



Karakteristik Marshall Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA)
Dengan Material Gabungan Dari *Quarry* Kema dan Tateli, Sulawesi Utara

Eugenia D. C. Makalew^{#a}, Lucia G. J. Lalamentik^{#b}, Steve Ch. N. Palenewen^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^amakalewcherry@gmail.com, ^blucia.lalamentik@unsrat.ac.id, ^cspalenewen@unsrat.ac.id

Abstrak

Split Mastic Asphalt (SMA) merupakan campuran beraspal panas bergradasi senjang yang memiliki keunggulan dalam ketahanan terhadap deformasi dan keausan, namun memiliki kekurangan yaitu rentan mengalami *bleeding*. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis campuran SMA yang menggunakan material agregat dari Sulawesi Utara sehingga dapat dijadikan dasar pengembangan lebih lanjut. Penelitian dilakukan dengan tiga variasi kombinasi agregat berdasarkan kurva gradasi *Fuller* : tengah, mendekati batas atas dan mendekati batas bawah. Masing-masing variasi menggunakan kadar aspal yang berbeda dan presentase agregat kasar yang berbeda, yaitu 72,5%, 67% dan 78%. Uji *Marshall* dilakukan untuk menilai parameter seperti stabilitas, *flow*, VIM, VMA, dan VFB, serta untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) dari masing-masing variasi. Didapatkan hasil untuk variasi 3 memiliki Kadar Aspal Optimum lebih tinggi dengan nilai 7,8% dibandingkan variasi 1 dengan nilai 7,69% dan variasi 2 dengan nilai 7,7% yang ditinjau dari pengujian karakteristik *Marshall* campuran aspal lapis *Split Mastic Asphalt*. Berdasarkan hasil tersebut untuk campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) kombinasi agregat dari *Quarry* Kema dan *Quarry* Tateli dapat digunakan karena masuk dengan spesifikasi yang ada.

Kata kunci: SMA, agregat lokal, kurva Fuller, karakteristik Marshall, kadar aspal optimum

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Perkerasan jalan berfungsi memberikan pelayanan transportasi yang andal dan tahan lama, sehingga diperlukan campuran beraspal dengan daya dukung serta keawetan yang baik. Salah satu jenis campuran yang dianggap unggul adalah *Split Mastic Asphalt* (SMA), yang memiliki gradasi senjang, kadar aspal tinggi, serta ketahanan gelincir yang baik. Keunggulan SMA terletak pada kekuatan dan durabilitasnya, namun kelemahannya adalah potensi *drain down*, yaitu kondisi saat aspal berlebih mengalir keluar dari campuran akibat suhu tinggi atau tekanan lalu lintas.

Di Indonesia, penggunaan SMA masih terbatas karena ketersediaan agregat kasar yang sesuai tidak selalu mencukupi di setiap wilayah. Oleh karena itu, pemanfaatan material lokal menjadi penting untuk mendukung penerapan SMA. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa material dari *Quarry* Kakaskasen dan *Quarry* Kema di Sulawesi Utara memenuhi spesifikasi SMA. Berbeda dari penelitian tersebut, penelitian ini menggabungkan agregat kasar dan medium dari *Quarry* Kema dengan agregat halus dari *Quarry* Tateli, serta menggunakan tiga variasi gradasi berdasarkan kurva *fuller*.

Kinerja campuran dievaluasi melalui uji *Marshall* yang mencakup stabilitas, kelelahan, kekakuan, dan rongga campuran. Penelitian ini tidak menggunakan serat selulosa karena keterbatasan peralatan, sehingga fokus pada pemanfaatan material lokal murni. Hasilnya diharapkan dapat menunjukkan kelayakan agregat Sulawesi Utara untuk SMA, serta memberikan dasar pengembangan campuran yang optimal terhadap kondisi lalu lintas dan iklim di Indonesia.

1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana menentukan kadar aspal yang efektif untuk mencegah terjadinya *drain down*?
2. Apakah material agregat dari *Quarry* Kema dan *Quarry* Tateli di Provinsi Sulawesi Utara dapat digunakan sebagai bahan campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) berdasarkan karakteristik *Marshall*?
3. Bagaimana hasil dari 3 variasi kombinasi agregat (berdasarkan kurva *Fuller*) terhadap karakteristik *Marshall* campuran *Split Mastic Asphalt*?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada penelitian ini bertujuan sebagai berikut :

1. Menentukan kadar aspal yang efektif untuk mencegah terjadinya *drain down* pada campuran *Split Mastic Asphalt*.
2. Mengevaluasi kelayakan agregat material dari *Quarry* Kema dan *Quarry* Tateli di Provinsi Sulawesi Utara sebagai bahan dasar campuran SMA berdasarkan hasil uji karakteristik *Marshall*.
3. Mengetahui perbedaan pada setiap variasi kombinasi agregat (berdasarkan kurva *fuller*) terhadap karakteristik *Marshall* dari campuran SMA.

1.4. Manfaat Penelitian

Setelah penelitian ini dilakukan ada beberapa manfaat yang didapatkan yaitu :

1. Dapat menjadi bahan informasi bagi instansi maupun masyarakat dalam perencanaan campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA).
2. Dapat memastikan bahwa perkerasan jalan campuran SMA yang memakai bahan material lokal memiliki performa dan durabilitas yang sesuai standar.
3. Untuk menambah pengetahuan dalam pembuatan campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA).

1.5. Batasan Masalah

1. Standar spesifikasi yang digunakan untuk campuran material *Split Mastic Asphalt* (SMA) berdasarkan pada Bina Marga 2018 Revisi 2.
2. Metode yang akan digunakan untuk mengetahui performa dan durabilitas campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) yaitu *Uji Marshall*.
3. Campuran perkerasan jalan yang akan diteliti yaitu, *Split Mastic Asphalt* (SMA).
4. Tempat pengambilan material agregat kasar dan medium terletak di Kec. Kema, Kab. Minahasa Utara, Prov. Sulawesi Utara.
5. Tempat pengambilan material agregat halus terletak di Tateli Kec. Mandolang, Kab. Minahasa, Prov. Sulawesi Utara.
6. Penelitian dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi.
7. Penelitian ini tidak memakai serat selulosa atau bahan aditif, namun tetap didapatkan hasil *Marshall* dan Kadar Aspal Optimum.
8. Campuran kadar aspal dengan kombinasi agregat dari Quarry Kema dan Quarry Tateli menggunakan kurva tengah *fuller*, kurva mendekati batas atas *fuller* dan kurva mendekati batas bawah yang akan menjadi perbandingan.

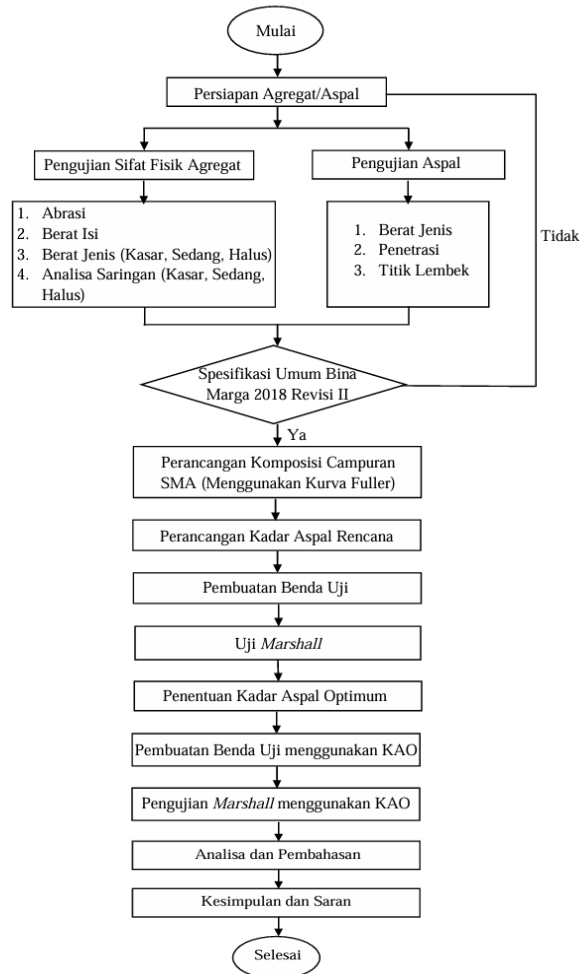
2. Metode Penelitian

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian akan dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi. Sedangkan waktu pelaksanaan penelitian telah berjalan kurang lebih tiga bulan terhitung sejak bulan Februari 2025 sampai dengan bulan April 2025.

2.2 Alur Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan menurut alur yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pemeriksaan Material

Pemeriksaan hasil dari analisa seluruh agregat yakni agregat kasar, agregat sedang dan agregat halus agar dapat digunakan dalam pembuatan benda uji. Agregat yang dipakai berasal dari AMP Kema dan AMP Tateli dan dilakukan berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) dan Standar Nasional Indonesia (SNI).

3.2. Pemeriksaan Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal Pertamina penetrasi 60/70 yang tersedia di Laboratorium Perkerasan Jalan Universitas Sam Ratulangi. Untuk hasil pemeriksaan karakteristik aspal dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Aspal Pertamina 60/70

Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Persyaratan
Penetrasi (mm)	67,28	60-70
Titik Lembek (°C)	48,5	≥ 48
Berat Jenis (gr/cc)	1,0325	≥ 1,0

3.3. Hasil Uji Marshall

a. Hasil Pengujian Marshall Variasi Kombinasi Agregat Fuller Tengah (Variasi 1)

Tabel 2. Hasil Pengujian Marshall Variasi Kombinasi Agregat Fuller Tengah

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		3,98	4,98	5,98	6,98	7,98
Stabilitas (kg)	Min. 600	495,826	670,346	787,969	916,285	948,618
Flow (mm)	2 - 4,5	3,288	3,450	3,559	4,293	3,872
VMA (%)	Min. 17	21,735	22,598	23,254	21,080	22,261
VIM (%)	4,0 - 5,0	14,036	12,530	10,786	5,649	4,435
VFB (%)	-	35,602	44,573	53,635	73,289	80,081
Rasio VCAmix/VCA _{dr}	Maks. 1,0	0,439	0,438	0,444	0,421	0,433
Draindown (%)	Maks. 0,3	0,527	0,255	0,176	0,276	0,106
Kepadatan (gr/cc)	-	2,434	2,433	2,438	2,534	2,523

Berdasarkan tabel pengujian di atas, Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas menunjukkan nilai stabilitas terendah yaitu pada 495,83kg dengan kadar aspal 3,98% sedangkan, nilai stabilitas tertinggi yaitu pada 948,62kg dengan kadar aspal 7,98%. Hubungan Kadar Aspal dengan Flow (Nilai Kelelahan) campuran aspal tidak stabil. Untuk nilai kelelahan terendah pada 3,29mm kadar aspal 3,98% sedangkan, nilai kelelahan tertinggi pada 4,29mm kadar aspal 6,98%. Dapat dilihat bahwa nilai kelelahan ini dipengaruhi oleh komposisi campuran sehingga mendapatkan hasil yang tidak stabil.

Pada tabel hasil pengujian, nilai VMA terendah berada pada 21,080% dengan kadar aspal 6,98% sedangkan, nilai VMA tertinggi berada pada 23,254% dengan kadar aspal 5,98%. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga nilai VIM yang memenuhi batas atas dan batas bawah berada pada kadar aspal 7,98%. Semakin banyak jumlah dari aspal dalam campuran maka akan semakin banyak aspal yang dapat mengisi rongga-rongga.

Berdasarkan spesifikasi batas atas Rasio VCAmix/VCA_{dr} yakni 1,0 dan dapat dilihat pada tabel di atas tidak ada kadar aspal yang mencapai batas atas ataupun melewati batas atas tersebut. Untuk hasil tertinggi berada pada 0,444 pada kadar aspal 5,98% sedangkan hasil terendah yang didapat berada pada 0,421 pada kadar aspal 6,98%.

Untuk spesifikasi dari *Drain Down* campuran kadar aspal harus lebih kecil dari 0,3% dan pada tabel di atas menunjukkan nilai *Drain Down* terendah yaitu pada 0,106% dengan kadar aspal 7,89% sedangkan, nilai *Drain Down* tertinggi yaitu pada 0,527% dengan kadar aspal 3,98%. Sehingga yang tidak memenuhi spesifikasi berada pada kadar aspal 3,98%.

Berdasarkan tabel di atas hasil dari Kepadatan menunjukkan nilai kepadatan terendah berada pada kadar aspal 4,98% dengan nilai kepadatan 2,433gr/cc dan nilai tertinggi berada pada kadar aspal 6,98% dengan nilai kepadatan 2,534gr/cc.

b. Hasil Pengujian Marshall Variasi Kombinasi Agregat Mendekati Batas Atas Fuller (Variasi 2)

Tabel 3. Hasil Pengujian Marshall Variasi Kombinasi Agregat Mendekati Batas Atas Fuller

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		4,07	5,07	6,07	7,07	8,07
Stabilitas (kg)	Min. 600	522,999	494,031	998,367	1174,970	1050,028
Flow (mm)	2 - 4,5	3,222	3,868	3,333	4,065	4,022
VMA (%)	Min. 17	26,903	23,860	24,181	21,352	22,400
VIM (%)	4,0 - 5,0	19,555	13,788	11,692	5,791	4,419
VFB (%)	-	27,384	42,233	51,766	72,938	80,271
Rasio VCAmix/VCA _{dr}	Maks. 1,0	0,498	0,484	0,498	0,475	0,478
Draindown (%)	Maks. 0,3	0,156	0,228	0,044	0,276	0,217
Kepadatan (gr/cc)	-	2,275	2,395	2,410	2,527	2,521

Berdasarkan tabel pengujian diatas, hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas menunjukkan nilai stabilitas terendah yaitu pada 494,031kg dengan kadar aspal 5,07% sedangkan, nilai stabilitas tertinggi yaitu pada 1174,970kg dengan kadar aspal 7,07%. Hubungan Kadar Aspal dengan Flow (Nilai Kelelahan) campuran aspal tidak stabil. Untuk nilai kelelahan terendah pada 3,222mm kadar aspal 4,07% sedangkan, nilai kelelahan tertinggi pada 4,065mm kadar aspal 7,07%. Dapat dilihat bahwa nilai kelelahan ini dipengaruhi oleh komposisi campuran sehingga mendapatkan hasil yang tidak stabil.

Pada tabel hasil pengujian, nilai VMA terendah berada pada 21,352% dengan kadar aspal 7,07% sedangkan, nilai VMA tertinggi berada pada 26,903% dengan kadar aspal 4,07%. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga nilai VIM yang memenuhi batas atas dan batas bawah berada pada kadar aspal 8,07%. Semakin banyak jumlah dari aspal dalam campuran maka akan semakin banyak aspal yang dapat mengisi rongga-rongga.

Berdasarkan spesifikasi batas atas Rasio VCmix/VCA_{dr} yakni 1,0 dan dapat dilihat pada tabel di atas tidak ada kadar aspal yang mencapai batas atas ataupun melewati batas atas tersebut. Untuk hasil tertinggi berada pada 0,498 pada kadar aspal 4,07% dan 6,07%, sedangkan hasil terendah yang didapat berada pada 0,475 pada kadar aspal 7,07%.

Untuk spesifikasi dari *Drain Down* campuran kadar aspal harus lebih kecil dari 0,3% dan pada tabel di atas dapat dilihat bahwa seluruh kadar aspal memenuhi spesifikasi yang mana tidak ada yang melewati 0,3% Berdasarkan tabel di atas hasil dari Kepadatan menunjukkan nilai kepadatan terendah berada pada kadar aspal 4,07% dengan nilai kepadatan 2,275gr/cc dan nilai tertinggi berada pada kadar aspal 7,07% dengan nilai kepadatan 2,527gr/cc.

c. Hasil Pengujian Marshall Variasi Kombinasi Agregat Mendekati Batas Bawah Fuller (Variasi 3)

Tabel 4. Hasil Pengujian Marshall Variasi Kombinasi Agregat Mendekati Batas Bawah Fuller

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal (%)				
		3,9	4,9	5,9	6,9	7,9
Stabilitas (kg)	Min. 600	402,638	643,281	888,301	999,392	1084,642
Flow (mm)	2 - 4,5	3,567	3,918	3,883	3,915	4,012
VMA (%)	Min. 17	23,784	24,497	25,263	23,399	22,115
VIM (%)	4,0 - 5,0	16,250	14,656	13,117	8,432	4,283
VFB (%)	-	31,675	40,174	48,113	64,029	80,635
Rasio VCmix/VCA _{dr}	Maks. 1,0	0,406	0,410	0,411	0,409	0,392
Draindown (%)	Maks. 0,3	0,296	0,289	0,291	0,274	0,273
Kepadatan (gr/cc)	-	2,358	2,360	2,361	2,446	2,514

Berdasarkan tabel pengujian di atas, Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas menunjukkan nilai stabilitas terendah yaitu pada 402,638kg dengan kadar aspal 3,9% sedangkan, nilai stabilitas tertinggi yaitu pada 1084,642kg dengan kadar aspal 7,9%.

Hubungan Kadar Aspal dengan Flow (Nilai Kelelahan) campuran aspal tidak stabil. Untuk nilai kelelahan terendah pada 3,567mm kadar aspal 3,9% sedangkan, nilai kelelahan tertinggi pada 4,012mm kadar aspal 7,9%. Dapat dilihat bahwa nilai kelelahan ini dipengaruhi oleh komposisi campuran sehingga mendapatkan hasil yang tidak stabil.

Pada tabel hasil pengujian nilai VMA terendah berada pada 22,115% dengan kadar aspal 7,9% sedangkan, nilai VMA tertinggi berada pada 25,263% dengan kadar aspal 5,9%. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga nilai VIM yang memenuhi batas atas dan batas bawah berada pada kadar aspal 7,9%. Semakin banyak jumlah dari aspal dalam campuran maka akan semakin banyak aspal yang dapat mengisi rongga-rongga.

Berdasarkan spesifikasi batas atas Rasio VCmix/VCA_{dr} yakni 1,0 dan dapat dilihat pada tabel di atas tidak ada kadar aspal yang mencapai batas atas ataupun melewati batas atas tersebut. Untuk hasil tertinggi berada pada 0,411 pada kadar aspal 5,9% sedangkan, hasil terendah yang didapat berada pada 0,392 pada kadar aspal 7,9%.

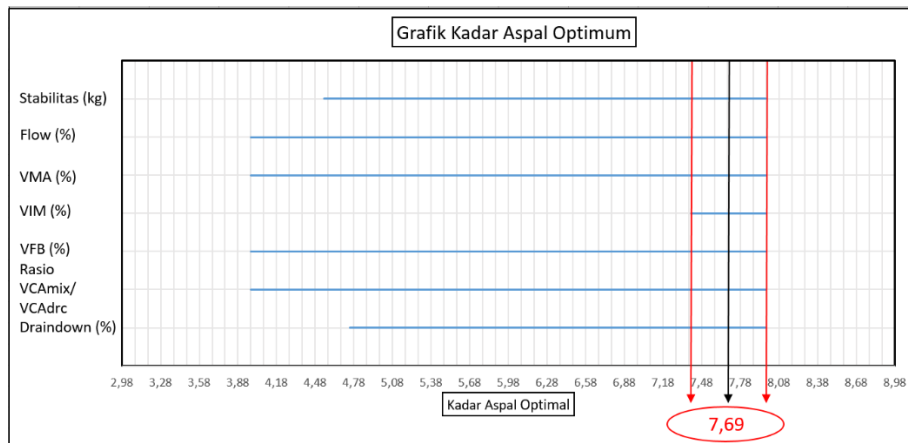
Untuk spesifikasi dari *Drain Down* campuran kadar aspal harus lebih kecil dari 0,3% dan pada tabel di atas dapat dilihat bahwa seluruh kadar aspal memenuhi spesifikasi yang mana tidak

ada yang melewati 0,3% Berdasarkan tabel di atas hasil dari Kepadatan menunjukkan nilai kepadatan terendah berada pada kadar aspal 3,9% dengan nilai kepadatan 2,358gr/cc dan nilai tertinggi berada pada kadar aspal 7,9% dengan nilai kepadatan 2,514gr/cc.

3.4. Hasil Kadar Aspal Optimum

a. Hasil Kadar Optimum Variasi Kombinasi Agregat Fuller Tengah (Variasi 1)

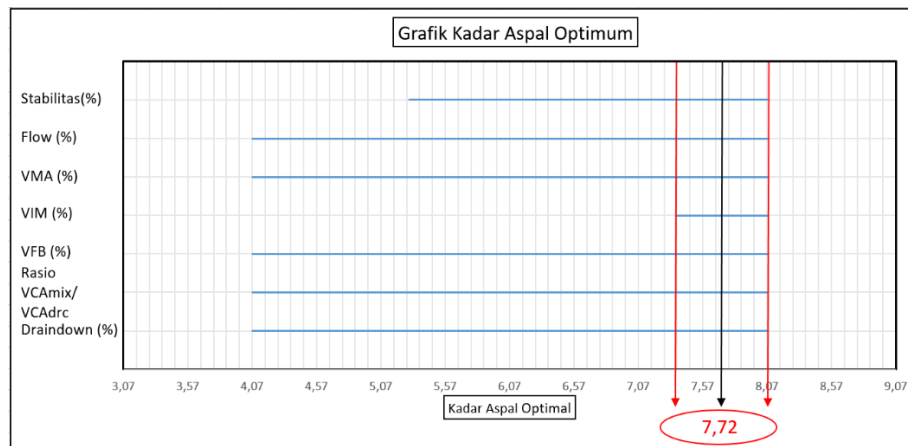
Melalui pengujian yang sudah dilakukan dan berdasarkan pada spesifikasi-spesifikasi yang ada maka didapatkan hasil dalam bentuk grafik dibawah ini. Pada grafik dapat dilihat bahwa kadar aspal berada pada 7,69%.



Gambar 2. Grafik Kadar Aspal Optimum (Variasi 1)

b. Hasil Kadar Optimum Variasi Kombinasi Agregat Mendekati Batas Atas Fuller (Variasi 2)

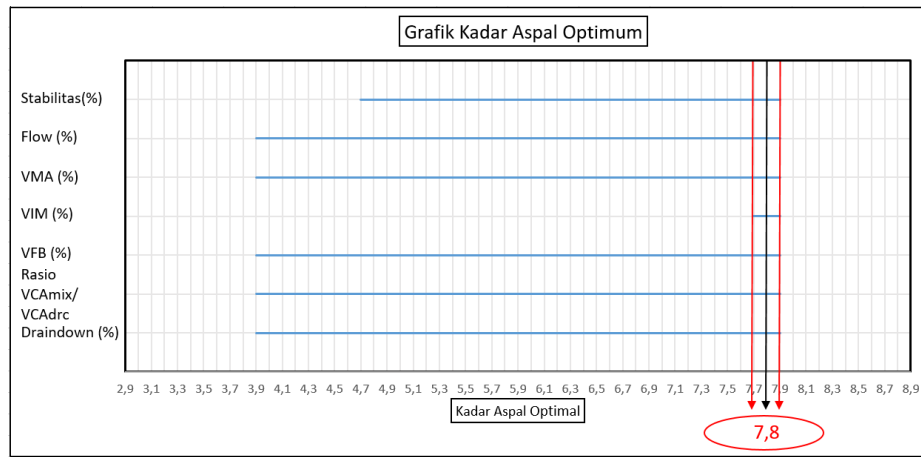
Pada grafik Kadar Aspal Optimum Variasi 2 dapat dilihat bahwa kadar aspal berada pada 7,72%.



Gambar 3. Grafik Kadar Aspal Optimum (Variasi 2)

c. Hasil Kadar Optimum Variasi Kombinasi Agregat Mendekati Batas Bawah Fuller (Variasi 3)

Pada grafik Kadar Aspal Optimum Variasi 3 dapat dilihat bahwa kadar aspal berada pada 7,8%.



Gambar 4. Grafik Kadar Aspal Optimum (Variasi 3)

3.5. Hasil Uji Marshall dengan KAO

a. Hasil Uji Marshall dengan KAO Variasi Kombinasi Agregat Fuller Tengah (Variasi 1)

Dari hasil analisis karakteristik marshall pada variasi 1 didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 7,69% untuk hasil dari uji marshall menggunakan KAO dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 5. Hasil Uji Marshall dengan KAO (Variasi 1)

No.	Parameter Marshall	Spesifikasi		Hasil	Keterangan
		Batas Bawah	Batas Atas		
1.	Stabilitas, kg	600	-	949,39	Memenuhi
2.	Flow, mm	2	4,5	3,955	Memenuhi
3.	Rongga dalam agregat (VMA), %	17	-	21,716	Memenuhi
4.	Rongga dalam campuran (VIM), %	4	5	4,538	Memenuhi
5.	Rongga yang terisi aspal (VFB), %	-	-	79,268	Memenuhi
6.	Rasio VCAMIX/VCADRC	-	1	0,434	Memenuhi
7.	Draindown, %	-	0,3	0,211	Memenuhi
8.	Kepadatan gr/cc	-	-	2,532	Memenuhi

b. Hasil Uji Marshall dengan KAO Variasi Kombinasi Agregat Mendekati Batas Atas Fuller (Variasi 2)

Dari hasil analisis karakteristik marshall pada variasi 2 didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 7,72% untuk hasil dari uji marshall menggunakan KAO dapat dilihat pada Tabel 6.

c. Hasil Uji Marshall dengan KAO Variasi Kombinasi Agregat Mendekati Batas Bawah Fuller (Variasi 3)

Dari hasil analisis karakteristik marshall pada variasi 3 didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 7,8% untuk hasil dari uji marshall menggunakan KAO dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 6. Hasil Uji Marshall dengan KAO (Variasi 2)

No.	Parameter Marshall	Spesifikasi		Hasil	Keterangan
		Batas Bawah	Batas Atas		
1.	Stabilitas, kg	600	-	1007,11	Memenuhi
2.	Flow, mm	2	4,5	4,072	Memenuhi
3.	Rongga dalam agregat (VMA), %	17	-	22,042	Memenuhi
4.	Rongga dalam campuran (VIM), %	4	5	4,909	Memenuhi
5.	Rongga yang terisi aspal (VFB), %	-	-	77,731	Memenuhi
6.	Rasio VCAMIX/VCADRC	-	1	0,475	Memenuhi
7.	Draindown, %	-	0,3	0,246	Memenuhi
8.	Kepadatan gr/cc	-	-	2,523	Memenuhi

Tabel 7. Hasil Uji Marshall dengan KAO (Variasi 3)

No.	Parameter Marshall	Spesifikasi		Hasil	Keterangan
		Batas Bawah	Batas Atas		
1.	Stabilitas, kg	600	-	861,58	Memenuhi
2.	Flow, mm	2	4,5	4,017	Memenuhi
3.	Rongga dalam agregat (VMA), %	17	-	22,196	Memenuhi
4.	Rongga dalam campuran (VIM), %	4	5	4,885	Memenuhi
5.	Rongga yang terisi aspal (VFB), %	-	-	77,999	Memenuhi
6.	Rasio VCAMIX/VCADRC	-	1	0,478	Memenuhi
7.	Draindown, %	-	0,3	0,281	Memenuhi
8.	Kepadatan gr/cc	-	-	2,520	Memenuhi

4. Kesimpulan

- Berdasarkan hasil karakteristik *Marshall* yang didapatkan bahwa, kombinasi agregat Kasar dan Medium dari Quarry Kema dan agregat Halus dari Quarry Tateli pada variasi 1 yang menggunakan kurva tengah fuller menghasilkan nilai stabilitas tertinggi pada kadar aspal 7,98% dengan nilai 948,62 kg dan *flow* pada kadar aspal 6,98% dengan nilai 4,29 mm yang memenuhi spesifikasi. Untuk variasi 2 yang menggunakan kurva mendekati batas atas fuller menghasilkan nilai stabilitas tertinggi pada kadar aspal 7,07% dengan nilai 1174,970 kg dan *flow* pada kadar aspal 7,07% dengan nilai 4,065 mm. Untuk variasi 3 yang menggunakan kurva mendekati batas bawah fuller menghasilkan nilai stabilitas tertinggi pada kadar aspal 7,9% dengan nilai 1084,642 kg dan *flow* pada kadar aspal 7,9% dengan nilai 4,012 mm. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) kombinasi agregat dari Quarry Kema dan Quarry Tateli ini memberikan struktur campuran yang kuat, stabil, dan tahan terhadap deformasi.
- Perbandingan hasil uji *Marshall* campuran *Split Mastic Asphalt* menggunakan kurva tengah fuller (variasi 1), menggunakan kurva mendekati batas atas fuller (variasi 2) dan menggunakan kurva mendekati batas bawah fuller (variasi 3):
 - Stabilitas pada variasi 1 dan variasi 3 lebih rendah dibandingkan variasi 2. Dikarenakan agregat medium pada variasi 1 rendah dan agregat halus pada variasi 3 rendah, sedangkan pada variasi 2 agregat kasar, medium dan halus hampir seimbang dan tidak kurang dari 10%.
 - Flow* pada variasi 1 memiliki nilai tertinggi di kadar aspal 6,98%, pada variasi 2 nilai *flow* tertinggi berada pada kadar aspal 7,07%, sedangkan pada variasi 3 nilai *flow* tertinggi pada kadar aspal 7,9%. Nilai *flow* yang tinggi membuat campuran SMA mampu menahan beban berulang tanpa terjadi kelelahan berupa retak atau kerusakan alur (*rutting*).

- c. Nilai *Voids In Mix* (VIM) semakin kecil karena aspal semakin banyak mengisi rongga dalam campuran sehingga rongga dalam campuran semakin kecil. Sehingga pada variasi 1 hanya pada kadar aspal 7,98%, variasi 2 pada kadar aspal 8,07%, variasi 3 pada kadar aspal 7,9% yang memenuhi spesifikasi.
 - d. Nilai *Voids in Mineral Aggregate* (VMA) memiliki nilai tertinggi pada variasi 2 yang berada pada kadar aspal 4,07% dengan nilai 26,903%.
 - e. Nilai *Voids Filled with Bitumen* (VFB) pada variasi 1, variasi 2 dan variasi 3 menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal, maka semakin tinggi nilai VFB, yang menunjukkan semakin banyak rongga yang terisi aspal.
 - f. *Rasio Voids In Coarse Aggregate within Compacted Mixture* (VCmix)/ *Voids In Coarse Aggregate Fraction In Dry-Rodded Condition* (VCAdrc) pada variasi 1, 2 dan 3 memiliki hasil yang memenuhi persyaratan < 1.0 . Hasil ini menunjukkan dalam campuran SMA, terjadi kontak antar partikel agregat yang baik.
 - g. *Drain down* pada variasi 1 baru memasuki spesifikasi pada kadar aspal 4,98%, sedangkan pada variasi 2 dan 3 dari kadar aspal rendah sampai tinggi semua memenuhi spesifikasi.
3. Untuk variasi 3 memiliki Kadar Aspal Optimum lebih tinggi dengan nilai 7,8% daripada variasi 1 dengan nilai 7,69% dan variasi 2 dengan nilai 7,7% yang ditinjau dari pengujian karakteristik *Marshall* campuran aspal lapis SMA. Berdasarkan hasil tersebut untuk campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) kombinasi agregat dari Quarry Kema dan Quarry Tateli dapat digunakan karena masuk dengan spesifikasi yang ada.

Referensi

- Aloysius, L. Y. (2010). Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt dengan Beberapa Material dari Kalimantan. *REKAYASA SIPIL / Volume 4, No.3 – 2010 ISSN 1978 – 5658*.
- Arie, B. D. (2024). Studi Kelayakan Penggunaan Material Lokal Berupa Agregat Kasar dan Agregat Halus di Kabupaten Jayapura Sebagai Bahan Dasar Stone Matrix Asphalt (SMA) Kasar. *JURNAL SIPIL TERAPAN - VOLUME. 2, NO. 2, NOVEMBER 2024*.
- Badan Standarisasi Nasional. (2015). *Standar Nasional Indonesia (SNI 8129:2015) Spesifikasi Stone Matrix Asphalt (SMA)*. Bandung: BSN 2015.
- Davies, A. Y. (2013). Kajian Eksperimental Roadcell-50 Sebagai Bahan Tambah (Additive) Pada Campuran Split Mastic Aspal (SMA) Yang Menggunakan Material Lokal Batu Tangkiling. *Sustainable Technology Journal*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. (2018). *Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2)*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Hidayat, M. I. (2021). PENGARUH METODE PENCAMPURAN DUA TAHAP TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN STONE MATRIX ASPHALT DENGAN BAHAN IKAT ASPAL PEN 60/70 DAN ASPAL CRUMB RUBBER. *TUGAS AKHIR*, 11-20.
- Hutabarat, E. d. (2021). Analisa Karakteristik Split Mastic Asphalt Dengan Berbagai Jenis Filler. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Lampung*.
- Jansen, R. A., Ali, N., & Rachman, R. (2020). Pemanfaatan Batu Sungai Sa'dan Toraja Utara Sebagai Campuran Stone Matrix Asphalt Halus. *Paulus Civil Engineering Journal*, 314-315.
- Kamagi, A. R. (2024). Karakteristik Campuran Lapisan Stone Mastic Asphalt (SMA) Memanfaatkan Quarry Kakaskasen. *TEKNO (Vol. 22, No. 90)*.
- National Asphalt Pavement Association (NAPA), USA. (2018). *Stone Matrix Asphalt - Guidelines For Use*. Lanham, Maryland: National Asphalt Pavement Association (NAPA).
- Nur, N. K., Mahyuddin, Bachtiar, E., Tumpu, M., Mukrim, M. I., Irianto, . . . Syukuriah. (2021). *Perancangan Perkerasan Jalan*. Medan: Yayasan Kita Menulis.
- Rachmanto, B. d. (2020). Studi Perbandingan Karakteristik Campuran SMA, AC-WC dan HRS-WC Dalam Perkerasan Jalan Raya. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Diponegoro / Universitas Brawijaya*.
- Suaryana, N. (2012). Kajian Material Stone Matrix Asphalt Asbuton berdasarkan Kriteria Deformasi Permanen (A study of Stone Matrix Asphalt Asbuton Material Based on Permanent Deformation Criterion). *Jurnal Jalan - Jembatan, Voume 29 No. 2*.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. In *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova.
- Syahrul, M. e. (2022). Analisis Kendala Implementasi Split Mastic Asphalt Di Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil UNDIP*.
- Totomihardjo, S. (2004). *Bahan dan Struktur Jalan Raya*. Biro Penerbit Teknik Sipil, Yogyakarta.