

ANALISIS KARAKTERISTIK CAMPURAN STONE MATRIX ASPHALT (SMA) DENGAN SERAT SELULOSA SERABUT KELAPA

I Gusti Raka Purbanto¹, I Nyoman Arya Thanaya¹, Ni Kadek Sri Sentana Dewi¹

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar

Email: rakapurbanto@gmail.com

Abstrak : Campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) atau *Split Mastic Asphalt*, yaitu beton aspal campuran panas yang memaksimalkan penggunaan agregat kasar dan kadar aspal yang tinggi kemudian diisi oleh mastik aspal yaitu campuran agregat halus, *filler*, aspal dan serat selulosa yang berfungsi untuk mengurangi pengaliran aspal yang disebabkan oleh kadar aspal yang tinggi. Pada penelitian ini menggunakan serat serabut kelapa sebagai pengganti serat selulosa sintetik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik campuran SMA yang menggunakan serat serabut kelapa. Dilakukan pengujian material terlebih dahulu pada agregat kasar, agregat halus, *filler*, aspal, dan serat serabut kelapa sesuai prosedur SNI. Setelah itu dilakukan pengujian *Marshall* untuk memperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO). Selanjutnya dibuat benda uji kembali pada KAO dengan variasi kadar serabut kelapa yakni 0,2% ; 0,3% ; 0,4% terhadap berat total campuran. Diperoleh KAO sebesar 7,25% kadar serabut kelapa optimum 0,3% dimana nilai *Marshall* diperoleh sebesar 1154,85 kg (>600 kg), nilai *Marshall* Sisa yakni 96,57% ($\geq 90\%$). Sifat *Marshall* yang lainnya telah memenuhi Spesifikasi Umum 2018 Kementerian PUPR. Nilai *Cantabro Abrasion Loss* (CAL) yakni 2,1% ($\leq 16\%$). Nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) yakni 110,22 kPa. Pengujian pengaliran aspal (*Drain-down*) 0,021% ($\leq 0,3\%$) sedangkan untuk benda uji yang tidak ditambahkan serabut diperoleh nilai 2,09%.

Kata kunci : *Stone Matrix Asphalt* (SMA), serabut kelapa, *rain-down*

ANALYSIS OF MIXED STONE MATRIX ASPHALT (SMA) CHARACTERISTICS WITH COCONUT FIBER

Abstract: Mixture of *Stone Matrix Asphalt* (SMA) or *Split Mastic Asphalt*, namely hot mix asphalt concrete that maximizes the use of coarse aggregate and high bitumen content then filled with asphalt mastic, namely a mixture of fine aggregate, filler, asphalt and cellulose fibers which function to reduce the flow of asphalt which is caused by high bitumen content. In this study, coconut fibers were used as a substitute for synthetic cellulose fibers. This study aims to analyze the characteristics of the SMA mixture using coconut fiber. Material testing was carried out first on coarse aggregate, fine aggregate, filler, asphalt, and coconut fiber according to SNI procedures. After that, the *Marshall* testing was carried out to obtain the *Optimum Asphalt Content* (OAC). Furthermore, the test object was made back on OAC with 3 variations of coconut fiber content, namely 0.2%; 0.3%; 0.4% by weight of the total mixture. The OAC obtained was 7.25%, the optimum coconut fiber content was 0.3%, where the *Marshall* value was 1154.85 kg (>600 kg), the remaining *Marshall* value was 96.57% ($\geq 90\%$). *Marshall's* other characteristics have met the 2018 General Specifications 2018 of the Ministry of Public Works and Community housings. The value of *Cantabro Abrasion Loss* (CAL) is 2.1% ($\leq 16\%$). The value of *Indirect Tensile Strength* (ITS) namely 110.22 kPa. The asphalt flow test (*Drain-down*) was 0.021% ($\leq 0.3\%$) while for the test object that was not added with fibers the value was 2.09%.

Keywords: *Stone Matrix Asphalt* (SMA), coconut fiber, *drain-down*

PENDAHULUAN

Campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) atau dikenal juga dengan *Split Mastic Asphalt* (SMA), yaitu beton aspal campuran panas yang memaksimalkan penggunaan agregat kasar dan kadar aspal yang tinggi dan diisi oleh mastik aspal yaitu campuran agregat halus, filler dan aspal serta dengan bahan tambahan berupa serat selulosa untuk mengurangi pengaliran aspal yang disebabkan oleh kadar aspal yang tinggi. Di Indonesia, campuran SMA masih sangat jarang digunakan dan untuk memperoleh serat selulosa sintetik terbilang cukup sulit. Oleh karena itu, pada penelitian ini menggunakan serat serabut kelapa sebagai pengganti serat selulosa sintetik. Untuk mengetahui pengaliran aspal yang terjadi dilakukan dengan pengujian drain down. Beberapa penelitian terkait topik sejenis yaitu Bidhu and Beena (2014) meneliti mengenai pengaliran aspal pada campuran SMA yang ditambahkan serabut kelapa, serat sisal, dan serat pisang sebagai bahan additives dimana hasil yang diperoleh yakni secara berturut-turut yakni 0%, 0,012%, dan 0,014%. Wan et al. (2014) meneliti mengenai kinerja campuran SMA yang ditambahkan tipe-tipe serat tertentu diantaranya serat lignin, serat mineral, dan serat polyester dari penelitian tersebut diperoleh nilai VMA secara berurutan 16,8%, 16,5%, 16,8%. Nilai VFA yakni 77,4%, 76,3%, 77,3%. Nilai stabilitas berturut-turut 11,18 kN, 12,55 kN, 11,96 kN. Nilai *flow* yaitu 2,97%, 2,85%, 2,90%. Untuk nilai pengaliran aspal yang diperoleh yakni 0,03%, 0,05%, dan 0,07%. Sedangkan untuk pengujian *Cantabro Abrasion Loss (CAL)* yaitu 2,8%, 2,4% dan 2,6%. Lubis (2019) meneliti mengenai pengaruh penggunaan serat serabut kelapa sebagai bahan penambah serat selulosa pada Campuran Split Mastic Asphalt namun pada penelitian ini hanya menguji karakteristik marshall campuran, dimana diperoleh nilai stabilitas sebesar 752 kg, *Bulk Density* 2,232 gr/cc, *flow* 2,56 mm, VIM 4,81%, dan VMA sebesar 17,04%. Penggunaan serat serabut kelapa sebagai bahan pengganti serat selulosa sintetik dikarenakan di Indonesia sendiri sangat mudah menemukan serabut kelapa dan harganya pun tergolong terjangkau. Selain itu tujuan penelitian ini untuk mengetahui kualitas serat serabut kelapa sebagai pengganti serat selulosa sintetik untuk

Campuran SMA sesuai dengan Spesifikasi (Kementerian PUPR, 2018).

Stone Matrix Asphalt (SMA)

Campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) adalah campuran beraspal panas atau dikenal juga dengan *Split Mastic Asphalt* (SMA), yaitu beton aspal campuran panas yang memaksimalkan penggunaan agregat kasar dan kadar aspal yang tinggi dan diisi oleh mastik aspal yaitu campuran agregat halus, filler dan aspal serta dengan bahan tambahan berupa serat selulosa untuk mengurangi pengaliran aspal yang disebabkan oleh kadar aspal yang tinggi. Menurut Sukirman (2013) *Split Mastic Asphalt* (SMA) adalah beton aspal bergradasi terbuka dengan selimut aspal yang tebal. Campuran ini menggunakan bahan tambahan berupa *fiber* selulosa yang berfungsi untuk meningkatkan stabilitas campuran dan memiliki kadar aspal yang tinggi (Collins, 1996 dan Musofa, 2016).

Serat Selulosa

Serat selulosa yang ditambahkan ke dalam campuran, sekitar 0,3% terhadap total campuran sehingga dapat mencegah terjadinya *drain-down* (Kementerian PUPR, 2018). Pada umumnya serat selulosa dapat ditemukan hampir di seluruh bagian tanaman. Serabut kelapa merupakan salah satu jenis serat selulosa alami yang dapat digunakan sebagai pengganti serat selulosa sintetik. Serat selulosa alami lainnya antara lain serat ijuk, serat daun pandan, serat prasok, serat daun nanas, dan lain-lain (Alibaba, 2020 dan Ibeng 2021).

METODE PENELITIAN

Persiapan alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini menggunakan fasilitas di Laboratorium Jalan Raya Prodi Sarjana Teknik Sipil Universitas Udayana. Adapun bahan yang digunakan meliputi agregat dan aspal diperoleh di PT. Probicindo, Selemadeg, Tabanan, Bali. Sedangkan serabut kelapa diperoleh di Pasar Pudak, Batubulan Guanyar Bali.

Pengujian Awal, Pembuatan Benda Uji, dan Pengujian sampel

Pada penelitian ini dilakukan pengujian material terlebih dahulu pada agregat

kasar, agregat halus, *filler*, aspal, dan serat serabut kelapa. Setelah itu dilakukan pengujian marshall untuk memperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) yakni sebesar 7,25%. Selanjutnya dibuat benda uji kembali pada KAO dengan 3 variasi kadar serabut kelapa yakni 0,2% ; 0,3% ; 0,4% terhadap berat total campuran. Kemudian dilakukan Pengujian stabilitas marshall sisa (IRS), Pengujian *Cantabro Abrasion Loss* (CAL), Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS), dan Pengujian Pengaliran Aspal (*Drain-down*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat

Hasil uji agregat disajikan pada Tabel 1. Dari pengujian agregat kasar, halus dan filler memenuhi Spesifikasi (Kementerian PUPR, 2018).

Tabel 1. Hasil pengujian agregat kasar, halus dan filler

Jenis Pengujian	Hasil	Spec
Agregat Kasar		
Berat Jenis & Penyerapan Agregat Kasar	Bulk 2,58	-
	SSD 2,66	-
	Apparent 2,79	-
	Penyerapan 2,89 %	Maks. 3 %
Agregat Halus		
Berat Jenis & Penyerapan Agregat Halus	Bulk 2,54	-
	SSD 2,56	-
	Apparent 2,59	-
	Penyerapan 0,8 %	Maks. 3 %
<i>Sand Equivalent</i>	80,5 %	Min. 60%.
Filler		
Berat jenis <i>filler</i>	2,44%	-

Hasil Uji Aspal

Hasil uji aspal ditunjukkan pada Tabel 2. Dimana hasil uji memenuhi spesifikasi.

Tabel 2. Hasil pengujian aspal

Pengujian	Hasil	Spesifikasi
Penetrasi	66,3	60 – 70
Titik Nyala & Bakar	254°C	≥ 232°C
Titik Lembek	49°C	≥ 48 °C
Berat Jenis	1,092	Min. 1,0
Daktilitas	150 cm	Min. 100 cm
Kehilangan Berat Aspal	0,587 %	Maks. 0,8 %

Hasil Pengujian Serat Selulosa (Serabut Kelapa)

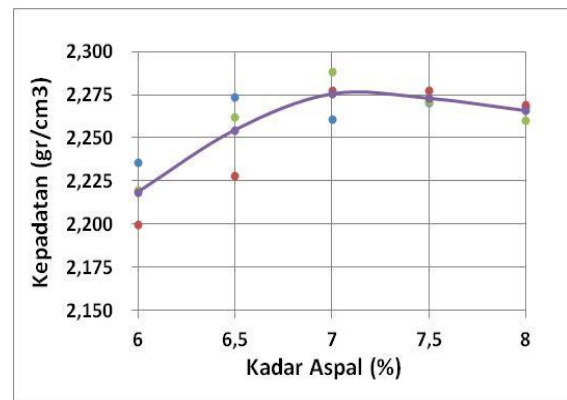
Yang diuji adalah kadar sirnya, seperti disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Serat Serabut Kelapa

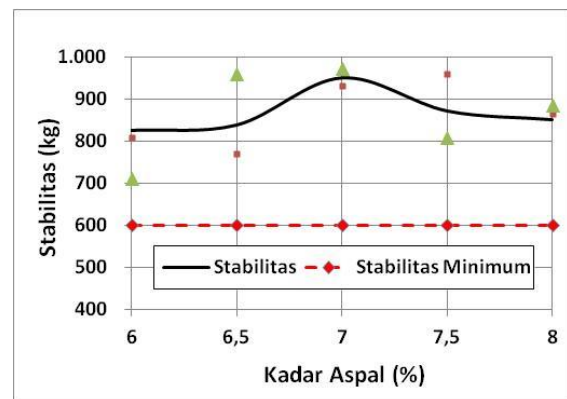
Pengujian	Hasil	Spesifikasi
Kadar Air	1,523%	≤5%

Hubungan Kadar Aspal dengan Kepadatan dan Karakteristik Marshall

Hasil ini disajikan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Grafik hubungan kadar aspal dengan kepadatan



Gambar 2. Grafik hubungan kadar aspal dengan stabilitas

Pada Gambar 1 terlihat pada nilai kadar aspal 6% hingga 7% memiliki nilai kepadatan yang meningkat, karena semakin tinggi kadar aspal maka campuran semakin mudah dipadatkan sehingga mencapai maksimum.

Namun, pada kadar aspal 7,5% grafik kepadatan menurun dikarenakan kadar aspal yang semakin tinggi menyebabkan berat jenis campuran semakin rendah. Berat jenis *bulk* atau kepadatan campuran juga memiliki pengaruh terhadap harga satuan, dimana jika memakai material yang berat jenisnya tinggi akan mendapatkan berat campuran pada setiap satuan volume (berat jenis bulk campuran) yang relatif lebih tinggi. Sehingga harga dalam satuan pembayaran dari campuran hotmix aspal yang di bayar akan lebih menguntungkan.

Gambar 2 menunjukkan stabilitas maksimum yang diperoleh pada penelitian ini terdapat pada kadar aspal 7%. Dimana nilai stabilitas meningkat dari kadar aspal 6% hingga 7% lalu menurun hingga kadar aspal 8%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa

Karakteristik Campuran SMA

Karakteristik ini disajikan pada Tabel 4 dimana diperlihatkan hasil uji untuk semua karakteristik yang diperlukan. Untuk penentuan kadar aspal optimum disajikan dengan barchart pada Gambar 3.

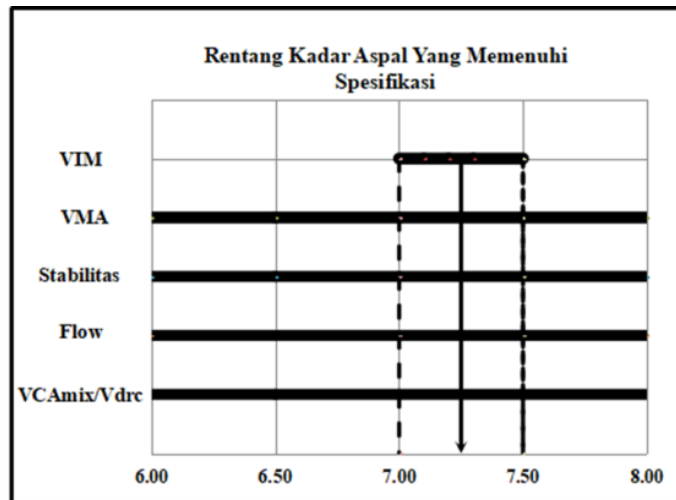
pada kadar aspal yang rendah material pada campuran cenderung kaku dan sulit dipadatkan sehingga sifat saling menguncinya berkurang. Pada kadar aspal yang mendekati optimum nilai stabilitas mencapai maksimum karena *interlock* antaragregat semakin baik. Lalu menurun di kadar aspal 7,5% dan 8% dikarenakan penggunaan aspal berlebih sehingga aspal tidak efektif dalam menyelimuti agregat. Semakin tebal selimut aspal, *interlock* antaragregat semakin berkurang dan campuran akan semakin plastis.

Hubungan kadar aspal dengan Karakteristik Marshall lainnya selain stabilitas yang sudah dihitung disajikan lebih lanjut pada Tabel 4.

Tabel 4. Karakteristik Campuran SMA

Karakteristik Marshall		Kadar aspal (%)					Spesifikasi
		6	6,5	7	7,5	8	
Stabilitas	(Kg)	825.40	838.20	963.75	871.72	857.40	Min. 600
Flow	(mm)	2.88	3.13	3.47	3.64	3.89	2 - 4,5
VIM Marshall	(%)	8.16	6.22	4.80	4.10	3.75	4,0-5,0
VMA	(%)	18.23	17.48	17.12	17.66	18.23	Min. 17
VCAmix/Vdrc	(%)	0.96	0.95	0.94	0.93	0.93	Max. 1

Sesuai Gambar 3, kadar aspal optimum campuran SMA diperoleh 7,25%, seperti disajikan. Diperoleh hasil yang sedikit diatas kadar aspal estimasi awal yaitu 7%. Nilai tersebut lebih besar dibandingkan penelitian Lake dkk. (2010) dan Juniartha (2015), sesuai dengan karakteristik agregat yang dipakai.



Gambar 3. Grafik penentuan kadar aspal optimum

Hubungan Kadar Serabut Kelapa dengan Kepadatan

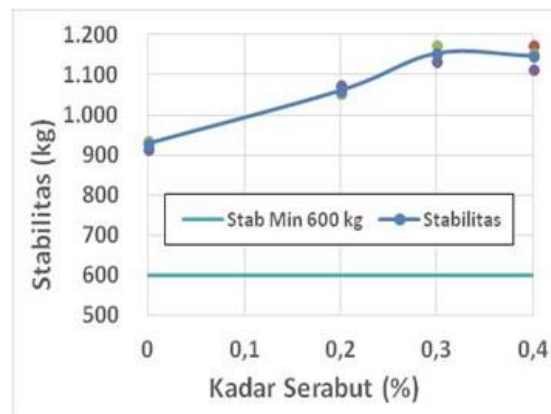
Hubungan ini disajikan pada Gambar 4 yang menunjukkan nilai kepadatan yang cenderung sama seiring bertambahnya kadar serabut kelapa. Nilai kepadatan yang diperoleh lebih besar dibandingkan penelitian Lubis (2019).



Gambar 4. Hubungan kadar serabut kelapa dengan kepadatan

Hubungan Kadar Serabut Kelapa Dengan Stabilitas

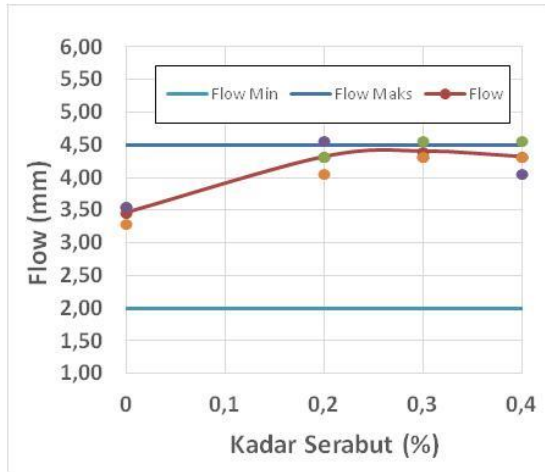
Pada Gambar 5 diperoleh nilai stabilitas yang cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kadar serabut.



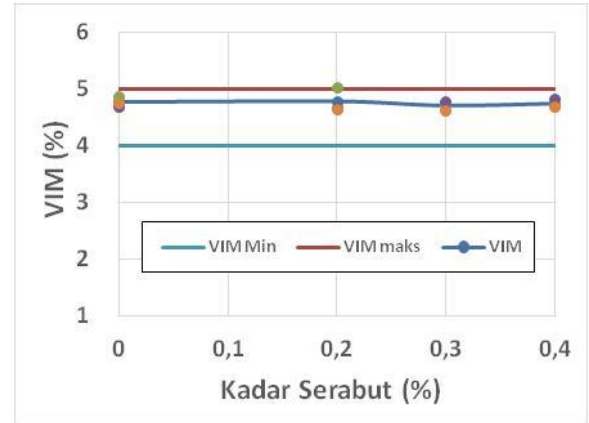
Gambar 5. Hubungan kadar serabut kelapa dengan stabilitas

Hubungan Kadar Serabut Kelapa dengan Flow dan Marshal Quotient

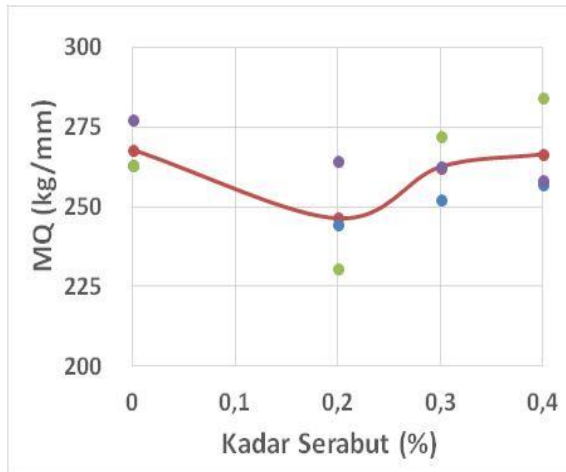
Nilai flow disajikan pada Gambar 6. Sampel tanpa serat (kadar serat 0%) memiliki nilai flow yang lebih rendah dari nilai flow pada sampel yang ditambahkan serat pada kadar 0,2%, 0,3%, dan 0,4%. Dari kecenderungan data, kadar serat selebihnya tidak memberi perubahan signifikan. Nilai flow yang diperoleh lebih besar dibandingkan dengan penelitian (Lubis, 2019). Pada Gambar 8 disajikan perubahan nilai *Marshall Quotient* pada setiap variasi pertambahan kadar serabut sesuai dengan perubahan nilai stabilitasnya.



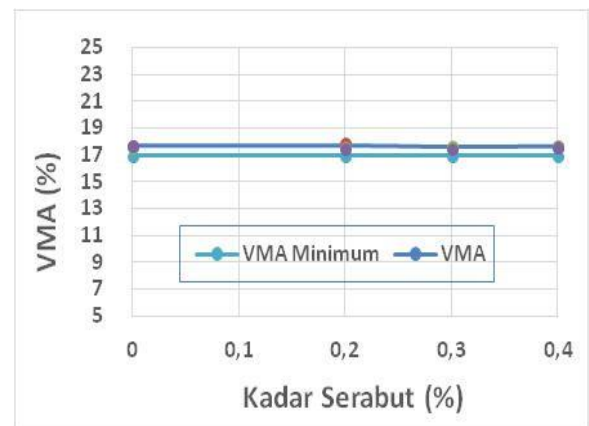
Gambar 6. Hubungan kadar serat serabut kelapa dengan Flow



Gambar 8. Hubungan kadar serat serabut dengan VIM



Gambar 7. Hubungan kadar serat kelapa dengan Marshall Quotient



Gambar 9. Hubungan kadar serat serabut dengan VMA

Hubungan Kadar Serabut Kelapa dengan VIM dan VMA

Gambar 8 menunjukkan, bertambahnya kadar serat serabut kelapa, tidak mengakibatkan perubahan nilai VIM yang signifikan, sejalan dengan kepadatan pada Gambar 4. Gambar 8 dan 9 menunjukkan bahwa nilai VIM dan VMA tidak mengalami perubahan yang signifikan dengan bertambahnya kadar serat serabut. Nilai VIM dan VMA pada sampel yang ditambahkan serat serabut kelapa seluruhnya memenuhi spesifikasi. Nilai VIM dan VMA yang diperoleh lebih besar dibandingkan dengan penelitian Lubis (2019).

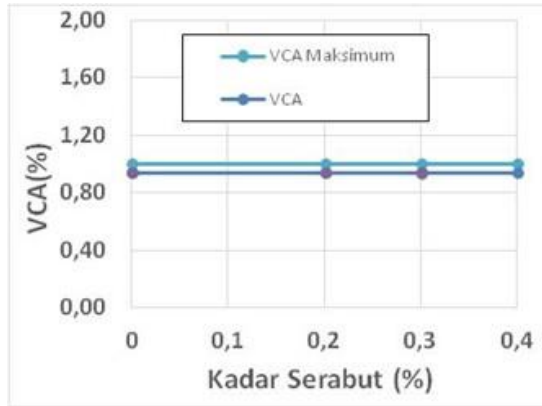
Hubungan Kadar Serabut Kelapa dengan VFB dan VCA

Gambar 10 menunjukkan tidak terjadinya perubahan nilai VFB yang signifikan terhadap penambahan variasi kadar serabut.



Gambar 10. Hubungan kadar serat serabut dengan VFB

Pada Gambar 11 tidak terjadi perubahan nilai Voids in Coarse Aggregate (VCA) terhadap penambahan kadar serabut hal ini karena VCA merupakan kontak antar agregat kasar, oleh sebab itu kadar serabut tidak mempengaruhi nilai VCA.



Gambar 11. Hubungan kadar serat serabut dengan VCA

Penentuan Nilai Stabilitas Marshal Sisa (IRS) Untuk Campuran SMA pada KAO

Hasil pengerjaan laboratorium menunjukkan nilai stabilitas *Marshall* pada rendaman 30 – 40 menit (60°C) dapat dilihat pada Tabel 5. Nilai IRS yang diperoleh cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kadar serat serabut kelapa hal ini dikarenakan serat serabut kelapa yang merupakan pengganti serat selulosa sintetis berfungsi untuk menstabilkan aspal serta meningkatkan durabilitas campuran beton aspal. Sehingga serat serabut kelapa cenderung meningkatkan nilai indeks marshall sisa (IRS).

Tabel 5. Hasil uji stabilitas sisa (IRS)

No	Kadar Aspal	Kadar Serabut	MSI (Perendaman 24 jam)	MSS (Perendaman 30 menit)	IRS (Indeks of Retained Strength)	Spesifikasi
	%	%	Kg	Kg	%	%
1	7.25	0	935.82	995.56	94	≥90%
2	7.25	0.2	1024.87	1061.93	96.51	≥90%
3	7.25	0.3	1115.31	1154.85	96.57	≥90%
4	7.25	0.4	1137.91	1161.48	96.47	≥90%

Karakteristik Campuran SMA dengan Serat Serabut Kelapa pada Uji Cantabro

Uji Cantabro dikerjakan dikondisi normal tanpa direndam. *Cantabro Abrasion Loss* (CAL) dihitung dengan membandingkan berat benda uji mula-mula dengan berat setelah diadakan pengujian. Spesifikasi yang direkomendasikan untuk nilai CAL maksimum 16% (Hamzah et al., 2010). Nilai uji *Cantabro* yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 6. Pelepasan butir yang terjadi akibat pengujian Cantabro semakin kecil seiring pertambahan kadar serabut kelapa hal ini dikarenakan serabut kelapa sebagai serat selulosa akan membentuk struktur jaring yang menstabilkan kadar aspal dalam campuran dan mencegah pemisahan dan sedimentasi komponen formulasi.

Tabel 6. Hasil Pengujian *Cantabro Abrasion Loss* (CAL)

No	Kadar Aspal	Kadar Serabut	CAL	Maksimum
	%	%	%	%
1	7.25	0	3.208	16
2	7.25	0.2	3.173	16
3	7.25	0.3	2.132	16
4	7.25	0.4	2.040	16

Karakteristik Campuran SMA dengan Serat Serabut Kelapa pada Uji ITS

Pengujian ITS (*Indirect Tensile Strength Test*) bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tarik tidak langsung. Sifat pengujian ini untuk mengevaluasi kekuatan tarik

biasanya digunakan untuk mengevaluasi ketahanan terhadap air. Hasil Pengujian ITS dapat dilihat Tabel 7. Serat serabut kelapa sebagai pengganti serat selulosa sintesis akan membentuk struktur jaring

yang menstabilkan kadar aspal dalam campuran sehingga benda uji lebih kuat menerima kuat tarik.

Tabel 7. Hasil Pengujian ITS

No	Kadar Aspal	Kadar Serabut	ITS
	%	%	kPa
1	7.25	0	91.727
2	7.25	0.2	97.014
3	7.25	0.3	110.222
4	7.25	0.4	109.050

Karakteristik Campuran SMA dengan Serat Serabut Kelapa pada Uji Drain-down

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah drain-down (pengaliran aspal) yang terjadi pada campuran beraspal yang belum dipadatkan, yaitu selama produksi, pengangkutan dan penempatan campuran. Hasil pengujian drain-down dapat dilihat pada Tabel 8. Nilai yang dipeoleh lebih besar jika dibandingkan dengan penelitian Bidhu and Beena (2014). Pada sampel yang tidak ditambahkan serat serabut kelapa (kadar serabut 0%) mengalami pengaliran aspal yang cukup tinggi. Sedangkan untuk sampel yang ditambahkan serat serabut kelapa nilai drain-down yang diperoleh cenderung menurun hal ini dikarenakan serat serabut kelapa sebagai pengganti serat selulosa sinetis berfungsi sebagai penyerap aspal dan sebagai bahan pengisi untuk membentuk mortar sehinnnga pengaliran aspal dalam campuran menjadi kecil.

Tabel 8. Hasil Pengujian Drain Down

No	Kadar Aspal	Kadar Serabut	Drain down	Maks
	%	%	%	%
1	7.25	0	2.099	0.30
2	7.25	0.2	0.041	0.30
3	7.25	0.3	0.021	0.30
4	7.25	0.4	0.018	0.30

SIMPULAN

1. Kadar Aspal Optimum (KAO) Campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) yang diperoleh adalah 7,25%. Karakteristik *Marshall* pada campuran SMA dengan serabut kelapa (0,2% , 0,3% , 0,4%) pada KAO secara berurutan yakni sebagai berikut: Nilai Stabilitas yang diperoleh adalah 1061,932 kg, 1154,851 kg, 1161,488 kg dengan nilai *flow* 4,318 mm, 4,403 mm, 4,657 mm. Nilai VIM *Marshall* 4,637%, 4,831%, 4,863% nilai VMA 17,355%, 17,524%, 17,552%. Nilai VCA adalah 0,935%, 0,937%, 0,937% dan nilai stabilitas *marshall* sisa 96,51%, 96,57%, 96,47%.
2. Karakteristik *Marshall* pada campuran SMA tanpa serabut kelapa (0%) pada KAO yakni sebagai berikut: Nilai Stabilitas yang diperoleh adalah 929,19 kg dengan nilai *flow* 3,47mm. Nilai VIM *Marshall* 4,888% nilai VMA 17,573%, VCA adalah 0,937% dan nilai stabilitas *Marshall* sisa 94%.
3. Hasil Pengujian CAL (*Cantabro Abrasion Loss*) pada Campuran SMA dengan varias serabutkelapa (0,2%; 0,3%; 0,4%) pada KAO secara berurutan yakni 3,1% , 2,1% , 2,04% ($\leq 16\%$) dan dengan penambahan serabut kelapa dapat memperkecil kehilangan berat akibat pengujian CAL. Sedangkan untuk yang tanpa tambahan serat serabut kelapa yakni 3,2%.

4. Hasil Pengujian ITS (*Indirect Tensile Test*) pada Campuran SMA dengan variasi serabut kelapa (0,2%; 0,3%; 0,4%) pada KAO secara berurutan yakni 97,014 kPa , 110,222 kPa dan 109,050 kPa. Sedangkan untuk yang tanpa tambahan serat serabut kelapa yakni 91,727 kPa.
5. Hasil Pengujian *Drain-down* (Pengaliran Aspal) pada Campuran SMA dengan variasi serabut kelapa (0,2%;0,3%;0,4%) pada KAO secara berurutan yakni 0,04% , 0,021% , 0,018% ($\leq 0,30\%$) dan dengan penambahan serabut kelapa dapat memperkecil pengaliran aspal yang terjadi. Sementara apabila tidak ditambahkan serat serabut kelapa pada campuran nilai pengaliran yang diperoleh yakni 2,099%.

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba. 2020. Serat *Selulosa Pelet* Kualitas Tinggi untuk Jalan SMA Mirip dengan JRS Arboceel. <https://indonesian.alibaba.com/product-detail/high-quality-pellet-cellulose-fiber-for-sma-road-similar-to-jrs-arboceel-60286170911.html>. Diakses 28 Desember 2020.
- Bidhu, C., Beena, K. 2014. *Influence of Additives on The Drain Down Characteristics of Stone Matrix Asphalt*.
- Collins, R. 1996. *Split Mastic Asphalt – The Georgia Experience*. Paper at The 1996 AAPA Pavement Industry Conference. Georgia Department of Transportation, USA, Asphalt Review.
- Hamzah, M., Hasan, M.R., Che Wan, C., Abduhllah, N.H. 2010. *Comparative Study on Performance of Malaysian Porous Asphalt Mixes Incorporating Conventional and Modified Binders*, *Journal of Applied Sciences* 10(20), pp 2403- 2410, 2010.
- Ibeng, P. 2021. *Pengertian Selulosa, Jenis, Struktur, Sifat Dan Manfaatnya*. <https://pendidikan.co.id/pengertian-selulosa-jenis-struktur-sifat-dan-manfaatnya/>. Diakses 8 Maret 2021.
- Juniartha, I.W. 2015. *Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt Sebagai Lapisan Wearing Course (WC)*. Tugas Akhir Program Studi Sarjana Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Udayana.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2018. *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan*.
- Lake, A.G, Djakfar, L, Zaika, Y, 2010, Kinerja Campuran *Split Mastic Asphalt* Dengan Beberapa Material Dari Kalimantan. *Jurnal Rekayasa Sipil* , Volume 4, No.3 – 2010 ISSN 1978 – 5658, Universitas Brawijaya. <https://www.bing.com/search?pc=cosp&ptag=d042520-n9997addaa807491&form=conbdf&cnlogo=ct3335465&q=split%20mastic%20asphalt>. Diakses 20 Desember 2020.
- Lubis, M.I.A. 2019. *Pengaruh Penggunaan Serat Serabut Kelapa Sebagai Bahan Penambah Serat Selulosa Pada Campuran Split Mastic Asphalt (SMA)*. Tugas Akhir Strata S1 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Mustofa, H. 2016. *Pengembangan Campuran Bergradasisplit Mastic Asphalt (SMA) Menggunakan Bahan Reclaimed Asphalt Pavement(RAP) Dan Limbah Arang Batubara*. Tugas Akhir Strata S1, Universitas Muhammadiyah Surakarta. <http://eprints.ums.ac.id/48184/32/NASKAH%20PUBLIKASI%20FULL.pdf> . Diakses 20 Desember 2020.
- Sukirman, S. 2013. *Beton Aspal Campuran Panas*. Penerbit Yayasan Obor, Jakarta.
- Wan, C., Wang, Q., Zhang, M.A.B. 2014. Influence of Fiber Type on Road Performance of Stone Mastic Asphalt. *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53).

