPS	35
Tabel 21.	Sifat-sifat campuran SMA Gradasi 3/4", aspal 60/70+8% TPS.	36
Tabel 22.	Alur terjadi setelah perkerasan umur 10 bulan.....	38
Tabel 23.	Jenis kerusakan lapis SMA 3/4" aspal 60/70+8% TPS.....	38
Tabel 24.	Kepadatan lapangan SMA 3/4", aspal 60/70+8% TPS .....	39
Tabel 25.	Rongga dalam campuran SMA 3/4", aspal 60/70+8% TPS ...	40
Tabel 26.	Nilai Pendulum SMA 3/4", aspal 60/70+8% TPS.....	41
Tabel 27.	Hasil pengujian sifat-sifat aspal SMA 3/4" aspal 60/70+8% TPS	41
Tabel 28.	Sifat-sifat campuran SMA gradasi 3/4", aspal 60/70+12% TPS	42
Tabel 29.	Sifat-sifat campuran SMA Gradasi 3/4", aspal 60/70+12% TPS	43
Tabel 30.	Alur terjadi setelah perkerasan umur 10 bulan.....	45
Tabel 31.	Jenis kerusakan lapis SMA 3/4" aspal 60/70+12% TPS.....	46
Tabel 32.	Kepadatan lapangan SMA 3/4", aspal 60/70+12% TPS .....	47
Tabel 33.	Rongga dalam campuran SMA 3/4", aspal 60/70+8% TPS ...	47
Tabel 34.	Nilai Pendulum SMA 3/4", aspal 60/70+12% TPS.....	48
Tabel 35.	Hasil pengujian sifat-sifat aspal SMA 3/4" aspal 60/70+12% TPS	49
Tabel 36.	Sifat-sifat campuran porous <i>asphalt</i> 1", aspal 60/70+12% TPS	50
Tabel 37.	Produksi campuran porous <i>asphalt</i> 1", aspal 60/70+12% TPS	51
Tabel 38.	Alur terjadi setelah perkerasan umur 10 bulan.....	53
Tabel 39.	Jenis kerusakan lapis porous <i>asphalt</i> 1" aspal 60/70+12% TPS	54
Tabel 40.	Kepadatan lapangan porous <i>asphalt</i> 1", aspal 60/70+12% TPS	55
Tabel 41.	Rongga dalam campuran porous <i>asphalt</i> .....	56
Tabel 42.	Permeabilitas lapangan porous <i>asphalt</i> .....	57
Tabel 43.	Tipikal permeabilitas untuk perkerasan beraspal.....	58
Tabel 44.	Nilai Pendulum Porous <i>asphalt</i> 1", aspal 60/70+12% TPS....	59
Tabel 45.	Sifat-sifat aspal Porous <i>asphalt</i> 1" aspal 60/70+12% TPS.....	59
Tabel 46.	Hasil kecepatan kendaraan.....	60
Tabel 47.	Perbandingan nilai Leq antara SMA dan Porous <i>Asphalt</i> .....	61
Tabel 48.	Perbandingan nilai Atenuasi (dB) antara SMA dan Porous <i>Asphalt</i> .....	62
Tabel 49.	Hasil pengukuran ketidakrataan (IRI).....	63

# Daftar Gambar

Gambar 1.	Jenis serat <i>cellulosa</i> .....	4
Gambar 2.	Bahan aditif aspal <i>Tofpack-Super</i> (TPS) .....	5
Gambar 3.	Perbedaan lapis porous aspal dengan lapis konvensional SMA.....	5
Gambar 4.	Alat <i>outflow</i> meter untuk mengukur kapasitas pengaliran	6
Gambar 5.	Alat permeabilitas air untuk pengukuran di lapangan ....	6
Gambar 6.	Kekesatan lapisan porous asphalt dan lapisan konvensional	7
Gambar 7.	Pengukuran suara kortak ban dengan perkerasan di Belgia	7
Gambar 8.	Pengukuran suara kortak ban dengan perkerasan di Jepang	8
Gambar 9.	Pengukuran suara kortak ban dengan perkerasan di Itali	8
Gambar 10.	Pengukuran lendutan dengan alat FWD dan rencana tebal lapisan.....	10
Gambar 11.	Denah hasil uji coba skala petuh teknologi SMA dan porous asphalt .....	12
Gambar 12.	Tipikal tebal perkerasan jalan uji coba SMA dan porous asphalt .....	12
Gambar 13.	Gradasi agregat RCK SMA 3/4" aspal starbit+0,3% <i>cellulosa</i>	18
Gambar 14.	Gradasi agregat campuran SMA 3/4" aspal starbit+0,3% <i>cellulosa</i> .....	19
Gambar 15.	Kedalaman alur jalur arah Jakarta dan Cirebon.....	22
Gambar 16.	Kondisi lapis SMA 3/4" aspal starbit+0,3% Cell, umur 10 bulan .....	23
Gambar 17.	Rongga dalam campuran SMA 3/4" aspal starbit+0,3% <i>cellulosa</i> .....	25

Gambar 18.	Pemisahan agregat dan serat cellulosa campuran SMA 3/4"	26
Gambar 19.	Gradasi agregat RCK SMA 1" aspal starbit+0,3% <i>cellulosa</i>	27
Gambar 20.	Gradasi agregat campuran SMA 1" aspal starbit+0,3% <i>cellulosa</i> .....	28
Gambar 21.	Kedalaman alur pada jalur arah Jakarta dan Cirebon.....	30
Gambar 22.	Kondisi lapis SMA 1" aspal starbit+0,3% <i>Cellulosa</i> , umur 10 bulan .....	31
Gambar 23.	Rongga dalam campuran lapisan SMA1" starbit+0,3% <i>cellulosa</i> .....	33
Gambar 24.	Gradasi agregat SMA 3/4" aspal 60/70+8% TPS.....	34
Gambar 25.	Hasil ekstraksi gradasi agregat SMA 3/4" aspal 60/70+8% TPS .....	35
Gambar 26.	Kedalaman alur pada jalur arah Jakarta dan Cirebon.....	37
Gambar 27.	Kondisi lapis SMA 3/4" aspal 60/70+8% TPS. umur 10 bulan	39
Gambar 28.	Rongga dalam campuran lapisan SMA3/4" aspal 60/70+8% TPS .....	40
Gambar 29.	Gradasi agregat JMF SMA 3/4" aspal 60/70+12% TPS. ■	42
Gambar 30.	Gradasi agregat SMA 3/4" aspal 60/70+12% TPS di AMP	43
Gambar 31.	Kedalaman alur jalur arah Jakarta dan Cirebon.....	45
Gambar 32.	Kondisi lapis SMA 3/4" aspal 60/70+12% TPS. umur 10 bulan	46
Gambar 33.	Rongga dalam campuran lapisan SMA3/4" aspal 60/70+12% TPS .....	48
Gambar 34.	Gradasi agregat JMF porous <i>asphalt</i> 1", aspal 60/70+12% TPS. ....	50
Gambar 35.	Gradasi agregat porous <i>asphalt</i> 1" aspal 60/70+12% TPS di AMP.....	51
Gambar 36.	Kedalaman alur jalur arah Jakarta dan Cirebon.....	53
Gambar 37.	Lapis porous asphat 1" aspal 60/70+12%TPS umur 10 bulan	55
Gambar 38.	Grafik Rongga dalam campuran lapisan porous <i>asphalt</i> .	56
Gambar 39.	Grafik penurunan permeabilitas lapangan .....	57
Gambar 40.	Pengujian Permeabilitas di lapangan.....	58
Gambar 41.	Posisi titik pengukuran kebisingan .....	61
Gambar 42.	Penempatan posisi titik pengukuran kebisingan.....	63



# Glosari

1. **aspal keras:** residu destilasi minyak bumi yang bersifat viscoelastik
2. **aspal modifikasi:** aspal keras yang dicampur bahan sintetis elastomer sehingga memenuhi persyaratan aspal modifikasi.
3. **starbit:** jenis aspal modifikasi yaitu aspal keras penterasi 60-70 yang dicampur bahan elastomer dengan nilai titik lembek diatas 55°C.
3. **cellulosa:** cellulosa berbentuk serat (*fiber*) dengan panjang serat 0,25 inci.
4. **agregat:** sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil buatan.
5. **campuran porous asphalt:** campuran beraspal panas terdiri dari agregat bergradasi kasar yang relatif seragam dengan bahan pengikat aspal yang dipadatkan sehingga memiliki rongga sekitar 20%.
6. **campuran stone mastic asphalt (SMA):** campuran beraspal panas terdiri dari agregat bergredasi kasar yang relatif seragam dengan bahan tambah serat cellulose 0,3% terhadap berat total campuran.
7. **rancangan campuran kerja (*job mix formula*):** merupakan formula yang dipakai sebagai acuan untuk memproduksi campuran. Formula tersebut harus sesuai dan memenuhi persyaratan, dapat diproduksi dan dikerjakan di lapangan. Proses pembuatannya telah melalui beberapa

tahapan yaitu dari mulai rancangan campuran rencana (*design mix formula*), kemudian uji pencampuran di unit produksi campuran beraspal dan uji penghamparan dan pemadatan di lapangan.

# 1

## PENDAHULUAN

Dalam rangka pengembangan lapisan perkerasan beraspal untuk meningkatkan teknologi dan efisiensi penyelenggaraan jalan, pada tahun 2010 Puslitbang Jalan dan Jembatan telah melaksanakan uji coba skala penuh teknologi SMA dan Porous Asphalt di jalan ruas Jatibarang – Palimanan, Pantura Jawa Barat (km. 29+350 s.d. 31+050) , sepanjang 1,7 km. Pada tahun 2011 di lanjutkan dengan monitoring dan evaluasi perkerasan lentur, kinerja campuran SMA dan Porous Asphalt pada jalan ruas Jatibarang – Palimanan, secara berkala dalam periode tertentu agar didapatkan data kinerja perkerasan.

Lapis perkerasan SMA dan porous asphalt sejak tahun delapan puluhan telah banyak digunakan diberbagai negara karena mempunyai beberapa karakteristik lapisan yang dapat memberikan keuntungan bagi pengendara seperti mempunyai tahan gelincir (*skid resistant*) yang cukup tinggi selain itu ketahanan (*durability*) terhadap temperatur tinggi dan beban kendaraan berat, sehingga lapisan SMA dan porous asphalt ini sangat sesuai bila digunakan pada daerah iklim tropis dengan curah hujan dan temperatur yang cukup tinggi. Khususnya campuran porous asphalt dapat mereduksi kebisingan suara akibat kendaraan dan lapisan porous asphalt dapat juga berfungsi sebagai drainase untuk lebih cepat mengalirkan air dipermukaan jalan.



Uji coba skala penuh teknologi SMA dan porous *asphalt* di ruas jalan Jatibarang – Palimanan, dibuka untuk dua arah yaitu jalur arah Jakarta dan jalur arah Cirebon dengan lebar jalan 7,20 m dan tebal lapisan 5 cm.

Campuran porous *asphalt* merupakan lapisan yang porous sehingga perencanaan rongga dalam campuran (*void ratio*) merupakan faktor yang paling utama selain mutu bahan campuran dan bentuk agregat harus memenuhi persyaratan tertentu, seperti kekerasan, bentuk butiran agregat kubikal dan pelekatan terhadap aspal baik. Penggunaan jenis apal modifikasi yang mempunyai nilai titik lembek tinggi akan dapat membantu lapisan SMA dan porous *asphalt* sehingga mempunyai karakteristik durabilitas tinggi tahan terhadap temperatur tinggi dan lalu lintas berat. Perencanaan campuran porous *asphalt* dengan cara Marshal harus memperhatikan target rongga dalam campuran (*void ratio*) dan koefisien permabilitas (*cofisien air permeability*). Pengujian permeabilitas lapisan porous *asphalt* baik dilapangan dan laboratoium harus mempunyai standar tertentu. Sebagai fungsi durabilitas campuran, viskositas aspal harus direncanakan cukup tinggi dengan menggunakan aspal modifikasi. Lokasi jalan percobaan terutama lapisan permukaan jalan lama (*eksisting*) harus cukup mantap dan rata tidak mengalami kerusakan agar lapisan porous *asphalt* dapat berfungsi secara optimal. Campuran SMA (*stone mastic asphalt*) mempunyai gradasi campuran agregat yang tertentu agak kasar sehingga penyiapan agregat untuk memenuhi spesifikasi campuran harus terpenuhi dan bentuk agregat harus memenuhi persyaratan tertentu, seperti kekerasan, bentuk butiran agregat kubikal dan pelekatan terhadap aspal baik dan yang sangat perlu mendapat perhatian khusus adalah penambahan serat *cellulosa* kedalam campuran harus dapat merata. Penggunaan jenis apal modifikasi yang mempunyai nilai titik lembek tinggi akan dapat membantu lapisan SMA mempunyai karakteristik durabilitas tinggi tahan terhadap temperatur tinggi dan lalu lintas berat. Observasi dan evaluasi harus dilakukan secara berkala dalam periode waktu tertentu agar didapatkan data kinerja perkerasan secara optimal.

# 2

## SMA & POROUS ASPHALT

*Stone Mastic Asphalt* (SMA) dengan bahan tambah *cellulosa* (SMA+Cellulosa) mulai dikembangkan di Jerman pada tahun 1960 dan masuk dalam standar ZTV-Bit-Stb 84. Keunggulan SMA+Cellulosa sudah diakui di beberapa Negara termasuk Amerika pada tahun 1990 memasukan dalam standar AASHTO *Deesignation*: M 325-08. Teori dasar SMA (*split mastic asphalt*) adalah bagaimana memaksimalkan interaksi dan kontak di antara fraksi kasar dalam campuran, agregat kasar yang tertahan di atas saringan no.8 membentuk kerangka *structural/skelton* dalam campuran beraspal yang dipadatkan sehingga terjadi pertambahan daya geser dalam (*internal friction*) dan tahanan geser yang tinggi, sedangkan aspal minyak, fraksi halus dan bahan tambah serat *cellulosa* membentuk *mastic* yang berfungsi menyatukan skelton agregat kasar. Beberapa keunggulan SMA+Cellulosa adalah mampu memberikan peningkatan umur perkerasan dan kekesatan permukaan perkerasan yang optimal. *Cellulosa* berbentuk serat dengan sifat-sifat sebagai berikut:

- |                         |                      |
|-------------------------|----------------------|
| — Panjang serat         | : 0,25 inci          |
| — Lolos saringan No. 20 | : 85% ( $\pm 10\%$ ) |
| No. 40                  | : 40% ( $\pm 10\%$ ) |
| No. 140                 | : 30% ( $\pm 10\%$ ) |

— PH	:	7,5 ( $\pm 1,0$ )
— Absorsi minyak	:	5,0 ( $\pm 1,0$ ) kali berat serat <i>cellulosa</i> ( <i>fiber</i> )
— Kadar air	:	maks. 5%

Serat *Cellulosa* produksi Jerman di Indonesia dikenal dengan nama *Arbocel* dan di Indonesia ada beberapa perusahaan telah memproduksinya dengan beberapa nama seperti *Roadcel*, *Fracseal XL* dan *Cellplug*. Produksi serat *cellulosa* yang berbentuk seperti pelet dengan nama *Viatop* dimaksudkan agar dapat merata dalam campuran SMA. Pada tahun sembilan puluhan di Indonesia telah diaplikasikan SMA+*Cellulosa* dalam bentuk serat, hasilnya ada dengan prestasi yang memuaskan tetapi ada pula beberapa kegagalan yang disebabkan oleh beberapa teknik aplikasi yang belum sempurna. Jenis serat *cellulosa* yang berbentuk serat dan berbentuk pelet seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Serat *Cellulosa*



Serat *Cellulosa* bentuk pelet

Gambar 1. Jenis serat *cellulosa*

Lapisan porous *asphalt* memerlukan perhatian khusus karena mempunyai sifat utama untuk dapat mengalirkan air permukaan (*drainage pavement*) dan meredam kebisingan (*noise reduction function*). Di Jepang penggunaan campuran porous *asphalt* menggunakan bahan pengikat aspal minyak penetrasi 60/80 yang dimodifikasi dengan bahan *modifier Taspac-Super* (TPS), seperti ditunjukkan pada Gambar 2. sehingga titik lembek aspal (*softening point*) meningkat dari 48°C menjadi > 80°C sehingga campuran

porous *asphalt* mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap temperatur tinggi dan lalu lintas berat.



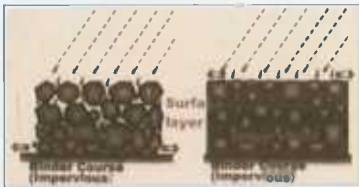
Bahan aditif *Taipack-Super* (TPS)



*Taipack-Super* dalam kemasan

Gambar 2. Bahan aditif aspal *Taipack-Super* (TPS)

Di beberapa negara pelaksanaan porous *asphalt* pada umumnya menggunakan aspal modifikasi yang mempunyai nilai titik lembek cukup tinggi berkisar antara 60 - 80 °C, akan dapat membantu lapisan porous *asphalt* mempunyai karakteristik durabilitas tinggi, tahan terhadap temperatur tinggi dan lalu lintas berat. Perbedaan lapisan porous *asphalt* dan lapisan konvensional SMA adalah lapisan porous *asphalt* dapat mengalirkan air hujan lewat rongga (Void) langsung membuangnya kebagian tepi perkerasan sedangkan lapis konvensional SMA air hujan dibuang dari permukaan perkerasan, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbedaan lapis porous *asphalt* dengan lapis konvensional SMA

Kasus yang terjadi pada lapisan porous asphalt adalah tersumbatnya rongga akibat debu atau kotoran atau tanah yang terbawa oleh ban kendaraan dapat menyumbat rongga sehingga drainase tidak dapat berfungsi. Diberbagai Negara yang sudah melaksanakan lapis porous *asphalt* pada periode tertentu dilakukan penyedotan kotoran didalam rongga dengan peralatan khusus atau mengganti lapisan porous *asphalt* dengan cara garuk (*milling*) dan mengganti dengan lapisan yang baru.

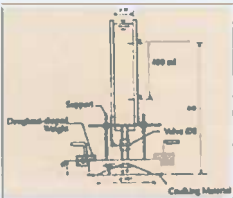
Belgia pada tahun 1979 melaksanakan pengujian lapisan porous asphalt oleh Belgian Road Research Centre (BRRC), Alat untuk mengukur permeabilitas air pada lapisan porous asphalt di lapangan menggunakan alat *outflow meter*, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Alat *outflow meter* untuk mengukur kapasitas pengaliran

Pengukuran permeabilitas air pada lapis porous *asphalt* dengan rongga dalam campuran (*void ratio*) sebesar 19% - 25% harus dapat mengalirkan air (*draining capacity*) untuk 1,4 liter dalam waktu  $\geq 60$  detik.

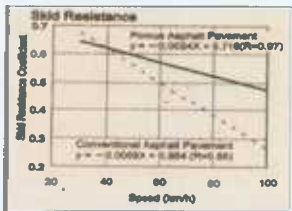
Pengukuran permeabilitas air pada lapis porous *asphalt* di lapangan yang digunakan di Jepang seperti ditunjukkan pada Gambar 5, dengan persyaratan koefisien permeabilitas pengaliran air minimum  $1 \times 10^{-2}$ .



Gambar 5. Alat permeabilitas air untuk pengukuran di lapangan

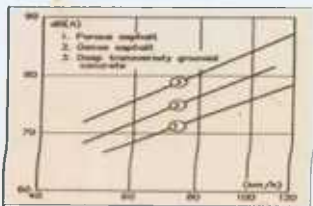


Pengujian kekesatan (*skid resistance*) yang dilakukan di Jepang menunjukkan kekesatan lapis perkerasan porous asphalt lebih tinggi bila dibandingkan dengan lapis perkerasan konvensional, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



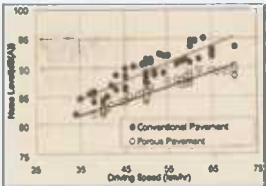
Gambar 6. Kekesatan lapisan porous asphalt dan lapisan konvensional

Belgia pada tahun 1979 melaksanakan pengujian pengukuran suara (*noise measurement*) lapisan porous asphalt oleh Belgian Road Research Centre (BRRC), hasil pengujian menunjukkan lapisan porous asphalt dapat mereduksi suara akibat sentuhan ban kendaraan yang berjalan dengan permukaan perkerasan, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



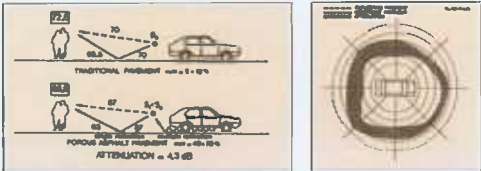
Gambar 7. Pengukuran suara kontak ban dengan perkerasan di Belgia

Di Jepang hasil pengukuran suara (*noise measurement*) kontak ban terhadap lapisan porous *asphalt* dan lapisan konvensional, seperti ditunjukkan Gambar 8.



Gambar 8. Pengukuran suara kontak ban dengan perkerasan di Jepang

Absorsi suara kendaraan pada lapisan porous *asphalt* telah dilakukan pada tahun 1988 oleh Italian motorway untuk mengetahui besarnya reduksi suara kendaraan. Penelitian ini dilakukan simulasi pada kontrol pengukuran di laboratorium, hasil penelitian menunjukkan kebisingan suara kendaraan dengan roda karet akan timbul pada kecepatan untuk kendaraan penumpang antara 50 sampai 60 km/jam dan kendaraan truk antara 60 sampai 70 km/jam. Reduksi suara kebisingan dan *semianechoic chamber* bila dibandingkan antara perkerasan beraspal porous aspal dan konvensional seperti ditunjukkan pada Gambar 9, di mana perkerasan porous *asphalt* dapat mereduksi suara 4,3 dB



Gambar 9. Pengukuran suara kontak ban dengan perkerasan di Itali

# 3

## LALU LINTAS RENCANA

Perhitungan ESA sampai umur rencana 5 tahun pada rencana jalan percobaan Jatibarang – Palimanan pada Sta. 29+350 sampai Sta. 31+050 seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Dari hasil pengujian lendutan dengan alat DWD dapat rencana lapis tambahan (*overlay*) sampai umur perkerasan 5 tahun seperti ditunjukkan pada Gambar 10

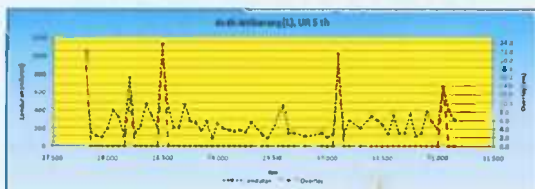
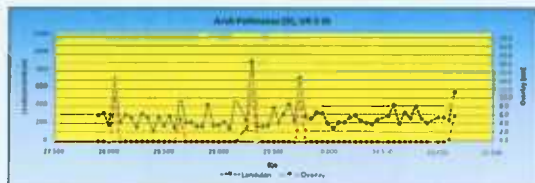
Tabel 1. Kumulatif ESA jalan Jatibarang – Plimanan sampai tahun 2015

Stasiun	Jenis	Tebal Lapis 20 2008, (cm)		Tebal perkerasan base (2008)		ESA 2008		Cumulative	ESA 2012		ESA 2015		
Stasiun	Stasiun	Aspal Hot	Aspal Panas	Aspal Hot	Aspal Panas	Aspal Hot	Aspal Panas		Aspal Hot	Aspal Panas	Aspal Hot	Aspal Panas	
1	SP	2,952	1,900	1,000	1,000	11,788	5,711	0%	27,177	11,650	1,04,949	41,504	
2	1/0 1.200	2,254	2,364	2,236	0,000	232,907	126,373	0%	475,129	257,690	1,319,544	997,734	
3	1 1.2	751	763	0,742	0,000	0,000	841,877	0%	8,676,004	2,796,000	10,473,821	6,643,867	
4	1/0 1.22	1,110	1,162	0,000	0,000	0,000	0,000	0%	0,000,000	0,000,000	0,000,000	0,000,000	
5	1/0 1.2 22/1 22	63	37	0,000	0,000	0,000	0,000	0%	0,000,000	0,000,000	0,000,000	0,000,000	
6	1/0 1.2 22/1 22	35	37	0,000	0,000	0,000	0,000	0%	0,000,000	0,000,000	0,000,000	0,000,000	
7	1 1.2 2/1 22	64	60	0,000	0,000	0,000	0,000	0%	0,000,000	0,000,000	0,000,000	0,000,000	
8	1 1.2 22/1 22	243	365	0,000	0,000	0,000	0,000	0%	0,000,000	0,000,000	0,000,000	0,000,000	
9	1 1.2 22/1 22	182	182	0,000	0,000	0,000	0,000	0%	0,000,000	0,000,000	0,000,000	0,000,000	
10	0 1.2	1,605	1,600	2,500	0,000	1,540,176	1,642,387	0%	2,103,367	2,107,000	12,524,000	8,258,045	
Total ESA		14,754	11,714			10,892,336	8,946,579		22,220,360	10,963,100	90,600,000	61,000,000	
ESA per lapis (60%)												11,418,000	41,510,000

Dari hasil perhitungan lendutan FWD dengan lalu lintas rencana sampai 5 tahun tebal perkerasan rencana rata-rata 5 cm.







**Gambar 10. Pengukuran lendutan dengan alat FWD dan rencana tebal lapisan**

# 4

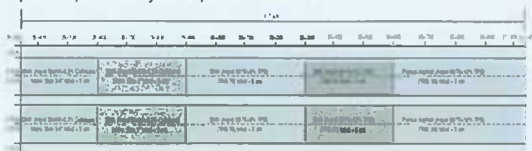
## KONSTRUKSI PERKERASAN

Hasil Uji coba skala penuh teknologi SMA dan porous asphalt pada ruas jalan Jatibarang – Palimanan (km. 29+350 s.d. 31+050), untuk dua arah yaitu jalur arah Jakarta dan jalur arah Cirebon dengan lebar jalan 7,20 m dan tebal lapisan 5 cm padat. Pada uji coba ini digunakan dua jenis campuran yaitu campuran porous asphalt dan campuran SMA dengan dua macam jenis aspal modifikasi yaitu aspal yang dimodifikasi dengan bahan TPS (*tapack super*) dan aspal modifikasi Starbit. Lapisan perkerasan terdiri dari:

- Lapisan campuran SMA gradasi maksimum size 3/4" dengan aspal starbit ditambah 0,3% *cellolusa* pelet pada Sta.29+350 s.d. Sta+600 sepanjang 250 m,
- Lapisan campuran SMA gradasi maksimum size 1" dengan aspal starbit ditambah 0,3% *cellolusa* pelet pada Sta.29+600 s.d. Sta.29+900 sepanjang 300m,
- Lapisan campuran SMA gradasi maksimum size 3/4" dengan aspal penetrasi 60-70 ditambah 8% TPS pada Sta.29+900 s.d. Sta.30+300 sepanjang 400 m,
- Lapisan campuran SMA gradasi maksimum size 3/4" dengan aspal penetrasi 60-70 ditambah 12% TPS pada Sta.30+300 s.d. Sta.30+600 sepanjang 300 m,

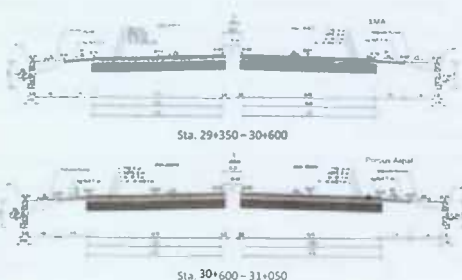
Lapisan campuran porous asphalt: gradasi maksimum size 1" dengan aspal penetrasi 60-70 ditambah 12% TPS pada Sta.30+600 s.d. Sta.31+050 sepanjang 450 m,

Denah dari hasil uji coba skala penuh lapis perkerasan SMA dan porous asphalt seperti ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Denah hasil uji coba skala penuh teknologi SMA dan porous asphalt

Tipikal potongan melintang perkerasan yang menggunakan Lapis SMA dan porous asphalt dengan tebal lapisan 5 cm padat, Seperti ditunjukkan Gambar 12.



Gambar 12. Tipikal tebal perkerasan jalan uji coba SMA dan porous asphalt

# 5

## PENILAIAN KINERJA

Metodologi penelitian yang digunakan untuk mengetahui sifat-sifat (karateristik) serta kinerja lapis campuran porous asphalt dan SMA akibat pengaruh temperatur dan beban lalu lintas berat. Kegiatan yang akan dilakukan adalah dengan melakukan monitoring dan evaluasi terhadap hasil uji coba skala penuh tersebut.

### 5.1 Penilaian Kondisi

Data kondisi perkerasan diperoleh melalui survai kondisi yang pada dasarnya dilakukan secara visual sambil berjalan kaki. Pada saat survei, pencatatan jenis-jenis kerusakan dilakukan untuk masing lajur lalu lintas. Jenis kerusakan permukaan yang terjadi pada perkerasan lentur dapat dikelompokan atas empat modus kejadian yaitu: retak, cacat permukaan, deformasi dan cacat tepi perkerasan. Untuk masing-masing lajur, pencatatan kerusakan dilakukan setiap jarak 10 meter, sedangkan pencatatan alur dilakukan pada titik berjarak 10 meter pada kedua jejak roda dengan menggunakan mistar perata (*straight egde*) panjang 3 m.

Secara garis besar, kerusakan pada perkerasan dapat dikelompokkan atas empat modus kejadian yaitu; retak, cacat permukaan, deformasi dan cacat tepi perkerasan. Masing-masing modus tersebut dapat dibagi lagi dalam beberapa jenis kerusakan dan ciri-cirinya, seperti ditunjukkan Tabel 2.

**Tabel 2. Jenis kerusakan perkerasan beraspal**

MODUS	JENIS	CIRI
Retak	<ul style="list-style-type: none"> <li>Retak memanjang</li> <li>Retak melintang</li> <li>Retak tidak beraturan</li> <li>Retak selip</li> <li>Retak blok</li> <li>Retak buaya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Memanjang searah sumbu jalan</li> <li>Melintang tegak lurus sumbu jalan</li> <li>Tidak berhubungan dgn pola tdk jelas</li> <li>Membentuk parabola atau bulan sabit</li> <li>Membentuk poligon, spasi jarak &gt; 300 mm</li> <li>Membentuk poligon, spasi jarak &lt; 300 mm</li> </ul>
Deformasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alur</li> <li>Keriting</li> <li>Ambias</li> <li>Sungkur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Penurunan sepanjang jejak roda</li> <li>Penurunan regular melintang, berdekatan</li> <li>Cekungan pada lapis permukaan</li> <li>Peninggian lokal pada lapis permukaan</li> </ul>
Cacat Permukaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lubang</li> <li>Delaminasi</li> <li>Pelepasan butiran</li> <li>Pengausan</li> <li>Kegemukan</li> <li>Tambalan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tergerusnya lapisan aus di permukaan perkerasanyang berbentuk seperti mangkok.</li> <li>Terkelupasnya lapisan tambah pd perkerasan yanglama.</li> <li>Lepasnya butir-butir agregat dari permukaan</li> <li>Ausnya batuan sehingga menjadi licin</li> <li>Pelelehan aspal pada permukaan perkerasan</li> <li>Perbaikan lubang pada permukaan perkerasan</li> </ul>
Cacat Tepi Perkerasan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gerusan tepi</li> <li>Penurunan tepi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lepasnya bagian tepi perkerasan</li> <li>Penurunan bahu jalan dari tepi perkerasan</li> </ul>

## 5.2 Ketidakrataan Permukaan

Survei ketidakrataan dimaksud untuk mengetahui gambaran tingkat pelayanan perkerasaan dalam kaitannya dengan kenyamanan pengguna jalan pada saat melewati perkerasan (makin besar nilai ketidak rataan, makin tidak nyaman pengguna jalan). Secara internasional, ketidakrataan permukaan perkerasan dinyatakan dalam satuan m/km IRI (*International Roughness Index*). Satuan dari kenyamanan atau nilai ketidakrataan adalah *Internasional Roughness Index (IRI)*. Nilai IRI ini digunakan untuk mendefinisikan karateristik yang diperoleh rata-rata dan satuan yang

digunakan adalah (m/km). Alat yang digunakan untuk survei ketidakrataan adalah Nassra Roughness meter yang dipasang di dalam kendaraan. Pada saat survei, kendaraan dijalankan pada masing-masing lajur jalan utama dengan kecepatan sekitar 30 km/jam. Hasil pencatatan diproses pada setiap interval jarak 100 meter dan besaran ketidakrataan dinyatakan dalam m/km IRI.

Ketidakrataan (*roughness*) adalah gambaran profil kerataan memanjang perkerasan. Ketidakrataan permukaan merupakan ekspresi kenyamanan berkendara. Pengaruh ketidakrataan tersebut dapat menimbulkan guncangan akibat profil memanjang yang tidak rata bahkan akan menimbulkan bahaya bagi pengendara. Ketidakrataan ini merupakan parameter yang penting dalam perkerasan jalan, sebab bukan hanya berpengaruh pada kenyamanan berkendara namun juga berpengaruh biaya operasi kendaraan dan biaya pemeliharaan perkerasan.

Data ketidakrataan yang diperoleh dari alat NAASRA-meter memiliki satuan *count*/km, maka hasil pembacaan NAASRA-meter harus dikonversikan kedalam m/km IRI. Sesuai dengan hasil kalibrasi yang telah dilakukan, persamaan yang digunakan untuk mengonversikan hasil pembacaan NAASRA-meter menjadi IRI sebagai berikut:

$$\text{IRI (m/km)} = 0,04328 \times \text{NAASRA (count/km)} + 1,335$$

Persyaratan ketidakrataan perkerasan berdasarkan:

- *Internasional Road Management System (IRMS)*, nilai IRI adalah:
  - $\text{IRI} < 6 \text{ m/km}$  : permukaan perkerasan relatif masih baik
  - $6 \text{ m/km} < \text{IRI} < 12 \text{ m/km}$  : perlu lapisan perata (*levelling*)
  - $\text{IRI} > 12 \text{ m/km}$  : permukaan perlu direhabilitas (*overlay*)
- Jalan Tol (PT. Jasa Marga) :  $\text{IRI} < 4 \text{ m/km}$ .

## 5.3 Kekesatan Permukaan

Kekesatan permukaan, sangat tergantung pada tekstur-mikro dan tekstur-makro. Tekstur-mikro berkaitan dengan tekstur agregat pada perkerasan, tekstur ini yang mengendalikan kontak antara roda karet dan permukaan perkerasan, sedangkan tekstur-makro berkaitan dengan tekstur yang dihasilkan dari susunan agregat dalam permukaan perkerasan, tekstur ini yang mengendalikan keluarnya air dari bawah roda karet dan dengan bertambahnya kecepatan maka akan kurang kekesatan permukaan. Kekesatan permukaan dinyatakan sebagai faktor gesekan (*friction factor*) atau nilai kekesatan (*skid number*).

## 5.4 Pengambilan Contoh Inti

Pengambilan contoh inti dilakukan dengan menggunakan alat *core drill* dengan mata bor diameter 4 inci dan contoh inti blok dilakukan pada lapisan permukaan, pada kedua lajur jalan. Pengambilan contoh inti ini dimaksudkan untuk mengetahui ketebalan lapisan dan menghitung kepadatan lapisan perkerasan dan sifa: aspal.

## 5.5 Lendutan Perkerasan

Survei lendutan dilakukan dengan menggunakan alat *Falling Weight Deflectometer* (FWD). Pengukuran lendutan dilakukan pada jejak roda luar masing-masing lajur jalan utama dimana jarak antara titik-titik pengukuran setiap 20 meter.

# 6

## PELAKSANAAN

Pelaksanaan motoring dan evaluasi hasil uji coba skala penuh teknologi SMA dan Porous Aspal pada ruas jalan Jatibarang ~ Palimanan (km. 29+350 s.d. 31+050), untuk dua arah yaitu jalur arah Jakarta dan jalur arah Cirebon.

Monitoring dan evaluasi perkerasan SMA dan Porous aspal dilaksanakan pada bulan April 2011 setelah umur perkerasan 4 bulan dan bulan Oktober 2011 setelah perkerasan berumur 10 bulan.

### 6.1 Lapisan Campuran SMA 3/4" Aspal Starbit + 0,3% *Cellulosa*

Hasil uji coba lapisan campuran SMA gradasi maksimum size 3/4" dengan aspal starbit ditambah 0,3% cellulosa pelet dilaksanakan pada Sta.29+350 s.d. Sta.29+600 sepanjang 250 m.

#### a. Perencanaan campuran

Hasil perencanaan campuran yang telah dilakukan pada tahun 2010 untuk digunakan sebagai bahan evaluasi lapisan campuran SMA 3/4" aspal starbit+0,3% *Cellulosa*.

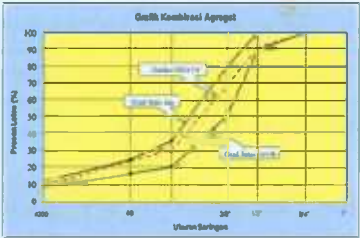


1) Hasil pengujian aspal starbit 55 seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Sifat-sifat aspal Starbit E 55

Jenis Pengujian	Starbit E 55	Syarat Mod.3
Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5 detik; 0,1 mm	53	50 - 80
Titik Lembek; °C	55	Min. 54
Titik nyala (COC)	317	Min. 225
Daktilitas, 25 °C; cm	140	Min. 50
Berat jenis	1,035	Min.1
Kelarutan dalam C <sub>2</sub> HCl <sub>4</sub>	99,3	Min 99
Kehilangan berat (TFOT)	0,005	Maks. 1

2) Hasil perencanaan gradasi campuran SMA 3/4" aspal starbit+0,3% cellulose untuk Rencana Campuran Kerja (RCK), seperti ditunjukkan pada Gambar 13, gradasi campuran masih masuk dalam rentang spesifikasi.



Gambar 13. Gradasi agregat RCK SMA 3/4" aspal starbit+0,3% cellulosa

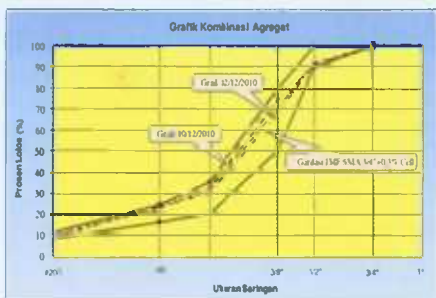
3) Hasil pengujian sifat-sifat campuran SMA 3/4" aspal starbit+0,3% cellulosa dengan menggunakan metode Marshall seperti ditunjukkan pada Tabel 4, sifat-sifat campuran memenuhi persyaratan.

**Tabel 4. Sifat-sifat campuran SMA gradasi 3/4", aspal starbit+0,3% *cellulosa***

Uraian Pemeriksaan	Satuan	Hasil	Persyaratan
Kadar aspal optimum	%	6,1	
Kepadatan	gr/cc	2,365	
Rongga Udara (VIM) Marshall	%	3,79	2,0 – 4,0
Rongga dim Agregat (VMA)	%	16,04	Min. 17
Rongga tersisi aspal (VFB)	%	76,35	
Stabilitas	kg	1023	Min. 600
Kelelehan	mm	3,65	Min. 3,0
Hasil bagr Marshall	Kg/mm	280	Min. 250
Sabilitas susa	%	87,60	Min. 75
Stabilitas Dinamis	Pass/mm	3215	Min. 3000

## b. Pengendalian mutu pelaksanaan lapangan

- 1) Hasil pengendalian mutu selama pelaksanaan lapangan campuran SMA 3/4" aspal starbit+0,3% *cellulosa*, untuk produksi campuran tanggal 10 dan 12 Desember 2010, gradasi agregat campuran hasil ekstraksi memenuhi syarat spesifikasi agregat seperti ditunjukkan pada Gambar 14 dan sifat-sifat campuran memenuhi persyaratan seperti ditunjukkan pada Tabel 5.



**Gambar 14. Gradasi agregat campuran SMA 3/4" aspal starbit+0,3% *cellulosa***

**Tabel 5. Sifat-sifat campuran SMA 3/4", aspal starbit+0,3% *cellulosa***

Uraian Pemeriksaan	Produksi Campuran		JMF
	10/12/2010	12/12/2010	
Kadar aspal optimum (%)	5,90	6,00	6,1
Kepadatan (gr/cc)	2,362	2,356	2,365
Rongga Udara (VIM) Marshall (%)	3,40	3,50	3,79
Rongga dim Agregat (VMA) (%)	16,50	16,90	16,04
Rongga terisi aspal (VFB) (%)	79,30	79,10	76,35
Stabilitas (kg)	1375	1241	1023
Kelelahan (mm)	3,10	3,66	3,65
Hasil bagi Marshall (kg/mm)	480	350	280
Sabilitas sisa (%)	86,5	98,4	87,60

- 2) Sifat-sifat fisik aspal starbit 55 dari hasil ekstraksi campuran SMA 3/4" aspal starbit+0,3% *cellulosa* di lapangan memenuhi persyaratan seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 6. Sifat-sifat fisik aspal SMA 3/4", aspal starbit+0,3% *cellulosa***

Jenis Pengujian	Starbit E 55 dari tangki	Starbit E 55 Hasil ekstraksi	Syarat Mod.3
Penetrasi, 25 °C, 100 gr, 5 detik; 0,1 mm	53	40	50 - 80
Titik Lembek; °C	55	58,9	Min. 54
Daktilitas, 25 °C; cm	>140	>140	Min. 50

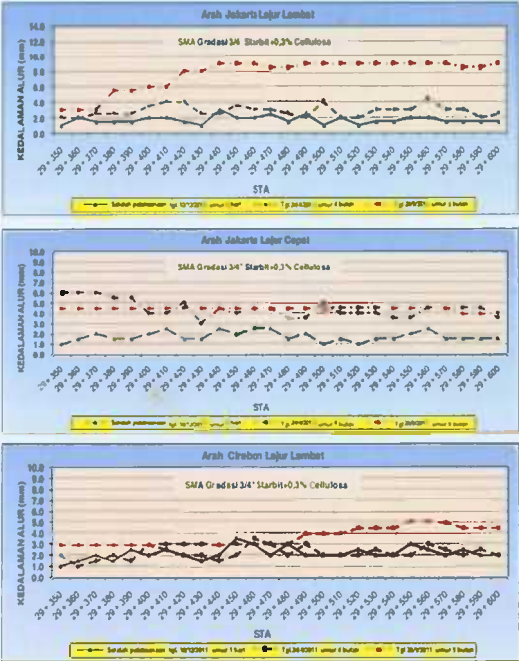
### C. Monitoring dan evaluasi

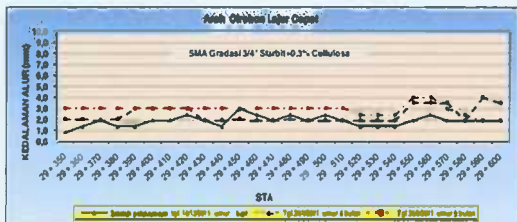
Pelaksanaan monitoring dan evaluasi dilaksanakan pada tahun studi 2011, pelaksanaan dilakukan pada bulan april 2011 umur perkerasan 4 bulan dan pada bulan Oktober 2011 umur perkerasan 10 bulan. Monitoring dan evaluasi ini dilakukan pengukuran dan pengujian lapangan seperti pengukuran alur (*rutting*), penilaian kondisi (PCS), kekasaran permukaan, ketidakrataan permukaan dan pengujian serta pengukuran benda uji di Laboratorium seperti kepadatan, rongga dalam campuran, sifat-sifat aspal.

#### 1) Penilaian kondisi

Pada saat survai, pencatatan jenis-jenis kerusakan dilakukan untuk masing lajur lalu lintas. Untuk masing-masing lajur, pencatatan kerusakan dilakukan setiap jarak 10 meter, sedangkan pencatatan alur

dilakukan pada titik berjarak 10 meter pada kedua jejak roda dengan menggunakan mistar perata (*straight edge*) sepanjang 3 m. Hasil pengukuran alur rata-rata untuk arah Jakarta lajur lambat dan lajur cepat, arah Cirebon untuk lajur lambat dan lajur cepat seperti ditunjukkan Gambar 15.





Gambar 15. Kedalaman alur jalur arah Jakarta dan Cirebon

Alur yang terjadi pada umur perkerasan 10 bulan pada lajur arah Jakarta dan lajur arah Cirebon, seperti ditunjukkan pada Tabel 7.

Jalur arah Jakarta, alur yang terjadi setelah umur perkerasan 10 bulan rata-rata lajur lambat 8 mm dan lajur cepat 4 mm. Untuk jalur arah Cirebon lajur lambat 4,0 mm dan lajur cepat 3,0 mm.

Tabel 7. Alur terjadi setelah perkerasan umur 10 bulan

Arah	Lajur jalan	Kedalaman Alur		
		1 hari	4 bulan	10 bulan
Jakarta	Lambat	2 mm	3 mm	8 mm
	Cepat	2 mm	4 mm	4 mm
Cirebon	Lambat	2 mm	2 mm	4 mm
	Cepat	2 mm	2 mm	3 mm

Kerusakan fungsional seperti retak, tambalan, lubang, amblas dan deformasi plastis pada permukaan jalan lapisan campuran SMA gradasi maksimum size 3/4" dengan aspal starbit ditambah 0,3% *cellulosa* pelet setelah umur lapis perkerasan 10 bulan, seperti ditunjukkan pada Tabel 8. Kerusakan yang terjadi seperti tambalan seluas 1,0 m<sup>2</sup>. Kondisi lapis perkerasan pada umur 10 bulan, seperti ditunjukkan pada Gambar 16.

**Tabel 8. Jenis kerusakan lapis SMA 3/4" aspal starbit+0,3% *Cellulosa***

Lajur lambat arah Jakarta						Lajur Cepat arah Jakarta					
STA	Retak (m')	Tambalan (m')	Lubang (m')	Ambles (m')	Deformasi (m')	STA	Retak (m')	Tambalan (m')	Lubang (m')	Ambles (m')	Deformasi (m')
29+560		1.0									
Jumlah											
Lajur lambat arah Cirebon						Lajur Cepat arah Cirebon					
tidak ada kerusakan						tidak ada kerusakan					



Kondisi lapis SMA 3/4" starbit+0,3% Cell



Permukaan lapis SMA 3/4" starbit+0,3% Cell



Deformasi perkerasan pada sisi bahu jalan



Deformasi perkerasan pada sisi median

**Gambar 16. Kondisi lapis SMA 3/4" aspal starbit+0,3% *Cellulosa*, umur 10 bulan**

## 2) Pengujian Kepadatan lapangan

Pengambilan contoh inti dilakukan dengan menggunakan alat *core drill* dengan mata bor diameter 4 inci, dilakukan pada lapisan permukaan, pada jalur arah Jakarta, lajur cepat dan lajur lambat sebanyak 4 buah benda uji dan pada arah Cirebon, lajur cepat dan lajur lambat 4 buah benda uji. Pengambilan benda uji pada umur 1 hari, 4 bulan dan 10 bulan.

Hasil pengujian kepadatan lapangan sampai umur perkerasan 10 bulan seperti ditunjukkan pada Tabel 9. Terjadi peningkatan kepadatan dari umur perkerasan 1 hari sampai umur perkerasan 10 bulan, peningkatan kepadatan lapangan rata-rata sebesar 1,33%, untuk jalur arah Jakarta dan arah Cirebon.

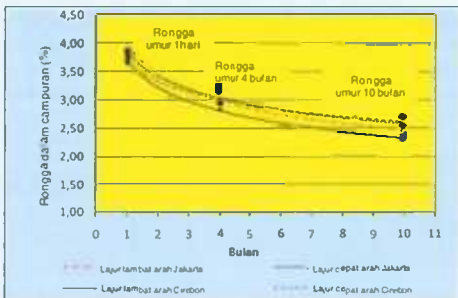
Tabel 9. Kepadatan lapangan SMA 3/4", aspal starbit+0,3% *cellulosa*

Umur Perkerasan	Kepadatan lapangan (gr/cc)			
	arah Jakarta		Arah Cirebon	
	Lajur Lambat	Lajur Cepat	Lajur Lambat	Lajur Cepat
1 hari	2.364	2.366	2.369	2.368
4 bulan	2.380	2.382	2.403	2.387
10 bulan	2.401	2.396	2.405	2.393
Peningkatan kepadatan umur 1 hari sampai umur 10 bulan	1,54%	1.25%	1,50%	1,04%
Rata-rata	1,33%			

Peningkatan kepadatan lapangan akan diikuti dengan penurunan rongga dalam campuran (VIM), dari umur perkerasan 1 hari sampai umur 10 bulan rata-rata sebesar 33,8% seperti ditunjukkan pada Tabel 10 dan Gambar 17.

Tabel 10. Rongga dalam campuran SMA 3/4", aspal starbit+0,3% *cellulosa*

Umur Perkerasan	Rongga dalam campuran (%)			
	arah Jakarta		Arah Cirebon	
	Lajur Lambat	Lajur Cepat	Lajur Lambat	Lajur Cepat
1 hari	3,86	3,78	3,66	3,70
4 bulan	3,21	3,13	2,78	2,93
10 bulan	2,35	2.56	2.32	2,68
Peningkatan rongga dari umur 1 hari dan umur 10 bulan	39,1%	32,2%	36,1%	27,6%
Rata-rata (%)	33,8%			



Gambar 17. Rongga dalam campuran SMA 3/4" aspal starbit+0.3% cellulosa

### 3) Kekesatan permukaan

Survei kekesatan dilakukan pada masing-masing lajur jalan utama dimana alat yang digunakan Pendulum. Hasil pengukuran seperti ditunjukkan pada Tabel 11. Nilai pendulum rata-rata umur perkerasan 10 bulan untuk lajur arah Jakarta 55 dan lajur arah Cirebon 55 jadi kekesatan jalan masih cukup tinggi.

Tabel 11. Nilai Pendulum SMA gradasi 3/4", aspal starbit+0.3% cellulosa

Lapis Perkerasan	Nilai Pendulum	
	4 bulan	10 bulan
Arah Jakarta		
Lajur Lambat	55	55
Lajur Cepat	55	54
Rata-rata	55	55
Arah Cirebon		
Lajur Lambat	56	54
Lajur cepat	55	55
Rata-rata	56	55

### 4) Hasil pengujian aspal

Pengujian sifat-sifat aspal hasil pengambilan contoh blok dilapangan pada umur perkerasan 1 hari, 4 bulan dan 10 bulan untuk mengetahui



perubahan sifat-sifat aspal. Hasil pengujian seperti ditunjukkan pada Tabel 12. Terjadi penurunan nilai penetrasi dari umur perkerasan 1 hari 53 dmm sampai umur 10 bulan, menjadi 35 dmm. Nilai titik lembek meningkat umur 1 hari 55 °C setelah umur perkerasan 10 bulan menjadi 60 °C.

**Tabel 12. Hasil pengujian sifat-sifat aspal SMA 3/4" starbit+0,3% Cellulosa**

Pengujian	Satuan	1 hari	4 bulan	10 bulan
Penetrasi 25°C, 100 gr 5 dt	dmm	53	37	35
Titik lembek	°C	55	58	60
Daktilitas pada 25°C, cm/menit	Cm	>140	>140	>140

##### 5) Pengujian kandungan serat *Cellulosa* dalam campuran

Untuk mengetahui homogenitas kandungan serat *cellulosa* dalam campuran dilakukan pengambilan contoh dari hasil produksi di AMP dan penghamparan dilapangan kemudian contoh uji tersebut di ekstraksi. Hasil ekstraksi dilakukan pemisahan antara agregat dan serat *cellulosa* dari hasil pemisahan tersebut dapat ditentukan kandungan serat dalam campuran SMA berkisar antara 0,26% sampai 0,28%, persyaratan 0,3%. Pemisahan antara agregat dan serat *cellulosa* seperti ditunjukkan pada Gambar 18.



**Gambar 18. Pemisahan agregat dan serat cellulosa campuran SMA 3/4"**

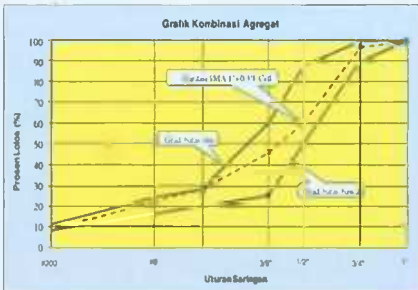
## 6.2 Lapisan Campuran SMA 1" Aspal Starbit + 0,3% Cellulosa

Hasil uji coba lapisan campuran SMA agregat maksimum size 1" dengan aspal starbit ditambah 0,3% cellulosa pelet dilaksanakan pada Sta.29+600 s/d Sta.29+900 sepanjang 300 m.

### a. Perencanaan Campuran

Hasil perencanaan campuran yang telah dilakukan pada tahun 2010 untuk digunakan sebagai bahan evaluasi lapisan campuran SMA 1" aspal starbit+0,3% Cellulosa

- 1) Hasil perencanaan gradasi campuran SMA 1" aspal starbit+0,3% cellulose untuk Rencana Campuran Kerja (RCK), seperti ditunjukkan pada Gambar 19, gradasi campuran masih masuk dalam rentang spesifikasi.



Gambar 19. Gradasi agregat RCK SMA 1" aspal starbit+0,3% cellulosa

- 2) Hasil pengujian sifat-sifat campuran SMA 1" aspal starbit+0,3% celulosa dengan menggunakan alat Marshall seperti ditunjukkan pada Tabel 13.



**Tabel 14. Sifat-sifat campuran SMA Gradasi 1", aspal starbit+0,3% *cellulosa***

Uraian Pemeriksaan	Produksi Campuran SMA		JMF SMA
	22/11/2010	23/11/2010	
Kadar aspal optimum (%)	5,80	6,00	6,1
Kepadatan (gr/cc)	2,356	2,351	2,365
Rongga Udara (VIM) Marshall (%)	3,80	3,70	3,79
Rongga dim Agregat (VMA) (%)	16,70	17,00	16,04
Rongga terisi aspal (VFB) (%)	77,20	78,00	76,35
Stabilitas (kg)	1225	1339	1023
Kelelehan (mm)	3,45	3,70	3,65
Hasil bagi Marshall (kg/mm)	356	362	310
Sabilitas sisa (%)	87,5	86,2	89,92

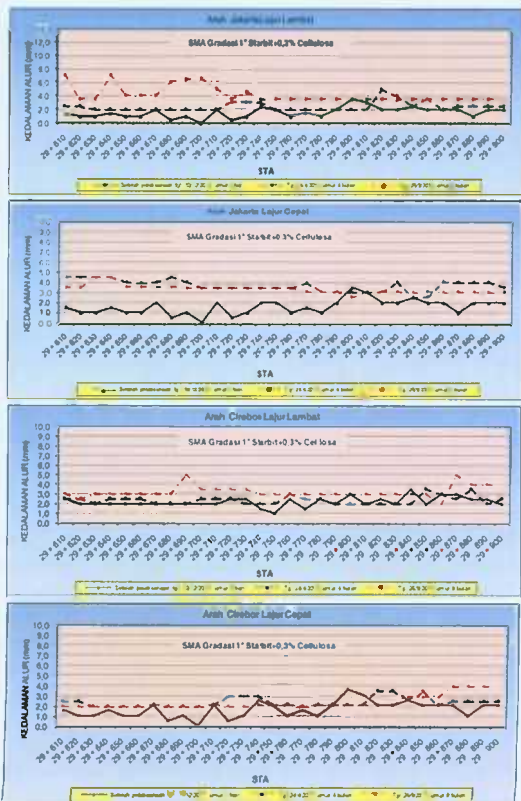
### c. Monitoring dan evaluasi

Pelaksanaan monitoring dan evaluasi dilaksanakan pada bulan April 2011 umur perkerasan 4 bulan dan pada bulan Oktober 2011 umur perkerasan 10 bulan. Monitoring dan evaluasi ini dilakukan pengukuran dan pengujian lapangan seperti pengukuran alur (*rutting*), penilaian kondisi (PCS), kekasaran permukaan, ketidakrataan permukaan dan pengujian serta pengukuran benda uji di Laboratorium seperti kepadatan, rongga dalam campuran, sifat-sifat aspal.

#### 1) Penilaian kondisi

Pada saat survai, pencatatan jenis-jenis kerusakan dilakukan untuk masing lajur lalu lintas. Untuk masing-masing lajur, pencatatan kerusakan dilakukan setiap jarak 10 meter, sedangkan pencatatan alur dilakukan pada titik berjarak 10 meter pada kedua jejak roda dengan menggunakan mistar perata (*straight edge*) sepanjang 3 m. Hasil pengukuran alur rata-rata untuk arah Jakarta lajur lambat dan lajur cepat, arah Cirebon untuk lajur lambat dan lajur cepat seperti ditunjukkan Gambar 21.

Alur yang terjadi pada umur perkerasan 10 bulan pada lajur arah Jakarta dan lajur arah Cirebon, seperti ditunjukkan pada Tabel 15.



Gambar 21. Kedalaman alur pada jalur arah Jakarta dan Cirebon

Jalur arah Jakarta, alur yang terjadi setelah umur perkerasan 10 bulan rata-rata lajur lambat 4 mm dan lajur cepat 4 mm. Untuk jalur arah Cirebon lajur lambat 3,0 mm dan lajur cepat. 2,0 mm

Tabel 15. Alur terjadi setelah perkerasan umur 10 bulan

Arah	Lajur jalan	Kedalaman Alur		
		1 hari	4 bulan	10 bulan
Jakarta	Lambat	2 mm	2 mm	4 mm
	Cepat	2 mm	4 mm	4 mm
Cirebon	Lambat	2 mm	2 mm	3 mm
	Cepat	2 mm	2 mm	2 mm

Kerusakan fungsional seperti retak, tambalan, lubang, amblas dan deformasi plastis pada permukaan jalan lapisan campuran SMA 1" aspal starbit dengan penambahan 0,3% *cellulosa* setelah umur lapis perkerasan 10 bulan, tidak terdapat kerusakan pada jalur arah Jakarta dan pada jalur arah Cirebon.

Kondisi lapis perkerasan pada umur 10 bulan seperti ditunjukkan pada Gambar 22.



Kondisi lapis SMA 1" Stabit+0,3% Cell



Permukaan lapis SMA 1" Stabit+0,3% Cell

Gambar 22. Kondisi lapis SMA 1" aspal starbit+0,3% *Cellulosa*, umur 10 bulan

## 2) Pengujian Kepadatan lapangan

Pengambilan contoh inti dilakukan dengan menggunakan alat *core drill* dengan mata bor diameter 4 inci, dilakukan pada lapisan permukaan,

pada jalur arah Jakarta, lajur cepat dan lajur lambat sebanyak 4 buah benda uji dan pada arah Cirebon, lajur cepat dan lajur lambat 4 buah benda uji. Waktu pengambilan benda uji pada umur 1 hari, 4 bulan dan 10 bulan. Hasil pengujian kepadatan lapangan sampai umur perkerasan 10 bulan. seperti ditunjukkan pada Tabel 16. Pada umur perkerasan 10 bulan terjadi peningkatan kepadatan lapangan kurang lebih 1,50%.

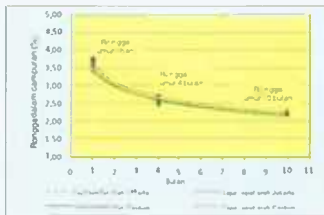
**Tabel 16. Kepadatan lapangan SMA 1", aspal starbit+0,3% selulosa**

Kepadatan lapisan SMA 1" aspal starbit+0,3% Cellulosa				
Kepadatan lapangan (gr/cc)				
Umur Perkerasan	arah Jakarta		Arah Cirebon	
	Lajur Lambat	Lajur Cepat	Lajur Lambat	Lajur Cepat
1 hari	2.351	2.355	2.358	2.354
4 bulan	2.380	2.382	2.380	2.370
10 bulan	2.388	2.389	2.392	2.391
Peningkatan kepadatan dari umur 1 hari sampai umur 10 bulan	1,55%	1,46%	1,42%	1,54
Rata-rata (%)	1,50%			

Akibat peningkatan kepadatan lapangan maka rongga dalam campuran terjadi penurunan dari umur perkerasan 1 hari sampai umur 10 bulan rata-rata sebesar 38,2% seperti ditunjukkan pada Tabel 17 dan Gambar 23

**Tabel 17. Rongga dalam campuran SMA 1", aspal starbit+0,3% selulosa**

Rongga dalam campuran (%)				
Umur Perkerasan	arah Jakarta		Arah Cirebon	
	Lajur Lambat	Lajur Cepat	Lajur Lambat	Lajur Cepat
1 hari	3,73	3,56	3,44	3,60
4 bulan	2,54	2,46	2,54	2,70
10 bulan	2,21	2,17	2,21	2,25
Penurunan rongga umur 1 hari sampai 10 bulan	40,7%	39,1%	35,7%	37,5%
Rata-rata	38,2%			



Gambar 23. Rongga dalam campuran lapisan SMA1" starbit+0.3% cellulosa

### 3) Kekesatan permukaan

Survei kekesatan (*skid resistance*) dimaksudkan untuk mengetahui gambaran tingkat pelayanan perkerasan dalam kaitannya dengan keselamatan pengguna jalan pada saat melewati perkerasan (makin besar nilai kekesatan, makin aman terhadap terjadinya gelincir). Survei kekesatan dilakukan pada masing-masing lajur jalan utama dimana alat yang digunakan, alat pendulum. Hasil pengukuran seperti ditunjukkan pada Tabel 18. Nilai pendulum rata-rata untuk lajur arah Jakarta 53 dan lajur arah Cirebon 52 masih cukup tinggi.

Tabel 18. Nilai Pendulum SMA gradasi 1", aspal starbit+0.3% cellulosa

Lapis Perkerasan	Nilai Pedulum	
	4 bulan	9 bulan
Arah Jakarta		
Lajur lambat	54	52
Lajur Cepat	53	52
Rata-rata	54	52
Arah Cirebon		
Lajur lambat	53	52
Lajur cepat	53	51
Rata-rata	53	51

### 4) Hasil pengujian aspal

Pengujian sifat-sifat aspal hasil pengambilan contoh blok di lapangan pada umur perkerasan 1 hari, 4 bulan dan 10 bulan untuk mengetahui



perubahan sifat-sifat aspal. Hasil pengujian seperti ditunjukkan pada Tabel 19.

Tabel 19. Hasil pengujian sifat-sifat aspal SMA 1" starbit+0,3% Cellulosa

Pengujian	Satuan	1 hari	4 bulan	10 bulan
Penetrasi 25°C, 100 gr 5 dt	dmm	53	37	34
Titik lembek	°C	55	58	60
Daktilitas pada 25°C, cm/menit	Cm	>140	>140	>140

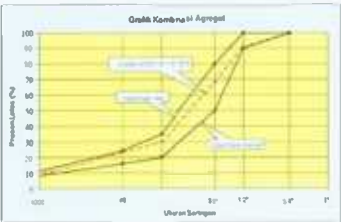
### 6.3 Lapisan Campuran SMA 3/4 Aspal 60/70 + 8% TPS

Hasil uji coba lapisan campuran SMA gradasi maksimum size 3/4" dengan aspal penetrasi 60/70 ditambah 8% TPS dilaksanakan pada Sta.29+900 s/d Sta.30+300 sepanjang 400 m.

#### a. Perencanaan Campuran

Hasil perencanaan campuran SMA 3/4" aspal 60/70+8% TPS yang telah dilakukan pada tahun 2010 untuk digunakan sebagai bahan evaluasi.

- 1) Hasil perencanaan gradasi campuran Gradasi agregat SMA 3/4" aspal 60/70+8% TPS untuk Rencana Campuran Kerja (RCK) seperti ditunjukkan pada Gambar 24. Gradasi agregat campuran masih masuk dalam rentang spesifikasi.



Gambar 24. Gradasi agregat SMA 3/4" aspal 60/70+8% TPS.

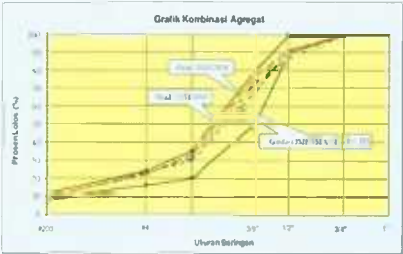
- 2) Hasil pengujian sifat-sifat campuran SMA Gradasi 3/4" campuran SMA aspal 60/70+8% TPS dengan menggunakan metode Marshall seperti ditunjukkan pada Tabel 20.

**Tabel 20. Sifat-sifat campuran SMA gradasi 3/4", aspal 60/70+8% TPS.**

Uraian Pemeriksaan	Satuan	Hasil	Spesifikasi
Kadar aspal optimum	%	5,90	
Kepadatan	gr/cc	2,360	
Rongga Udara [VIM] Marshall	%	3,90	2,0 – 4,0
Rongga dlm Agregat (VMA)	%	16,20	Min. 17
Rongga tensi aspal (VFB)	%	76,40	
Stabilitas	kg	1050	Min. 600
Kelelahan	mm	3,80	Min. 3,0
Hasil bagi Marshall	kg/mm	276	Min. 250
Sabilitas sisa	%	87,60	Min. 75
Stabilitas Dinamis	Pass/mm	4200	Min. 3000

**b. Pengendalian mutu pelaksanaan lapangan**

Hasil pengendalian mutu selama pelaksanaan lapangan gradasi campuran SMA 3/4", aspal 60/70+8% TPS, untuk produksi campuran tanggal 25 dan 26 November 2011, gradasi agregat campuran hasil ekstrasi seperti ditunjukkan pada Gambar 25 dan sifat-sifat campuran seperti ditunjukkan pada Tabel 21. Gradasi agregat campuran masih masuk dalam rentang spesifikasi.



**Gambar 25. Hasil ekstraksi gradasi agregat SMA 3/4" aspal 60/70+8% TPS.**

Tabel 21. Sifat-sifat campuran SMA Gradasi 3/4", aspal 60/70+8% TPS.

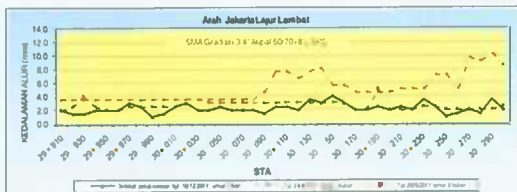
Uraian Pemeriksaan		Campuran SMA, 8% TPS		JMF SMA 8% TPS
		25/11/2010	26/11/2010	
Kadar aspal optimum	(%)	5,85	6,00	5,90
Kepadatan	(gr/cc)	2,362	2,359	2,360
Rongga Udara (VIM) Marshall	(%)	3,50	3,40	3,90
Rongga dlm Agregat (VMA)	(%)	15,50	15,80	16,20
Rongga terisi aspal (VFB)	(%)	77,60	78,50	76,40
Stabilitas	(kg)	1168	1206	1050
Kelelahan	(mm)	2,44	3,11	3,80
Hasil bagi Marshall	(kg/mm)	485	390	276
Sabilitas sisa	(%)		92,11	87,60

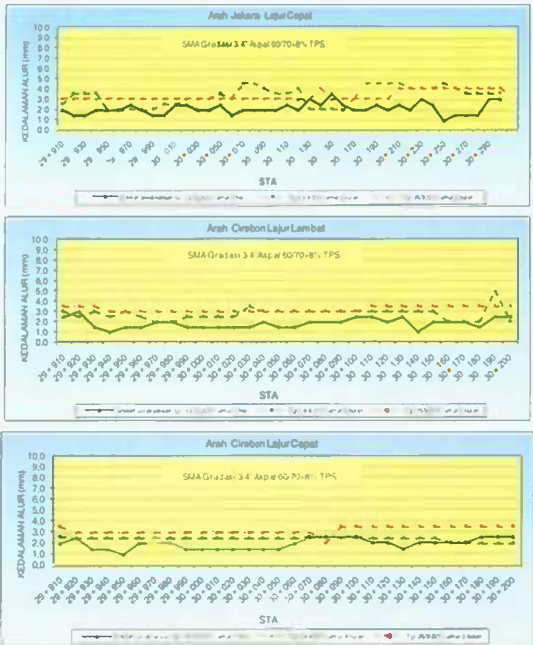
### c. Monitoring dan evaluasi

Pelaksanaan monitoring dan evaluasi dilaksanakan pada bulan April 2011 umur perkerasan 4 bulan dan pada bulan Oktober 2011 umur perkerasan 10 bulan. Monitoring dan evaluasi iri dilakukan pengukuran dan pengujian lapangan seperti pengukuran alur (*rutting*), penilaian kondisi (PCS), kekasaran permukaan, ketidakrataan permukaan dan pengujian serta pengukuran benda uji di Laboratorium seperti kepadatan, rongga dalam campuran, sifat-sifat aspal.

#### 1) Penilaian kondisi

Untuk masing-masing lajur, pencatatan kerusakan dilakukan setiap jarak 10 meter, sedangkan pencatatan alur dilakukan pada titik berjarak 10 meter pada kedua jejak roda dengan menggunakan mistar perata (*straight edge*) sepanjang 3 m. Hasil pengukuran alur rata-rata untuk arah Jakarta lajur lambat dan lajur cepat, arah Cirebon untuk lajur lambat dan lajur cepat seperti ditunjukkan Gambar 26.





Gambar 26. Kedalaman alur pada jalur arah Jakarta dan Cirebon

Alur yang terjadi pada umur perkerasan 1 hari, 4 bulan dan 10 bulan pada jalur arah Jakarta dan jalur arah Cirebon, seperti ditunjukkan pada Tabel 22.

**Tabel 22. Alur terjadi setelah perkerasan umur 10 bulan**

Arah	Lajur jalan	Kedalaman Alur		
		1 hari	4 bulan	10 bulan
Jakarta	Lambat	2 mm	3 mm	5 mm
	Cepat	2 mm	3 mm	3 mm
Cirebon	Lambat	2 mm	2 mm	3 mm
	Cepat	2 mm	3 mm	3mm

Kerusakan fungsional seperti retak, tambalan, lubang, ambblas dan deformasi plastis pada permukaan jalan lapisan campuran gradasi SMA 3/4" dengan aspal 60/70 + 8% TPS setelah umur perkerasan 10 bulan, seperti ditunjukkan pada Tabel 23. Pada lajur arah Jakarta terdapat tambalan seluas 6 m<sup>2</sup> dan deformasi seluas 1,5 m<sup>2</sup>.

**Tabel 23. Jenis kerusakan lapis SMA 3/4" aspal 60/70+8% TPS.**

Lajur lambat arah Jakarta						Lajur Cepat arah Jakarta					
STA	Retak (m <sup>2</sup> )	Tambalan (m <sup>2</sup> )	Lubang (m <sup>2</sup> )	Ambblas (m <sup>2</sup> )	Deformasi (m <sup>2</sup> )	STA	Retak (m <sup>2</sup> )	Tambalan (m <sup>2</sup> )	Lubang (m <sup>2</sup> )	Ambblas (m <sup>2</sup> )	Deformasi (m <sup>2</sup> )
30+250		3.0				29+900		0			
						29+910					0.5
						29+900					1.0
								3.0			1.5
Lajur lambat arah Cirebon						Lajur Cepat arah Cirebon					
tidak ada kerusakan						tidak ada kerusakan					

Kondisi lapis perkerasan pada umur 10 bulan (Oktober 2011), seperti ditunjukkan pada Gambar 27.



Kondisi lapis SMA 3/4" Stabit+0,3% Cell



Permukaan lapis SMA 3/4" Stabit+0,3% Cell



Deformasi perkerasan pada sisi bahu jalan



Deformasi perkerasan pada sisi bahu jalan

**Gambar 27. Kondisi lapis SMA 3/4" aspal 60/70+8% TPS. umur 10 bulan**

## 2) Pengujian Kepadatan lapangan

Pengambilan contoh inti dilakukan dengan menggunakan alat *core drill* dengan mata bor diameter 4 inci, dilakukan pada lapisan permukaan, pada jalur arah Jakarta, lajur cepat dan lajur lambat sebanyak 4 buah benda uji dan pada arah Cirebon, lajur cepat dan lajur lambat 4 buah benda uji. Hasil pengujian kepadatan lapangan sampai umur perkerasan 9 bulan seperti ditunjukkan pada Tabel 24. Pada umur perkerasan 9 bulan adanya peningkatan kepadatan lapangan kurang lebih 4%.

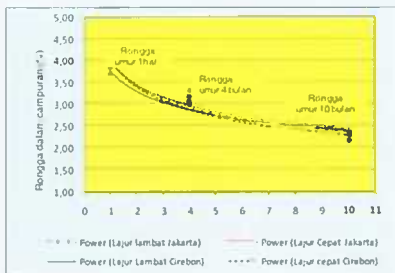
**Tabel 24. Kepadatan lapangan SMA 3/4", aspal 60/70+8% TPS**

Kepadatan lapisan SMA 3/4" aspal 60/70 + 8% TPS				
Kepadatan lapangan (gr/cc)				
Umur Perkerasan	arah Jakarta		Arah Cirebon	
	Lajur Lambat	Lajur Cepat	Lajur Lambat	Lajur Cepat
1 hari	2.362	2.365	2.368	2.364
4 bulan	2.385	2.378	2.386	2.382
10 bulan	2.402	2.403	2.402	2.406
Peningkatan kepadatan dari umur 1 hari sampai 10 bulan	1.7%	1.6%	1.4%	1.7
Rata-rata (%)	1.6%			

Akibat peningkatan kepadatan lapangan maka rongga dalam campuran terjadi penurunan dari umur perkerasan 1 hari sampai umur 10 bulan rata-rata sebesar 40,6% seperti ditunjukkan pada Tabel 25 dan Gambar 28.

**Tabel 25. Rongga dalam campuran SMA 3/4", aspal 60/70+8% TPS**

Umur Perkerasan	Rongga dalam campuran (%)			
	arah Jakarta		Arah Cirebon	
	Lajur Lambat	Lajur Cepat	Lajur Lambat	Lajur Cepat
1 hari	3,94	3,82	3,70	3,86
4 bulan	3,01	3,29	2,97	3,13
10 bulan	2,32	2,28	2,32	2,16
Penurunan rongga dari umur 1 hari sampai umur 10 bulan	41,1%	40,3%	37,2%	44,0%
Rata-rata	40,6%			



**Gambar 28. Rongga dalam campuran lapisan SMA3/4" aspal60/70+8% TPS**

### 3) Kekesatan permukaan

Survei kekesatan (*skid resistance*) dimaksudkan untuk mengetahui gambaran tingkat pelayanan perkerasan dalam kaitannya dengan keselamatan pengguna jalan pada saat melewati perkerasan (makin besar nilai kekesatan, makin aman terhadap terjadinya gelincir). Survei kekesatan dilakukan pada masing-masing lajur jalan utama dimana alat yang digunakan, alat pendulum. Hasil pengukuran seperti ditunjukkan pada Tabel 26. Nilai pendulum rata-rata untuk lajur arah Jakarta dan lajur arah Cirebon masih cukup tinggi.

**Tabel 26. Nilai Pendulum SMA 3/4", aspal 60/70+8% TPS**

Lapis Perkerasan	Nilai Pendulum	
	4 bulan	9 bulan
Arah Jakarta		
Lajur Lambat	55	52
Lajur Cepat	54	52
Rata-rata	54	52
Arah Cirebon		
Lajur lambat	54	52
Lajur cepat	54	52
Rata-rata	54	52

#### 4) Hasil pengujian aspal

Pengujian sifat-sifat aspal hasil pengambilan contoh blok di lapangan pada umur perkerasan 1 hari, 4 bulan dan 10 bulan untuk mengetahui perubahan sifat-sifat aspal. Hasil pengujian seperti ditunjukkan pada Tabel 27.

**Tabel 27. Hasil pengujian sifat-sifat aspal SMA 3/4" aspal 60/70+8%TPS**

Pengujian	Satuan	1 hari	4 bulan	10 bulan
Penetrasi 25°C, 100 gr 5 dt	dmm	40	25	30
Titik leleh	°C	62	62	65
Daktilitas pada 25°C, cm/menit	Cm	>140	90	104

## 6.4 Lapisan Campuran SMA 3/4 Aspal 60/70 + 12% TPS

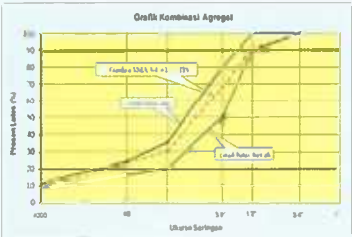
Hasil uji coba lapisan campuran SMA gradasi maksimum size 3/4" dengan aspal penetrasi 60/70 ditambah 12% TPS dilaksanakan pada Sta.30+300 s.d. Sta.30+600 sepanjang 300m.

### a. Perencanaan Campuran

Hasil perencanaan campuran SMA 3/4" aspal 60/70+12% TPS yang telah dilakukan pada tahun 2010 untuk digunakan sebagai bahan evaluasi.



- 1) Hasil perencanaan gradasi campuran Gradasi agregat SMA 3/4" aspal 60/70+12% TPS seperti ditunjukkan pada Gambar 29. Gradasi camuran agregat masih masuk dalam spesifikasi.



Gambar 29. Gradasi agregat JMF SMA 3/4" aspal 60/70+12% TPS

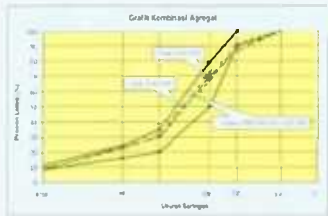
- 2) Hasil pengujian sifat-sifat campuran SMA Gradasi 3/4" campuran SMA aspal 60/70+12% TPS dengan menggunakan metode Marshall seperti ditunjukkan pada Tabel 28.

Tabel 28. Sifat-sifat campuran SMA gradasi 3/4", aspal 60/70+12% TPS.

Uraian Pemeriksaan	Satuan	Hasil	Spesifikasi
Kadar aspal optimum		5,90	
Kepadatan	gr/cc	2,360	
Rongga Udara (VIM) Marshall	%	3,90	2,0 – 4,0
Rongga dlm Agregat (VMA)	%	16,20	Min. 17
Rongga terisi aspal (VFB)	%	76,40	
Stabilitas	kg	1050	Min. 600
Kelelahan	mm	3,80	Min. 3,0
Hasil bagi Marshall (MQ)	Kg/mm	276	Min. 250
Sabilitas sisa		87,60	Min. 75
Stabilitas Dinamis	Pass/mm	4200	Min. 3000

**b Pengendalian mutu pelaksanaan lapangan.**

Hasil pengendalian mutu selama pelaksanaan lapangan campuran SMA Gradasi 3/4", aspal 60/70+12% TPS, untuk produksi campuran tanggal 29 dan 30 November 2011, gradasi agregat campuran hasil ekstraksi seperti ditunjukkan pada Gambar 30 dan sifat-sifat campuran seperti ditunjukkan pada Tabel 29.



Gambar 30. Gradasi agregat SMA 3/4" aspal 60/70+12% TPS di AMP.

Tabel 29. Sifat-sifat campuran SMA Gradasi 3/4", aspal 60/70+12% TPS.

Uraian Pemeriksaan	Campuran SMA, 12% TPS		JMF SMA 12% TPS
	29/11/2010	30/11/2010	
Kadar aspal optimum (%)	5,95	5,90	5,90
Kepadatan (g/cc)	2,361	2,364	2,360
Rongga Udara (VIM) Marshall (%)	3,40	3,30	3,95
Rongga dlm Agregat (VMA) (%)	16,60	16,50	15,40
Rongga terisi aspal (VFB) (%)	79,50	79,70	74,50
Stabilitas (kg)	1206	1303	1150
Kelelahan (mm)	2,63	3,83	3,90
Marshall quotient (MQ) (kg/mm)	476	342	295
Sabilitas sisa (%)			92,4

**c Monitoring dan evaluasi**

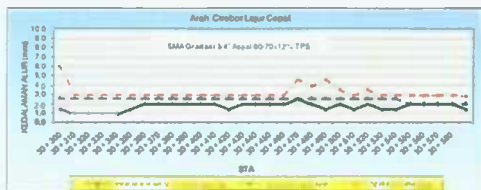
Pelaksanaan monitoring dan evaluasi dilaksanakan pada bulan April 2011 umur perkerasan 4 bulan dan pada bulan Oktober 2011 umur perkerasan 10 bulan. Pada monitoring dan evaluasi ini dilakukan pengukuran dan pengujian lapangan seperti pengukuran alur (*rutting*), penilaian kondisi

(PCS), kepadatan, rongga dalam campuran, sifat-sifat aspal, kekasaran (pendulum) dan ketidakrataan.

1) Penilaian kondisi

Pada saat survai, pencatatan jenis-jenis kerusakan dilakukan untuk masing lajur lalu lintas. Untuk masing-masing lajur, pencatatan kerusakan dilakukan setiap jarak 10 meter, sedangkan pencatatan alur dilakukan pada titik berjarak 10 meter pada kedua jejak roda dengan menggunakan mistar perata (*straight egde*) sepanjang 3 m. Hasil pengukuran alur rata-rata untuk arah Jakarta lajur lambat dan lajur cepat, arah Cirebon untuk lajur lambat dan lajur cepat seperti ditunjukkan Gambar 31.





Gambar 31. Kedalaman alur jalur arah Jakarta dan Cirebon

Alur yang terjadi pada umur perkerasan 1 hari, 4 bulan sampai umur 10 bulan pada lajur arah Jakarta dan lajur arah Cirebon, seperti ditunjukkan pada Tabel 30.

Tabel 30. Alur terjadi setelah perkerasan umur 10 bulan

Arah	Lajur jalan	Kedalaman Alur		
		1 hari	4 bulan	10 bulan
Jakarta	Lambat	2 mm	3 mm	6 mm
	Cepat	2 mm	3 mm	6 mm
Cirebon	Lambat	2 mm	3 mm	3 mm
	Cepat	2 mm	2 mm	3 mm

Kerusakan fungsional seperti retak, tambalan, lubang, amblas dan deformasi plastis pada permukaan jalan lapisan campuran gradasi SMA 3/4" dengan aspal 60/70 + 12% TPS setelah umur perkerasan 10 bulan, ada kerusakan pada lambat arah Jakarta dan pada lajur arah Cirebon tidak terdapat kerusakan seperti ditunjukkan pada Tabel 31. Jalur arah Jakarta jumlah kerusakan yang terjadi 77,0 m<sup>2</sup> dan jalur arah Cirebon jumlah kerusakan yang terjadi 5,0 m<sup>2</sup>.

Kondisi lapis perkerasan pada umur 10 bulan (Oktober 2011), seperti ditunjukkan pada Gambar 32.

**Tabel 31. Jenis kerusakan lapis SMA ¾" aspal 60/70+12% TPS.**

Lajur lambat arah Jakarta						Lajur Cepat arah Jakarta					
STA	Retak (m')	Tambalan (m')	Lubang (m')	Amblas (m')	Deformasi (m')	STA	Retak (m')	Tambalan (m')	Lubang (m')	Amblas (m')	Deformasi (m')
30+280		1,0				30+330	0,0	0,5		3,0	
30+300		1,0				30+340	3,0			3,0	
30+310		6,0				30+350	3,0			2,0	
30+340	0,5	2,0				30+360	3,0				2,0
30+430				2,0		30+420		1,0			
30+440		4,0				30+430		2,0			
30+450		4,0				30+450		2,0			
30+460		4,0				30+460		2,0			
30+480		3,0				30+480	3,0				2,0
						30+500					0,0
						30+520				2,0	
						30+530				2,0	
						30+580				0,0	
						30+590				0,0	
						30+610				2,0	
						30+660				0,0	
						30+670				2,0	
Jumlah	0,5	25,0		2,0		Jumlah	15,0	2,5		22,0	5,0
Lajur lambat arah Cirebon						Lajur Cepat arah Cirebon					
						30+330				2,0	
						30+410				0,0	
						30+670	0,0			1,0	
Jumlah						Jumlah	0,5			3,0	



Kondisi SMA ¾" aspal 60/70+12% TPS



Permukaan SMA ¾" aspal 60/70+12% TPS



Deformasi perkerasan pada sisi bahu jalan



Deformasi perkerasan pada sisi bahu jalan

**Gambar 32. Kondisi lapis SMA ¾" aspal 60/70+12% TPS, umur 10 bulan**

## 2) Pengujian Kepadatan lapangan

Pengambilan contoh inti dilakukan dengan menggunakan alat *core drill* dengan mata bor diameter 4 inci, dilakukan pada lapisan permukaan, pada jalur arah Jakarta, lajur cepat dan lajur lambat sebanyak 4 buah benda uji dan pada arah Cirebon, lajur cepat dan lajur lambat 4 buah benda uji. Hasil pengujian kepadatan lapangan sampai umur perkerasan 10 bulan seperti ditunjukkan pada Tabel 32. Pada umur perkerasan 10 bulan adanya peningkatan kepadatan lapangan kurang lebih 1,3%

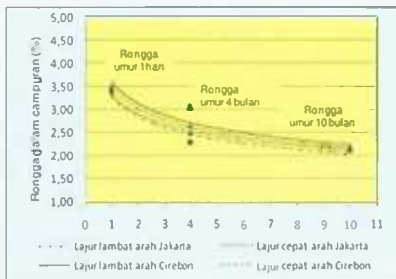
**Tabel 32. Kepadatan lapangar SMA 3/4", aspal 60/70+12% TPS**

Kepadatan lapisan SMA 3/4" aspal 60/70 + 12% TPS				
Kepadatan lapangan (gr/cc)				
Umur Perkerasan	arah Jakarta		Arah Cirebon	
	Lajur Lambat	Lajur Cepat	Lajur Lambat	Lajur Cepat
1 hari	2.359	2.360	2.358	2.357
4 bulan	2.386	2.382	2.384	2.378
10 bulan	2.390	2.389	2.391	2.389
Peningkatan kepadatan dari umur 1 hari sampai 10 bulan	1.3%	1,2%	1,4%	1,3%
Rata-rata	1.3%			

Akibat peningkatan kepadatan lapangan maka rongga dalam campuran terjadi penurunan dari umur perkerasan 1 hari sampai umur 10 bulan rata-rata sebesar 33,7% seperti ditunjukkan pada Tabel 33 dan Gambar 33.

**Tabel 33. Rongga dalam campuran SMA 3/4", aspal 60/70+12% TPS**

Rongga dalam campuran (%)				
Umur Perkerasan	arah Jakarta		Arah Cirebon	
	Lajur Lambat	Lajur Cepat	Lajur Lambat	Lajur Cepat
1 hari	3,44	3,48	3,40	3,36
4 bulan	3,05	2,62	2,29	2,46
10 bulan	2,09	2,17	2,13	2,17
Penurunan rongga dari umur 1 hari sampai umur 10 bulan	39,2%	22,9%	37,4%	35,4%
Rata-rata	33,7%			



Gambar 33. Rongga dalam campuran lapisan SMA 3/4" aspal 60/70+12% TPS

### 3) Kekesatan permukaan

Survei kekesatan (*skid resistance*) dimaksudkan untuk mengetahui gambaran tingkat pelayanan perkerasan dalam kaitannya dengan keselamatan pengguna jalan pada saat melewati perkerasan (makin besar nilai kekesatan, makin aman terhadap terjadinya gelincir). Survei kekesatan dilakukan pada masing-masing lajur jalan utama di mana alat yang digunakan, alat pendulum. Hasil pengukuran seperti ditunjukkan pada Tabel 34. Nilai pendulum rata-rata untuk lajur arah Jakarta dan lajur arah Cirebon masih cukup baik.

Tabel 34. Nilai Pendulum SMA 3/4", aspal 60/70+12% TPS

Lapis Perkerasan	Nilai Pendulum	
	4 bulan	10 bulan
Arah Jakarta		
Lajur Lambat	55	53
Lajur Cepat	54	52
Rata-rata	54	52
Arah Cirebon		
Lajur lambat	54	51
Lajur cepat	54	52
Rata-rata	54	52

#### 4) Pengujian sifat aspal

Pengujian sifat-sifat aspal hasil pengambilan contoh blok dilapangan pada umur perkerasan 1 hari, 4 bulan dan 10 bulan untuk mengetahui perubahan sifat-sifat aspal. Hasil pengujian seperti ditunjukkan pada Tabel 35.

Tabel 35. Hasil pengujian sifat-sifat aspal SMA 3/4" aspal 60/70+12% TPS

Pengujian	Satuan	1 hari	4 bulan	10 bulan
Penetrasi 25°C, 100 gr 5 dt	dmm	37	23	30
Titik lelebur	°C	80	80	82
Daktilitas pada 25°C, cm/menit	Cm	78	67	74

## 6.5 Lapisan Campuran Porous *Asphalt* 60/70 + 12% TPS

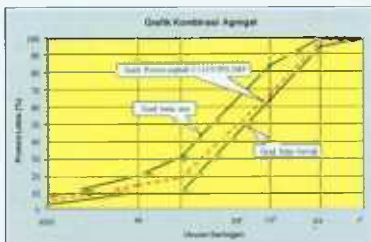
Hasil uji coba lapisan campuran porous *asphalt* gradasi maksimum size 1" dengan aspal penetrasi 60/70 ditambah 12% TPS dilaksanakan pada Sta.30+600 s/d Sta.31+050 sepanjang 450m.

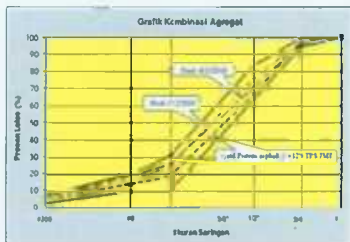
### a. Perencanaan Campuran

Hasil perencanaan campuran porous *asphalt* 1" aspal 60/70+12% TPS yang telah dilakukan pada tahun 2010 untuk digunakan sebagai bahan evaluasi.

- 1) Hasil perencanaan gradasi campuran porous *asphalt* 1" aspal 60/70+12% TPS seperti ditunjukkan pada Gambar 34. Gradasi campuran agregat masih dalam rentang spesifikasi.







Gambar 35. Gradasi agregat porous asphalt 1" aspal 60/70+12% TPS di AMP

Tabel 37. Produksi campuran porus asphalt 1", aspal 60/70+12% TPS.

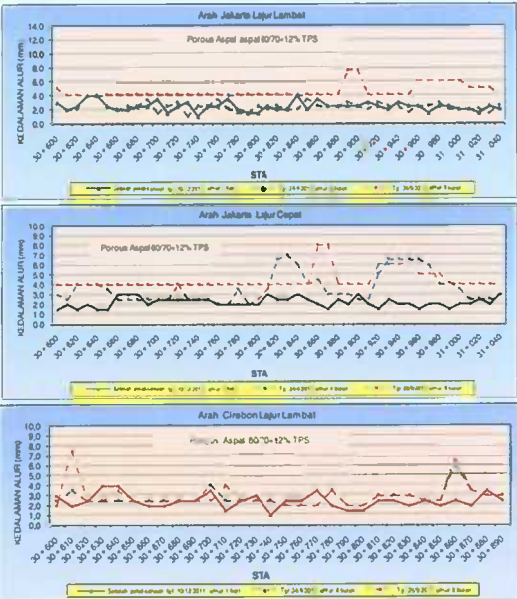
Uraian Pemenkasan	Produksi porous asphalt,		JMF Porous aspal
	4/12/2010	5/12/2010	
Kadar aspal optimum (%)	4,80	4,85	4,80
Kepadatan (gr/cc)	2,034	2,047	2,040
Rongga Udara (VIM) Marshall (%)	20,50	20,00	21,0
Rongga dlm Agregat (VMA) (%)	25,97	25,97	26,0
Rongga tensi aspal (VFB) (%)	23,02	23,02	24,50
Stabilitas (kg)	1096	1107	1050
Kelelehan (mm)	4,74	3,83	4,80
Catambro loss pada temperatur 25°C	8,5	8,5	8,0
Sabilitas sisa	93,1	95,30	92,4
Stabilitas Dinamis	3700	3700	3700
Koefisien permeabilitas air	$3,0 \times 10^{-1}$	$3,2 \times 10^{-1}$	$3,1 \times 10^{-1}$

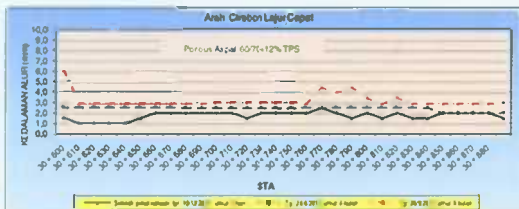
### c. Monitoring dan evaluasi

Pelaksanaan monitoring dan evaluasi dilaksanakan pada bulan April 2011 umur perkerasan 4 bulan dan pada bulan Oktober 2011 umur perkerasan 10 bulan. Pada monitoring dan evaluasi ini dilakukan pengukuran dan pengujian lapangan seperti pengukuran alur (*rutting*), penilaian kondisi (PCS), kepadatan, rongga dalam campuran, sifat-sifat aspal, kekasaran (pendulum) dan ketidakrataan.

1) Penilaian kondisi

Pada saat surei, pencatatan jenis-jenis kerusakan dilakukan untuk masing lajur lalu lintas. Untuk masing-masing lajur, pencatatan kerusakan dilakukan setiap jarak 10 meter, sedangkan pencatatan alur dilakukan pada titik berjarak 10 meter pada kedua jejak roda dengan menggunakan mistar perata (*straight edge*) sepanjang 3 m. Hasil pengukuran alur rata-rata untuk arah Jakarta lajur lambat dan lajur cepat, arah Cirebon untuk lajur lambat dan lajur cepat seperti ditunjukkan Gambar 36.





Gambar 36. Kedalaman alur jalur arah Jakarta dan Cirebon

Alur yang terjadi pada umur perkerasan 9 bulan pada jalur arah Jakarta dan jalur arah Cirebon, seperti ditunjukkan pada Tabel 38.

Tabel 38. Alur terjadi setelah perkerasan umur 10 bulan

Arah	Lajur jalan	Kedalaman Alur		
		1 hari	4 bulan	10 bulan
Jakarta	Lambat	3 mm	3 mm	4 mm
	Cepat	2 mm	3 mm	4 mm
Cirebon	Lambat	2 mm	3 mm	3 mm
	Cepat	2 mm	2 mm	3 mm

Kerusakan fungsional seperti retak, tambalan, lubang, ambblas dan deformasi plastis pada permukaan jalan lapisan porous asphalt 1" dengan aspal 60/70 + 12% TPS setelah umur perkerasan 10 bulan, ada kerusakan pada lambat arah Jakarta dan pada jalur arah Cirebon tidak terdapat kerusakan seperti ditunjukkan pada Tabel 39.

Kondisi lapis perkerasan pada umur 10 bulan (Oktober 2011), seperti ditunjukkan pada Gambar 37.

Tabel 39. Jenis kerusakan lapis porous asphalt 1" aspal 60/70+12% TPS

Lajur lambat arah Jakarta						Lajur Cepat arah Jakarta					
STA	Retak (m')	Tambalan (m')	Lubang (m')	Ambles (m')	Deformasi (m')	STA	Retak (m')	Tambalan (m')	Lubang (m')	Ambles (m')	Deformasi (m')
30+600		4.0				30+610		4.0			
30+610		3.0				30+690					2.0
30+620		4.0				30+730		1.0			
30+610		4.0				30+760		4.0			
30+710		3.0				30+770		2.0			
30+620		4.0				30+790		0.5			
30+780		2.0				30+800		3.0			
30+790		3.0				30+810		2.0			
30+800		2.0				30+820		3.0			
30+870		3.0				30+830		1.0			
						30+840		1.0			
						30+860		2.0			
						30+870	1.0				
						30+880		1.0			
						30+890					2.0
						30+900					2.0
						30+910					2.0
						30+920					1.0
						31+010					1.0
Jumlah		12.0				Jumlah	1.0	26.5			10.0
Total (m')	12					Total (m')	37.5				
Kerusakan %	12					Kerusakan %	8.3				
Lajur lambat arah Cirebon						Lajur Cepat arah Cirebon					
						30+690		0.5			1.0
						30+720					1.0
						30+740					1.0
						30+740		2.0			1.0
						30+810		4.0			
						30+830		2.0			
						30+840		4.0			
						30+870					1.0
Jumlah						Jumlah		12.5			4.0
Total (m')						Total (m')	17.5				
Kerusakan %						Kerusakan %	0.72				



Kondisi lapis porous aspal 60/70+12% TPS



Permukaan porous aspal 60/70+12% TPS



Deformasi perkerasan pada sisi bahu jalan



Deformasi perkerasan pada sisi median

**Gambar 37. Lapis porous asphalt 1" aspal 60/70+12% TPS. umur 10 bulan**

## 2) Pengujian Kepadatan lapangan

Pengambilan contoh inti dilakukan dengan menggunakan alat *Core drill* dengan mata bor diameter 4 inci, dilakukan pada lapisan permukaan, pada jalur arah Jakarta, lajur cepat dan lajur lambat sebanyak 4 buah benda uji dan pada arah Cirebon, lajur cepat dan lajur lambat 4 buah benda uji. Hasil pengujian kepadatan lapangan sampai umur perkerasan 10 bulan seperti ditunjukkan pada Tabel 40.

**Tabel 40. Kepadatan lapangan porous asphalt 1", aspal 60/70+12% TPS**

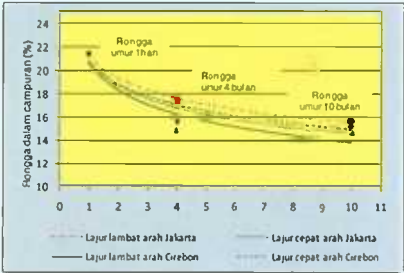
Kepadatan lapisan Porous aspal 1" aspal 60/70 + 12% TPS								
Umur Perkerasan	Arah Jakarta				Arah Cirebon			
	Lajur Lambat		Lajur Cepat		Lajur Lambat		Lajur Cepat	
	Tebal (cm)	Kepadatan (gr/cc)	Tebal (cm)	Kepadatan (gr/cc)	Tebal (cm)	Kepadatan (gr/cc)	Tebal (cm)	Kepadatan (gr/cc)
1 hari	5,5	2.003	5,4	2.000	5,3	2.000	5,4	2.002
4 bulan	5,3	2.102	5,2	2.131	5,2	2.125	5,3	2.137
10 bulan	5,1	2.122	5,0	2.154	5,1	2.132	5,1	2.156
Peningkatan kepadatan umur 1 hari ke 10 bulan		5,61%		7,15%		6,19%		7,14%
Peningkatan rata-rata	6,52%							

Peningkatan kepadatan rata-rata lapis perkerasan dari umur 1 hari sampai umur perkerasan 10 bulan sebesar 6,52%. Peningkatan kepadatan lapangan akan diikuti dengan penurunan rongga dalam campuran seperti ditunjukkan

pada Tabel 41 dan Gambar 38. Penurunan rongga dalam campuran dari perkerasan berumur 1 hari sampai umur 10 bulan rata-rata 28,5%.

Tabel 41 Rongga dalam campuran porous asphalt

Rongga dalam campuran rata-rata Porous Aspal					
Waktu Pengujian	Umur	arah Jakarta		arah Cirebon	
		Lajur Lambat	Lajur Cepat	Lajur Lambat	Lajur Cepat
Desember 2010	1 hari	21.33	21.45	21.45	21.41
April 2011	4 bulan	17.44	15.51	14.81	15.81
Oktober 2011	10 bulan	15.63	15.24	14.69	15.65
Penurunan rongga dalam campuran dari umur 1 hari sampai 10 bulan		26,7%	28,9%	31,5%	26,9%
Rata-rata (%)		28,5%			



Gambar 38. Grafik Rongga dalam campuran lapisan porous asphalt

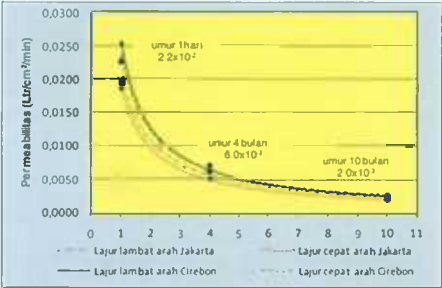
### 3) Permeabilitas

Khususnya pada lapisan porous asphalt, aspal 60/70+12%TPS penurunan nilai rongga dalam campuran sangat berpengaruh besar terhadap permeabilitas lapisan. Hasil pengukuran nilai permeabilitas pada saat awal pelaksanaan sampai umur perkerasan 4 bulan dan 10 bulan, seperti ditunjukkan pada Tabel 42 dan Gambar 39. Cara

pengujian permeabilitas dilapangan seperti ditunjukkan pada Gambar 45. Terjadi penurunan nilai permeabilitas dari umur perkerasan 1 hari rata-rata  $2,16 \times 10^{-2}$  sampai umur perkerasan 10 bulan nilai permeabilitas rata-rata  $2,25 \times 10^{-3}$ , jadi termasuk permeabilitas sedang (*medium permeability*). Pengujian permeabilitas dilapangan seperti ditunjukkan pada Gambar 40.

Tabel 42. Perrmeabilitas lapangan porous asphalt

Waktu Pengujian	Umur Perkerasan	Permeabilitas Porous Aspal (litr/cm <sup>2</sup> /min)			
		Lajur arah Jakarta		Lajur arah Cirebon	
		Lambat	Cepat	Lambat	Cepat
10/11/2010	1 hari	0.0196	0.0186	0.0254	0.0226
		$1.96 \times 10^{-2}$	$1.86 \times 10^{-2}$	$2.54 \times 10^{-2}$	$2.26 \times 10^{-2}$
25/4/2011	4 bulan	0.0060	0.0050	0.0061	0.0069
		$6.0 \times 10^{-3}$	$5.0 \times 10^{-3}$	$6.1 \times 10^{-3}$	$6.9 \times 10^{-3}$
27/9/2011	10 bulan	0.0022	0.0019	0.0025	0.0024
		$2.2 \times 10^{-3}$	$1.9 \times 10^{-3}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$2.4 \times 10^{-3}$



Gambar 39. Grafik penurunan permeabilitas lapangan





Pengujian permeabilitas porous asphalt



Pengujian permeabilitas

Gambar 40. Pengujian Permeabilitas di lapangan

Tipikal permeabilitas air untuk tanah dapat dipergunakan pada perkerasan beraspal seperti ditunjukkan pada Tabel 43.

Tabel 43. Tipikal permeabilitas untuk perkerasan beraspal

Typical Soils	Coefficient of Water Permeability {cm/s}	Asphalt Mixtures	Water Permeability
Gravel	$10^{-1}$	Open-graded asphalt mixtures	High permeability
Sand	$10^{-2}$		Medium permeability
Sandy soil	$10^{-3}$	Coarse-graded asphalt mixtures	Low permeability
	$10^{-4}$		
Cohesive soil	$10^{-5}$	Dense-graded asphalt mixtures	Very low permeability
	$10^{-6}$	Fine-graded asphalt mixtures	
Clay		Surface course mixtures with water	Impermeable

#### 4) Kekesatan permukaan

Survei kekesatan (*skid resistance*) dimaksudkan untuk mengetahui gambaran tingkat pelayanan perkerasan dalam kaitannya dengan keselamatan pengguna jalan pada saat melewati perkerasan (makin besar nilai kekesatan, makin aman terhadap terjadinya gelincir). Survei kekesatan dilakukan pada masing-masing lajur jalan utama di mana

alat yang digunakan, alat pendulum. Hasil pengukuran seperti ditunjukkan pada Tabel 44. Terjadi penurunan pendulum dari umur perkerasan 4 bulan sampai umur perkerasan 10 bulan. Nilai pendulum rata-rata untuk lajur arah Jakarta dan lajur arah Cirebon masih cukup tinggi.

**Tabel 44. Nilai Pendulum Porous asphalt 1", aspal 60/70+12% TPS**

Lapis Perkerasan	Nilai Pedulum	
	4 bulan	10 bulan
Arah Jakarta		
Lajur Lambat	55	54
Lajur Cepat	55	53
Rata-rata	55	53
Arah Cirebon		
Lajur lambat	54	53
Lajur cepat	54	52
Rata-rata	54	52

#### 5) Hasil pengujian aspal

Pengujian sifat-sifat aspal hasil pengambilan contoh blok di lapangan pada umur perkerasan 1 hari, 4 bulan dan 10 bulan untuk mengetahui perubahan sifat-sifat aspal. Hasil pengujian seperti ditunjukkan pada Tabel 45, Nilai penetrasi terjadi penurunan dari umur perkerasan 1 hari nilai penetrasi 37 setelah berumur 10 bulan nilai penetrasi menjadi 23, Titik lembek terjadi peningkatan dari umur perkerasan 1 hari titik lembek 80 setelah 10 bulan menjadi 86. dan daktilitas menurun dari umur perkerasan 1 hari daktilitas 78 setelah umur 10 bulan menjadi 53.

**Tabel 45. Sifat-sifat aspal porous asphalt 1" aspal 60/70+12% TPS**

Pengujian	Satuan	1 hari	4 bulan	10 bulan
Penetrasi 25°C, 100 gr 5 dt	dmm	37	24	23
Titik lembek	°C	80	80	86
Daktilitas pada 25°C, cm/menit	Cm	78	60	53

#### 6) Pengukuran kebisingan

Kebisingan yang diakibatkan oleh kendaraan di jalan raya dapat berpengaruh pada kesehatan secara fisik maupun psikis manusia,

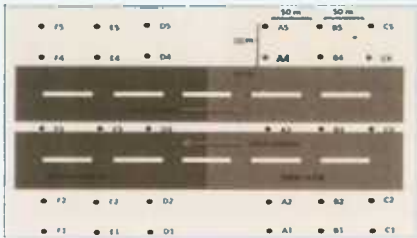
dimana terjadi akibat dari refleksi suara oleh perkerasan jalan dan gesekan ban dengan perkerasan jalan. Oleh sebab itu, penentuan bahan perkerasan jalan sangat penting untuk mereduksi bising akibat refleksi suara dan gesekan ban dengan kendaraan. Bising akibat perkerasan jalan pada suatu ruas jalan menjadi hal penting yang perlu diperhatikan terutama pengaruh pada pemukiman maupun pada aktivitas manusia yang berada di sekitar jalan. Pada pelaksanaan pengukuran untuk membandingkan dua bahan perkerasan jalan lapisan SMA dan porous asphalt. Terdapat dua metode yang biasa digunakan untuk uji kebisingan perkerasan yaitu metode *pass-by* dan *close-proximity trailer*. Pada pengukuran ini digunakan metode *pass-by*. Pada metode *pass-by*, mikrofon atau *sound level meter* diletakan pada jarak tertentu dititik median di samping jalan yang dilalui kendaraan. Pada ISO standart 11819-1 disebutkan bahwa penempatan mikrofon 7,5 m dari titik tengah kendaraan melintas pada ketinggian 1,2 m dari tanah. Kendaraan yang diperlukan sebagai sumber bising adala 180 kendaraan. Pada standar FHWA, tidak disebutkan secara pasti jumlah kendaraan yang diperlukan, namun disebutkan bahwa kecepatan mobil pengukuran setidaknya antara 51-60 mph.

Pengukuran dilakukan pada ruas jalan uji coba perkerasan SMA dan Porous asphalt pada Km.30. Hasil pengukuran pada umur perkerasan 4 bulan kecepatan kendaran yang melintas seperti ditunjukkan Tabel 46.

Tabel 46. Hasil kecepatan kendaraan

Golongan Kendaraan	Jenis Kendaraan	Arah Cirebon			Arah Jakarta		
		Vmin	Vmax	V rata-rata	Vmin	Vmax	V rata-rata
1	Speda motor, sekuter	57	71	64.0	68	79	73.5
2	Sedan, Jeep, dan Wagon	69	91	80.0	64	95	79.5
3	Oplet, Pickup oplet, dan Mini bus	68	78	73.0	36	67	51.5
4	Pick-Up, Micro Truk dan Mobil Hantaran	53	79	66.0	31	70	50.5
5a	Bus Kecil	37	85	61.0	49	77	63.0
5b	Bus Besar	71	80	75.5	66	73	69.5
6a	Truk 2 Sumbu (4 roda)	52	52	52.0	—	—	—
6b	Truk 2 Sumbu (6 roda)	35	76	55.5	40	72	56.0
7a	Truk 3 Sumbu	35	43	39.0	21	38	29.5
7a	Truk Gandengan	29	54	41.5	34	49	41.5
7c	Truk Semitrailer	27	35	31.0	36	54	45.0

Jumlah total kendaraan yang melintas ke arah Cirebon 236 kendaraan dan arah Jakarta sebesar 158 kendaraan. Posisi titik pengukuran kebisingan pada km.30 seperti ditunjukkan pada Gambar 41.



Gambar 41. Posisi titik pengukuran kebisingan

Pengukuran perkerasan pada umur 4 bulan, perbandingan nilai Leg lapis perkerasan SMA 3/4" aspal 60/70+12%TPS seperti ditunjukkan Tabel 47.

Tabel 47. Perbandingan nilai Leq antara SMA dan porous Asphalt

Titik Pengukuran	SMA				Porous Asphalt			
	Leq A (dBA)	Leg B (dBA)	Leq C (dBA)	Level rata-rata (dBA)	Leq D (dBA)	Leg E (dBA)	Leq F (dBA)	Level rata-rata (dBA)
1	69.8	70.4	70.3	70.17	68.7	67.8	69.9	68.80
2	76.0	77.1	76.3	76.47	75.9	73.9	76.2	75.33
3	80.2	81.2	80.9	80.77	79.4	79.0	81.6	80.00
4	75.5	77.3	74.3	75.70	74.4	75.6	78.2	76.07
5	67.9	67.9	67.0	67.60	65.0	66.5	68.6	66.70

Nilai Leq perkerasan Porous asphalt pada umumnya lebih rendah dibandingkan dengan nilai Leq perkerasan SMA. Ini menandakan bahwa perkerasan porous asphalt lebih mereduksi bising akibat gesekan ban dengan perkerasan jalan dibandingkan dengan perkerasan SMA. Meskipun begitu, perbedaan level bising antara perkerasan porous asphalt dengan perkerasan SMA tidak terlalu signifikan. Level rata-rata pada titik 3, yakni titik sumber bising utama, untuk perkerasan porous Asphalt 80,2 dBA dan

perkerasan SMA 80,8 dBA. Dari data tersebut dapat dikatakan bahwa nilai rata-rata sumber bising pada jalan uji coba perkerasan SMA dan porous asphalt sebesar 80,2-80,8 dBA. Dibandingkan beberapa *literature* mengukur kebisingan seperti yang dikembangkan Technical University of Stugart Jerman, kebisingan pada kecepatan kendaraan 50-60 km/jam untuk perkerasan porous asphalt antara 87-92 dBA, *Belgian Road Research Center (BRRC)* pada kecepatan kendaraan antara 60-80 km/jam nilai kebisingan antara 76-81 dBA dan hasil pengukuran kebisingan di Jepang dengan kecepatan kendaraan 55-65 km/jam nilai kebisingan antara 87-89 dBA.

Dari pengukuran nilai atenuasi (dB) bising untuk perkerasan SMA dan porous asphalt seperti ditunjukkan pada Tabel 48.

Tabel 48. Perbandingan nilai Atenuasi (dB) antara SMA dan Porous Asphalt

Perkerasan Jalan	Atenuasi (dB) Arah Jakarta		Level rata-rata (dB)	Atenuasi (dB) Arah Cirebon		Level rata-rata (dB)
SMA	A2-A1	6.2	6.3	A2-A1	7.6	8.2
	B2-B1	6.7		B2-B1	9.4	
	C2-C1	6.0		C2-C1	7.3	
Porous Aspal	D2-D1	6.2	6.6	D2-D1	9.4	9.4
	E2-E1	6.7		E2-E1	9.1	
	F2-F1	6.0		F2-F1	9.6	

Dari hasil pengukuran nilai Atenuasi (dB) perkerasan SMA dan Porous asphalt mempunyai nilai atenuasi (dB) lebih besar dari 6 dB, hal ini menunjukkan bahwa kedua perkerasan tersebut mampu mereduksi bising akibat gesekan ban dengan perkerasan. Tingkat kebisingan perkerasan porous asphalt memiliki nilai atenuasi 1,2 dB lebih tinggi dari perkerasan SMA.

Penempatan posisi titik pengukuran kebisingan pada jalan uji coba perkerasan SMA dan porous aspal seperti ditunjukkan pada Gambar 42.



Posisi titik pengukuran 3 m pada median



Posisi titik pengukuran 2 m pada bahu jalan

Gambar 42. Penempatan posisi titik pengukuran kebisingan

## 6.6 Ketidakrataan Permukaan

Survei ketidakrataan dimaksud untuk mengetahui gambaran tingkat pelayanan perkerasan dalam kaitannya dengan kenyamanan pengguna jalan pada saat melewati perkerasan (makin besar nilai ketidakrataan, makin tidak nyaman pengguna jalan). Pada saat survei, kendaraan dijalankan pada masing-masing lajur jalan utama dengan kecepatan sekitar 30 km/jam. Pengukuran dilakukan pada arah Jakarta dan arah Cirebon pada lajur lambat dan lajur cepat. Hasil pengukuran seperti ditunjukkan pada Tabel 49.

Tabel 49. Hasil pengukuran ketidakrataan (IRI)

URAIAN	ARAH	IRI (m/km) Rata-rata	
		Lajur	
	Jakarta	Lambat	Cepat
Maksimum		7,32	7,67
Minimum		2,56	2,66
Rata-rata		3,76	4,38
STD Deviasi		1,34	1,65
	Cirebon	Lambat	Cepat
Maksimum		3,70	6,09
Minimum		2,33	2,74
Rata-rata		2,98	3,64
STD Deviasi		0,41	0,94

Nilai IRI rata-rata masih lebih kecil dari 6 m/km menunjukkan permukaan perkerasan relatif masih baik.

# 7

## RANGKUMAN EVALUASI

Dari uraian yang telah dikemukakan diatas hasil rangkuman evaluasi setelah umur perkerasan 10 bulan sebagai berikut:

### 7.1 Lapisan Campuran SMA 3/4" Aspal Starbit + 0,3% *Cellulosa*

Hasil uji coba campuran SMA 3/4" dengan aspal starbit ditambah 0,3% cellulose dilaksanakan pada Sta. 29+350 s.d. Sta. 29+600 sepanjang 250m.

- Kedalaman alur pada permukaan perkerasan pada umur 1 hari untuk arah Jakarta rata-rata 2 mm dan arah Cirebon rata-rata 2 mm, setelah umur perkerasan 10 bulan alur arah Jakarta rata-rata 6 mm dan arah Cirebon rata-rata 4 mm.
- Kerusakan fungsional seperti retak, tambalan, lubang, amblas dan deformasi untuk arah Jakarta seluas 1,0 m<sup>2</sup> dan arah Cirebon tidak terdapat adanya kerusakan.
- Peningkatan nilai kepadatan lapangan dari umur perkerasan 1 hari sampai umur perkerasan 10 bulan, peningkatan kepadatan lapangan rata-rata sebesar 1,33%, untuk jalur arah Jakarta dan arah Cirebon.



- d. Penurunan rongga dalam campuran (VIM), dari umur perkerasan 1 hari sampai umur 10 bulan rata-rata sebesar 33,8%
- e. Nilai rata-rata pendulum umur perkerasan 10 bulan arah Jakarta 55 dan arah Cirebon 55 jadi nilai kekesatan masih diatas 50 masih menunjukkan nilai kekesatan cukup baik.
- f. Terjadi penurunan nilai penetrasi dari umur perkerasan 1 hari 53 dmm sampai umur 10 bulan menjadi 35 dmm. Nilai titik lembek meningkat umur perkerasan 1 hari 55 °C setelah umur perkerasan 10 bulan menjadi 60 °C. Nilai daktilitas tetap > 140 cm.

## 7.2 Lapisan Campuran SMA 1" Aspal Starbit + 0,3% *Cellulosa*

Hasil uji coba lapisan campuran SMA agregat maksimum size 1" dengan aspal starbit ditambah 0,3% *cellulosa* pelet dilaksanakan pada Sta.29+600 s.d. Sta.29+900 sepanjang 300m.

- a. Kedalaman alur pada permukaan perkerasan pada umur 1 hari untuk arah Jakarta rata-rata 2 mm dan arah Cirebon rata-rata 2 mm, setelah umur perkerasan 10 bulan alur arah Jakarta rata-rata 4 mm dan arah Cirebon rata-rata 3 mm.
- b. Kerusakan fungsional seperti retak, tambalan, lubang, amblas dan deformasi untuk arah Jakarta dan arah Cirebon tidak terdapat adanya kerusakan.
- c. Peningkatan nilai kepadatan lapangan dari umur perkerasan 1 hari sampai umur perkerasaan 10 bulan, peningkatan kepadatan lapangan untuk jalur arah jakarta dan arah Cirebon rata-rata sebesar 1,50%.
- d. Penurunan rongga dalam campuran (VIM), dari umur perkerasan 1 hari sampai umur 10 bulan rata-rata sebesar 38,2%
- e. Nilai rata-rata pendulum umur perkerasan 10 bulan arah Jakarta 53 dan arah Cirebon 52 jadi nilai kekesatan masih diatas 50 masih menunjukkan nilai kekesatan cukup baik.

- f. Terjadi penurunan nilai penetrasi dari umur perkerasan 1 hari 53 dmm sampai umur 10 bulan menjadi 34 dmm. Nilai titik lembek meningkat dari umur perkerasan 1 hari 55 °C setelah umur perkerasan 10 bulan menjadi 60. Nilai daktilitas tetap > 140 cm.

## 7.3 Lapisan Campuran SMA 3/4 Aspal 60/70 + 8% TPS

Hasil uji coba lapisan campuran SMA gradasi maksimum size 3/4" dengan aspal penetrasi 60/70 ditambah 8% TPS dilaksanakan pada Sta.29+900 s.d. Sta.30+300 sepanjang 400 m.

- a. Kedalaman alur pada permukaan perkerasan pada umur 1 hari untuk arah Jakarta rata-rata 2 mm dan arah Cirebon rata-rata 2 mm, setelah umur perkerasan 10 bulan alur arah Jakarta rata-rata 4 mm dan arah Cirebon rata-rata 3 mm.
- b. Kerusakan fungsional seperti retak, tambalan, lubang, ambblas dan deformasi untuk arah Jakarta seluas 7,5 m<sup>2</sup> dan arah Cirebon tidak terdapat adanya kerusakan.
- c. Peningkatan nilai kepadatan lapangan dari umur perkerasan 1 hari sampai umur perkerasan 10 bulan, peningkatan kepadatan lapangan untuk jalur arah Jakarta dan arah Cirebon rata-rata sebesar 4,0%.
- d. Penurunan rongga dalam campuran (VIM), dari umur perkerasan 1 hari sampai umur 10 bulan rata-rata sebesar 40,6%.
- e. Nilai rata-rata pendulum umur perkerasan 10 bulan arah Jakarta 52 dan arah Cirebon 52 jadi nilai kekesatan masih diatas 50 masih menunjukkan nilai kekesatan cukup baik.
- f. Terjadi penurunan nilai penetrasi dari umur perkerasan 1 hari 40 dmm sampai umur 10 bulan menjadi 30 dmm. Nilai titik lembek meningkat dari umur perkerasan 1 hari 62°C setelah umur perkerasan 10 bulan menjadi 65°C. Nilai daktilitas umur perkerasan 1 hari > 140 cm setelah umur perkerasan 10 bulan menjadi 90 cm.

## 7.4 Lapisan Campuran SMA 3/4 Aspal 60/70 + 12% TPS

Hasil uji coba lapisan campuran SMA gradasi maksimum size 3/4" dengan aspal penetrasi 60/70 ditambah 12% TPS dilaksanakan pada Sta.30+300 s.d. Sta.30+600 sepanjang 300m.

- a. Kedalaman alur pada permukaan perkerasan pada umur 1 hari untuk arah Jakarta rata-rata 2 mm dan arah Cirebon rata-rata 3 mm, setelah umur perkerasan 10 bulan alur arah Jakarta rata-rata 6 mm dan arah Cirebon rata-rata 3 mm.
- b. Kerusakan fungsional seperti retak, tambalan, lubang, ambblas dan deformasi untuk arah Jakarta seluas 77,0 m<sup>2</sup> dan arah Cirebon seluas 5,0 m<sup>2</sup>.
- c. Peningkatan nilai kepadatan lapangan dari umur perkerasan 1 hari sampai umur perkerasan 10 bulan, peningkatan kepadatan lapangan untuk jalur arah Jakarta dan arah Cirebon rata-rata sebesar 1,3%.
- d. Penurunan rongga dalam campuran (VIM), dari umur perkerasan 1 hari sampai umur 10 bulan rata-rata sebesar 33,7,6%
- e. Nilai rata-rata pendulum umur perkerasan 10 bulan arah Jakarta 52 dan arah Cirebon 52 jadi nilai kekesatan masih diatas 50 masih menunjukkan nilai kekesatan cukup baik
- f. Terjadi penurunan nilai penetrasi dari umur perkerasan 1 hari 37 dmm sampai umur 10 bulan menjadi 30 dmm. Nilai titik lembek meningkat dari umur perkerasan 1 hari 80°C setelah umur perkerasan 10 bulan menjadi 82°C. Nilai daktilitas umur perkerasan 1 hari 78 cm setelah umur perkerasan 10 bulan menjadi 74 cm.

## 7.5 Lapisan Campuran Porous Asphalt 60/70 + 12% TPS

Hasil uji coba lapisan campuran porous asphalt gradasi maksimum size 1" dengan aspal penetrasi 60/70 ditambah 12% TPS dilaksanakan pada Sta.30+600 s/d Sta.31+050 sepanjang 450m.

- a. Kedalaman alur pada permukaan perkerasan pada umur 1 hari untuk arah Jakarta rata-rata 2 mm dan arah Cirebon rata-rata 3 mm, setelah umur perkerasan 10 bulan alur arah Jakarta rata-rata 4 mm dan arah Cirebon rata-rata 3 mm.
- b. Kerusakan fungsional seperti retak, tambalan, lubang, ambles dan deformasi untuk arah Jakarta seluas 69,5 m<sup>2</sup> dan arah Cirebon seluas 17,5 m<sup>2</sup>.
- c. Peningkatan nilai kepadatan lapangan dari umur perkerasan 1 hari sampai umur perkerasan 10 bulan, peningkatan kepadatan lapangan untuk jalur arah Jakarta dan arah Cirebon rata-rata sebesar 6,52%.
- d. Penurunan rongga dalam campuran (VIM), dari umur perkerasan 1 hari sampai umur 10 bulan rata-rata sebesar 28,5%
- e. Terjadi penurunan nilai permeabilitas dari umur perkerasan 1 hari rata-rata  $2,16 \times 10^{-2}$  sampai umur perkerasan 10 bulan nilai permeabilitas rata-rata  $2,25 \times 10^{-3}$ , jadi termasuk permeabilitas sedang (*medium permeability*).
- f. Nilai rata-rata pendulum umur perkerasan 10 bulan arah Jakarta 53 dan arah Cirebon 52 jadi nilai kekesatan masih di atas 50 masih menunjukkan nilai kekesatan cukup baik
- g. Terjadi penurunan nilai penetras dari umur perkerasan 1 hari 37 dmm sampai umur 10 bulan menjadi 23 dmm. Nilai titik lembek meningkat dari umur perkerasan 1 hari 80°C setelah umur perkerasan 10 bulan menjadi 86°C. Nilai daktilitas umur perkerasan 1 hari 78 cm setelah umur perkerasan 10 bulan menjadi 53 cm.
- h. Nilai rata-rata sumber bising pada jalan uji coba perkerasan SMA 80,2 dBA dan Porous aspal sebesar 80,8 dBA hasilnya seperti ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Perkerasan Jalan	Atenuasi (dB) Arah Jakarta		Level rata-rata (dB)	Atenuasi (dB) Arah Cirebon		Level rata-rata (dB)
SMA	A2-A1	6.2	6.3	A2-A1	7.6	8.2
	B2-B1	6.7		B2-B1	9.4	
	C2-C1	6.0		C2-C1	7.3	
Porous Aspal	D2-D1	6.2	6.6	D2-D1	9.4	9.4
	E2-E1	6.7		E2-E1	9.1	
	F2-F1	6.0		F2-F1	9.6	

Dari hasil pengukuran nilai Atenuasi (dB) perkerasan SMA dan Porous asphalt pada umur perkerasan 10 bulan. Porous aspal mempunyai nilai atenuasi (dB) 6,6 dB lebih besar dari SMA 6,3 dB, hal ini menunjukkan bahwa kedua perkerasan tersebut mampu mereduksi bising akibat gesekan ban dengan perkerasan.

## 7.6 Pengujian Ketidakrataan Lapisan SMA dan Porous *Asphalt*

Pengujian ketidakrataan dengan menggunakan alat NAASRA-meter dilakukan sepanjang jalan percobaan dari km.29+300 s.d. 31+050, data ketidakrataan yang diperoleh dari alat NAASRA-meter memiliki satuan *count/km*, maka hasil pembacaan NAASRA-meter harus dikonversikan kedalam *m/km* IRI Nilai IRI rata-rata arah Jakarta antara 3,76 – 4,38 *m/km* dan arah Cirebon antara 2,98 – 3,64 *m/km* masih lebih kecil dari 6 *m/km* hal ini menunjukkan permukaan perkerasan relative masih dalam kondisi baik.

# DAFTAR PUSTAKA

- The Asphalt Institute Manual Series No. 22 (MS-22), 1983, Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavement.
- The Asphalt Institute Manual Series No. 17 (MS-17), 1983, Asphalt Overlays For Highway and Street Rehabilitation.
- The Shell Bitumen Handbook, University of Nottingham July 1990.
- Standar Specification AASHTO Designation : M 325-08, Stone Matrix Asphalt (SMA).
- Taiyu Kensetsu CO, LTD Mitsubishi Corporation, Porous Asphalt Pavement, 2009.
- Spesifikasi Umum Bina Marga 2007, Devisi 6, seksi 6,3, Campuran Beraspal Panas.
- Transportation Research Record No. 1265, Porous Asphalt Pavement : An International Perspective 1990, Nasional Research Council Washington D.C, 1990.



## CATATAN

10



## CATATAN

This image shows a single sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There is no handwriting or other markings on the paper.