

# ANALISIS KINERJA LABORATORIUM CAMPURAN *STONE MASTIC ASPHALT* DENGAN ASBUTON MURNI YANG DIPADATKAN MENGGUNAKAN *SUPERPAVE GYRATORY COMPACTOR*

Eri Susanto Hariyadi<sup>1\*</sup> dan Chandrika Khumara Tungga Dewi<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10, Bandung  
e-mail: [erish@itb.ac.id](mailto:erish@itb.ac.id)

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10, Bandung  
e-mail: [chandrikakhumarat@gmail.com](mailto:chandrikakhumarat@gmail.com)

## ABSTRAK

Penelitian ini mengevaluasi kinerja campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA) dengan asbuton murni dan pematat *Superpave Gyratory Compactor* (SGC), serta kemampuannya memenuhi spesifikasi AASHTO M 325-08. Campuran yang diuji termasuk SMA-Kasar dengan asbuton murni (dengan dan tanpa selulose 0.3%) dan SMA-Kasar dengan aspal Pen 60/70 dan selulose 0.3%. Pematatan menggunakan SGC pada 100 putaran mengikuti spesifikasi AASHTO M 325-08. Parameter lain mengikuti AASHTO T 312, yaitu tekanan konsolidasi  $600 \pm 18$  kPa, sudut putaran  $1.16^\circ \pm 0.02^\circ$ , dan kecepatan putaran 30 rpm. Hasil menunjukkan campuran SMA menggunakan asbuton murni dengan penambahan selulose 0.3% mengurangi *draindown* dari 6.51% menjadi 0.09%, meningkatkan densitas, menurunkan nilai VIM dan VMA, serta menekan KAO dari 7.05% menjadi 6.66%. Campuran ini memiliki nilai TSR 88%, lebih tinggi dari campuran aspal Pen 60/70 dengan selulose 0.3% (KAO 6.2%). Kedua variasi campuran memenuhi spesifikasi AASHTO M 325-08, tetapi pengelolaan kadar aspal dan penambahan *stabilizer* penting untuk mengatasi *draindown*.

Kata kunci: SMA, Asbuton Murni, *Superpave Gyratory Compactor* (SGC), *Asphalt Draindown*, TSR

## 1. PENDAHULUAN

Perkerasan lentur memainkan peran penting dalam transportasi dan harus tahan terhadap kerusakan signifikan selama masa layannya. Beban lalu lintas yang tinggi dapat merusak struktur perkerasan akibat daya tahan yang rendah terhadap beban berat, ketahanan terhadap alur, dan keausan tekstur permukaan yang mempengaruhi *skid resistance* (Septian, 2015). Campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA) merupakan solusi efektif untuk lapisan permukaan jalan dengan beban lalu lintas berat, berkat ketahanannya terhadap deformasi permanen, retakan suhu dingin, kekasaran makro yang baik, dan durabilitas. SMA menggunakan gradasi senjang dengan 70-80% agregat kasar, 8-12% *filler*, dan 6-7% bahan pengikat, serta mastik dengan kadar aspal tinggi (Hariyadi dkk., 2022).

Modifikasi aspal dengan asbuton dapat meningkatkan performa perkerasan dengan mengurangi ketergantungan pada aspal minyak impor dan meningkatkan ketahanan terhadap deformasi serta retak lelah (Sentosa dkk., 2018). Presiden Joko Widodo menargetkan penggunaan asbuton menggantikan aspal minyak pada 2024 (Hermadi dkk., 2022). Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini mengeksplorasi penggunaan asbuton murni dalam campuran SMA untuk menguji kinerjanya. Pematatan SMA dengan metode Marshall kurang efektif karena dapat mengubah ukuran agregat kasar akibat beban *impact* (Zhang dkk., 2020). Sebagai alternatif, metode *Superpave Gyratory Compactor* (SGC) lebih baik karena membentuk spesimen campuran tanpa fragmentasi agregat kasar, dengan parameter SGC yang memungkinkan pengisian *void* lebih cepat dan menghindari kerusakan pematatan paksa (Weiping dkk., 2014).

## 2. KINERJA CAMPURAN *STONE MASTIC ASPHALT*

### Campuran *Stone Mastic Asphalt*

Campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA) terdiri dari agregat kasar yang membentuk rangka dan aspal mortar sebagai pengikat, dengan kontak antar agregat kasar disebut *stone-on-stone contact* (AASHTO, 2008). Biasanya, SMA terdiri dari 70-80% agregat kasar, 8-12% *filler*, dan 6-7% bahan pengikat. Campuran ini bergantung pada kekuatan kerangka agregat kasar, dengan ruang diisi oleh *mastic* yang mengandung kadar aspal tinggi untuk meningkatkan durabilitas, meskipun kadar aspal yang tinggi dapat menyebabkan *draindown*. Menurut Perwitasari (2012), masalah utama dalam SMA adalah kelebihan aspal yang berpotensi menyebabkan *draindown*, bukan keretakan suhu atau

*rutting*. Untuk mengurangi *draindown*, sering digunakan bahan tambahan seperti selulose. Serat selulose memiliki luas permukaan yang 10 kali lebih besar dibandingkan serat mineral dan poliester, sehingga dapat mengikat lebih banyak *binder* (Chen dan Lin, 2005). Studi oleh Ye dan Jian (2019) menunjukkan bahwa penambahan 0.3-0.5% serat selulose pada *Open Graded Friction Course* (OGFC) memberikan stabilitas pengikat yang lebih baik dibandingkan serat polipropilena dan poliester.

### Kondisi *stone-on-stone contact*

Kondisi *stone-on-stone contact* pada campuran SMA merujuk pada volume rongga pada partikel agregat kasar, termasuk di dalamnya berupa *filler*, agregat halus, rongga udara, aspal, dan serat selulose (jika digunakan), atau disingkat dengan VCA (*Voids in Coarse Aggregate*). AASHTO (2008) menetapkan persyaratan yang harus dipenuhi untuk campuran SMA yang baik, yang dinotasikan dalam Persamaan (1).

$$VCA_{MIX} \leq VCA_{DRC} \quad (1)$$

dengan  $VCA_{MIX}$  adalah rongga di antara partikel agregat kasar pada campuran yang telah dipadatkan, dan  $VCA_{DRC}$  adalah rongga di antara partikel agregat kasar pada campuran dalam kondisi *dry-rodded* sesuai dengan metode AASHTO T 19M/T 19-14. Ketika campuran dipadatkan, jika agregat kasar bersentuhan satu sama lain secara efektif, volume rongga di antara partikel agregat kasar akan berkurang dibandingkan kondisi *dry-rodded*. Hal ini terjadi karena partikel-partikel agregat kasar tersebut saling terkunci dan mengisi ruang kosong di antaranya, sehingga menghasilkan kerangka yang kuat dan padat.

### Ketentuan sifat campuran *Stone Mastic Asphalt*

Metode pemadatan SGC mengacu pada Spesifikasi AASHTO M 325-08. Campuran SMA menggunakan SGC tidak memperhitungkan nilai stabilitas dan *flow*, hanya dilihat dari nilai volumetrik campuran. Spesifikasi campuran SMA sesuai dengan AASHTO M 325-08 dapat dilihat pada Tabel 1. Sementara itu, spesifikasi campuran SMA menggunakan pemadat Marshall mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 (dapat dilihat pada Tabel 2) dan SNI 8129:2015.

**Tabel 1.** Campuran SMA Spesifikasi AASHTO M 325-08

Properti	Kebutuhan
Rongga udara, %	4.0% VMA,
%	Min. 17.0% $VCA_{mix}$ , %
Kurang dari $VCA_{DRC}$	
<i>Tensile Strength Ratio</i> , AASHTO T 283	Min. 0.80
<i>Draindown</i> , %	Maksimal 0.3
Kadar Aspal, %	Min. 6.0

Sumber: AASHTO M 325-08

**Tabel 2.** Campuran SMA Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, 2020

Properti	Kebutuhan	
	SMA	SMA Mod.
Jumlah tumbukan per bidang	50	
Rongga dalam campuran (%)	Min. 3.0	Maks. 5.0
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min. 17	
Rasio $VCA_{MIX}/VCA_{DRC}$	< 1	
<i>Draindown</i> pada temperatur produksi, % berat dalam campuran (waktu 1 jam)	Maks. 0.3	
Pelelehan (mm)	Min. 2	Maks. 4.5
Stabilitas Sisa (%)	Min. 90	
DS (lintasan/mm)	Min. 2500	Min. 3000

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, 2020

Terdapat perbedaan antara Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 dengan SNI 8129:2015. Berdasarkan SNI 8129:2015, terdapat persyaratan untuk stabilitas Marshall minimum, yaitu sebesar 600 kg untuk SMA dan 750 kg untuk SMA modifikasi. Kemudian, apabila tidak dilakukan pengujian stabilitas sisa, maka *Indirect Tensile Test* (ITS) dapat dilakukan sesuai dengan SNI 6753:2015 (tanpa pengondisian khusus). Nilai minimum *Tensile Strength Ratio* (TSR) yang ditetapkan oleh SNI 8129:2015 adalah 80%.

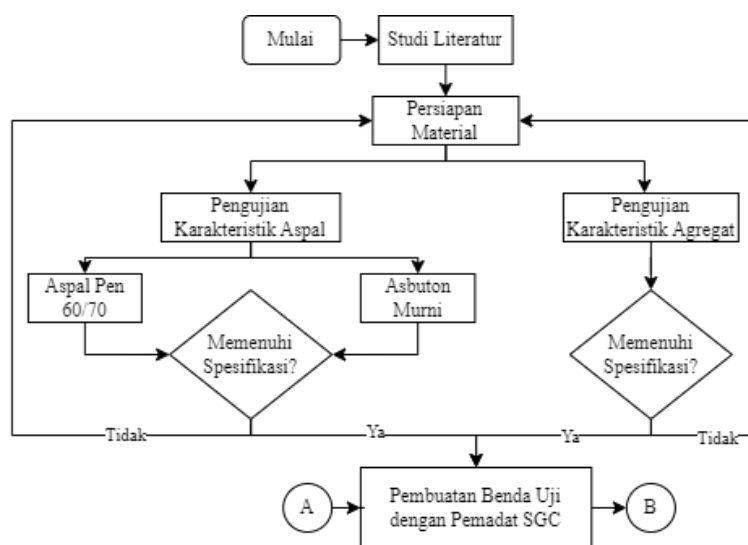
Desain khusus dan gradasi agregat yang digunakan dalam campuran SMA adalah faktor kunci dalam ketahanan terhadap *rutting*. Kontak antar batuan agregat kasar yang tinggi memberikan struktur yang stabil yang mengurangi deformasi di bawah beban yang disebabkan oleh tersedianya jaringan yang baik untuk distribusi beban sehingga secara signifikan mengurangi *rutting* (Gu dkk., 2022; Brown dan Mallick, 1995). Berdasarkan penelitian oleh Pan dkk. (2023), campuran aspal dengan komposisi agregat kasar yang menghasilkan *interlocking* antar agregat yang lebih baik dapat secara efektif memperlambat perkembangan deformasi permanen, dibandingkan campuran konvensional AC-13 yang sangat rentan terhadap *rutting* akibat kurangnya kerangka agregat yang saling mengunci.

Studi menunjukkan bahwa sampel yang dipadatkan dengan SGC memiliki korelasi yang baik dengan kinerja lapangan. Penelitian oleh Almadwi dan Assaf (2018) menemukan bahwa campuran yang dipadatkan dengan SGC menunjukkan kinerja yang lebih baik, khususnya dalam hal ketahanan terhadap *rutting* dan beban lalu lintas berat. Begitu juga dengan penelitian oleh Hariyadi dan Hadiastari (2022), yang menunjukkan bahwa campuran SMA yang dipadatkan dengan SGC memiliki ketahanan terhadap *rutting* yang lebih baik dibandingkan dengan metode Marshall. Pengalaman menunjukkan bahwa pemadatan SMA menggunakan metode Marshall menghasilkan standar pemadatan yang rendah (Memon, N.A., 2006). Peningkatan jumlah pukulan disarankan, tetapi pemadatan dengan Marshall mengubah gradasi agregat dan merusak struktur kerangka campuran karena agregat mudah hancur saat pemadatan, yang dapat mengurangi kekuatan struktural dan kinerja perkerasan (Button dkk., 1994; Tapkin dkk., 2013).

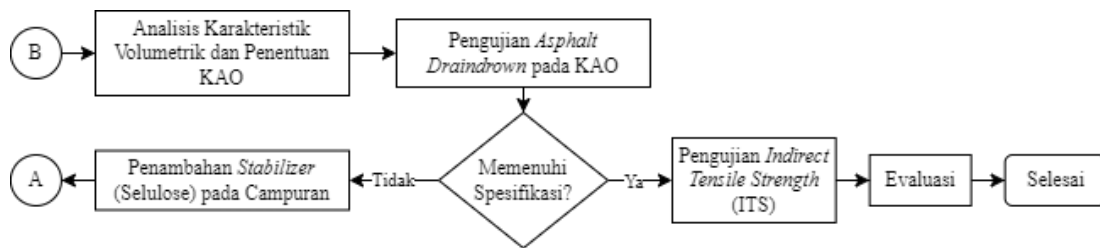
Uji kekuatan tarik tidak langsung atau *Indirect Tensile Strength* (ITS) dilakukan untuk mengevaluasi kerentanan terhadap kelembaban dari campuran aspal (Do dkk., 2019). Pengujian ITS diperlukan karena kerusakan yang disebabkan oleh kelembaban dapat secara signifikan mempengaruhi kinerja dan masa pakai perkerasan jalan. Ketahanan terhadap kelembaban merupakan faktor kritis dalam menentukan durabilitas aspal, terutama di daerah dengan cuaca basah atau musim hujan yang panjang. Menurut Khodaii dkk. (2013), pengujian ITS juga dapat menjadi indikator potensi *stripping* sebagai salah satu evaluasi kinerja.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Material aspal yang digunakan adalah aspal Pen 60/70 dan asbuton murni (*full* ekstraksi). Uji properti aspal dilakukan sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, SNI 8129:2015, dan SKh-1.6.29, dengan referensi tambahan dari ASTM, AASHTO, dan BS jika diperlukan. Pengujian SGC dilakukan untuk menentukan kadar aspal optimum pada campuran SMA dengan kedua jenis aspal, diikuti dengan pengujian *asphalt draindown* dan *Indirect Tensile Strength* (ITS). Pada campuran dengan asbuton murni, tidak diperlukan penambahan selulose kecuali jika nilai *draindown* tidak memenuhi spesifikasi, yang kemudian memerlukan pembuatan sampel baru dengan penambahan selulose. *Flowchart* alur kegiatan dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



**Gambar 1.** Diagram Alir Pengujian Bagian 1



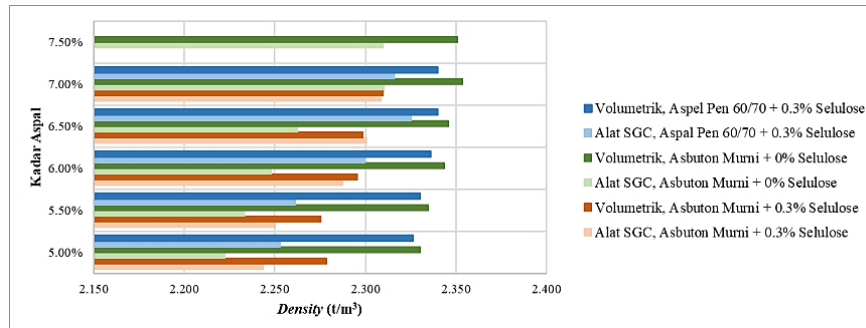
Gambar 2. Diagram Alir Pengujian Bagian 2

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Analisis kepadatan (*density*)

Kepadatan campuran aspal adalah berat dari campuran dalam kondisi kering yang diukur per satuan volume dari campuran yang telah dipadatkan. Terdapat perbedaan nilai kepadatan yang diperoleh melalui prosedur pengujian volumetrik yang melibatkan perendaman selama 24 jam dengan kepadatan yang dihitung menggunakan alat SGC. Rasio kepadatan volumetrik terhadap kepadatan SGC untuk campuran SMA dengan asbuton murni dan selulose 0.3% adalah yang terkecil (1.006), sedangkan untuk campuran tanpa selulose adalah yang terbesar (1.037). Campuran SMA dengan aspal Pen 60/70 dan selulose 0.3% memiliki rasio di antara kedua variasi lainnya (1.018). Ini menunjukkan bahwa metode volumetrik menghasilkan kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan alat SGC, konsisten dengan hasil penelitian sebelumnya oleh Hariyadi dan Hadiastari (2022) yang juga menunjukkan hasil serupa.

Perbandingan nilai *density* volumetrik dengan *density* alat SGC dapat dilihat pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3, dapat diketahui bahwa semakin tinggi kadar aspal, perbedaan nilai kepadatan volumetrik terhadap kepadatan alat SGC akan semakin kecil. Hal ini dapat terjadi karena reduksi *void* internal. Dengan kadar aspal yang lebih tinggi, jumlah *void* dalam campuran akan berkurang, sehingga hasil kepadatan dari kedua metode menjadi lebih sebanding.



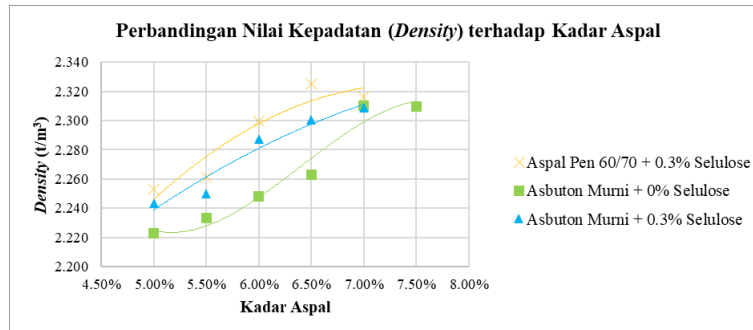
Gambar 3. Perbandingan Nilai *Density* Volumetrik dengan *Density* Alat SGC

Dalam pengujian volumetrik, kepadatan dihitung dari berat kering, berat di dalam air, dan berat *Saturated Surface-Dry* (SSD), memperhitungkan pengaruh air dalam mengisi ruang kosong campuran. Sebaliknya, alat SGC mengukur kepadatan dalam kondisi kering, berdasarkan berat kering sampel sebelum dipadatkan dan volume benda uji, dengan volume yang lebih besar karena hanya memperhitungkan volume di udara, sehingga metode volumetrik sering menghasilkan nilai kepadatan lebih tinggi dibandingkan SGC.

Penambahan selulose dapat menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi rasio kepadatan volumetrik terhadap kepadatan SGC. Campuran SMA dengan asbuton murni tanpa selulose menunjukkan *draindown* dan rasio kepadatan volumetrik tertinggi, sedangkan campuran dengan 0.3% selulose memiliki nilai terendah untuk kedua parameter. *Draindown* tinggi dapat menghambat air masuk ke rongga campuran pada pengujian volumetrik, menghasilkan berat SSD yang tidak akurat dan nilai kepadatan yang lebih tinggi dengan VIM lebih rendah. Air mungkin membutuhkan waktu lebih lama untuk mengisi rongga campuran atau terdapat rongga yang belum terisi.

Perbandingan nilai kepadatan terhadap kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan Gambar 4, peningkatan kadar aspal dalam campuran akan meningkatkan kepadatan campuran, sebelum menurun setelah melewati titik maksimum. Menurut Utami (2018), peningkatan ini terjadi karena aspal mengisi rongga-rongga dalam campuran. Namun, setelah mencapai kepadatan maksimum, peningkatan kadar aspal lebih lanjut

menyebabkan penurunan kepadatan akibat *bleeding*. Dalam penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk asbuton murni tanpa selulosa, sampel dibuat dengan kadar aspal bervariasi dari 5% hingga 7.5% dengan kenaikan 0.5%. Tren menunjukkan bahwa kepadatan meningkat hingga kadar aspal 7%, tetapi menurun pada kadar 7.5%, mengindikasikan bahwa kelebihan aspal dapat menurunkan kepadatan.

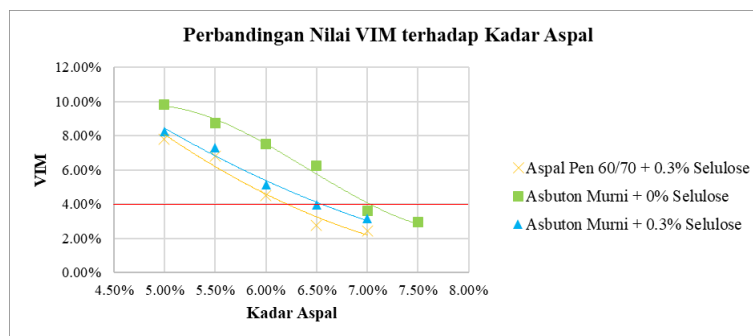


**Gambar 4.** Perbandingan Nilai Kepadatan terhadap Kadar Aspal

Berdasarkan penelitian Aljubory dkk. (2021), penambahan serat selulose pada campuran aspal akan meningkatkan kepadatan dan rongga yang terisi aspal (VFA), serta penurunan rongga udara (VIM). Serat selulose berfungsi sebagai *binder* absorber yang menyerap aspal dan membantu distribusi aspal yang lebih merata karena memiliki permukaan yang jauh lebih luas dibandingkan serat mineral (Chen dan Lin, 2005). Campuran SMA dengan aspal Pen 60/70 dan asbuton murni yang keduanya mengandung 0.3% selulosa menunjukkan nilai *draindown* yang hampir sama. Namun, aspal Pen 60/70 yang lebih lunak akan lebih efektif dalam mengisi *void* dibandingkan asbuton murni dengan viskositas lebih tinggi. Penambahan 0.3% selulosa pada asbuton murni mengurangi *draindown* dari 6.51% menjadi 1.69%, meskipun kepadatan akhirnya masih lebih rendah dibandingkan campuran dengan aspal Pen 60/70.

### Analisis Void in Mixture (VIM)

VIM (*Void in Mixture*) adalah volume rongga udara di antara agregat yang terlapisi aspal setelah pemadatan. Jumlah rongga yang terlalu sedikit dapat menyebabkan *bleeding* dan *rutting*. VIM mempengaruhi daya tahan campuran dan penting untuk menyediakan ruang bagi pemadatan akibat beban lalu lintas. AASHTO M 325-08 menetapkan persyaratan VIM sebesar 4%, sedangkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 mengatur nilai VIM untuk campuran SMA di kisaran 3-5%. Perbandingan nilai VIM terhadap kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 5.



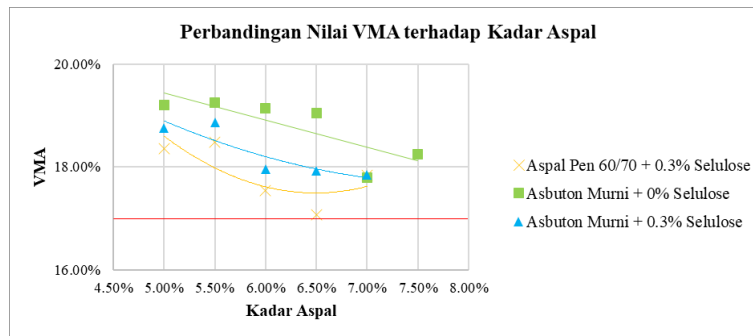
**Gambar 5.** Perbandingan Nilai VIM terhadap Kadar Aspal

Dengan meningkatnya kadar aspal, nilai VIM cenderung menurun karena aspal mengisi rongga, mengurangi ruang udara, dan membuat campuran lebih padat. Penelitian menunjukkan bahwa campuran SMA dengan aspal Pen 60/70 dan 0.3% selulose memiliki nilai VIM terkecil dibandingkan variasi lain. Meskipun selulose mengurangi *draindown* pada asbuton murni, viskositas asbuton murni yang lebih tinggi mungkin menghambat pengisian *void*, sehingga kepadatan akhirnya tidak sebaik campuran dengan aspal Pen 60/70.

### Analisis Void in Mineral Aggregate (VMA)

Rongga dalam mineral agregat (*Void in Mineral Aggregate*) adalah persentase ruang kosong di antara partikel agregat dalam campuran aspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif. Menurut SNI 8129:2015 dan

AASHTO M 325-08, nilai minimum VMA yang disyaratkan adalah 17% untuk memastikan kandungan aspal yang cukup. Perbandingan nilai VMA terhadap kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Perbandingan Nilai VMA terhadap Kadar Aspal

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai VMA pada campuran aspal Pen 60/70 dan asbuton murni cenderung menurun dengan peningkatan kadar aspal hingga mencapai titik minimum. Setelah titik ini, peningkatan kadar aspal diperkirakan akan meningkatkan nilai VMA. Pada campuran SMA dengan asbuton murni tanpa selulosa, titik minimum belum terlihat, tetapi pada kadar aspal 7.5%, nilai VMA lebih tinggi dibandingkan dengan kadar 7%.

Peningkatan kadar bitumen mengisi *void* yang lebih kecil dalam struktur agregat, menyebabkan penurunan VMA setelah titik tertentu. Namun, pada kadar bitumen yang sangat tinggi, bitumen membentuk lapisan tebal di antara partikel agregat dan *filler*, meningkatkan VMA karena bitumen berlebihan menciptakan *void* tambahan.

### Analisis *Void in Coarse Aggregate* ( $VCA_{MIX}$ )

*Void in Coarse Aggregate* (VCA) adalah rongga antara partikel agregat kasar yang mencakup bahan pengisi (*filler*), agregat halus, *void* udara, aspal (*binder*), dan aditif penstabil (jika ada). Berdasarkan hasil pengujian VCA pada kondisi *dry-rodde*d sesuai dengan metode AASHTO T 19M/T 19-14 diperoleh nilai  $VCA_{DRC}$  sebesar 40.41%. Nilai tersebut akan digunakan sebagai pembanding terhadap  $VCA_{MIX}$  atau VCA pada campuran yang telah dipadatkan untuk mengevaluasi kondisi *stone-on-stone contact*. Nilai  $VCA_{MIX}$  hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Nilai  $VCA_{MIX}$  Hasil Pengujian

Kadar Aspal	$VCA_{MIX}$ (%)			$VCA_{MIX}/VCA_{DRC}$ (%)		
	I	II	III	I	II	III
5.00%	34.52	35.41	34.80	0.85	0.88	0.86
5.50%	34.28	35.10	34.61	0.85	0.87	0.86
6.00%	33.17	34.67	33.52	0.82	0.86	0.83
6.50%	32.42	34.24	33.15	0.80	0.85	0.82
7.00%	32.69	32.86	32.91	0.81	0.81	0.81
7.50%	-	32.87	-	-	0.81	-

Catatan: I: Campuran SMA dengan Aspal Pen 60/70 + 0.3% Selulose  
 II: Campuran SMA dengan Asbuton Murni + 0% Selulose  
 III: Campuran SMA dengan Asbuton Murni + 0.3% Selulose

Berdasarkan Tabel 3, semua variasi campuran SMA menunjukkan terbentuknya kontak kerangka batuan. Hal ini terbukti dari nilai rasio  $VCA_{MIX}$  terhadap  $VCA_{DRC}$  yang lebih kecil dari 1 ( $VCA_{MIX} < VCA_{DRC}$ ). Rasio  $VCA_{MIX}$  terhadap  $VCA_{DRC}$  yang lebih kecil dari 1 menunjukkan bahwa agregat dalam campuran beraspal terkemas lebih padat daripada dalam kondisi kering tanpa aspal. Ini menandakan adanya kontak langsung antara partikel agregat kasar yang efektif. Rasio ini penting karena memastikan bahwa agregat kasar membentuk kerangka yang stabil dalam campuran, dengan aspal dan filler mengisi ruang di antara agregat tanpa menyebabkan segregasi atau kehilangan stabilitas.

### Perbandingan KAO (Kadar Aspal Optimum)

Nilai KAO yang diperoleh yaitu 6.20% untuk Pen 60/70 dengan 0.3% selulose, 7.05% untuk asbuton murni tanpa selulose, dan 6.66% untuk asbuton murni dengan 0.3% selulose. Aspal Pen 60/70 dengan selulose 0.3% menghasilkan campuran dengan *draindown* rendah dan kepadatan tinggi, menunjukkan bahwa selulose berperan dalam menstabilkan campuran, mencegah *draindown*, dan meningkatkan kohesi antar partikel aspal. Asbuton murni



tanpa selulose membutuhkan kadar aspal lebih tinggi (7.05%) untuk mencapai karakteristik spesifikasi, tetapi risiko *bleeding* dan *draindown* lebih tinggi. Dengan selulose 0.3%, campuran asbuton murni memerlukan kadar aspal lebih rendah (6.66%), namun tetap lebih tinggi dibandingkan campuran dengan aspal Pen 60/70. Viskositas asbuton murni yang lebih tinggi dapat menghambat pengisian *void* dibandingkan aspal Pen 60/70 yang lebih lunak, sehingga kepadatan akhir tidak sebaik campuran dengan aspal Pen 60/70. Untuk informasi lebih lengkap, kontrol berat material pada KAO dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Kontrol Berat Material pada KAO

Komposisi Campuran			Kontrol Berat (A), gram			Kontrol (B), gram
% Selulosa	% Aspal	% Agregat	Selulosa	Aspal	Agregat	Berat Total
0.30%	6.20%	93.50%	3.60	74.40	1122.00	1200
0.00%	7.05%	92.95%	0.00	84.60	1115.40	1200
0.30%	6.66%	93.04%	3.60	79.92	1116.48	1200

Berdasarkan Tabel 4, dapat diketahui bahwa selulose yang digunakan pada campuran SMA dengan asbuton murni hampir menggantikan *binder* yang digunakan pada campuran SMA dengan asbuton murni tanpa penambahan selulose, di mana campuran SMA variasi asbuton murni dengan penambahan selulose memiliki berat selulose dan aspal sebesar 83.52 gram, mendekati berat aspal pada campuran SMA variasi asbuton murni tanpa penambahan selulose, yakni sebesar 84.60 gram. Hal tersebut dapat terjadi karena serat selulose yang digunakan juga berperan dalam mengisi rongga-rongga di dalam campuran SMA, yang pada akhirnya meningkatkan kepadatan campuran tersebut.

#### Analisis data pengujian *draindown*

Pengujian *draindown* pada KAO menunjukkan bahwa campuran SMA dengan aspal Pen 60/70 dan 0.3% selulose memiliki *draindown* yang rendah, yaitu 0.11%. Sebaliknya, campuran dengan asbuton murni tanpa selulose memiliki *draindown* tinggi, mencapai 6.51%. Penambahan 0.3% selulose pada asbuton murni menurunkan *draindown* menjadi 0.09% pada KAO baru sebesar 6.66%, yang masih lebih rendah dibandingkan campuran dengan aspal Pen 60/70. Hasil pengujian *draindown* dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian *Draindown*

Campuran SMA	<i>Draindown pada Temperatur Produksi</i>									
	Pen 60/70 + 0.3% Sel.		Asbuton + 0% Sel.		Asbuton + 0.3% Sel.		Asbuton + 0.4% Sel.		Asbuton + 0.3% Sel.	
	(KAO: 6.20%)		(KAO: 7.05%)		(KAO: 7.05%)		(KAO: 6.66%)		(KAO: 6.66%)	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Nilai <i>Draindown</i> , %	0.11%	0.10%	6.37%	6.64%	1.71%	1.66%	0.07%	0.07%	0.09%	0.085%
Rata-rata Nilai <i>Draindown</i> , %	0.11%		6.51%		1.69%		0.07%		0.09%	
Spesifikasi (Maks.)	0.30%		0.30%		0.30%		0.30%		0.30%	
Keterangan	LOLOS		TIDAK LOLOS		TIDAK LOLOS		LOLOS		LOLOS	

Analisis lebih lanjut dilakukan terhadap asbuton murni dengan KAO sebesar 7.05%. Dengan penambahan 0.3% selulose pada KAO yang sama, terjadi penurunan drastis nilai *draindown* menjadi 1.69%. Kemudian, dengan penambahan 0.4% selulose, nilai *draindown* dapat lebih lanjut ditekan menjadi 0.07%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan selulose pada asbuton murni efektif dalam mengurangi kecenderungan aspal untuk mengalir keluar dari campuran, yang secara signifikan meningkatkan kualitas dan konsistensi campuran SMA sesuai dengan standar spesifikasi yang berlaku.

#### Analisis data pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Berdasarkan hasil pengujian ITS campuran SMA dengan dua variasi berbeda, yaitu aspal Pen 60/70 dengan selulose 0.3% (Tabel 6) dan asbuton murni dengan selulose 0.3 (Tabel 7), diketahui bahwa campuran SMA yang menggunakan asbuton murni dengan selulose 0.3% memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi baik dalam kondisi kering maupun basah dibandingkan campuran SMA yang menggunakan aspal Pen 60/70 dengan selulose 0.3%. Pada campuran SMA yang menggunakan aspal Pen 60/70, kekuatan tarik rata-rata pada kondisi kering adalah 796.98 kPa, sedangkan pada kondisi basah adalah 664.36 kPa, dengan nilai TSR sebesar 83% (memenuhi spesifikasi AASHTO M 325-08). Sementara itu, campuran SMA yang menggunakan asbuton murni menunjukkan nilai kekuatan tarik rata-rata pada kondisi kering sebesar 1254.38 kPa dan pada kondisi basah sebesar 1099.14 kPa, dengan TSR mencapai 88% (memenuhi spesifikasi AASHTO M 325-08).

**Tabel 6.** Hasil Pengujian ITS Variasi Aspal Pen 60/70

Benda Uji		Langsung			Rendaman		
		1	2	3	1	2	3
Diameter, mm	(D)	100.32	100.30	100.32	100.31	100.31	100.30
Tebal, mm	(t)	68.37	68.42	68.37	68.38	68.41	68.33
Berat Jenis Campuran Padat, t/m <sup>3</sup>	(Gmb)	2.235	2.233	2.235	2.234	2.233	2.236
Berat Jenis Maksimum (Teoritis), t/m <sup>3</sup>	(Gmm)	2.402	2.402	2.402	2.402	2.402	2.402
Rongga Udara (VIM), %	(Pa)	6.94%	7.02%	6.94%	6.96%	7.00%	6.90%
Beban, kg	(P')	450	440	388	312	285	468
Beban (Setelah Koreksi), kg	(P'')	925	904	797	641	586	962
Beban, N	(P)	9072	8870	7822	6290	5745	9435
Kekuatan Tarik (2000P/πD), kPa	(S)	842	823	726	584	533	876
Kekuatan Tarik Rata-rata, kPa			796.98			664.36	

**Tabel 7.** Hasil Pengujian ITS Variasi Asbuton Murni

Benda Uji		Langsung			Rendaman		
		1	2	3	1	2	3
Diameter, mm	(D)	100.52	100.42	100.44	102.61	100.21	100.43
Tebal, mm	(t)	68.57	68.57	68.59	68.59	68.57	68.56
Berat Jenis Campuran Padat, t/m <sup>3</sup>	(Gmb)	2.228	2.228	2.228	2.228	2.228	2.229
Berat Jenis Maksimum (Teoritis), t/m <sup>3</sup>	(Gmm)	2.395	2.395	2.395	2.395	2.395	2.395
Rongga Udara (VIM), %	(Pa)	6.96%	6.96%	6.99%	6.98%	6.95%	6.95%
Beban, kg	(P')	560	688	772	610	589	582
Beban (Setelah Koreksi), kg	(P'')	1151	1414	1586	1254	1210	1196
Beban, N	(P)	11289	13870	15563	12297	11874	11733
Kekuatan Tarik (2000P/πD), kPa	(S)	1043	1282	1438	1112	1100	1085
Kekuatan Tarik Rata-rata, kPa			1254.38			1099.14	
RKT atau TSR					88%		

### Analisis Perbandingan Kinerja Campuran Berdasarkan Standar dan Penelitian Terdahulu

Penelitian terkait asbuton murni pada campuran beraspal telah dilakukan sebelumnya, tetapi belum ada yang meneliti penggunaannya pada campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA) dengan pemadat *Superpave Gyratory Compactor* (SGC). Berdasarkan penelitian Hermadi dkk. (2022), campuran beraspal panas Laston dengan asbuton murni memiliki kinerja tertinggi (dengan karakteristik setara campuran beraspal Tipe II) dibandingkan campuran asbuton butir B 50/30 dan aspal minyak Pen 60. Sejalan dengan studi tersebut, penggunaan asbuton murni pada campuran SMA dengan penambahan selulose 0.3% memiliki kinerja laboratorium yang lebih baik, dilihat dari uji *draindown* dan *Indirect Tensile Strength* (ITS) dibandingkan aspal Pen 60/70. Campuran SMA yang menggunakan asbuton murni dengan penambahan selulose 0.3% terbukti dapat menurunkan *draindown* dari 6.51% menjadi 0.09%, sesuai standar dan spesifikasi yang digunakan, yaitu AASHTO M 325-08 yang mensyaratkan nilai maksimum 0.3%, dan memiliki performa yang lebih baik dibandingkan aspal Pen 60/70, dengan campuran yang menggunakan asbuton murni memiliki TSR sebesar 88%, sedangkan campuran yang menggunakan aspal Pen 60/70 memiliki TSR sebesar 83%. TSR yang diperoleh dari pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS) dapat menjadi parameter yang memastikan bahwa campuran dapat mempertahankan performanya di lapangan di bawah kondisi basah. Terkait dengan ketahanan terhadap air dan temperatur, studi oleh Rahman dkk. (2012) menunjukkan bahwa campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) dengan gradasi D12 dan aditif asbuton murni pada aspal Pen 60/70 menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap air dan temperatur berdasarkan uji perendaman Marshall, dengan peningkatan nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS), dibandingkan gradasi lainnya. Secara umum, dari hasil pengujian dilakukan, penggunaan asbuton sebagai aditif dapat dijadikan alternatif dalam struktur perkerasan aspal runway bandara, terutama pada campuran gradasi D12 Asbuton 6% dan gradasi D5 Asbuton 6%.

Penggunaan *Superpave Gyratory Compactor* (SGC) pada penelitian ini menghasilkan campuran SMA yang memenuhi karakteristik volumetrik, seperti VIM dan VMA, serta menciptakan kontak kerangka batuan yang optimal (*stone-on-stone contact*), sesuai dengan prosedur pengujian dan standar yang ditetapkan AASHTO M 325-08. Berkaitan dengan karakteristik volumetrik, studi oleh Jiang dkk (2020) menemukan bahwa SGC menghasilkan kadar aspal optimum (KAO) lebih rendah dibandingkan metode Marshall untuk mencapai properti volumetrik dan kinerja mekanik yang serupa pada campuran SMA dengan *SBS-modified asphalt*. Temuan ini juga didukung oleh hasil penelitian Hariyadi dan Hadiastari (2022) yang menemukan bahwa SGC lebih efektif dalam mencapai target volumetrik, ketahanan terhadap *rutting*, dan *workability* pada campuran SMA dengan aspal Pen 60/70. Meskipun penelitian ini tidak menggunakan pemadat Marshall secara langsung, data sekunder menunjukkan bahwa metode SGC menghasilkan kinerja campuran SMA yang diinginkan, baik dalam hal karakteristik volumetrik,



*draindown*, maupun *Tensile Strength Ratio* (TSR), lebih baik dibandingkan metode Marshall. Berdasarkan hasil penelitian, performa asbuton murni sebagai bahan pengikat untuk campuran SMA dengan selulose 0.3% telah memenuhi spesifikasi AASHTO M 325-08, dengan prosedur pengujian pemadatan metode SGC mengacu pada AASHTO T-312, pengujian *asphalt draindown* mengacu pada AASHTO T 305-14, dan pengujian Indirect Tensile Strength (ITS) mengacu pada SNI 6753:2015. Asbuton murni dapat dijadikan sebagai alternatif untuk mengganti aspal minyak pada campuran SMA, tetapi kadar aspal dan penambahan *stabilizer* penting untuk mengatasi *draindown*. Dengan nilai KAO yang lebih kecil, campuran yang menggunakan aspal Pen 60/70 dengan selulose 0.3% juga telah memenuhi spesifikasi AASHTO M 325-08.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Karakteristik Kinerja Laboratorium dari Campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA) yang Menggunakan Asbuton Murni Sebagai Pengikat dengan Pematat *Superpave Gyrotory Compactor* (SGC)
  - a. Kinerja Laboratorium  
Penambahan selulose 0.3% pada asbuton murni menurunkan *draindown* dari 6.51% menjadi 0.09% pada KAO, memenuhi spesifikasi AASHTO M 325-08. Penggunaan SGC menunjukkan kemampuan campuran untuk mencapai kepadatan yang sesuai, memenuhi karakteristik volumetrik (VIM dan VMA), menciptakan kontak kerangka batuan (*stone-on-stone contact*), dan memenuhi nilai TSR spesifikasi AASHTO M 325-08.
  - b. Penggunaan SGC  
Campuran SMA dengan asbuton murni yang dipadatkan menggunakan SGC memenuhi spesifikasi AASHTO M 325-08. Namun, penambahan selulose dan penanganan terhadap kadar aspal penting untuk mengatasi masalah *draindown*.
  - c. Perbandingan Hasil Pemadatan SGC terhadap Metode Marshall  
Penelitian oleh Jiang dkk. (2020) menunjukkan bahwa SGC menghasilkan KAO yang lebih rendah dibandingkan metode Marshall untuk mencapai properti volumetrik dan kinerja mekanik yang serupa pada campuran SMA dengan *SBS-modified asphalt*. Hasil ini konsisten dengan temuan Hariyadi dan Hadiastari (2022) yang menunjukkan SGC lebih efektif dalam mencapai target volumetrik, ketahanan terhadap *rutting*, dan *workability* pada campuran SMA dengan aspal Pen 60/70. Meskipun penelitian ini tidak menggunakan pematat Marshall, data sekunder dan hasil penelitian menunjukkan bahwa SGC efektif dalam menghasilkan campuran SMA dengan karakteristik yang diinginkan pada asbuton murni.
2. Perbandingan Karakteristik Campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA) yang Menggunakan Asbuton Murni dengan Campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA) yang Menggunakan Aspal Pen 60/70
  - a. Perbandingan Kadar Aspal Optimum (KAO)  
Penggunaan aspal Pen 60/70 dengan selulose 0.3% pada campuran SMA menghasilkan nilai KAO 6.2%, lebih rendah dibandingkan dengan asbuton murni. Penambahan selulose 0.3% pada asbuton murni menurunkan nilai KAO dari 7.05% menjadi 6.66%, karena serat selulose menggantikan sebagian aspal dan meningkatkan kepadatan campuran.
  - b. Karakteristik Volumetrik Campuran  
Campuran dengan asbuton murni memiliki VIM dan VMA lebih tinggi serta densitas lebih rendah dibandingkan aspal Pen 60/70. Penambahan 0.3% selulose pada asbuton murni meningkatkan densitas, mengurangi VIM dan VMA. Pemadatan SGC menunjukkan kontak kerangka batuan yang baik pada semua variasi campuran.
  - c. Performa *Draindown*  
Campuran dengan asbuton murni dan selulose 0.3% memiliki *draindown* 0.09%, lebih rendah dari campuran aspal Pen 60/70 dan selulose 0.3% dengan *draindown* 0.11%. Keduanya memenuhi spesifikasi AASHTO M 325-08. Sementara itu, asbuton murni tanpa selulose tidak memenuhi spesifikasi (*draindown* 6.51%).
  - d. Performa *Tensile Strength Ratio* (TSR)  
Kedua variasi campuran memenuhi spesifikasi AASHTO M 325-08, dengan campuran asbuton murni memiliki TSR lebih baik (88%) dibandingkan aspal Pen 60/70 (83%).
  - e. Efektivitas Penggunaan Material pada Campuran SMA  
Campuran dengan asbuton murni dan selulose 0.3% unggul dalam *draindown* dan TSR, tetapi memerlukan KAO yang lebih tinggi dibandingkan aspal Pen 60/70. Meskipun asbuton murni lebih baik, aspal Pen 60/70 dengan selulose 0.3% lebih ekonomis dan efektif dengan nilai KAO yang lebih rendah.

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (2012). *Preparing and Determining the Density of Hot-Mix Asphalt (HMA) Specimens by Means of the Superpave Gyratory Compactor*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- AASHTO. (2012). *Standard Practice for Designing Stone Matrix Asphalt (SMA)*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- AASHTO. (2012). *Standard Specification for Stone Matrix Asphalt (SMA)*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- AASHTO. (2014). *Standard Method of Test for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- AASHTO. (2014). *Standard Method of Test for Determination of Draindown Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.
- Bina Marga. (2020). *Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2*. Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum.
- Brown, E. R., & Mallick, R. B. (1995). "Evaluation of stone-on-stone contact in stone-matrix asphalt". *Transportation Research Record*, 208-219.
- Button, J. W., Little, D. N., Jagadam, V., & Pendleton, O. J. (1994). "Correlation of selected laboratory compaction methods with field compaction". *Transp. Res. Rec.*, 1454, 193-201.
- Chen, J., & Lin, K. (2005). "Mechanism and behavior of bitumen strength reinforcement using fibers". *Journal of Materials Science*, 40, 87-95.
- Do, T. C., Tran, V. P., Le, V. P., Lee, H. J., & Kim, W. J. (2019). "Mechanical characteristics of tensile strength ratio method compared to other parameters used for moisture susceptibility evaluation of asphalt mixtures". *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 6(6), 621-630.
- Gu, Y., Ding, C., Shen, J., & Wang, W. (2022). "Low Temperature Crack Resistance of Stone Mastic Asphalt Affected by Its Nominal Maximum Size and Asphalt Binders". *Applied Sciences*, 12(15), 7444.
- Hariyadi, E. S., & Hadiastari, I. G. (2022). "Evaluasi kinerja laboratorium campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) sesuai spesifikasi Bina Marga 2018 yang dipadatkan dengan Superpave Gyratory Compactor (SGC)". *Prosiding KRTJ-HPJI*, 13-13.
- Hermadi, M., Ronny, Y., & Firdaus, Y. (2022). "Perbandingan karakteristik antara campuran beraspal panas Asbuton Murni, Asbuton Butir B 50/30 dan aspal minyak PEN 60". *Prosiding KRTJ-HPJI*, 19-19.
- Hunter, R. N., Self, A., & Read, J. (2015). *The Shell Bitumen Handbook, Sixth Edition*. Shell International Petroleum Co. Ltd, London.
- Memon, N. A. (2006). *Comparison between Superpave Gyratory and Marshall Laboratory Compaction Methods*. Disertasi Doktor, Universiti Teknologi Malaysia, Johor, Malaysia.
- Pan, Y., Guo, H., Guan, W., & Zhao, Y. (2023). "A laboratory evaluation of factors affecting rutting resistance of asphalt mixtures using wheel tracking test". *Case Studies in Construction Materials*, 18, 2214-5095.
- Perwitasari, K. (2013). *Perancangan Laboratorium Campuran Split Mastic Asphalt dengan Menggunakan Buton Natural Asphalt Blend 75:25*. Tesis. Yogyakarta: Magister Sistem dan Teknik Transportasi, UGM.
- Rahman, H., Subagio, B. S., & Widiyanto, A. H. (2012). "Analisis pengaruh gradasi pada campuran Split Mastic Asphalt (SMA) yang menggunakan aditif ASBUTON murni untuk perkerasan bandara." *Jurnal Teknik Sipil ITB*, Vol. 19(2), 169-180.
- Sentosa, L., Subagio, B. S., Rahman, H., & Yamin, R. A. (2018). "Pengaruh Aspal Modifikasi Menggunakan Briket Asbuton Semi Ekstraksi terhadap Reologi Aspal". *Prosiding Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi*.
- Septian, A. S., Subagio, B. S., & Rahman, H. (2015). "Kinerja Modulus Dinamis dari Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) Menggunakan Aspal Modifikasi Elvaloy". *Naskah Publikasi, FSTPT International Symposium, Universitas Lampung*.
- Tapkın, S., & Keskin, M. (2013). "Rutting analysis of 100 mm diameter polypropylene modified asphalt specimens using gyratory and Marshall compactors". *Mater. Res.*, 16, 546-564.
- Utami, P.D. (2018). *Perancangan Laboratorium Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) Menggunakan Aspal Shell Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi Elvaloy*. Tesis. Yogyakarta: Magister Sistem dan Teknik Transportasi, UGM.
- Cui, W., Chen, L., Yu, Z., & Qin, L. (2014). "Feasibility Research on Superpave Gyratory Compactor Method Design Mix of Stone Mastic Asphalt". *Key Engineering Materials*, 599, 159-163.
- Ye, Z., & Jian, L. (2019). "The effect of fiber on the performance of open graded friction course (an environmental survey)". *Ekoloji*, 28, 4891-4895.
- Zhang, H., Yu, T., & Huang, Y. (2020). "Comparative analysis of HMA aggregate variability based on impacting and SGC Compaction". *Construction and Building Materials*, 242, 118055.