

PENGARUH PENAMBAHAN ABU AMPAS SAGU SEBAGAI FILLER PENGANTI CAMPURAN ASPAL ASPHALT CONCRET WEARING CROUSE (AC-WC)

A.Yogi Yengki¹, Hamka², Muhammad Jabir Muhammadih³, Hamka⁴

¹yengkiyogi@gmail.com

²hamka1974.wakkang@gmail.com

³muhjabirmuhammadiyah@gmail.com

⁴hamsyah.vertical@gmail.com

ABSTRAK

Tanaman sugu (Metroxylon) adalah sejenis palem yang tumbuh di daerah tropis. Dari pengolahan sugu menghasilkan limbah ampas sugu yang tidak digunakan lagi. Seiring meningkatnya perkembangan industri tepung sugu akan berdampak meningkatnya limbah ampas sugu yang berpotensi kerusakan pada lingkungan. penambahan abu ampas sugu yang berlokasi daerah luwu sebagai bahan pengisi (filler) pada penggunaan material kontruksi jalan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dan dampak penggunaan abu ampas sugu sebagai filler pengganti campuran aspal AC-WC. Jenis penelitian yang digunakan adalah laboratory Research (penelitian laboratorium), dimana menggunakan metode kuantitatif yang merupakan metode penelitian yang banyak menuntut penggunaan angka. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Muhammadiyah Parepare menggunakan sampel sebanyak 15 buah briket. Untuk hasil penambahan filler ampas sugu variasi 1,5% sebesar 1631,25 kg, variasi 2,5% sebesar 1615,80 kg, variasi 3,5% sebesar 1768,06 kg, dan 3,5% sebesar 1740,10 kg, dari semua variasi filler ampas sugu semua masuk spesifikasi bina marga 2018 dan nilai flow tertinggi pada kadar filler 0,0% dengan nilai 3,2 dan terendah pada kadar filler 4,5% dengan nilai 6,33. Sedangkan untuk hasil penggunaan abu ampas sugu terhadap ketahanan deformasi rutting dan stabilitas campuran pada kadar optimal 1,5%, filler abu ampas sugu menunjukkan kinerja terbaik dengan nilai stabilitas 1631,25 kg dan flow 3,90 mm

Kata kunci : abu ampas sugu, filler, AC-W

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Jalan merupakan infrastruktur yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari memiliki berbagai fungsi, seperti sarana transportasi, distribusi barang dan jasa, sarana komunikasi, dan penunjang sektor pariwisata. Untuk menunjang hal tersebut maka jalan dituntut untuk mempunyai perkerasan jalan yang baik dan bagus. Perkerasan jalan adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dan roda kendaraan, yang digunakan untuk memberikan pelayanan kepada sarana transportasi. Tujuan perkerasan adalah untuk memikul beban lalu lintas secara aman dan nyaman, serta sebelum umur rencananya tidak terjadi kerusakan. Supaya perkerasan mempunyai daya dukung dan keawetan yang memadai, tetapi juga ekonomis, maka perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis.

Aspal adalah suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat terdiri dari hydrocarbon atau turunannya, terlarut dalam trichloro-ethylene dan bersifat tidak mudah menguap serta lunak secara bertahap jika dipanaskan. Aspal keras adalah suatu jenis aspal minyak dari residu hasil destilasi minyak bumi pada keadaan hampa udara, yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk padat.

Perkerasan jalan merupakan suatu lapisan yang terdiri dari campuran antara agregat dan bahan pengikat (filler). Lapisan perkerasan jalan ini terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang berfungsi untuk menahan

beban lalu lintas serta memberikan pelayanan kepada sarana transportasi darat dan diharapkan tidak terjadi kerusakan selama masa pelayanannya. Perkerasan jalan adalah konstruksi yang dibangun di atas lapisan tanah dasar yang menopang beban lalu lintas. Perkerasan jalan disusun oleh beberapa jenis lapisan, yaitu lapisan tanah dasar (sub grade), lapisan pondasi bawah (subbase course), lapisan pondasi atas (base course), dan lapisan permukaan surface course). Perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis agar memiliki kekuatan yang memadai dan juga dengan harga yang lebih ekonomis.

Seiring meningkatnya kebutuhan akan jalan, memacu manusia untuk meningkatkan kualitas jalan. Kualitas jalan yang ditingkatkan dapat berupa peningkatan geometrik jalan maupun struktur perkerasan. Dalam meningkatkan struktur perkerasan, dicari alternatif-alternatif bahan untuk dicampur dengan aspal ataupun agregat.

Tanaman sagu (*Metroxylon*) adalah sejenis palem yang tumbuh di daerah tropis. Di Indonesia potensi sagu tumbuh di beberapa daerah seperti Papua, Sulawesi Barat, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Kalimantan Selatan, Kalimantan Barat, Riau, Jambi. Dari pengolahan sagu menghasilkan limbah ampas sagu yang tidak digunakan lagi. Seiring meningkatnya perkembangan industri tepung sagu akan berdampak meningkatnya limbah ampas sagu yang berpotensi kerusakan pada lingkungan.

Pada penelitian ini terkait dengan penambahan abu ampas sagu yang berlokasi daerah luwu sebagai bahan pengisi (filler) pada penggunaan material konstruksi jalan. Untuk mengatasi kekurangan kadar filler tersebut biasanya digunakan semen atau kapur, namun di beberapa daerah kadang tidak mudah untuk mendapatkan dan harganya pun relatif semakin mahal. Dengan demikian untuk mewujudkan kondisi jalan yang baik maka perlu dilakukan penanganan yang bernilai ekonomis yaitu dengan cara menggunakan abu ampas sagu sebagai bahan tambah filler.

Sagu

Tumbuhan sagu adalah spesies dari genus *Metroxylon* yang termasuk kedalam famili palmae. Sagu tumbuh di daerah tropis yang panas dan lembab di Asia Tenggara (Indonesia, Thailand, Filipina, dan Vietnam) dan Oseania (Papua Nugini, Kepulauan Mikronesia, dan Kepulauan Oseania). Tiga produsen utama sagu di dunia adalah Malaysia, Indonesia, dan Papua Nugini, dimana sagu tumbuh secara komersial. Indonesia memiliki hutan sagu liar yang luas (>700.000 ha)(Jumantara 2011)

Di Indonesia, dikenal ada dua spesies sagu, yakni sagu sisika yang berduri (*Metroxylon rumphii* Mart.) dan sagu beka yang tidak berduri (*Metroxylon sago* Rottb.) sagu beka yang tidak berduri memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan sagu sisika yang berduri. Namun populasi sagu beka hanya 20% dari total populasi yang ada. Pada umumnya tanaman sagu tumbuh liar, namun ada juga yang sengaja ditanam oleh Petani meskipun jarak tanam dan tata ruangnya belum memenuhi syarat agronomis (Fadilah, Septiandini, and Purnomo 2023).

Sagu umumnya dipanen pada umur antara 10-12 tahun pada waktu tinggi tanaman sudah mencapai 10-15 meter. Batang sagu banyak mengandung pati. Sagu mempunyai nilai gizi yang rendah karena kadar serat kasarnya yang tinggi dan kadar proteinnya yang rendah, walaupun kadar patinya cukup tinggi. Bila dibandingkan dengan komponen lain dari tanaman sagu, maka ampas sagu merupakan komponen terbesar. Hal ini perlu menjadi perhatian dari jumlah yang besar tersebut pemanfaatannya dibatasi oleh kadar seratnya yang relatif tinggi tanpa mendapat perlakuan khusus terlebih dahulu (Preston dan Leng, 2017). Menurut (Manaf, Nurdin, and Ridhayani 2022) bahwa perbandingan yang diperoleh tepung dan ampas sagu adalah 1:6.

Lapis Aspal Beton (Laston)

Lapisan Aspal Beton (Laston) merupakan perkerasan pada lapisan permukaan untuk perkerasan lentur pada jalan, perkerasan ini menggunakan material aspal dan sangat baik untuk perkerasan pada transportasi yang sering dilewati oleh kendaraan yang bertonase tinggi. Untuk material agregat yang digunakan adalah material berkualitas tinggi serta proporsi ukuran material harus benar-benar dalam batasan yang sangat ketat. Adapun dalam proses pembuatan atau perancangan laston mulai dari pencampuran, penghamparan, pemadatan akhir serta penyelesaian finishing akhir pada bagian permukaan memerlukan pengawasan yang ketat.

Sebagai lapis permukaan perkerasan jalan, Laston (AC) mempunyai nilai struktur, kedap air, dan mempunyai stabilitas tinggi. Campuran bergradasi menerus mempunyai sedikit rongga dalam struktur agregatnya bila dibandingkan gradasi senjang. Sehingga campuran AC lebih peka terhadap variasi dalam proporsi campuran

Agregat

Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan presentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Karakteristik morfologi agregat kasar ternyata mempunyai hubungan erat dengan kekuatan perkerasan beraspal. Agregat berbentuk cubical memiliki ketahanan terhadap rutting dan memiliki friksi internal tertinggi apabila dibandingkan dengan bentuk agregat yang lain. Semakin banyak agregat cubical dalam campuran, semakin tinggi nilai PI. Sementara agregat dalam bentuk pipih dalam perkerasan beraspal memiliki tingkat kepadatan yang rendah dan sangat rentan terhadap perubahan bentuk akibat geser.

Pengujian Marshall

Pengujian kinerja beton aspal padat dilakukan melalui pengujian Marshall, yang dikembangkan pertama kali oleh Bruce Marshall dan dilanjutkan oleh U.S. Corps Engineer. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) berkapsitas 22.2 KN (=5000 lbf) dan floowmeter untuk mengukur kelelahan plastis atau flow. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inci (=10,2 cm) dan tinggi 2,5 inci (=6,35 cm). Prosedur pengujian Marshall mengikuti SNI 06-2489-1991, atau AASHTO T 245-90, atau ASTM D 1559-76.

Contoh perhitungan mencari nilai derajat kepadatan:

kepadatan:

Berat dalam keadaan kering	= W1 gram
Berat dalam air	= W2 gram
Berat dalam keadaan SSD	= W3 gram
Volume samp	= berat keadaan SSD – berat dalam air = W3 – W2= VS gram
Berat jenis lapangan	= berat keadaan kering/volume sample =W1/ VS = BJ lap gr/cc
Berat jenis laboratorium	= BJ Lap gr/cc

$$\text{Kepadatan} = \frac{\text{Berat jenis lapangan}}{\text{Berat jenis laboratorium}} \times 100 \%$$

Volumetrik Campuran Aspal Beton

Volumetrik campuran beraspal yang dimaksud adalah volume benda uji campuran yang telah dipadatkan. Komponen campuran beraspal secara volumetrik tersebut adalah: Volume rongga diantara mineral agregat (VMA), Volume bulk campuran padat, Volume campuran padat tanpa rongga, Volume rongga terisi aspal (VFA), Volume rongga dalam campuran (VIM), Volume aspal yang diserap agregat

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan penelitian metode uji eksperimental yang merupakan metode pengujian kuantitatif untuk mengetahui bagaimana penelitian ini dilakoni dilaboratorium serta menyelidiki efek satu sama lain. Dilakukan beberapa tahapan sebelum melakukan penelitian, mulai dari studi literatur kemudian mempersiapkan material yang meliputi aspal, agregat kasar, agregat halus, filler dan bahan abu ampas sagu. Prosedur penelitian ini dikerjakan dengan segala pengecekan material terhadap dampak pengujian dengan persyaratan yang ditetapkan.

Kemudian membuat 1 (satu) jenis struktur lapisan aspal dan buat benda uji (briket) sebanyak 15 buah, masing-masing 3 buah benda uji untuk 1 variasi substitusi kadar (filler) serta penambahan bahan abu ampas sagu untuk aspal modifikasi. Setelah pembuatan benda uji (briket) selesai maka dilakukan pengujian Marshall. Dari pengujian Marshall yang dilakukan, maka diperoleh data yang dibutuhkan untuk memenuhi tujuan penelitian.

Tempat dan waktu penelitian

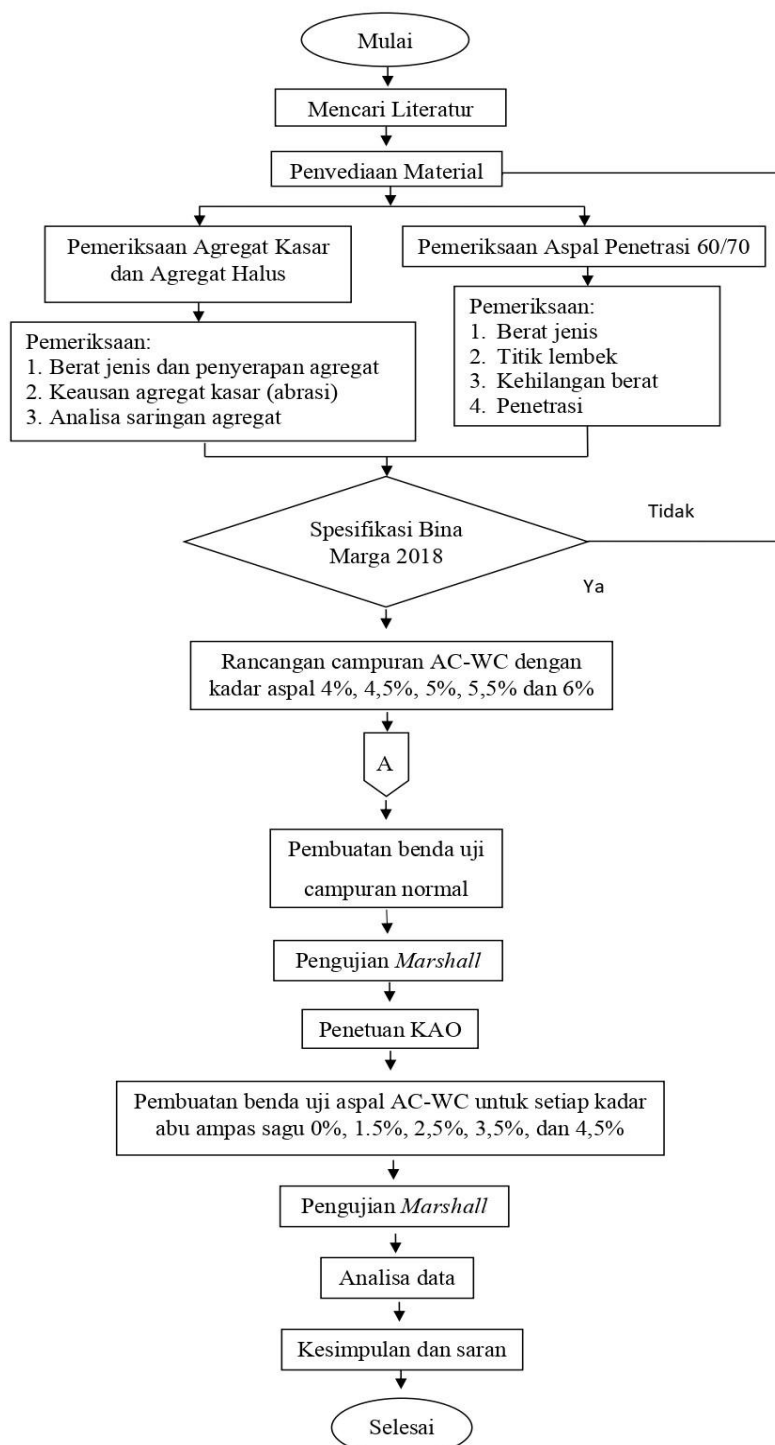
Penelitian ini dilakukan di laboratorium Jalan Dan Aspal Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Pare-pare. Durasi penelitian ini sampai dengan penyusunan Tugas Akhir diselenggarakan selama 3 (tiga) bulan, proses penelitian ini dilaksanakan mulai dari bulan Juli - September 2024

Variasi dan Pembuatan Benda Uji

Penelitian ini melibatkan analisis saringan dalam melakukan pengujian agregat. Pengujian agregat ini harus memenuhi standar yang telah ditentukan.

Material yang digunakan pada saat melakukan analisa saringan adalah batu pecah $\frac{3}{4}$, agregat medium, abu batu, pasir, filler. Setelah benda uji dibuat, dilakukan uji berat jenis yang dilanjutkan dengan uji Marshall. Pada pengujian ini sampel direndam terlebih dahulu dalam penangas air bersuhu 60°C selama 30 menit, kemudian diuji dalam alat Marshall. Pastikan stabilitas dan nilai aliran. Langkah selanjutnya adalah mengujinya dengan merendamnya dalam alat Marshall selama 8 jam untuk mendapatkan nilai kestabilan dan flow yang diperlukan untuk menentukan nilai umur simpan.

Bagan alir penelitian



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

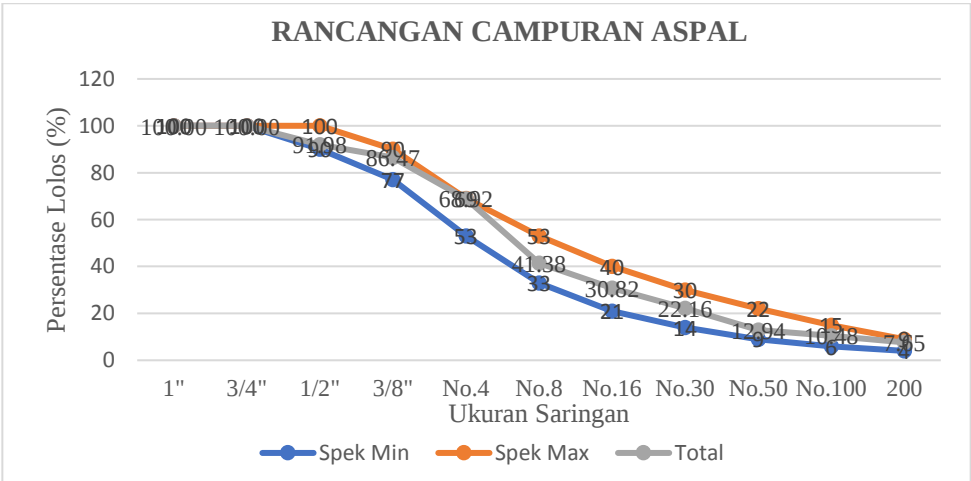
Pemeriksaan analisa saringan agregat pada penelitian ini terdiri atas pengujian analisa saringan agregat kasar dan halus.

Hasil Gradasi Agregat Gabungan

Dari hasil pemeriksaan analisa saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti pada Tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. Hasil gradasi agregat gabungan
((Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)

22%	35%	39,0%	4,0%	Total	Spek AC-WC
Agg1/ 2	Agg 0.5/1	Abu Batu	Filler		
22,00	35,00	39,00	4,00	100,00	
22,00	35,00	39,00	4,00	100,00	100
13,98	35,00	39,00	4,00	91,98	90-100
8,76	34,71	39,00	4,00	86,47	77-90
3,30	22,63	39,00	4,00	68,92	53-69
0,45	0,66	36,27	4,00	41,38	33-53
0,26	0,25	26,32	4,00	30,82	21-40
0,25	0,23	17,67	4,00	22,16	14-30
0,25	0,23	8,45	4,00	12,94	9-22
0,24	0,23	6,01	4,00	10,48	6-15
0,24	0,21	3,20	4,00	7,65	4-9



Gambar 2. Grafik hasil gradasi agregat gabungan (Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024).

Dari hasil pemeriksaan analisa saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti pada table diatas.Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan khusus untuk campuran AC-WC harus berada di antara batas atas dan batas bawah yang sesuai dengan spesifikasi. Dari hasil gradasi agregat gabungan diatas telah memenuhi batas-batas spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Hasil berat agregat yang diperlukan untuk benda uji

Dari hasil analisa gradasi agregat gabungan diatas, didapat perhitungan berat agregat yang diperlukan seperti pada Tabel 2 berikut ini :

Tabel 2. Hasil berat agregat yang diperlukan untuk benda uji campuran
(Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024)

Komposisi Campuran		Komposisi Agregat	Berat Timbangan				
		%	4	4,5	5	5,5	6
A	Split	22%	253,4	252,1	250,8	249,5	248,2
B	Agregat (0,5-1)	34%	391,7	389,6	387,6	385,6	383,5
C	Abu Batu	40%	460,8	458,4	456,0	453,6	451,2
D	Filler	4%	46,1	45,8	45,6	45,4	45,1
Berat Agregat Campuran (gr)			1152,0	1146,0	1140,0	1134,0	1128,0
Kebutuhan Aspal			48,0	54,0	60,0	66,0	72,0
			1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0

Tabel 3. Hasil berat agregat yang diperlukan untuk benda uji variasi 0,0%
(Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024)

Komposisi Campuran		Komposisi Agregat	Berat Timbangan
		%	0,0
A	Abu Batu	41,5%	443,7
B	Agregat (0,5-1)	35%	398,2
C	Agregat (1-2)	22%	250,3
D	Filler	4,0%	45,5
Berat Agregat Campuran (gr)			1137,7
Kebutuhan Aspal (5,2)			62,4
			1200

Tabel 4. Hasil berat agregat yang diperlukan untuk benda uji variasi 1,5%
(Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024)

Komposisi Campuran		Komposisi Agregat	Berat Timbangan
		%	1,5
A	Abu Batu	41,5%	460,7
B	Agregat (0,5-1)	36%	409,7
C	Agregat (1-2)	22%	250,5
D	Filler (Abu ampas sagu)	1,5%	17,1
Berat Agregat Campuran (gr)			1138,0
Kebutuhan Aspal (5,2)			62,4
			1200

Tabel 5. Hasil berat agregat yang diperlukan untuk benda uji campuran kadar filler abu ampas sagu 2,5% (Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024)

Komposisi Campuran		Komposisi Agregat	Berat Timbangan
		%	2,5
A	Abu Batu	41,5%	460,7
B	Agregat (0,5-1)	35%	397,7
C	Agregat (1-2)	22%	250,5
D	Filler (Abu ampas sagu)	2,5%	28,4
Berat Agregat Campuran (gr)			1137,3
Kebutuhan Aspal (5,2)			62,4

Tabel 6. Hasil berat agregat yang diperlukan untuk benda uji variasi 3,5%
(Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024)

Komposisi Campuran		Komposisi Agregat	Berat Timbangan
		%	3,5
A	Abu Batu	39,5%	449,4
B	Agregat (0,5-1)	35%	398,2
C	Agregat (1-2)	22%	250,3
D	Filler (Abu ampas sagu)	3,5%	39,8
Berat Agregat Campuran (gr)			1137,7
Kebutuhan Aspal (5,2)			62,4
			1200

Tabel 7. Hasil berat agregat yang diperlukan untuk benda uji campuran kadar filler abu ampas sagu 4,5% (Sumber: Hasil Pengolahan Data 2024)

Komposisi Campuran		Komposisi Agregat	Berat Timbangan
		%	4,5
A	Abu Batu	38,5%	438,0
B	Agregat (0,5-1)	35%	398,2
C	Agregat (1-2)	22%	250,3
D	Filler (Abu ampas sagu)	4,5%	51,2
Berat Agregat Campuran (gr)			1137,7
Kebutuhan Aspal (5,2)			62,4
			1200

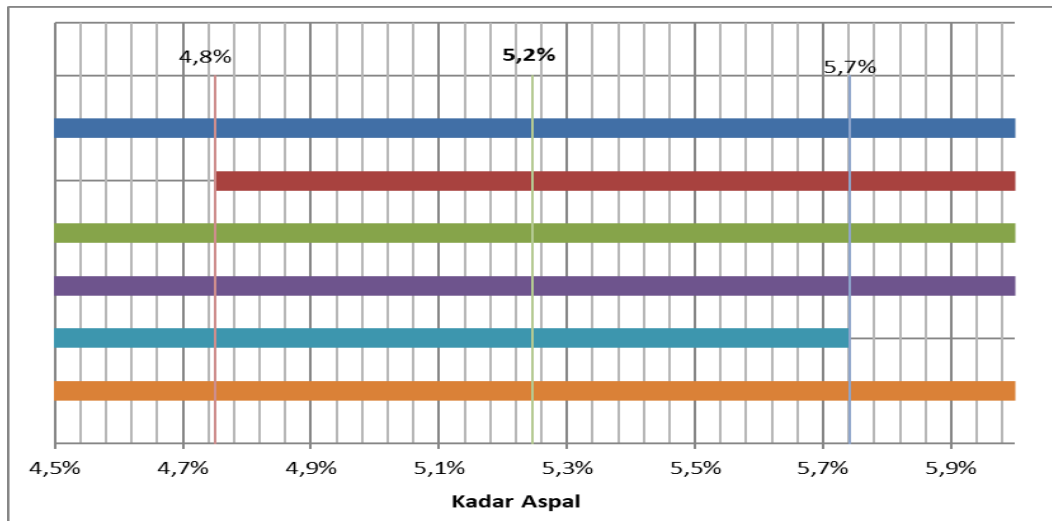
Hasil Kadar Aspal Optimum Pada Campuran Normal

Kadar aspal optimum merupakan jumlah aspal yang digunakan dalam campuran agregat agar tercapai spesifikasi persyaratan Stabilitas, VMA, VIM, VFA, Flow, dan Marshall Quotient. Penentuan kadar aspal optimum untuk menentukan besar kadar aspal yang efektif pada campuran yang dibutuhkan untuk pembuatan benda uji baru dengan komposisi agregat sama tapi dengan kadar aspal optimum yang telah ditentukan.

Dari hasil pengolahan data Marshall diperoleh nilai parameter Marshall kemudian menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) berikut rekapitulasi hasil perhitungan pada campuran aspal normal AC-WC dengan kadar aspal 4%, 4,5%, 5,0%, 5,5% dan 6%,

Tabel 8. Hasil uji Marshall campuran normal aspal AC-WC
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

Karakteristik	Spesifikasi umum	Kadar Aspal (%)				
		4,00%	4,50%	5,0%	5,50%	6,00%
Stabilitas (kg)	Min. 800	1862,2	2377,1	2237,2	2255,9	2283,8
VMA (%)	Min. 15	15,10	15,73	16,97	17,76	17,44
VIM (%)	3. - 5	4,39	3,88	4,08	3,78	2,17
VFA(%)	Min. 15	70,92	75,32	75,94	78,72	87,55
Flow (mm)	2. - 4	6,5	4,7	3,3	6,0	6,6
MQ (kg/mm)	Min. 250	286,50	505,77	677,96	374,21	346,20



Gambar 3. Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO) pada aspal AC-WC normal
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{\text{KA Min} + \text{KA Maks}}{2} = \frac{4,8 + 5,74}{2} = 5,2 \%$$

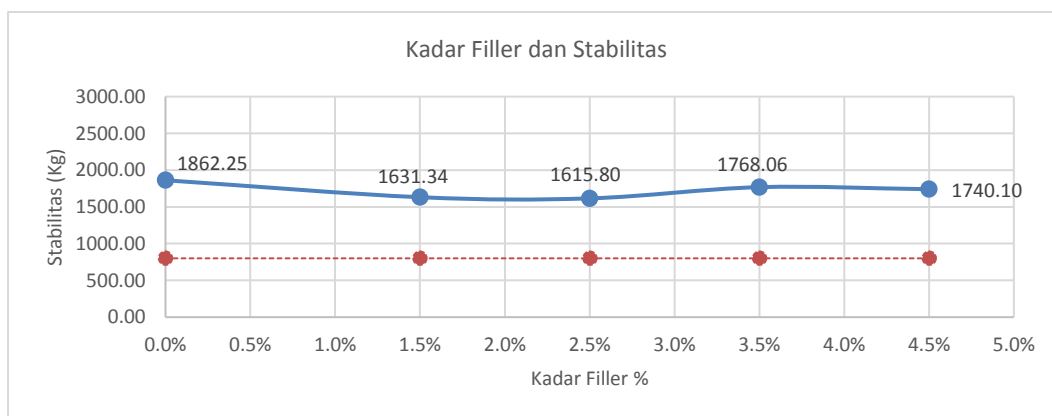
Hasil Pengujian Marshall

Stabilitas (Stability)

Stabilitas adalah ketahanan lapis perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya, tanpa mengalami perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian dengan alat marshall. Selanjutnya dicocokkan dengan angka kalibrasi proving ring dengan satuan lbs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi tebal benda uji. Berikut ini adalah tabel dan gambar hubungan kadar aspal dan stabilitas :

Tabel 9. Hasil pengujian stabilitas
(Sumber: Pengujian Lab.2024)

Stabilitas (Kg)	Spesifikasi		Keterangan
	Min	Maks	
1862,25	800	-	Memenuhi
1631,34	800	-	Memenuhi
1615,80	800	-	Memenuhi
1768,06	800	-	Memenuhi
1740,10	800	-	Memenuhi



Gambar 4. Grafik hubungan kadar filler dan stabilitas
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

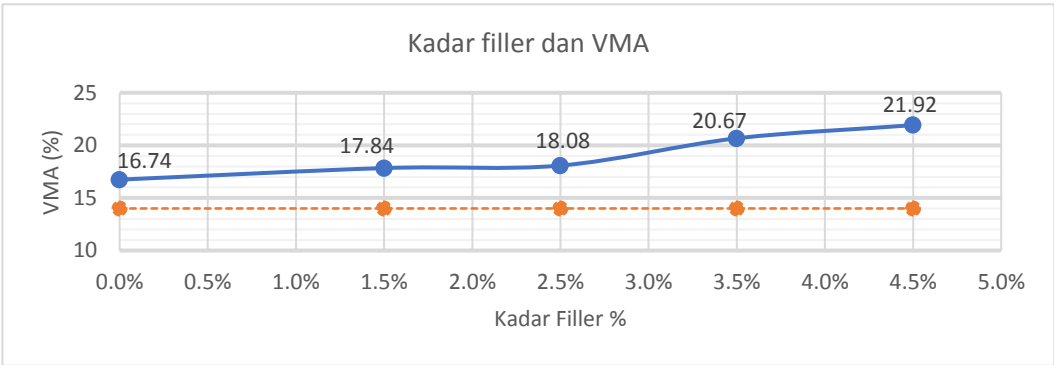
Dari gambar 4.2 grafik menunjukkan hubungan stabilitas dan filler, sampel dengan nilai stabilitas tertinggi yaitu 1768,06 Kg dan terendah 1615,80 Kg. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai stabilitas minimum untuk lalu lintas berat yaitu 800 kg, sehingga semua sampel dengan kadar aspal rencana yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang tertera pada tabel 4.24.

Rongga diantara agregat (VMA)

VMA (void in mineral aggregate) merupakan kadar persentase ruang rongga diantara partikel agregat pada benda uji, besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan. Hubungan antara VMA dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 10. Hasil pengujian VMA
(Sumber: Pengujian Lab.2024)

Kadar filler(%)	Nilai VMA (%)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
0.00%	16.74	14	-	Memenuhi
1.50%	17.84	14	-	Memenuhi
2.50%	18.08	14	-	Memenuhi
3.50%	20.67	14	-	Memenuhi
4.50%	21.92	14	-	Memenuhi



Gambar 5. Grafik hubungan kadar aspal dan VMA
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

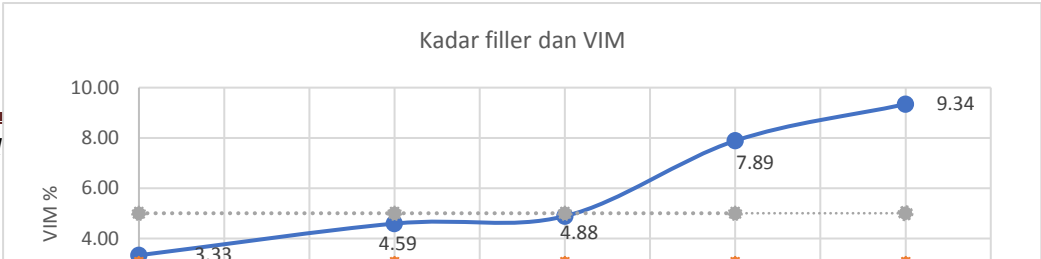
Berdasarkan gambar 5 grafik menunjukan nilai VMA menunjukkan hubungan VMA dan kadar filler, sampel dengan nilai VMA tertinggi yaitu sampel 5 dengan nilai 21,91 dan terendah yaitu 16,74 .Ditinjau dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston nilai VMA (Void In Mineral Aggregate) minimal 14 %, jadi semua sampel yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang tertera pada tabel 10.

Rongga Terhadap Campuran (VIM)

Nilai VIM yang terlampaui rendah akan menyebabkan mudah terjadinya bleeding pada lapis keras.

Tabel 11. Hasil pengujian VIM
(Sumber: Pengujian Lab.2024)

Kadar filler(%)	Nilai VIM (%)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
0,00%	3,33	3	5	Memenuhi
1,50%	4,59	3	5	Memenuhi
2,50%	4,88	3	5	Memenuhi
3,50%	7,89	3	5	Tidak Memenuhi
4,50%	9,34	3	5	Tidak Memenuhi



Gambar 6. Grafik hubungan kadar aspal dan VIM
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

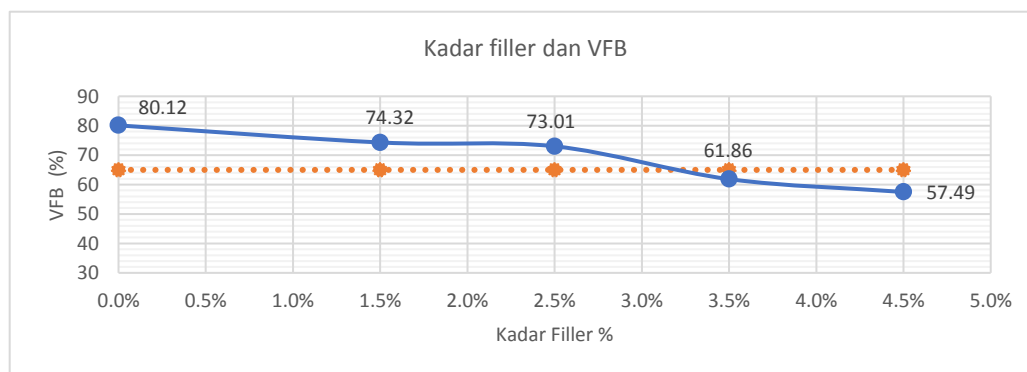
Dari gambar 4.5 grafik menunjukkan hubungan VIM dan kadar filler, pada kadar aspal dengan nilai VIM. Nilai VIM tertinggi pada sampel 4,5% yaitu 9,34% dan terendah pada sampel 0,0% dengan nilai 3,33% Berdasarkan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston nilai VIM (Void In Mix) yang memenuhi persyaratan yaitu sebesar 3 % - 5 %. Nilai VIM (Void In Mix) sehingga benda uji yang memenuhi spesifikasi yaitu kadar filler 1,5% dan 2,5%. Kadar Filler Tinggi (di atas 3%): Pada kadar filler yang lebih tinggi di atas 2,5%), VIM mengalami peningkatan signifikan. Ini menunjukkan bahwa pada kadar filler yang tinggi, ampas sugu sebagai filler dapat membuat campuran menjadi kurang rapat karena filler yang berlebih mungkin menyebabkan terbentuknya rongga tambahan

Rongga terisi aspal (VFB)

VFB (Void Filled Bitumen), menyatakan prosentase rongga udara yang terisi aspal pada campuran yang telah mengalami pemadatan. Hubungan antara VIM dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 12. Hasil pengujian VFB
(Sumber: Pengujian Lab.2024)

Kadar filler(%)	Nilai VFB (%)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
0,00%	80,12	65		Memenuhi
1,50%	74,32	65		Memenuhi
2,50%	73,01	65	-	Memenuhi
3,50%	61,86	65		Tidak memenuhi
4,50%	57,49	65		Tidak memenuhi



Gambar 7. Grafik hubungan kadar aspal dan VFB
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

Dari gambar 7 grafik menunjukkan hubungan VFB dan kadar aspal, nilai VFB tertinggi pada Kadar filler 0,0% dengan nilai 80,12% dan nilai terendah pada kadar filler 4,5% dengan nilai 57,49%. Kadar Filler Tinggi (di atas 3,5%-4,5): Pada kadar filler yang lebih tinggi, VFB terus menurun hingga sekitar 61,86%-57,49%. Penurunan ini

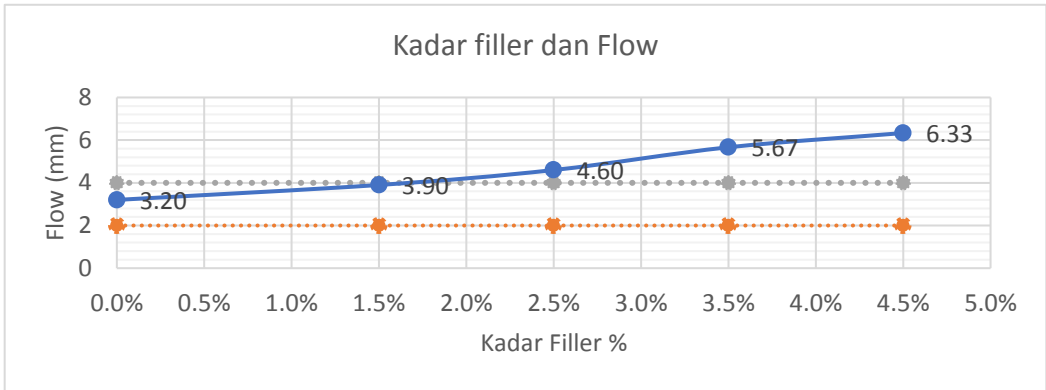
mengindikasikan bahwa filler yang berlebih semakin mengurangi volume aspal dalam campuran, yang dapat menyebabkan rongga yang tidak terisi

Nilai flow

Tabel 13. Hasil pengujian Flow
(Sumber: Pengujian Lab.2024)

Kadar filler(%)	Nilai Flow (mm)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
0,00%	3,20	2	4	Memenuhi
1,50%	3,90	2	4	Memenuhi
2,50%	4,60	2	4	Tidak Memenuhi
3,50%	5,67	2	4	Tidak Memenuhi
4,50%	6,33	2	4	Tidak Memenuhi

Hubungan flow dengan kadar filler dapat dilihat tabel berikut ini.



Gambar 7. Grafik hubungan kadar aspal dan Flow
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

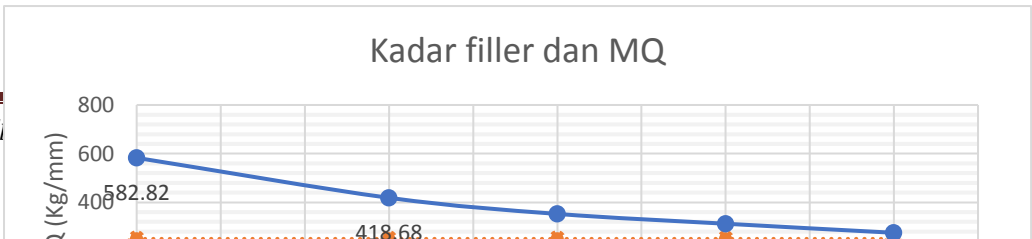
Dari gambar 4.6 grafik menunjukan hubungan flow dan kadar aspal, nilai flow tertinggi pada kadar filler 0,0% dengan nilai 3,2 dan terendah pada kadar filler 4,5% dengan nilai 6,33. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai flow yang memenuhi persyaratan yaitu 2 mm – 4 mm, sehingga nilai flow yang memenuhi spesifikasi yaitu kadar filler 1,5%. 3. Kadar Filler Tinggi 4,5% yang lebih tinggi, flow terus meningkat hingga mencapai 6.33 mm pada kadar filler 4.5%. Nilai flow yang tinggi ini menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih lunak dan lebih mudah mengalami deformasi saat diberi beban.

Marshall quotient (MQ)

Nilai Marshall Quotient (MQ) yaitu dari hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan (flow) merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas komposisi campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* (QM) bertanda komposisi campuran semakin kaku dan sebaliknya semakin kecil *Marshall Quotient* (QM) maka perkerasanya semakin lentur. Hubungan antara MQ dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 14. Hasil pengujian Marshall Quotient (QM)
(Sumber: Pengujian Lab.2024)

Kadar filler(%)	Nilai MQ (Kg/mm)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
0,00%	582,82	250	-	Memenuhi
1,50%	418,68	250	-	Memenuhi
2,50%	352,59	250	-	Memenuhi
3,50%	312,28	250	-	Memenuhi
4,50%	275,08	250	-	Memenuhi



Gambar 8. Grafik hubungan kadar aspal dan MQ
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2024)

Dari gambar 8 grafik menunjukkan hubungan MQ dan kadar aspal, nilai MQ tertinggi pada kadar filler 0,0% yaitu 582,82 dan terendah pada kadar filler 4,5 dengan nilai 275,08. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai MQ yang memenuhi persyaratan yaitu minimal 250 mm/kg, sehingga semua nilai MQ pada semua sampel dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan

KESIMPULAN

Nilai daya tahan aspal ditinjau dari parameter marshall stability dan nilai flow. Penggunaan abu ampas sagu pada campuran aspal AC-WC menunjukkan nilai stabilitas pada penambahan filler ampas sagu variasi 1,5% sebesar 1631,25 kg, variasi 2,5% sebesar 1615,80 kg, variasi 3,5% sebesar 1768,06 kg, dan 4,5% sebesar 1740,10 kg, dari semua variasi filler ampas sagu semua masuk spesifikasi bina marga 2018 dan nilai flow tertinggi pada kadar filler 0,0% dengan nilai 3,2 dan terendah pada kadar filler 4,5% dengan nilai 6,33. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai flow yang memenuhi persyaratan yaitu 2 mm – 4 mm, sehingga nilai flow yang memenuhi spesifikasi yaitu kadar filler 1,5% sebesar 3,90 mm. Kadar Filler 4,5% yang lebih tinggi, flow terus meningkat hingga mencapai 6,33 mm pada kadar filler 4,5%. Nilai flow yang tinggi ini menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih lunak dan lebih mudah mengalami deformasi saat diberi beban.

Berdasarkan hasil analisis dampak penggunaan abu ampas sagu sebagai filler pada campuran aspal AC-WC terhadap kinerja jalan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan abu ampas sagu memberikan pengaruh signifikan terhadap ketahanan deformasi rutting dan stabilitas campuran. Pada kadar optimal 1,5%, filler abu ampas sagu menunjukkan kinerja terbaik dengan nilai stabilitas 1631,25 kg dan flow 3,90 mm yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, serta mampu mengisi rongga-rongga antar agregat untuk menciptakan interlocking yang lebih baik. Namun, penggunaan kadar filler yang lebih tinggi (>1,5%) justru berdampak negatif, dimana campuran menjadi terlalu lunak dengan nilai flow yang meningkat hingga 6,33 mm pada kadar 4,5%, yang mengakibatkan campuran lebih rentan terhadap deformasi permanen dan rutting saat menerima beban berulang. Meskipun nilai stabilitas mencapai maksimum pada kadar 3,5% (1768,06 kg), kondisi ini tidak direkomendasikan karena nilai flow yang terlalu tinggi (5,2 mm) dapat mengompromikan ketahanan jalan terhadap deformasi. Oleh karena itu, untuk mencapai kinerja jalan yang optimal dalam hal ketahanan terhadap deformasi rutting dan stabilitas, penggunaan abu ampas sagu sebagai filler pada campuran aspal AC-WC sebaiknya dibatasi pada kadar 1,5%, disertai dengan monitoring dan evaluasi berkala terhadap kinerja jalan, terutama pada daerah dengan suhu tinggi dan beban lalu lintas berat.

DAFTAR PUSTAKA

- Fadilah, Reza, Erna Septiandini, and Adhi Purnomo. 2023. "Literature Review: Analisis Pemanfaatan Limbah Styrofoam Terhadap Campuran Beton." *Jurnal Pendidikan Tambusai* 7(3): 31463–72.
- Jumantara, Bayu Agus. 2011. "Polimerisasi Pencangkakan Dan Penautan-Silangan."
- Manaf, Abdi, Amalia Nurdin, and Irma Ridhayani. 2022. "Volume 4, No 2 Oktober 2022 Bandar: Journal Of Civil Engineering Sago Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Pada Beton." 4(2): 29–35.
- Misbah, Misbah, dan Usratul Hidayat. *Pengaruh Penggantian Abu Batu Menggunakan Abu Cangkang Pensi Pada Campuran Aspal (Ac-Wc) Dengan Pengujian Marshall*. *Ensiklopedia Jurnal* 5.2 (2023): 397-403.

- Mohamad Purwoko Sidi., Bambang Wedyantadji., Mohammad Erfan. (2020). Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Dalam Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC). Jurusan Teknik Sipil S-1 Institut Teknologi Nasional Malang. *e-journal GELAGAR Vol. 2 No. 1*.
- Nikodemus Tandung., Rais Rachman & Alpius. (2021). Kadar Aspal Optimum Laston Lapis Aus Menggunakan Abu Jerami Sebagai Pengganti Filler.