

Analisis Kinerja Aspal Stone Matrix Asphalt (SMA) pada Fly Over Kretek - Bumiayu

Dwiyono Waluyo^a, Muhammad Indra Nofiq^b

^aUniversitas Ma'arif Nahdlatul Ulama Kebumen, Kebumen, Indonesia

^bLab. Teknisi PT. Karya Adi Kencana (KSO), Kebumen, Indonesia

dwiyonowaluyoserayuhotmix@gmail.com ^a, muhindranofiq@gmail.com^b

Abstrak

Selain pelayanan mutu dan kualitas yang kurang memenuhi standar, Indonesia yang beriklim tropis serta volume lalu lintas dan beban kendaraan yang tinggi mengakibatkan kondisi jalan di Indonesia cepat mengalami kerusakan. Pada perkerasan lentur, kerusakan yang terjadi dapat dikelompokkan menjadi 5 jenis yaitu : Deformasi, Retak (crack), Rusak Pinggir, Rusak tekstur permukaan dan Lubang. Pada Fly Over Kretek yang berlokasi di Kec. Bumiayu, Kab. Brebes – Jawa Tengah kerusakan yang terjadi meliputi kerusakan deformasi berupa alur dan kerusakan tekstur permukaan yang berupa kegemukan. Fly over yang resmi beroperasi pada bulan Agustus 2017 ini merupakan suatu terobosan untuk mengurangi kemacetan karena adanya pasar dan palang pintu perlintasan kereta api. Dengan menggunakan perkerasan lentur Stone Matrix Asphalt diharapkan dapat menjadi salah satu solusi untuk mengatasi kerusakan-kerusakan yang terjadi. Temuan Dr. Zichner tahun 1960 ini merupakan suatu lapis perkerasan yang mempunyai durabilitas yang tinggi dan ketahanan yang baik terhadap alur (*rutting*). Perencanaan penelitian menggunakan filler abu batu kapur dengan variasi 2%, 5%, 7% dan variasi aspal sebesar 6 %, 6,5 %, 7 %, 7,5 % dan 8 %. Menggunakan metode atau acuan Spesifikasi Umum Direktorat Jendral Bina Marga tahun 2018, SNI 8129:2015 dan spek teknis lainnya. Kedua perencanaan ini bertujuan untuk mendapatkan variasi kadar filler dan aspal terbaik yang dapat digunakan sebagai campuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi kadar filler 2%, 7% dan kadar aspal 6%, 8% tidak memenuhi nilai persyaratan yang telah ditentukan. Melihat hasil pengujian serta kadar aspal perkiraan yang ditentukan oleh asphalt institute variasi kadar aspal 7% merupakan kadar variasi aspal optimum terbaik. Dengan demikian kadar filler 5% dengan kadar aspal 7% merupakan kadar filler dan kadar aspal terbaik yang dapat digunakan sebagai campuran.

Kata kunci: *Stone Matrix Asphalt*, Filler, Variasi, Aspal

Abstract

In addition to the quality and quality of service that does not meet the standards, Indonesia's tropical climate and high traffic volume have caused road conditions in Indonesia to break down quickly. Using bending pavement asphalt matrix stone is expected to be one of the solutions to overcome the damage that occurs. Dr. Zichner's invention in 1960 was a pavement layer that has high durability and

good resistance to grooves (rutting). Research planning used limestone ash filler with variations of 2%, 5%, 7% and asphalt variations of 6 %, 6.5 %, 7 %, 7.5 % and 8 %. Using the method or reference of the General Specifications of the Directorate General of Wildlife Development in 2018, SNI 8129: 2015 and other technical specifications. Both of these plans aim to obtain the best variety of filler and asphalt grades that can be used as a mixture. The test results showed that the variation in filler content of 2%, 7% and asphalt content of 6%, 8% did not meet the predetermined requirements. Looking at the test results and the estimated asphalt content determined by the asphalt intitute, the 7% asphalt content variation is the best optimal level of asphalt variation. Thus the filler content of 5% with asphalt content of 7% is the best filler content and asphalt content that can be used as a mixture.

Keywords: *Stone Matrix Asphalt, Filler, Variations, Asphalt*

1. Pendahuluan

Jalan adalah prasarana transportasi yang mencakup seluruh bagian dari jalan serta bangunan yang dijadikan pelengkap serta perlengkapannya yang diperuntukan untuk lalu lintas, baik berada diatas permukaan dari tanah, bawah permukaan tanah atau diatas permukaan air, kecuali jalan yang dilalui kereta api, kabel dan lori (UU RI No.38, 2004). Pemerintah menjadikan jalan sebagai salah satu point penting dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Dengan akses yang baik dan memadai, arus lalulintas menjadi lancar, efisien dan terintegrasi dengan baik (Juara & Mahmudati, n.d.).

Pada umumnya konstruksi jalan di Indonesia menggunakan 2 jenis perkerasan, yaitu perkerasan lentur konstruksi jalan beraspal dan perkerasan kaku dengan beton sebagai media perkerasan (Kemen PUPR Dirjen Bina Marga, 2017). Perkerasan lentur memang tidak memiliki umur yang lebih panjang dibandingkan dengan perkerasan kaku. namun demikian, perkerasan lentur mempunyai beberapa keunggulan diantaranya jalan menjadi lebih rata dan halus, serta mempunyai warna yang lebih teduh sehingga lebih nyaman untuk dilalui. Perkerasan lentur memiliki biaya pemeliharaan yang lebih tinggi dibandingkan perkerasan kaku karena pemeliharaan untuk perkerasan lentur lebih sering dilakukan. Kerusakan yang kerap terjadi pada perkerasan lentur diantaranya keretakan (cracks), alur (rutting), butiran aspal yang terlepas (raveling), gelombang (corrugation) dan kegemukan (bleeding) (Lestari et al., n.d.).

Selain pelayanan mutu dan kualitas yang kurang memenuhi standar, Indonesia yang beriklim tropis serta volume lalu lintas yang tinggi mengakibatkan perkerasan jalan cepat mengalami kerusakan. Salah satu upaya untuk menanggulangi kerusaksan tersebut dengan lapis perkerasan lentur stone matrix asphalt. Temuan Dr. Zichner pertengahan tahun 1960 di Jerman ini merupakan suatu lapis perkerasan yang mempunyai durabilitas tinggi dan ketahanan yang baik terhadap alur atau rutting (Gregorius Lake et al., 2010). Dr. Zichner menamai temuannya dengan Stone Mastic Asphalt yang kemudian merambah dan berkembang ke negara lain seperti Eropa, Amerika, Australia dan Indonesia. Eropa dan Australia menamai lapis perkerasan ini dengan stone mastic asphalt, sedangkan Amerika dan Indonesia menamai dengan stone matrix asphalt (Afandi, 2021).

Stone matrix asphalt yang kemudian disebut SMA adalah campuran beraspal panas sebagai lapis dari suatu permukaan. Karakteristik lapisan SMA memberi beberapa keuntungan terhadap pengendara diantaranya ketahanan terhadap gelincir atau skid resistant yang bagus (SNI 8129, 2015). Gradasi pada agregat yang seragam menjadikan aspal SMA memiliki ketahanan terhadap deformasi (rutting) sehingga tepat diaplikasikan pada jalan raya yang kerap dilalui kendaraan dengan beban berat.

Perencanaan yang akan dibahas dalam penelitian yaitu stone matrix asphalt tipis dengan bahan pengisi atau filler abu batu kapur (limestone dust) dan aspal PG 82 sebagai bahan perekat. Bahan pengisi atau filler yang dapat digunakan berupa debu/abu batu kapur (limestone dust), debu kapur padam, debu kapur magnesium atau dolomit, semen dan abu terbang tipe C dan F (Kemen PUPR Dirjen Bina Marga, 2018). Pemilihan abu batu kapur sebagai bahan pengisi atau filler dilandasi oleh semakin berkurangnya penggunaan kapur sebagai bahan bangunan. Produksi kapur di daerah kami Margasari-Tegal Jawa Tengah menurun sebab dalam dunia konstruksi bangunan penggunaan semen sebagai bahan pengikat dianggap lebih efisien dan praktis.

Dalam penelitian penulis mengangkat 2 rumusan masalah yaitu:

1. Berapa nilai kadar filler dan aspal terbaik untuk campuran stone matrix asphalt?
2. Bagaimana pengaruh filler dari abu batu kapur terhadap campuran SMA?

Penggunaan agregat dalam penelitian ini meliputi agregat kasar coarse aggregate ukuran $\frac{3}{4}$ " medium aggregate ukuran $\frac{1}{2}$ ", agregat halus yang terdiri dari abu batu dan abu batu kapur sebagai filler. Sedangkan bahan tambah atau stabilizer ditambahkan apabila terjadi pengaliran aspal pada pengujian draindown (Kemen PUPR Dirjen Bina Marga, 2018). Acuan yang menjadi landasan penelitian yaitu SNI 8129:2015 "Spesifikasi stone matrix asphalt (SMA)", Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2), dan spek teknis yang lainnya.

Penelitian terdahulu terkait stone matrix asphalt antara lain Pramurti Dewi Utami (2018) dalam tesisnya yang berjudul "Perancangan Laboratorium Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) Menggunakan Aspal Shell Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi Elvaloy" (Utami, 2018), Chelia Febriyani Timbonga (2021) dalam laporan tugas akhirnya yang berjudul "Pemanfaatan Batu Gunung Limbong Kecamatan Rantepao Dalam Campuran Stone Matrix Asphalt Kasar" (Timbonga et al., 2021). Dalam perencanaan penelitian terdapat 2 kajian sebagai perbandingan, pertama variasi kadar filler yang digunakan sebesar 2%, 5% dan 7% dengan kadar aspal perkiraan (Pb) asphalt institute. Tujuan untuk mendapatkan kadar filler terbaik sebagai campuran. Kedua, variasi kadar filler terbaik dengan kadar campuran beraspal 6 %, 6,5 %, 7 %, 7,5 % dan 8 % bertujuan untuk mendapatkan variasi aspal terbaik sebagai campuran.

Secara umum tujuan dalam penelitian adalah untuk mengidentifikasi variasi campuran kadar filler dan kadar aspal terbaik sebagai campuran dan pengaruh dari penggunaan bahan pengisi atau filler abu batu kapur pada campuran beraspal panas stone matrix asphalt.

2. Metodologi Penelitian

Material berupa agregat kasar, agregat halus dalam penelitian merupakan batu pecah produksi PT. Jati Kencana Beton, Semarang. Abu batu kapur sebagai filler produksi PT. Kurnia

Artha Pratiwi, Bandung. Dan bahan perekat berupa aspal PG 82 produksi PT. Mandala Aspalnusa Sejahtera, Semarang. Sebelumnya seluruh bahan penyusun baik agregat atau bahan perekat telah dilakukan pengujian di laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – DI Yogyakarta dan DKI Jakarta – Jawa Barat.

Lokasi pengujian dalam penelitian ini berlokasi di Laboratorium Aspal PT. Bangun Anugerah Beton Nusantara yang beralamatkan Jl. Yomani – Guci, Ds. Timbang Reja, Kec. Lebaksiu, Kab. Tegal – Jawa Tengah. Penelitian pertama dilakukan pada tanggal 11 - 16 Januari 2022. Kemudian dilanjutkan penelitian kedua pada tanggal 2 – 4 Juli 2022.

Dengan arahan dan bimbingan dari dosen wali serta staf ahli lab, peneliti diarahkan untuk mendesain dan meneliti campuran beraspal stone matrix asphalt dengan 2 kajian penelitian. Tahapan penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Pemeriksaan karakteristik agregat, meliputi pengujian keausan atau abrasi dengan menggunakan mesin loss angeles, kekekalan bentuk agregat terhadap magnesium sulfat, kelekatan terhadap aspal, angularitas atau butir pecah agregat kasar, partikel pipih lonjong dengan perbandingan 1:5, nilai setara pasir, material yang lolos ayakan no. 200, angularitas, batas cair (liquid limit), indeks plastis (plastic index) pemeriksaan terhadap berat jenis dan penyerapan agregat, pemeriksaan Analisa saringan dan modulus halus butir atau MHB.
2. Pemeriksaan karakteristik bahan perekat atau aspal, meliputi penetrasi pada 25°C, titik lembek, titik nyala, daktilitas, kelarutan dalam trichloroethylene, berat jenis bitumen keras, stabilitas penyimpanan, viskositas kinematis pada suhu 135°C, DSR original binder fail temperature, kehilangan berat (RTFOT), penetrasi pada 25°C setelah RTFOT, daktilitas setelah RTFOT, DSR (RTFOT) fail temperature dan temperatur yang menghasilkan geser dinamis atau DSR PAV @ 5000 kPa fail temperature.
3. Rancangan awal dalam penelitian menggunakan variasi kadar filler 2%, 5% dan 7% sebagai campuran dengan kebutuhan masing-masing setiap agregat tertera dalam Tabel 1.

Tabel 1. Prosentase Kebutuhan Agregat Sebagai Penyusun

Bahan Penyusun	Prosentase Kebutuhan Agregat		
	<i>Filler 2%</i>	<i>Filler 5%</i>	<i>Filler 7%</i>

Coarse Aggregate	5%	5%	5%
Medium Aggregate	55%	55%	55%
Abu Batu	38%	35%	33%
Total	100%	100%	100%

Perancangan campuran kadar aspal perkiraan (Pb) dalam *Asphalt Mix Design Method* (Asphalt Institute, 2014) diperoleh dengan metode grafis dan analitis melalui tabel hasil analisa saringan ukuran butir gradasi agregat. Gradasi gabungan agregat dalam Tabel 2 dan hasil kadar aspal perkiraan (Pb) Tabel 3.

Tabel 2. Kombinasi Gradasi Gabungan Agregat

Ukuran Saringan		Spesifikasi Umum 2018		Variasi Kadar Filler		
ASTM	Mm	Min.	Maks.	2%	5%	7%
1 ½"	37,4	100	100	100,00	100,00	100,00
1"	25	100	100	100,00	100,00	100,00
¾"	19	100	100	100,00	100,00	100,00
½"	12,5	100	100	100,00	100,00	100,00
3/8"	9,5	70,0	95,0	84,89	84,89	84,89
# 4	4,75	30,0	50,0	39,31	39,50	39,63
# 8	2,36	20,0	30,0	27,62	28,65	29,63
# 16	1,18	14,0	21,0	17,88	19,66	20,84
# 30	0,600	12,0	18,0	14,52	16,53	17,87
# 50	0,300	10,0	15,0	11,17	13,44	14,96
# 100	0,150	-	-	8,98	11,42	13,05
# 200	0,075	8,0	12,0	7,32	9,85	11,53

$$\text{Kadar Aspal Perkiraan (Pb)} = 0,035 (\% \text{ CA}) + 0,045 (\% \text{ FA}) + \text{K} (\% \text{ Filler}) + \text{F}$$

Pb = aspal perkiraan

CA = fraksi agregat yang tertahan saringan no. 8

FA = fraksi agregat yang lolos saringan no. 8 dan tertahan saringan no. 200

Filler = fraksi agregat yang lolos saringan no. 200

K = 0,15 untuk 11%-15% fraksi agregat lolos saringan no. 200

0,18 untuk 6%-10% fraksi agregat lolos saringan no. 200

0,20 untuk $\leq 5\%$ fraksi agregat lolos saringan no. 200

F = nilai konstanta berkisar antara 0% - 2%

Tabel 3. Hasil Kadar Aspal Perkiraan (Pb) Setiap Variasi *Filler*

Notasi	<i>Filler</i> 2%	<i>Filler</i> 3%	<i>Filler</i> 7%
CA	72,39	71,35	70,38
FA	21,31	18,8	18,02
<i>Filler</i>	7,34	9,85	11,60
K	0,18	0,18	0,15
F	2	2	2
Pb	6,82%	7,11%	7,01
Kadar Aspal Terpakai	7%	7%	7%

4. Rancangan penelitian kedua. Setelah ditemukan kadar *filler* terbaik sebagai campuran, kemudian dilakukan penelitian kembali penelitian kadar *filler* terbaik dengan kadar variasi campuran aspal sebesar 6 %, 6,5 %, 7 %, 7,5 % dan 8 %.
5. Pengujian Berat Jenis Campuran Maksimum Teoritis (GMM). Merupakan campuran beraspal yang belum dipadatkan untuk mengetahui berat jenis campuran tanpa pori udara atau rongga.
6. Pengujian *Marshall*. Pengujian ini mengacu pada (RSNI M-01, 2003) tentang metode pengujian campuran beraspal panas dengan menggunakan alat *marshall*. Ada 2 pengujian *marshall*, pertama pengujian *marshall* konvensional dengan durasi perendaman 30 menit dan pengujian *marshall immersion* atau pengujian stabilitas sisa *marshall*. Hasil pengujian *marshall* meliputi nilai VMA, VIM, VFA, *marshall quotient*, *marshall*, *flow* atau kelelehan, stabilitas, penyerapan aspal dan kadar aspal efektif. Nilai minimum dan maksimum pengujian telah disyaratkan oleh Spesifikasi Umum 2018 Pekerjaan Jalan dan Jembatan (Kemen PUPR Dirjen Bina Marga, 2018).
7. Pengujian terhadap Berat Jenis dan Rongga Agregat (VCA_{DRC} dan VCA_{MIX}). Pengujian yang bertujuan untuk menganalisis berat jenis campuran agregat dalam kondisi padat (*loose*) serta rongga diantara partikel baik agregat kasar, agregat halus atau campuran dari keduanya. Nilai VCA_{DRC} didapat dengan cara pemadatan pada campuran agregat kasar dengan metode *dry-rodded*. Sedangkan nilai VCA_{MIX} didapat melalui campuran agregat beraspal yang telah dipadatkan. Persyaratan nilai $VCA_{MIX} < VCA_{DRC}$ atau $(VCA_{MIX}/VCA_{DRC}) < 1$ (AASHTO R 46-08, 2012).
8. Pengujian *Draindown*. Dengan menggunakan keranjang *draindown* dan pengovenan selama 1 jam dengan suhu 200°C, Pengujian *draindown* bertujuan untuk mengetahui dalam campuran apakah ada pengaliran aspal atau tidak. Hal ini terjadi karena kadar aspal pada *stone matrix asphalt* relatif tinggi. Nilai pengujian *draindown* tidak boleh lebih dari 0,3% dari keseluruhan berat campuran (SNI 8129, 2015).

9. Pengujian Ekstraksi. Merupakan pengujian pemisahan antara satu, dua atau lebih campuran agregat dan aspal dengan cara menambahkan pelarut. terdapat 2 metode pengujian ekstraksi yaitu metode *centrifugal* dan *refluk*. Pengujian dengan metode sentrifugal secara mekanis dan waktu relatif lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan metode *refluk* (SNI 03-6894, 2002). Tujuan pengujian ekstraksi ialah mengetahui kandungan kadar aspal didalam campuran dan mengetahui gradasi agregat yang berada dalam campuran.
10. Penentuan Kadar Aspal Optimum atau disingkat KAO. Kadar aspal optimum diperoleh melalui pengujian dari *marshall* dengan menggabungkan seluruh hasil pengujian dalam satu grafik *narrow range*. Kadar aspal dapat diketahui dengan menjumlahkan minimum nilai VIM dan Maksimum VFA kemudian dibagi 2.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Penelitian Pertama Perencanaan Variasi Kadar *Filler*

3.1.1 Analisis Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik dari setiap agregat dilakukan di Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – DI Yogyakarta, berlokasi di Semarang. Adapun hasil pengujian karakteristik setiap agregat dapat dilihat dalam tabel 4, 5 dan 6.

Tabel 4. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Nilai	Keterangan
Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium Atau Magnesium Sulfat	%	Maks. 18	5,64	Memenuhi
Abrasi (<i>Los Angeles Machine, 500 Putaran</i>)	%	Maks. 30	21	Memenuhi
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	%	Min. 95	100	Memenuhi
Angularitas atau Butir Pecah Pada Agregat Kasar	%	Min. 100/90	100/100	Memenuhi
Partikel Pipih dan Lonjong (Perbandingan 1:5)	%	Maks. 5	1,11	Memenuhi
Berat Jenis			2,780	

Tabel 5. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Nilai	Keterangan
Nilai Setara Pasir	%	Min. 60	77,67	Memenuhi
Material Lolos Ayakan No.200	%	Maks. 1	0,141	Memenuhi
Angularitas	%	Min. 45	51,71	Memenuhi
Batas Cair (<i>Liquid Limit, LL</i>)	%	Maks. 25	-	Memenuhi

Indeks Plastis (<i>Plastic Index, PI</i>)	NP	NP	Memenuhi
Berat Jenis	2,757		

Tabel 6. Hasil Pengujian Karakteristik *Filler*

Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Nilai	Keterangan
Material Lolos Ayakan No.200	%	≥ 75	98,23	Memenuhi
Berat Jenis	2,915			

3.1.2 Analisis Karakteristik Bahan Perekat atau Aspal PG 82

Pengujian karakteristik aspal PG 82 dalam penelitian ini dilakukan di Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional DKI Jakarta – Jawa Barat, berlokasi di Cikampek. Hasil dari pengujian karakteristik aspal atau bahan perekat pada tabel 7.

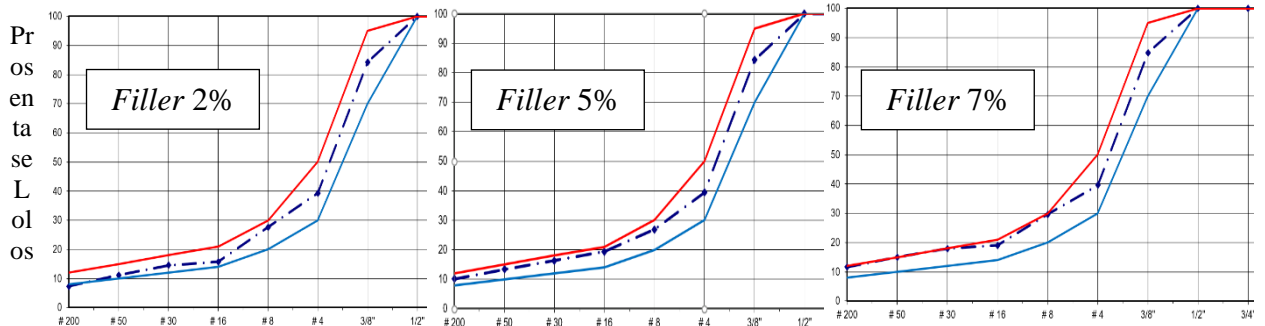
Tabel 7. Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Perekat atau Aspal

Pengujian	Satuan	Spesifikasi	Aspal PG 82	
			Nilai	Keterangan
A. Aspal Segar (<i>Original Binder</i>)				
Penetrasi Pada 25°C	0,1 mm	Dilaporkan	28,50	-
Titik Lembek	°C	Dilaporkan	67,80	-
Titik Nyala (COC)	°C	≥ 230	305,80	Memenuhi
Daktilitas	Cm	Dilaporkan	43,83	-
Kelarutan Dalam <i>Trichloroethylene</i>	%	≥ 99	99,16	Memenuhi
Berat Jenis Bitumen Keras	Gr/ml	$\geq 1,03$	1,053	Memenuhi
Stabilitas Penyimpanan (Perbedaan Titik Lembek)	°C	$< 2,2$	0,25	Memenuhi
Viskositas Kinematis Pada Suhu 135°C	Cst	≤ 3000	2672,20	Memenuhi
DSR <i>Original Binder Fail Temperature</i>	°C	Min. 82	86,20	Memenuhi
B. Residu Aspal Setelah RTFOT				
Kehilangan Berat (RTFOT)	%	$\leq 0,8$	-0,030	Memenuhi
Penetrasi Pada 25°C Setelah RTFOT	%	≥ 30	70,88	Memenuhi
Daktilitas Setelah RTFOT	Cm	Dilaporkan	14,00	-
DSR (RTFOT) <i>Fail Temperature</i>	°C	Min. 82	88,00	Memenuhi
C. Residu Aspal TFOT atau RTFOT Serelah PAV				
Temperatur yang Menghasilkan Geser Dinamis atau DSR PAV @ 5000 kPa	°C	Max. 31	28,20	Memenuhi

Fail Temperature

3.1.3 Hasil Analisa Saringan Gabungan Agregat dan Variasi Filler

Hasil pengujian analisa saringan dapat dilihat dalam gambar grafik 1.



Gambar 1. Grafik Analisa Saringan

3.1.4 Pengujian Terhadap Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat.

Tabel 8. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

No	Agregat	Bj. Curah (<i>Bulk</i>)	Bj. Semu (<i>Apparent</i>)	Penyerapan Air
1	Coarse Aggregate	2,638	2,780	1,928
2	Medium Aggregate	2,633	2,781	2,025
3	Abu Batu	2,600	2,750	2,093
4	Filler	2,762	2,910	1,833

3.1.5 Analisa Berat Jenis Gabungan Agregat.

Berat jenis gabungan agregat diperoleh setelah pengujian terhadap berat jenis setiap agregat. Tujuan penelitian mengetahui berat jenis ketika dalam satu campuran. Adapun Hasil analisa berat jenis gabungan agregat dalam tabel 9.

Tabel 9. Hasil Analisa Berat Jenis Gabungan Agregat

Uraian Analisa	Nilai
Berat Jenis Aspal	1,040
Bj. Curah (<i>Bulk</i>) Agregat Campuran	2,628
Bj. Semu (<i>Apparent</i>) Agregat Campuran	2,769
Bj. Efektif Agregat	2,691
Penyerapan Aspal Terhadap Total Agregat	0,934

Aspal Terserap oleh Agregat	0,467
Perkiraan Kadar Aspal Optimum	7,2
Perkiraan Kadar Aspal Efektif	6,37

3.1.6 Pengujian Berat Jenis Campuran Maksimum Teoritis (GMM).

Benda uji dalam pengujian berat jenis GMM menggunakan campuran agregat dengan aspal yang kemudian dilakukan pengvacuman dengan menggunakan compressor hingga luar botol picnometer mengembun. Hasil pengujian GMM variasi *filler* 2% menghasilkan nilai sebesar 2,453, variasi *filler* 5% sebesar 2,422 dan *filler* 7% sebesar 2,420.

3.1.7 Pengujian Berat Jenis dan Rongga dalam Agregat (VCA_{DRC} dan VCA_{MIX}).

Hasil pengujian 2 sampel uji VCA_{DRC} menghasilkan nilai rata-rata sebesar 38,43 dengan temperatur ruangan pada saat pengujian 29°C dan berat jenis *bulk* agregat kasar 2,633. Sedangkan hasil pengujian 3 sampel VCA_{MIX} variasi *filler* 2% sebesar 35,77, *filler* 5% sebesar 36,98, *filler* 7% sebesar 39,07. Adapun rasio hasil pengujian VCA_{DRC} dan VCA_{MIX} dapat dilihat dalam tabel 10.

Tabel 10. Rasio Hasil Pengujian VCA_{DRC} dan VCA_{MIX} Variasi Kadar *Filler*

Variasi Campuran	VCA _{MIX}	VCA _{DRC}	VCA _{MIX} /VCA _{DRC}	Spek.	Keterangan
<i>Filler</i> 2%	35,77	38,43	0,931	< 1	Memenuhi
<i>Filler</i> 5%	36,98		0,962		Memenuhi
<i>Filler</i> 7%	39,07		1,017		Tidak

3.1.8 Pengujian Sifat Campuran Setiap Variasi Sampel Dengan Metode Marshall.

Dengan menggunakan 3 sampel uji *marshall* setiap variasi *filler*, masing-masing dari sampel uji direndam dalam *waterbath* dengan durasi 30 menit dan suhu air rendaman sebesar 60°C. Adapun hasil pengujian dari *marshall* dapat dilihat dalam tabel 11.

Tabel 11. Hasil Pengujian Marshall Variasi Kadar *Filler*

Uraian Hasil		<i>Filler</i> 2%	<i>Filler</i> 5%	<i>Filler</i> 7%
Bj. <i>Bulk</i> Campuran		2,367	2,327	2,284
Bj. Campuran Maksimum Teoritis (GMM)		2,453	2,422	2,420
Rongga diantara Agregat (VMA)		16,22	17,67	19,11
Rongga didalam Campuran (VIM)		3,49	3,94	5,62
Rongga yang Terisi Aspal (VFA)		78,54	77,70	71,08
Stabilitas	Arloji	79,5	78	75,5

<i>Convert to Kg</i>	1267	1243	1203
Kelelahan Plastis (Flow)	3,45	3,45	3,43
Marshall Quotient	367,5	360,5	351,4
Kadar Aspal Efektif	5,69	6,20	6,23

3.1.9 Pengujian *Draindown*.

Persyaratan nilai pengujian *draindown* berdasarkan SNI 8129:2015 tidak boleh lebih dari 0,3% dari keseluruhan berat campuran. Dengan menggunakan keranjang uji *draindown* dan oven pemanas dengan suhu 200°C, pengujian *draindown* dilakukan selama 1 jam. Adapun hasil pengujian *draindown* setiap variasi *filler* dapat dilihat dalam tabel 12.

Tabel 12. Hasil Penujian *Draindown*

Variasi Campuran		<i>Filler</i> 2%	<i>Filler</i> 5%	<i>Filler</i> 7%
Suhu Pengovenan		200°C	200°C	200°C
Waktu Pengujian	Mulai	11:10	13:20	15:00
	Selesai	12:10	14:20	16:00
<i>Draindown</i>		0,000	0,000	0,028
Spesifikasi		< 0,3%		
Keterangan		Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

3.1.10 Analisis Hasil Penelitian Pertama Campuran Beraspal *Stone Matrix Asphalt* Variasi *Filler* 2%, 5% dan 7%.

Dengan melihat hasil beberapa pengujian, didapat hasil analisis penelitian pada tabel berikut:

Tabel 13. Analisis Hasil Pengujian Variasi *Filler* 2%, 5% dan 7%

No	Variasi <i>Filler</i>	Hasil Analisa
1	2%	Semua hasil pengujian pada variasi <i>filler</i> 2% telah memenuhi persyaratan kecuali pada pengujian analisa saringan. Nilai lolos pada saringan No.200 tidak memenuhi batas minimal dari spesifikasi yang telah ditentukan.
2	5%	Semua hasil pengujian pada variasi <i>filler</i> 5% memenuhi persyaratan yang telah ditentukan
3	7%	Hasil pengujian VCADRC dan VCAMIX variasi <i>filler</i> 7% menghasilkan nilai < 1 sehingga tidak memenuhi persyaratan. Nilai VIM pengujian <i>marshall</i> pada variasi <i>filler</i> 7% menghasilkan

nilai yang melebihi batas maksimal ketentuan, sehingga tidak memenuhi persyaratan.

Kesimpulan Variasi kadar *filler* 5% merupakan variasi *filler* terbaik sebagai campuran beraspal *stone matrix asphalt*.

3.2 Penelitian Kedua Variasi *Filler* Terbaik Terhadap Variasi Aspal Sebesar 6 %, 6,5 %, 7 %, 7,5 % dan 8 %.

Setelah didapatkan kadar *filler* terbaik sebagai campuran, penelitian kedua mengkaji variasi kadar aspal sebagai campuran sehingga didapatkan variasi kadar aspal terbaik sebagai campuran. Adapun hasil pengujian analisis karakteristik agregat, karakteristik aspal, analisa saringan, pengujian VCA_{DRC} dan berat jenis baik berat jenis, penyerapan agregat atau berat jenis gabungan agregat dapat dianalisa dalam tabel hasil pengujian sebelumnya.

3.2.1 Prosentase Kebutuhan Agregat Penelitian Kedua

Adapun prosentase kebutuhan agregat sebagai campuran dapat dilihat dalam tabel 14.

Tabel 14. Prosentase Kebutuhan Agregat Variasi Kadar Aspal

Bahan Penyusun	Prosentase <i>Filler</i> 5%	Variasi Kadar Aspal				
		6%	6,5%	7%	7,5%	8%
<i>Coarse Aggregate</i>	5%	4,70%	4,68%	4,65%	4,63%	4,60%
<i>Medium Aggregate</i>	55%	51,70%	51,43%	51,15%	50,88%	50,60%
Abu Batu	35%	32,90%	32,73%	32,55%	32,38%	32,20%
<i>Filler</i>	5%	4,70%	4,68%	4,65%	4,63%	4,60%
Aspal	-	6,00%	6,50%	7,00%	7,50%	8,00%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

3.2.2 Pengujian Berat Jenis Campuran Maksimum Teoritis (GMM)

Hasil pengujian GMM *filler* terbaik dengan variasi aspal dalam tabel 15.

Tabel 15. Hasil Pengujian GMM Variasi Kadar Aspal

<i>Filler</i> 5%	Kadar Variasi Aspal				
	6%	6,5%	7%	7,5%	8%
GMM	2,450	2,434	2,422	2,410	2,400

3.2.3 Pengujian VCA_{DRC} dan VCA_{MIX}

Pengujian VCA_{DRC} sebelumnya telah diuji dan menghasilkan nilai sebesar 38,43. Adapun rasio hasil pengujian VCA_{DRC} dan VCA_{MIX} variasi kadar aspal dapat dilihat dalam tabel 16.

Tabel 16. Rasio Hasil dari Pengujian VCA_{DRC} dan VCA_{MIX} Variasi Kadar Aspal

Variasi Campuran	VCA _{MIX}	VCA _{DRC}	VCA _{MIX} /VCA _{DRC}	Spek.	Keterangan
Aspal 6%	37,64	38,43	0,979	< 1	Memenuhi
Aspal 6,5%	37,29		0,970		Memenuhi
Aspal 7%	36,93		0,960		Memenuhi
Aspal 7,5%	36,77		0,956		Memenuhi
Aspal 8%	36,57		0,951		Memenuhi

3.2.4 Pengujian Sifat Campuran Setiap Variasi Kadar Aspal menggunakan Metode Marshall

Hasil pengujian *marshall* setiap variasi aspal dalam tabel 17.

Tabel 17. Hasil Pengujian *Marshall* Variasi Kadar Aspal

Uraian Hasil		6%	6,5%	7%	7,5%	8%
Bj. Bulk Campuran		2,301	2,314	2,327	2,336	2,341
Bj. Campuran Maksimum Teoritis (GMM)		2,450	2,434	2,422	2,410	2,400
Rongga diantara Agregat (VMA)		17,69	17,66	17,64	17,79	18,05
Rongga dalam Campuran (VIM)		6,09	4,93	3,90	3,11	2,47
Rongga Terisi Aspal (VFA)		65,58	71,98	77,90	82,54	86,34
Stabilitas	Arloji	70,6	73,6	78,6	80,6	80
	<i>Convert to Kg</i>	1126	1174	1254	1286	1275

Kelelahan Plastis (Flow)	3,07	3,27	3,47	3,50	3,63
Marshall Quotient	367,5	359,6	361,8	367,6	351,5
Kadar Aspal Efektif	5,29	5,77	6,20	6,61	7,01

3.2.5 Pengujian *Draindown*

Hasil pengujian *draindown* setiap variasi prosentase aspal dapat dalam tabel 18.

Tabel 18. Hasil Pengujian *Draindown* Setiap Variasi Kadar Aspal

Variasi Campuran		6 %	6,5 %	7 %	7,5 %	8 %
Suhu Pengovenan		200°C	200°C	200°C	200°C	200°C
Waktu Pengujian	Mulai	10:00	14:15	13:20	14:00	10:20
	Selesai	11:00	15:15	14:20	15:00	11:20
<i>Draindown</i>		0,000	0,000	0,000	0,000	0,048
Spesifikasi		< 0,3%				
Keterangan		Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

3.2.6 Pengujian Ekstraksi

Pengujian ekstraksi bertujuan mengetahui kandungan prosentase aspal campuran. Pengujian ekstraksi dalam penelitian menggunakan metode *centrifugal* dengan menggunakan alat ekstraksi *electric centrifuge extraction*. Adapun hasil dari pengujian ekstraksi dalam tabel 19.

Tabel 19. Hasil Pengujian Ekstraksi Variasi Kadar Aspal

Pengujian	Kadar Variasi Aspal				
	6 %	6,5 %	7 %	7,5 %	8 %
Hasil Ekstraksi	5,98%	6,52%	7,02%	7,47%	7,92%
Keterangan	Kadar aspal yang terkandung dalam campuran sesuai dengan perencanaan				

3.2.7 Analisis Penelitian Kedua Variasi Kadar Aspal dengan *Filler* Terbaik

Adapun hasil analisis dari penelitian yang kedua dalam tabel 20.

Tabel 20. Hasil Analisis Pengujian Variasi Kadar Aspal

No	Variasi Aspal	Hasil Analisa
1	6%	Nilai VIM pada pengujian <i>marshall</i> tidak memenuhi persyaratan
2	6,5%	Semua hasil pengujian memenuhi persyaratan yang telah ditentukan.

3	7%	Semua hasil pengujian memenuhi persyaratan yang telah ditentukan dan menghasilkan range nilai ditengah-tengah diantara pengujian variasi lain.
4	7,5%	Semua hasil pengujian memenuhi persyaratan yang telah ditentukan.
5	8%	Nilai VIM pada pengujian <i>marshall</i> tidak memenuhi persyaratan
Kesimpulan		Variasi Aspal 7% merupakan prosentase variasi aspal terbaik sebagai campuran beraspal <i>stone matrix asphalt</i> .

3.2.8 Penentuan Prosentase Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berlandaskan pengujian karakteristik campuran dengan metode *marshall*, KAO diperoleh dari penjumlahan nilai minimum VIM dengan nilai maksimum VFA kemudian dibagi 2. Nilai minimum VIM yang memenuhi persyaratan dalam penelitian pada prosentase aspal sebesar 7,5%. Sedangkan maksimum nilai VFA sebesar 6,5%. Maka diperoleh nilai KAO sebesar 7%.

3.2.9 Pengujian dari Stabilitas *Marshall* Sisa Variasi pada *Filler* dan Aspal Terbaik

Nilai minimum stabilitas *marshall* sisa berdasarkan spesifikasi umum 2018 sebesar 90%. Nilai stabilitas *marshall* sisa merupakan hasil bagi antara nilai stabilitas benda uji *marshall* perendaman 30 menit dengan 24 jam. Adapun hasil pengujian dari stabilitas *marshall* sisa dalam tabel 21.

Tabel 21. Hasil Pengujian Stabilitas *Marshall* Sisa

Uraian Hasil	Perendaman 30 menit	Perendaman 24 jam
Bj. Bulk Campuran	2,327	2,326
Bj. Campuran Maksimum Teoritis (GMM)	2,422	2,422
Rongga diantara Agregat Campuran (VMA)	17,58	17,68
Rongga didalam Campuran (VIM)	3,90	3,95
Rongga Terisi Aspal (VFA)	73,05	77,68
Stabilitas	Arloji	72,6
	<i>Convert to Kg</i>	1158
Kelelahan Plastis (Flow)	3,47	3,87
<i>Marshall Quotient</i>	361,8	299,6

Kadar Aspal Efektif	6,17	6,20
----------------------------	------	------

Nilai Stabilitas Marshall Sisa $(1158 \div 1254) \times 100$	92,37% > 90% (Memenuhi)
--	-----------------------------------

4. Kesimpulan

Melihat hasil pengujian dan grafik narrow range, variasi filler 5% dengan kadar aspal 7% merupakan variasi kadar terbaik sebagai campuran. Nilai pengujian variasi filler 5% dengan kadar aspal 7% berada ditengah-tengah dari hasil pengujian variasi yang lainnya. Pengaruh abu batu kapur sebagai filler stone matrix asphalt yaitu semakin naik prosentase filler maka menghasilkan nilai VIM atau rongga udara didalam campuran dan VMA atau rongga didalam agregat cenderung naik. Sedangkan nilai VFA (rongga yang terisi aspal), nilai stabilitas atau kemampuan perkerasan dalam menerima beban sampai terjadi kelelahan, flow dan marshall quotientnya cenderung turun.

Daftar Pustaka

- AASHTO R 46-08. (2012). *Designing Stone Matrix Asphalt (SMA)* (Vol. 1).
- Afandi, F. (2021). Campuran Beraspal Panas Jenis SMA. *Campuran Beraspal Panas Jenis SMA, 1(SMA)*, 3.
- Asphalt Institute. (2014). *Asphalt mix design methods*. (7th ed., Vol. 7).
- Gregorius Lake, A., Djakfar, L., Zaika, Y., Negeri, P., & Ntt, K. (2010). Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt dengan Beberapa Material dari Kalimantan. *REKAYASA SIPIL*, 4(3).
- Juara, A., & Mahmudati, R. (n.d.). *Evaluasi Tingkat Kerusakan Jalan Sebagai Dasar Penentuan Perbaikan Jalan Dengan Menggunakan Metode Bina Marga (Studi Kasus Ruas Jalan Lingkar Utara antara Madukoro - Sojokerto Wonosobo)*.
- Kemen PUPR Dirjen Bina Marga. (2017). *MANUAL PERKERASAN JALAN* (Vol. 1).
- Kemen PUPR Dirjen Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)* (2nd ed., Vol. 2).
- Lestari, W., Agus Setiawan, B., & Faqih, N. (n.d.). *Analisa Kerusakan Jalan Pada Ruas Jalan Garung Pasar - TPR Dengan Metode PCI dan Bina Marga*.
- Priskila Supit, F., Mangontan, R., & Alpius. (2021). Pemanfaatan Limbah Nikel Sorowako Dalam Campuran Stone Matrix Asphalt Kasar. *Stone Matrix Asphalt, 1(SMA)*, 1. <http://ojs.ukipaulus.ac.id/index.php/pcej>
- Rif'an, A. (2016). *PENGEMBANGAN CAMPURAN SPLIT MASTIC ASPHALT MENGGUNAKAN BAHAN RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT DAN IJUK*.
- RSNI M-01. (2003). Metode pengujian campuran beraspal panas dengan alat marshall. *Marshall, 1(Marshall)*, 1.

- Sari, K. P., Latif, I., & Suparma, B. (2013). PERANCANGAN LABORATORIUM CAMPURAN SPLIT MASTIC ASPHALT DENGAN MENGGUNAKAN BUTON NATURAL ASPHALT BLEND 75:25. *Stone Matrix Asphalt, I(SMA)*, 1.
- SNI 03-6894. (2002). Metode Pengujian Kadar Aspal dan Campuran Beraspal dengan Cara Sentrifus. *Sentrifus, I(Sentrifus)*, 1.
- SNI 8129. (2015). *Standar Nasional Indonesia Spesifikasi stone matrix asphalt (SMA)* (Vol. 1). www.bsn.go.id
- Tahir, A., Mashuri, & Arifin, S. (2018). Karakteristik Draindown Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) yang Menggunakan filler Abu-Batu dan Semen. *Stone Matrix Asphalt, I(SMA)*, 5.
- Timbonga, C. F., Alpius, & Radjawane, L. E. (2021). Pemanfaatan Batu Gunung Limbong Kecamatan Rantepao dalam Campuran Stone Matrix Asphalt Kasar. *Maret*, 3(1), 1. <http://ojs.ukipaulus.ac.id/index.php/pcej>
- Utami, P. D. (2018). *Tesis Perancangan Laboratorium Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) Menggunakan Aspal Shell Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi Elvaloy*. <http://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/158456>
- UU RI No.38. (2004). *Undang-undang Republik Indonesia*