

TINJAUAN HASIL PENGUJIAN PERKERASAN ASPAL POROUS LIMBAH SERBUK ALUMINIUM MENGATASI GENANGAN AIR

Andi Ibrahim Yunus¹, Fitriah²

^{1,2}Universitas Fajar

Email: andiibrahimyunus@yahoo.com Email:
tia.greenish@gmail.com

Abstrak

Jalan mempunyai peran yang sangat strategis. Konstruksi jalan mampu menopang beban kendaraan yang lewat dan mendistribusikan beban pada lapisan di bawahnya. Perencanaan jalan raya yang telah banyak diteliti tentang pengembangan dan modifikasi aspal dengan memanfaatkan bahan tambah dari limbah. Genangan air hujan di atas permukaan jalan yang selalu terjadi di musim penghujan mengakibatkan gangguan kenyamanan bagi pengendara. Aspal porus merupakan salah satu inovasi untuk meningkatkan resapan air hujan dan untuk mengurangi adanya genangan di atas jalan. Permasalahan kualitas campuran beraspal dan rongga yang besar menjadi hal yang perlu diperhatikan, sehingga dilakukan penelitian selanjutnya dengan menambahkan bahan tambah serbuk aluminium pada campuran AC-WC, diharapkan dapat meningkatkan kualitas campuran, karena fungsi dari serbuk aluminium yang dicampurkan ke dalam campuran beraspal dapat meningkatkan kinerja campuran khususnya stabilitas menjadi lebih kuat. Adapun tujuan penelitian, yaitu untuk mengetahui besaran nilai parameter Marshall dan kehilangan berat perkerasan AC-WC. Berdasarkan hasil Pengujian Marshall dan Cantabro diperoleh nilai Parameter Marshall dan nilai kehilangan berat menggunakan limbah serbuk aluminium sebagai substitusi material bahan tambah dengan variasi persentase campuran sebesar 50% dan 100% terhadap pasir memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2, sehingga limbah serbuk aluminium dapat digunakan pada perkerasan AC-WC.

Kata kunci: nilai parameter, Marshall, Cantabro, aspal porous, limbah, serbuk aluminium.

Abstract

Roads have a very strategic role. Road construction is able to support the weight of passing vehicles and distribute the load to the layers below. Highway planning has been widely researched regarding the development and modification of asphalt by utilizing additional materials from waste. Rainwater pooling on the road surface causes comfort problems for motorists. Porous asphalt can increase rainwater absorption and reduce puddles on the road. Research was carried out by adding additional aluminum powder to the AC-WC mixture, it is hoped that it can improve the quality of the mixture, especially making the stability stronger. The aim of the research is to determine the Marshall parameter value and the weight loss of AC-WC pavement. Based on the results of the Marshall and Cantabro tests, the Marshall Parameter values and weight loss values using aluminum powder waste as a substitute for added material with variations in the mixture percentage of 50% and 100% of sand meet the requirements of the General Specifications for Highways 2018 Revision 2, so that the aluminum powder waste meets the requirements of the General Specifications for Highways 2018 Revision 2, can be used on AC-WC pavement mixtures.

Keywords: parameter values, Marshall, Cantabro, cold asphalt, waste, aluminum powder.

1. PENDAHULUAN

Jalan adalah salah satu prasarana transportasi yang sangat penting pada kemajuan dan pembangunan untuk kehidupan masyarakat (Zulharnah dan Andi Ibrahim Yunus, 1:2024a).

Jalan sebagai prasarana transportasi darat mampu memberikan pelayanan semaksimal mungkin kepada masyarakat, sehingga masyarakat dapat mempergunakannya untuk mendukung hampir semua aktifitas sehari-hari (Andi Ibrahim Yunus, dkk., 7:2024b).

Adanya perencanaan jalan yang baik agar konstruksi jalan dapat melayani lalu lintas sesuai umur yang diharapkan karena dengan demikian konstruksi jalan mampu menopang beban kendaraan yang lewat dan mendistribusikan beban pada lapisan dibawahnya, termasuk landasan jalan tanpa menimbulkan kerusakan berarti pada struktur jalan itu sendiri (Andi Ibrahim Yunus, dkk., 1:2023 dan 112:2024a).

Perkerasan lentur umumnya digunakan pada konstruksi jalan raya perkotaan yang lalu lintas kendaraannya padat. Material perkerasan ini terdiri dari material pasir, batu dan aspal (Andi Ibrahim Yunus, dkk., 114: 2024a).

Genangan air hujan di atas permukaan jalan yang selalu terjadi di musim penghujan mengakibatkan gangguan kenyamanan bagi pengendara. Karakter flexible pavement yang kedap terhadap air dan drainase yang buruk mendukung fenomena tersebut. Hal tersebut mengurangi resapan air hujan dan mempercepat kerusakan jalan (Mirza Ghulam R., 33:2014).

Aspal porous merupakan salah satu inovasi untuk meningkatkan resapan air hujan dan untuk mengurangi adanya genangan di atas jalan. Aspal porous (porous asphalt) merupakan campuran bergradasi terbuka dengan persentase agregat kasar yang besar, persentase agregat halus yang kecil, sehingga menyediakan rongga udara yang besar. Rongga udara ini diharapkan dapat meloloskan atau memberikan ke luasaan air yang berada di lapis permukaan untuk dapat di alirkan ke dalam rongga aspal secara vertikal dan horizontal serta menyalurkannya dalam sistem drainase perkerasan (Mirza Ghulam R., 33:2014).



Gambar 1. Sampel Perkerasan Aspal Porous

Aspal merupakan salah satu material yang digunakan sebagai bahan pembuatan jalan raya, material ini dipilih karena hasil akhirnya yang baik dan nyaman sebagai perkerasan fleksibel. Beton aspal merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Campuran beton aspal tersebut terdiri atas agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (*filler*) dan menggunakan aspal sebagai bahan pengikat (Zulharnah dan Andi Ibrahim Yunus, 1:2024b).

Asphalt Concrete (AC) atau biasa yang dikenal dengan laston (lapis aspal beton) adalah lapis permukaan yang terdiri atas laston sebagai lapisan aus perkerasan AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), lapisan antara perkerasan AC-BC (*Asphalt Concrete-Bearing Course*), dan lapisan pondasi perkerasan AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*). Laston terbuat dari agregat yang bergradasi kasar dengan dominasi pasir dan aspal

keras yang dicampur, dihampar, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu (Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum, 2010).

Pada campuran laston yang bergradasi menerus tersebut mempunyai sedikit rongga dalam struktur agregatnya dibandingkan dengan campuran bergradasi senjang. Hal tersebut menyebabkan perkerasan AC-WC lebih peka terhadap variasi dalam proporsi campuran (Ahmad Uwwes Al Qurny, dkk., 2022).

Pengembangan teknologi perkerasan aspal untuk memperoleh perkerasan yang awet, murah dan ramah lingkungan termasuk di Indonesia, yang tentunya meminimalisir adanya perusakan alam dengan menggunakan bahan limbah untuk perkerasan jalan yang baru sudah banyak dilakukan. Salah satu bahan limbah yang akan dicoba untuk mengganti agregat baru pada penelitian ini, yaitu serbuk aluminium (Galih Wulandari Subagyo, 2020).



Gambar 2. Serbuk Aluminium

Bubuk aluminium adalah aluminium yang berbentuk serbuk atau bubuk yang diperoleh melalui proses penggilingan dengan mengubah batang aluminium menjadi potongan-potongan kecil menggunakan mesin chip melalui proses pemesinan sederhana, kemudian chip tersebut dapat diubah lebih lanjut menjadi bubuk menggunakan proses penggilingan bola.

Penulis melakukan inovasi pemanfaatan serbuk aluminium sebagai bahan tambah dalam perkerasan AC (*Asphalt Concrete*) guna peningkatan nilai stabilitasnya, dan durabilitas, sekaligus salah satu langkah kongkrit sebagai penanganan pengurangan limbah dengan peningkatan nilai fungsinya (Alif Lam Ra Sugeha, dkk.).

Pemanfaatan serbuk aluminium sebagai alternatif bahan tambah agregat halus pasir pada perkerasan AC-WC diharapkan dapat meningkatkan kinerja perkerasan aspal sehingga dapat mengurangi limbah yang ada dan sekaligus ramah terhadap lingkungan.

Tujuan dilakukannya penelitian dengan mengganti bahan tambah agregat halus pasir dengan menggunakan bahan limbah serbuk aluminium, untuk mengetahui nilai karakteristik *marshall* dan nilai *cantabro* pada perkerasan AC-WC. Beberapa hasil penelitian sebelumnya yang terkait dengan penelitian ini, yaitu:

Berdasarkan penelitian Parea Rusan Rangan, Jakob Bokko, dan Marnet Lobo' (2019) berjudul Pengaruh Penambahan Limbah Aluminium Kemasan Minuman Terhadap Karakteristik Lapisan Aspal Beton, diperoleh hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh dari pengujian untuk mendapatkan KAO (Kadar Aspal Optimun) yaitu nilai VIM sebesar 4,71%, nilai VMA sebesar 15,88%, nilai VFB sebesar 70,46%, nilai stabilitas sebesar 943,14 kg, nilai *flow* sebesar 3,3 mm dan *marshall quotient* sebesar 283,49 kg/mm sedangkan pada penambahan limbah aluminium pada variasi KAO nilai VIM, VMA, VFB memenuhi standar spesifikasi tetapi pada pengujian stabilitas dan *flow* tidak memenuhi Standar.

Berdasarkan penelitian Mohammad Fajar Kurniawan dan Yogie Risdianto (2019) berjudul Pengaruh Penambahan Aluminium Slag dan LGA (*Lawele Granular Asphalt*)

Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Pada Campuran Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC), diperoleh hasil penelitian menunjukkan bahwa AC-WC dan LGA sebagai substitusi agregat halus dengan kadar aspal optimum sebesar 6.6%, memperoleh nilai stabilitas sebesar 1077 kg dan *marshall quotient* sebesar 426.54 kg/mm. Pengaruh substitusi LGA dalam campuran AC-WC ditinjau dari karakteristik *marshall* tidak memenuhi persyaratan untuk nilai VIM.

2. METODE PENELITIAN

Pendekatan dan Desain Penelitian

Untuk menghasilkan penelitian yang ilmiah dan memiliki kualifikasi serta kriteria yang ada dalam karya ilmiah ini (MS. Amin, 2020), maka penulis menggunakan penelitian sebagai berikut:

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pendekatan kuantitatif. Jenis penelitian ini yaitu penelitian deskriptif kuantitatif.

Adapun rancangan penelitian yang digunakan pada penelitian ini sebagai pedoman dalam melakukan proses penelitian yaitu desain penelitian eksperimental.

Metode Penelitian

Metode penelitian berupa penelitian laboratorium, yaitu metode eksperimen kuantitatif.

Subjek/Objek/Sampel Penelitian

Subyek penelitian berupa nilai parameter *marshall* dan kehilangan berat dan objek penelitian berupa serbuk aluminium sedangkan sampel penelitian berupa perkerasan AC-WC berbahan limbah serbuk aluminium.

Definisi Operasional

Parameter *marshall* berupa Stabilitas, *flow* (Kelelehan), MQ (*marshall Quotient*), VIM (*Void in Mix*), VMA (*Void in the Mineral Aggregate*), dan VFB (*Void Filled with Bitumen*). Kehilangan Berat suatu benda uji setelah dilakukan Uji Abrasi Los Angeles. Perkerasan AC-WC adalah salah satu lapisan permukaan pada konstruksi perkerasan lentur jalan raya. Spesifikasi Bina Marga ini memuat ketentuan teknis pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan. Serbuk aluminium adalah bubuk aluminium berupa limbah yang tidak dipergunakan lagi yang merupakan hasil dari penggilingan.

Variabel Pengukuran

Karakteristik perkerasan AC-WC dapat diketahui dari nilai parameter *marshall* yang ditunjukkan dengan parameter atau variabel, yaitu: stabilitas, *flow*, MQ, VIM, VMA, VFB, dan abrasi.

Data Penelitian

Untuk mempermudah mendapatkan data yang dibutuhkan, maka penulis mengambil beberapa sumber data (MS Amin, 2020), antara lain: (a) Jenis sumber data primer. Data yang diperoleh langsung dari subyek penelitian dengan menggunakan alat uji, alat pengambilan data langsung pada obyek sebagai sumber informasi yang di cari,

yaitu dengan cara melakukan pengujian sampel dilakukan di laboratorium; dan (b) Jenis sumber data sekunder. Data yang dihasilkan dari sumber-sumber lain, berupa data dari studi kepustakaan yang diperoleh dari buku, majalah, dan skripsi terdahulu, atau yang relevan dengan permasalahan penelitian, sebagai landasan teori dalam penelitian ini.

Lokasi Penelitian

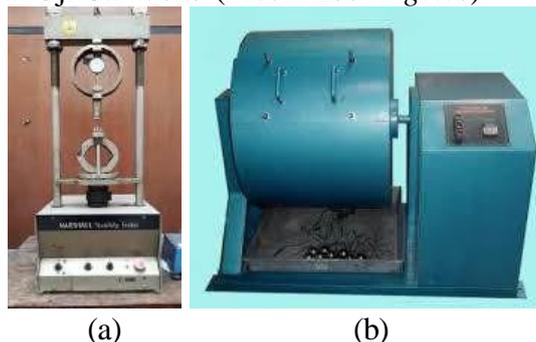
Lokasi penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Fajar, Jalan Prof. Abdurahman Basamalah No. 101, Kelurahan Karampuang, Kecamatan Panakukang Kota Makassar, Prov. Sulawesi Selatan 90231, Indonesia.

Teknik/Instrumen Pengumpulan Data

Agar diperoleh data lengkap dan sesuai menjelaskan tentang pemanfaatan serbuk aluminium sebagai bahan tambah, peneliti mengumpulkan data dari beberapa sumber data diantaranya adalah data dari lapangan (eksperimen) dan kepustakaan. Sumber data dari lapangan diperoleh dari hasil pengujian serta pengamatan terhadap tahapan pelaksanaan penelitian yang berlangsung. Sedangkan sumber kepustakaan adalah dengan memilih literatur yang ada hubungannya dengan penelitian ini (MS Amin, 2020).

Adapun teknik pengumpulan data dalam penelitian kualitatif ini, berupa observasi *participant* yang dilakukan langsung oleh peneliti, dengan cara terlibat langsung dengan beberapa kegiatan pengujian yang dilakukannya dalam melaksanakan percobaan (MS Amin, 2020).

Pengumpulan data dilakukan melalui pemeriksaan terhadap sifat-sifat fisik agregat kasar, agregat halus (serbuk aluminium), *filler*, dan pengujian aspal. Pengujian ini meliputi pengujian gradasi saringan, berat jenis, dan penyerapan agregat, kelekatan agregat terhadap aspal, dan keausan agregat dengan menggunakan Alat Uji Aspal (*Marshall Test*) dan Alat Uji *Cantabro* (Mesin *Los Angeles*).



Gambar 3. (a) Alat Uji Aspal dan (b) Alat Uji Cantabro

Pengujian aspal meliputi pengujian berat jenis, penetrasi. Pengujian tersebut merujuk pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

Analisis Data

Analisis data merupakan bagian yang amat penting karena dengan menganalisis suatu data dapat diberi arti dan makna yang berguna untuk masalah penelitian. Data yang telah dikumpulkan oleh peneliti tidak akan ada gunanya apabila tidak dianalisis terlebih dahulu (Haruddin, 2017).

Proses analisis data dilakukan sebelum dan sepanjang proses penelitian berlangsung (MS Amin, 2020). Teknik analisa data dengan cara menganalisis setiap kejadian yang terjadi di dalam penelitian yang berlangsung yang berhubungan dengan model penelitian pengujian sampel perkerasan AC-WC.

Pada penelitian ini analisis data yang diperoleh dari hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel, gambar dan grafik yang kemudian akan dianalisa.

Dalam penelitian analisis data, hasil percobaan diuraikan, lalu diinterpretasikan, kemudian data diolah melalui tahapan secara sistematis sehingga diperoleh kesimpulan.

Pengujian Hipotesis

Campuran panas aspal-agregat dalam penelitian ini adalah laston perkerasan AC-WC yang merupakan campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu yang dicampur dalam keadaan porous. Agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Dalam penelitian ini akan ditinjau nilai parameter *marshall* dan nilai kehilangan berat suatu perkerasan AC-WC menggunakan serbuk aluminium sebagai bahan tambah dengan variasi persentase campuran sebesar 50% dan 100% terhadap pasir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Sifat Fisik Agregat

Sesuai dengan hasil pada pengujian Parameter fisik agregat yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi syarat dalam pengujian mutu agregat secara menyeluruh. Proses pengujian telah dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Fajar.

Sifat Fisik Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu agregat yang berasal dari hasil pengolahan pabrik menggunakan alat *stone crusher* yang berada di Jalan Poros Malino, Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa. Hasil Pengujian dari sifat fisik agregat kasar dilakukan sesuai dengan Metode Pengujian SNI (Standar Nasional Indonesia). Berikut ini terlihat hasil pengujian pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat-Sifat Fisik Agregat Kasar.

No	Nama Pengujian	Persyaratan (Spesifikasi Bina Marga)	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Penyerapan air (%)			
	Batu pecah 5 – 10 mm	Maksimal 3	2,07	Memenuhi
	Batu pecah 1 – 2 cm	Maksimal 3	2,08	Memenuhi
2	Berat Jenis (%)			
	Batu pecah 5 – 10 mm			
	a. Berat Jenis Bulk	Minimal 2,5	2,62	Memenuhi
	b. Berat Jenis SSD	Minimal 2,5	2,67	Memenuhi
	c. Berat Jenis Semu	Minimal 2,5	2,77	Memenuhi
	Batu pecah 1 – 2 cm			
	a. Berat Jenis Bulk	Minimal 2,5	2,62	Memenuhi
	b. Berat Jenis SSD	Minimal 2,5	2,68	Memenuhi
	c. Berat Jenis Semu	Minimal 2,5	2,77	Memenuhi
3	Keausan (%)			
	Batu pecah 5 – 10 mm	Maksimal 40	25,72	Memenuhi
	Batu pecah 1 – 2 cm	Maksimal 40	24,36	Memenuhi
4	Indeks Kepipihan			
	Batu pecah 5 – 10 mm	Maksimal 25	20,10	Memenuhi
	Batu pecah 1 – 2 cm	Maksimal 25	9,38	Memenuhi

Dari Tabel 1 di atas menjelaskan bahwa hasil dari pengujian agregat kasar berupa batu pecah (*chipping*) memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, sehingga dapat digunakan pada perkerasan AC-WC.

Sifat Fisik Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu agregat yang lolos pada ayakan no. 8, 16, 30, 50, 100, dan tertahan di saringan no. 200, yang berasal dari hasil pengolahan pabrik menggunakan alat *stone crusher* yang berada di Jalan Poros Malino, Kecamatan Bontomarannu, Kabupaten Gowa. Hasil pengujian dari sifat fisik agregat kasar dilakukan sesuai dengan metode pengujian dari SNI (Standar Nasional Indonesia). Berikut ini terlihat hasil pengujian pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat-Sifat Fisik Agregat Halus.

No	Nama Pengujian	Persyaratan (Spesifikasi Bina Marga)	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Penyerapan air (%)	Maksimal 3	2,28	Memenuhi
2	Berat Jenis (%)			
	Berat Jenis Bulk	Minimal 2,5	2,60	Memenuhi
	Berat Jenis SSD	Minimal 2,5	2,65	Memenuhi
	Berat Jenis Semu	Minimal 2,5	2,76	Memenuhi
3	Kadar Lumpur (%)	Minimal 50	69,57	Memenuhi

Dari Tabel 2 di atas menjelaskan bahwa hasil dari pengujian agregat halus berupa pasir memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, sehingga dapat digunakan pada perkerasan AC-WC.

Sifat Fisik Serbuk Aluminium

Hasil pengujian dari sifat fisik serbuk aluminium dilakukan sesuai dengan metode pengujian dari SNI (Standar Nasional Indonesia). Berikut ini terlihat hasil pengujian pada Tabel 3.

Tabel 3. Sifat-Sifat Fisik Serbuk Aluminium.

No	Nama Pengujian	Persyaratan (Spesifikasi Bina Marga)	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Penyerapan air (%)	Maksimal 3	2,79	Memenuhi
2	Berat Jenis (%)			
	Berat Jenis Bulk	Minimal 2,5	2,45	Memenuhi
	Berat Jenis SSD	Minimal 2,5	2,52	Memenuhi
	Berat Jenis Semu	Minimal 2,5	2,63	Memenuhi
3	Kadar Lumpur (%)	Minimal 50	89,66	Memenuhi

Dari Tabel 3 di atas menjelaskan bahwa hasil dari pengujian serbuk aluminium memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, sehingga dapat digunakan pada perkerasan AC-WC.

Pengujian KAO (Kadar Aspal Optimal)

Pengujian KAO dilaksanakan dengan tujuan untuk mencapai kadar aspal yang digunakan memenuhi standar kinerja keseluruhan dan kadar aspal yang memberikan stabilitas tetinggi. Variasi nilai kadar aspal optimal yang digunakan yaitu: 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%, 7,0% dan 7,5%.

Pengujian Marshall

Dari proses pengujian *Marshall* diperoleh nilai variasi kadar aspal (%) terhadap Paramater perkerasan AC-WC berupa stabilitas, *flow*, MQ, VIM, VMA, dan VFB menggunakan Spesifikasi Bina Marga terlihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Pengujian Alat Marshall.

Paramater	Variasi Kadar Aspal (%)					
	5	5,5	6	6,5	7	7,5
Campuran Beraspal						
VIM	26,71	25,76	24,27	24,54	24,02	24,35
VMA	9,03	6,86	3,95	3,27	1,54	0,92
VFB	66,44	73,40	83,72	86,75	93,59	96,29
STABILITAS	1278,27	1647,00	1741,81	1847,16	1344,99	993,82
FLOW	2,37	2,48	3,00	3,72	3,05	3,48
MQ	554,86	674,01	585,38	516,85	523,77	362,33

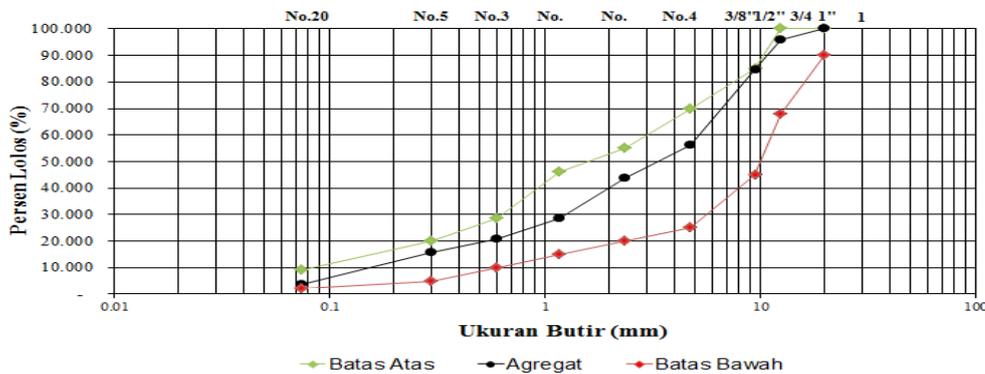
Hubungan antara parameter *Marshall* dengan kadar aspal untuk penentuan KAO, ketentuan dari nilai tengah kadar aspal optimum dari pengujian *marshall* yang dilakukan, maka diperoleh hasil seperti pada perhitungan di bawah ini:

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{6\% + 6,5\%}{2} = 6,25\%$$

Seperti hasil perhitungan nilai tengah di atas, maka nilai KAO yang digunakan pada penelitian ini, sebesar 6,25%.

Gradasi Gabungan

Penentuan gradasi gabungan agregate berdasarkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, terlihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 4. Kurva Grafik Gabungan Agregat.

Rancangan dan Komposisi Perkerasan AC-WC

Variasi kadar aspal untuk campuran AC-WC sebesar 5,0%; 5,5%; 6,0%; 6,5%; 7,0%; dan 7,5%.

Tabel 5. Komposisi Material Berat Benda Uji.

No	Uraian	Satuan	Kadar Aspal (%)						
			5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	
A	Berat serbuk aluminium modifikasi	gr	60	66	72	78	84	90	
B	Gradasi gabungan agregat		Berat agregat menurut ukuran saringan						
	Saringan	% Lolos	% Tertahan						
1	3/4"	100,00	0,00	gr	-	-	-	-	-
2	1/2"	96,00	4,00	gr	45,62	45,38	45,14	44,90	44,66
3	3/8"	86,93	9,07	gr	103,39	102,85	102,31	101,76	101,22
4	#4	63,90	2,03	gr	262,50	261,12	259,74	258,36	256,98
				gr	255,60				

5	#8	43,56	20,34	gr	231,82	230,60	229,38	228,16	226,94	225,72
6	#16	28,62	14,94	gr	170,34	169,44	168,54	167,65	166,75	165,85
7	#30	20,75	7,87	gr	89,68	89,21	88,74	88,27	87,79	87,32
8	#50	15,59	5,16	gr	58,84	58,53	58,22	57,91	57,60	57,29
9	#200	8,42	7,17	gr	81,76	81,33	80,90	80,47	80,04	79,61
10	PAN	0,00	8,42	gr	96,03	95,53	95,02	94,52	94,01	93,51
	Jumlah		100,00	gr	1,140	1.134	1.128	1.122	1.116	1.100
C	Berat benda uji			gr	1,200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200

Komposisi campuran AC-WC dalam menentukan KAO (Kadar Aspal Optimum) berdasarkan kadar aspal perkiraan yang diperoleh dari perhitungan. Komposisi campuran dibuat berdasarkan gradasi agregat atau seluruh agregat yang tertahan pada masing-masing saringan, terlihat pada Tabel 4 di atas.

Pengujian Marshall

Rancangan gradasi campuran aspal porous AC-WC menggunakan serbuk aluminium sebagai bahan tambah yang dihitung berdasarkan berat dari serbuk aluminium.

Tabel 6. Rancangan Gradasi Campuran Aspal Panas AC-WC.

No	Uraian	Satuan	Kadar serbuk aluminium (%)		
A	Berat serbuk aluminium		0,0	50,0	100
B	Berat asbuton modifikasi (6,25%)	gr	0,00	47,39	94,77
C	Gradasi gabungan agregat		Berat agregat menurut ukuran saringan		
	Saringan	% Lolos	% Tertahan		
1	3/4"	100,00	0,00	gr	-
2	1/2"	96,00	4,00	gr	45,02
3	3/8"	86,93	9,07	gr	102,03
4	#4	63,90	2,03	gr	259,05
5	#8	43,56	20,34	gr	228,77
6	#16	28,62	14,94	gr	168,10
7	#30	20,75	7,87	gr	88,50
8	#50	15,59	5,16	gr	58,07
9	#200	8,42	7,17	gr	80,69
10	PAN	0,00	8,42	gr	94,77
	Jumlah		100,00	gr	1,140
C	Berat benda uji			gr	1,200

Hasil pengujian menggunakan alat *Marshall* untuk mengetahui nilai Paramater *Marshall* suatu perkerasan AC-WC menggunakan limbah serbuk aluminium sebagai bahan tambah agregat halus dengan variasi persentase campuran sebesar 50% dan 100% terhadap pasir berdasarkan nilai KAO sebesar 6,25%, terlihat pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 7. Hasil Pengujian Alat Marshall.

Kadar Serbuk Aluminium (%)	Paramater Marshall					
	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
0	24,00	3,10	87,41	1.875,00	2,71	696,80
50	24,34	3,53	85,72	2.513,69	3,31	770,04
100	24,60	3,86	84,50	3.362,82	2,74	1215,11

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan alat *Marshall* terlihat pada Tabel 5 di atas diketahui nilai Paramater *Marshall* yaitu Stabilitas, *flow*, MQ, VIM, VMA, dan VFB, suatu perkerasan AC-WC menggunakan limbah serbuk aluminium sebagai bahan tambah agregat halus dengan variasi persentase campuran sebesar 50% dan 100% terhadap pasir berdasarkan nilai KAO sebesar 6,25% telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yang telah disyaratkan, sehingga limbah limbah serbuk aluminium dapat digunakan pada perkerasan AC-WC.

Pengujian Cantabro

Hasil Pengujian *Cantabro* menggunakan Alat Los Angeles untuk mengetahui nilai kehilangan berat suatu perkerasan AC-WC menggunakan limbah serbuk aluminium sebagai bahan tambah agregat halus dengan variasi persentase campuran sebesar 50% dan 100% terhadap abu batu berdasarkan nilai KAO sebesar 6,25%; terlihat pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 8. Hasil Pengujian Alat Los Angeles.

Serbuk Aluminium (%)	No. Sample	Kadar Aspal (%)	Berat Sebelum Pengujian (Mo) (gram)	Berat Setelah Pengujian (Mi) (gram)	Kehilangan Berat (Mo-Mi) (gram)	Rata-Rata Kehilangan Berat (Mo-Mi) x 100% Mo (%)
0	1		1163	1158	5	0.430
	2	6.25	1143	1137	6	0.525
	3		1157	1151	6	0.519
	Rata-Rata		1154	1149	6	0.491
50	1		1091	1059	32	2.933
	2	6.25	1104	1092	12	1.087
	3		1113	1103	10	0.898
	Rata-Rata		1103	1085	18	1.640
100	1		1138	1134	4	0.351
	2	6.25	1148	1145	3	0.261
	3		1168	1162	6	0.514
	Rata-Rata		1151	1147	4	0.376

Berdasarkan hasil Pengujian *Cantabro* menggunakan Alat Los Angeles suatu perkerasan AC-WC menggunakan limbah serbuk aluminium sebagai bahan tambah agregat halus dengan variasi persentase campuran sebesar 50% dan 100% terhadap abu batu berdasarkan nilai KAO sebesar 6.259%, terlihat pada Tabel 6 di atas diketahui nilai kehilangan berat dari semua variasi persentase campuran berada di bawah batas maksimal nilai kehilangan berat sebesar 20% (<20%), telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yang telah disyaratkan, sehingga limbah serbuk aluminium dapat digunakan pada perkerasan AC-WC.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil Pengujian *Marshall* dan *Cantabro* diperoleh nilai Paramater *Marshall* dan nilai kehilangan berat menggunakan limbah serbuk aluminium sebagai bahan tambah agregat halus dengan variasi persentase campuran sebesar 50% dan 100% terhadap pasir memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2, sehingga limbah serbuk aluminium dapat digunakan pada perkerasan AC-WC.

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, disarankan bagi para akademisi dan peneliti, untuk melakukan melanjutkan beberapa penelitian sebelumnya dengan menggunakan beberapa jenis dan persentase variasi substitusi material berbeda yang dianalisa berdasarkan Parameter dan komponen campuran beraspal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan, Staf, Rekan Dosen, dan mahasiswa/i Universitas Fajar Makassar dan atas dukungannya yang luar biasa dalam pelaksanaan kegiatan penelitian yang berjudul "Tinjauan Hasil Uji *Marshall* dan *Cantabro* Perkerasan Aspal Porous Berbahan Limbah Serbuk Aluminium". Penulis menyadari pentingnya fasilitas dan sumber daya universitas dalam keberhasilan kegiatan Tri Darma ini. Tak lupa, kami juga merasa bangga menjadi bagian dari Universitas Fajar Makassar dan memberikan apresiasi yang sebesar-besarnya atas komitmen universitas dalam mendukung program penelitian. Kami berharap dukungan dari universitas dapat meningkatkan kualitas pendidikan dan memberikan dampak positif bagi masyarakat. Sebagai penutup, kami mengucapkan terima kasih yang tulus dan harapan agar dukungan dan kerjasama dapat berkelanjutan. dan keahlian yang sangat membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, MS. 2020. Bab III Model Penelitian. IAIN Kudus Repository.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. Spesifikasi Umum. Edisi 2010 (Revisi 3). Divisi 6 Perkerasan Aspal.
- Fajar Kurniawan, M. dan Yogie Risdianto. 2019. Pengaruh Penambahan Aluminium *Slag* dan LGA (*Lawele Granular Asphalt*) Sebagai Bahan Substitusi Agregat Halus Pada Campuran Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC).
- Ghulam R, M., Wahyu Nariswari, Enes Ariyanto S., Tri Gunawan. 2014. Nilai Stabilitas Porous Asphalt Menggunakan Material Lokal. Teknik Sipil Politeknik Negeri Banyuwangi.
- Haruddin. 2017. Metode Analisis dan Penafsiran Data. Makalah. Makassar: Universitas Islam Negeri Alauddin.
- Ibrahim Yunus, Andi. 2024a. Ilmu Teknik Sipil: Struktur Perkerasan Jalan. Cetakan Pertama, Juni. Agam: Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
- Ibrahim Yunus, Andi. 2024b. Perancangan Proyek Perkerasan Jalan: Analisis Dampak Lalu Lintas Dan Beban Jalan. Cetakan Pertama, November. Padang: CV. Gita Lentera.
- Ibrahim Yunus, Andi. 2023. Perencanaan Geometrik Jalan: Teori Tahapan Pembangunan Jalan. Cetakan pertama, November. Padang: Get Press Indonesia.
- Rusan Rangan, P., Jakob Bokko, dan Marnet Lobo'. 2019. Pengaruh Penambahan Limbah Aluminium Kemasan Minuman Terhadap Karakteristik Lapisan Aspal Beton. *Journal Dynamic Saint*. Makale: UKI Toraja.
- Lam Ra Sugeha, A., Eti sulandari, dan Rudi Sugiono Suyono. Pemanfaatan Limbah Abu Batu Bara Sebagai Filler Pada Campuran Laston. *Teknik Sipil FT. Universitas Tanjungpura*, 1-11. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/JMHMS/article/viewFile/29406/75676579018>
- Uwwes Al Qurny, A., Imam Hagni Puspito, dan Nuryani Tinumbia. 2022. Pengaruh Penambahan Bahan Pengisi (Filler) Fly Ash Terhadap Campuran Aspal Beton Lapis Aus (*Asphalt Concrete Wearing Course/AC-WC*). *Jurnal Artesis*. Vol. 2(1): 87-97. <https://journal.univpancasila.ac.id/index.php/ARTESIS/article/view/3766>
- Wulandari Subagyo, Galih. 2020. Kinerja campuran beraspal panas (*Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*) yang mengandung *Recycled Concrete Aggregate (RCA)*. Jakarta: Universitas Trisakti.

Jurnal Teknik Hidro

Volume 18, Nomor 1, Februari 2025

Zulharnah dan Andi Ibrahim Yunus. 2024a. Tinjauan Nilai Paramater *Marshall* dan Kehilangan Berat Perkerasan AC-WC Menggunakan Spesifikasi Bina Marga dengan Memanfaatkan Abu Sekam Padi. Jurnal Tekstur Kota. Makassar: Universitas Pepabri Makassar.

<https://jurnal.unpepabri.ac.id/index.php/tekstur/article/view/355>

Zulharnah dan Andi Ibrahim Yunus. 2024b. Tinjauan Nilai Paramater *Marshall* dan Kehilangan Berat Substitusi Filler Limbah Cangkang Kemiri Terhadap Nilai Kadar Aspal Optimal pada Campuran Aspal AC-WC. Jurnal Tekstur Kota. Makassar: Universitas Pepabri Makassar.

<https://jurnal.unpepabri.ac.id/index.php/tekstur/article/view/355/40>