

A PRACTICAL STUDY FOR RESTRICTED ZONE CONCEPT OF SUPERPAVE'S DENSE-GRADED AGGREGATE MIXTURE

STUDI PRAKTIS KONSEP ZONA TERLARANG CAMPURAN AGREGAT GRADASI MENERUS SUPERPAVE

Mudji Wahyudi

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Mataram
Jln. Majapahit 62 Mataram, Nusa Tenggara Barat 83125
No. Telp/Faks : (0370) 636126

ABSTRACT

Selecting grading types and determining proportion of coarse-aggregates within total-weight aggregate mixtures could affect mechanistic and volumetric properties of asphalt mixtures. A crucial polemic that should be comprehensively studied is a concept of restricted zone of Superpave's dense-grading mix. This restricted zone was defined as an area lying on the maximum density line extending from the 1,15 mm sieve to the 2,36 mm sieve through which it is undesirable for the gradation to pass. This zone was represented tolerance domain of asphalt mix performance. However these control points were still became a polemic. A compaction method used on this research was Marshall method. Variables used as research parameter included 5 (five) gradation types, i.e. grading type 1, type 2, type 3, type 4 and type 5 and also 3 (three) level bitumen content (4,0%, 4,5% and 5,0%). Within characteristic of asphalt mixtures was which discussed in terms of volumetric (specific gravity, air void, thin film asphalt, and VMA) and mechanistic properties (stability, flow, Marshall Quotient, stiffness, indirect tensile strength, fracture toughness). Based on the research results, by means of volumetric and mechanistic properties, it is shown that the alternative grading type 1 ($C_c=3,26$) produces a good characteristic ($\gamma = 2,478$ gr/ml, $E = 4185,775$ MPa, Stability = 934,52 kg, $\sigma_{maks} = 1,914$ Mpa and $K_{IC} = 459,34$ Mpa) of asphalt mixture. This shows that there is no bad influence of the use of aggregate grading passed through the SHRP's restricted zone over asphalt-mix performance.

Keyword: Restricted zone, grading type, volumetric and mechanistic properties

ABSTRAKSI

Pemilihan jenis gradasi dan penetapan porsi agregat kasar dalam total berat campuran total agregat dapat mempengaruhi kekuatan, stabilitas, dan daya tahan campuran aspal terhadap kerusakan deformasi plastis dan retak akibat kelelahan bahan. Salah satu polemic yang perlu dikaji adalah konsep zona terlarang (*restricted zone*) gradasi menerus Superpave. Zona terlarang didefinisikan sebagai daerah yang tidak boleh dilalui oleh susunan butiran atau gradasi pada prosentase 15 – 39 % dan ukuran saringan 1.15mm – 2.36mm. Zona larangan pada gradasi menerus Superpave (SHRP, 1994) yang selanjutnya diadopsi Dirjen Bina Marga (EIRTP-I, 2003) dirujuk sebagai kurva representatif yang mewakili batas toleransi kinerja (*performance*) campuran agregat sebagai bahan pembentuk perkerasan jalan. Sampai saat ini, pengaruh zona terlarang terhadap kinerja campuran aspal belum disepakati secara meluas oleh masyarakat ke-Bina Marga-an diseluruh dunia. Metode peersiapan benda uji riset digunakan metode *Marshall*. Variabel riset yang diteliti meliputi: 5 (lima) jenis gradasi, yaitu gradasi alternatif 1 ($C_c=1.91$), alternatif 2 ($C_c=2.34$), alternatif 3 ($C_c=3.26$), alternatif 4 ($C_c=5.99$) dan alternatif 5 ($C_c=7.74$). Selang kadar aspal mencakup 3 (tiga) kadar aspal (4,0%, 4,5% dan 5,0%). Analisa sifat campuran aspal mencakup 2 (dua) kategori yaitu sifat volumetrik (berat jenis, rongga udara, dan VMA) dan sifat mekanis campuran (stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient*, modulus kekakuan, tegangan tarik tidak langsung, dan ketahanan terhadap retak). Hasil evaluasi sifat volumetrik dan sifat mekanis memperlihatkan bahwa gradasi alternatif 1 ($C_c=3.26$) yang menerobos zona terlarang menghasilkan sifat-sifat volumetrik dan mekanis yang baik ($\gamma = 2,478$ gr/ml, $E = 4185,775$ Mpa, Stabilitas = 934,52 kg, $\sigma_{maks} = 1,914$ Mpa dan $K_{IC} = 459,34$ Mpa). Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh yang buruk untuk pemakaian gradasi menerus yang menerobos zona terlarang.

Kata-kata Kunci : Zona terlarang (*restricted zone*), jenis gradasi, sifat volumetrik, sifat mekanis.

PENDAHULUAN

Fenomena kerusakan dini pada konstruksi perkerasan lentur sejak dua dekade terakhir membuktikan kelemahan metode desain konvensional maupun daya tahan produk (hasil desain) campuran aspal yang rentan terhadap kerusakan struktural, seperti deformasi plastis dan retak kelelahan bahan (Quintus dkk, 1991; Hunter, 1994). Dampak kerusakan dini tersebut adalah penurunan kinerja jalan secara drastis, dan perpendekan durasi umur rencana konstruksi jalan. Terkait dengan kinerja bahan campuran, Strategic Highway Research Project (SHRP) Amerika menetapkan kriteria zona terlarang (*restricted zone*) pada campuran agregat bergradasi menerus Superpave (*Superior Performance Asphalt Pavement*). Kriteria tersebut merupakan titik-titik kontrol dan batasan suatu zona hitam (*black hole*) pada kurva hubungan antara persentase lolos saringan dengan ukuran saringan (gambar 1). Zona tersebut ditetapkan Tim Superpave (Cominsky dkk, 1994) sebagai batasan pada kurva gradasi menerus Superpave

yang terlarang dilalui butiran agregat, dan diyakini menghasilkan bahan campuran yang ber-kinerja buruk.

Kondisi faktual konstruksi jalan di Indonesia memperlihatkan bahwa banyak struktur perkerasan jalan yang dibangun tetapi tidak memenuhi kriteria yang sudah ditetapkan. Melihat kondisi ini, maka Institusi Pembina Jalan (Dirjen Binamarga) berupaya membuat Spesifikasi Baru dan mengadopsi kriteria zona larangan gradasi menerus Superpave lewat Spesifikasi 2003 seksi 6.3 tentang Campuran Aspal Panas. Spesifikasi teknis baru tersebut dan diimplementasikan melalui Eastern Indonesia Re-gion Transport Project-I (2003) dukungan IBRD Loan No.4663-INO.

Akan tetapi sampai saat ini, pengaruh zona terlarang pada gradasi menerus Superpave terhadap kinerja campuran aspal di jalan masih merupakan polemic dan terus berkembang diantara para pakar, praktisi, akademisi, peneliti di bidang jalan. Ironisnya di Amerika Serikat sendiri, banyak institusi pengelola jaringan jalan dari masing-masing Negara Bagian meninggalkan kriteria tersebut di atas. Sedangkan di Indonesia, khususnya Proyek

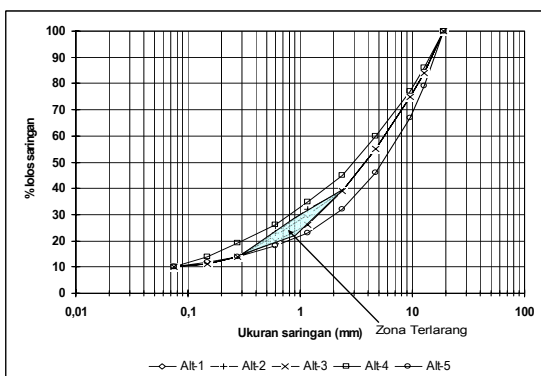
EIRTP baru mulai mengaplikasikan kriteria zona terlarang (*restricted-zone*). Untuk itu, dalam rangka pemahaman secara konkrit superioritas campuran aspal bergradasi menerus Superpave tersebut terhadap kinerja campuran aspal, evaluasi (kajian praktis) sejauh mana pengaruh dan implikasi zona larangan tersebut perlu diaplikasikan atau tidak, dilakukan di laboratorium FT Unram, NTB dengan mempertimbangkan karakteristik bahan material lokal di Indonesia, khususnya di provinsi Nusa Tenggara Barat.

TINJAUAN PUSTAKA

Bahan material pembentuk konstruksi perkerasan, pada dasarnya, meliputi material butiran (agregat kasar, halus, dan pengisi) yang berpelekat aspal atau tidak berpelekat. Material butiran berfungsi sebagai kerangka susun batuan atau tulangan yang memikul bagian terbesar dari beban maupun kekuatan yang bekerja pada konstruksi tersebut (Soedarsono, 1979). Susunan batuan atau komposisi butiran gradasi harus didesain sedemikian rupa, sehingga partikel agregat yang terdiri dari berbagai ukuran dapat saling mengisi dan bersinggungan secara rapat antar partikel yang dipadatkan sehingga menimbulkan gaya friksi/geser dalam antar partikel (*internal friction*).

Hveem(1940) melaporkan kemungkinan terjadinya anomali campuran agregat bergradasi menerus, yaitu terdapat suatu gundukan/cekungan (*hump*) di antara ukuran partikel agregat 0,6 – 0,15 mm. Hal ini diakibatkan kelebihan fraksi pasir (agregat halus) yang sekaligus merupakan indikasi terdapatnya pasir alam (*windblown sand*) dan berpermukaan halus. Oleh karena itu, standar komposisi gradasi harus dapat memenuhi batasan toleransi (titik-titik kontrol) yang telah ditentukan. Banyaknya riset tentang gradasi campuran agregat menghasilkan luaran kurva yang beragam. Salah satunya adalah kurva gradasi menerus Superpave yang dihasilkan oleh SHRP.

Sebagaimana dibahas sebelumnya, SHRP mensyaratkan titik-titik kontrol kurva gradasi termasuk batasan zona terlarang pada garis kepadatan maksimum antara prosentase lolos saringan 15% - 39% dan tertahan ukuran saringan 0,15 – 2,36 mm yang tidak boleh dilalui garis gradasi agregat. Mereka menyatakan bahwa garis gradasi yang menerobos zona terlarang Superpave akan menghasilkan kinerja campuran yang rendah terkait dengan sifat-sifat campuran aspal. Berdasarkan publikasi riset tersebut, SHRP menyarankan pemakaian kurva gradasi yang berada diatas zona terlarang maupun gradasi yang dibawah zona (Cominsky dkk, 1994).



Gambar 1. Grafik Distribusi Butiran Agregat

Tipikal gradasi menerus *Superpave* didefinisikan sebagai jenis gradasi campuran agregat untuk perkerasan yang mempunyai kemampuan pelayanan lalu lintas paling baik (*Super Performance Pavement*). Akan tetapi, dari temuan beberapa riset mancanegara yang telah dilakukan, hasil yang diperoleh tentang pengaruh zona terlarang gradasi menerus Superpave sangat beragam. Oleh sebab itu, isu diatas memicu polemik terkait dengan

layak atau tidaknya zona terlarang kurva gradasi menerus Superpave digunakan sebagai titik-titik kontrol rujukan yang dapat mewakili kinerja (*performance*) campuran agregat bergradasi menerus untuk bahan perkerasan lentur jalan.

Sharma dan Larson (1990) melaporkan bahwa pemakaian campuran agregat yang bergradasi lebih kasar dapat mengurangi akumulasi deformasi plastis pada alur roda kendaraan (*rutting*). Peningkatan prosentase agregat kasar ke selang antara 60% - 80% dari total berat campuran diyakini mampu menciptakan kerangka susun batuan pada campuran aspal. Proporsi agregat kasar (Brown and Haddock, 1997) dalam campuran total agregat harus mencukupi terbentuknya suatu kerangka susun batuan yang saling mengunci antar partikel butiran agregatnya. Dengan demikian, agar diperoleh kinerja campuran beraspal yang stabil, kuat dan awet, susunan butiran campuran agregat harus mampu menahan dislokasi partikel butiran agregat saat perkerasan melayani beban lalu lintas kendaraan bertonase berat.

Di Nottingham Inggris (Brown dkk., 1991), pemakaian gradasi menerus dengan pendekatan analitis merupakan bagian dari prosedur desain (baru) untuk campuran aspal yang berbasis sifat-sifat mekanistik campuran aspal. Temuan riset tersebut memperlihatkan bahwa kinerja perkerasan sangat baik sesuai dengan prediksi model kerusakan struktural jalan tanpa mempersoalkan zona larangan maupun titik-titik kontrol campuran agregat menerus SHRP.

METODE PENELITIAN

Variabel riset meliputi kadar aspal, gradasi agregat, dan untuk penyiapan benda uji berbentuk briket Dia. 10 cm dengan tebal standar, digunakan alat pemadat dan prosedur Marshall.

Kadar aspal

Penentuan variabel kadar aspal masing-masing gradasi menegacu riset pendahuluan untuk penentuan kadar optimum aspal (Supraharsa, 2001; Sariaman, 2003; Wahyudi, 2003; Suhartini, 2004). Dengan demikian, selang kadar aspal yang digunakan adalah 4,0 %, 4,5 % dan 5 %, dan jenis aspal yang digunakan adalah AC Pen 80/100.

Gradasi Agregat

Penentuan kadar mineral pengisi (*filler*) dan komposisi campuran gradasi alternatif 1, 2, dan 3 merujuk pada kurva gradasi menerus Superpave (SHRP, 1994). Sedangkan untuk komposisi campuran agregat alternatif 4 dan 5, rumusan Brown dan kawan-kawan (1991) diadopsi untuk penentuan gradasi riset :

$$P = \left\{ \frac{[(100 - F) \times (d^n - 0.075^n)]}{(D^n - 0.075^n)} + F \right\} \quad (1)$$

dimana :

P = prosentase lolos saringan (%); F = kadar filler; d = diameter saringan yang ditinjau; D=diameter maksimum partikel dalam gradasi n = parameter yang nilainya berkisar 0-1, nilai n untuk gradasi alternatif 4 ditentukan 0,35, sedangkan untuk gradasi alternatif 5 adalah 0,63.

Sebagaimana terlihat pada Gambar 1, kurva gradasi campuran agregat alternatif 1, merupakan tipikal gradasi yang menerobos zona terlarang. Sedangkan alternatif 2 dan 3 adalah kurva gradasi yang berimpit dengan ambang atas dan bawah zona terlarang. Komposisi gradasi alternatif 4 dan 5 mewakili tipikal kurva gradasi yang diatas dan dibawah zona terlarang. Rincian detail proporsi butiran campuran agregat yang lolos saringan dapat disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Gradasi Campuran Agregat Riset

| No. Saringan | D(cm) | Prosentase Lolos Saringan (%) | | | | |
|--------------|-------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | | Alt.1 | Alt.2 | Alt.3 | Alt.4 | Alt.5 |
| 3/4" | 19.05 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 1/2" | 12.70 | 84 | 84 | 84 | 86 | 79 |
| 3/8" | 9.525 | 75 | 75 | 75 | 77 | 79 |
| No.4 | 4.750 | 55 | 55 | 55 | 60 | 46 |
| No.8 | 2.360 | 39 | 39 | 39 | 45 | 32 |
| No.16 | 1.180 | 30 | 32 | 26 | 35 | 23 |
| No.30 | 0.600 | 22 | 23 | 20 | 26 | 18 |
| No.60 | 0.279 | 14 | 14 | 14 | 19 | 14 |
| No.100 | 0.150 | 11 | 11 | 11 | 14 | 12 |
| No.200 | 0.075 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Filler | - | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

Rancangan Riset

Riset laboratorium ini menggunakan rancangan faktorial 3 x 5 dengan 3 replikasi (Lihat Tabel 2). Variabel bebas mencakup 3 kadar aspal dan 5 jenis gradasi, sedangkan variabel tidak bebas meliputi sifat-sifat volumetrik dan mekanis campuran aspal.

Tabel 2. Rancangan Riset

| Parameter Riset | Gradasi (B) | Kadar optimum aspal (A) | | |
|-----------------|-------------|-------------------------|----------|----------|
| | | (1) 4.0% | (2) 4.5% | (3) 5.0% |
| Alternatif 1 | B1 | A1B1 | A2B1 | A3B1 |
| Alternatif 2 | B2 | A1B2 | A2B2 | A3B2 |
| Alternatif 3 | B3 | A1B3 | A2B3 | A3B3 |
| Alternatif 4 | B4 | A1B4 | A2B4 | A3B4 |
| Alternatif 5 | B5 | A1B5 | A2B5 | A3B5 |

Metode Pengujian

Sampel riset yang diamati dilakukan evaluasi sifat volumetrik dan sifat mekanis benda uji dengan metode sebagai berikut :

Uji Marshall

Pemeriksaan sifat volumetrik dan nilai Marshall mengikuti prosedur AASHTO T 245-74 atau ASTM D 1559-62T. Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan nilai-nilai rongga pori (*Air Voids*), berat jenis (*Specific Gravity*), rongga pori dalam mineral agregat (*Voids in the Mineral Agregat*), stabilitas, kelelahan plastis (*flow*) dan hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*)

Uji Pecah Tarik Tidak Langsung (PT2L) Indirect Tensile Strength Test

Pengujian ini memanfaatkan alat uji CBR laboratorium yang dimodifikasi dengan menambahkan dua pelat penunpu diletakan diatas dan dibawah alat uji. Kemudian benda uji diberi P ver-tikal sampai terbelah hancur. Selanjutnya nilai tegangan tarik maksimum dihitung dengan rumusan dibawah ini:

$$\sigma_t = \frac{2 \times P_{maks.}}{\pi \times t \times d} \tag{2}$$

dengan :

- P_{maks.} = Beban vertikal (kg)
- t = Tebal benda uji (cm)
- d = Diameter benda uji (cm)
- σ_t = Tegangan tarik maksimum (kg/cm²)

Uji Modulus Kekakuan (Stiffness)

Pengujian ini, pada dasarnya, hampir sama dengan pengujian Pecah Tarik Tidak Langsung (PT2L) namun tidak sampai benda uji tersebut hancur. Pembebanan benda uji dibatasi pada nilai:

$$P = 0.1 \times \sigma_t \tag{3}$$

Prosedur pembebanan P diulang sebanyak 5 kali pembacaan dengan masing-masing durasi pembebanan selama 1 detik. Selanjutnya, dari hasil pengamatan Tegangan dan Regangan, modulus kekakuan campuran dihitung berbasis rumusan berikut :

$$S_{mix}(t,T) = \frac{\sigma}{\epsilon(t,T)} \tag{4}$$

dengan :

- S_{mix}= Modulus kekakuan campuran (N/mm²)
- σ = Tegangan (N/mm²)
- ε (t,T)= Regangan

Uji Ketahanan Retak (Fracture Toughness)

Metode pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui sejauh mana ketahanan campuran aspal (*Fracture Toughness*) dalam menahan kerusakan struktur (retak) akibat beban luar (beban lalu lintas pada perkerasan jalan). Pengujian ini dilakukan berbasis metode *Semi Circular Bend (SCB) Test*. Spesimen benda uji berbentuk briket Marshall setengah lingkaran diberi retakan awal a1 dan a2, dimana a1 > a2. Selanjutnya dari grafik hubungan antara beban dan lendutan (*Load-Load Point Displacement /LPD*) dapat diperoleh nilai *J-integral* dari sampel dengan retak awal a1 dan a2 yang dapat dihitung dengan rumusan berikut :

$$J_c(u) = \left(\frac{A_1}{t_1} - \frac{A_2}{t_2} \right) \frac{1}{a_2 - a_1} \tag{5}$$

dimana :

- u = LPD (*Load Point Displacement*)
- A₁,A₂ = Luas daerah dibawah grafik hubungan antara beban dengan lendutan.
- t₁,t₂ = tebal spesimen (t₁ = t₂) cm.

Berdasarkan persamaan (5) dapat dihitung nilai Ketahanan terhadap retak campuran aspal dengan rumusan berikut (Shah, 1995):

$$K_{IC} = (E \times J_c)^{1/2} \tag{6}$$

dimana :

- K_{IC} = Koefisien Fracture Toughness (MPa)
- E = Modulus Kekakuan (MPa)

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Aspal

Hasil pemeriksaan karakteristik aspal jenis AC Pen 80/100 yang digunakan untuk riset disajikan pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Pemeriksaan Aspal

| Variabel yang diperiksa | Persyaratan | | Hasil Uji | |
|-------------------------------|-------------|-----|-----------|---------|
| | Min | Max | | Satuan |
| Penetrasi PB-0301-76 | 80 | 100 | 90.7 | 0.1mm |
| Titik lembek PB-0302-76 | 48 | 58 | 53 | 0C |
| Titik Nyala PB-0303-76 | 200 | - | 255 | 0C |
| Daktilitas PB-0306-76 | 110 | - | > 150 | cm |
| Berat jenis PB-0307-76 | 1.0 | - | 1.126 | Gr/ml |
| Kehilangan Berat AASHTO T-179 | - | 0.4 | 0.355 | % berat |

(Sumber : Hasil Pemeriksaan)

Pemeriksaan Agregat

Pada riset laboratorium ini agregat yang dipergunakan adalah agregat kasar dan halus yang berasal dari daerah Pringgabaya, Lombok Timur. Hasil pemeriksaan meliputi:

Tabel 4. Pemeriksaan Agregat

| Variabel yang diperiksa | Persyaratan | | Hasil |
|------------------------------|-------------|---------|--------------------------|
| | SNI | IBRD | |
| Keausan Abrasi PB-0203-76 | ≤ 40 % | ≤ 40 % | 21.86 % |
| Penyerapan air PB-0203-76 | < 3 % | < 3.5 % | |
| Agregat kasar | | | 1.668 % |
| Agregat halus | | | 2.733 % |
| Berat jenis PB-0203-76 | ≥ 2.5 | ≥ 2.5 | |
| Agregat kasar | | | 2.674 gr/cm ³ |
| Agregat halus | | | 2.632 gr/cm ³ |
| Berat jenis kering permukaan | ≥ 2.5 | ≥ 2.5 | |
| Agregat kasar | | | 2.718 gr/cm ³ |
| Agregat halus | | | 2.704 gr/cm ³ |
| Berat jenis semu | ≥ 2.5 | ≥ 2.5 | |
| Agregat kasar | | | 2.799 gr/cm ³ |
| Agregat halus | | | 2.836 gr/cm ³ |

(Sumber : Hasil Pemeriksaan)

Koefisien Kurva dan Keseragaman

Untuk representasi kuantitatif masing-masing gradasi diadopsi pendekatan kurva pembagian ukuran butiran (Hardiyatmo, 2002). Dengan demikian, tipikal gradasi riset yang digunakan, yakni gradasi alt.1, alt.2, alt.3, alt.4 dan alt.5 dapat dinyatakan dengan nilai-nilai representasi Koefisien Kurva (Cc) dan/atau Koefisien Keseragaman (Cu) gradasi agregat yang dirumuskan berikut:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (7)$$

dan

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (8)$$

dimana :

- D₃₀=Ukuran butiran pada 30% lolos saringan
- D₁₀=Ukuran butiran pada 10% lolos saringan
- D₆₀=Ukuran butiran pada 60% lolos saringan

Nilai-nilai koefisien kurva dan koefisien keseragaman gradasi campuran agregat yang digunakan pada riset ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Koefisien Kurva dan Keseragaman

| Jenis Gradasi | Ukuran Butiran (mm) | | | Koefisien Kurva (Cc) | Koefisien Keseragaman (Cu) |
|---------------|---------------------|-------|-------|----------------------|----------------------------|
| | (D10) | (D30) | (D60) | | |
| Alt. 1 | 0,075 | 1,18 | 5,7 | 3,26 | 76 |
| Alt. 2 | 0,075 | 1,00 | 5,7 | 2,34 | 76 |
| Alt. 3 | 0,075 | 1,60 | 5,7 | 5,99 | 76 |
| Alt. 4 | 0,075 | 0,83 | 4,8 | 1,91 | 64 |
| Alt. 5 | 0,075 | 2,10 | 7,6 | 7,74 | 101,33 |

(Sumber : Hasil Pemeriksaan)

Evaluasi Sifat Volumetrik Benda Uji

Analisis sifat volumetrik benda uji campuran aspal meliputi: berat jenis (*density*), rongga udara dalam campuran, rongga pori udara sebagai berikut :

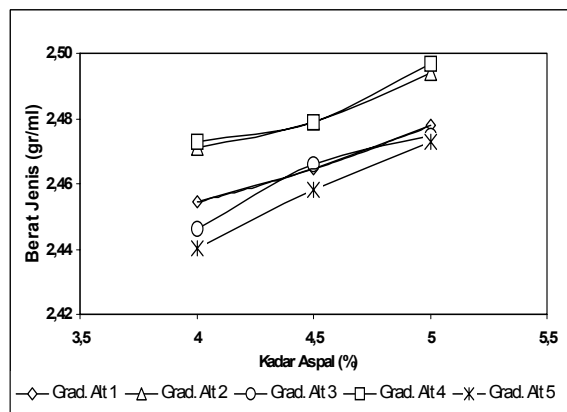
Evaluasi Berat Jenis (Specific Gravity)

Berat jenis (BJ) sampel benda uji dapat digunakan sebagai tolok ukur penentuan kepadatan (*density*) suatu campuran aspal. Campuran aspal padat dengan nilai BJ tinggi terlihat posisi agregat lebih rapat dan padat jika dibandingkan campuran yang mempunyai nilai BJ rendah serta porus. Gambar berikut memperlihatkan hasil BJ benda uji masing-masing gradasi campuran agregat.

Gambar 2 memperlihatkan suatu kecenderungan kurva yang sama bahwa BJ campuran aspal bertambah seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Campuran aspal dengan komposisi gradasi alt.4 (Cc=1.91) dan kadar aspal 5.0% mempunyai BJ paling tinggi yaitu sebesar 2,497 gr/ml. Untuk kadar aspal yang sama, nilai BJ campuran aspal lebih kecil sebesar 0,21%, 0,76%, 0,88% dan 0,961% secara berturut-turut dibandingkan dengan gradasi alt.2 (Cc=2.34); alt.1 (Cc=3.26). alt.3 (Cc=5.99), dan alt.5 (Cc=7.74).

Jika ditelaah secara lebih cermat, tipikal gradasi campuran agregat riset (lihat Tabel 1) memperlihatkan tipe gradasi konvensional. Proporsi agregat halus (prosentase agregat yang lolos saringan No.4) yang lebih dominan (>45% total berat campuran aspal) termasuk kategori gradasi yang perlu dimodifikasi lebih kasar (porsi agregat kasar berkisar 60–80 %). Proporsi gradasi campuran agregat yang lebih kasar ini diyakini lebih tahan terhadap fenomena kerusakan deformasi plastis (Brown dan Haddock, 1997).

Gambar 2 juga melukiskan bahwa BJ benda-benda uji komposisi campuran gradasi (Cc = 1.91) dengan kadar aspal 4%–5% menghasilkan garis ambang atas benda uji, dan gradasi (Cc=7.74) menjadi garis ambang bawah BJ benda uji. Untuk komposisi gradasi alt.2 (Cc=2.34), alt.1 (Cc=3.26), dan alt.3 (Cc=5.99) menghasilkan garis-garis BJ benda uji yang berada diantara kurva ambang batas.



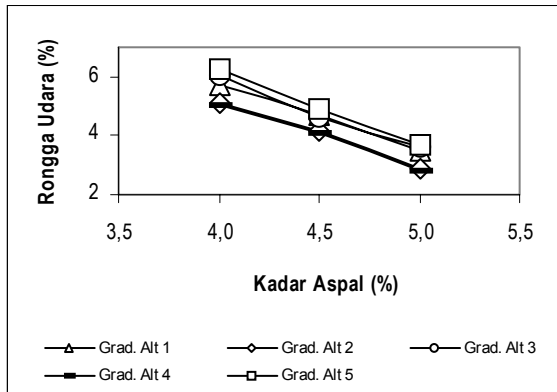
Gambar 2. Hubungan Kadar Aspal dengan Berat Jenis masing-masing alternatif gradasi

Evaluasi Rongga Pori Udara (Air Void)

Pengaruh kadar aspal terhadap nilai rongga udara pada masing-masing komposisi campuran aspal dilukiskan pada Gambar 3. Kecenderungan yang berbanding terbalik dengan kurva BJ campuran aspal dapat diamati pada Gambar tersebut. Rongga pori udara menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Penurunan ini terjadi karena porsi butiran agregat berkurang dalam total berat campuran aspal, sehingga peningkatan bahan aspal akan mengisi sebagian volume rongga udara pada campuran aspal padat.

Prosentase ideal kadar rongga udara dalam campuran berkisar antara 3% - 6% (Wahyudi, 1996). Evaluasi benda uji secara

keseluruhan menunjukkan bahwa nilai rongga udara < 3% teramati pada benda uji dengan nilai koefisien kurva kecil ($C_c = 1.91$ dan 2.34) dan kadar aspal yang tinggi (5%). Padahal, kondisi rongga udara diatas dapat memicu fenomena *bleeding*, yakni; bahan perekat aspal meleleh naik kepermukaan (Hveem, 1940; Quintus dkk., 1991; EIRTP-I, 2003; Cominsky dkk., 2004). Oleh sebab itu, campuran aspal padat dengan nilai rongga pori udara yang melebihi batasan kriteria desain harus tidak direkomendasikan sebagai bahan pembentuk perkerasan.

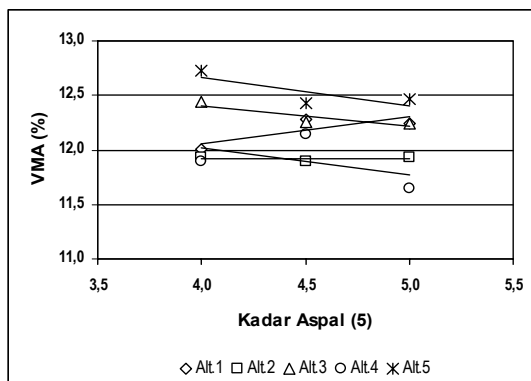


Gambar 3. Hubungan Rongga Udara dengan Kadar Aspal untuk masing-masing Gradasi.

Hasil riset menunjukkan nilai rongga pori udara benda uji untuk komposisi gradasi alt.1 ($C_c = 3.26$), dengan selang kadar aspal 4,0% - 5,0% berkisar antara 5,72 % - 3,52 %. Nilai ini masih terletak diantara koridor kriteria desain campuran aspal panas. Sedangkan, penurunan nilai rongga udara seiring dengan bertambahnya kadar aspal dari 4,0% ke 4,5% dan 5,0%, adalah sebesar 18,18% dan 38,48%.

Evaluasi Rongga Udara dalam Mineral Agregat (Voids in the Mineral Aggregate)

Hasil evaluasi rongga pori udara dalam mineral agregat (VMA) pada campuran aspal dapat dilihat pada Gambar berikut:



Gambar 4. Hubungan Kadar Aspal dengan Rongga Udara dalam Mineral Agregat (VMA)

Sebagaimana terlihat pada Gambar 4, kurva nilai VMA bervariasi seiring dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran. Kecenderungan kurva menurun teramati sama pada gradasi Alt.5 ($C_c=7.74$), Alt.3 ($C_c=5.99$), dan Alt.1 ($C_c=3.26$). Sebaliknya, tipikal gradasi Alt.2 ($C_c=2.34$ dan Alt.4 ($C_c=1.91$) kurva linier menaik dengan bertambahnya kadar aspal.

Nilai VMA tertinggi teramati pada komposisi gradasi alt.5 ($C_c=7,74$) dengan kadar aspal 4,0% yaitu sebesar 12,72%, krite-

ria VMA untuk campuran aspal disyaratkan $\geq 12\%$ (Asphalt Institute, 1989). Distribusi partikel agregat menunjukkan bahwa tipikal gradasi alt.5 memiliki porsi agregat kasar yang relatif lebih besar (54%) dibandingkan gradasi yang lain.

Gambar 4 diatas menunjukkan bahwa gradasi alt.4 ($C_c=1.91$) dan alt.2 ($C_c=2.34$) menghasilkan VMA yang dibawah nilai kriteria desain (<12%) campuran aspal padat, kecuali pada kadar aspal 4%. Dengan demikian semakin besar porsi agregat halus yang digunakan, semakin kecil pula rongga udara antar mineral agregat (VMA) yang dihasilkan.

Evaluasi Sifat Mekanis Benda Uji

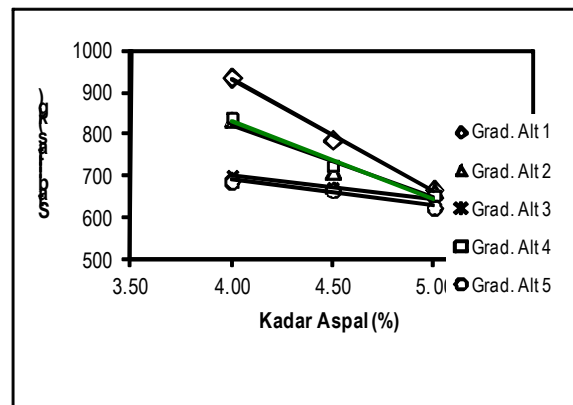
Sifat-sifat mekanis benda uji campuran aspal yang diperiksa dalam riset ini meliputi : Nilai Marshall (stabilitas, flow, dan Marshall Quotient), Kekakuan (*Stiffness*) Campuran, Tegangan Tarik Tidak Langsung (T3L), dan Ketahanan campuran terhadap retak (*Fracture Toughness*). Pembahasan secara rinci sifat-sifat campuran aspal tersebut disajikan sebagai berikut :

Nilai Stabilitas Marshall

Spesifikasi AC baru (EIRTP-I, 2003) menetapkan kriteria minimum Nilai Stabilitas Marshall (SM) untuk perkerasan berikut:

SM min = 200 kg, untuk lalu lintas ringan,
SM min = 450 kg, untuk lalu lintas sedang,
SM min = 800 kg, untuk lalu lintas berat.

Evaluasi agregat kasar untuk riset menghasilkan temuan bahwa jumlah prosentase lolos saringan agregat kasar ternyata < 55% total berat campuran agregat. Gradasi campuran dengan ciri-ciri diatas dikategorikan sebagai gradasi tradisional. Padahal, bukti nyata, seperti jalan nasional Pantura, telah memperlihatkan kelemahan tipikal gradasi tradisional sebagai bahan pembentuk perkerasan jalan untuk melayani lalu lintas berat. Isu bahasan ini dikuatkan luaran riset yang menunjukkan nilai Stabilitas beberapa benda uji ternyata tidak memenuhi spesifikasi teknis untuk lalu lintas berat (SM minimum = 850 Kg), meskipun metode penyiapan benda uji di laboratorium sudah menerapkan 2×75 tumbukan Marshall (untuk lalu lintas berat).



Gambar 5. Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas Marshall (SM)

Komposisi campuran aspal dengan kadar aspal 4,0% dan gradasi Alt.1 ($C_c=3.26$) menghasilkan nilai stabilitas (SM= 934.52 Kg) yang lebih tinggi dibandingkan komposisi campuran lainnya. Gambar 5 juga melukiskan komposisi campuran gradasi Alt.1 dengan aspal 4.5%, serta gradasi Alt.4 ($C_c=1.91$) dan Alt.2 ($C_c=2.34$) pada kadar aspal 4.0% menghasilkan stabilitas yang baik (SM > 850 Kg) dan layak dipakai untuk bahan perkerasan lalu lintas berat.

Selanjutnya, nilai SM menurun selaras dengan peningkatan kadar aspal. Misalnya seperti nilai SM pada gradasi alt.1 ($C_c= 3.26$) dan kadar aspal 4%, bertambahnya kadar aspal sebesar

0.5% menurunkan nilai SM sebesar 15,93% dan 28,46% secara berturut-turut. Evaluasi secara keseluruhan menunjukkan bahwa komposisi campuran aspal dengan gradasi alternatif yang lain dan selang kadar aspal 4%~5% menghasilkan nilai SM minimum sebesar 650 Kg, sehingga memadai untuk pelayanan lalu lintas sedang.

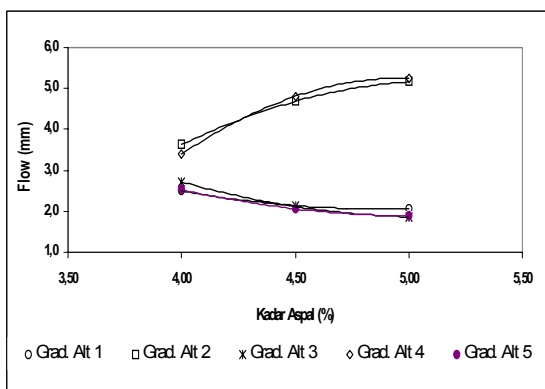
Kelelahan Plastis (flow)

Kelelahan plastis diasumsikan sebagai indikator untuk mengetahui tingkat ketahanan campuran aspal terhadap deformasi plastis. Spesifikasi Bina Marga (2003) menetapkan nilai flow sebesar 2.5 – 5.0 mm. Campuran aspal dengan nilai kelelahan di bawah nilai spesifikasi teknis akan bersifat kaku dan getas, sedangkan nilai kelelahan di atas nilai spesifikasi teknis bersifat lentur.

Gambar 6 menunjukkan kecenderungan nilai kelelahan plastis yang meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal pada gradasi alt.2 ($C_c=2.34$) dan alt.4 ($C_c=1.91$). Campuran aspal dengan komposisi koefisien Kurva ($C_c=1.91$) dan aspal 5,0% ternyata menghasilkan nilai kelelahan plastis terbesar, yaitu sebesar 5,26 mm atau sekitar 1,9% lebih besar dari nilai *flow* gradasi alt.2 ($C_c=2.34$). Nilai kelelahan plastis ($> 2\sim 5$ mm) melukiskan karakteristik campuran aspal yang kurang tahan terhadap deformasi plastis, sehingga nilai ini dapat digunakan sebagai indikator terhadap kemungkinan potensi kerusakan alur jejak roda pada lapis permukaan jalan.

Kecenderungan berbeda ditunjukkan oleh tipikal gradasi yang mempunyai koefisien kurva $C_c \geq 3.26$. Untuk selang kadar aspal riset, nilai kelelahan plastis membentuk kurva cekung seiring bertambahnya kadar aspal. Tipikal kurva cekung ini ditunjukkan oleh gradasi Alt.1 ($C_c=3.26$), Alt.3 ($C_c=5.99$), dan Alt.5 ($C_c=7.74$). Nilai kelelahan plastis pada komposisi campuran aspal tersebut teramati sebesar 1,87 mm dan 1,89 mm $< 2\sim 5$ mm.

Berdasarkan hasil uji Marshall, terlihat gradasi alt.1 ($C_c=3.26$) yang menerobos zona terlarang menghasilkan nilai kelelahan plastis yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga, yaitu sebesar 2,50 mm pada kadar aspal 4,0%. Seiring dengan peningkatan kadar aspal, nilai kelelahan plastis menurun sebesar 14,4% untuk kadar aspal 4,5%, dan sebesar 17,2% untuk kadar aspal 5,0%. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa gradasi alt.1 ($C_c=3.26$) mempunyai karakteristik campuran yang baik pada keseluruhan kadar aspal dan potensi terjadinya rutting relatif kecil.



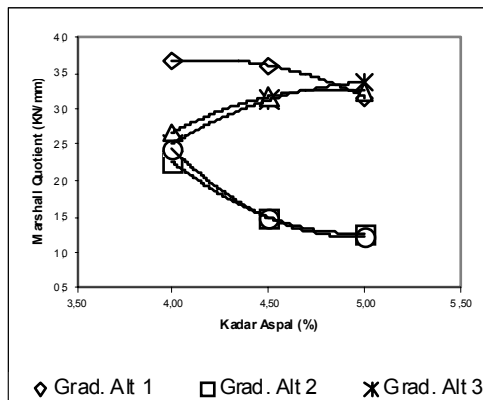
Gambar 6. Hubungan Kadar Aspal dengan Kelelahan Plastis

Evaluasi Marshall Quotient

Nilai Marshall *Quotient* merupakan hasil bagi nilai Stabilitas Marshall dengan nilai kelelahan plastis (*flow*). Nilai Marshall Quotient yang disyaratkan (Bina Marga) adalah min 250 Kg/mm atau 2.45 KN/mm.

Sebagaimana tersaji pada Gambar 7, campuran aspal dengan komposisi gradasi Alt.1 ($C_c=3.26$), Alt.3($C_c=5.99$), dan Alt.5

($C_c=7.74$) teramati menghasilkan nilai Marshall Quotient $> MQ_{min} = 2.45$ KN/mm untuk selang kadar aspal riset. Sebaliknya, kecenderungan yang berlawanan dilukiskan komposisi gradasi Alt.2 ($C_c=2.34$) dan Alt.4 ($C_c=1.91$) untuk selang kadar aspal riset. Nilai MQ komposisi campuran diatas tidak dapat memenuhi prasyarat minimal nilai MQ. Pada kadar aspal 5,0%, nilai MQ terkecil sebesar 1,261 KN/mm dan 1,219 KN/mm teramati pada komposisi campuran aspal ber-gradasi alt.2 dan alt.4 dan diprediksi mudah mengalami fenomena bleeding.



Gambar 7. Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai Marshal Quotient

Evaluasi Kekakuan Campuran (Stiffness)

Pemeriksaan kekakuan campuran aspal dilakukan dalam 2(dua) arah, yaitu arah horizontal dan arah vertikal. Nilai modulus kekakuan campuran aspal untuk masing-masing gradasi disajikan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Modulus Kekakuan Campuran

| Gradasi | Kadar Aspal (%) | Modulus Kekakuan (MPa) | |
|---------|-----------------|------------------------|----------|
| | | Horizontal | Vertikal |
| 1 | 4.0 | 399,020 | 3735,322 |
| | 4.5 | 456,328 | 4185,775 |
| | 5.0 | 413,670 | 3729,980 |
| 2 | 4.0 | 300,485 | 3372,555 |
| | 4.5 | 359,052 | 3585,838 |
| | 5.0 | 227,473 | 3522,442 |
| 3 | 4.0 | 308,126 | 3334,434 |
| | 4.5 | 350,192 | 3253,951 |
| | 5.0 | 203,143 | 3171,071 |
| 4 | 4.0 | 311,188 | 3211,506 |
| | 4.5 | 595,871 | 3169,651 |
| | 5.0 | 198,218 | 2816,938 |
| 5 | 4.0 | 354,100 | 1645,481 |
| | 4.5 | 392,945 | 1574,473 |
| | 5.0 | 257,697 | 1560,466 |

(Sumber : Hasil Pemeriksaan)

Tabel 6 memperlihatkan keberadaan nilai optimum modulus kekakuan, E_h (horizontal) maupun E_v (vertical) masing-masing komposisi campuran aspal. Untuk campuran ber-gradasi Alt.4 ($C_c=1.91$), komposisi campuran aspal ini dengan kadar aspal 4.5% menghasilkan nilai E_h optimum paling tinggi ($E_h=595,87$ MPa) dibandingkan gradasi alternatif lain. Secara berurutan, selisih masing - masing nilai E_h optimum gradasi Alt.1 ($C_c=3.26$) sebesar 23,42%, selanjutnya gradasi Alt.2 ($C_c=2.34$) sebesar 39,74%, gradasi Alt.3 ($C_c=5.99$) berkisar 41,23%, dan gradasi Alt.5 ($C_c=7.74$) sebesar 34,06% terhadap nilai E_h optimum gradasi Alternatif 4.

Akan tetapi berbeda dengan arah vertical, nilai kekakuan, E_v , yang terbesar pada komposisi gradasi alternatif 1 ($C_c=3.26$) pada kadar aspal 4,5% dengan nilai 4185,78 MPa. Telaah lanjut

hasil menghasilkan nilai rasio Poisson untuk komposisi campuran aspal riset yang berkisar 0.06 – 0.25. Namun, hasil laboratorium ini masih memerlukan validasi lebih lanjut mengingat kesederhanaan alat-alat pengujian digunakan, sehingga dibutuhkan validasi dengan alat yang lebih canggih, komputerisasi dan diterima secara luas oleh masyarakat transportasi.

Tabel 7. Hasil Perhitungan T3L

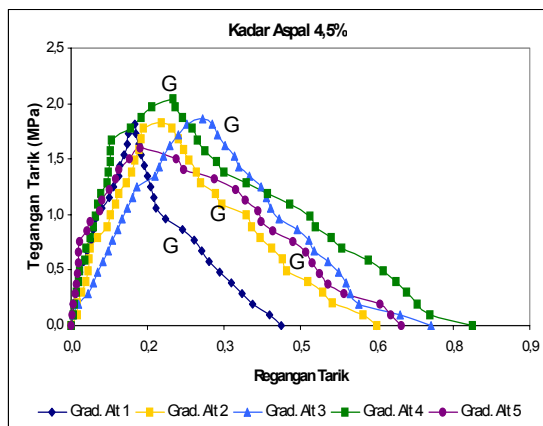
| Jenis Gradasi | Kadar Aspal | Tegangan Tarik Tidak Langsung (MPa) |
|---------------|-------------|-------------------------------------|
| | (%) | |
| Alternatif 1 | 4,0 | 1,914 |
| | 4,5 | 1,818 |
| | 5,0 | 1,473 |
| Alternatif 2 | 4,0 | 2,516 |
| | 4,5 | 1,829 |
| | 5,0 | 1,488 |
| Alternatif 3 | 4,0 | 1,633 |
| | 4,5 | 1,863 |
| | 5,0 | 1,619 |
| Alternatif 4 | 4,0 | 2,568 |
| | 4,5 | 2,043 |
| | 5,0 | 2,051 |
| Alternatif 5 | 4,0 | 1,421 |
| | 4,5 | 1,596 |
| | 5,0 | 1,289 |

(Sumber : Hasil Pemeriksaan)

Evaluasi Tegangan Tarik Tidak Langsung (T3L)

Kekuatan tarik suatu campuran aspal dapat digunakan sebagai parameter desain yang melukiskan karakteristik campuran tersebut dalam menahan beban. Hasil pemeriksaan dan analisa tegangan tarik tidak langsung (T3L) dapat dilihat pada Tabel berikut. Tabel 7 menunjukkan hasil analisa masing-masing nilai tegangan tarik tidak langsung dengan selang kadar aspal riset.

Pada gradasi Alt.1, Alt.2, dan Alt.4 memperlihatkan kecenderungan bahwa semakin bertambahnya kadar aspal menurunkan nilai tegangan tarik tidak langsung campuran aspal dengan komposisi kadar aspal riset.



Gambar 8. Hubungan Tegangan Tarik Tidak Langsung dengan Regangan pada Kadar Aspal 4,5%

Nilai maksimum tegangan tarik tidak langsung ($\sigma_t = 2,568$ MPa) pada komposisi kadar aspal 4,0% dengan gradasi Alt.4 ($C_c=1.91$), selanjutnya diikuti $\sigma_t = 2,516$ MPa untuk gradasi Alt.2 ($C_c=2.34$), dan $\sigma_t = 1,914$ MPa untuk gradasi Alt.1 ($C_c=3.26$).

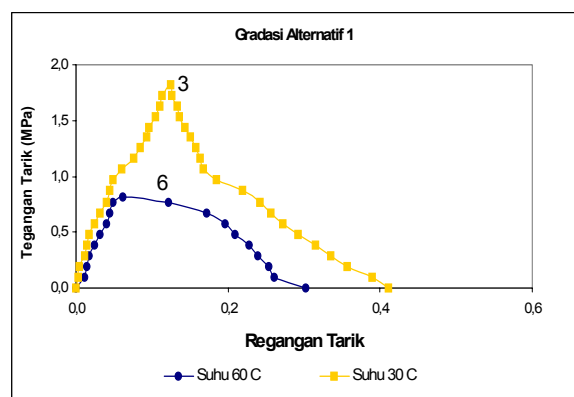
Sedangkan kecenderungan berbeda diperlihatkan gradasi Alt.3 ($C_c=5.99$) dan gradasi Alt.5 ($C_c=7.74$). Pada komposisi gradasi Alt.3, nilai optimum tegangan tarik tidak langsung terlihat pada kadar aspal 4,5% yaitu sebesar $\sigma_t = 1.863$ MPa, dan gradasi Alt.5 sebesar $\sigma_t = 1.596$ MPa.

Evaluasi Tegangan dengan Regangan

Salah satu contoh hasil pengujian dan pemeriksaan tegangan dan regangan tarik tidak langsung dapat dilihat pada Gambar 8. Regangan cenderung bertambah seiring dengan peningkatan nilai tegangan tarik tidak langsung. Setelah tegangan tarik tidak langsung, σ_t , mencapai maksimum, maka seiring penurunan beban regangan plastis terus bertambah sampai akhirnya benda uji campuran aspal hancur.

Pengaruh Suhu terhadap Tegangan Tarik Tidak Langsung

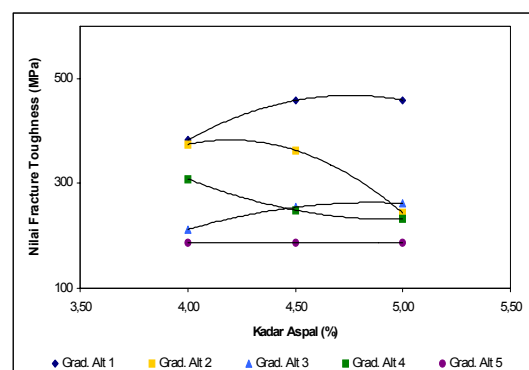
Gambar 9 berikut menunjukkan bahwa nilai tegangan tarik tidak langsung menurun seiring dengan bertambahnya suhu. Kecenderungan yang sama juga ditunjukkan pada gradasi alternatif lain dimana nilai tegangan tarik tidak langsung pada suhu ruang sebesar 30 C terlihat lebih besar dibandingkan dengan nilai tegangan tarik tidak langsung pada suhu waterbath sebesar 60 C. Hal ini diakibatkan oleh sifat termoplastis aspal bahwa cohesi dan adhesi antar aspal dengan butiran agregat melemah karena peningkatan suhu benda uji campuran.



Gambar 9. Pengaruh Suhu terhadap Nilai Tegangan Tarik Tidak Langsung

Evaluasi Kekuatan Terhadap Retak (Fracture Toughness)

Gambar 10 memperlihatkan pengaruh masing-masing jenis gradasi terhadap nilai fracture toughness.



Gambar 10. Nilai Fracture Toughness pada masing-masing Gradasi

Campuran dengan gradasi Alt.1 ($C_c=3.26$) yang menerobos zona terlarang dan dinyatakan tidak layak untuk dipakai justru memiliki nilai fracture toughness yang lebih besar dibandingkan dengan campuran aspal dengan gradasi Alt.2, Alt.3, Alt.4 maupun Alt.5. Nilai ketahanan terhadap retak kadar aspal 5 % sebesar 459,34 MPa.

Kecenderungan yang sama juga terlihat pada gradasi Alt.3 (Cc=5.99) dan Alt.5. (Cc=7.74). Sedangkan pada campuran aspal dengan gradasi Alt.2 (Cc=2.34) dan Alt.4 (Cc=1.91) terlihat bahwa nilai fracture toughness menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai fracture toughness tertinggi teramati pada komposisi kadar aspal 4,0 % dengan gradasi Alt.1 (Cc=3.26). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pengaruh gradasi agregat yang menerobos zona terlarang tidak terbukti memiliki kekuatan yang lebih rendah dalam menahan retak yang terjadi akibat beban luar jika dibandingkan dengan jenis gradasi campuran agregat lain (lihat table 8).

Tabel 8. Koefisien Kekuatan Terhadap Retak (Fracture Toughness)

| Kadar Aspal | Koefisien Fracture Toughness (Mpa) | | | | |
|-------------|------------------------------------|--------|--------|-----------|--------|
| | Jenis Gradasi | | | | |
| % | Alt. 1 | Alt. 2 | Alt. 3 | Alt.tif 4 | Alt. 5 |
| 4,00 | 382,85 | 374,67 | 211,99 | 308,66 | 185,88 |
| 4,50 | 458,28 | 363,19 | 254,48 | 249,13 | 186,86 |
| 5,00 | 459,34 | 243,55 | 262,15 | 231,43 | 187,47 |

(Sumber : Hasil Pemeriksaan)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil riset, analisa dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai berat jenis tertinggi terjadi pada Gradasi Alt.4 (Cc=1.91) yaitu gradasi yang berada diatas ambang atas Zona Terlarang (Restricted-Zone) dengan nilai $\gamma = 2,497$ gr/ml pada kadar aspal 5.0% atau lebih besar 0,76 % dari nilai berat jenis gradasi Alt.1 dengan kadar aspal yang sama.
2. Nilai rongga pori udara pada gradasi Alt.1 (Cc=3.26) memenuhi persyaratan yang ditetapkan yaitu berkisar antara 2.5% - 5.0%, Komposisi gradasi Alt.5 (Cc=7.74) dan gradasi Alt.4 (Cc=1.91) dengan kadar aspal selang riset menghasilkan kurva ambang batas semua benda uji.
3. Berdasarkan hasil uji Marshall, secara umum nilai SM untuk semua campuran hanya mampu memenuhi standar persyaratan stabilitas untuk dilalui lalu lintas sedang, kecuali pada gradasi Alt.1 yang memiliki nilai SM =934,52 kg memenuhi prasyarat untuk kadar aspal 4,0% dan 4,5%, serta gradasi Alt.2 dan Alt.4 dengan kadar aspal 4.0%. Komposisi campuran aspal tersebut diatas memenuhi persyaratan minimum untuk nilai SM lalu lintas berat sebesar 800 kg.
4. Berdasarkan hasil uji kekakuan campuran (Stiffness), gradasi Alt.1 (Cc=3.26) menunjukkan nilai Eh optimum = 456,328 Mpa dan lebih kecil 23,42% dari nilai Eh tertinggi dan menghasilkan nilai Ev = 4185,775 Mpa tertinggi untuk semua benda uji riset. Sehingga dapat dikatakan bahwa gradasi yang menerobos zona terlarang ini memiliki kekakuan yang baik.
5. Pada pengujian tegangan tarik tidak langsung, gradasi Alt.1 (Cc=3.26) mempunyai $\sigma_{\text{maks}} = 1,914$ Mpa lebih baik dibandingkan dengan gradasi Alt.3 ($\sigma_{\text{maks}} = 1,863$ Mpa) dan Alt.5 ($\sigma_{\text{maks}} = 1,596$ MPa), namun lebih kecil dari gradasi Alt.4 ($\sigma_{\text{maks}} = 2.568$ MPa) dan gradasi Alt.2 ($\sigma_{\text{maks}} = 2.516$ MPa)
6. Pada pemeriksaan kekuatan terhadap retak (fracture toughness), gradasi Alt. 1 yang menerobos daerah terlarang justru memiliki nilai fracture toughness (K=459.34 MPa) yang lebih besar dibandingkan gradasi alternatif yang lain, sehingga komposisi campuran aspal gradasi Alt.1 memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap fenomena retak akibat beban luar.

7. Berbasis hasil analisis volumetrik dan hasil analisis mekanis di atas, terlihat bahwa nilai-nilai kinerja yang dihasilkan oleh gradasi Alt.1 (menerobos daerah terlarang) masih memenuhi standar criteria yang disyaratkan. Dengan demikian, tidak ditemukan pengaruh yang buruk pada gradasi Alt.1 tersebut terhadap kinerja campuran aspal.

Saran

Dari riset laboratorium ini dapat disarankan:

1. Validasi lanjut temuan-temuan riset dan kalibrasi lanjut peralatan yang digunakan untuk pelaksanaan riset,
2. Untuk ke-akurasi-an riset yang lebih baik seyogyanya pengujian memakai peralatan yang lebih canggih dan peka (LVDT, Computerized).

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Sdr/i Cinthamy Fauziah Putri, ST dan seluruh civitas Lab. Transportasi dan Teknik Jalan Raya, UNRAM yang membantu dalam penelitian swadana ini sehingga dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Asphalt Institute, 1989, *The Asphalt Handbook, Manual Series No.4, (MS-4)*, 1989 Edition.
- Bina Marga, 2003, *Spesifikasi 2003 Seksi 6.3 tentang Campuran Aspal Panas*, EIRTP –I, Mataram.
- Brown, SF, Prestone, JN, and KE Cooper, 1991, *Application of New Concept in Asphalt Mix Design*, AAPT Vol.40, Seattle, March 4-6.
- Brown, S and Haddock, 1997, *A Method to Ensure Stone on Stone Contact in SMA Paving mixtures*, NCAT report No. 97-2.
- Brown, S and Kandhal JF, 1997, *Hot Mix Asphalt of Intersection in Hot Climate*, NCAT, Auburn University, Alabama.
- Cominsky, R., RB Leahy, and ET Harrigan, 1994, *Level One Mix Design (SHRP-A-408)*, TRB, NRC, Washington, DC.
- Hardiyatmo, H.C, 2002, *Teknik Pondasi 1*, Edisi-2, Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.
- Hunter, R.N., 1994, *Bituminous Mixture in Road Construction*, Thomas Telford, London.
- Hveem, F.N, 1940, *Gradation of Mineral Aggregates for Dense Graded Bituminous Mixtures*, AAPT.
- Sharma, AK and Larson, LL., 1990, *Rut – Resistant Asphalt Concrete Overlays in Wincosin TRR1259*, NRB, Washington, DC.
- Shah, SP., Stuart, E., Ouyang, Chengseng, 1995, *Fracture Mechanics of Concrete: Application of Fracture Mechanics to Concrete, Rock and Other Quasi Brittle Material*, John Wiley and Sons Inc. New York.
- Supraharsa, IDN., 2001, *Optimasi Kerangka Susun Batuan pada Campuran Apal Panas*, Tugas Akhir S1, FT Unram.
- Sariaman, HS., 2003, *Pengaruh Metode Pemadatan terhadap Sifat Campuran Apal Panas*, Tugas Akhir S1, FT Unram.
- Soedarsono, D.U, 1979, *Konstruksi Jalan Raya*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Utin Tri Suhartini, 2004, *Metode Fractal sebagai Konsep Alternatif untuk Analisis Kerangka Susun Batuan pada Campuran Apal Panas*, Tugas Akhir S1, FT Unram.
- Von Quintus, HL, Scherocman, JA, Hughes, SC, and Kennedy, TW., 1991, *Asphalt Aggregate Mixture Analysis System (AAMAS)* TRB, Washington, DC.
- Wahyudi, M, 2003, *Inovasi Prosedur Perencanaan Campuran Aspal Panas Berbasis Kinerja Campuran*, RUT VIII, MENRISTEK, Jakarta.