

Analisis Pengaruh Gradasi pada Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) yang Menggunakan Aditif ASBUTON Murni untuk Perkerasan Bandara

Harmein Rahman

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10 Bandung 40132, Telp./Fax: 62-22-2534167, E-mail: rahmanharmein@gmail.com

Bambang Sugeng Subagio

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10 Bandung 40132, Telp./Fax: 62-22-2534167, E-mail: bsugengs@si.itb.ac.id

Agung Hari Widiyanto

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa No. 10 Bandung 40132, Telp./Fax: 62-22-2534167, E-mail: Agoeng_s45@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh gradasi pada campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) yang menggunakan *Aspal Batu Buton* (ASBUTON) sebagai aditif yang diharapkan mampu memperbaiki kualitas aspal dan kinerja dari campuran perkerasan runway. ASBUTON murni yang digunakan sebagai aditif diambil dari deposit Lawele. Gradasi yang digunakan dalam campuran diambil menurut peraturan *British Standard* yaitu D5, D12 dan D22. Pada masing masing gradasi tersebut digunakan aspal pen 60/70 yang mengandung ASBUTON sebesar 0%, 2% dan 6%. Hasil pengujian sifat fisik aspal menunjukkan bahwa nilai penetrasi semakin turun seiring dengan bertambahnya kadar ASBUTON tetapi memiliki nilai titik lembek yang semakin tinggi. Kinerja campuran hasil uji perendaman Marshall menunjukkan bahwa campuran D12 memiliki ketahanan terhadap air dan suhu yang lebih baik (IKS = 93,0%) dibandingkan dengan campuran lainnya. Dari hasil uji UMATTA pada suhu 32°C dan 45°C, sesuai peraturan FAA 2009, diperoleh dua campuran yang masuk kedalam syarat minimal yang ditetapkan yaitu D12 ASBUTON 6% dan D5 ASBUTON 6%. Secara umum, dari hasil pengujian yang dilakukan, penggunaan ASBUTON sebagai aditif dapat dijadikan alternatif dalam struktur perkerasan aspal runway bandara, terutama pada campuran gradasi D12 dan gradasi D5 dengan ASBUTON 6%.

Kata-kata Kunci: *Aspal Buton, Aspal Pen 60/70, Modulus Resilient, kelelahan, Runway Bandara.*

Abstract

The objective of this research is to identify the effect of gradation type on *Split Mastic Asphalt* (SMA) mixtures that used *Buton Rock Asphalt* (ASBUTON) as additives which is expected to improve asphalt quality and performance of runway pavement mixtures. Fully extracted ASBUTON that used as additive was taken from Lawele deposit. Gradation used in this research was adopted from *British Standard* regulation, which are D5, D12 and D22. Pen 60/70 Bitumen with 0%, 2% dan 6% proportion of ASBUTON was used on each variation of gradation. The properties test of asphalt shown the declining of penetration value along with the increasing of ASBUTON proportion. This also follows with the increasing of Softening Point. The result of Marshall Immersion of D12 shown better resistance to water and suhue (IKS=93%) compare the others. The results of UMATTA test at 32° C and 45° C, according to FAA regulations, shown that there were two mixtures that could reach the minimum standardized level and they were D12 with 6% ASBUTON and D5 with 6% ASBUTON. In general, all test results indicating that using fully extracted ASBUTON as additive could be an alternative for pavement structure Bitumen Material for the airport runway, especially the D12 and D5 grading with 6% ASBUTON.

Keywords: *Buton Asphalt, Pen 60/70 Asphalt, Modulus Resilient, exhausted, Airport Runway.*

1. Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Runway, taxiway serta apron merupakan bagian utama dari fasilitas sisi udara yang menunjang sistem operasional suatu bandara. Fasilitas-fasilitas yang didominasi oleh sistem perkerasan tersebut perlu diperhatikan, mulai dari proses perencanaan, perancangan, konstruksi hingga operasi dan pemeliharaan.

Secara khusus, parameter kekuatan suatu sistem perkerasan merupakan parameter yang sangat menentukan kinerjanya. Parameter ini selanjutnya sangat dipengaruhi/ditentukan oleh karakteristik material yang menyusunnnya.

ASBUTON sebagai sumber kekayaan alam Indonesia yang jumlahnya sangat besar, dengan deposit diperkirakan lebih dari 670 juta ton, sampai saat ini masih belum dimanfaatkan secara optimal sebagai alternatif material perkerasan, sebagai bahan pengikat.

Disisi lain secara nasional impor bahan pengikat (aspal) dari luar negeri pada saat ini mencapai 650.000 ton pertahunnya, dikarenakan produksi aspal dalam negeri yang masih terbatas.

Guna mengatasi masalah tersebut, baik dari segi teknis kualitas produk ASBUTON, pemenuhan kebutuhan aspal dalam negeri setiap tahunnya dan memenuhi persyaratan peraturan untuk perkerasan bandara maka perlu dilakukan penelitian tentang karakteristik teknis produk ASBUTON.

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan komposisi campuran aspal minyak (pen 60/70) dengan proporsi ASBUTON yang tepat dan optimal, dan akan dibandingkan dengan penggunaan aspal minyak (pen 60/70) yang sudah digunakan saat ini. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan variasi jenis campuran SMA.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik dan kinerja campuran SMA pada perkerasan bandara dengan menggunakan aspal minyak (pen 60/70) dan ASBUTON murni di laboratorium yang memakai uji: Marshall, UMATTA dan Dartec.
2. Membandingkan kinerja campuran perkerasan dengan tingkat ketahanan fatigue dari campuran SMA menggunakan aspal minyak (pen 60/70) dan dengan ditambah ASBUTON sebagai bahan aditif pada perkerasan bandara.

1.3 Ruang lingkup

Kegiatan kegiatan yang akan dilakukan dalam penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Jenis campuran beraspal yang digunakan adalah SMA.
2. Material
 - a. Agregat yang digunakan untuk campuran diambil dari Karawang.
 - b. Aditif yang digunakan adalah ASBUTON murni dengan perbandingan kadar aspal yaitu: 2% dan 6%.
 - c. Menggunakan 3 macam gradasi yang mengikuti peraturan BS EN 13108-5-2006 yaitu: gradasi D 5, gradasi D 12, gradasi D 22.
3. Aspal
 - a. Pada penelitian ini, aspal minyak yang digunakan adalah aspal jenis pen 60/70 yang diproduksi oleh Shell.
 - b. Untuk Aspal Buton digunakan adalah deposit di daerah Lawele.
4. Penelitian ini untuk membandingkan nilai *fatigue* yang terjadi pada aspal minyak (pen 60/70) dan dengan ditambah ASBUTON sebagai aditif.
5. Pengujian yang dilakukan:
 - a. Pengujian dengan *The Universal Material Testing Apparatus* (UMATTA) untuk mengukur nilai Modulus Resilien dari campuran.
 - b. Pengujian Kelelahan dengan menggunakan alat uji mesin DARTEC.
6. Analisis kimia dan analisis biaya pada modifikasi aspal tidak diteliti.

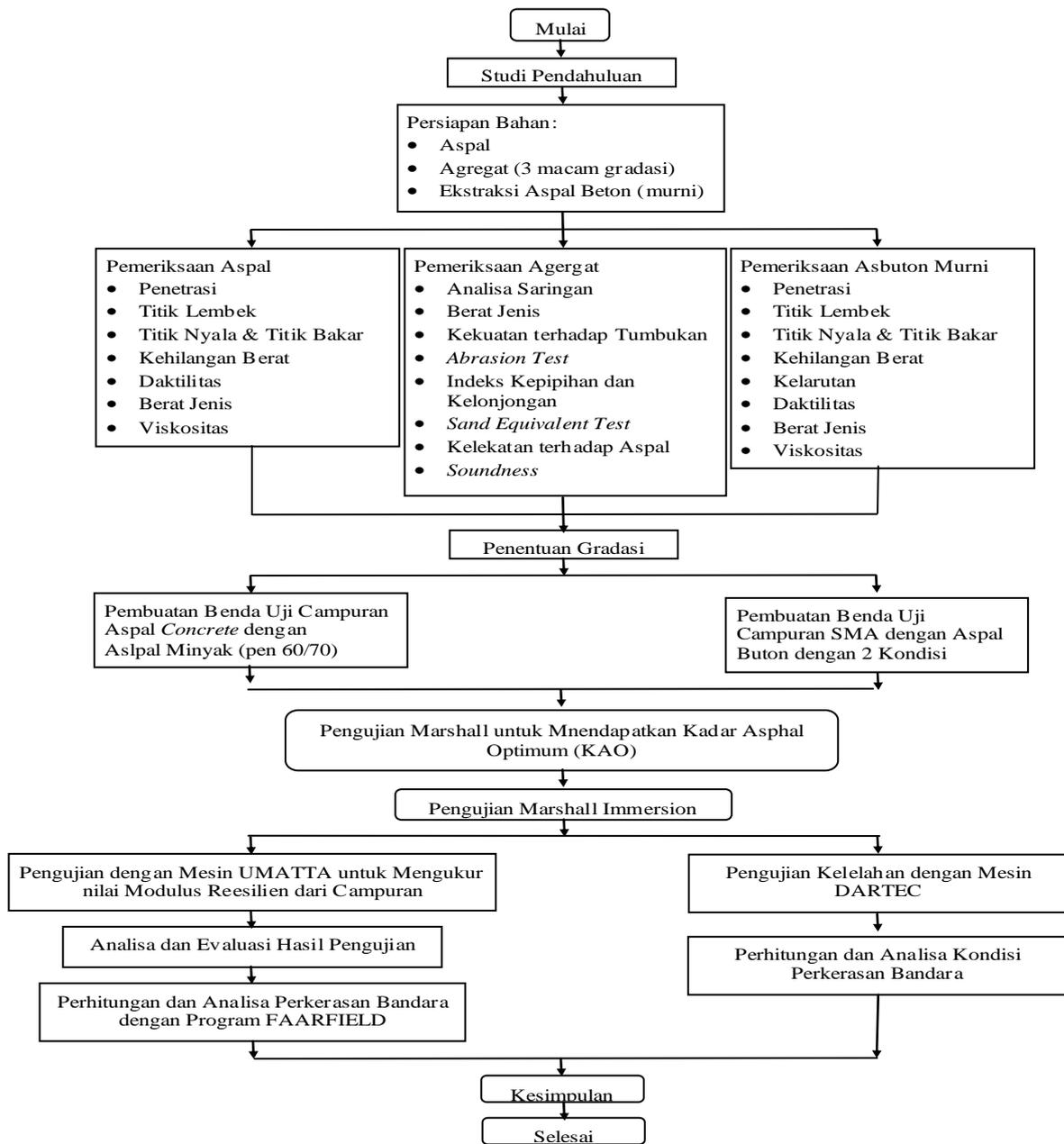
2. Metodologi Penelitian

Rencana kerja dari penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.

3. Penyajian Data

3.1 Hasil pengujian karakteristik aspal

Hasil pengujian Karakteristik Aspal pen 60/70 dan Aspal modifikasi dengan menambahkan kadar ASBUTON 2% dan 6% dapat dilihat pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.



Gambar 1. Bagan alur penelitian

Tabel 1. Hasil pengujian karakteristik Aspal Pen 6070

| No. | Pengujian | Metode | Hasil Asmin | Spesifikasi Max | Min | Satuan |
|-----|-----------------------|-------------------|-------------|-----------------|-----|--------|
| 1 | Penetrasi | BS 200-49-2009 | 66 | 70 | 50 | dmm |
| 2 | Titik lembek | BS 2000-58-2007 | 47,5 | 54 | 46 | °c |
| 3 | Berat Jenis | BS 2000-549-2007 | 1,037 | - | - | |
| 4 | Titik Nyala dan Bakar | | | | | |
| | Titik Nyala | BS 2000-36-2002 | 342 | - | 230 | °c |
| | Titik Bakar | BS 2000-36-2002 | 349 | - | - | °c |
| 5 | Daktilitas | BS 200-520-2008 | >100 | - | - | cm |
| 6 | Kehilangan Berat | BS 200-460-2-2007 | 0,005 | 0,5 | - | % |
| | Penetrasi | BS 200-49-2009 | 54,9 | - | 50 | dmm |
| | Daktilitas | BS 2000-520-2008 | >100 | - | - | cm |
| | Titik Lembek | BS 2000-319-2007 | 50,5 | - | 48 | °c |
| 7 | Viskositas | | | | | |
| | Pencampuran | BS 2000-58-2007 | 154 | - | - | °c |
| | Pemadatan | BS 2000-58-2007 | 146 | - | - | °c |

Tabel 2. Hasil pengujian Aspal Pen 60/70 dan Asbuton Murni

| No. | Pengujian | Metode | Hasil Spesifikasi | | Satuan |
|-----|------------------|-------------------|-------------------|------------|--------|
| | | | Asbuton 2% | Asbuton 6% | |
| 1 | Penetrasi | BS 200-49-2009 | 56 | 44 | dmm |
| 2 | Titik lembek | BS 2000-58-2007 | 52 | 54 | °C |
| 3 | Berat Jenis | BS 2000-549-2007 | 1,033 | 1,042 | |
| 4 | a. Titik Nyala | BS 2000-36-2002 | 335 | 332 | °C |
| | b. Titik Bakar | BS 2000-36-2002 | 342 | 338 | °C |
| 5 | Daktilitas | BS 200-520-2008 | >100 | >100 | cm |
| 6 | Kehilangan Berat | BS 200-460-2-2007 | 0,0046 | 0,0039 | % |
| | Penetrasi | BS 200-49-2009 | 44,8 | 41,2 | dmm |
| | Daktilitas | BS 2000-520-2008 | >100 | >100 | cm |
| | Titik Lembek | BS 2000-58-2007 | 55 | 58 | °C |
| 7 | Viskositas | | | | |
| | Pencampuran | BS 2000-319-2007 | 159 | 164 | °C |
| | Pemadatan | BS 2000-319-2007 | 142 | 157 | °C |

3.2 Hasil pengujian karakteristik agregat

Hasil pengujian karakteristik agregat dilakukan dengan mengacu pada BS (British Standard). Berikut data karakteristik agregat halus dan kasar pada Tabel 3 dan Tabel 4

3.3 Hasil pengujian Marshall

Pengujian Marshall yang dilakukan mengacu kepada BS EN 12697-34-2004 dan BS 598-107-2004. Adapun tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Nilai KAO adalah nilai rata-rata dari kadar aspal untuk stabilitas maksimum, kepadatan agregat maksimum dan kepadatan campuran maksimum.

Benda uji untuk tiap KAO yang diambil adalah 15 benda uji yang mewakili kadar aspal untuk 5%, 6%, 7%, 8% dan 9%.

Untuk tiap kadar aspal diwakili oleh 3 benda uji yang hasilnya kemudian dirata-ratakan.

Berikut Tabel 3 menunjukkan rekapitulasi pengujian pada masing masing gradasi.

Tabel 3. Hasil pengujian agregat kasar

| No. | Jenis Pengujian | Metode Pengujian | Persyaratan | | Hasil Agregat |
|---------------|---|---------------------|-------------|------|---------------|
| | | | Min | Maks | |
| Agregat Kasar | | | Min | Maks | |
| 1 | Penyerapan (%) | BS EN 1097-6-2000 | - | 3 | 1,46 |
| 2 | a. Berat Jenis Bulk | | 2,5 | - | 2,63 |
| | b. Berat Jenis SSD | | 2,5 | - | 2,67 |
| | c. Berat Jenis Semu | | 2,5 | - | 2,73 |
| | d. Berat Jenis Efektif | | 2,5 | - | 2,68 |
| 3 | Kekekalan agregat terhadap magnesium sulfat (%) | BS EN 1367-6:2009 | - | 12 | 8,03 |
| 4 | Abrasi dengan mesin Los Angles (%) | BS EN 1097-2:2010 | - | 40 | 24,56 |
| 5 | Aggregate Impact Value (%) | BS 812-112-1990 | - | 30 | 7,74 |
| 6 | Aggregate Crushing Value (%) | BS 812-112-1990 | - | 30 | 21,73 |
| 7 | Kelekatan aggregate terhadap aspal (%) | BS EN 12697-11-2005 | 95 | - | >95 |
| 8 | Partikel kepipihan (%) | BS EN 933-2:2012 | - | 25 | 16,6 |
| 9 | Partikel kelonjongan (%) | BS EN 933-4:2008 | - | 10 | 26,58 |

Pada kadar aspal optimum yang dihasilkan, semakin banyak kadar aspal Buton yang ditambahkan maka nilai KAO nya semakin tinggi.

3.3.1 Nilai IKS

Pengujian Perendaman Marshall merupakan pengujian untuk mengetahui durabilitas campuran beraspal. Dalam pengujian ini, campuran diukur kinerja ketahanannya terhadap perusakan oleh air melalui perendaman benda uji pada air panas dengan suhu 60°C selama 30 menit dan 24 jam.

Tabel 6 menunjukkan hasil IKS tiap campuran yang nilai kesemuanya diatas 90%, sehingga memenuhi syarat yang ditetapkan Kementrian PU yaitu >90%.

3.4 Hasil pengujian UMATTA

Pengujian Modulus Resilien dilakukan dengan menggunakan alat ‘Universal Material Testing Apparatus (UMATTA)’ yaitu menggunakan benda uji diametral seperti benda uji Marshall dan dibuat pada Kadar Aspal Optimum (KAO_{Ref}), pengujian mengacu kepada BS DD213-1993.

Tabel 4. Hasil pengujian agregat halus dan filler

| No. | Jenis Pengujian | Metode Pengujian | Persyaratan | | Hasil Agregat |
|----------------------|------------------------|-------------------|-------------|------|---------------|
| | | | Min | Maks | |
| Agregat Halus | | | | | |
| 1 | Penyerapan (%) | | - | 3 | 2,67 |
| 2 | a. Berat Jenis Bulk | BS EN 1097-6-2000 | 2,5 | - | 2,48 |
| | b. Berat Jenis SSD | | 2,5 | - | 2,55 |
| | c. Berat Jenis Semu | | 2,5 | - | 2,66 |
| | d. Berat Jenis Efektif | | 2,5 | - | 2,57 |
| 3 | Sand Equivalent Test | BS EN 933-8-2012 | 50 | - | 79,22 |
| Filler | | | | | |
| 1 | Berat Jenis | BS EN 1097-7-2008 | 2,5 | - | 2,63 |

Tabel 5. Nilai KAO Campuran

| No. | Gradasi | Campuran | Mix Density | Compacted Agr. Density | Stabilitas | KAO (%) |
|-----|---------|------------|-------------|------------------------|------------|---------|
| 1 | D 5 | Asmin | 7 | 5,8 | 6 | 6,27 |
| | | Asbuton 2% | 8 | 6 | 6,5 | 6,83 |
| | | Asbuton 6% | 8 | 6 | 7 | 7 |
| 2 | D 12 | Asmin | 8 | 6,8 | 6,5 | 7,1 |
| | | Asbuton 2% | 8,1 | 7 | 6,6 | 7,23 |
| | | Asbuton 6% | 8,1 | 7,2 | 6,6 | 7,3 |
| 3 | D 22 | Asmin | 7 | 6 | 5,6 | 6,2 |
| | | Asbuton 2% | 7 | 6 | 6 | 6,33 |
| | | Asbuton 6% | 7,6 | 6,2 | 6,4 | 6,73 |

Tabel 6. Nilai IKS hasil perhitungan

| No. | Gradasi | Kadar Aspal | Kadar Aspal 24 Jam (S1) | Rendaman 30 Menit (S2) | IKS (%) (S1/S2) |
|-----|---------|-------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|
| 1 | D 5 | 6,27 | 830,41 | 918,38 | 90,4 |
| 2 | | 6,83 | 896,13 | 987,58 | 90,7 |
| 3 | | 7 | 931,34 | 1006,01 | 92,6 |
| 4 | D 12 | 7,1 | 804,41 | 887,6 | 90,6 |
| 5 | | 7,23 | 887,49 | 954,45 | 93 |
| 6 | | 7,3 | 991 | 1075 | 92,2 |
| 7 | D 22 | 6,2 | 781,38 | 860,68 | 90,8 |
| 8 | | 6,33 | 821,1 | 890,42 | 92,2 |
| 9 | | 6,73 | 850,75 | 927,66 | 91,7 |

Tabel 7. Hasil pengujian UMATTA

| No | Gradasi | Kadar Aspal | Rata-rata Waktu Pembebanan | | Rata-rata Modulus Resilien | |
|----|------------|-------------|----------------------------|--------|----------------------------|--------|
| | | | 35°C | 45°C | 32°C | 45°C |
| | | | 1 | D 5 | Asmin | 111,10 |
| 2 | Asbuton 2% | 94,30 | 104,65 | | 1168,5 | 453,5 |
| 3 | Asbuton 6% | 110,05 | 105,95 | | 1511,5 | 516,5 |
| 4 | D 12 | Asmin | 99,95 | 82,45 | 1224,0 | 460,5 |
| 5 | | Asbuton 2% | 97,20 | 95,55 | 1239,5 | 365,0 |
| 6 | | Asbuton 6% | 111,15 | 105,60 | 1418,5 | 387,0 |
| 7 | D 22 | Asmin | 103,70 | 139,40 | 1102,5 | 289,0 |
| 8 | | Asbuton 2% | 96,60 | 135,75 | 1146,0 | 455,0 |
| 9 | | Asbuton 6% | 113,90 | 110,55 | 1227,0 | 507,0 |

3.5 Hasil pengujian kelelahan dengan *three point loading*

3.5.1 Perhitungan beban pesawat

Perhitungan beban pesawat dilakukan agar mengetahui nilai tegangan yang akan digunakan untuk pengujian kelelahan. **Tabel 8** menunjukkan rekapitulasi beban pesawat

3.5.2 Hasil pengujian kelelahan

Pengujian kelelahan menggunakan alat DARTEC, dan menggunakan kontrol *stress* sebagai parameternya disampaikan pada **Tabel 9, 10, dan 11**.

4. Analisis Data

4.1 Analisis karakteristik material

Dari hasil pengujian penetrasi, nilai penetrasi adalah semakin kecil seiring dengan bertambahnya kadar ASBUTON, dengan mengacu kepada BS 2000-49-200 nilai peneterasi ASBUTON masih memenuhi syarat yaitu 43 dmm, sementara syarat minimum adalah 41 dmm.

Nilai titik lembek meningkat seiring dengan bertambahnya kadar ASBUTON. Pada kadar ASBUTON 6% syarat sebagai aditif dipenuhi karena

Tabel 8. Rekapitulasi beban pesawat

| No | Jenis Pesawat | P (psi) | h | | A | B | $s_h = p[A+B]$ | |
|----|---------------|------------|-----------------|-----------------|---------|---------|----------------|-------------------------|
| | | | h_1 (inch) | h_2 (inch) | | | (psi) | (KN/inch ²) |
| 1 | Boeing 747 | 188 | 1 | 0,97 | 0,10931 | 0,18352 | 55,05 | 0,24 |
| 2 | Boeing 777 | 215 | 1 | 0,97 | 0,10931 | 0,18352 | 62,96 | 0,28 |

Tabel 9. Hasil pengujian kelelahan Gradasi D 5

| Kode Sampel | Temperatur °C | Tegangan (kN) | N Initial (Ni) (siklus) | N Fatigue (Nf) (siklus) | N Propagation $N_p = N_f - N_i$ (siklus) |
|-------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|
| Asbuton 0% | 32 - 33 | 0,25 | 90 | 288 | 10,53 |
| Asbuton 0% | 32 - 33 | 0,1 | 593 | 670 | 51,33 |
| Asbuton 2% | 32 - 33 | 0,25 | 144 | 230 | 10,36 |
| Asbuton 2% | 32 - 33 | 0,1 | 365 | 1068 | 132,64 |
| Asbuton 6% | 32 - 33 | 0,25 | 87 | 182 | 7,54 |
| Asbuton 6% | 32 - 33 | ,01 | 112 | 318 | 20,60 |

Tabel 10. Hasil pengujian kelelahan Gradasi D 12

| Kode Sampel | Temperatur °C | Tegangan (kN) | N Initial (Ni) (siklus) | N Fatigue (Nf) (siklus) | N Propagation $N_p = N_f - N_i$ (siklus) |
|-------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|
| Asbuton 0% | 32 - 33 | 0,25 | 32 | 125 | 93 |
| Asbuton 0% | 32 - 33 | 0,1 | 102 | 295 | 1093 |
| Asbuton 2% | 32 - 33 | 0,25 | 52 | 210 | 158 |
| Asbuton 2% | 32 - 33 | 0,1 | 162 | 355 | 193 |
| Asbuton 6% | 32 - 33 | 0,25 | 112 | 232 | 120 |
| Asbuton 6% | 32 - 33 | ,01 | 123 | 470 | 347 |

Tabel 11. Hasil pengujian kelelahan Gradasi D 22

| Kode Sampel | Temperatur °C | Tegangan (kN) | N initial (Ni) (siklus) | N Fatigue (Nf) (siklus) | N Propagation $N_p = N_f - N_i$ |
|-------------|------------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Asbuton 0% | 32 - 33 | 0,25 | 33 | 200 | 126 |
| Asbuton 0% | 32 - 33 | 0,1 | 72 | 189 | 160 |
| Asbuton 2% | 32 - 33 | 0,25 | 37 | 142 | 140 |
| Asbuton 2% | 32 - 33 | 0,1 | 79 | 274 | 149 |
| Asbuton 6% | 32 - 33 | 0,25 | 62 | 174 | 210 |
| Asbuton 6% | 32 - 33 | ,01 | 32 | 430 | 357 |

memiliki nilai titik lembek 54°C, sementara syarat titik lembek minimum dengan aditif adalah 54°C.

Dari hasil pengujian, masing-masing contoh ASBUTON, untuk setiap kadar, tidak mengalami penguapan yang besar sehingga dapat dianggap tahan terhadap panas.

Analisis Kepekaan Terhadap Suhu pada dasarnya menunjukkan bahwa semua jenis variasi aspal bersifat *thermoplastic*, yaitu dapat berubah sifatnya tergantung tingkat suhu. Dimana bila dipanaskan menjadi lunak dan bila didinginkan menjadi keras.

Tabel 12. Nilai Penetrasi Indeks (PI)

| | Komposisi 0% RAP | | |
|------------------------|------------------|------------|------------|
| | 0% ASBUTON | 2% ASBUTON | 6% ASBUTON |
| Penetration Index (PI) | -0,865 | -0,448 | -0,547 |

Dari Pengujian Viskositas Saybolt-Furol Kinematis Untuk aspal pen 60/70 suhu pencampuran dicapai pada 154°C dan suhu pemadatan dicapai pada 146°C.

Sementara untuk aspal yang menggunakan ASBUTON sebanyak 2% suhu pencampuran dicapai pada 159°C dan suhu pemadatan dicapai pada 152°C. Dan untuk aspal dengan ASBUTON sebesar 6% suhu pencampuran dicapai pada 164°C dan suhu pemadatan dicapai pada 157°C. Sehingga suhu bertambah seiring dengan penambahan kadar ASBUTON.

Hasil pengujian karakteristik agregat memenuhi semua standar yang ditetapkan oleh BS (British Standard).

4.2 Analisis pengujian Marshall

4.2.1 Kepadatan campuran maksimum

Dari **Gambar 2** dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya kadar/proporsi aspal maka kepadatan campuran akan turut meningkat hingga pada suatu titik kadar aspal optimum nilai kepadatannya akan menurun.

4.2.2 Kepadatan agregat setelah pemadatan

Sama halnya dengan kepadatan campuran, kepadatan agregat dari **Gambar 3** dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya kadar aspal maka kepadatan agregat akan turut meningkat hingga pada suatu titik kadar aspal optimum nilai kepadatannya akan menurun.

4.2.3 Stabilitas Marshall

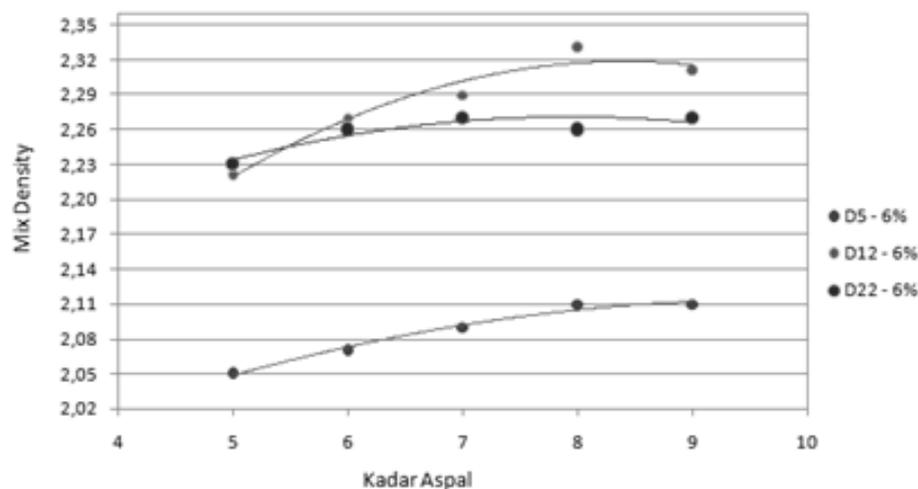
Hasil pengujian Marshall untuk parameter Stabilitas (**Gambar 4**) menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai yang signifikan antara gradasi D5 dengan gradasi D12 dan D22.

Hal ini diakibatkan oleh perbedaan geometri rongga antara variasi gradasi yang diuji. Dimana semakin besar nominal agregat yang digunakan, semakin besar pula rongga yang dihasilkan.

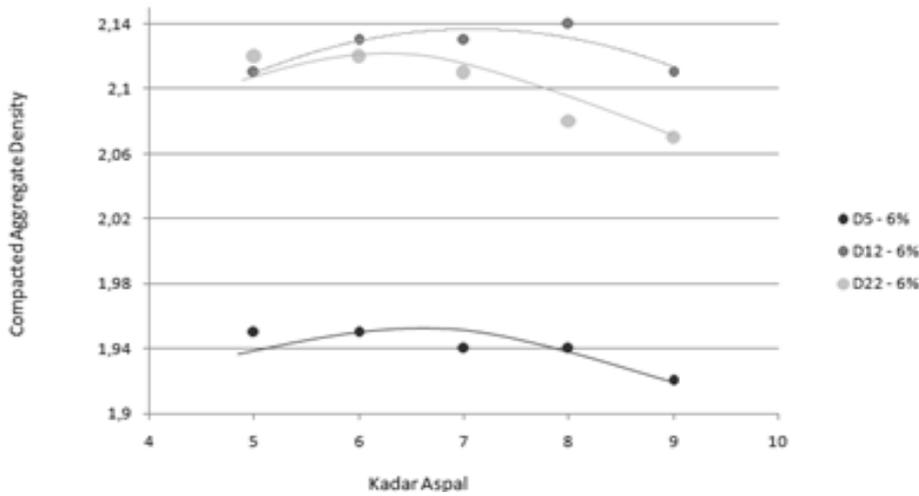
4.3 Analisis perendaman (IKS)

Dari hasil pengujian perendaman refusall yang tersaji pada **Tabel 6**, dapat dilihat bahwa nilai Stabilitas terbesar adalah pada gradasi D12 dengan ASBUTON 2%. Hal ini juga menunjukkan bahwa gradasi dengan proporsi ASBUTON tersebut relatif paling tahan terhadap suhu tinggi, karena memiliki rongga yang kecil.

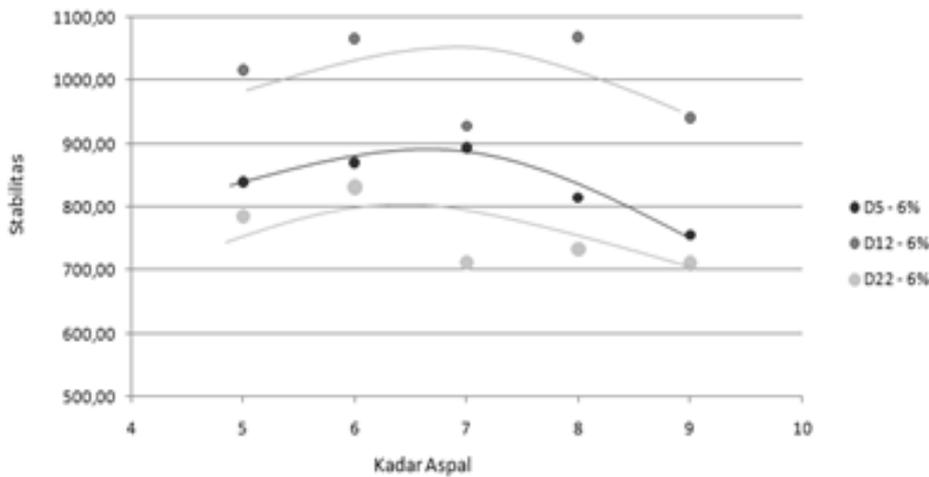
Secara keseluruhan nilai IKS memenuhi persyaratan yaitu >90%



Gambar 2. Kepadatan maksimum



Gambar 3. Kepadatan agregat setelah pemadatan



Gambar 4. Kurva Stabilitas Marshall

4.4 Analisis UMATTA

Pengujian UMATTA dilakukan pada 2 (dua) tingkat suhu yaitu 32°C dan 45°C. Adapun pemilihan suhu 32°C adalah mengacu pada FAA 150/5320-6E 2009.

Tabel 7 menunjukkan penambahan nilai Modulus Resillien seiring dengan bertambahnya kadar ASBUTON dalam campuran.

Dari sudut pandang suhu, campuran menurun nilai modulus resiliennya seiring dengan semakin meningkatnya suhu pengujian.

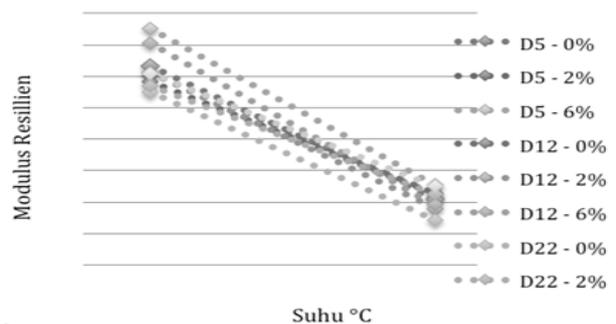
Dari Gambar 5 juga dapat dilihat bahwa nilai Modulus Resilien hasil pengujian untuk aspal pen 60/70 gradasi D5 adalah lebih tinggi daripada campuran dengan gradasi D12 maupun gradasi D22.

Hal ini disebabkan oleh sifat campuran gradasi D5 lebih lentur bila dibandingkan dengan campuran lainnya.

4.4.1 Perbandingan nilai laboratorium dengan perhitungan

Tabel 13 menunjukkan perbandingan nilai Modulus Resilien antara hasil perhitungan yang menggunakan persamaan Shell dengan hasil pengujian di laboratorium.

Terdapat perbedaan nilai yang cukup signifikan, dimana pada suhu 32°C nilai Modulus Resilien dengan menggunakan persamaan Shell adalah lebih tinggi daripada hasil pengujian di laboratorium.

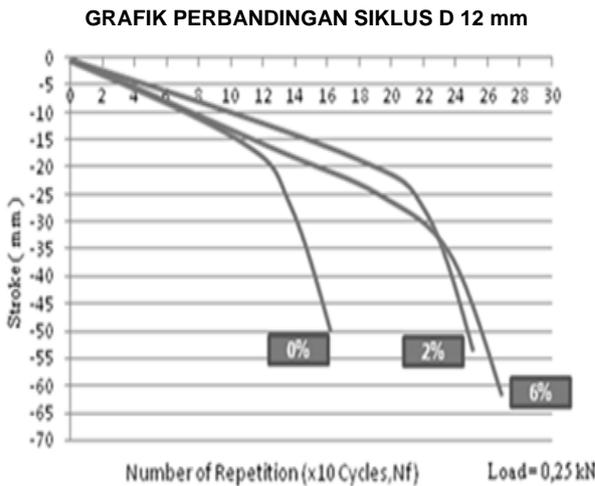


Gambar 5. Perbandingan nilai Modulus Resilien

Selanjutnya pada **Tabel 14**, pada suhu 45°C, nilai Modulus Resilien dengan menggunakan persamaan Shell lebih rendah daripada hasil pengujian di laboratorium.

4.5 Analisis pengujian kelelahan

Pengujian kelelahan dilakukan dengan menggunakan mesin uji DARTEC. Hasil pengujian untuk gradasi D12, seperti disampaikan pada **Tabel 9**, kemudian diilustrasikan pada **Gambar** berikut:

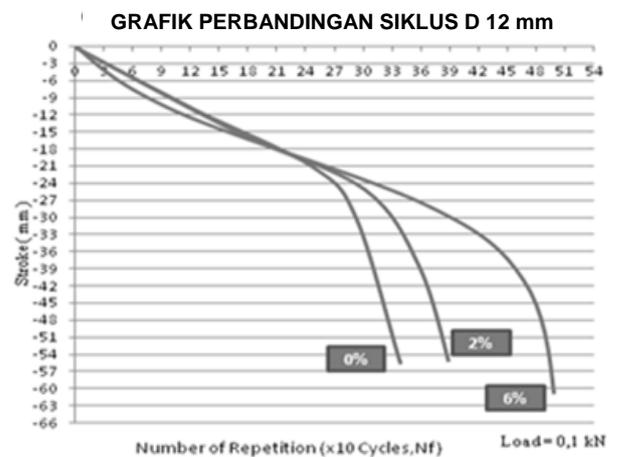


Gambar 6. Perbandingan siklus dengan tegangan 0,25 kN

Dari **Gambar 6** terlihat bahwa pada kadar ASBUTON 6% campuran menjadi lebih tahan terhadap keruntuhan bila dibandingkan dengan campuran untuk kadar ASBUTON 2% dan 0%.

Hal ini disebabkan oleh fenomena aksi *interlocking* antar agregat yang akan semakin kuat seiring dengan meningkatnya kekakuan (*stiffness*) campuran. Dalam hal ini kekakuan campuran meningkat seiring dengan bertambahnya kadar ASBUTON yang memiliki nilai penetrasi yang rendah.

Kondisi ini juga terjadi pada tingkat tegangan yang berbeda seperti ditunjukkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Perbandingan siklus dengan tegangan 0,1 kN

Tabel 13. Perbandingan nilai Modulus Resilien pada temperatur 32 °C

| Jenis campuran | Temperatur °C | Nilai Modulus Kekakuan Aspal (Sbit) Mpa | Nilai Modulus (Smix) (Mpa) | | Rasio UMATTA/SHELL |
|----------------|---------------|---|----------------------------|--------|--------------------|
| | | | SHELL | UMATTA | |
| D5 Asbuton 0% | 32 | 2,43 | 1028,35 | 1271,5 | 1,24 |
| D5 Asbuton 2% | 32 | 3,67 | 1408,51 | 1168,5 | 0,83 |
| D5 Asbuton 6% | 32 | 5,81 | 1779,94 | 1511,5 | 0,84 |
| D12 Asbuton 0% | 32 | 2,53 | 2227,87 | 1224 | 0,55 |
| D12 Asbuton 2% | 32 | 3,63 | 2407,51 | 1239,5 | 0,51 |
| D12 Asbuton 6% | 32 | 5,55 | 2562,18 | 1418,5 | 0,55 |
| D22 Asbuton 0% | 32 | 2,50 | 1326,36 | 1102,5 | 0,83 |
| D22 Asbuton 2% | 32 | 3,64 | 1578,79 | 1146 | 0,73 |

Tabel 14. Perbandingan nilai Modulus Resilien pada temperatur 45 °C

| Jenis campuran | Temperatur °C | Nilai Modulus Kekakuan Aspal (Sbit) Mpa | Nilai Modulus Resilien (Smix) (Mpa) | | Rasio UMATTA/SHELL |
|----------------|---------------|---|-------------------------------------|--------|--------------------|
| | | | SHELL | UMATTA | |
| D5 Asbuton 0% | 45 | 0,04 | 156,61 | 424 | 2,71 |
| D5 Asbuton 2% | 45 | 0,10 | 281,94 | 453,5 | 1,61 |
| D5 Asbuton 6% | 45 | 0,25 | 473,94 | 516,5 | 1,09 |
| D12 Asbuton 0% | 45 | 0,04 | 176,37 | 460,5 | 2,61 |
| D12 Asbuton 2% | 45 | 0,10 | 227,12 | 365 | 1,61 |
| D12 Asbuton 6% | 45 | 0,25 | 407,44 | 387 | 0,95 |
| D22 Asbuton 0% | 45 | 0,04 | 225,25 | 289 | 1,28 |
| D22 Asbuton 2% | 45 | 0,10 | 344,73 | 455 | 1,32 |

4.6 Analisis program FAARFIELD

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian, kebutuhan struktur perkerasan kemudian dihitung dengan memasukkan data-data tersebut kedalam program FAARFIELD.

Sebagai langkah awal, masukan data perencanaan berupa data/informasi pesawat adalah seperti yang tersaji pada **Tabel** berikut.

Tabel 15. Airplane Information

| No. | Name | Gross Wt. tonnes | Annual Departures | % Annual Growth |
|-----|----------------------|------------------|-------------------|-----------------|
| 1 | B777-300 ER | 299,370 | 8.281 | 2,70 |
| 2 | B747-400ER Passenger | 412,775 | 3.874 | 1,30 |

Dari hasil keluaran program FAARFIELD didapatkan bahwa dengan menggunakan campuran gradasi D12 dibutuhkan ketebalan lapis perkerasan sebesar 685,6 mm dan untuk gradasi D5 dengan ketebalan perkerasan yang dibutuhkan adalah 682,6 mm.

Berdasarkan hasil tersebut, campuran dengan gradasi D5 akan sedikit lebih efisien dibandingkan campuran dengan gradasi D12, dari sisi biaya konstruksi.

Untuk P/C Ratio, Boeing 777-300 ER pada campuran D5 ASBUTON 6% memiliki nilai yang lebih besar yaitu sebesar 0,47%, sedangkan campuran D12 ASBUTON 6% memiliki nilai sebesar 0,46%.

Pada Boeing 747-400 ER kedua campuran memiliki nilai P/C Ratio yang sama besar yaitu 0,63%.

Dari kedua gradasi campuran di atas, dapat dilihat bahwa kedua campuran tersebut, masuk kedalam klasifikasi baik karena perkerasan tidak menggunakan semua umur kelelahan yang direncanakan.

Hal ini berarti bahwa umur perkerasan dapat lebih panjang.

Tabel 16. Rekapitulasi perbandingan kedua jenis campuran

| No. | Jenis Camp | Modulus Resilien (MPa) | | Pengujian Kelelahan Tegangan | | Spec. Min. (lbs) | Stabilitas | | IKS |
|-----|----------------|------------------------|------|------------------------------|--------|------------------|----------------|---------|--------|
| | | Suhu 32°C | | 0,25 kN | 0,1 kN | | Rendaman (lbs) | | |
| | | Hasil Uji | Spec | | | | 30 Menit | 24 Jam | |
| 1 | D5 Asbuton 6% | 1511,5 | 1380 | 241 | 353 | 21,50 | 2217,87 | 2053,25 | 92,60% |
| 2 | D12 Asbuton 6% | 1418,5 | 1380 | 272 | 509 | 21,50 | 2370,93 | 2185,15 | 92,20% |

4.7 Perbandingan kedua campuran

Kedua campuran memiliki peluang untuk memenuhi persyaratan FAA dari sisi modulus resillie 1,380 MPa. Hal tersebut adalah berdasarkan perbandingan dari hasil pengujian **Tabel 16**.

Dapat dilihat pada **Tabel 16**, setelah dilakukannya pengujian Modulus Resilien, didapat 2 jenis campuran yang memenuhi standard yang ditetapkan oleh FAA yaitu 1,380 MPa.

Campuran tersebut adalah campuran dengan gradasi D5 ASBUTON 6% dan campuran dengan gradasi D12 ASBUTON 6%.

Hasil pengujian Kelelahan juga menunjukkan bahwa umur rencana dari kedua jenis campuran tersebut adalah tinggi.

Pada tegangan 0,25 kN sebesar 241 untuk gradasi D5, dan 272 untuk gradasi D12. Sementara untuk tegangan 0,1 kN adalah 353 untuk gradasi D5 dan 509 untuk gradasi D12.

Dari tebal perkerasan keluaran program FAARFIELD didapatkan bahwa pada campuran dengan gradasi D12 dibutuhkan ketebalan 685,6 mm sementara pada campuran dengan gradasi D5 ketebalan yang dibutuhkan adalah 682,6 mm.

5. Kesimpulan

Dari penyajian data dan analisis dapat ditarik beberapa point kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian sifat fisik aspal pen 60/70 produksi Shell menunjukkan bahwa aspal menjadi lebih keras jika ditambah dengan ASBUTON murni. Hal ini yang ditunjukkan dengan nilai penetrasi yang menurun yaitu dari nilai dasar 66 untuk aspal pen 60/70 menjadi 41 untuk aspal ditambah ASBUTON 6%. Kondisi yang juga diamati adalah nilai titik lembek yang bertambah seiring bertambahnya kadar ASBUTON.

2. Hasil uji perendaman Marshall menunjukkan bahwa campuran dengan gradasi D12 memiliki nilai IKS yang lebih baik daripada campuran dengan gradasi D5 dan gradasi D22 yaitu: 90,5% (ASBUTON 0%), 93% (ASBUTON 2%), dan 92,2% (ASBUTON 6%). Hal ini berarti gradasi D12 adalah lebih tahan terhadap suhu tinggi dengan geometri rongga yang kecil.
3. Pada suhu 32°C didapat 2 jenis campuran yang mempunyai nilai memenuhi standar yang ditetapkan oleh FAA 2009 yaitu minimal sebesar 1380 MPa. Campuran yang memenuhi standar tersebut adalah gradasi D5 ASBUTON 6% dengan nilai kekakuan sebesar 1511,50 MPa dan campuran gradasi D12 ASBUTON 6% dengan nilai 1418,50 MPa
4. Campuran dengan kadar ASBUTON 0% memperlihatkan umur kelelahan dengan nilai tertinggi pada gradasi D5 yaitu 319 *cycles*, kemudian gradasi D12 yaitu 166 *cycles* dan yang terkecil adalah pada gradasi D22 yaitu 159 *cycles*.
5. Pada Campuran dengan ASBUTON 2% yang ditambahkan kedalam kadar aspal pen 60/70 memperlihatkan bahwa umur kelelahan yang dihasilkan mempunyai nilai tertinggi pada gradasi 5 yaitu 271 *cycles*, kemudian gradasi 12 yaitu 251 *cycles* dan yang terkecil gradasi 22 yaitu 177 *cycles*.

Daftar Pustaka

- AASHTO, 1998, *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing*, Washington D.C.,
- Affandi, F., 2006, Ekstraksi Aspal ASBUTON untuk Campuran Beraspal Panas, *Jurnal Puslitbang Jalan dan Jembatan*, Departemen Pekerjaan Umum, Republik Indonesia.
- British Standard Institution, 2000, *Bitumen and Bituminous Binder*, BSI, London
- British Standard Institution, 2000, *Methods of Test for Petroleum and its Products*, BSI, London
- British Standard Institution, 2004, *Sampling and Examination of Bituminous Mixtures for Roads and Other Paved Areas*, BSI, London
- FAA, 2009, : 150/5320-6E
- David, R.B., 2011, FAARFIELD 1.3 *Hands on Training*
- 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.
- Widianto, A.H., 2012, *Analisis Pengaruh Gradasi pada Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) yang Menggunakan Aditif ASBUTON Murni untuk Perkerasan Bandara*, Tesis Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-Institut Teknologi Bandung.

