

JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil

Evaluasi Karakteristik Modulus Resilien dan Deformasi Permanen Campuran Beton Beraspal (AC-Binder Course) Menggunakan Campuran Agregat Berabrasi Tinggi

Astriereza Prery Adithya

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No 10 Bandung 40132
Email: astrie_reza@yahoo.com

Bambang Sugeng Subagio

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No 10 Bandung 40132
Email: bssubagio@yahoo.com

Djunaedi Kosasih

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No 10 Bandung 40132
Email: drkosasih@gmail.com

Sri Hendarto

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No 10 Bandung 40132
Email: hendarto_sh2@yahoo.co.id

Abstrak

Agregat substandar adalah agregat yang tidak memenuhi sifat yang disyaratkan dalam spesifikasi jalan, antara lain berat jenis, nilai pastisitas, penyerapan dan abrasi yang akan mempengaruhi tingkat kelekatan agregat terhadap aspal pada campuran beraspal. Tujuan utama dari penelitian ini yaitu meneliti pengaruh agregat substandar bernilai abrasi tinggi (>40%) yang divariasikan dengan agregat standar (berabrasi ≤40%) pada campuran beraspal gradasi menerus (AC-BC) terhadap nilai kekakuan dan ketahanan terhadap deformasi. Persentase penggunaan campuran agregat substandar dan agregat standar pada pengujian ini adalah 100-0, 80-20, 60-40, 50-50 dan 0-100. Hasil uji Marshall pada variasi 60-40, 50-50 dan 0-100 menunjukkan bahwa penambahan agregat standar dalam agregat substandar meningkatkan Stabilitas Marshall dan IKS (Indeks Kekuatan sisa) namun nilai IKS masih dibawah spesifikasi. Hasil pengujian UMATTA pada temperatur 25 °C dan 45 °C variasi 60-40, 50-50 dan 0-100 kekakuan campuran (Modulus Resilien) semakin tinggi. Hasil pengujian deformasi permanen dengan WTM pada temperatur 45°C dan 60°C, nilai Stabilitas Dinamis menunjukkan nilai tertinggi terjadi pada campuran 50-50.

Kata-kata Kunci: AC-BC, agregat substandar, pengujian Marshall, Modulus Resilien, Wheel Tracking.

Abstract

Substandard aggregates is aggregates which isn't required at paving specification, such as specific gravity, plasticity, absorption and abrasion that will effect stickness at asphalt mixture. The objective of this research is to evaluate the influence of substandard aggregate-high abrasion value (>40%) were varied by standard aggregates (abrasion ≤40%) on a continuous gradation asphalt mixture (AC-BC) to the value of stiffness and deformation. Properties of aggregates were tested and compared using specification of Bina Marga 2010, while the mix of characteristics obtained through Marshall Test, Resilient Modulus using UMATTA and permanent deformation using Wheel Tracking Machine (WTM). Percentage of substandard aggregates and standard aggregates in this research is 100-0, 80-20, 60-40, 50-50 dan 0-100. Marshall test result on the variation of 60-40, 50-50 dan 0-100 indicate that the addition of standard aggregate improving the Marshall Stability and residual strength index, but the residual strength index value is still below of specification. UMATTA test result at 25 °C and 45 °C temperature variation of 60-40, 50-50 dan 0-100 that mix stiffness (Resilient Modulus) higher. Test result of permanent deformation using WTM at temperature 45°C dan 60°C, the highest dynamic stability value at 50-50 mixture.

Keyword: AC-Binder Course (AC-BC), substandard aggregates, Marshall test, Resilient Modulus, Wheel Tracking.

1. Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Kelancaran bertransportasi tentu harus ditunjang dengan melakukan pembangunan. Sampai saat ini pembangunan jalan masih terus berlangsung. Seiring dengan pesatnya pelaksanaan pembangunan jalan, maka akan mengakibatkan terjadinya kelangkaan material yang bermutu (yang memenuhi spesifikasi) terutama agregat pada suatu lokasi sumber material (*quarry*). Agregat mempunyai peranan yang sangat penting dalam perkerasan jalan, dimana agregat menempati proporsi terbesar dalam campuran, umumnya berkisar (75-85)% dari volume total campuran serta (90-95)% berat agregat dalam campuran. Namun tidak semua daerah memiliki cadangan agregat yang cukup atau mutu sesuai dengan standar yang berlaku, sehingga untuk memenuhi kebutuhan bahan jalan yang semakin meningkat dilakukan dengan cara mendatangkan agregat dari tempat lain atau melakukan perbaikan agregat lokal yang tidak memenuhi standar (substandar).

Agregat substandar adalah agregat yang tidak memenuhi sifat yang disyaratkan dalam spesifikasi jalan, antara lain berat jenis, nilai pastisitas, penyerapan dan abrasi yang akan mempengaruhi tingkat kelekatan agregat terhadap aspal pada campuran beraspal. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga (2010 Revisi 3), nilai abrasi agregat yang digunakan pada lapis permukaan jalan tidak boleh >40%, karena tingkat kehancuran/keausan yang tinggi dapat menimbulkan degradasi dari material agregat tersebut. Seiring berjalannya waktu, agregat dengan nilai abrasi kurang dari 40% akan semakin sulit didapatkan, salah satu upaya yang akan dilakukan untuk memenuhi tuntutan tersebut adalah dengan memanfaatkan agregat bernilai abrasi lebih tinggi dari 40% dengan melakukan perbaikan sifat-sifat fisiknya.

Penelitian ini berfokus pada agregat substandar Sebudi, Karangasem, Bali yang memiliki nilai abrasi tinggi (lebih dari 40%) agar dapat memberikan perbaikan properties agregatnya dengan mencampur agregat substandar tersebut dengan agregat standar dari Provinsi Jawa Barat. Untuk kemudian dianalisa nilai *Aggregate Abrasion Value* (AAV), *Aggregate Impact Value* (AIV) dan *Aggregate Crushing Value* (ACV) pada masing-masing variasi selanjutnya dievaluasi karakteristik *Marshall*, *Modulus Resilient* dan ketahanan deformasi.

1.2 Rumusan masalah

Beberapa masalah yang diangkat menjadi bahasan dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana properties material agregat substandar Sebudi, Karangasem, Bali, material agregat standar Karawang, Jawa Barat dan material aspal berdasarkan nilai presisi?
2. Bagaimana nilai abrasi, *Aggregate Crushing Value* (ACV), *Aggregate Impact Value* (AIV) dan berat

jenis variasi campuran agregat substandar Sebudi, Karangasem, Bali dan agregat standar Karawang, Jawa Barat dengan kenaikan penambahan agregat standar sebesar 10% secara perhitungan dan/atau pengujian?

3. Bagaimana karakteristik Marshall dan/atau kepadatan mutlak *Asphalt Concrete* (AC-BC) pada variasi agregat substandar dan agregat standar 100-0, 80-20, 60-40, 50-50 dan 0-100 dengan Aspal Pen 6070?
4. Bagaimana karakteristik deformasi permanen dari campuran gradasi menerus (AC-BC)?
5. Bagaimana karakteristik sifat mekanistik (Modulus Resilien) dari campuran gradasi menerus (AC-BC)?

1.3 Tujuan penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini yaitu meneliti pengaruh agregat substandar bernilai abrasi tinggi (>40%) yang divariasi dengan agregat standar (abrasi <40%) pada campuran beraspal gradasi menerus (AC-BC) terhadap nilai kekakuan dan ketahanan terhadap deformasi.

1.4 Manfaat penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberi masukan dalam bidang ilmu perkerasan jalan tentang penggunaan agregat bernilai abrasi tinggi (>40%) yang divariasi dengan agregat standar (berabrasi <40%) pada campuran beton aspal (AC-BC) serta melihat pengaruhnya terhadap karakteristik Marshall.
2. Sebagai langkah untuk mendapatkan *alternative* pemanfaatan agregat lokal dalam perancangan perkerasan jalan di wilayah Indonesia yang sulit mendapatkan agregat standar pada umumnya dan didaerah Sebudi, Karangasem, Provinsi Bali pada khususnya.
3. Sebagai bahan informasi kepada pemerintah dalam hal ini Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat maupun Dinas Pekerjaan Umum dalam bidang ilmu rekayasa jalan (perkerasan) tentang penggunaan agregat substandar dengan nilai abrasi tinggi (>40%) dalam perancangan campuran AC-BC.

1.5 Ruang lingkup dan batasan studi

Penelitian ini dibatasi dalam lingkup bahasan sebagai berikut:

1. Aspal yang digunakan sebagai bahan campuran perkerasan adalah aspal Pen 60/70.
2. Material Standar (Agregat kasar, halus dan abu batu) yang digunakan sebagai bahan campuran perkerasan adalah material dari Provinsi Jawa Barat.

3. Material Substandar (Agregat kasar, halus dan abu batu) yang digunakan sebagai bahan campuran perkerasan adalah material dari Sebudi, Karangasem Provinsi Bali.
4. Standar pengujian properties material agregrat dan aspal yang digunakan adalah Standar Nasional Indonesia (SNI 2003), yang dilengkapi dengan *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO 1998), *British Standart Institution* (BSI 2000).
5. Batasan-batasan nilai pengujian yang digunakan sebagai syarat adalah Spesifikasi Umum Campuran Beraspal Panas (Kementerian Pekerjaan Umum Tahun 2010 Revisi 3).
6. Jenis Perkerasan yang diteliti adalah campuran aspal bergradasi menerus lapis antara (AC-BC).
7. Perencanaan campuran beraspal panas menggunakan metoda *Marshall* untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) dari campuran gradasi menerus dengan agregat Karangasem Provinsi Bali menggunakan aspal Pen 60/70.
8. Pengujian laboratorium pada kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran pada pengujian perendaman *Marshall*, alat *Wheel Tracking Machine* untuk mengukur ketahanan campuran terhadap Deformasi Permanen dan Modulus Resilien dengan alat UMATTA.
9. Analisis kimia dan analisis biaya pada agregat substandar tidak diteliti.
10. Pencampuran agregat dilakukan pada masing-masing gradasi agregat (*by friction*).

1.6 Hipotesa

Hasil yang diharapkan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Campuran agregat substandar berabrasi tinggi yang tidak memenuhi spesifikasi dan agregat standart belum memenuhi karakteristik Marshall.
2. Penambahan agregat standar dalam agregat substandar berabrasi tinggi yang tidak memenuhi spesifikasi, dapat meningkatkan nilai modulus campuran beraspal.
3. Penambahan agregat standar dalam agregat substandar berabrasi tinggi yang tidak memenuhi spesifikasi, dapat meningkatkan nilai stabilitas dinamis campuran beraspal.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Lapis aspal beton

Campuran Laston (*Asphalt Concrete*) digunakan sebagai *wearing course*, *binder course* dan *base course*

untuk perkerasan jalan. Setiap jenis campuran tersebut memiliki spesifikasi tersendiri, khususnya pada spesifikasi agregatnya.

Menurut Spesifikasi Umum tahun 2010 Direktorat Jenderal Bina Marga Revisi 3, Lapis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari dua jenis campuran, AC Lapis Aus (*AC-Wearing Course/AC-WC*), AC Lapis Antara (*AC-Binder Course/AC-BC*) dan AC Lapis Pondasi (*AC-Base*). Masing-masing campuran mempunyai ukuran maksimum agregat yaitu 19 mm, 25,4 mm dan 37,5 mm. Sedangkan campuran AC yang dimodifikasi baik menggunakan polimer maupun menggunakan Aspal alam yang dimodifikasi disebut sebagai *AC-WC Modified*, *AC-BC Modified* dan *AC-Base Modified*. Pada penelitian ini digunakan campuran laston AC Lapis Antara (*AC-Binder Course/AC-BC*).

2.2 Agregat substandar

Agregat substandar adalah agregat yang tidak memenuhi sifat yang disyaratkan dalam spesifikasi jalan, antara lain berat jenis, nilai pastisitas, penyerapan dan abrasi yang akan mempengaruhi tingkat kelekatan agregat terhadap aspal pada campuran beraspal. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga (2010 Revisi 3), nilai abrasi agregat yang digunakan pada lapis permukaan jalan tidak boleh >40%, karena tingkat kehancuran/keausan yang tinggi dapat menimbulkan degradasi dari material agregat tersebut. Selain itu material agregat yang dinilai abrasi >40% umumnya mempunyai porositas yang besar sehingga tingkat penyerapannya terhadap aspal dan air akan menjadi lebih tinggi. Hal ini akan menyebabkan kekuatan campuran menjadi rendah sehingga tidak mampu mendukung beban lalu lintas yang melintasinya dengan baik. Agregat yang mempunyai nilai abrasi >40% merupakan agregat substandar.

2.3 Modulus kekakuan aspal dan campuran beraspal

Kekakuan adalah ketahanan suatu material terhadap deformasi elastis. Modulus kekakuan adalah harga kekakuan suatu material pada daerah elastis. Material yang tidak kaku (lentur) adalah material yang dapat mengalami regangan bila diberi tegangan atau beban. Seperti diketahui bahwa hampir seluruh material perkerasan tidak bersifat elastis tapi mengalami deformasi permanen setelah menerima pengulangan beban. Tetapi jika beban tersebut relatif kecil terhadap kekuatan material, dan dengan perulangan yang tinggi, maka deformasi permanen yang terjadi pada setiap pengulangan beban hampir dapat balik secara sempurna dan proporsional terhadap beban.

2.4 Deformasi permanen

Deformasi permanen adalah peristiwa penurunan lapis struktur perkerasan secara permanen. Deformasi ini dikatakan permanen karena deformasi yang terjadi pada permukaan perkerasan tidak kembali lagi ke posisi awal (*unrecoverable*) setelah terjadi pembebanan. Deformasi permanen (dalam bentuk rutting) banyak terjadi pada jalur

tapak roda kendaraan. *Rutting* mempunyai dua penyebab utama, yaitu:

1. *Rutting* yang disebabkan oleh terlalu banyaknya tekanan/pembebanan berulang yang berdampak terhadap kerusakan pada lapis bawah (dikarenakan *subgrade* jelek).
2. *Rutting* yang disebabkan oleh terlalu banyaknya tekanan/pembebanan berulang yang berdampak terhadap kerusakan pada lapis atas (struktur perkerasan).

3. Program Kerja

Alur kegiatan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

4. Penyajian Data

4.1 Hasil pengujian material

Hasil pengujian material meliputi pengujian *properties* agregat substandar, agregat standar dan aspal Pen 60/70.

4.1.1 Gradasi agregat gabungan (substandar dan standar)

Gradasi yang digunakan pada penelitian ini merupakan gradasi gabungan dari gradasi masing-masing agregat substandar dan agregat standar, gradasi

ditunjukkan pada Tabel 1.

4.1.2 Agregat substandar

Agregat substandar yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat yang berasal dari Sebudi, Karangasem, Bali. Hasil pengujian agregat substandar ditunjukkan pada Tabel 2.

4.1.3 Agregat standar

Agregat standar yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat yang berasal dari Karawang, Jawa Barat.

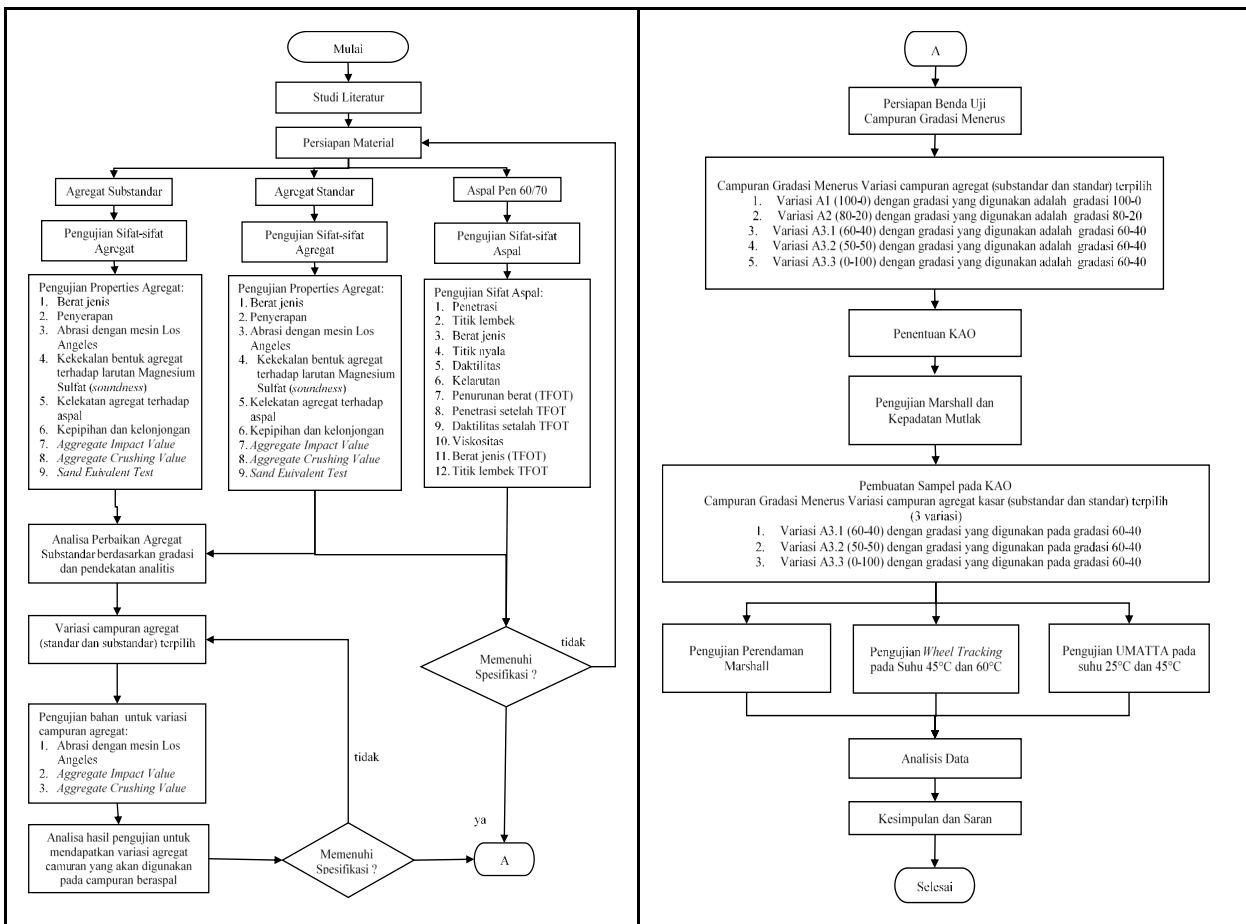
Hasil pengujian agregat standar ditunjukkan pada Tabel 3.

4.1.4 Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah Aspal Pertamina Pen 60/70. Hasil pengujian aspal Pen 60/70 ditunjukkan pada Tabel 4.

4.1.5 Perkiraan nilai abrasi, *Aggregate Cushing Value* (ACV) dan *Aggregate Impact Value* (AIV) agregat campuran (substandar dan standar)

Dari hasil pengujian agregat tersebut, hasil perhitungan nilai abrasi, *Aggregate Crushing Value* (ACV) dan *Aggregate Impact Value* (AIV) penggabungan agregat



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Tabel 1. Gradasi agregat yang digunakan dalam penelitian

| Nomor Saringan | Spek | Persentase Lolos (%) | | |
|----------------|--------|----------------------|-------------------|-------------------|
| | | Sub-standar (100%) | Sub-standar (80%) | Sub-standar (60%) |
| 3/4" | 90-100 | 99.16% | 99.33% | 99.49% |
| 1/2" | 75-90 | 85.61% | 87.66% | 89.70% |
| 3/8" | 66-82 | 74.00% | 73.75% | 73.50% |
| No.4 | 46-64 | 51.48% | 52.74% | 53.99% |
| No.8 | 30-49 | 35.38% | 36.23% | 37.07% |
| No.16 | 18-38 | 28.12% | 27.65% | 27.18% |
| No.30 | 12-28 | 22.96% | 21.83% | 20.71% |
| No.50 | 7-20 | 17.53% | 16.82% | 16.10% |
| No.100 | 5-13 | 11.78% | 10.82% | 9.86% |
| No.200 | 4-8 | 4.42% | 4.21% | 4.00% |
| PAN | - | 0.00% | 0.00% | 0.00% |

Catatan: Variasi A1 menggunakan gradasi 100-0;
 Variasi A2 menggunakan gradasi 80-20;
 Variasi A3.1, A3.2 dan A3.3 menggunakan gradasi 60-40

Tabel 2. Hasil pengujian agregat substandar

| No. | Jenis Pengujian | Standar | Persyaratan | | Hasil Pengujian |
|-------------------------|--|------------------|---|------|-----------------|
| | | | Min | Maks | |
| A. Agregat kasar | | | | | |
| 1 | Penyerapan (%) | | - | 3 | 5,159 |
| | a. Berat jenis bulk | SNI 1969-2008 | | | 2,121 |
| 2 | b. Berat jenis SSD | | Selisih BJ kasar dengan BJ halus $\leq 0,2$ | | 2,230 |
| | c. Berat jenis semu | | | | 2,382 |
| 3 | Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Magnesium Sulfat (soundness) % | SNI 3407-008 | - | 12 | 6,88 |
| 4 | Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%) | SNI 2417-2008 | - | 30 | 41,58 |
| 5 | Kelekatan agregat terhadap aspal (%) | SNI 2439-2011 | - | 95 | 85 |
| 6 | Butir pecah pada agregat kasar | SNI 7619-2012 | 95/90 | | 100 |
| 7 | Partikel pipih dan lonjong (%) | ASTM D4791 | - | 10 | 0 |
| 8 | Material lolos Ayakan No.200 (%) | SNI 03-4142-1996 | - | 1 | 0,37 |
| 9 | <i>Aggregate Crushing Value</i> (ACV) (%) | BS 82-112-1990 | - | 30 | 37,37 |
| 10 | <i>Aggregate Impact Value</i> (AIV) (%) | BS 82-112-1990 | - | 30 | 10,97 |
| B. Agregat halus | | | | | |
| 1 | Penyerapan (%) | SNI 1970-2008 | - | 3 | 2,288 |
| 2 | a. Berat jenis bulk | SNI 1970-2008 | Selisih BJ kasar | | 2,409 |
| | b. Berat jenis SSD | SNI 1970-2008 | Selisih BJ kasar | | 2,890 |
| | c. Berat jenis semu | SNI 1970-2008 | Selisih BJ kasar | | 2,540 |
| 3 | Nilai setara pasir (%) | SNI 03-4428-1997 | 60 | - | 84,03 |
| 4 | Angularitas (%) | SNI 03-6877-2002 | 40 | - | 39,69 |
| 5 | Gumpalan lempung | SNI 03-4141-1996 | - | 1 | 1,33 |
| 6 | Agregat lolos ayakan No. 200 | ASTM C117 | - | 10 | 6,27 |

Tabel 2. Hasil pengujian agregat substandar (Sambungan)

| C. Filler | | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|---|---|-------|
| 1 | Berat jenis | SNI 1970-2008 | - | - | 2,575 |
| D. Agregat gabungan | | | | | |
| | a. Berat jenis bulk | | - | - | 2,244 |
| 1 | b. Berat jenis SSD | | - | - | 2,332 |
| | c. Berat jenis semu | | - | - | 2,454 |

Tabel 3. Hasil pengujian agregat standar

| No. | Jenis Pengujian | Standar | Persyaratan | | Hasil Pengujian |
|---------------------|--|------------------|--|------|-----------------|
| | | | Min | Maks | |
| A. Agregat kasar | | | | | |
| 1 | Penyerapan (%) | | - | 3 | |
| | a. Berat jenis bulk | | | | |
| 2 | b. Berat jenis SSD | SNI 1969-2008 | Selisih BJ kasar dengan BJ halus ≤ 0,2 | | |
| | c. Berat jenis semu | | | | |
| 3 | Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Magnesium Sulfat (soundness) % | SNI 3407-2008 | - | 12 | 4,38 |
| 4 | Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%) | SNI 2417-2008 | - | 30 | 21,09 |
| 5 | Kelekatan agregat terhadap aspal (%) | SNI 2439-2011 | - | 95 | 95 |
| 6 | Butir pecah pada agregat kasar | SNI 7619-2012 | 95/90 | | 99,98 |
| 7 | Partikel pipih dan lonjong (%) | ASTM D4791 | - | 10 | 0,69 |
| 8 | Material lolos Ayakan No.200 (%) | SNI 03-4142-1996 | - | 1 | 1,85 |
| 9 | <i>Aggregate Crushing Value</i> (ACV) (%) | BS 82-112-1990 | - | 30 | 10,29 |
| 10 | <i>Aggregate Impact Value</i> (AIV) (%) | BS 82-112-1990 | - | 30 | 5,00 |
| B. Agregat halus | | | | | |
| 1 | Penyerapan (%) | | - | 3 | |
| | a. Berat jenis bulk | | | | |
| 2 | b. Berat jenis SSD | SNI 1970-2008 | Selisih BJ kasar dengan BJ halus ≤ 0,2 | | |
| | c. Berat jenis semu | | | | |
| 3 | Nilai setara pasir (%) | SNI 03-4428-1997 | 60 | - | 73,68 |
| 4 | Angularitas (%) | SNI 03-6877-2002 | 40 | - | 53,40 |
| 5 | Gumpalan lempung | SNI 03-4141-1996 | - | 1 | 0,83 |
| 6 | Agregat lolos ayakan No. 200 | ASTM C117 | - | 10 | 5,18 |
| C. Filler | | | | | |
| 1 | Berat jenis | SNI 1970-2008 | - | - | 2,631 |
| D. Agregat gabungan | | | | | |
| 1 | a. Berat jenis bulk | | - | - | 2,588 |
| 1 | b. Berat jenis SSD | | - | - | 2,635 |
| 1 | c. Berat jenis semu | | - | - | 2,714 |

substandar dan standar dengan *range* penambahan agregat standar sebesar 10% (0%, 10%, 20% dan seterusnya) dan hasil sampel pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

4.2 Hasil pengujian campuran

4.2.1 Hasil pengujian campuran AC-WC dengan metode Marshall dan kepadatan mutlak

Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) diperoleh melalui

pengujian dengan metoda *Marshall* dan dilengkapi dengan metoda Kepadatan Mutlak. Beberapa parameter seperti Stabilitas, Kelelahan (*Flow*), hasil bagi *Marshall* (MQ), kepadatan, rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam mineral agregat (VMA) dan rongga terisi aspal (VFA) diperoleh dari hasil analisis terhadap pengujian *Marshall*. Sedangkan rongga dalam campuran pada kondisi kepadatan *membrane/ refusal* (VIM_{Ref}) diperoleh dari hasil pengujian kepadatan dengan metoda

Tabel 4. Hasil pengujian aspal Pen 60/70

| No. | Jenis Pengujian | Standar | Persyaratan | | Hasil Pengujian |
|------------------------|-------------------------------------|------------------|-------------|------|-----------------|
| | | | Min | Maks | |
| Aspal Pen 60/70 | | | | | |
| 1 | Penetrasi pada 25°C (0,1 mm) | SNI 2456-2011 | 60 | 70 | 64 |
| 2 | Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s) | SNI 06-6441-2000 | 160 | 240 | 215,3 |
| 3 | Viskositas Kinematis 135°C (cSt) | SNI 7729-2011 | 300 | - | 500 |
| 4 | Titik Lembek (°C) | SNI 2434-2011 | 48 | - | 52 |
| | Indeks Penetrasi | | -1,0 | - | -0,111 |
| 5 | Daktilitas pada 25°C (cm) | SNI 2432-2011 | 100 | - | > 100 |
| 6 | Titik Nyala (°C) | SNI 2433-2011 | 232 | - | 339 |
| 7 | Kelarutan dlm Trichloroethylene (%) | RSNI M-04-2004 | 99 | - | 99,90 |
| 8 | Berat Jenis Setelah TFOT | SNI 2441-2011 | 1 | - | 1,035 |
| 9 | Berat yang Hilang (%) | SNI 06-2440-1991 | - | 0,8 | 0,023 |
| 10 | Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s) | SNI 06-6441-2000 | - | 800 | 257,87 |
| 11 | Penetrasi pada 25°C (%) | SNI 2456-2011 | 54 | - | 54,5 |
| | Indeks Penetrasi | | -1,0 | - | -0,110 |
| 12 | Daktilitas pada 25°C (cm) | SNI 2432-2011 | 100 | - | >100 |
| 13 | Titik Lembek (°C) | SNI 2434-2011 | 45 | - | 53 |
| 14 | Berat Jenis | SNI 2432-2011 | 100 | - | 1,040 |

Tabel 5. Hasil pengujian nilai abrasi, *Aggregate Crushing Value (ACV)* dan *Aggregate Impact Value (AIV)*

| Sub-standar | Variasi Standar | Abrasi Lab | Crushing Lab | Impact Lab |
|-------------|-----------------|------------|--------------|------------|
| | | | | |
| 60 | 40 | 39.31% | 31.20% | 10.91% |

Kepadatan Mutlak. Penentuan KAO dilakukan dengan metode *Barchart* dimana didapatkan rentang kadar aspal yang memenuhi syarat: VIM, VMA, VFA, Stabilitas, Kelelahan dan Marshall Quotient (MQ) dari pengujian Marshall dan VIM_{Ref} dari pengujian PRD. Hasil pengujian Marshall ditunjukkan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Hasil pengujian *Marshall*

| Sifat-Sifat Campuran | | Campuran AC-BC | | | Spesifikasi |
|----------------------|------------------|----------------|---------|---------|-------------|
| | | 60-40 | 50-50 | 0-100 | |
| KAO | % | 7.53 | 6.95 | 5.89 | - |
| Kepadatan | t/m ³ | 2.197 | 2.213 | 2.316 | - |
| VIM Marshall | % | 4.27 | 4.29 | 4.97 | 3-5 |
| VIM Refusal | % | 1.04 | 0.87 | 2.03 | min 2 |
| VMA | % | 14.26 | 14.31 | 15.77 | min 14 |
| VFB | % | 69.30 | 69.03 | 69.10 | min 65 |
| Stabilitas | kg | 1057.26 | 1184.63 | 1188.63 | min 800 |
| Kelelahan | mm | 3.96 | 3.87 | 3.55 | 2-4 |
| MQ | kg/mm | 276 | 306 | 323 | min 250 |

4.2.2 Hasil pengujian perendaman *Marshall* (*Marshall Immersion*)

Pengujian perendaman *Marshall* bertujuan untuk mengetahui durabilitas campuran. Dalam pengujian ini campuran dilihat ketahanannya terhadap perusakan oleh air dengan merendam benda uji pada air panas dengan temperatur 60°C selama 24 jam. Hasil pengujian perendaman Marshall ditunjukkan pada **Tabel 7**.

4.2.3 Hasil pengujian Modulus Resilien dengan UMATTA

Pengujian Modulus Resilien dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Material Testing Apparatus* (UMATTA) yaitu menggunakan benda uji diametral seperti benda uji

Tabel 7. Hasil pengujian perendaman Marshall pada KAO

| Sifat-sifat Campuran | Jenis Campuran | | |
|--|----------------|-------|-------|
| | 60-40 | 50-50 | 0-100 |
| Kadar Aspal (%) | 7.53 | 6.95 | 7.53 |
| Stabilitas perendaman 24 jam (kg), S2 | 1028 | 1013 | 1028 |
| Stabilitas perendaman standar (kg), S1 | 1178 | 1133 | 1178 |
| IKS = S2/S1 (%) | 87.27 | 89.42 | 87.27 |

Marshall dan dibuat pada Kadar Aspal Optimum (KAO). Hasil pengujian untuk ketiga jenis campuran pada temperatur 25°C dan 45°C ditunjukkan pada Tabel 6.

4.2.4 Hasil pengujian Wheel Tracking

Pengujian *Wheel Tracking* dilakukan pada 2 (dua) variasi temperatur yaitu 45°C dan 60°C. Benda uji dibuat pada kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO). Untuk melihat kinerja ketahanan deformasi campuran dilakukan tinjauan terhadap tiga parameter yaitu Stabilitas Dinamis (*Dynamic Stability*), Laju Deformasi (*Rate of Deformation*) dan Deformasi Permanen. Hasil pengujian *Wheel Tracking* ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

5. Analisis Data

5.1 Analisis data pengujian material

5.1.1 Analisis data pengujian agregat

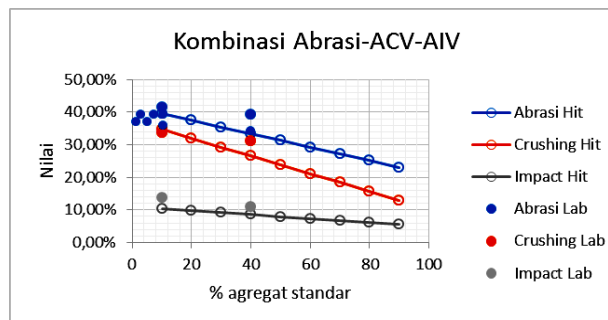
Hasil dari pengujian sifat-sifat fisik atau karakteristik agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) agregat standar yang digunakan dalam campuran seperti terlihat pada Tabel 1 dan Tabel 2, menunjukkan bahwa berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga (2010 Revisi 3), agregat substandar yang berasal dari Karangasem, Sebudi, Bali memenuhi spesifikasi teknis namun pada pengujian abrasi, *Aggregate Crushing Value* (ACV), angularitas dengan uji kadar rongga, gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat dan agregat lolos ayakan no. 200 belum memenuhi spesifikasi. Hal ini dapat merubah gradasi rencana agregat karena bertambahnya persentase material lolos ayakan no. 200. Untuk agregat standar yang berasal dari Jawa Barat telah memenuhi spesifikasi.

5.1.2 Analisis data pengujian karakteristik aspal

Dari hasil pengujian pada Tabel 3 menunjukkan bahwa aspal Pen 60/70 memenuhi semua spesifikasi yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.

5.1.3 Analisis data perkiraan nilai abrasi, *Aggregate Crushing Value* (ACV) dan *Aggregate Impact Value* (AIV) agregat campuran (substandar dan standar)

Hasil perkiraan nilai abrasi, *Aggregate Crushing Value* (ACV) dan *Aggregate Impact Value* (AIV) baik secara perhitungan maupun secara sampel pengujian dapat



Gambar 2. Perkiraan nilai abrasi, ACV dan AIV pada agregat gabungan

dilihat pada Gambar 2, nilai abrasi, *Aggregate Crushing Value* (ACV) dan *Aggregate Impact Value* (AIV) menurun dengan semakin bertambahnya agregat standar yang ditambahkan.

5.2 Analisis data pengujian campuran

5.2.1 Analisis data pengujian Marshall dan perendaman Marshall

Kadar Aspal Optimum berkurang dengan semakin meningkatnya persentase penambahan agregat standar. Hal ini terjadi karena dengan penambahan agregat standar maka kepadatan campuran meningkat dan VMA menurun sehingga memerlukan lebih sedikit aspal untuk mengisi rongga dan menyelimuti agregat. Selain itu kondisi agregat substandar yang berpori dan mempunyai nilai penyerapan yang tinggi juga menyebabkan perlunya lebih banyak aspal untuk mengisi rongga. Dari hasil pengujian PRD terlihat bahwa campuran dengan kandungan agregat *substandard* (60-40 dan 50-50) memiliki nilai VIM lebih kecil dari 2 (dibawah nilai spesifikasi) yang artinya campuran tersebut mempunyai rongga yang lebih kecil. Hal ini dimungkinkan karena campuran dengan agregat substandar menyebabkan agregat tersebut pecah dan menjadi butiran yang lebih halus akibat degradasi pada saat pemadatan. Butiran agregat yang pecah dan menjadi lebih halus akan mengakibatkan jumlah butiran dan bidang pecah agregat lebih besar, aspal yang dibutuhkan lebih banyak lagi, sehingga aspal yang ada (aspal dalam kondisi KAO) kurang menyelimuti campuran.

Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai IKS pada campuran yang mengandung agregat substandar (60-40 dan 50-50) belum memenuhi spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum (Revisi 3), 2010 yaitu minimal 90% untuk campuran Laston. Hal ini mengindikasikan bahwa campuran dengan nilai IKS ini mempunyai ketahanan yang kurang lebih baik terhadap pengaruh air dan temperatur dibandingkan dengan campuran agregat standar (0-100). Hal ini dimungkinkan karena adanya kandungan agregat substandar yang mempunyai nilai kelekatan aspal rendah pada campuran ini, mengakibatkan kadar aspal yang ada kurang dapat menyelimuti agregat secara menyeluruh sehingga campuran menjadi tidak kedap air dan rentan terhadap pengelupasan. Dalam jangka waktu yang lama pengaruh air akan mengakibatkan melemahnya ikatan antar aspal dan agregat.

Tabel 8. Hasil pengujian Modulus Resilien

| Jenis Campuran | KAO (%) | Temperatur Uji (°C) | Total Deformasi Horizontal (µm) | Beban Puncak (N) | Standar | Coefficient | Resilient Modulus (Mpa) |
|----------------|---------|---------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| | | | | | Deviasi Modulus Resilien (SD) | Variat Modulus Resilien (CV) | |
| 60-40 | 7.53 | 25 | 9.52 | 2018 | 104.72 | 4.65 | 2251 |
| | | 45 | 47.43 | 999 | 4.63 | 2.08 | 222 |
| 50-50 | 6.95 | 25 | 7.9 | 2008 | 144.35 | 5.38 | 2683 |
| | | 45 | 39.13 | 1003 | 3.32 | 1.23 | 269 |
| 0-100 | 5.89 | 25 | 7.59 | 1992 | 94.62 | 3.38 | 2798 |
| | | 45 | 37.75 | 982 | 7.7 | 0.84 | 275 |

5.2.2 Analisis data pengujian Modulus Resilien dengan UMATTA

Hasil pengujian UMATTA ditunjukkan pada Tabel 9.

Dari Tabel 9 dapat diketahui bahwa penurunan nilai Modulus Resilien akibat kenaikan temperatur untuk campuran dengan aspal Pen 60/70 tidak terlalu signifikan. Campuran dengan kandungan agregat substandar mempunyai nilai modulus resilien yang lebih kecil dari campuran dengan agregat standar saja. Nilai modulus resilien menunjukkan makin banyak agregat standar yang ditambahkan campuran laston semakin kaku. Sebaliknya semakin banyak agregat substandar yang ditambahkan campuran laston semakin plastis

Tabel 9. Nilai Modulus Resilien hasil pengujian UMATTA

| Jenis Campuran | Modulus Resilien | | % Penurunan |
|----------------|------------------|------|-------------|
| | 25°C | 45°C | |
| 60-40 | 2251 | 222 | 90.14 |
| 50-50 | 2683 | 269 | 89.97 |
| 0-100 | 2798 | 275 | 90.17 |

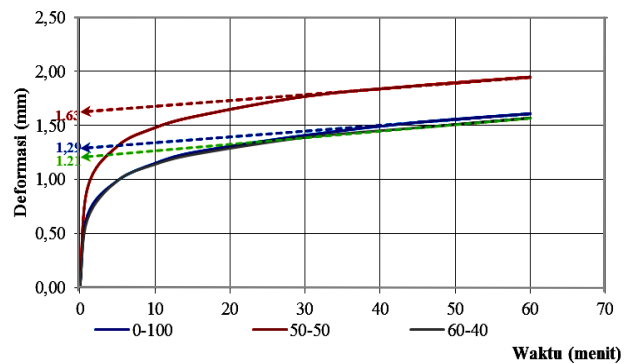
5.2.3 Analisis data pengujian Wheel Tracking

Dari Gambar 3 dan Gambar 4 dapat dilihat nilai total deformasi akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur. Pada campuran yang tidak menggunakan agregat substandar mengalami deformasi yang lebih kecil dibandingkan dengan campuran yang menggunakan agregat substandar, namun dapat dilihat pada campuran dengan agregat substandar sebesar 60% deformasi yang terjadi hampir setara dengan deformasi pada campuran tanpa menggunakan agregat substandar. Hal ini terjadi karena penambahan agregat standar menyebabkan nilai abrasi dan impact semakin tinggi dan tidak mudah rapuh sehingga memiliki ketahanan rutting yang lebih baik. Namun total deformasi terkecil dihasilkan oleh campuran 60-40.

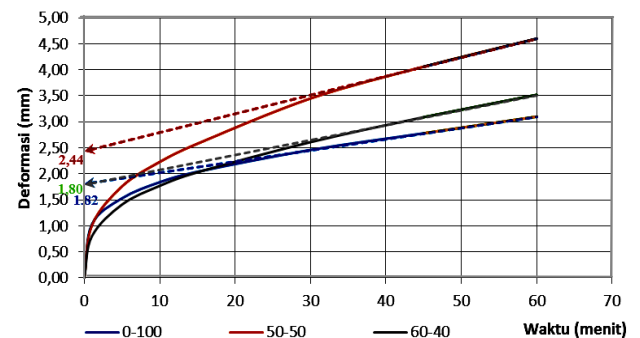
Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada temperatur 45°C total deformasi tertinggi yaitu pada campuran A3.2 (50-50). Kemiringan/gradient kurva mengindikasikan laju penambahan deformasi. Laju deformasi dari ketiga jenis

campuran pada temperatur 45°C menunjukkan kemiringan (rate) yang hampir sama. Namun pada temperatur 60°C (Gambar 3) campuran A3.3 (0-100) menghasilkan kemiringan/gradient kurva yang lebih kecil dari campuran yang menggunakan agregat substandar. Hal ini mengindikasikan bahwa laju deformasi pada campuran agregat standar dan aspal Pen 60/70 lebih rendah dibandingkan campuran yang menggunakan agregat substandar. Hal ini menunjukkan bahwa campuran dengan agregat substandar tidak tahan terhadap rutting. Selain itu, kemiringan tertinggi terjadi pada campuran A3.2 (Gambar 4) hal ini mengindikasikan bahwa pada campuran tersebut, degradasi agregat substandar sangat besar, sehingga campuran A3.2 mengalami deformasi yang lebih tinggi pula.

Pada temperatur 45°C campuran A3.3 (0-100) menghasilkan laju deformasi yang lebih rendah dibandingkan campuran



Gambar 3. Nilai total deformasi pada temperature 45°C



Gambar 4. Nilai total deformasi pada temperature 60°C

agregat substandar, namun tidak berbeda secara signifikan. Hal ini disebabkan pada temperatur sedang aspal pen 60/70 pada campuran tersebut masih bekerja dengan baik. Sebaliknya, pada temperatur 60°C campuran A3.2 (50-50) akan menghasilkan laju deformasi yang lebih tinggi dibandingkan campuran A3.3 (0-100). Hal ini disebabkan karena pada suhu tinggi aspal akan mencair yang akan menyebabkan aspal yang terdapat dalam rongga-rongga agregat akan keluar sehingga campuran menjadi lentur dan tidak dapat menahan rutting dengan lebih baik. Sedangkan antara campuran A3.1 (60-40) dengan campuran A3.2 (50-50) laju deformasi justru lebih tinggi campuran A3.2 dibanding campuran A3.1, hal ini terjadi karena ketidakhomogenan karakteristik agregat.

Nilai Stabilitas Dinamis akan menurun sejalan dengan penambahan temperatur. Pada temperatur sedang (45°C) campuran A3.3 (0-100) menghasilkan nilai Stabilitas Dinamis yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran A3.1 (60-40) namun setara dengan campuran A3.2 (50-50). Hal ini disebabkan pada temperatur sedang aspal pen 60/70 pada campuran tersebut masih bekerja dengan baik. Sebaliknya, pada temperature 60°C campuran A3.1 (60-40) akan menghasilkan nilai Stabilitas Dinamis yang lebih rendah dibandingkan campuran A3.3 (0-100), namun lebih tinggi dibandingkan A3.2 (50-50). Hal ini disebabkan karena pada campuran A3.2 (50-50) agregat substandar dalam campuran mengalami degradasi yang lebih besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat standar menunjukkan kinerja yang lebih baik pada temperatur tinggi (di atas titik lembek) dengan menghasilkan campuran yang lebih kaku sehingga memiliki ketahanan rutting yang lebih baik.

6. Kesimpulan

Berdasarkan penyajian dan analisis data maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan kriteria *Marshall*, agregat substandar yang divariasikan dengan agregat standar belum memenuhi persyaratan yaitu pada variasi 60-40 dan 50-50 mempunyai nilai VIMRef dibawah 2, yang diakibatkan adanya degradasi agregat substandar saat dilakukan pemadatan mutlak serta nilai IKS yang dibawah 90%.
2. Berdasarkan kriteria Modulus Resilien, agregat substandar yang divariasikan dengan agregat standar, pada kenaikan penambahan agregat standar menunjukkan kinerja yang cenderung meningkat yaitu kekakuan yang tinggi.
3. Berdasarkan kriteria deformasi permanen, agregat substandar yang divariasikan dengan agregat standar, pada kenaikan penambahan agregat standar, belum menunjukkan secara linier penurunan deformasi, hal ini dikarenakan deformasi tertinggi terjadi pada variasi 50-50 yang mengalami degradasi agregat substandar lebih banyak.
4. Campuran dengan kandungan agregat substandar

rentan mengalami degradasi, hal ini terlihat dari nilai VIMRef yang dibawah 2 dan hasil pengujian WTM suhu 60°C kemiringan kurva yang semakin meningkat seiring bertambahnya waktu pembebanan.

7. Saran

Berdasarkan hasil penelitian, diusulkan beberapa saran sebagai berikut:

1. Penelitian ini mengusulkan perbaikan cara pengujian *Marshall* yaitu dengan menambah benda uji marshall dari 15 menjadi 18 buah untuk mendapatkan perkiraan kepadatan maksimum campuran beraspal yang lebih baik.
2. Penelitian ini mengusulkan untuk melakukan pengujian ACV dan AIV pada agregat yang akan digunakan untuk campuran beraspal untuk melihat kekuatan agregat terhadap beban tekan.
3. Sebaiknya pelaksanaan pengujian dengan nilai presisi di Indonesia perlu ditekankan karena didalam SNI belum ada syarat presisi, dapat dijadikan masukan yang baru dalam SNI sehingga dapat dipahami oleh praktisi perkerasan di Indonesia.

Daftar Pustaka

- AASHTO, 1998, Standard Specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Washington D.C.
- British Standard Institution, 2000, *Agregates for Bituminous Mixtures and Surface Treatments for Roads, Airfields, and Other Trafficked Areas*, London : BSI
- Huang, Y.H, 2004, *Pavement Analysis and Design Second Edition*, Prentice-Hall, Inc, New Jersey.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 1999, *Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*, No.025/T/BM/1999, Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2010 Revisi 3, *Spesifikasi Umum Campuran Aspal Panas*, Jakarta : Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Shell Bitumen, 2003, *The Shell Bitumen, Handbook*, Shell Bitumen, U.K.
- Standar Nasional Indonesia, SNI 2003, *Metoda Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall*, RSNI M-01-2003, Badan Standar Nasional Indonesia.
- Yoder, E.J., and Witczak, M.W., 1975, *Principles of Pavement Design*, Second Edition, *John Wiley & Sons*, Inc, New York.