

KARAKTERISTIK CAMPURAN BETON ASPAL (AC-WC) DENGAN MENGGUNAKAN VARIASI KADAR FILLER LIMBAH GYPSUM

Ruci Hanggara Naqamukti¹, Akhmad Suryadi², Utami Retno Pudjowati³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang^{2,3}

rucihanggaranaqamukti@gmail.com¹, akhmad.suryadi@polinema.ac.id², utami.retno@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Limbah adalah sisa dari suatu usaha maupun kegiatan yang mengandung bahan berbahaya atau beracun yang karena sifat, konsentrasinya dan jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung dapat membahayakan lingkungan, kesehatan, kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Limbah gypsum ini termasuk limbah B3 dengan kode limbah B414 pada kategori bahaya jika tidak dimanfaatkan. Laston AC-WC merupakan campuran perkerasan jalan yang berada paling atas dan berhubungan langsung dengan roda kendaraan. Salah satu komponen beton aspal yang akan di substitusi yaitu *filler*. *Filler* memiliki fungsi sebagai peningkatan stabilitas dan mengurangi rongga udara. Tujuan penelitian untuk menganalisis seberapa besar pengaruh limbah gypsum terhadap campuran aspal beton dengan variasi kadar limbah gypsum (0%, 5,5%, 6,5%, 7,5%). Penelitian ini dilakukan di laboratorium Uji Bahan Jalan Gedung Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang. Metode yang digunakan melibatkan 22 total benda uji yang dimana 10 untuk KAO dan 12 untuk limbah gypsum. Hasil pengujian campuran laston AC-WC dengan metode marshall non substitusi mendapatkan KAO 5,5%. Hasil dari benda uji variasi limbah gypsum secara keseluruhan menunjukkan bahwa penggunaan limbah gypsum meningkatkan nilai stabilitas, VFA, dan MQ. Variasi *filler* limbah gypsum 5,5% mendapatkan nilai terbaik dengan nilai stabilitas 1634,74Kg, VFA 85,81%, dan MQ 795,08Kg/mm. Estimasi biaya yang dimiliki oleh Laston AC-WC dengan substitusi *filler* limbah gypsum 5,5% dengan harga Rp.1.597.991,28/ton.

Kata kunci: limbah gypsum, *filler*, AC-WC, aspal, anggaran biaya.

ABSTRACT

Waste is the remainder of a business or activity that contains hazardous or toxic materials which, due to their nature, concentration and amount, can directly or indirectly endanger the environment, health and survival of humans and other living creatures. This gypsum waste is included as B3 waste with waste code B414 in the danger category if not utilized. Laston AC-WC is a mixture of road pavement that is at the top and is in direct contact with the vehicle wheels. One of the asphalt concrete components that will be substituted is filler. Filler has the function of increasing stability and reducing air cavities. The aim of the research is to analyze how much influence gypsum waste has on the asphalt concrete mixture with variations in gypsum waste content (0%, 5.5%, 6.5%, 7.5%). This research was carried out in the Road Material Testing Laboratory of the Malang State Polytechnic Civil Engineering Building. The method used involved a total of 22 test objects, 10 for KAO and 12 for gypsum waste. The results of testing the Laston AC-WC mixture using the non-substitution Marshall method obtained a KAO of 5.5%. The results of the gypsum waste variation test objects as a whole show that the use of gypsum waste increases the stability, VFA and MQ values. The 5.5% gypsum waste filler variation got the best value with a stability value of 1634.74 Kg, VFA 85.81%, and MQ 795.08 Kg/mm. The estimated cost of Laston AC-WC with 5.5% gypsum waste filler substitution is IDR 1,597,991.28/ton.

Keywords: gypsum waste, *filler*, AC-WC, asphalt, cost budget.

1. PENDAHULUAN

Aspal beton terbentuk dari variasi ukuran agregat, termasuk juga bahan pengisi yang berperan sebagai *filler*. *Filler* merupakan salah satu komponen dalam suatu konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai peranan besar. Fungsi *filler* dalam campuran ini adalah untuk meningkatkan kestabilan dan mengurangi ruang udara dalam lapisan perkerasan, selain itu *filler* berperan sebagai media untuk pelumasan aspal terhadap permukaan agregat. Sebagian *filler* memiliki sifat yang cenderung kaku dan rentan retak, selain memerlukan aspal dalam jumlah besar untuk memenuhi *workability*. Sebaliknya kekurangan *filler* membuat campuran lebih lentur dan mudah terdeformasi oleh roda kendaraan yang mengakibatkan jalan raya berlubang.

AC-WC merupakan lapisan teratas yang bersentuhan langsung dengan ban kendaraan memiliki sifat kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai persyaratan ketebalan sebesar 4cm. Pada campuran laston yang menggunakan bahan penyusun seperti aspal dan agregat bisa menimbulkan rongga pada perkerasan, oleh karena itu perlu dilakukannya pemeriksaan dan penelitian terhadap *filler* (bahan tambah) untuk memperoleh perbandingan dan pengaruh *filler* terhadap campuran beraspal khususnya pada lapisan AC-WC guna memenuhi syarat spesifikasi.

Gypsum adalah salah satu mineral dengan kalsium yang cukup tinggi dan mendominasi kandungan mineralnya. Gypsum dalam industri konstruksi memiliki manfaat salah satunya sebagai bahan bangunan untuk membuat panel gypsum. Menurut Kozicki dan Carlson (2023), jika dilihat dari sumbernya, limbah gypsum dalam konstruksi terbanyak dihasilkan oleh limbah konstruksi bangunan (64%), limbah gypsum pembongkaran (14%), renovasi (10%), dan limbah pembuatan gypsum (12%).

Deposisi TPA merupakan masalah karena dekomposisi gypsum secara anaerobic dapat menghasilkan gas berbahaya seperti hydrogen sulfida. Oleh karena itu, tindakan khusus diperlukan pada tempat pembuangan sampah konstruksi dan pembongkaran untuk mencegah ancaman terhadap kesehatan masyarakat, keselamatan, dan lingkungan.

Untuk menanggulangi dampak tersebut, penulis berharap dengan penelitian limbah gypsum ini mencoba untuk menguji pengaruh *filler* terhadap campuran lapisan AC-WC untuk dapat mengetahui pengaruh limbah gypsum terhadap campuran aspal beton yang mana untuk memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan dalam lapisan perkerasan jalan dengan metode *marshall* dan dapat dimanfaatkan untuk mengurangi penumpukan limbah gypsum di area konstruksi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah konstruksi jalan yang sangat penting sebagai kelancaran transportasi darat sehingga menciptakan keamanan dan kenyamanan bagi

penggunaannya. (Saputra, 2023). Pada dasarnya konstruksi perkerasan jalan dibagi menjadi 3 jenis yaitu:

1. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*), bahan ikat perkerasan ini adalah Semen Portland.
2. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*), bahan ikat perkerasan ini adalah aspal.
3. Perkerasan Gabungan (*Composit Pavement*), merupakan gabungan antara perkerasan kaku dan lentur yang dimana perkerasan lentur menempati posisi teratas (permukaan) jalan.

Karakteristik Laston

Laston memiliki beberapa karakteristik yaitu :

1. *Stabilitas*
Kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*.
2. *Druabilitas* (keawetan)
Kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperature.
3. *Fleksibilitas* (kelenturan)
Kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (*konsolidasi/settlement*) dan pergerakan dari pondasi tanah dasar, tanpa terjadi retak.
4. Tahan terhadap geser
Kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak.
5. Tahan terhadap lelehan
Kemampuan permukaan beton aspal terutama kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir maupun selip.
6. Kedap air
Kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air maupun udara ke dalam lapisan beton aspal.
7. Mudah dilaksanakan (*workability*)
Kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan.

Aspal

Aspal didefinisikan sebagai bahan berwarna hitam atau coklat tua yang berwujud padat hingga agak padat pada suhu ruang atau diperoleh melalui permurnian minyak bumi, atau merupakan hasil kombinasi bitumen, baik secara tunggal maupun dengan minyak bumi atau produk turunannya.

Bitumen adalah zat perekat material (*viscous cementitious material*), berwarna hitam atau gelap, berbentuk padat atau semi padat, yang dapat diperoleh di alam ataupun sebagai hasil produksi. Bitumen dapat berupa aspal, tar, atau *pitch*. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan

residu dari pengilangan minyak bumi, tar adalah hasil kondensat dalam destilasi destruktif dari batubara, minyak bumi, kayu, atau material organik lainnya, sedangkan pitch diperoleh sebagai residu dari destilasi fraksional tar. Tar dan pitch tidak diperoleh di alam, namun merupakan produk kimiawi. Dari ketiga jenis bitumen tersebut di atas, hanya aspal yang umum digunakan untuk sebagai bahan pembentuk perkerasan jalan, sehingga seringkali bitumen disebut sebagai aspal (Sukirman, 2003).

Agregat

Menurut Pusjatan (2019), agregat atau batu atau grunalar material merupakan material bebutir yang keras dan kompak. Istilah agregat mencakup antara lain: batu bulat, batu pecah, abu batu, dan pasir. Agregat kasar adalah agregat yang tertahan saringan No. 8 (2,36 mm) sedangkan agregat halus adalah agregat yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) (Pusjatan, 2019). Menurut SNI (1969:2008), agregat kasar adalah agregat yang mempunyai ukuran butir antara No. 4 (4,75 mm) sampai 40 mm (1,5 inch) dan ukuran maksimum agregat untuk AC-WC adalah 19 mm. Berikut merupakan jenis Agregat:

a. Agregat Kasar

Agregat Kasar atau kerikil merupakan hasil desintegrasi alami dari batuan atau batu pecah yang diperoleh dari insutri pemecah batu. Umumnya, tiap butirannya berukuran antara 4,76 mm hingga 150 mm. Jenis-jenis agregat kasar umumnya yaitu batu pecah alami, kerikil alami, agregat kasar buatan, agregat untuk pelindung nuklir dan berbobot berat.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dan penelitian yang dilaksanakan di Laboratorium Uji Bahan Jalan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang. Pengambilan limbah gypsum dilakukan di Pembangunan Gedung (F) Poliklinik Dr. Soekandar Mojokerto Kab. Mojokerto. Metode penelitian yang digunakan untuk mendapatkan hasil atau data-data variabel yang diteliti. Benda uji penelitian berbentuk silinder dengan total jumlah 22 benda uji masing-masing 10 benda uji di setiap variasi aspal dan 12 benda uji di setiap variasi limbah gypsum. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian karakteristik campuran laston AC-WC dengan metode marshall.

b. Agregat Halus

Agregat halus merupakan hasil desintegrasi alami dari batuan berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat pemecah batu. Umumnya, ukuran agregat ini sebesar 0,063 mm hingga 4,76 mm yang terdiri dari pasir kasar dan pasir halus. Sedangkan agregat halus untuk beton penahan radiasi berupa serbuk baja halus dan serbuk besi pecah.

Filler

Filler merupakan komponen penyusun campuran lapisan aspal yang berfungsi sebagai pengisi rongga udara antara agregat kasar dan agregat halus. Kualitas *filler* dalam campuran akan mempengaruhi stabilitas yang diakibatkan reduksi ruang-ruang kosong udara dan menyebabkan aspal dapat lebih lekat, sehingga kekuatannya dapat meningkat.

Penggunaan jumlah *filler* yang banyak dapat menyebabkan campuran lebih kaku dan mudah retak, sedangkan penggunaan jumlah *filler* yang sedikit akan membuat campuran lebih lentur dan juga mudah berubah bentuk.

Filler berfungsi sebagai pengisi ruang diantara agregat halus dan kasar untuk meningkatkan kepadatan campuran. *Filler* merupakan bahan yang lolos melalui saringan No.200 (75 mikron) dan tidak kurang dari 75% dari jumlah keseluruhan berat campuran. (Chaira and Mawardi, 2019).

Gypsum

Gypsum adalah mineral sulfat yang terdapat dalam batuan sedimen. Gypsum tersusun dari kalsium sulfat dehydrate, yang memiliki rumus kimia $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Dalam bentuk murni, gypsum berupa kristal berwarna putih dan berwarna abu-abu, kuning, jingga, atau hitam bila kurang murni. Gypsum dibagi menjadi dua jenis, anhidrit yaitu gypsum yang disuling dibentuk dari 29,4% zat kapur/Ca dan 23,5% belerang/S dan dehydrate berisi CaSO_4 dan $2\text{H}_2\text{O}$ serta air. Umumnya, gypsum memiliki air yang dihubungkan dalam struktur molekular ($\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$), 23,3% Ca dan 18,5 % S. Jenis gypsum yang paling sering ditemukan merupakan jenis hidrat kalsium sulfat dengan rumus $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Gypsum terbagi menjadi 6 jenis, diantaranya sebagai berikut.

- TopLine merupakan papan gipsium berlapis kertas berwarna putih yang berfungsi untuk memberikan kesan permukaan yang halus sehingga dapat menjaga estetika tanpa melupakan fungsinya.
- BaseLine merupakan papan gipsium standar dengan lapisan kertas putih yang digunakan untuk partisi dinding dan plafon.
- AquaLine merupakan papan gipsium yang dilengkapi cairan silikon terpolimerasi sehingga mampu mengurangi penyerapan pada papan.
- FireLine merupakan papan gipsium yang terbuat dari bahan khusus guna meningkatkan kohesivitas pada suhu tinggi sehingga memberikan hasil maksimal ketika dihadapkan dengan api.
- ThermaLine merupakan gipsium dengan bahan penyerap suhu panas setebal 25 mm yang biasa digunakan untuk meningkatkan isolasi terhadap suhu dalam ruangan.
- DuraLine merupakan papan gipsium yang memiliki daya tahan terhadap benturan dan ideal untuk rumah serta bangunan komersial yang membutuhkan dinding kuat.

Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapis kerasa dalam menahan beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang permanen. Pengukuran stabilitas dengan uji marshall dibutuhkan untuk mengetahui kekuatan tekan geser dari sampel yang ditahan dua sisi kepala penekan, dengan nilai

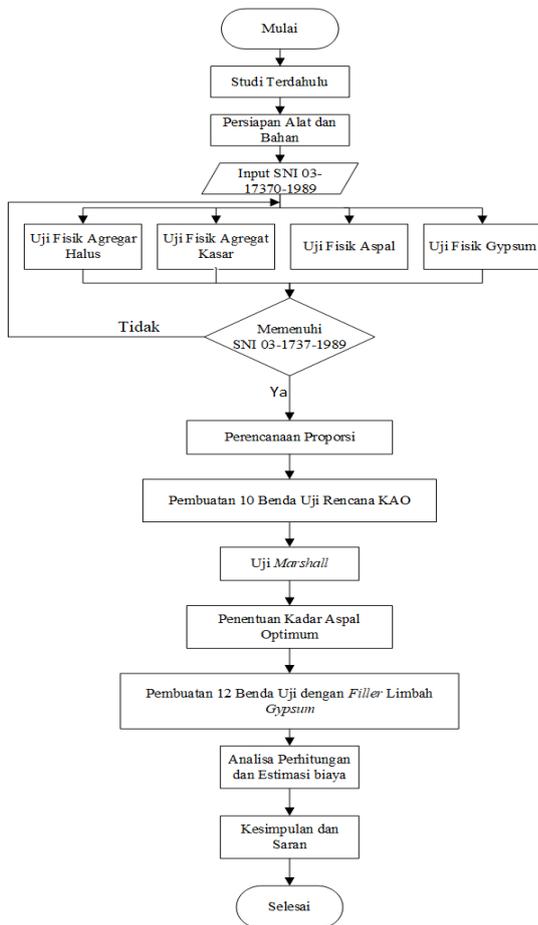
stabilitas yang cukup tinggi diharapkan perkerasan dapat menahan beban lalu lintas tanpa terjadi kehancuran geser.

Flow (kelelahan)

Kelelahan (flow) berfungsi sebagai pengukur untuk deformasi plastis atau fleksibilitas dari campuran perkerasan yang disebabkan oleh beban. Gradasi, kadar aspal, permukaan agregat, dan suhu pemadatan adalah beberapa variabel yang berdampak pada nilai kelelahan. Nilai kelelahan mewakili deformasi objek uji sebagai akibat dari pembebanan. Selama pengujian marshall, nilai ini dapat diperoleh langsung dari pembacaan pada alat marshall.

3. METODE

Adapun tahapan diagram alir yang akan dilakukan dalam penelitian dengan judul “Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Limbah Gypsum” sebagai berikut :



Gambar 1. Flowchart

Sumber: Pengujian Laboraturium Peneliti, 2024

Hasil Uji Fisik Agregat

Pengujian sifat fisik agregat kasar ini meliputi berat jenis *bulk*, Berat jenis SSD, Berat jenis apparent, Penyerapan, Kekerasan Agregat dan Keausan Los Angeles yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Fisik Agregat Kasar

Pengujian	Hasil	Persyaratan		Metode Pengujian	Ket.
		Min	Max		
Berat Jenis					
Bulk	2,708	2,5		SNI 03-1969-1990	Memenuhi
Apparent	2,864	2,5		SNI 03-1969-1990	Memenuhi
Penyerapan	2,011		3%	SNI 03-1969-1990	Memenuhi
Kadar Air	1,55%	1%	5 %	SNI 03-1970-1990	Memenuhi
Kekerasan	3,981				Memenuhi
Keausan	16,16 %	-	40%	SNI 03-2433-1991	Memenuhi

Sumber: Pengujian Laboraturium Peneliti, 2024

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik agregat kasar pada tabel diatas dapat disimpulkan bahwa batu pecah Pasuruan secara keseluruhan memenuhi syarat sebagai bahan campuran beton normal. Kemudian, untuk dilanjutkan pengujian sifat fisik agregat halus material yang digunakan berupa pasir Lumajang. Dalam pengujian ini terdapat beberapa pengujian yang dilakukan terdiri dari analisa saringan, kadar air, berat jenis, penyerapan, kadar organik, dan berat isi. Untuk hasil pengujian dijelaskan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Agregat Halus

Pengujian	Hasil	Persyaratan		Metode Pengujian	Ket.
		Min	Max		
Berat Jenis					
Bulk	2,687	2,5		SNI 03-1970-1990	Memenuhi
Apparent	2,742	2,5		SNI 03-1970-1990	Memenuhi
Penyerapan	0,746		3%	SNI 03-1970-1990	Memenuhi
Kadar Air	1,74%	1%	5%	SNI 03-1737-1989	Memenuhi
Kadar Organik	1	1	3	SNI 03-1737-1989	Memenuhi
Kadar Lumpur	0,18			SNI 03-1737-1989	Memenuhi

Sumber: Pengujian Laboraturium Peneliti, 2024

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik agregat halus pada tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pasir Lumajang memenuhi semua persyaratan. Sehingga, agregat halus ini dapat digunakan menjadi agregat halus dalam perencanaan campuran beton normal.

Hasil Uji Fisik Aspal

Terdapat beberapa bahan dalam pembuatan AC-WC, dan salah satunya adalah aspal yang merupakan komponen kunci. Sebelum digunakan sifat fisik aspal harus diuji dan dibandingkan dengan standar SNI yang telah ditetapkan. Beberapa pengujian sifat fisik aspal termasuk pengujian berat jenis, titik lembekaspal, dan penetrasi. Hasil pengujian ini dapat dilihat dalam table 3.

Tabel 3. Hasil Uji Fisik Aspal

Pengujian	Hasil	Persyaratan		Metode Pengujian	Ket.
		Min	Max		
Penetrasi, 25°C	65,4	60	70	SNI 06-2456-1991	Memenuhi
Titik Lembek, °C	48°C	48°C	58°C	SNI 06-2434-1991	Memenuhi
Berat Jenis	1,035	1,0		SNI 06-2441-1991	Memenuhi

Sumber: Pengujian Laboratorium Peneliti, 2024

Hasil dari pengujian berat jenis memiliki nilai 1,035 gr/dm³, pengujian ini bertujuan apakah aspal yang digunakan layak atau tidak dan nilai yang didapat dari hasil pengujian berat jenis ini memenuhi standar yang telah ditentukan oleh SNI 06-2441-1991 sebesar minimum 1gr.

Hasil Uji Fisik Gypsum

Hasil pengujian berat jenis *filler* limbah gypsum dalam substitusi ini dapat dilihat pada table 4.

Tabel 4. Hasil Uji Fisik Gypsum

Pemeriksaan		Benda Uji	
		I	II
Berat Benda Uji		50	50
Pembacaan Pertama Pada Skala Botol	V1	0	0
Pembacaan Kedua Pada Skala Botol	V2	19,5	19,3
Isi Cairan Yang Dipindahkan	V2 - V1	19,5	19,4
Berat Jenis	$\frac{\text{Berat}}{V2 - V1} \times d$	2,564102564	2,590673575
Berat Jenis Rata - rata		2,57738807	

Sumber: Pengujian Laboratorium Peneliti, 2024

Pada pengujian ini limbah gypsum ini memiliki nilai rata-rata 2,57738807 gram, pengujian ini bertujuan apakah limbah gypsum layak digunakan untuk pengganti semen atau tidak dan proses uji berat jenis limbah gypsum ini sama dengan proses berat jenis semen.

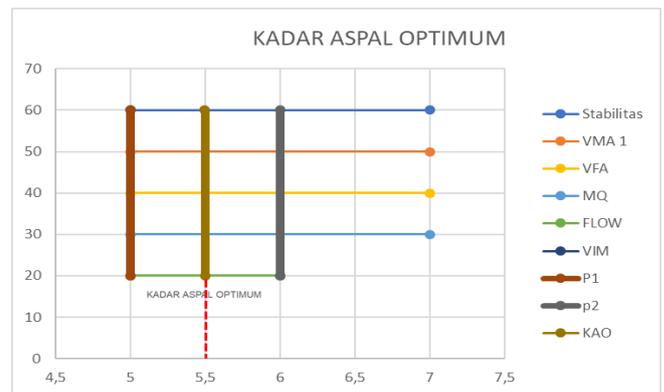
Hasil Uji Karakteristik Campuran Laston AC-WC Dengan Metode Marshall Untuk Memperoleh KAO

Selanjutnya, benda uji di uji dengan menggunakan alat Marshall sehingga diperoleh nilai karakteristik Marshall yang meliputi pelepasan (*Flow*), stabilitas, rongga dalam agregat (*VMA*), rongga dalam campuran (*VIM*), rongga terisi aspal (*VFA*), dan *Marshall Quotient*. Nilai karakteristik Marshall kemudian digunakan sebagai acuan untuk memperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (*KAO*). Berikut merupakan hasil pengujian karakteristik Marshall.

Tabel 5. Hasil Uji Karakteristik Marshall Untuk Memperoleh KAO

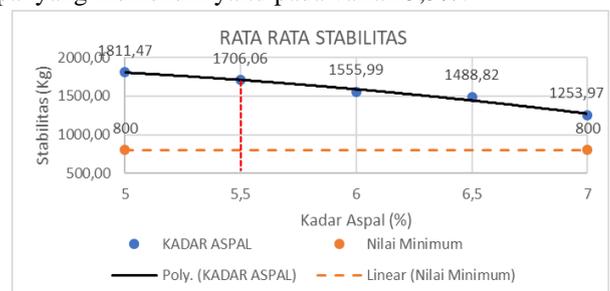
No.	Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Kadar Aspal %				
			5%	5,50%	6%	6,50%	7%
1.	Stabilitas (kg)	Min. 800	181,47	1706,06	1555,99	1488,82	1253,97
2.	Flow (mm)	Min. 3	3,16	3,07	3,11	2,395	2,7
3.	Rongga Dalam Agregat (<i>VMA</i>)%	Min. 15	17,95	15,79	15,03	15,80	16,61
4.	Rongga Dalam Campuran (<i>VIM</i>)%	3,5 - 5,5	2,73	1,65	2,49	0,98	0,68
5.	Rongga Terisi Aspal (<i>VFA</i>)%	Min.65	84,26	89,67	82,44	93,81	95,93
6.	Marshall Quotient (kg/mm)	Min. 250	588,28	582,02	497,96	637,71	477,60

Sumber: Pengujian Laboratorium Peneliti, 2024



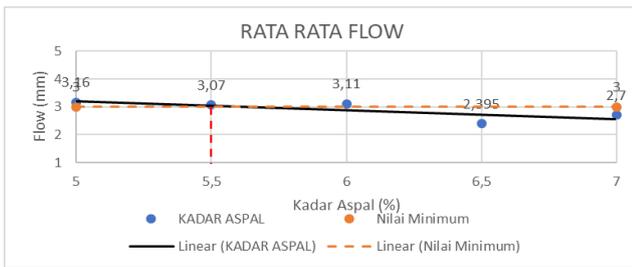
Gambar 2. Penentuan Kadar Aspal Optimum
Sumber: Pengujian Laboratorium Peneliti, 2024

Berdasarkan gambar 1 diatas varian kadar aspal optimum ditentukan dari hasil pengujian yang memenuhi parameter terbanyak yaitu 5%, 5,5%, dan 6%. Untuk mengetahui variasi yang digunakan saat menentukan kadar aspal optimum yaitu dengan cara merata-rata variasi aspal yang memenuhi. Kadar aspal yang memenuhi yaitu pada varian 5,5%.



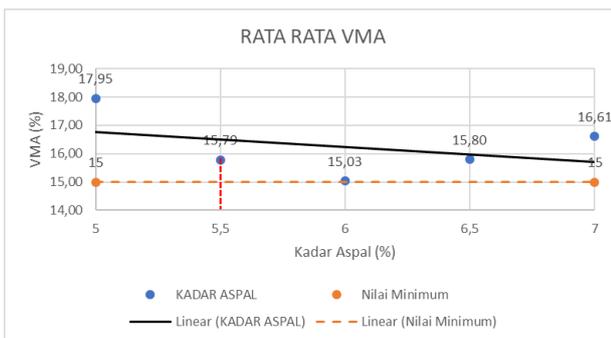
Gambar 3. Hubungan Kadar Aspal (%) Dengan Stabilitas Marshall (Kg)
Sumber: Pengujian Laboratorium Peneliti, 2024

Berdasarkan Gambar 2, stabilitas marshall dalam pengujian untuk menentukan kadar aspal optimum yang dilakukan pada kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% didapatkan hasil nilai stabilitas marshall kadar aspal 5% adalah 1811,47 Kg, kadar aspal 5,5% adalah 1706,06 Kg, kadar aspal 6% adalah 1555,99 Kg, kadar aspal 6,5% adalah 1488,82 Kg, dan kadar aspal 7% adalah 1253,97 Kg. Berdasarkan SNI 03-1737-1989 ketentuan nilai stabilitas marshall minimal yaitu 800 Kg maka varian kadar aspal yang memenuhi persyaratan yaitu kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.



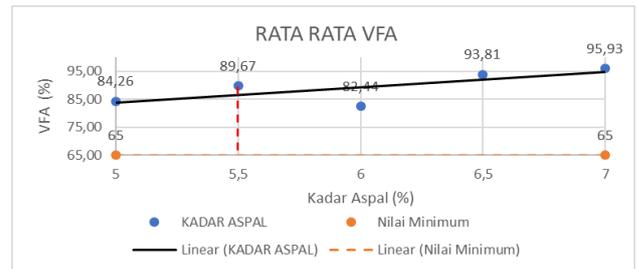
Gambar 4. Hubungan Antara Kadar Aspal (%) dengan Flow (mm)
 Sumber: Pengujian Laboraturium Peneliti, 2024

Berdasarkan gambar 3, flow dalam pengujian untuk menentukan kadar aspal optimum yang dilakukan pada kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% didapatkan hasil nilai stabilitas marshall kadar aspal 5% adalah 3,16 mm, kadar aspal 5,5% adalah 3,07 mm, kadar aspal 6% adalah 3,15 mm, kadar aspal 6,5% adalah 2,395 mm, dan kadar aspal 7% adalah 2,7 mm. Berdasarkan SNI 03-1737-1989 ketentuan nilai flow minimal yaitu 3 mm maka varian kadar aspal yang memenuhi persyaratan yaitu kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6%.



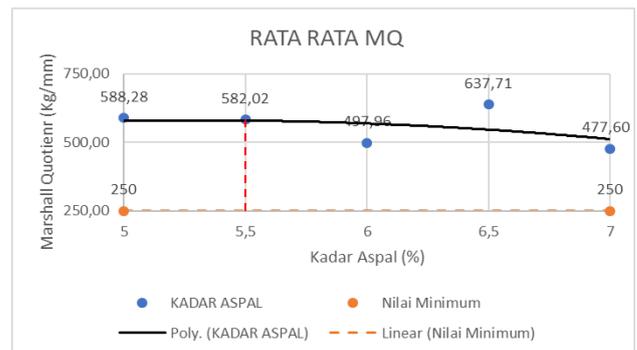
Gambar 5. Hubungan Antara Kadar Aspal (%) dengan VMA (%)
 Sumber: Pengujian Laboraturium Peneliti, 2024

Berdasarkan gambar 4 diatas VMA dalam pengujian untuk menentukan kadar aspal optimum yang dilakukan pada kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% didapatkan hasil nilai VMA kadar aspal 5% adalah 17,95%, kadar aspal 5,5% adalah 15,79%, kadar aspal 6% adalah 15,03%, kadar aspal 6,5% adalah 15,80%, dan kadar aspal 7% adalah 16,61%. Berdasarkan SNI 03-1737-1989 ketentuan nilai VFA minimal yaitu 3 mm maka varian kadar aspal yang memenuhi persyaratan yaitu kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.



Gambar 6 Hubungan Antara Kadar Aspal (%) dengan VFA (%)
 Sumber: Pengujian Laboraturium Peneliti, 2024

Berdasarkan gambar 5 diatas VFA dalam pengujian untuk menentukan kadar aspal optimum yang dilakukan pada kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% didapatkan hasil nilai VFA kadar aspal 5% adalah 84,26%, kadar aspal 5,5% adalah 89,67%, kadar aspal 6% adalah 82,44%, kadar aspal 6,5% adalah 93,81%, dan kadar aspal 7% adalah 95,93%. Berdasarkan SNI 03-1737-1989 ketentuan nilai VFA minimal yaitu 65% maka varian kadar aspal yang memenuhi persyaratan yaitu kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.



Gambar 7. Hubungan Antara Kadar Aspal (%) dengan MQ (Kg/mm)
 Sumber: Pengujian Laboraturium Peneliti, 2024

Berdasarkan gambar diatas *Marshall Quotient* dalam pengujian untuk menentukan kadar aspal optimum yang dilakukan pada kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% didapatkan hasil nilai *Marshall Quotient* kadar aspal 5% adalah 588,28 Kg/mm, kadar aspal 5,5% adalah 582,02 Kg/mm, kadar aspal 6% adalah 497,96 Kg/mm, kadar aspal 6,5% adalah 637,71 Kg/mm, dan kadar aspal 7% adalah 477,60 Kg/mm. Berdasarkan SNI 03-1737-1989 ketentuan nilai *Marshall Quotient* minimal yaitu 65% - 5,5% maka varian kadar aspal yang memenuhi persyaratan yaitu kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.

Hasil Perhitungan Komposisi Campuran Menggunakan Variasi Limbah Gypsum

Nilai persentase gradasi yang digunakan tetap sama dengan pengujian sebelumnya, maka komposisi agregat yang digunakan juga sama seperti pengujian kadar optimum aspal yang diperoleh dengan nilai kadar aspal 5,5%. Persentase substitusi penambahan *filler* gypsum yang digunakan ada 4 variasi yaitu 0%, 5,5%, 6,5%, 7,5%.

Tabel 6. Jobmix Menggunakan Variasi Limbah Gypsum

Kebutuhan Agregat Dengan Aspal Rencana						
Ø Ayakan (mm)	Lolos Ayakan (%)	% Tertahan Tiap Saringan	Berat Agregat Tiap Saringan (Gram)			
			0%	5,50%	6,50%	7,50%
19	100%	-	-	-	-	-
12,5	90%	10%	113,4	113,4	113,4	113,4
9,5	80%	10%	113,4	113,4	113,4	113,4
4,75	60%	20%	226,8	226,8	226,8	226,8
2,36	42,50%	17,50%	198,45	198,45	198,45	198,45
0,6	23,50%	19%	215,46	215,46	215,46	215,46
0,3	18%	5,50%	62,37	62,37	62,37	62,37
0,15	12%	6%	68,04	68,04	68,04	68,04
0,075	7%	5%	56,7	56,7	56,7	56,7
Pan (Semen)	0%	7%	79,4	75,0	74,2	73,4
Pan (Gypsum)			0,0	4,4	5,2	6,0
Kadar Aspal (Gram)			66	66	66	66
Total Berat (Gram)			1200	1200	1200	1200

Sumber: Pengujian Laboraturium Peneliti, 2024

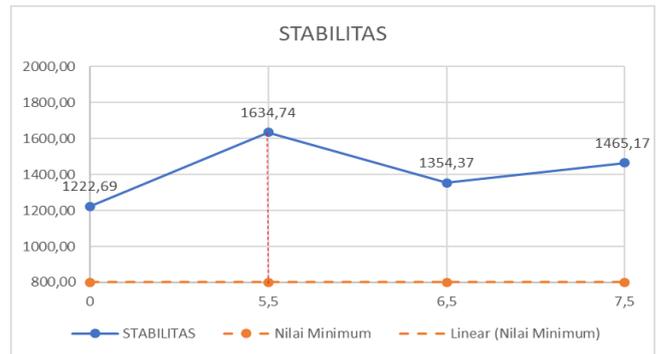
Hasil Pengujian Karakteristik Campuran Menggunakan Variasi Limbah Gypsum

Tabel 7. Hasil Pengujian Karakteristik campuran laston AC-WC dengan metode marshall variasi limbah gypsum

No.	Karakteristik Campuran Laston AC-WC	Spesifikasi	Variasi Limbah Gypsum %			
			0%	5,50%	6,50%	7,50%
1	Stabilitas (Kg)	Min. 800	1222,69	1634,74	1354,37	1465,17
2	Flow (mm)	3 - 5	3,0167	2,1433	2,0433	2,2033
3	Rongga Dalam Agregat (VMA) %	Min. 15	15,98	14,85	13,90	14,69
4	Rongga dalam Campuran (VIM) %	3,5 - 5,6	2,44	2,08	1,79	1,66
5	Rongga Terisi Aspal (VFA) %	Min.65	85,08	85,81	87,05	88,73
6	Marshall Quotient (Kg/mm)	Min. 250	413,51	795,08	678,33	675,18

Sumber: Pengujian Laboraturium Peneliti, 2024

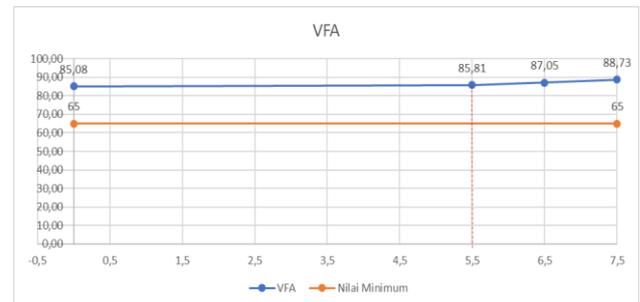
Pada tabel 7 di atas menunjukkan nilai karakteristik campuran laston AC-WC dengan menggunakan variasi gypsum. Pada variasi ini menunjukkan bahwa variasi 5,5% adalah variasi yang paling berkualitas dibandingkan dengan variasi lainnya. Variasi 5,5% mendapatkan nilai stabilitas sebesar 1637,74 kg, Nilai VFA sebesar 85,81%, dan nilai MQ sebesar 795,08 kg/mm



Gambar 8. Hubungan Kadar Limbah Gypsum (%) Dengan Stabilitas Marshall (Kg)

Sumber: Pengujian Laboraturium Peneliti, 2024

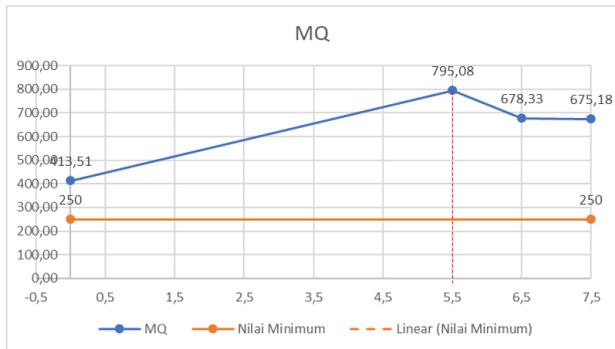
Berdasarkan gambar diatas stabilitas marshall dalam pengujian untuk menentukan persentase perbandingan semen/limbah gypsum yang dilakukan pada variasi gypsum 0%, 5,5%, 6,5%, dan 7,5% didapatkan hasil nilai stabilitas marshall 0% adalah 1222,69 Kg, semen/limbah gypsum 5,5% adalah 1634,74 Kg, semen/limbah gypsum 6,5% adalah 1354,37 Kg, dan semen/limbah gypsum 7,5% adalah 1465,17 Kg. Berdasarkan SNI 03-1737-1989 ketentuan nilai stabilitas marshall minimal yaitu 800 Kg maka varian semen/limbah gypsum yang memenuhi persyaratan yaitu semen/limbah gypsum 0%, 5,5%, 6,5%, dan 7,5%.



Gambar 9. Hubungan Kadar Limbah Gypsum (%) Dengan VFA (%)

Sumber: Pengujian Laboraturium Peneliti, 2024

Berdasarkan Gambar diatas VFA marshall dalam pengujian untuk menentukan persentase perbandingan semen/limbah gypsum yang dilakukan pada variasi gypsum 0%, 5,5%, 6,5%, dan 7,5% didapatkan hasil nilai VFA marshall 0% adalah 85,08%, semen/limbah gypsum 5,5% adalah 85,81%, semen/limbah gypsum 6,5% adalah 87,05%, dan semen/limbah gypsum 7,5% adalah 88,73%. Berdasarkan SNI 03-1737-1989 ketentuan nilai stabilitas marshall minimal yaitu 65% maka varian yang memenuhi persyaratan yaitu semen/limbah gypsum 0%, 5,5%, 6,5%, 7,5%.



Gambar 10. Hubungan Kadar Limbah Gypsum (%) Dengan MQ (%)

Sumber: Pengujian Laboraturium Peneliti, 2024

Berdasarkan Gambar diatas MQ marshall dalam pengujian untuk menentukan persentase perbandingan semen/limbah gypsum yang dilakukan pada variasi gypsum 0%, 5,5%, 6,5%, dan 7,5% didapatkan hasil nilai MQ marshall 0% adalah 413,51 Kg/mm, semen/limbah gypsum 5,5% adalah 795,08 Kg/mm, semen/limbah gypsum 6,5% adalah 678,33 Kg/mm, dan semen/limbah gypsum 7,5% adalah 675,18 Kg/mm. Berdasarkan SNI 03-1737-1989 ketentuan nilai stabilitas marshall minimal yaitu 250 Kg/mm maka varian yang memenuhi persyaratan yaitu semen/limbah gypsum 0%, 5,5%, 6,5%, 7,5%.

Analisis Anggaran Biaya

Untuk mengetahui anggaran biaya yang dibutuhkan pada proyek penelitian pengaruh penggunaan filler limbah gypsum terhadap campuran beton aspal (AC-WC), maka diperlukan analisis biaya guna untuk mengetahui kebutuhan serta anggaran yang dikeluarkan dalam kegiatan penelitian ini.

Tabel 8. Harga Material Sesuai Dengan Survei

Material	Jumlah	Satuan	Harga
Kerikil Pasuruan	25	kg	Rp. 20.000,00
Pasir Lumajang	25	kg	Rp. 15.000,00
Limbah Gypsum	1	kg	Rp. 0
Aspal Pertamina Pen 60/70	25	kg	Rp. 400.000,00
Semen Pc	40	kg	Rp. 57.000,00

Sumber: Pengujian Laboraturium Peneliti, 2024

Pada harga survei diatas digunakan agregat kasar yang berasal dari Pasuruan dengan harga Rp. 20.000/kg, agregat halus yang berasal dari Lumajang dengan harga Rp. 15.000/kg, limbah gypsum ini diambil dari hasil bongkaran plafon dan list partisi Proyek Poliklinik Dr. Soekandar Mojosari Kab. Mojokero, aspal pertamina pen 60/70 yang berasal dari PT. Multi Razulka Sakti dengan harga Rp. 400.000 25kg, dan semen yang digunakan untuk filler dengan harga Rp. 57.000/sak semen.

Tabel 9. Harga Satuan Material Penelitian Aspal Lapis Aus (AC-WC)

Material	Jumlah	Satuan	Harga
Kerikil Pasuruan	1	kg	Rp. 800,00
Pasir Lumajang	1	kg	Rp. 600,00
Limbah Gypsum	1	kg	Rp. -
Aspal Pertamina Pen 60/70	1	kg	Rp. 16.000,00
Semen Pc	1	kg	Rp. 1.425,00

Sumber: Pengujian Laboraturium Peneliti, 2024

Pada tabel diatas dapat dibulatkan harga per kg bahan yang digunakan untuk campuran laston AC-WC agar lebih mempermudah saat melakukan perhitungan rencana anggaran biaya.

Tabel 10. Analisis Biaya Variasi Limbah Gypsum

No.	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Harga
1.	Sampel 0%				
	Aspal	0,1980	Kg	Rp.16.000,00	Rp. 3.168,0000
	Agregat Kasar	1,3608	Kg	Rp. 800,00	Rp. 1.088,6400
	Agregat Halus	1,8031	Kg	Rp. 600,00	Rp. 1.081,8360
	Semen	0,2381	Kg	Rp. 1.425,00	Rp. 339,3495
Total Harga Sampel 0%					Rp. 5.677,82
2.	Sampel 5,5%				
	Aspal	0,1980	Kg	Rp. 16.000,00	Rp. 3.168,0000
	Agregat Kasar	1,3608	Kg	Rp. 800,00	Rp. 1.088,6400
	Agregat Halus	1,8031	Kg	Rp. 600,00	Rp. 1.081,8360
	Semen	0,2250	Kg	Rp. 1.425,00	Rp. 320,6853
Limbah Gypsum	0,0131	Kg	Rp. 0	Rp. 0	
Total Harga Sampel 5,5%					Rp. 5.659,16
3.	Sampel 6,5%				
	Aspal	0,1980	Kg	Rp. 16.000,00	Rp. 3.168,0000
	Agregat Kasar	1,3608	Kg	Rp. 800,00	Rp. 1.088,6400
	Agregat Halus	1,8031	Kg	Rp. 600,00	Rp. 1.081,8360
	Semen	0,2227	Kg	Rp. 1.425,00	Rp. 317,2918
Limbah Gypsum	0,0155	Kg	Rp.	Rp.0	
Total Harga Sampel 6,5%					Rp. 5.655,76
4.	Sampel 7,5%				
	Aspal	0,1980	Kg	Rp. 16.000,00	Rp. 3.168,0000
	Agregat Kasar	1,3608	Kg	Rp. 800,00	Rp. 1.088,6400
	Agregat Halus	1,8031	Kg	Rp. 600,00	Rp. 1.081,8360
	Semen	0,2203	Kg	Rp. 1.425,00	Rp. 313,8983
Limbah Gypsum	0,0179	Kg	Rp. 0	Rp. 0	
Total Harga Sampel 7,5%					Rp. 5.652,37
Total Harga Penelitian=					Rp. 22.645,12

Sumber: Pengujian Laboraturium Peneliti, 2024

Tabel 11. Rencana Anggaran Biaya Variasi 5,5%

5,5%					
NO	KOMPONE N	SATUAN	PERKIRA AN KUANTIT AS	HARGA SATUAN (Rp.)	JUMLAH HARGA (Rp.)
A. TENAGA					
1.	Pekerja	Jam	0,241	Rp. 112.385,00	Rp. 27.084,79
2.	Mandor	Jam	0,0201	Rp. 165.830,00	Rp. 3.333,18
JUMLAH HARGA TENAGA					Rp. 30.417,97
B. BAHAN					
1.	Agregat Kasar	M3	0,3341	Rp. 196.106,00	Rp. 65.519,01
2.	Agregat Halus	M3	0,4236	Rp. 323.496,00	Rp. 137.032,90
3.	Filler Semen	Kg	9,0607	Rp. 1.686,00	Rp. 15.276,34
4.	Filler Limbah Gypsum	Kg	0,5273	Rp. 350,00	Rp. 184,55
5.	Aspal	Kg	59,160	Rp. 15.000,00	Rp. 887.400
JUMLAH HARGA TENAGA					Rp. 1.105.412,82
C. PERALATAN					
1.	Wheel Loader	Jam	0,0128	Rp. 480.873,00	Rp. 6.155,17
2.	AMP	Jam	0,0201	Rp. 11.345.433,00	Rp. 228.043,20
3.	Genset	Jam	0,0201	Rp. 507.800,00	Rp. 10.206,78
4.	Dump Truck	Jam	0,0945	Rp. 407.401,00	Rp. 38.499,39
5.	Asphalt Finisher	Jam	0,0125	Rp. 631.284,00	Rp. 7.891,05
6.	Tendem Roller	Jam	0,0286	Rp. 482.513,00	Rp. 13.799,87
7.	p. Tyre Roller	Jam	0,0229	Rp. 536.816,00	Rp. 12.293,09
8.	Alat Bantu	Ls	1	Rp. -	Rp. -
JUMLAH HARGA TENAGA					Rp. 316.888,56
D. JUMLAH HARGA TENAGA, BAHAN DAN PERALATAN (A + B + C)					Rp. 1.452.719,34
E. OVERHEAD & PROFIT (10% X D)					Rp. 145.271,93
F. HARGA SATUAN PEKERJAAN (D + E)					Rp. 1.597.991,28

Sumber: Pengujian Laboratorium Peneliti, 2024

Berdasarkan biaya diatas, semakin besar penambahan variasi limbah gypsum maka semakin kecil biaya pembuatan aspal. Pada variasi limbah gypsum 5,5% mengalami penurunan harga sebesar 0,48%, variasi limbah gypsum 6,5% mengalami penurunan harga sebesar 0,58%, limbah gypsum 7,5% mengalami penurunan harga sebesar 0,66%.

4. KESIMPULAN

- Hasil dari pengujian sifat fisik campuran aspal dan agregat untuk campuran beton aspal AC-WC memenuhi standart SNI 03-1737-1989. Pengujian agregat kasar berat jenis mendapatkan hasil 2,708 dengan nilai minimal 2,5, pengujian kadar air mendapatkan hasil 1,55% dengan nilai minimal nilai 1%, pengujian kekerasan mendapatkan hasil 3,981, dan pengujian keausan mendapatkan hasil 16,16% dengan nilai maksimal 40%.
- Hasil pengujian campuran laston AC-WC dengan metode marshall didapatkan varian kadar aspal optimum (KAO) pengujian karakteristik campuran laston AC-WC dengan parameter terbanyak yaitu 5%,

5,5%, dan 6%. Untuk mengetahui variasi yang digunakan saat menentukan kadar aspal optimum yaitu dengan cara mengambil nilai tengah dari ketiga varian aspal yang memenuhi. Nilai tengah dari ketiga varian yaitu pada varian 5,5%. Pada kadar aspal 5,5% (KAO) didapatkan nilai Stabilitas 1706,06 Kg, Flow 3,07 mm, VMA sebesar 15,79%, VIM 1,65%, VFA 89,67%, MQ 582,02Kg/mm.

- Hasil Pengaruh karakteristik campuran laston AC-WC dengan metode marshall yang terjadi pada substitusi *filler* dengan kadar limbah gypsum 5,5% pada laston AC-WC mendapatkan nilai sebagai berikut: Stabilitas 1634,74 Kg nilai ini memenuhi syarat dengan standart min 800Kg. VFA 86,37% nilai ini memenuhi syarat standart min 65%, MQ 554,09 Kg/mm nilai ini memenuhi syarat standart min 65 Kg/mm.
- Estimasi biaya yang dimiliki oleh laston AC-WC dengan substitusi *filler* limbah gypsum 5,5% dengan harga Rp. 1.597.991,28/ton.

5. SARAN

Setelah melakukan penelitian dan pengujian, didapatkan saran-saran terhadap penelitian dan perencanaan lanjutan adalah sebagai berikut:

- Untuk penelitian selanjutnya hendaknya melakukan penelitian menggunakan batu sebagai *filler* untuk mencari kadar aspal optimum (KAO)
- Untuk penelitian selanjutnya hendaknya mencoba untuk melakukan uji SRF pada limbah gypsum.
- Untuk penelitian selanjutnya mencoba pada lapisan selain AC-WC.

DAFTAR PUSTAKA

- Auditia, B. A., Rendih, R., Elnov, D., Mulatua, H. H., & Rachmansyah, R. (2018). Pengaruh Penggunaan Bubuk Gypsum Sebagai *Filler* Dalam Campuran Aspal. *Jurnal Teknik Dan Ilmu Komputer*.
- Bina Marga. (2018). "Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan". Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. (1993). Buku 1: Petunjuk Umum Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas. Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah.
- Hidayah, A., & Hartantyo, S. D. (2021). Pengaruh penambahan limbah serbuk gipsum sebagai bahan pengganti *filler* pada campuran asphalt concrete-wearing course. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 545-556.

- 5) Mawardi, E. (2019). Utilization of palm shells fly ash as *filler* on the mixture of Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 325, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.
- 6) Ou, L., Li, R., Zhu, H., Zhao, H., & Chen, R. (2023). Upcycling waste phosphogypsum as an alternative *filler* for asphalt pavement. *Journal of Cleaner Production*, 420, 138332.
- 7) Sadillah, M., Arifin, M. Z., & Wicaksono, A. (2018). FLY ASH AS *FILLER* USED FOR CHARACTERISTICS OF MARSHALL ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 2(01), 87-98.
- 8) Saputra, H. (2023). Studi Komporasi Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku Pada Jalan Poros Desa Trijaya Dengan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan 2017 dan AASHTO 1933 (Doctoral dissertation, Universitas Batanghari Jambi).
- 9) Suryadi, A., & Rochman, T. (2024). Effect of the Utilization of Lightweight Brick Wastes and Silica Fume Addition on the Concrete Compressive Strength.
- 10) SNI 03-1737-1989. Tata Cara Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Laston Untuk Jalan Raya, Badan Standarisasi Indonesia
- 11) SNI 03-2417-1991. Metode Pengujian Keausan Agregat Dengan Mesing Abrasi Los Angeles, Badan Standarisasi Indonesia SNI 06-2434-1991, Metode Pengujian Titik Lembek Aspal dan Ter, Badan Standarisasi Indonesia
- 12) SNI 06-2456-1991. Metode, Pengujian Penetrasi Bahan-bahan Bitumen, Badan Standarisasi Indonesia
- 13) SNI 06-2489-1991. Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, Badan Standarisasi Indonesia
- 14) SNI 24412011. Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras, Badan Standarisasi Indonesia Revisi SNI 09-1737-1989, Badan Standarisasi Indonesia
- 15)** Yusuf, F. A., Ridwan, A., & Poernomo, Y. C. S. (2019). Penelitian Penambahan Bahan Serbuk Dolomite Dan Pasir Brantas Pada Campuran Aspal Beton. *Jurnal Manajemen Teknologi dan Teknik Sipil (JURMATEKS)*, 2(2)