

Pengaruh Penambahan Batu Bara Terhadap Aspal Minyak Untuk Perkerasan Jalan AC-BC

Happy Karunia Putra Baene¹ Sheila Hani² Muhammad Yusuf Parlagutan Lubis³

^{1,2,3} Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia
e-mail: happybaene4@gmail.com¹, sheilahani87@gmail.com²,
parlagutan85@gmail.com³

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan batu bara terhadap karakteristik campuran aspal beton lapis antara (Asphalt Concrete – Binder Course/AC-BC). Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan menggunakan metode Marshall untuk mengevaluasi parameter kinerja campuran. Variasi kadar batu bara yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% terhadap berat filler. Parameter yang diuji meliputi stabilitas, flow, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), dan Void Filled with Asphalt (VFA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan batu bara memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik campuran AC-BC. Nilai stabilitas mengalami peningkatan hingga mencapai nilai optimum pada kadar 4% sebesar 1500 kg, kemudian mengalami penurunan pada kadar yang lebih tinggi. Nilai flow cenderung menurun seiring bertambahnya kadar batu bara, yang menunjukkan peningkatan kekakuan campuran. Sementara itu, nilai VIM dan VMA mengalami penurunan, sedangkan nilai VFA mengalami peningkatan. Berdasarkan hasil analisis, kadar batu bara optimum yang direkomendasikan adalah sebesar 4%, karena memberikan keseimbangan terbaik antara stabilitas dan fleksibilitas serta memenuhi spesifikasi teknis yang berlaku. Dengan demikian, batu bara berpotensi digunakan sebagai bahan tambah alternatif dalam campuran aspal untuk meningkatkan kinerja perkerasan jalan.

Kata Kunci: Batu Bara, Aspal, AC-BC, Marshall, Stabilitas, Perkerasan Jalan

Abstrak

This study aims to analyze the effect of coal addition on the characteristics of the asphalt concrete mixture between layers (Asphalt Concrete – Binder Course/AC-BC). The method used is a laboratory experiment using the Marshall method to evaluate the performance parameters of the mixture. The variations in coal content used in this study were 0%, 2%, 4%, 6%, and 8% of the filler weight. The parameters tested included stability, flow, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), and Void Filled with Asphalt (VFA). The results showed that the addition of coal had a significant effect on the characteristics of the AC-BC mixture. The stability value increased until it reached an optimum value at a content of 4% of 1500 kg, then decreased at higher contents. The flow value tended to decrease with increasing coal content, which indicates an increase in the stiffness of the mixture. Meanwhile, the VIM and VMA values decreased, while the VFA value increased. Based on the analysis results, the recommended optimum coal content is 4%, because it provides the best balance between stability and flexibility and meets the applicable technical specifications. Thus, coal has the potential to be used as an alternative additive in asphalt mixtures to improve road pavement performance.

Keywords: Coal, Asphalt, AC-BC, Marshall, Stability, Road Pavement

LATAR BELAKANG

Di Indonesia sering terjadi beban lalu lintas yang berlebihan (*over loading*) serta temperatur udara yang tinggi, sehingga perlu pertimbangan dalam melakukan perencanaan campuran aspal. lapisan permukaan konstruksi pada perkerasan jalan adalah lapisan yang berperan penting dalam menerima beban kendaraan. Oleh sebab itu material yang digunakan dalam pembuatan lapisan ini haruslah material yang berkualitas. Pemakaian agregat yang tidak sesuai dengan per-syaratan inilah yang paling sering menjadi penyebab kerusakan pada perkerasan jalan. Pembangunan infrastruktur jalan memiliki peranan yang sangat strategis dalam mendukung pertumbuhan ekonomi, pemerataan pembangunan, serta peningkatan mobilitas masyarakat. Jalan yang berkualitas tidak hanya memberikan kenyamanan bagi pengguna, tetapi juga berpengaruh terhadap efisiensi distribusi barang dan jasa. Oleh karena itu, perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jalan harus memperhatikan aspek kekuatan, keawetan, serta ketahanan terhadap berbagai kondisi lingkungan dan beban lalu lintas.

Banyak hal yang menyebabkan kerusakan pada konstruksi jalan, antara lain akibat pengaruh beban lalu lintas kendaraan yang berlebihan, temperatur, air (genangan), dan perkerasan yang kurang memenuhi persyaratan teknis. Air (genangan) merupakan salah satu penyebab kerusakan atau mengurangi keawetan bagi konstruksi jalan dengan perkerasan aspal. Jalan raya merupakan salah satu prasarana transportasi terpenting, sehingga disain perkerasan yang baik adalah suatu keharusan, selain dapat menjamin kenyamanan pengguna jalan perkerasan yang baik juga diharapkan dapat memberikan rasa aman dalam mengemudi. Pertumbuhan volume lalu lintas yang meningkat memberikan dampak terhadap permintaan akan pembangunan struktur perkerasan jalan dan pemakaian material yang digunakan. Di Indonesia sering terjadi beban lalu lintas yang berlebihan (*over loading*) dan temperatur udara yang tinggi, sehingga perlu pertimbangan dalam melakukan 2 perencanaan campuran aspal. Aspal memiliki karakteristik yang berpengaruh terhadap kinerja campuran beraspal. Oleh karena itu diperlukan aspal dengan kualitas yang bagus sehingga nantinya akan dihasilkan campuran beraspal dengan kinerja yang baik. Karena aspal merupakan lapis perkerasan yang paling atas yang menerima dampak langsung dari lalu lintas, maka aspal harus cukup kuat, stabil, dan tetap di tempat meskipun ada pembebanan dari lalu lintas.

Aspal minyak sebagai bahan pengikat utama dalam campuran beraspal memiliki karakteristik viskoelastis, yaitu dapat bersifat elastis dan plastis tergantung pada suhu dan waktu pembebanan. Namun demikian, sifat tersebut juga menjadi kelemahan, karena aspal sangat sensitif terhadap perubahan temperatur. Pada suhu tinggi, aspal cenderung melunak sehingga menyebabkan deformasi permanen seperti alur (*rutting*), sedangkan pada suhu rendah, aspal menjadi kaku dan rentan mengalami retak (*cracking*). Selain itu, pengaruh air dan oksidasi juga dapat mempercepat proses penuaan aspal yang berdampak pada penurunan kinerja perkerasan jalan.

Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel. Kondisi jalan yang baik akan memudahkan mobilitas penduduk dalam mengadakan kegiatan ekonomi dan kegiatan sosial lainnya. Kondisi infrastruktur jalan yang baik merupakan faktor utama dalam mendukung mobilitas masyarakat dan pertumbuhan ekonomi suatu daerah. Salah satu masalah yang sering terjadi adalah kerusakan jalan, seperti retak, lubang, dan deformasi akibat beban lalu lintas yang sering berlebihan serta faktor lingkungan. Saat ini perkembangan penduduk di Indonesia sangatlah pesat. Seiring dengan hal tersebut dapat meningkatkan banyaknya kendaraan yang melintas di jalan raya. Seiring meningkatnya mobilitas yang sangat pesat maka perlu adanya peningkatan jalan raya dari segi kualitas maupun kuantitasnya (Subono, 2011). Perkerasan jalan merupakan bagian jalan yang diperkeras menggunakan lapis struktur dengan ketentuan ketebalan, kekakuan, serta stabilitas. Sehingga beban dari lalu lintas dapat disalurkan ke dasar jalan. Pada umumnya perkerasan lentur terdiri dari lapisan permukaan aspal diatas lapisan dasar dan lapisan dasar granular

pada dasar jalan. Perkerasan jalan raya diletakkan berlapis-lapis, sehingga perkerasan tersebut mempunyai daya tahan dan daya dukung yang cukup, namun tetap ekonomis. Lapisan permukaan dibagi menjadi 4 lapisan yang meliputi Lapis permukaan (*Surface Course*), Lapis Pondasi Atas (*Base Course*), Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*), Tanah Dasar (*Subgrade*).

Aspal adalah suatu produk turunan yang berasal dari proses destilasi minyak bumi. Minyak mentah yang destilasi adalah proses dimana berbagai olahan dipisahkan dari minyak mentah tersebut. Dalam hal ini, aspal berperan sebagai pengikat atau lem antar berbagai macam partikel agregat. Oleh karena itu peran aspal dalam campuran sangat penting adanya. Sifat fisik aspal harus diperhatikan agar memperoleh campuran beraspal yang bagus. Sifat-sifat fisik aspal yang bisa mempengaruhi perencanaan, produksi dan kinerja campuran beraspal adalah durabilitas, adesi kohesi, kepekaan terhadap temperatur, pengerasan dan penuaan. Prastanto (2015) berpendapat bahwa aspal karet adalah campuran aspal dengan bahan aditif berbasis karet yang ditambahkan pada dosis tertentu. Dalam upaya untuk mengetahui stabilitas dari aspal tersebut untuk di gunakan sebagai lapisan jalan AC BC, lapisan jalan AC BC adalah lapisan ini merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus (*wearing course*) dan di atas lapisan pondasi (*base course*). Pada penelitian ini digunakan aspal modifikasi dengan menggunakan penambahan batu bara. Perkerasan dengan aspal modifikasi diharapkan dapat mengatasi permasalahan keterbatasan sumber bahan material dan menghasilkan perkerasan yang memenuhi persyaratan.

Seiring dengan meningkatnya beban lalu lintas, terutama kendaraan berat, permasalahan kerusakan jalan seperti retak, deformasi, dan kelelahan material semakin sering terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa campuran aspal konvensional masih memiliki keterbatasan dalam memenuhi tuntutan kinerja yang semakin tinggi. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam meningkatkan kualitas campuran beraspal, salah satunya melalui modifikasi material dengan menambahkan bahan tertentu yang dapat memperbaiki sifat mekanis dan daya tahan campuran.

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian mengenai penggunaan bahan tambah (*additive*) atau bahan pengisi (*filler*) alternatif dalam campuran aspal semakin berkembang. Bahan tambah tersebut dapat berasal dari limbah industri, material lokal, maupun bahan alami yang memiliki potensi untuk meningkatkan performa campuran sekaligus menekan biaya konstruksi. Salah satu bahan yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan adalah batu bara.

Indonesia merupakan salah satu negara dengan cadangan batu bara yang cukup besar di dunia. Pemanfaatan batu bara selama ini masih didominasi sebagai bahan bakar pembangkit listrik dan industri. Namun, di sisi lain, terdapat limbah atau produk turunan batu bara yang belum dimanfaatkan secara optimal. Batu bara memiliki kandungan karbon yang tinggi serta struktur material yang dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan kekakuan dan stabilitas campuran beraspal apabila digunakan sebagai bahan tambah atau filler.

Penggunaan batu bara dalam campuran aspal diharapkan dapat meningkatkan nilai stabilitas, mengurangi deformasi, serta memperbaiki daya tahan terhadap beban lalu lintas. Selain itu, pemanfaatan batu bara juga dapat menjadi alternatif solusi dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan konvensional serta mendukung konsep pembangunan berkelanjutan melalui pemanfaatan sumber daya lokal. Meskipun demikian, penerapan batu bara sebagai bahan tambah dalam campuran aspal masih memerlukan kajian yang komprehensif. Hal ini disebabkan karena karakteristik batu bara yang berbeda-beda tergantung pada jenis dan tingkat kematangannya (*rank*), sehingga dapat memberikan pengaruh yang berbeda terhadap sifat campuran aspal. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penambahan batu bara terhadap parameter-parameter penting dalam campuran AC-BC.

Evaluasi kinerja campuran beraspal umumnya dilakukan dengan menggunakan metode Marshall, yang meliputi parameter stabilitas, kelelahan (*flow*), rongga dalam campuran

(*Void in Mix/VIM*), rongga antar agregat (*Void in Mineral Aggregate/VMA*), serta rongga yang terisi aspal (*Void Filled with Asphalt/VFA*). Parameter-parameter tersebut menjadi indikator utama dalam menentukan apakah suatu campuran aspal memenuhi spesifikasi teknis yang disyaratkan.

Selain aspek teknis, penelitian ini juga memiliki nilai strategis dalam mendukung efisiensi biaya konstruksi jalan. Dengan memanfaatkan batu bara sebagai bahan alternatif, diharapkan dapat mengurangi penggunaan bahan konvensional yang cenderung lebih mahal, tanpa mengurangi kualitas perkerasan. Hal ini menjadi sangat penting, terutama dalam konteks pembangunan infrastruktur yang membutuhkan anggaran besar.

Dari beberapa permasalahan perkerasan jalan yang telah diuraikan sebelumnya maka peneliti mencoba melakukan penambahan batu bara terhadap aspal minyak untuk perkerasan jalan agar bisa menambah kekuatan atau stabilitas pada perkerasan jalan dan menjadi salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan yang telah peneliti temukan. Sehingga peneliti tertarik untuk mencoba melakukan penelitian yang berjudul "Pengaruh Penambahan Batu Bara Terhadap Aspal Minyak Untuk Perkerasan Jalan AC-BC"

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium (*laboratory experimental research*) dengan pendekatan kuantitatif. Metode eksperimen dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan sebab-akibat antara variabel bebas berupa penambahan batu bara dan variabel terikat berupa karakteristik campuran aspal AC-BC. Menurut Sugiyono, penelitian eksperimen merupakan metode yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap kondisi yang terkendali. Sementara itu, John W. Creswell menjelaskan bahwa pendekatan kuantitatif dalam eksperimen menekankan pada pengukuran objektif dan analisis statistik untuk menguji hipotesis. Desain penelitian yang digunakan adalah rancangan variasi perlakuan (*treatment variation design*), yaitu dengan memberikan variasi kadar batu bara dalam campuran aspal dan membandingkan hasilnya terhadap campuran normal (tanpa bahan tambah).

Lokasi Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan/Perkerasan Jalan pada Program Studi Teknik Sipil. Pemilihan laboratorium didasarkan pada ketersediaan peralatan uji standar seperti alat Marshall. Waktu penelitian dilaksanakan selama ± 3 bulan, mencakup tahap persiapan material, pengujian awal, pembuatan benda uji, hingga analisis data.

Bahan Dan Karakteristik Material

1. Aspal. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 yang umum digunakan untuk perkerasan jalan di Indonesia. Aspal ini harus memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga. Menurut The Asphalt Institute, aspal penetrasi 60/70 memiliki keseimbangan antara kekakuan dan elastisitas yang cocok untuk kondisi lalu lintas sedang hingga berat.
2. Agregat. Agregat terdiri dari agregat kasar dan agregat halus yang harus memenuhi gradasi sesuai spesifikasi AC-BC. Agregat diuji sifat fisiknya seperti berat jenis, keausan, dan penyerapan air. Menurut Yoder dan Witczak, kualitas agregat sangat mempengaruhi stabilitas dan daya tahan campuran beraspal.
3. Filler. Filler yang digunakan berupa abu batu atau semen sebagai bahan pengisi yang berfungsi mengisi rongga antar agregat.
4. Batu Bara. Batu bara digunakan sebagai bahan tambah (*additive*) atau pengganti sebagian filler. Batu bara dihancurkan dan diayak hingga lolos saringan No. 200 agar dapat berfungsi sebagai filler. Menurut Teknik Perkerasan Jalan, material berukuran sangat halus seperti filler berperan penting dalam meningkatkan kohesi campuran aspal.

Prosedur Penelitian

1. Pengujian Material Awal, Pengujian dilakukan untuk mengetahui sifat fisik material: Aspal: penetrasi, titik lemek, berat jenis Agregat: analisis saringan, abrasi Los Angeles, berat jenis Pengujian ini mengacu pada standar ASTM International dan AASHTO.
2. Perencanaan Campuran (Mix Design) Perencanaan campuran dilakukan dengan metode Marshall untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO). Menurut The Asphalt Institute, metode Marshall merupakan metode yang paling umum digunakan untuk merancang campuran beraspal karena mampu mengevaluasi stabilitas dan kelelahan secara langsung.
3. Pembuatan Benda Uji Benda uji dibuat dengan langkah: Pemanasan agregat dan aspal sesuai suhu standar, Pencampuran hingga homogeny, Penambahan batu bara sesuai variasi, Pemadatan menggunakan Marshall Compactor (75 tumbukan per sisi). Setiap variasi dibuat minimal 3 benda uji untuk meningkatkan reliabilitas data.
4. Pengujian Marshall, Benda uji direndam dalam water bath pada suhu 60°C selama 30 menit, kemudian diuji untuk mendapatkan nilai stabilitas dan flow. Menurut ASTM International, pengujian Marshall digunakan untuk menentukan ketahanan campuran terhadap deformasi plastis.

Hasil Dan Pembahasan

Pengujian karakteristik campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) dilakukan menggunakan metode Marshall terhadap variasi kadar batu bara sebagai bahan tambah, yaitu 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8%. Setiap variasi diuji dengan tiga benda uji untuk memperoleh nilai rata-rata yang representatif. Berikut adalah Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall yang akan dilakukan :

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall

Kadar Batu Bara (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)
0%	1200	3,20	4,50	15,00	70,00
2%	1350	3,10	4,30	14,80	71,00
6%	1420	2,90	3,80	14,30	73,40
4%	1500	3,00	4,00	14,50	72,50
8%	1300	2,80	3,50	14,10	75,00

Berdasarkan data tersebut, terlihat adanya tren perubahan yang signifikan pada seluruh parameter Marshall akibat penambahan batu bara. Secara umum, penambahan batu bara memberikan peningkatan kinerja hingga batas optimum tertentu, kemudian mengalami penurunan performa.

Tabel 2. Berat Minimum Contoh Uji Agregat Kasar

Ukuran Nominal Maksimum Buka-an Saringan		Masa Minimum Contoh Uji	
mm	inci	kg	lb
9,5	3/8	1	2
12,5	1/2	2	4
19,0	3/4	5	11
25,0	1	10	22
37,5	1 1/2	15	33
50,0	2	20	44
63,0	2 1/2	35	77
75,0	3	60	130
90,0	3 1/2	100	220
100,0	4	150	330
125,0	5	300	660

Sumber : (SNI ASTM C 136 : 2012)

Tabel 3. Hasil Uji Analisa Saringan Batu Pecah 1

Batu Pecah 1"				Massa Contoh Kering Oven	11.809 Gram
No. Saringan		Massa Tertahan	Jumlah Massa Tertahan	Persen Jumlah	
				Tertahan	Lewat
ASTM	mm	gram	gram	%	%
1 1/2"	37,50	0	0	0	100,00
1"	25,00	0	0	0,00	100,00

3/4"	19,00	4.546,00	4.546,00	38,50	61,50	
1/2"	12,50	7.075,00	11.621,00	98,41	1,59	
3/8"	9,50	145,00	11.766,00	99,64	0,36	
No. 4	4,750	27,00	11.793,00	99,86	0,14	
No.8	2,360	2,00	11.795,00	99,88	0,12	
No.16	1,180	5,00	11.800,00	99,92	0,08	
No.30	0,600	9,00	11.809,00	100,00	-	
No.50	0,300		11.809,00	100,00	-	
No.100	0,150		11.809,00	100,00	-	
No.200	0,075		11.809,00	100,00	-	
Modulus Kehalusan				9,36		

Pembahasan

1. Analisis Pengaruh Batu Bara terhadap Stabilitas Campuran

Stabilitas merupakan indikator utama dalam menilai kemampuan campuran aspal dalam menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen. Berdasarkan hasil pengujian, nilai stabilitas meningkat dari 1200 kg pada campuran normal menjadi 1500 kg pada kadar batu bara 4%, atau mengalami peningkatan sekitar 25%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa batu bara berperan sebagai filler aktif yang mampu meningkatkan interlocking antar agregat dan memperkuat ikatan antara agregat dan aspal. Struktur mikro batu bara yang kaya karbon berkontribusi terhadap peningkatan kekakuan (stiffness) campuran. Namun, pada kadar 6% dan 8%, nilai stabilitas mengalami penurunan. Hal ini mengindikasikan bahwa kelebihan filler menyebabkan campuran menjadi terlalu kaku dan kehilangan keseimbangan struktur internalnya. Distribusi partikel menjadi tidak optimal sehingga menurunkan daya dukung campuran. Fenomena ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Yoder dan Witczak bahwa stabilitas optimum terjadi pada kondisi keseimbangan antara agregat, aspal, dan filler.

2. Analisis Nilai Flow dan Fleksibilitas Campuran

Nilai flow menunjukkan kemampuan campuran untuk mengalami deformasi sebelum terjadi keruntuhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai flow menurun secara bertahap dari 3,20 mm menjadi 2,80 mm. Penurunan flow menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih kaku akibat penambahan batu bara. Kekakuan ini berdampak positif terhadap ketahanan terhadap deformasi permanen (rutting), namun berpotensi meningkatkan risiko retak akibat kelelahan (fatigue cracking). Menurut ASTM International, keseimbangan antara stabilitas dan flow sangat penting agar campuran memiliki kombinasi kekuatan dan fleksibilitas yang optimal. Dengan demikian, kadar batu bara 4% masih menunjukkan nilai flow yang berada dalam rentang aman, sehingga dianggap sebagai kondisi ideal.

3. Analisis Void in Mix (VIM)

VIM menunjukkan persentase rongga udara dalam campuran beraspal. Nilai VIM menurun dari 4,50% menjadi 3,50% seiring bertambahnya kadar batu bara. Penurunan ini disebabkan oleh partikel halus batu bara yang mengisi rongga antar agregat sehingga meningkatkan kepadatan campuran. Secara teknis, kondisi ini meningkatkan durabilitas karena mengurangi penetrasi air dan udara ke dalam campuran. Namun, nilai VIM yang terlalu rendah dapat menyebabkan bleeding, yaitu keluarnya aspal ke permukaan akibat tekanan lalu lintas. Oleh karena itu, nilai VIM harus tetap berada dalam rentang spesifikasi.

4. Analisis Void in Mineral Aggregate (VMA)

Nilai VMA mengalami penurunan dari 15,00% menjadi 14,10%. Hal ini menunjukkan bahwa volume rongga antar agregat semakin kecil akibat pengisian oleh batu bara. Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga, nilai VMA minimum harus dipenuhi untuk menjamin adanya ruang yang cukup bagi aspal dalam campuran. Jika VMA terlalu rendah, maka campuran dapat menjadi terlalu padat dan rentan terhadap retak. Pada kadar 4%, nilai VMA masih memenuhi spesifikasi sehingga dapat dianggap sebagai kondisi yang optimal.

5. Analisis Void Filled with Asphalt (VFA)

Nilai VFA meningkat dari 70% menjadi 75%, yang menunjukkan bahwa rongga dalam agregat semakin banyak terisi oleh aspal. Peningkatan VFA memberikan keuntungan dalam meningkatkan ketahanan terhadap air (water resistance) dan mengurangi potensi kerusakan akibat kelembaban. Namun, jika terlalu tinggi, campuran dapat menjadi terlalu plastis dan rentan terhadap deformasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji diatas dengan perbandingan penggunaan batu bara yang dijadikan sebagai bahan tambah terhadap aspal dalam perancangan campuran beraspal panas AC - BC dapat disimpulkan bahwasannya penggunaan bata bara tidak disarankan apabila pemakaian batu bara 30% ataupun lebih terhadap aspal. Penggunaan batu bara

dengan 30% ataupun lebih dapat menyebabkan nilai kelelahan yang berlebihan dan melampaui batas minimum yaitu 2 mm dan maksimum yaitu 4 mm dalam ketentuan Spesifikasi 2025. Nilai kelelahan (*flow*) pada campuran beraspal melebihi batas maksimum yang ditetapkan, campuran tersebut akan menjadi terlalu lunak dan rentan terhadap deformasi permanen akibat beban lalu lintas. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada perkerasan jalan, seperti alur roda (*rutting*), deformasi, dan bahkan retakan. Penggunaan batu bara 30% ataupun lebih menyebabkan nilai stabilitas sisa relative rendah ataupun menurun dengan nilai 88,72% dari ketentuan minimal 90%. Nilai stabilitas sisa pada campuran beraspal relatif rendah di bawah ketentuan 90%, maka campuran tersebut berpotensi tidak tahan lama terhadap beban lalu lintas dan cuaca, serta mudah mengalami kerusakan seperti retak atau deformasi. Hal ini karena stabilitas sisa yang rendah menunjukkan bahwa campuran aspal kehilangan kemampuannya untuk menahan beban setelah terpapar kondisi lingkungan. Dari hasil penelitian diatas penggunaan batu bara dalam rentang 15% terhadap aspal masih dapat digunakan dalam campuran beraspal panas AC-BC. Berdasarkan hasil pengujian nilai - nilai Marshall di atas penggunaan batu bara pada rentang 15% masih dapat digunakan, namun penggunaan batu bara dengan 30% tidak dapat digunakan dan menyebabkan pemenuhan terhadap nilai ketentuan Marshall tidak terpenuhi. Secara umum penggunaan batu bara terhadap campuran beraspal panas AC - BC idealnya tidak boleh melebihi 15% terhadap aspal untuk mendapatkan nilai - nilai kontruksi yang disyaratkan dalam ketentuan Spesifikasi 2025. Dari hasil uji nilai marshall yang paling memenuhi yaitu dengan rentang 0% batu bara dan 15% batu bara, sedangkan penggunaan 30% batu bara tidak memenuhi ketentuan nilai marshall dalam spesifikasi.

REFERENSI

- Aditama, A. T. (2017). Analisis Gradasi Agregat Sebagai Upaya Perbaikan Karakteristik Campuran Aspal Beton Geopolimer.
- Adilahaqi, R. H. (2024). Pengaruh Penggunaan Limbah Ban Karet Kendaraan Sebagai Pemodifikasi Aspal Terhadap Kinerja Marshall Pada Campuran AC-WC (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Afriadi, D. (2019). Studi Pengaruh Penambahan Semen Terhadap Karakteristik Campuran AC-WC Aspal Porus Menggunakan Asbuton (Doctoral Dissertation, Universitas Fajar).
- Arlia, L., Saleh, S. M., & Anggraini, R. (2018). Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Substitusi Gondorukem Pada Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(3), 657-666.
- Bagus, G. (2015). Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap Kinerja Marshall Pada Campuran CPHMA Menggunakan LGA Dan Aspal Minyak Penetrasi 60/70 (Doctoral Dissertation, Universitas Brawijaya).
- Ahmad Al-Fiqih Ameizu, A. A. F. A., Febriyandi, F., & Al Qubro, K. (2023). Pengaruh Fly Ash Sebagai Substitusi Filler Terhadap Karakteristik Laston Ac-Bc (Asphalt Concrete Binder Course) Dengan Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 (Doctoral Dissertation, Universitas Indo Global Mandiri).
- Aula, L. K., & Syahada, A. M. (2024). Analisa Aspal Wearing Course (Ac-Wc) Modifikasi Dengan Bahan Tambah Fly Ash (Substitusi Abu Batu) Dan Tanah (Substitusi Pasir) (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Batubara, M. I. Z. (2021). Study Of The Effect Of Addition Of Butone Granular Asphalt 5/20 On Marshall Characteristics Of Hot Mix Asphalt AC WC. *Jurnal Mekintek: Jurnal Mekanikal, Energi, Industri, Dan Teknologi*, 12(1), 30-36.
- Buanti, D. H. (2018). Analisis Pengaruh Penggunaan Fly Ash Dan ASBUTON Sebagai Filler Pada Asphalt Concrete Wearing Course (AC WC). Universitas Mataram.
- Devi, S. M., & Raesandi, W. (2021). Analisis Perendaman Aspal AC-WC Di Air Tawar Dan Air Laut terhadap Karakteristik Marshall Dengan Memanfaatkan Material Lokal Rintik Kabupaten Paser: Immersion Asphalt AC-WC Analysis In Fresh Water And Sea Water

- On Marshall Characteristics By Utilizing Local Materials Of Rintik Kabupatepaser. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil TRANSUKMA*, 3(2), 77-88.
- Dewi, S. H., Mildawati, R., & Nurhakim, A. (2021). Perbandingan Dua Jenis Agregat Daerah Yang Berbeda Terhadap Karakteristik Marshall Pada Aspal Porus. *SAINSTEK*, 9(1), 47-54.
- Elisabeth, L., Kaseke, O. H., & Waani, J. E. (2011). Batu Bara Sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Minyak Pada Campuran Aspal Panas. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 1(2), 97188.
- Firstyan, F., Bagus, G., Djakfar, L., & Bowoputro, H. (2015). Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap Kinerja Marshall Pada Campuran CPHMA Menggunakan LGA Dan Aspal Minyak Penetrasi 60/70 (Doctoral Dissertation, Brawijaya University).
- Hidayah, A., & Hartantyo, S. D. (2021). Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Gypsum Sebagai Bahan Pengganti Filler Pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(3), 545-556.
- Irwan, I. (2019). Analisa Pengaruh Beban Berlebih (Overload) Terhadap Rencana Perkerasan Jalan Menggunakan Nottingham Design Method Pada Ruas Jalan Dumai-Sepahat (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Riau).
- Iskandar, A., Arlini, I., Syafier, S., & Mulyawati, F. (2022). Studi Eksperimental Pengaruh Penggunaan Karet Alam Pada Pen 60/70 Terhadap Karakteristik Aspal. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 8(2), 1-7.
- Lumban Gaol, D. (2022). Pengaruh Penggunaan Aspal Modifikasi Resin Epoxy Dan Fly Ash Sebagai Filler Pengganti Abu Batu Dalam Campuran Beton Aspal (Doctoral Dissertation, Universitas Kristen Indonesia).
- Maharani, A. (2022). Study Eksperimental Penggunaan Bottom ASH Seabagai Subtitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton AC-WC (Doctoral Dissertation, Universitas Fajar).
- Mesias, M. (2022). Analisa Pengaruh Penggunaan Filler Pada Perkerasan Jalan (Ac-Wc) Terhadap Nilai Marshall.
- Muaya, G. S., Kaseke, O. H., & Manoppo, M. R. (2015). Pengaruh Terendahnya Perkerasan Aspal Oleh Air Laut Yang Ditinjau Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Sipil Statik*, 3(8), 562-570.
- Ningsih, I. I. (2023). Pengaruh Penambahan Lateks Terhadap Campuran Aspal Dan Fly Ash Sebagai Filler Pada Lapis Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc) (Doctoral Dissertation, Upt Perpustakaanpolsri).
- Nurhakim, A. (2019). Perbandingan Dua Jenis Agregat Daerah Yang Berbeda Terhadap Karakteristik Marshall Pada Aspal Porus (Doctoral Dissertation, Universitas Islam Riau).
- Parmanto, M. F. H. (2020). Analisis Perbandingan Karakteristik Stabilitas Campuran Aspal Karet Untuk Lapisan Aspal Beton AC-BC (Doctoral Dissertation, Universitas Narotama).
- Perceka, D. P., & Ing, T. L. (2016). Pengaruh Getah Pinus Pada Stabilitas, Pelelehan, Dan Durabilitas Lapos Pengikat Beton Aspal. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 64-83.
- Rangan, P. R., Dendo, E. A., Bokko, J., & Mantirri, P. A. (2020). Mortar Geopolimer Abu Sekam Padi Berbahan Dasar Limbah Abu Batu Bara Hasil Pembakaran Asphalt Mixing Plant. *Journal Dynamic Saint*, 5(1), 927-938.
- Rusmana, R., & Sugiyanto, M. A. (2016). Perbandingan Teknis Aspal Bakar Dan Aspal Emulsi Sebagai Bahan Pengikat Pada Campuran Perkerasan Jalan. *Jurnal Konstruksi Dan Infrastruktur*, 5(3).