

eco REKAYASA

JURNAL TEKNIK

**PERILAKU STRUKTUR PERKERASAN MENGGUNAKAN LAPIS FOAMED ASPHALT
BERDASARKAN ANALISIS SOFTWARE BISAR - 3.0**

Sri Sunaryono

**KAJIAN KUALITAS AIR HUJAN DAN KELAYAKANNYA SEBAGAI SUMBER AIR DI
KECAMATAN DEPOK – SLEMAN**

Purwanti Sri Pudyastuti

**MODEL PENENTUAN LOKASI PENIMBUNAN (LANDFILL) LIMBAH B3
DENGAN BANTUAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG)**

S a r d i

**PERANCANGAN CAMPURAN ASPAL DINGIN MENGGUNAKAN
ASPAL EMULSI RAPID SETTING**

Sri Widodo

**EVALUASI KECELAKAAN LALULINTAS DI RUAS JALAN PURWODADI -
SEMARANG**

Suwardi

PENGARUH UKURAN DAN LOKASI LUBANG BALOK T AKIBAT BEBAN SIKLIK

Muhammad Ujianto

**STUDI PELIMPAH BERTANGGA SEBAGAI PEREDAM ENERGI PADA BENDUNG
DENGAN KOLAM OLAK USBR-II**

Jaji Abdurrosyid, Gurawan Djati Wibowo



Program Studi Magister Teknik Sipil

Program Pascasarjana

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

DAFTAR ISI

| | |
|---|---------|
| DAFTAR ISI | i |
| PRAKATA | ii |
| | |
| PERILAKU STRUKTUR PERKERASAN MENGGUNAKAN LAPIS FOAMED ASPHALT BERDASARKAN ANALISIS SOFTWARE BISAR - 3.0 <i>Sri Sunaryono</i> | 1 – 6 |
| KAJIAN KUALITAS AIR HUJAN DAN KELAYAKANNYA SEBAGAI SUMBER AIR DI KECAMATAN DEPOK – SLEMAN <i>Purwanti Sri Pudyastuti</i> | 7 – 12 |
| MODEL PENENTUAN LOKASI PENIMBUNAN (LANDFILL) LIMBAH B3 DENGAN BANTUAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG) <i>S a r d i</i> | 13 – 19 |
| PERANCANGAN CAMPURAN ASPAL DINGIN MENGGUNAKAN ASPAL EMULSI <i>RAPID SETTING</i> <i>Sri Widodo</i> | 20 – 29 |
| EVALUASI KECELAKAAN LALULINTAS DI RUAS JALAN PURWODADI - SEMARANG <i>Suwardi</i> | 30 – 36 |
| PENGARUH UKURAN DAN LOKASI LUBANG BALOK T AKIBAT BEBAN SIKLIK <i>Muhammad Ujianto</i> | 37 – 43 |
| STUDI PELIMPAH BERTANGGA SEBAGAI PEREDAM ENERGI PADA BENDUNG DENGAN KOLAM OLAK USBR-II <i>Jaji Abdurrosyid dan Gurawan Djati Wibowo</i> | 44 - 51 |



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. A. Yani Pabelan Kartasura Tromol Pos 1 Surakarta 57102 Telp. (0271) 717417 Ext. 212, 213, 225, 253 Fax. (0271) 715448
E-mail : teknik@ums.ac.id. Website : <http://www.ums.ac.id>

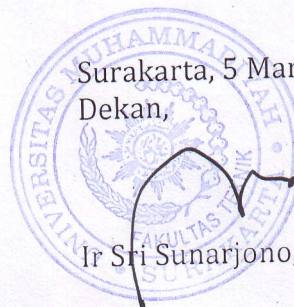
SURAT PENGALIHAN
PUBLIKASI
Nomor : 125/A.2-VIII/FT/III/2015

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ir Sri Sunarjono, M.T,Ph.D

Jabatan : Dekan Fakultas Teknik

Menyatakan menyetujui pengalihan hak unggah publikasi kepada Lembaga Pengembangan Publikasi Ilmiah Universitas Muhammadiyah Surakarta atas artikel berjudul "Perilaku Struktur Perkerasan menggunakan Lapis Foamed Asphalt berdasarkan Analisis Software Besar 3.0" yang di tulis oleh Sri Sunarjono NIDN : 06301263 , Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta pada eco Rekayasa No. 01 Vol 4 ISSN : 1907 - 4026 edisi Maret 2008.



Surakarta, 5 Maret 2015

Dekan,

Ir Sri Sunarjono, M.T,Ph.D •

PERILAKU STRUKTUR PERKERASAN MENGGUNAKAN LAPIS FOAMED ASPHALT BERDASARKAN ANALISIS SOFTWARE BISAR - 3.0

Sri Sunarjono

Magister Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos I – Pabelan Kartasura Telp.0271-717417 Ext.415 Surakarta 57102

E-mail: ssunarjono@gmail.com

ABSTRAK

Paper ini melaporkan hasil analisis perilaku struktur perkerasan jalan yang menggunakan foamed asphalt plus semen sebagai material lapisan base-course dengan simulasi beban vertikal dan horizontal gempa menggunakan software Bisar-3. Analisis menggunakan tiga buah skenario struktur perkerasan yang mana modulus lapis foamed asphalt dibuat bervariasi yaitu 500, 1000 dan 2500 MPa. Beban vertikal menggunakan single wheel load sebesar 40 kN dengan tegangan sebesar 600 kPa, sementara beban horizontal gempa menggunakan angka 600 kPa. Respon strain yang dihitung dengan menggunakan software BISAR 3.0. kemudian dipelajari perbedaan dan perubahannya. Didapatkan hasil bahwa penggunaan foamed asphalt plus semen sebagai base course dapat mengontrol kekakuan struktur secara keseluruhan sehingga fleksibilitasnya dapat diatur sesuai keinginan. Struktur perkerasan tetap membutuhkan kehadiran lapisan sub-base untuk mereduksi beban yang diterima oleh pondasi sub-grade. Saat cement bound material (CBM) digunakan sebagai lapis sub-base ternyata menyebabkan nilai maksimum tensile strain yang terjadi bergeser ke arah tengah atas lapisan. Ketiga skenario yang diuji diketahui tidak mampu mengantisipasi beban horisontal gempa secara efektif. Sebuah lapis tipis permukaan yang bermodulus tinggi dinilai lebih efektif untuk mereduksi tensile dan compressive strain yang terjadi pada lapisan base course. Peningkatan nilai modulus foamed asphalt lebih berfungsi mereduksi nilai strain yang terjadi bila tanpa beban horisontal gempa.

Kata-kata kunci: Struktur perkerasan, foamed asphalt, bisar-3.0

PENDAHULUAN

Jalan adalah struktur bangunan yang terdiri atas beberapa lapis yaitu (dari atas ke bawah) lapis permukaan, base course, sub-base course dan sub-grade. Masing-masing lapisan mempunyai fungsi khusus dalam mendukung dan meneruskan beban. Kekuatan masing-masing lapisan sangat tergantung dari tebal dan modulus materialnya. Akibat beban lalu lintas yang berulang, nilai struktur perkerasan jalan akan mengalami penurunan. Kerusakan jalan dapat berupa retak ataupun rutting (deformasi permanen). Struktur perkerasan dengan modulus material yang tinggi akan bersifat kaku, tahan terhadap rutting namun rentan terhadap retak. Sebaliknya material dengan modulus rendah akan bersifat fleksibel, tahan terhadap retak namun sensitif terhadap rutting.

Foamed asphalt adalah campuran antara agregat batuan dan busa aspal (*foamed bitumen*) yang dicampur secara dingin (cold mix sistem). Campuran ini mempunyai stiffness modulus lebih tinggi daripada *unbound granular material* (UGM) dengan fleksibilitasnya yang baik. Bila dikehendaki modulus lebih tinggi, semen dapat ditambahkan ke dalam foamed asphalt sehingga stiffnessnya mendekati *cement bound material* (CBM) atau asphalt bound material (ABM). Dengan sistem ini, sifat material foamed asphalt dapat diatur antara fleksibel dan kaku berdasarkan komposisi kadar foam dan semen.

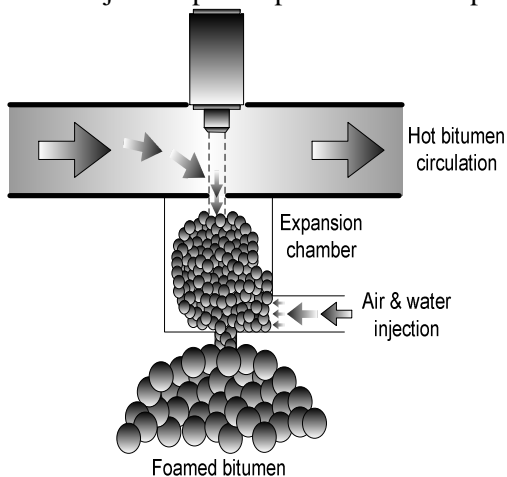
Paper ini membahas perilaku struktur perkerasan dengan material foamed asphalt plus semen sebagai lapisan base course terhadap beban yang diberikan baik beban vertikal maupun beban horisontal. Dalam kaitan ini beban horisontal disimulasikan sebagai beban gempa yang bekerja di pusat beban vertikal di permukaan jalan. Respon strain yang terjadi dihitung dengan menggunakan software BISAR 3.0. Asumsi beban horisontal gempa hanyalah simulasi sederhana untuk menjajagi indikasi perilaku struktur perkerasan saat gempa terjadi. Simulasinya kurang sempurna karena beban horisontal tidak bisa diaplikasikan pada setiap level lapis perkerasan.

FOAMED ASPHALT

Bila air diinjeksikan ke dalam aliran cairan aspal panas maka akan terbentuklah busa aspal (*foamed bitumen*). Busa aspal mampu mengikat agregat batuan pada kondisi suhu ruangan sehingga membentuk campuran aspal yang kemudian dikenal sebagai foamed asphalt. Karena dicampur dalam keadaan dingin maka campuran ini dikategorikan sebagai cold mix asphalt.

Teknologi foamed bitumen ini bukanlah baru. Terinspirasi oleh teknologi stabilisasi aspal, Profesor Ladis Csanyi (1957) menemukan foamed bitumen untuk stabilisasi batuan sebagai bahan perkerasan jalan (Csanyi, 1957). Mobil Oil (1960) mengembangkan teknologi ini dengan membuat

expansion chamber sebagai tempat menginjeksi air dingin ke aspal panas. Sekitar tahun 1995, sebuah perusahaan Jerman, Wirtgen, menyempurnakan sistem ini yang mana baik air maupun udara secara bersama-sama diinjeksi dengan tekanan tertentu ke dalam *expansion chamber* (Wirtgen, 2005). Gambar 1 menunjukkan proses produksi busa aspal tersebut.



Gambar 1. Produksi busa aspal dalam expansion chamber

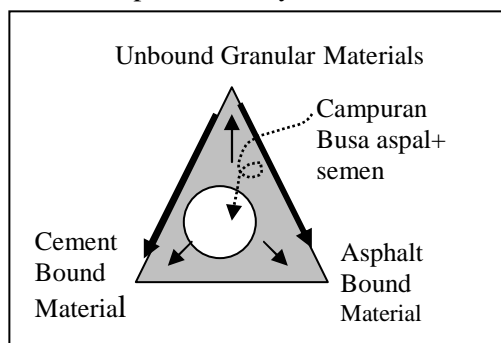
Proses pembuatan campuran busa aspal cukup mudah. Agregat dipersiapkan dalam keadaan basah dengan kadar air sekitar 80% dari nilai optimum moisture contentnya (standard/modified Proctor). Kemudian busa aspal (sekitar 2-4%) disemprotkan dan dicampur dengan agregat basah. Campuran dalam keadaan lepas ini (uncompacted) dapat disimpan beberapa hari (bisa sampai 3 bulan) sebelum dipadatkan atau dapat juga langsung dipadatkan. Material padat (compacted) tidak berwarna hitam seperti layaknya campuran aspal namun berwarna kecoklatan. Kekuatan material ini akan bertambah seiring dengan lepasnya air dari campuran selama proses curing (Sunarjono, 2006).

CARA MENGATUR NILAI STIFFNESS MODULUS FOAMED ASPHALT

Struktur perkerasan yang diuji dalam tulisan ini menggunakan lapisan base course foamed asphalt dengan modulus yang bervariasi dari rendah ke tinggi. Cara mengatur nilai stiffness modulus ini dapat dijelaskan berikut dibawah ini.

Awalnya, material campuran pasir dan batu (sirtu) tanpa diikat oleh suatu binder atau sering dikenal dengan *unbound granular material* (UGM) banyak dipakai sebagai lapis base course. Kekuatan material ini sangat tergantung dari interlocking antar partikel batuan. Modulusnya relatif rendah dan rentan terhadap infiltrasi air. Lapis perkerasan yang berada di atas material ini berpotensi terjadi retak akibat daya dukung yang rendah. Fu dan Harvey (2005) menjelaskan bahwa bila UGM ini distabilisasi dengan semen, dikenal sebagai *cement bound*

material (CBM), propertiesnya akan berubah. Modulusnya tinggi dan tidak mempunyai resiko rutting. Namun material ini sangat rentan terhadap retak akibat penyusutan pada awal umurnya sehingga berpotensi rusak fatigue akibat tidak adanya fleksibilitas. Nilai modulus dan resiko retaknya sangat tergantung dari banyaknya prosentasi semen. Bila material UGM distabilisasi dengan aspal, dikenal sebagai *asphalt bound material* (ABM), propertiesnya berbeda jauh dengan CBM. Campuran aspal mempunyai stiffness modulus dan fleksibilitas yang baik serta tahan infiltrasi air. Potensi terjadinya retak ataupun rutting tergantung atas properties dan komposisi bahan pembentuknya.

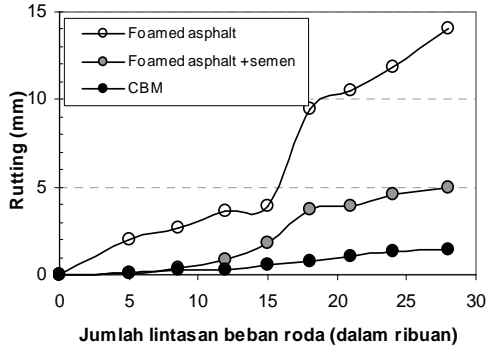


Gambar 2. Posisi properties foamed asphalt plus semen

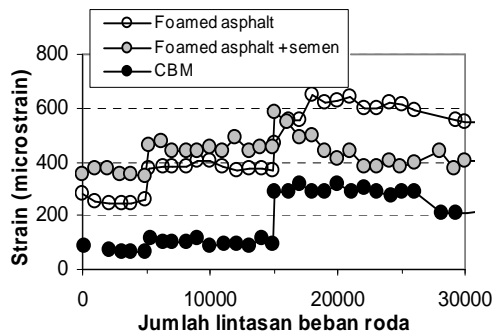
Properties material foamed asphalt terletak diantara UGM dan ABM karena kadar bindernya rendah dan busa aspal tidak menyelimuti seluruh permukaan agregat. Maka bisa disebut sebagai *Asphalt semibound material* (ASM). Bila material foamed asphalt ini ditambah semen maka propertiesnya akan bergeser ke arah CBM dan berada di tengah-tengah antara UGM, CBM dan ABM. Nilai modulusnya naik dan tetap fleksibel. Gambar 2 menunjukkan posisi properties foamed asphalt plus semen diantara UGM, CBM dan ABM. Dengan demikian jelaslah bahwa penambahan semen terhadap material foamed asphalt dapat mengatur modulus dan fleksibilitas material. Dalam hal ini komposisi busa aspal dan semen memegang peranan kunci.

Gambar 3 dan 4 menunjukkan kinerja campuran busa aspal (foamed asphalt), busa aspal plus semen dan CBM hasil pengujian laboratorium dengan menggunakan wheel tracking dengan beban single wheel load 3 kN (0-5000 lintasan), 6 kN (5000-15000 lintasan) dan 12 kN (pada lintasan selanjutnya). Pada gambar-gambar tersebut tampak bahwa nilai rutting dan strain campuran busa aspal tertinggi dibanding dua campuran lainnya. Nilai strain tinggi memberi indikasi nilai modulus rendah. Namun bila 1.5% semen ditambahkan ke dalam campuran busa aspal maka nilai ruttingnya turun sangat signifikan, demikian juga nilai strainnya lebih rendah saat diaplikasikan beban 12 kN. Ini berarti

penambahan semen meningkatkan resistensi campuran terhadap rutting (permanent deformation). CBM terlihat superior dalam rutting maupun kekuatannya, namun karena modulusnya yang tinggi dan tidak memberi ruang fleksibilitas maka CBM rentan terhadap retak. Dalam pengujian ini, berdasarkan respon strain yang didapat, modulus foamed asphalt (termasuk bila ditambah semen) berkisar antara 500-3000 MPa.



Gambar 3 Kinerja rutting campuran busa aspal berdasarkan testing wheel tracking



Gambar 4 Nilai strain campuran busa aspal berdasarkan testing wheel tracking

SKENARIO YANG DITINJAU

Tiga skenario A, B dan C seperti terlihat pada Tabel 1 dengan modulus foamed asphalt (FA) dibuat 3 variasi yaitu 500 MPa, 1000 MPa dan 2500 MPa dipelajari perilakunya berdasarkan nilai strainnya. Skenario A tanpa lapisan sub-base namun menggunakan pondasi sub-grade yang lebih baik (modulus 100 MPa). Skenario B menggunakan lapisan pondasi dengan modulus lebih rendah daripada kasus A namun menggunakan lapis sub-base UGM (semacam sirtu atau agregat klas B atau A). Skenario C mirip dengan B namun sub-basenya menggunakan CBM (dengan kandungan semen sekitar 6%).

Beban yang digunakan adalah single wheel load dengan beban 40 kN dan tegangan vertikal sebesar 600 kPa. Beban horisontal gempa yang disimulasikan sebesar 600 kPa dibebankan pada pusat beban roda. Poisson ratio untuk semua material menggunakan angka 0.35.

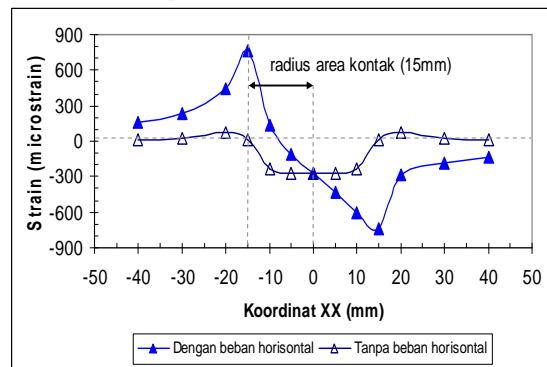
Tabel 1 Struktur perkerasan yang ditinjau dengan variasi properties lapisan foamed asphalt

| | Skenario | | |
|-------------------------|---|---|------------------------------|
| | A | B | C |
| Surface | Asphalt concrete (AC); tebal = 40mm E = 2500 MPa | | |
| Base course: FA + semen | t=300mm E variasi antara 500-2500 MPa | t = 200 mm E variasi antara 500 – 2500 MPa | |
| Sub-base | tanpa sub-base | UGM t=300mm E=2500MPa | CBM t=200mm E=3500 MPa |
| Sub-grade | E=100 MPa | E = 50 MPa | E=50 MPa |

HASIL-HASIL DAN DISKUSI

Hasil perhitungan nilai strain dengan menggunakan software BISAR 3.0 untuk skenario A, B dan C terlihat pada Gambar 5, 6 dan 7. Tidak semua gambar hasil perhitungan ditampilkan karena terbatas-nya halaman.

Gambar 5 adalah kurva strain di bagian atas pada lapisan permukaan jalan dengan dan tanpa beban horisontal untuk skenario A dengan modulus foamed asphalt 500 MPa. Koordinat sumbu x adalah jarak dari pusat beban vertikal dan horisontal (x=0). Nilai negatif menunjukkan posisi di belakang arah beban horisontal. Berdasarkan pada kurva, bagian kritisnya terletak pada x=0 (di bawah pusat beban) dan sekitar x= -15mm dan + 15mm (ini merupakan jarak radius kontak area beban). Oleh karenanya, respon strain yang dipelajari adalah pada kedalaman perkerasan di bawah pusat beban dan pada jarak 15mm dari pusat beban. Dari kurva tersebut juga didapatkan bahwa beban horisontal menyebabkan peningkatan nilai strain hampir 3 kali lipat dengan nilai maksimum terletak di -15 mm (*tension*) dan di +15 mm (*compression*).

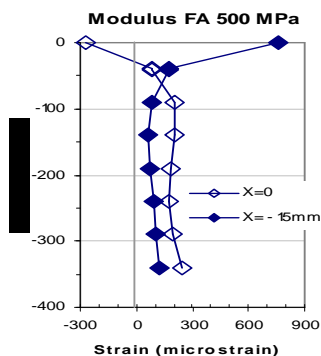


Gambar 5. Nilai-nilai strain di permukaan jalan dengan modulus FA 500 MPa (Skenario A)

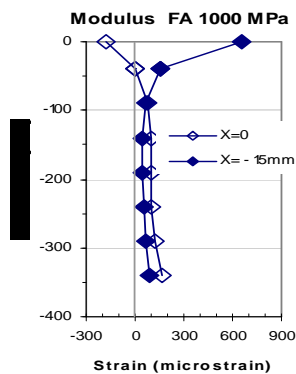
Bila diperhatikan pada kedalaman lapis perkerasan dibawahnya (Gambar 6a) ternyata nilai-

nilai strainnya lebih rendah, terutama pada lapis base-course ke bawah. Ini menunjukkan bahwa lapisan permukaan adalah paling rentan terhadap beban horizontal gempa. Perilaku ini logis karena beban horizontal berada di permukaan, tentu hasilnya akan berbeda bila beban horizontal dapat disimulasikan pada setiap lapis perkerasan. Namun setidaknya hasil simulasi ini menunjukkan bahwa beban horizontal gempa ada baiknya diperhatikan dalam desain perkerasan jalan, setidaknya untuk menurunkan strain yang terjadi.

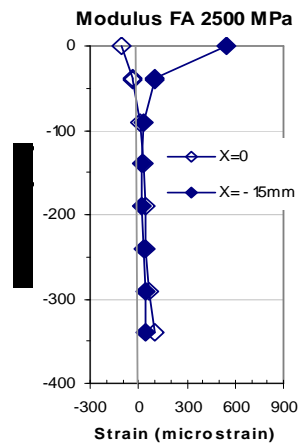
Pada Gambar 6 dapat dilihat perubahan nilai-nilai strain akibat variasi nilai modulus pada lapis material FA untuk skenario A. Dua kurva yang terlihat adalah nilai-nilai strain dibawah titik $x=0$ (tidak ada efek beban horizontal gempa) dan dibawah titik $x= -15$ mm (puncak efek beban horizontal gempa). Kenaikan nilai modulus FA dari 500 menjadi 1000 MPa dapat sedikit mengurangi nilai strainnya dan reduksi ini sangat signifikan saat modulus FA dinaikkan menjadi 2500 MPa. Namun kenaikan modulus FA tidak mereduksi strain lapis permukaan secara signifikan. Hal yang perlu diperhatikan adalah struktur yang tidak menggunakan sub-base ini harus menggunakan lapis FA dengan modulus tinggi untuk mereduksi beban yang dipikul sub-grade. Namun demikian, penggunaan modulus FA yang tinggi selain tetap belum mampu mereduksi nilai strain lapis permukaan juga perlu diselidiki resiko retaknya.



Gambar 6a

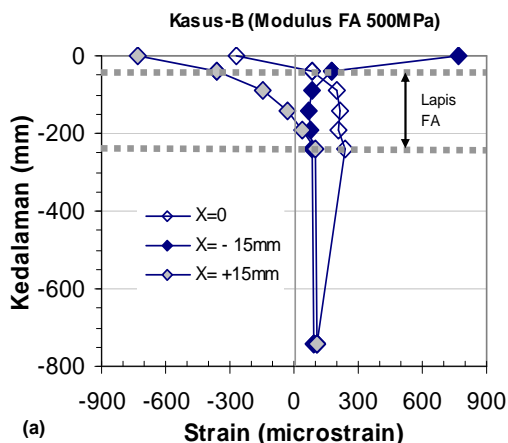


Gambar 6b

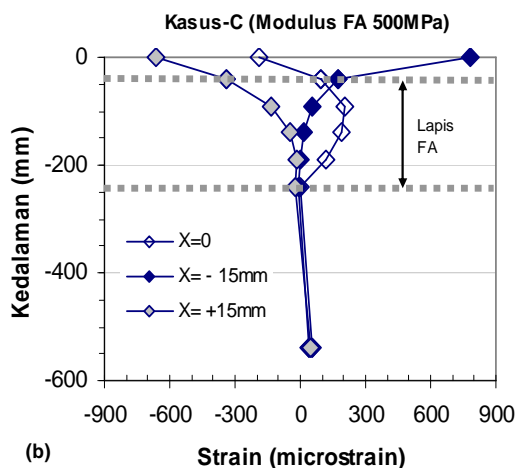


Gambar 6c

Gambar 6 Perubahan nilai-nilai strain pada skenario A akibat perubahan nilai modulus FA



(a)



(b)

Gambar 7 Perubahan nilai strain pada skenario B dan C dengan modulus FA 500 MPa

Gambar 7 mengungkap respon strain pada kasus B dan C dengan modulus FA 500 MPa. Gambar ini menampilkan 2 kurva seperti pada Gambar 6 ditambah satu kurva lagi yang merupakan

nilai-nilai strain dibawah titik $x = + 15$ mm. Ternyata kurva $x = - 15$ mm dan $x = + 15$ mm hanya berbeda pada lapis permukaan dan lapis FA sedangkan di bawah lapis FA kedua kurva bernilai sama. Yang menarik, ternyata saat diberikan beban gempa, tensile strain yang terjadi pada FA lebih kecil dibanding tanpa adanya beban horisontal gempa. Ini berlaku untuk semua kasus A, B dan C. Namun pada kasus C, maksimum strain yang terjadi tidak di dasar lapisan namun di tengah lapisan (posisinya tergantung nilai modulus sub-base). Hal ini dikarenakan adanya material CBM sebagai sub-base dengan modulus yang tinggi. Kehadiran CBM ini tidak mereduksi secara signifikan nilai maksimum tensile strain lapisan FA namun efeknya lebih pada menggeser posisi nilai maksimum tersebut ke tengah lapisan. Kehadiran CBM pada kasus C ini juga tidak mampu mereduksi banyak nilai tensile dan compressive strain pada lapis FA dan lapis permukaan.

Pada analisa lebih lanjut, didapatkan hasil bahwa beban horisontal gempa lebih efektif dipikul oleh material lapis tipis permukaan dengan modulus tinggi. Lapis tipis ini dapat menyerap sebagian besar energi beban gempa sehingga dapat mereduksi baik tensile strain maupun compressive strain pada lapisan dibawahnya. Pada umumnya strain yang terjadi akibat gaya gempa berupa tension maupun compression sekaligus (Gambar 5) sehingga kerusakan yang terjadi adalah terbelahnya perkerasan jalan. Untuk itu perlu dipikirkan lapis tipis permukaan peredam gaya gempa ini mempunyai kekuatan tarik dan tekan yang sama baiknya.

Kehadiran sub-base UGM pada skenario B, walau tidak mampu mereduksi strain di lapisan FA, namun dinilai lebih menguntungkan dibanding kasus A karena kehadiran sub-base dapat melindungi pondasi sub-grade dari tekanan beban yang berlebihan. Fu dan Harvey (2005) menyarankan penggunaan sub-base di bawah lapis FA untuk meningkatkan umur rutting sub-grade, karena tanpa sub-base umur rutting sub-grade menjadi lebih pendek meskipun stiffness modulus FA dinaikkan sampai 2 kali lipat. Juga dikatakan bahwa bila struktur perkerasan tanpa sub-base, kenaikan modulus sub-grade tidak memberi arti banyak terhadap reduksi strain yang terjadi pada lapis FA.

Peningkatan modulus FA pada skenario B dan C mampu mereduksi nilai strain (tanpa beban gempa) pada lapis FA terutama pada bagian lapisan atas. Sedangkan pada bagian dasar, nilai maksimum tensile strain yang terjadi tidak berkurang secara signifikan kecuali saat diaplikasikan modulus FA

sebesar 2500 MPa pada skenario C, seluruh nilai strain pada lapis FA dan di bawahnya nyaris mendekati angka nol. Dengan demikian peningkatan nilai modulus FA dengan cara menambahkan semen cukup efektif untuk mereduksi nilai strain yang terjadi namun tetap saja tidak berpengaruh banyak saat diaplikasikan beban gempa.

Pada skenario C, peranan sub-base CBM menjadi dominan daripada peranan base course FA pada struktur secara keseluruhan. Peranan FA hanya pada lapis itu sendiri karena peningkatan modulus FA akan mereduksi nilai strainnya. Namun demikian diperkirakan lapis FA juga akan berperan mencegah rambatan retak dari lapis CBM menuju lapis permukaan. Dengan demikian skenario C sangat berbeda dengan skenario A dan B yang mana lapis FA menjadi lapis struktur perkerasan utama dan dominan dalam memikul beban.

KESIMPULAN

Beberapa hal penting dan menarik dapat disebutkan sebagai berikut:

- 1) Penggunaan material foamed asphalt plus semen sebagai base course dapat mengontrol kekakuan struktur secara keseluruhan sehingga fleksibilitasnya dapat diatur sesuai keinginan.
- 2) Struktur perkerasan yang menggunakan material foamed asphalt sebagai lapis base course tetap membutuhkan kehadiran lapis UGM sebagai sub-base.
- 3) Beban horisontal gempa lebih efektif diantisipasi dengan lapis tipis permukaan yang bermodulus tinggi untuk mereduksi tensile dan compressive strain yang terjadi pada lapisan base course.
- 4) Peningkatan nilai modulus material foamed asphalt dapat mereduksi nilai strain yang terjadi bila tanpa beban horisontal gempa.
- 5) Penggunaan lapis CBM dibawah lapisan foamed asphalt menyebabkan nilai maksimum tensile strain yang terjadi bergeser ke arah bagian atas lapisan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Dr. Muslich Hartadi Sutanto atas diskusi dan masukannya. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada TPSDP SPMU-UMS sebagai penyedia dana dalam riset tentang penyelidikan properties campuran busa aspal.

REFERENSI

- Csanyi, L.H., 1957. *Foamed Asphalt in Bituminous Paving Mixes*. *Highway Research Board Bulletin* Vol.10 No.160 Pp 108-122.
- Fu, P. and Harvey, J., 2005. *Strategy selection for DISR-Foamed Asphalt: Stiffer or more flexible*. *Department of Civil and Environmental Engineering*, University of California, Davis, CA, USA.
- Mobil Oil Australia Ltd. *Foamed Bitumen—A New Development*. Technical Buletin, Bitumen No.6.Ristek, tanpa tahun. <http://www.pirba.ristek.go.id/?mode=gmp&menu=jb&sub-menu=geo>.
- Sunarjono, S., 2006. *Pavement stabilisation using foamed bitumen*. First year report, Report Number: NCPE 3, Nottingham Centre for Pavement Engineering, School of Civil Engineering, The University of Nottingham.
- Wirtgen, 2005. *Foamed bitumen mix design procedure using the Wirtgen WLB 10 # 147 236.0001*.