



Analisis Karakteristik Marshall Campuran AC-Base Berdasarkan Uji Laboratorium

Nyayu Shalsabilah¹, Ely Mulyati^{2*}, Feri Ahmad Sopian³

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains Teknologi, Universitas Bina Darma

³PT.Bintang Selatan Agung

¹shalsabilahnyayu@gmail.com, ^{2*}ely.mazpar@gmail.com

Abstrak

Kerusakan struktural serta deformasi permanen pada perkerasan lentur sering kali dipicu oleh kualitas campuran lapisan fondasi atas yang buruk. Padahal, lapisan berbahan beton aspal (Asphalt Concrete-Base) ini memegang peran vital dalam mendistribusikan beban kendaraan ke struktur di bawahnya. Apabila mutu lapisan ini tidak sesuai dengan ketentuan teknis yang berlaku, maka potensi terjadinya kerusakan seperti rutting, retak, dan penurunan umur layanan jalan akan semakin besar. Atas dasar tersebut, studi ini dilakukan guna menguji karakteristik Marshall dari campuran AC-Base sekaligus menakar kelayakannya berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Analisis dijalankan menggunakan data sekunder pengujian laboratorium pada variasi kadar aspal sebesar 4,5% hingga 6,5% dengan interval 0,5%. Adapun indikator mutu yang dievaluasi mencakup nilai kelelahan (flow), stabilitas, Marshall Quotient (MQ), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam agregat (VMA), serta rongga terisi aspal (VFA). Berdasarkan hasil analisis, nilai stabilitas, MQ, dan VMA telah memenuhi standar pada seluruh persentase kadar aspal yang diuji. Sementara itu, pemenuhan regulasi untuk parameter VIM serta VFA berada pada rentang kadar aspal 5,0% hingga 6,5%, dan parameter kelelahan (flow) hanya mencapai standar kelayakan hingga kadar aspal 5,5%. Secara keseluruhan, diperoleh kesimpulan bahwa proporsi kadar aspal 5,0%–5,5% menghasilkan performa campuran yang paling optimal karena seluruh indikator karakteristik Marshall berhasil memenuhi batasan spesifikasi yang dipersyaratkan. Dengan demikian, rentang kadar aspal tersebut direkomendasikan dalam pembuatan campuran AC-Base untuk menjamin kualitas perkerasan yang tahan lama dan sesuai standar teknis yang berlaku.

Kata Kunci: AC-Base, Karakteristik Marshall, Kadar Aspal, Perkerasan Lentur, Parameter Volumetrik.

1. Latar Belakang

Sebagai urat nadi transportasi darat, jalan raya memiliki fungsi strategis dalam memfasilitasi pergerakan manusia dan barang secara efisien. Merujuk pada data Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, performa jalan yang mantap menjadi prasyarat utama bagi akselerasi ekonomi dan penguatan integrasi wilayah di skala nasional. Pembangunan infrastruktur jalan yang berkualitas tidak hanya memperluas aksesibilitas, tetapi juga menjadi instrumen penting dalam mendorong kesejahteraan sosial [1].

Perkerasan lentur dibangun dengan sistem berlapis dimana setiap lapisan memiliki fungsi spesifik dalam menyebarkan beban kendaraan secara bertahap hingga mencapai tanah dasar. Secara umum, komponen pembentuk struktur perkerasan lentur terbagi menjadi empat bagian struktural, yakni lapisan atas/permukaan (*surface course*), fondasi atas (*base course*), fondasi bawah (*sub-base course*), serta lapisan tanah dasar (*subgrade*). [2]. Di antara lapisan tersebut, AC-Base berperan sebagai lapis pondasi atas yang memiliki kontribusi struktural signifikan dalam menahan dan mendistribusikan tegangan dari lapisan di atasnya ke bagian bawah perkerasan [3]. Mutu campuran AC-Base sangat mempengaruhi keawetan konstruksi jalan, karena campuran yang kurang baik dapat menyebabkan kerusakan struktural seperti deformasi permanen dan retak [2].

Kinerja AC-Base sangat bergantung pada kualitas material penyusunnya serta komposisi campuran yang meliputi gradasi agregat dan kadar aspal. Ketidaksesuaian komposisi dengan persyaratan teknis dapat mengakibatkan berbagai jenis kerusakan, seperti penurunan ketahanan terhadap beban dan berkurangnya umur layanan perkerasan [4]. Untuk memastikan kualitas campuran sebelum diaplikasikan di lapangan, diperlukan pengujian laboratorium secara menyeluruh. Metode Marshall menjadi salah satu pendekatan yang banyak digunakan di Indonesia untuk mengevaluasi karakteristik campuran aspal beton. Melalui metode ini diperoleh parameter penting seperti stabilitas, flow, VIM, VMA, dan VFA yang menjadi acuan dalam menilai kesesuaian campuran terhadap spesifikasi teknis [3][5].

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji karakteristik campuran aspal beton dengan pendekatan yang beragam. Tondok et al. [5] melakukan penelitian tentang karakteristik AC-Base yang menggunakan agregat dari sungai dan menemukan bahwa variasi gradasi agregat berpengaruh signifikan terhadap stabilitas dan VMA. Mulyadefie et al. [3] mengembangkan desain gradasi campuran aspal beton dengan pendekatan kerangka agregat

dan menyimpulkan bahwa metode tersebut efektif dalam meningkatkan kinerja AC-Base. Sementara itu, Nofrianto dan Astika [6] meneliti penggunaan pasir silika sebagai substitusi agregat halus pada campuran AC-WC dan menemukan bahwa hal tersebut mempengaruhi nilai Marshall Quotient. Rahman et al. [7] mengkaji karakteristik Marshall pada campuran Split Mastic Asphalt dan melaporkan bahwa bentuk serta tekstur agregat turut menentukan tingkat stabilitas campuran. Penelitian lain yang dilakukan oleh Arifin et al. [8] mengkaji pelaksanaan pekerjaan aspal beton pada lapisan AC-BC dalam kegiatan preservasi jalan, dan menyoroti bahwa pengendalian mutu serta kesesuaian metode kerja terhadap spesifikasi teknis merupakan faktor penting yang turut menentukan kualitas lapisan perkerasan secara keseluruhan, termasuk pada lapisan AC-Base yang menjadi objek kajian dalam penelitian ini.

Dengan demikian, pengujian laboratorium terhadap kinerja AC-Base menjadi sangat penting. Semua indikator Marshall akan dianalisis dalam hal kekuatan struktural (*flow*, MQ, dan stabilitas) dan proporsi volumetrik (VMA, VFA, dan VIM). Dengan menggunakan data hasil uji, topik utama studi ini adalah mekanisme kalkulasi dan evaluasi karakteristik mekanis untuk memastikan bahwa mereka sesuai dengan standar yang berlaku.

2. Metode Penelitian

Penelitian kuantitatif ini mengolah data sekunder yang didapatkan dari arsip hasil uji laboratorium perkerasan jalan. Informasi utama yang dievaluasi terdiri dari karakteristik gradasi gabungan, sifat fisik agregat, serta mutu aspal, di samping data pengujian Marshall campuran AC-Base dengan lima variasi kadar aspal (4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0%; dan 6,5%). Rancangan formula campuran AC-Base ini mengombinasikan fraksi agregat dengan proporsi 15%, 25%, dan 29%, yang kemudian dikombinasikan bersama 28% abu batu selaku agregat halus serta 3% semen yang berfungsi sebagai bahan pengisi (*filler*). Melalui formulasi material tersebut, campuran diproyeksikan mampu mencapai gradasi agregat yang optimal demi menjamin kekuatan struktural dan ketahanan jangka panjang.

Guna memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6, seluruh material penyusun (aspal dan agregat) wajib melewati serangkaian uji laboratorium terlebih dahulu [4]. Pengujian aspal difokuskan pada metrik daktilitas, berat jenis, titik lembek, dan nilai penetrasi di temperatur 25°C. Di sisi lain, karakteristik mekanis agregat diidentifikasi lewat uji keausan dengan mesin Los Angeles serta analisis bentuk butiran (kepipihan dan kelonjongan). Penentuan gradasi agregat mengandalkan persentase berat material yang lolos pada masing-masing ukuran ayakan dari hasil analisis saringan. Selanjutnya, performa campuran AC-Base dievaluasi lewat uji Marshall berdasarkan acuan SNI 06-2489-1991 [15]. Pembuatan sampel uji berdiameter 101,6 mm dan tinggi 63,5 mm ini menerapkan pemadatan standar sebanyak 75 kali tumbukan di kedua sisinya. Tahap akhir pengujian melibatkan proses *curing* pada suhu ruang selama 24 jam dan perendaman sampel dalam air bersuhu 60°C selama durasi 30 menit, sebelum akhirnya ditekan menggunakan mesin Marshall dengan pembacaan *proving ring*.

Marshall Quotient dihitung sebagai perbandingan antara stabilitas dan *flow* sesuai persamaan (1), dimana MQ dinyatakan dalam kg/mm, stabilitas dalam kg, dan *flow* dalam mm.

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} \quad (1)$$

Melalui Persamaan (2), persentase rongga dalam campuran (VIM) setelah dipadatkan dapat dihitung. Estimasi ini diperoleh dengan membandingkan berat jenis nyata benda uji (G_{mb}) terhadap nilai berat jenis maksimum teoritis campuran (G_{mm}).

$$VIM = 100 \left(1 - \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \quad (2)$$

Void in Mineral Aggregate dihitung menggunakan persamaan (3) untuk mengetahui volume rongga antar butiran agregat, dimana VMA adalah rongga dalam agregat (%).

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad (3)$$

Void Filled with Asphalt dihitung dengan persamaan (4) untuk mengetahui persentase rongga agregat yang terisi aspal, dimana.

$$VFA = 100 \left(\frac{VMA - VIM}{VMA} \right) \quad (4)$$

Data yang diperoleh dianalisis dan dibandingkan dengan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6 untuk menentukan tingkat kesesuaian setiap parameter Marshall. Parameter yang belum memenuhi spesifikasi dievaluasi untuk mengetahui penyebabnya, sedangkan kesimpulan penelitian disusun berdasarkan hasil analisis keseluruhan parameter yang ditinjau.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Karakteristik Marshall

Berdasarkan data eksperimen, seluruh sifat fisik aspal yang diuji memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6 [4]. Rekapitulasi menyeluruh dari capaian uji laboratorium tersebut disajikan secara detail pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Status
1.	Berat Jenis	SNI 2441:1991	1,033 gr/cm ³	≥ 1,0	Memenuhi
2.	Penetrasi 25° C, 100 gram, 5 detik	SNI 2456:2011	70,8 (0,1 mm)	60-70	Memenuhi
3.	Titik Lembek	SNI 2434:2011	48,5 ° C	≥ 48° C	Memenuhi
4.	Daktilitas (25° C)	SNI 2434:2011	143 cm	≥ 100 cm	Memenuhi

Nilai penetrasi yang tercatat sebesar 70,8 (0,1 mm), titik lembek 48,5°C, daktilitas 143 cm, dan berat jenis 1,033 gr/cm³ seluruhnya masih berada dalam batas spesifikasi yang ditentukan. Mutu fisik yang mencakup aspek fleksibilitas, ketahanan terhadap fluktuasi temperatur, serta tingkat kekerasan yang sesuai, menegaskan kelayakan aspal ini sebagai bahan pengikat dalam formula AC-Base. Hal ini memperkuat hasil penelitian Asyraf et al. [9] yang menunjukkan bahwa kualitas material penyusun campuran beraspal berpengaruh terhadap karakteristik Marshall yang dihasilkan. Hasil pengujian karakteristik agregat menunjukkan bahwa seluruh parameter agregat yang diuji telah memenuhi persyaratan spesifikasi [4]. Rangkuman hasil pengujian karakteristik agregat disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

N0.	Jenis Pengujian	Benda Uji	Hasil	Spesifikasi	Status
1.	Keausan agregat	Agregat Kasar	24,74%	Maks.30%	Memenuhi
2.	Kepipihan agregat	Agregat Kasar (12,5 mm)	3,17%	Maks.10%	Memenuhi
3.	Kelonjongan agregat	Agregat Kasar (12,5 mm)	3,33%	Maks.10%	Memenuhi

Nilai keausan agregat yang diperoleh sebesar 24,74% masih berada di bawah batas maksimum yang ditetapkan yaitu 30%, sehingga agregat tergolong memiliki ketahanan yang cukup baik terhadap abrasi. Selain itu, nilai kepipihan dan kelonjongan agregat masing-masing tercatat sebesar 3,17% dan 3,33%, yang masih jauh di bawah ambang batas maksimum 10%. Hal ini menunjukkan bahwa agregat memiliki bentuk yang baik sehingga mendukung interlocking antar butir dan meningkatkan stabilitas campuran. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Boro et al. [10] yang menyatakan bahwa agregat dengan bentuk bersudut cenderung memberikan stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan agregat berbentuk bulat.

Berdasarkan hasil analisis gradasi gabungan, distribusi ukuran agregat yang digunakan telah memenuhi kriteria gradasi untuk campuran AC-Base. Kurva gradasi berada di dalam batas spesifikasi pada setiap ukuran saringan dan cenderung mendekati daerah tengah rentang spesifikasi. Material yang lolos saringan No. 200 sebesar 4,36% juga masih sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Susunan gradasi yang memenuhi spesifikasi dapat menghasilkan struktur agregat yang lebih rapat, meningkatkan interlocking antar butir, serta mendukung peningkatan stabilitas campuran perkerasan [3].

3.2. Hasil Pengujian Marshall

Rekapitulasi nilai rata-rata dari pengujian Marshall pada tiap-tiap variasi kadar aspal disajikan secara detail pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Marshall

No.	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM(%)	VMA (%)	VFA(%)
1.	4,50	1703,92	3,49	488,37	5,97	14,40	58,55
2.	5,00	1684,54	3,08	546,10	4,86	14,41	66,40
3.	5,50	1630,16	3,46	471,78	3,67	14,33	74,60
4.	6,00	1519,01	4,05	374,73	3,39	15,03	77,62
5.	6,50	1159,06	4,44	260,83	3,55	16,15	78,07

Karakteristik mekanis AC-Base mengalami pergeseran akibat fluktuasi kandungan aspal, sebagaimana dirangkum dalam Tabel 3. Peningkatan kadar aspal dari 4,5% menuju 6,5% memicu reduksi yang konsisten pada aspek stabilitas dan rongga udara VIM, meskipun nilai MQ mencapai puncaknya saat kadar aspal berada di angka 5,0%. Di sisi lain, parameter volume pori (VMA dan VFA) beserta kelelahan plastisnya justru menunjukkan kecenderungan grafis yang menaik.

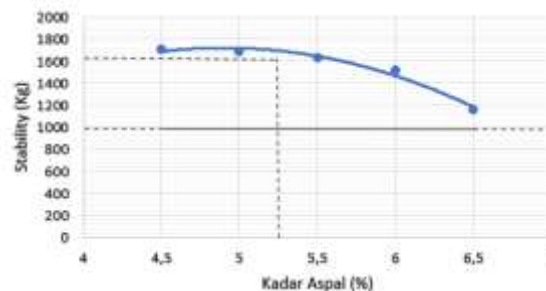
3.3 Analisis Stabilitas (*Stability*)

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6, campuran AC-Base harus memiliki nilai stabilitas minimum sebesar 800 kg. Nilai stabilitas yang diperoleh dari hasil pengujian pada setiap variasi kadar aspal disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Stabilitas

NO.	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Spesifikasi (Kg)	Status
1.	4,50	1703,92	≥ 800	Memenuhi
2.	5,00	1684,54	≥ 800	Memenuhi
3.	5,50	1630,16	≥ 800	Memenuhi
4.	6,00	1519,01	≥ 800	Memenuhi
5.	6,50	1159,06	≥ 800	Memenuhi

Berdasarkan hasil analisis, peningkatan persentase aspal di dalam campuran berbanding terbalik dengan nilai stabilitasnya yang cenderung merosot. Nilai stabilitas maksimum tercatat sebesar 1703,92 kg pada kadar aspal 4,5%, sedangkan kekuatan minimum berada di angka 1159,06 kg saat kadar aspal mencapai 6,5%. Penurunan stabilitas menunjukkan bahwa peningkatan kadar aspal menyebabkan berkurangnya interlocking agregat akibat lapisan aspal yang semakin tebal. Wijaya et al. [13] melaporkan bahwa peningkatan kadar aspal dari 4,5% hingga 6,5% pada campuran AC-Base menyebabkan penurunan nilai stabilitas secara konsisten, yang disebabkan oleh berkurangnya gaya gesek internal antar butir agregat akibat lapisan aspal yang semakin tebal. Meskipun demikian, seluruh variasi kadar aspal yang diuji menghasilkan nilai stabilitas yang tetap berada di atas ambang batas regulasi. Pola fluktuasi nilai kekuatan ini diilustrasikan secara visual pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan Kadar Aspal terhadap Stabilitas

Representasi grafis pada Gambar 1, memperlihatkan bentuk kurva yang menggambarkan fluktuasi nilai stabilitas campuran relatif konstan pada rentang kadar aspal 4,5% hingga 5,0%, namun mulai menurun setelah kadar aspal melampaui 5,0%. Penurunan ini disebabkan oleh lapisan aspal yang semakin tebal pada permukaan agregat, yang mengurangi kontak langsung antar butir dan melemahkan gaya gesek internal [7]. Kecenderungan penurunan stabilitas akibat peningkatan kadar aspal juga dilaporkan oleh Prasetyo et al. [11] pada campuran beraspal panas jenis AC-BC, yang menunjukkan pola perilaku serupa dengan campuran AC-Base.

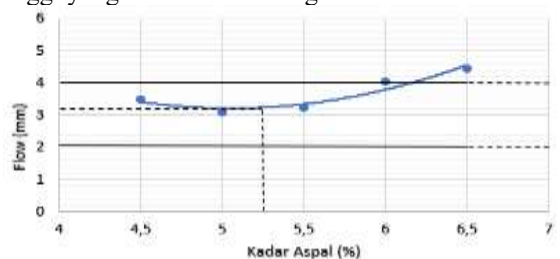
3.4 Analisis Kelelahan (*Flow*)

Campuran AC-Base disyaratkan memiliki nilai flow dalam rentang 2-4 mm sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6 [4]. Hasil pengujian parameter flow disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kelelahan (*Flow*)

NO.	Kadar Aspal (%)	Flow (mm)	Spesifikasi (mm)	Status
1.	4,50	3,49	2-4	Memenuhi
2.	5,00	3,09	2-4	Memenuhi
3.	5,50	3,46	2-4	Memenuhi
4.	6,00	4,05	2-4	Tidak Memenuhi
5.	6,50	4,44	2-4	Tidak Memenuhi

Nilai flow terendah tercatat pada kadar aspal 5,0% sebesar 3,09 mm, sedangkan nilai tertinggi terjadi pada kadar aspal 6,5% sebesar 4,44 mm. Secara umum, nilai flow menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Visualisasi hubungan antara variasi bahan pengikat dan tingkat kelelahan campuran dapat dicermati melalui grafik pada Gambar 2. Hasil pengujian mengonfirmasi bahwa karakteristik *flow* masih memenuhi standar teknis selama kadar aspal dipertahankan pada kisaran 4,5% hingga 5,5%. Namun, pasokan aspal yang lebih tinggi, tepatnya pada porsi 6,0% dan 6,5%, memicu lonjakan nilai aliran hingga melampaui batas toleransi tertinggi yang diizinkan oleh regulasi.



Gambar 2. Hubungan Kadar Aspal terhadap Kelelahan (*Flow*)

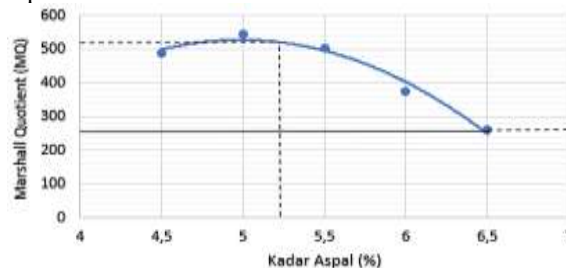
3.5 Analisis *Marshall Quotient* (MQ)

Berdasarkan Peraturan Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6, nilai kekakuan atau *Marshall Quotient* (MQ) pada formula AC-Base harus tidak kurang dari 250 kg/mm. Tabel 6 mengumpulkan data dari evaluasi parameter MQ ini.

Tabel 6. Hasil Pengujian *Marshall Quotient* (MQ)

NO.	Kadar Aspal (%)	MQ (Kg/mm)	Spesifikasi (Kg/mm)	Status
1.	4,50	488,37	≥ 250	Memenuhi
2.	5,00	546,10	≥ 250	Memenuhi
3.	5,50	471,78	≥ 250	Memenuhi
4.	6,00	374,73	≥ 250	Memenuhi
5.	6,50	260,83	≥ 250	Memenuhi

Karakteristik mekanis berupa nilai MQ campuran diilustrasikan lewat grafik pada Gambar 3, di mana seluruh nilai uji yang diperoleh dinyatakan lolos dari batas minimum regulasi. Rentang data pada Tabel 6 memperlihatkan bahwa nilai MQ merangkak naik hingga mencapai puncaknya di angka 546,10 kg/mm pada kondisi kadar aspal 5,0%, namun kemudian merosot secara kontinu hingga menyentuh nilai minimal 260,83 kg/mm pada persentase aspal 6,5%. Pola pergeseran ini mengonfirmasi adanya korelasi kuat antara penambahan zat pengikat dengan fluktuasi tingkat kekakuan campuran.



Gambar 3. Hubungan Kadar Aspal terhadap *Marshall Quotient* (MQ)

Fluktuasi kurva pada Gambar 3 memperlihatkan tren peningkatan nilai MQ hingga batas optimum pada persentase aspal 5,0%, yang dilanjutkan dengan tren penurunan seiring bertambahnya kandungan aspal. Kondisi ini memberikan indikasi kuat bahwa komposisi aspal sebesar 5,0% mampu menghasilkan keseimbangan parameter *flow* dan stabilitas yang paling ideal, sehingga briket perkerasan memiliki kekakuan struktural yang tinggi sekaligus lebih resisten terhadap risiko deformasi permanen [6]. Adapun anjloknya performa MQ pada kondisi kadar aspal yang lebih tinggi dipicu oleh melonjaknya nilai kelelehan (*flow*). Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai *flow* menyebabkan penurunan nilai MQ sehingga campuran menjadi lebih lentur dan kurang kaku. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Prasetyo et al. [11] dan Lestari et al. [14] yang menunjukkan bahwa nilai *Marshall Quotient* dipengaruhi oleh hubungan antara stabilitas dan *flow* campuran.

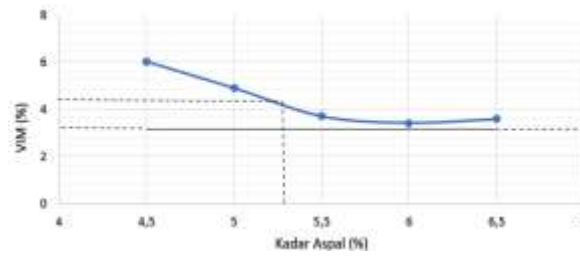
3.6 Analisis *Void in Mix* (VIM)

Ketentuan untuk persentase rongga udara dalam campuran pada lapisan AC-Base diwajibkan berada di dalam koridor 3%–5% guna memenuhi kriteria Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6. Gambaran umum serta rekapitulasi hasil evaluasi terhadap parameter volume pori VIM ini dipaparkan secara rinci melalui Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Pengujian *Void in Mix* (VIM)

NO.	Kadar Aspal (%)	VIM (%)	Spesifikasi (%)	Status
1.	4,50	5,97	3-5	Tidak Memenuhi
2.	5,00	4,86	3-5	Memenuhi
3.	5,50	3,67	3-5	Memenuhi
4.	6,00	3,39	3-5	Memenuhi
5.	6,50	3,55	3-5	Memenuhi

Karakteristik rongga udara (VIM) sebagai akibat dari variasi penambahan aspal diproyeksikan secara visual melalui kurva pada Gambar 4. Dari data pengujian tersebut, terlihat bahwa volume rongga udara menyusut seiring bertambahnya pasokan bahan pengikat ke dalam campuran. Capaian VIM paling masif berada di angka 5,97% pada kadar aspal 4,5%, sebuah nilai yang tidak lolos kualifikasi spesifikasi teknik karena melewati ambang batas maksimal 5%. Di sisi lain, penurunan volume pori terdalam dialami oleh sampel ber-kadar aspal 6,0% dengan nilai 3,39%. Untuk sampel pada kisaran kadar aspal 5,0% sampai 6,5%, nilai VIM yang dihasilkan dinyatakan aman karena seluruhnya masuk dalam rentang baku mutu yang dipersyaratkan.



Gambar 4. Hubungan Kadar Aspal terhadap *Void in Mix* (VIM)

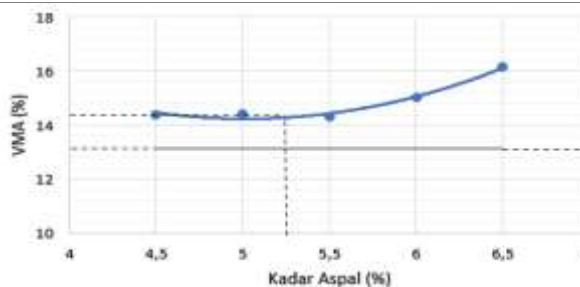
Korelasi fisik antara penambahan bahan pengikat terhadap karakteristik rongga udara dalam campuran diilustrasikan oleh kurva pada Gambar 4. Reduksi nilai VIM terjadi secara konsisten seiring bertambahnya persentase aspal, dengan capaian minimum berada pada tingkat kadar aspal 6,0% sebelum akhirnya menunjukkan fluktuasi minor yang relatif stabil pada porsi 6,5%. Dari sudut pandang mekanika campuran, besarnya nilai VIM saat kadar aspal berada di angka 4,5% mengindikasikan ketidakcukupan volume aspal dalam mengikat dan mengisi celah antar-butiran agregat. Nilai VIM yang tinggi menunjukkan bahwa rongga udara dalam campuran masih cukup besar sehingga meningkatkan potensi masuknya air dan udara ke dalam lapisan perkerasan. Kondisi tersebut dapat mempercepat proses oksidasi aspal dan menurunkan durabilitas campuran AC-Base [13].

3.7 Analisis *Void in Mineral Aggregate* (VMA)

Standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6 menetapkan ambang batas bawah VMA untuk campuran AC-Base sebesar 13%. Data pada Tabel 8 mengonfirmasi nilai VMA yang diperoleh berkisar antara 14,40% hingga 16,15%. Karena seluruh capaian berada di atas ambang minimum, semua variasi kadar aspal dinyatakan lolos kriteria teknis. Tren fluktuasi nilai VMA ini dapat dicermati pada Gambar 5.

Tabel 8. Hasil Pengujian *Void in Mineral Aggregate* (VMA)

NO.	Kadar Aspal (%)	VMA (%)	Spesifikasi (%)	Status
1.	4,50	14,40	≥ 13	Memenuhi
2.	5,00	14,41	≥ 13	Memenuhi
3.	5,50	14,33	≥ 13	Memenuhi
4.	6,00	15,03	≥ 13	Memenuhi
5.	6,50	16,15	≥ 13	Memenuhi



Gambar 5. Hubungan Kadar Aspal terhadap *Void in Mineral Aggregate* (VMA)

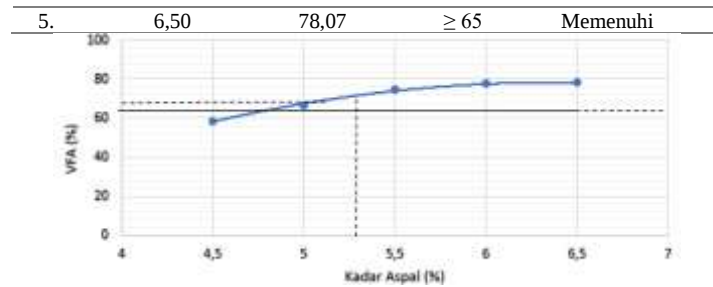
Kurva pada Gambar 5 menunjukkan nilai VMA cenderung konstan pada kadar aspal 4,5% hingga 5,5%, lalu melonjak hingga mencapai puncaknya di kadar 6,5% akibat bertambahnya volume rongga antar-agregat. Terpenuhinya standar VMA ini memastikan tersedianya ruang yang cukup untuk menampung aspal tanpa merusak struktur agregat, sehingga berdampak positif pada stabilitas dan durabilitas perkerasan [3][5]. Kenaikan VMA pada kadar aspal tinggi dipicu oleh desakan volume aspal yang merenggangkan jarak antar-butir material. Sementara itu, Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6 menetapkan batas minimum VFA campuran AC-Base sebesar 65%, yang rekapitulasi datanya dirangkum dalam Tabel 9.

3.8 Analisis *Void Filled with Asphalt* (VFA)

Berdasarkan rekapitulasi data pada Tabel 9, nilai VFA terdeteksi merangkak naik secara kontinu dari angka 58,55% pada komposisi aspal 4,5% hingga menyentuh 78,07% pada kadar aspal 6,5%. Meninjau ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6, sampel dengan kadar aspal 4,5% dinyatakan gugur karena persentase rongga terisi aspal berada di bawah ambang batas minimum 65%. Sebaliknya, variasi kadar aspal pada rentang 5,0% sampai 6,5% berhasil mematuhi seluruh standar kelayakan teknis yang ditetapkan. Visualisasi pergerakan tren parameter VFA ini diproyeksikan melalui grafik pada Gambar 6.

Tabel 9. Hasil Pengujian *Void Filled with Asphalt* (VFA)

NO.	Kadar Aspal (%)	VFA (%)	Spesifikasi (%)	Status
1.	4,50	58,55	≥ 65	Tidak Memenuhi
2.	5,00	66,40	≥ 65	Memenuhi
3.	5,50	74,60	≥ 65	Memenuhi
4.	6,00	77,62	≥ 65	Memenuhi



Gambar 6. Hubungan Kadar Aspal terhadap *Void Filled with Asphalt* (VFA)

Gambar 6 memperlihatkan adanya hubungan positif antara kadar aspal dan nilai VFA, dimana peningkatan kadar aspal diikuti oleh kenaikan nilai VFA. Laju peningkatan tersebut terlihat lebih besar pada rentang kadar aspal 4,5% hingga 6,0%, kemudian berangsur melambat pada kadar aspal yang lebih tinggi. Nilai VFA yang relatif rendah pada kadar aspal 4,5% mengindikasikan bahwa rongga dalam struktur agregat belum terisi aspal secara memadai. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa efektivitas ikatan antara agregat dan aspal masih belum optimal, yang dapat memengaruhi ketahanan campuran terhadap kerusakan selama masa pelayanan [13]. Peningkatan nilai VFA menunjukkan semakin besarnya proporsi rongga agregat yang terisi aspal. Kondisi ini dipengaruhi oleh kecukupan kadar aspal dan efektivitas filler dalam mengisi rongga antar agregat sehingga meningkatkan kepadatan serta kualitas campuran AC-Base [3][10].

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, tingkat kesesuaian setiap parameter Marshall terhadap persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6 dirangkum dalam Tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi Evaluasi Parameter Marshall

No.	Parameter	Sumber	Kadar Aspal (%)				
			4,50%	5,00%	5,50%	6,00%	6,50%
1	Stabilitas	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
2	Flow	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Tidak Memenuhi	Tidak Memenuhi
3	Marshall Quotient	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
4	Void in mix	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6	Tidak Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
5	Void in mineral aggregate	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi
6	Void filled with asphalt	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6	Tidak Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi	Memenuhi

Data Tabel 10 menunjukkan indikator stabilitas, *Marshall Quotient* (\$MQ\$), dan VMA lolos uji pada seluruh variasi kadar aspal (4,5%–6,5%). Namun, parameter VIM dan VFA baru memenuhi kriteria pada rentang kadar aspal 5,0% hingga 6,5%; sedangkan pada kadar 4,5% kedua nilai tersebut gugur akibat volume aspal yang kurang memadai untuk mengisi rongga secara optimal. Di sisi lain, nilai *flow* melampaui batas atas spesifikasi saat kadar aspal menyentuh angka 6,0% dan 6,5%. Secara akumulatif, hanya variasi kadar aspal 5,0% dan 5,5% yang berhasil meloloskan seluruh parameter Marshall secara simultan sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 [4]. Temuan ini mempertegas studi terdahulu bahwa kadar aspal optimum campuran AC-Base konsisten berada pada koridor 5,0%–5,5% [3][5].

3.10 Pembahasan Umum

Berdasarkan kompilasi data pada Tabel 10, parameter VIM dan VFA gagal memenuhi standar pada kadar aspal 4,5% karena volume pengikat belum mencukupi untuk mengisi pori campuran secara optimal. Kondisi ini membuat nilai VIM melonjak di atas plafon maksimum dan nilai VFA merosot di bawah ambang batas minimum. Karakteristik briket yang terlampaui porous ini berbahaya karena memicu risiko infiltrasi air dan udara bebas yang mempercepat laju penuaan akibat oksidasi aspal serta mereduksi ketahanan struktural perkerasan. Guna mengantisipasi kendala pada kadar aspal rendah ini, konsentrasi bahan pengikat disarankan tidak kurang dari 5,0%, atau opsi teknik lainnya dengan mengombinasikan material pengisi (*filler*) tambahan seperti semen atau abu batu untuk membantu pengisian rongga. Penambahan filler alternatif seperti abu sekam padi terbukti mampu meningkatkan nilai VFA dan kepadatan campuran beraspal, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan durabilitas perkerasan [12].

Sebaliknya, penyimpangan karakteristik kelelehan (*flow*) terjadi pada kadar aspal tinggi, tepatnya pada porsi 6,0% (4,05 mm) dan 6,5% (4,44 mm) karena telah melintasi batas toleransi atas spesifikasi sebesar 4 mm. Pasokan

aspal yang over-kapasitas ini menyebabkan sifat campuran bergeser menjadi terlampaui plastis akibat lapisan film aspal yang menebal di permukaan batuan. Ketebalan aspal tersebut bertindak sebagai pelumas yang merenggangkan kontak langsung antar-butir agregat sehingga menurunkan kemampuan saling mengunci (*interlocking*) internal, yang pada akhirnya membuat briket lebih mudah mengalami deformasi saat menerima beban tekan. Secara teknis, kadar aspal disarankan tidak melebihi 5,5% untuk menjaga keseimbangan struktural campuran AC-Base. Namun, apabila penggunaan kadar aspal yang tinggi tetap diperlukan, stabilitas campuran dapat dipertahankan dengan merekayasa gradasi agregat melalui peningkatan proporsi fraksi agregat kasar yang bersudut tajam. Karakteristik material yang lebih bersudut mampu mendongkrak kembali mekanisme *interlocking* antar-butir agregat dan menjaga kinerja struktural campuran meskipun diselimuti oleh volume aspal yang masif.

4. Kesimpulan

Hasil evaluasi sifat mekanis Marshall pada formula *Asphalt Concrete-Base* (AC-Base) menunjukkan bahwa fluktuasi takaran aspal berdampak signifikan terhadap performa campuran. Indikator stabilitas, *Marshall Quotient* (MQ), serta VMA terbukti konsisten mematuhi kriteria Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6 di semua variasi sampel, yang menandakan struktur perkerasan memiliki daya dukung beban dan kekakuan yang ideal. Sebaliknya, parameter VIM dan VFA hanya lolos uji pada rentang kadar aspal 5,0% hingga 6,5%, sementara pada porsi 4,5% kedua indikator ini gugur akibat kurangnya volume aspal penutup rongga. Untuk indeks kelelahan (*flow*), pemenuhan standar hanya tercapai pada kisaran 4,5%–5,5%, sedangkan kadar aspal 6,0% dan 6,5% melampaui batas atas toleransi akibat meningkatnya karakteristik plastisitas campuran. Melalui peninjauan komprehensif terhadap seluruh parameter Marshall, variasi kadar aspal 5,0% dan 5,5% ditetapkan sebagai komposisi paling optimum karena meloloskan seluruh kriteria kelayakan secara simultan. Oleh karena itu, koridor kadar aspal 5,0%–5,5% direkomendasikan sebagai acuan utama dalam perancangan campuran AC-Base. Penerapan kadar aspal di bawah 5,0% sangat tidak disarankan karena memicu pembentukan pori udara yang berlebih serta mereduksi nilai VFA. Di lain sisi, penambahan aspal di atas 5,5% juga harus dihindari karena berisiko melonjakkan nilai *flow* yang membuat lapisan jalan menjadi rawan terhadap deformasi plastik. Guna memperluas cakupan riset dan pengembangan ke depan, pengujian tambahan seperti Indeks Kekuatan Sisa (IKS) sangat penting untuk diagendakan. Pengujian lanjutan tersebut diperlukan untuk mengukur sensitivitas dan daya tahan mekanis campuran terhadap efek perendaman air, sehingga diperoleh proyeksi yang lebih akurat dan menyeluruh mengenai tingkat durabilitas jangka panjang dari perkerasan AC-Base ini.

Referensi

1. Kementerian PUPR, "Informasi Statistik Mengenai Infrastruktur di Indonesia," Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta, 2021.
2. [2] G. G. Wahyuiwidayat, "Karakteristik Bahan Perkerasan Jalan: Analisis Sifat Mekanis, Stabilitas Struktur, dan Kinerja Lapangan pada Perkerasan Lentur," Diklat Kerja, 2025. [Online]. Available: <https://www.diklatkerja.com>.
3. S. P. Mulyadefie, J. E. Waani, and T. K. Sendow, "Desain Gradasi Campuran Beton Aspal Menggunakan Desain Kerangka Agregat Untuk Diaplikasikan Sebagai Lapis AC-Base," *Tekno*, vol. 22, no. 88, 2024. doi: <https://doi.org/10.35793/jts.v22i88.56054>
4. Kementerian PUPR, "Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6," Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta, 2020.
5. J. S. Tondok, Alpius, and I. Apriyani, "Karakteristik Campuran AC-Base Menggunakan Batu Sungai Bila Kecamatan Pitu Riase Kabupaten Sidrap," *Paulus Civil Engineering Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 44-52, 2022. doi: <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i1.376>
6. H. Nofrianto and S. D. Astika, "Kajian Pasir Silika Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Berdasarkan Uji Marshall," *Jurnal Teknologi dan Vokasi*, vol. 1, no. 2, pp. 53-66, 2023. doi: <https://doi.org/10.21063/jtv.2023.1.2.7>
7. A. A. Rahman, S. Putra, R. Sulistyorini, and D. Herianto, "Karakteristik Uji Marshall Pada Campuran Split Mastic Asphalt (SMA)," *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, vol. 10, no. 3, pp. 465-478, 2022. doi: <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v10i3.2704>
8. A. A. Arifin, A. P. S. Dewi, and E. Mulyati, "Tinjauan Pelaksanaan Pekerjaan Aspal AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course) Pada Paket Preservasi Jalan Tanjung Barangan," *Jurnal Teknik SILITEK*, vol. 6, no. 1, pp. 128-134, Jan. 2026.
9. M. S. N. Asyraf, Irianto, and S. Riswanto, "Analisa Karakteristik Marshall Campuran (AC-WC) Menggunakan Agregat Halus," *Seminar Nasional Indonesia*, vol. 4, no. 1, 2025.
10. E. S. Boro, Irianto, and D. S. S. Mabui, "Penggunaan Batukapur Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Aspal AC-BC Dengan Bahan Pengikat Aspal Minyak," dalam *Prosiding Seminar Nasional Fakultas Teknik: Inovasi Pengembangan Infrastruktur di Daerah Otonomi Baru untuk Mencapai Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG)*, Fakultas Teknik Universitas Yapis Papua, 2025. Available : <https://snts.ftuniyap.ac.id/index.php/prosiding/article/view/3>
11. E. Prasetyo, F. L. Desel, and F. Achmad, "Karakteristik Marshall Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Menggunakan Asbuton Pracampur dan Agregat Gorontalo," vol. 4, no. 1, pp. 1-10, 2024. doi: <https://doi.org/10.37905/jc.v4i1.42>
12. R. Hidayat, A. Surya, and M. F. Ikhsan, "Pengaruh Penggunaan Filler Abu Sekam Padi Terhadap Karakteristik Marshall Campuran AC-BC," *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 10, no. 1, pp. 45-56, Mar. 2023. doi: <https://doi.org/10.12345/jtsl.v10i1.6789>
13. A. Wijaya, B. Santoso, and C. Pratama, "Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Kadar Aspal Terhadap Karakteristik Marshall Campuran AC-Base," *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, vol. 15, no. 2, pp. 112-125, Dec. 2024. doi: <https://doi.org/10.23456/jri.v15i2.7890>
14. D. R. E. Lestari and Y. Risdianto, "Analisis Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Dengan Menggunakan Kalsium Karbonat Sebagai Filler," *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 2022.
15. SNI 06-2489, Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 1991.