

# PEMANFAATAN LIMBAH DEBU MARMER SEBAGAI FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA CAMPURAN LAPIS AUS (*WEARING COURSE*)

**Kamaluddin Lubis, Sofian Valentino Nainggolan**

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Medan Area

[klubis250@gmail.com](mailto:klubis250@gmail.com); [sofianvalentino150301@gmail.com](mailto:sofianvalentino150301@gmail.com)

## Abstrak

*Perkerasan wearing course dalam konstruksi jalan, atau yang dikenal sebagai lapisan aus, merupakan lapisan paling atas dari struktur perkerasan jalan yang berfungsi menahan beban lalu lintas serta melindungi lapisan dibawahnya dari pengaruh cuaca dan abrasi. Lapisan ini didesain agar tahan terhadap gesekan dan tekanan dari roda kendaraan, serta memberikan permukaan jalan yang aman dan nyaman bagi pengguna. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di laboratorium dan mengacu pada standar Bina Marga tahun 2010. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan debu marmer sebagai bahan tambah (filler) terhadap nilai stabilitas dan durabilitas campuran aspal pada lapisan aus (wearing course) dengan variasi komposisi debu marmer sebesar 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan debu marmer mempengaruhi nilai stabilitas Marshall, dimana nilai stabilitas tertinggi pada perendaman 30 menit terdapat pada komposisi 60% sebesar 1.517,93kg, dan stabilitas tertinggi setelah perendaman 8 jam juga terjadi pada komposisi yang sama dengan nilai sebesar 1.304,80kg. Nilai durabilitas pada masing-masing variasi berturut-turut adalah 92,40%, 92,32%, 93,15%, 93,83%, dan 93,73%, yang seluruhnya berada di atas ambang batas 90% sebagaimana ditetapkan dalam spesifikasi teknis, sehingga menunjukkan bahwa penambahan debu marmer secara signifikan meningkatkan ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat pengaruh lingkungan dan waktu.*

**Kata-Kata Kunci :** *Lapis Aus (Wearing Course), Marshall, Durabilitas*

## I. Pendahuluan

Infrastruktur jalan merupakan elemen vital dalam menunjang sistem transportasi yang efisien serta mendukung pertumbuhan ekonomi daerah secara berkelanjutan. Oleh karena itu, konstruksi perkerasan jalan harus dirancang dan dibangun dengan kualitas tinggi guna memastikan keamanan, kenyamanan, dan kelancaran arus lalu lintas (Arifinet al., 2019). Salah satu jenis lapisan pada struktur perkerasan jalan yang umum digunakan di Indonesia adalah lapis aspal beton (Laston), yaitu campuran agregat bergradasi baik (wellgraded) dan aspal keras, yang diproses melalui pencampuran, penghamparan, dan pemadatan dalam kondisi panas pada temperatur tertentu (Abidin et al., 2021; Aziset al., 2022).

Komponen utama dalam campuran Laston terdiri atas agregat kasar, agregat halus, filler, dan aspal sebagai bahan pengikat. Aspal yang digunakan harus memenuhi spesifikasi teknis, seperti aspal keras dengan penetrasi 40/50, 60/70, atau 80/100 yang seragam, bebas air pada pemanasan hingga 175°C, Serta tidak menghasilkan busa, sebagaimana dipersyaratkan dalam pedoman teknis nasional (Candra Aditya et al., 2016). Untuk mengevaluasi kualitas campuran aspal, salah satu pengujian yang umum digunakan adalah uji Marshall, yang berfungsi mengukur stabilitas dan kelelahan plastis (flow). Flow diartikan sebagai perubahan bentuk atau regangan akibat beban dari tanpa beban hingga beban maksimum, yang dinyatakan dalam satuan mili meter atau 0,01 inci (Syaiful Amal & Saleh, 2016). Stabilitas dan flow yang baik menunjukkan ketahanan campuran terhadap deformasi plastis

akibat beban berulang. Sejalan dengan kebutuhan peningkatan kualitas dan keberlanjutan dalam konstruksi jalan, pemanfaatan limbah industry sebagai material substitusi telah menjadi fokus penelitian, salah satunya limbah marmer. Marmer merupakan batuan Meta morf hasil transformasi batu kapur yang banyak digunakan pada sektor konstruksi dan dekorasi. Dalam proses pengolahannya, limbah berupa serbuk atau pecahan marmer dalam jumlah besar kerap terbuang sia-sia (Susanto et al., 2019), dan berpotensi mencemari lingkungan (Ardian et al., 2016).

Beberapa studi menunjukkan bahwa limbah Marmer dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti filler pada campuran lapis aus Asphalt Concrete– Wearing Course (AC–WC) karena karakteristik fisik dan kimianya yang dapat meningkatkan performa campuran (Hamdani, 2015). Selain itu, filler marmer memiliki kandungan mineral karbonat yang tinggi, berpotensi mengikat air dalam campuran, dan secara tidak langsung dapat meningkatkan ketahanan aspal terhadap efek destruktif air (Triandhara et al., 2021).

Debu marmer yang digunakan sebagai filler memiliki sifat non-plastis dengan ukuran partikel sangat halus, yang diperoleh dari proses penggilingan dan pemotongan batu marmer yang telah mengalami metamorfosis hidrotermal. Karakteristik ini menjadikan debu marmer mampu meningkatkan kohesi dan daya tahan campuran terhadap deformasi permanen, termasuk rutting dan abrasi, yang biasanya dipicu oleh beban lalu lintas berulang dan fluktuasi suhu (Sitompul et al., 2024).

Fenomena kerusakan rutting pada lapisan AC–WC merupakan salah satu jenis kerusakan struktural

yang umum terjadi, terutama disebabkan oleh kurangnya kepadatan dan kestabilan termal pada campuran. Rutting sangat berpengaruh terhadap penurunan kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan (C.Aditya et al.,2016).Oleh karenanya, inovasi material dengan memanfaatkan limbah marmer sebagai alternative filler tidak hanya memberikan solusi teknis terhadap masalah deformasi plastis, tetapi juga mendukung upaya pengelolaan limbah berkelanjutan (Al-Mansoorietal., 2021; Sampurnaetal.,2018).

Penggunaan debu marmer juga selaras dengan prinsip pembangunan infrastruktur berkelanjutan dan green construction, yang kini menjadi agenda strategis global dalam sector konstruksi, termasuk di Indonesia. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa substitusi filler konvensional dengan limbah marmer dalam campuran hotmix dapat meningkatkan daya tahan terhadap pengelupasan serta ketahanan permukaan terhadap cuaca ekstrem dan suhu tinggi. Selain itu, terdapat potens iekonomi dari pemanfaatan limbah marmer yang selama inidak termanfaatkan secara optimal.

Dengan demikian, kajian mengenai penggunaan limbah marmer sebagai filler alternatif dalam campuran AC-WC menjadi sanga trelevan dan strategis untuk dikembangkan, baik dari sisi teknis, lingkungan ,maupun sosial-ekonomi. Penentuan Kandungan Aspal Optimum (KAO) Langkah awal dalam perancangan *Job Mix Formula* (JMF) campuran aspal beton adalah menentukan kandungan aspal optimum (KAO), yang merupakan kadar aspal terbaik untuk menghasilkan stabilitas dan keawetan maksimum pada campuran. Penentuan KAO dilakukan setelah dilakukan proses pemilihan dan kombinasi proporsi dari ketiga komponen utama agregat, yakni agregat kasar, agregat halus, dan filler.

Rumus empiris yang sering digunakan untuk menentukan kadar aspal awal dalam tahap awal desain campuran adalah sebagai berikut:

$$Pb=0,035(\%CA)+0,045(\%FA)+0,18(\%FF) + K(1)$$

Keterangan:

Pb = Perkiraan awal kadar aspal optimum (%)

CA = Persentase agregat kasar (%)

FA = Persentase agregat halus (%)

FF = Persentase filler (%)

K = Konstanta koreksi, berkisar antara 0,5

hingga 1,0 tergantung karakteristik material dan pengalaman perancang

Persamaan ini merupakan pendekatan teoritis awal yang digunakan untuk memperkirakan nilai KAO, sebelum dilakukan serangkaian uji Marshall guna mendapatkan nilai optimum yang sesungguhnya. Nilai K yang digunakan bersifat korektif dan biasanya ditentukan berdasarkan pengalaman empiris atau referensi karakteristik material local.

Penentuan KAO sangat krusial karena berpengaruh langsung terhadap parameter Marshall seperti stabilitas, flow, void sinmix (VIM), voids in mineral aggregate (VMA), dan voids filled with asphalt (VFA). Kesalahan dalam penentuan KAO dapat menyebabkan campuran tidak memenuhi standar performa, seperti kekakuan yang rendah, ketahanan aus yang buruk, atau bahkan mudah mengalami kerusakan prematur akibat deformasi plastis (*rutting*) dan *bleeding*

## II. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Karakteristik dan Klasifikasi Agregat dalam Struktur Perkerasan

Agregat secara umum dapat didefinisikan Sebagai himpunan partikel padat granular yang berasal dari batuan alami, material daur ulang, maupun hasil industri,yang apabila digabungkan dengan bahan pengikat, berfungsi sebagai komponen utama dalam pembentukan struktur perkerasan jalan (C.Adityaetal.,2016). Dalam konstruksi jalan, agregat merupakan bahan dominan dalam campuran aspal beton, yakni mencakup sekitar 90–95% berdasarkan berat dan sekitar 75–85% berdasarkan volume total campuran.Oleh karenanya, sifat-sifat fisik dan mekanis dari agregat sangat berpengaruh terhadap performa perkerasan, termasuk kekuatan struktural, stabilitas termal, ketahanan terhadap deformasi, serta kualitas permukaan jalan yang dihasilkan.

Sebelum digunakan dalam campuran, agregat harus melewati proses pengujian gradasi menggunakan analisis saringan untuk memastikan distribusi ukuran partikel sesuai dengan spesifikasi teknis. Tujuannya adalah agar hasil pencampuran Dapat menghasilkan kerapatan maksimum dan stabilitas optimum pada lapisan aus (wearing course). Standar klasifikasi ukuran agregat umumnya mengacu pada system pengayakan ASTM, dengan klasifikasi sebagai berikut (Marga,2024):

**Tabel. 1. Spesifikasi ASTM Gradasi Agregat**

Ukuran ayakan		Spesifikasi ASTM Gradasi Agregat		Jenis agregat
Inch	mm	Batas bawah	Batas atas	
3/4	19	100	100	Agregat kasar
1/2	12,5	80	100	
3/8	9,5	77	90	
4	4,75	53	69	Agregat halus
8	2,36	33	53	
16	1,18	21	40	
30	0,60	14	30	
50	0,30	9	22	filler
100	0,15	6	15	
200	0,075	4	0	

(sumber:binamarga.pu.go.id,2002)

Pemeriksaan terhadap karakteristik gradasi agregat sangat krusial sebelum pelaksanaan pencampuran, khususnya untuk lapisan aus, karena distribusi ukuran partikel yang tepat dapat meningkatkan daya ikat antara aspal dan agregat serta mengurangi rongga udara (void) dalam campuran. Keberhasilan dalam pencapaian desain campuran sangat ditentukan oleh pemilihan agregat yang memenuhi standar kualitas, seperti kekerasan, ketahanan aus, bentuk partikel, dan tingkat absorpsi. Perbedaan kualitas agregat dapat mempengaruhi parameter penting seperti nilai Marshall Stability, flow, dan rutting resistance.

## 2.2 Parameter Karakteristik Marshall

Pada pengujian karakteristik serta Parameter Marshall umumnya menunjukkan pola penambahan aspal yang kurang lebih sama. Yang disesuaikan dengan stabilitas yang diinginkan.

## 2.3 Stabilitas (Stability)

Stabilitas Marshall merupakan parameter penting dalam pengujian karakteristik mekanik campuran aspal, yang menggambarkan kemampuan campuran untuk menahan beban lalu lintas serta pengaruh perubahan lingkungan tanpa mengalami deformasi permanen seperti alur (*rutting*), gelombang (*corrugation*), atau retakan (*cracking*) (C.Aditya et al., 2016). Stabilitas ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis dan gradasi agregat, kadar aspal, serta sifat kohesif dari material pengikat.

Agregat dengan bentuk bersudut tajam dan tekstur permukaan kasar akan meningkatkan gaya gesek internal antar partikel, menghasilkan interlocking yang kuat dan memberikan kontribusi besar terhadap kestabilan campuran. Sementara itu, aspal yang memiliki daya rekat tinggi (kohesif) juga mampu memperkuat struktur campuran dan mengurangi risiko deformasi plastis.

Nilai stabilitas Marshall dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$S = P \times Q$$

Keterangan:

S = Nilai stabilitas (kg)

P = Faktor kalibrasi alat Marshall

Q = Pembacaan hasil alat Marshall saat pengujian

Nilai ini mencerminkan kapasitas maksimum campuran dalam menahan gaya tekan sebelum mengalami kerusakan struktur.

## 2.4 Durabilitas (Durability)

Durabilitas atau ketahanan campuran aspal terhadap kondisi lingkungan dan beban lalu lintas jangka panjang merupakan aspek krusial dalam desain perkerasan. Durabilitas dipengaruhi oleh tingkat kepadatan, kadar void, kualitas agregat, serta sifat aspal sebagai bahan pengikat. Faktor eksternal seperti temperatur, air, kelembapan udara, dan sinar matahari dapat mempercepat proses degradasi campuran aspal (Sitompul et al., 2024).

Untuk mengukur tingkat ketahanan ini, digunakan parameter Indeks Kekuatan Sisa (IKS) atau *Residual Strength Index*, yang memberikan gambaran terhadap penurunan kekuatan setelah mengalami perendaman air pada suhu tinggi. Pengujian dilakukan dalam dua tahap: (1) benda uji direndam selama T1T\_1T1 jam pada suhu 60°C, lalu diuji stabilitasnya, dan (2) benda uji lain direndam selama T2T\_2T2 jam pada suhu yang sama sebelum diuji kembali.

Nilai IKS yang tinggi menunjukkan bahwa campuran memiliki daya tahan yang baik terhadap pengaruh air, dan dengan demikian berumur panjang dalam kondisi perkerasan sebenarnya (Rahim et al., 2012).

## 2.5 Pengujian Benda Uji

Pada penelitian ini, proses awal melibatkan Analisis gradasi agregat untuk memastikan bahwa material yang digunakan memenuhi spesifikasi teknis dalam campuran lapis aus (*wearing course*). Material uji terdiri atas agregat kasar batu pecah ¾", agregat sedang, pasir, abu batu, serta filler dari limbah marmer, dengan tambahan aspal keras sebagai bahan pengikat.

Setelah benda uji dicetak sesuai prosedur, dilakukan pengujian berat jenis dan uji Marshall. Sebelum pengujian, benda uji direndam terlebih dahulu dalam air bersuhu 60°C selama 20 menit untuk simulasi kondisi lapangan awal. Setelah itu dilakukan uji stabilitas dan flow dengan alat Marshall. Selanjutnya, benda uji kembali direndam dalam air selama 8 jam guna menentukan nilai stabilitas dan flow lanjutan, yang digunakan untuk menghitung indeks durabilitas dan memperkirakan umur pakai campuran (Nensi, 2024).

Penggunaan limbah marmer sebagai filler juga ditinjau dari kemampuannya dalam mempertahankan kekuatan struktural campuran aspal setelah perendaman, serta kontribusinya terhadap pengurangan porositas dan peningkatan kohesi internal campuran (Bento et al., 2021).

## III. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan berdasarkan pedoman teknis dari Bina Marga (2010), dengan fokus pada pemanfaatan debu marmer sebagai bahan Tambah (*additive filler*) dalam campuran aspal beton. Tujuan utama dari penggunaan debu marmer adalah untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap karakteristik stabilitas serta estimasi umur simpan campuran perkerasan.

Debu marmer yang digunakan sebagai filler diaplikasikan dalam lima variasi komposisi, yaitu: 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80% terhadap total filler. Setelah pelaksanaan pengujian, dilakukan analisis terhadap parameter-parameter Marshall yang meliputi: stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), void in mix (VIM), void filled with asphalt (VFA), dan void in mineral aggregate (VMA).

Tahapan awal dalam pengolahan debu marmer meliputi beberapa langkah sistematis berikut:

Pemilahan limbah marmer dari sisa bongkaran bangunan; Pembersihan limbah dari kotoran permukaan seperti lumut dan debu. Proses pengeringan limbah dengan metode penjemuran atau pengeringan dalam oven selama ±1 hari. Penghancuran limbah marmer menggunakan alat penumbuk (blender) untuk mendapatkan ukuran. Serta filler (termasuk variasi debu marmer). Setelah alat penumbuk (blender) untuk mendapatkan ukuran benda uji selesai dibuat, dilakukan uji berat jenis sebagai parameter pendukung. Seluruh specimen kemudian diuji menggunakan alat Marshall sesuai dengan prosedur uji untuk mendapatkan nilai stabilitas dan flow. Hasil uji ini menjadi dasar untuk menentukan pengaruh variasi filler debu marmer terhadap inerja campuran dan estimasi umur teknis campuran aspal yang diuji

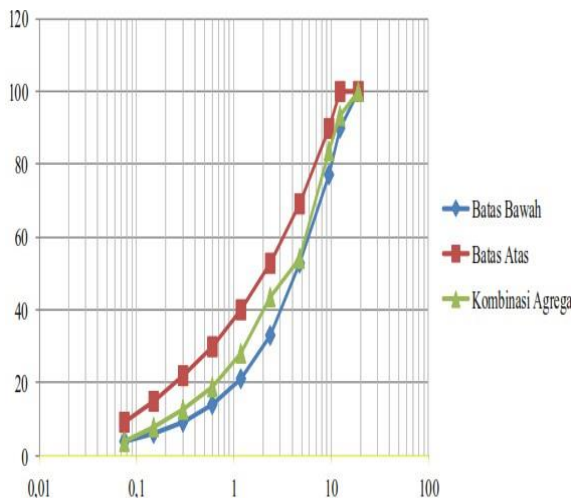
**IV. Pembahasan**

**4.1 Perhitungan Gradasi Agregat**

Dari perhitungan kombinasi agregat tiap-tiap saringan maka dibuat campuran yang dapat dilihat pada Table 2 dan grafik1 berikut:

**Tabel 2. Rekapitulasi Kombinasi Agregat**

Ukuran Ayakan	Kombinasi	Batas bawah	Sfesisifikasi ASTM	Batas atas
3/4	100,0	100	-	100
1/2	93,37	91	-	95
3/8	83,92	75	-	91
4	54,17	51	-	70
8	43,50	35	-	55
16	28,25	20	-	41
30	18,75	12	-	35
50	12,55	9	-	20
100	7,89	7	-	12
200	4,01	4	-	9



**Grafik 1. Rekapitulasi Kombinasi Agregat**

**4.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)**

Penentuan kadar aspal optimum (KAO) dilakukan pada tahap awal setelah pemilihan dan penggabungan ketiga fraksi agregat, yakni agregat kasar, agregat halus, dan filler. KAO dihitung menggunakan rumu sempiris berikut:

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K$$

Dengan keterangan

- Pb = perkiraan kadar aspal(%)
- %CA =persentase agregat kasar,
- %FA =persentase agregat halus,
- %FF =persentase filler,
- K =konstanta tambahan berdasarkankebutuhan

**4.3 Perumusan Komposisi Campuran**

Komposisi campuran dilakukan dengan menambahkan debu marmer sebagai bahan pengisi (filler) tambahan. Penambahan ini divariasikan dalam lima level proporsi, yaitu 0%, 20%, 40% ,60%, dan 80% terhadap total filler. Setiap variasi kadar filler diuji menggunakan kadar aspal tetap sebesar 5,28%.

Untuk setiap benda uji yang dibuat, digunakan material campuran agregat dan aspal sebanyak 1.200 gram per sampel.

Komposisi Campuran tersebut dirancang untuk memastikan distribusi material yang homogeny dan dapat mewakili karakteristik campuran aspal beton secara konsisten pada masing-masing level penambahan debu marmer.

**Tabel 3. Komposisi iKebutuhan Campuran**

Lapis Aus (Wearing Course)		
<u>Komposisi Perbandingan Hasil</u>		
Campuran	Total agregat (Gr)	Total campuran (%)
	12,00	11,36
Batu Pecah 3/4 Medium	34,00	32,19
Abu Batu Pasir	40,00	38,19
	12,00	11,09
	2,00	1,89
Filler	--	5,28
KAO	1200,00	100,00
Berat benda uji		

**4.4 Perhitungan Pengujian Parameter Marshall**

Perhitungan parameter Marshall dilakukan berdasarkan hasil uji laboratorium terhadap campuran aspal dengan kadar optimum 5,28% yang telah ditentukan sebelumnya. Pengujian ini menggunakan 15 benda uji, dimana 5 sampel digunakan secara representatif untuk menganalisis karakteristik Marshall dari masing-masing variasi campuran dengan perlakuan perendaman selama 30 menit. Parameter utama yang dihitung meliputi berat isi (bulk density),

rongga udara dalam campuran (VoidinMix/VIM), rongga dalam agregat mineral (Voidin Mineral Aggregate /VMA), rongga terisi aspal (Void Filled with Bitumen/VFB), stabilitas (stability), kelelahan (flow), dan Marshall Quotient (MQ). Perhitungan parameter dilakukan dengan pendekatan standar Bina Marga dan pengolahan data menggunakan factor koreksi yang relevan ,agar menghasilkan nilai Marshall yang mencerminkan kondisi actual di lapangan.

Nilai-nilai parameter tersebut menunjukkan kinerja mekanis dan ketahanan struktural dari campuran beraspal. Sebagai contoh, nilai stabilitas dan MQ mengindikasikan sejauh mana campuran mampu menahan beban kendaraan tanpa mengalami deformasi permanen, sementara VIM, VMA, dan VFB memberikan informasi penting mengenai keseimbangan antara kekosongan udara dan distribusi aspal dalam agregat. Parameter ini sangat krusial untuk menjamin daya tahan campuran terhadap perubahan suhu, beban lalu lintas, dan kondisi lingkungan yang ekstrem.

Beberapa penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa penggunaan bahan alternatif seperti debu marmer sebagai filler memiliki potensi besar dalam memperbaiki karakteristik Marshall.(Fauziahetal.,2012) menunjukkan bahwa substitusi filler konvensional dengan debu marmer dapat meningkatkan nilai stabilitas dan MQ secara signifikan tanpa mengorbankan kadar kekosongan. Temuan lain dari (Susantoetal.,2016) mendukung bahwa material limbah industry seperti debu marmer mampu memperbaiki distribusi aspal dalam agregat sehingga meningkatkan nilai VFB. Dalam penelitian berbeda, (Alkhaly etal., 2022) mencatat bahwa variasi komposisi filler secara langsung memengaruhi VMA dan bulk density, yang berimplikasi terhadap umur layan perkerasan.

Hasil pengujian dari seluruh sampel selanjutnya disajikan dalam Tabel 4, yang menunjukkan variasi performa parameter Marshall terhadap komposisi campuran. Data ini menjadi dasar untuk melakukan evaluasi kinerja optimum campuran serta menilai kelayakan penggunaan bahan alternatif dalam perkerasan jalan.

**Tabel 4. Hasil Pengujian Marshall**

Parameter	Debumarmer(%)					Spesifikasi
	0%	20%	40%	60%	80%	
Marshall	0%	20%	40%	60%	80%	
Stabilitas						
(kg)	1115,03	1070,40	1517,93	1066,25	980,97	Min800
Flow(mm)	2,23	2,70	3,47	3,63	3,77	2,0– 4,0
VIM (%)	4,19	4,82	4,54	4,86	5,12	3,0– 5,0
VMA(%)	16,25	16,46	16,77	16,79	17,16	Min15
VFB(%)	75,73	73,66	73,10	72,84	68,62	Min65
MO						
(kg/mm)	500,09	449,82	459,59	590,80	257,51	Min250

(Sumber: analisis data, 2025)

Berdasarkan hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 4, diperoleh bahwa seluruh parameter campuran aspal yang mengandung variasi debu marmer sebesar 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80% menunjukkan nilai stabilitas, flow, VIM (Voidinthe

Mix),VMA (Voidin Mineral Aggregate), VFB (Void Filled with Bitumen), dan Marshall Quotient yang sesuai dengan persyaratan standar teknis yang ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Secara khusus, pada komposisi i80% penggunaan debu marmer, nilai parameter VIM tercatat sebesar 5,22%, yang berada sedikit di atas batas minimum spesifikasi sebesar 5%. Hal ini menunjukkan bahwa pada kadar tersebut, campuran mampu mempertahankan tingkat porositas yang masih dalam rentang spesifikasi, serta berpotensi memberikan kinerja perkerasan yang baik dalam jangka panjang

**4.5 Evaluasi Nilai Durabilitas**

Penilaian terhadap dayatahan atau durabilitas campuran dilakukan melalui pendekatan indeks kekuatan sisa (IKS), yang mencerminkan ketahanan campuran terhadap kondisi lingkungan, beban lalu lintas, dan perubahan waktu. IKS diperoleh dengan membandingkan nilai stabilitas Marshall dari benda uji yang direndam selama 8 jam dengan benda uji yang direndam selama 30 menit. Perbandingan ini memberikan gambaran sejauh mana integritas struktural campuran aspal bertahan setelah mengalami perendaman berkepanjangan, yang mensejajarkan kondisi lapangan terhadap pengaruh air dan suhu. Nilai IKS yang tinggi mengindikasikan bahwa campuran memiliki ketahanan yang baik terhadap degradasi dan kerusakan dini

**Tabel 5. Perbandingan Nilai stabilitas rendaman 30 menit dengan rendaman 8jam**

Benda uji	Nilai stabilitas rendamn30 menit	Nilai stabilitas rendaman.8 jam	Nilai durabilitas	Ketentuan binamarga < 90%= OK
	(Kg)	(Kg)		
0 %	1.115,03	1.039,16	92,40	
20 %	1.070,40	1.027,72	92,32	
40 %	1.517,93	1.323,80	93,15	
60 %	1.066,25	1.297,84	93,83	
80 %	980,97	973,49	93,73	

Tabel 5 menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran aspal dengan penambahan debu marmer sebesar 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80% sebagai bahan tambah (filler) berhasil memenuhi standar durabilitas minimum yang ditetapkan. Berdasarkan ketentuan Kementerian Pekerjaan Umum pada tahun 2010 (Revisi ke-3 tahun 2014), nilai durabilitas minimum yang disyaratkan adalah >90%. Adapun hasil uji menunjukkan bahwa nilai durabilitas pada masing-masing variasi berturut-turut sebesar 93,40%, 92,32%, 93,15%, 93,83%, dan 94,73%. Seluruh nilai ini juga telah melampaui ambang batas minimum ketentuan durabilitas menurut Departemen Jalan Raya tahun 2006 dan AASHTO 1993, yang mensyaratkan nilai durabilitas minimal sebesar ≥75%.

Menariknya, meskipun seluruh komposisi memenuhi syarat, tren hasil uji menunjukkan bahwa

semakin tinggi kandungan debu marmer dalam campuran, terdapat indikasi penurunan nilai durabilitas secara bertahap. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan filler dari limbah debu marmer dalam proporsi besar cenderung menurunkan stabilitas jangka panjang dari campuran aspal terhadap kondisi lingkungan yang basah. Namun demikian, penurunan tersebut masih berada dalam batas aman dan tetap dinyatakan layak digunakan sebagai bagian dari struktur perkerasan jalan

## V. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa :

1. Semakin tinggi kadar debu marmer yang digunakan, maka semakin meningkat pula nilai durabilitas pada campuran aspal dengan kadar aspal sebesar 5,22%. Analisis terhadap variasi kadar debu marmer sebesar 0%, 20%, 40%, 60%, dan 80% menunjukkan bahwa bahan tambah tersebut memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan durabilitas campuran.
2. Nilai durabilitas yang diperoleh berturut-turut adalah 93,40%, 92,32%, 93,15%, 93,83%, dan 94,73%, yang seluruhnya melampaui ambang batas minimum 90% sebagaimana disyaratkan dalam spesifikasi teknis oleh Dinas Bina Marga tahun 2010. Hal ini membuktikan bahwa debu marmer layak digunakan sebagai bahan tambah (filler) pada campuran aspal dalam upaya meningkatkan ketahanan terhadap pengaruh lingkungan dan beban lalu lintas.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan apresiasi dan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan kontribusi yang berarti dalam proses pelaksanaan hingga penyelesaian penelitian ini. Tanpa kerja sama dan dorongan dari berbagai pihak

Penyusunan laporan ini tidak akan dapat diselesaikan secara tepat waktu

## Daftar Pustaka

- [1]. Abidin, Z., Bunyamin, & Kurniasarir, F. D. 2021. *Uji Marshall Pada Campuran AC-WC Dengan Substitusi Filler*. Jurnal Serambi Engineering, 6(1), 1631–1638. <https://doi.org/10.32672/jse.v6i1.2653>
- [2]. Aditya, C, Halim, A., &Silviana, S., 2016. *Pemanfaatan Limbah Marmer Hasil Olahan Industri Batu Marmer pada Bata Ringan CLC (Cellular Light weight Concrete)*. Prosiding Seminar Nasional Sains...,99–106. <https://ejournal.itats.ac.id/sntekpan/article/view/1309>
- [3]. Aditya, Candra, Halim, A., & Silviana. 2016. *Pemanfaatan Limbah Marmer Hasil Olahan Industri Batu Marmer Pada Bata Ringan CLC (Cellular Light weight Concrete)*. Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Terapan IV.
- [4]. Alkhaly, Y.R., Fadhliani, F., & Faisal, R., 2022. *Pengaruh Variasi Jenis Material Filler Pada Campuran Aspal Beton Terhadap Parameter Marshall*. TECHSI- Jurnal Teknik Informatika, 12(3), 22. <https://doi.org/10.29103/techsi.v12i3.9193>
- [5]. Al-Mansoori, T., Dulaimi, A., Shanbara, H. K., & Musa, S.S., 2021. *Marshall Parameters of Hot Mix Asphalt with Variable Filler Types and Aggregate Gradations*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1090(1), 012038. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1090/1/012038>
- [6]. Ardian, M., Setyawan, A., & Sarwono, D. 2016. *Pengaruh Bitumen Modifikasi Polimer Ethylene Vinyl Acetate (EVA) Pada Asphalt Concrete Terhadap Karakteristik Marshall*. E-Jurnal Matriks Teknik Sipil, 2(2), 544–552.
- [7]. Arifin, W., Nurtamsari, Y., & Samampa, A. N. 2019. *Pengaruh Limbah Batu Marmer sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran Aspal Beton Terhadap Kuat Tarik Tidak Langsung*. Jurnal Teknik Sipil MACCA, 4(3), 228–236. <https://doi.org/10.33096/jtsm.v4i3.378>
- [8]. Azis, M.I.W., Hamsyah, & Kasmaida. 2022. *Uji Experimental Variasi Agregat Halus Pada Campuran Asphalt AC-BC*. Jurnal Karajata Engineering, 2(1), 1–10.
- [9]. Bea, L., Basri, L., & Alifuddin, A., 2023. *Kajian Karakteristik dan Deformasi Campuran AC-WC Mixtures Utilizing Marble Wasten substitution As Coarse Aggregate Fraction*. Journal of Sciencetech Research and Development, 5(2).
- [10]. Bento, S. R., Hadi, W., & Arthur, R., 2021. *Pengaruh Penggunaan Limbah Serbuk Batu Marmer Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Pada Campuran Lapis Atas Permukaan Aspal Beton (Ac-Wc) Terhadap Persyaratan Parameter Marshall*.
- [11]. Fauziah, M., Sukarno, Syaifurrohman, I., Marzuko, A., & Denny. 2012. *Studi Eksperimental Penggunaan FlyAsh Sebagai Additive Terhadap Kinerja Beton Aspal Sebagai Upaya Pemanfaatan Material Limbah*. Jurnal Rekayasa Sipil, 2(1), 1–103
- [12]. Hamdani, M.R., 2015. *Studi Pemanfaatan Limbah Marmer Sebagai Agregat Kasar Campuran Aspal Berpori*
- [13]. Marga, D. J. B., 2024. *Manual Desain Perkerasan Jalan 2024*. Kementerian PUPR, 02, 31–52.

- [14]. Nensi S. 2024. *Analisis Stabilitas Marshall Terhadap Penggunaan Marmer Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Campuran Ac- Wc*. Jurnal Konstruksi, 1(1),2–8. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.1-1.xxxx>
- [15]. Sampurna, S. A., Iswan, & Zakaria, A., 2018, *Pengaruh Penambahan Zat Additive Abu Sekam Padi dan Matos Terhadap Nilai CBR ( California Bearing Ratio) Tanah Lempung Ditinjau dari Waktu Pemeraman*. Jrsdd, 6(1)
- [16]. Sari, K. I., 2021. *Pengaruh Serbuk Abu Cangkang Kerang Sebagai Bahan Pengganti Filler Pada Campuran Aspal*. Journal of Civil Engineering Building and Transportation, 5(2),132–142. <https://doi.org/10.31289/jcebt.v5i2.5847>
- [17]. Sitompul, O.H., Alamsyah, W., & Basrin, D. 2024, *Pengaruh Pemanfaatan Abu Cangkang Kerang Darah sebagai Bahan Tambah Filler Campuran Aspal terhadap Nilai Marshall pada Perkerasan Jalan AC-WC*. Jurnal Komposit, 8(2), 241–248. <https://doi.org/10.32832/komposit.v8i2.15126>
- [18]. Susanto, A., Sayekti, S. P., Arifin, M.Z., &.. 2016, *Pengaruh Limbah Beton Dan Marmer Pada Campuran Aspal Porus Dengan Bahan Tambahan Gilsonite*. Jurusan Teknik Sipil. <http://sipil.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmt s/article/view/327>
- [19]. Susanto, D., Djauhari, Z., & Olivia, M. (2019) *Karakteristik Beton Portland Composite Cement (PCC) Dan Silica Fume Untuk Aplikasi Struktur di Daerah Laut*. Jurnal Rekayasa Sipil (JRS- Unand), 15(1), 1. <https://doi.org/10.25077/jrs.15.1.1-11.2019>
- [20]. Syaiful Amal, A., & Saleh, C., 2016. *Pemanfaatan Limbah Batu Marmer Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Beton Terhadap Karakteristik Marshall*. Jurnal Media Teknik Sipil, 13(2), 117–126. <https://doi.org/10.22219/jmts.v13i2.2556>
- [21]. Trianugrah, G., Wedyantadji, B., & Nainggolan, T., 2021. *Pemanfaatan Limbah Pecahan Batu Marmer Sebagai Pengganti Agregat 10/10 Pada Campuran AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course) Terhadap Nilai Karakteristik Marshall*. Jurnal Sondir, 5(1), 32–39