Durabilitas Campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) dengan Menggunakan Agregat Tanjungan Lampung Selatan

Muhammad Febry Zillie [1)]
Sasana Putra [2),*]
Dwi Herianto [2)]
Rahayu Sulistyorini [2)]

Abstract

Road damage is one of the problems caused by low material quality. The 2018 Bina Marga General Specifications have required material quality for asphalt mixtures, where good quality materials will produce pavement construction with high stability. This research aims to analyze the durability of the AC-BC (Asphalt Concrete-Binder Course) mixture using local materials from PT Sumber Batu Berkah, Tanjungan District, South Lampung Regency without additives based on the Marshall Testing Method. Based on the results of the research, it was found that the effect of soaking time variations of 0.5 hours, 24 hours, 168 hours, and 672 hours with a standard temperature of 60°C, the sample was soaked for a long time would make the stability and durability values smaller. Then obtained IKS value of 91.58% so it has met the minimum Bina Marga Standard of 90% and shows the longer soaking time, the smaller IKS value will obtained. Then for the IDP value is positive which means that the strength decreases by 0.44% during the soaking period so it meets the standard < 1%. And the IDK value of AC-BC mixture is 19.51 where the IDK value has decreased in strength by 19.51% during the soaking time. This is due to the decrease of stability value against the length time of soaking.

Keywords : Asphalt Concrete-Binder Course, Marshall Testing, Residual Strength Index, First Durablity Index, Second Durability Index

Abstrak

Kerusakan jalan merupakan salah satu permasalahan disebabkan oleh mutu material yang rendah. Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 telah mensyaratkan mutu material untuk campuran beraspal, dimana material dengan mutu yang baik akan menghasilkan konstruksi perkerasan dengan stabilitas yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganilisis Durabilitas dari campuran AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) dengan menggunakan material lokal dari PT. Sumber Batu Berkah, Kecamatan Tanjungan, Kabupaten Lampung Selatan tanpa bahan tambahan berdasarkan metode pengujian *Marshall*. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan pengaruh lama perendaman variasi 0,5 jam, 24 jam, 168 jam, dan 672 jam dengan suhu standar 60°C dimana campuran yang direndam dengan waktu yang lama akan membuat nilai stabilitas dan durabilitasnya semakin kecil. Lalu diperoleh nilai IKS sebesar 91,58% sehingga telah memenuhi Standar Bina Marga minimal sebesar 90% dan menunjukan semakin lama perendaman maka nilai IKS akan semakin kecil. Kemudian untuk nilai IDP bernilai positif yang berarti kekuatannya menurun sebesar 0.44% selama masa perendaman sehingga memenuhi standar <1%. Dan nilai IDK campuran AC-BC sebesar 19,51 dimana nilai IDK mengalami penurunan kekuatan sebesar 19,51% selama waktu perendaman. Hal ini diakibatkan oleh penurunan dari nilai stabilitas terhadap lama waktu rendaman.

Kata kunci : A*sphalt Concrete-Binder Course,* Pengujian *Marshall*, Indeks Kekuatan Sisa, Indeks Durabilitas Pertama, Indeks Durabilitas Kedua

[1)] Mahasiswa Prodi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
[2)] Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No. 1 Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.
[*] Corresponding Author : sasana.putra@eng.unila.ac.id

I. PENDAHULUAN

Kerusakan jalan merupakan salah satu permasalahan yang sering terjadi di Indonesia. Salah satu penyebab terjadinya kerusakan jalan adalah rendahnya mutu material yang digunakan. Adapun pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 telah disyaratkan mutu material untuk campuran beraspal, dimana mutu material akan berpengaruh terhadap mutu campuran beraspal. Semakin bagus perkerasan jalan maka akan semakin mudah pergerakan kendaraan. Sehingga material dengan mutu yang baik akan menghasilkan konstruksi perkerasan dengan stabilitas yang tinggi.

Material utama pembentuk lapis perkerasan beton aspal adalah bahan berbutir (agregat dan filler) serta aspal sebagai material pengikat. Penelitian ini bertujuan untuk menganilisis daya tahan atau durabilitas dari campuran aspal beton pada lapisan AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) dengan menggunakan material lokal Lampung di PT. Sumber Batu Berkah, Kecamatan Tanjungan, Kabupaten Lampung Selatan tanpa bahan tambahan berdasarkan metode pengujian *Marshall*. Penelitian ini diharapkan dapat mengoptimalkan bahan-bahan lokal sebagai bahan campuran AC-BC, memberikan pemahaman tentang durabilitas campuran AC-BC berbahan dasar material lokal, menambah pengetahuan terkait perbedaan durabilitas campuran AC-BC dengan menggunakan kadar aspal yang berbeda, serta mengembangkan pengetahuan tentang campuran aspal beton terhadap perkerasan jalan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton Aspal (*Asphalt Concrete*)

Asphalt Institute (1996) menjelaskan aspal beton merupakan campuran yang terdiri dari aspal keras sebagai bahan pengikat agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi, dengan pencampuran dan pemadatan dalam kondisi panas pada suhu tertentu. Menurut Sukirman (2003), agregat kasar adalah batuan tertahan di saringan 2,36 mm, atau sama dengan saringan standar ASTM No. 8. Lalu agregat halus adalah batuan yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan pada saringan No. 200 (0,075 mm). Dan bahan pengisi (*filler*) adalah bagian dari agregat halus yang lolos saringan No.30 (0,60 mm).

Menurut Kementerian PUPR Dirjen Bina Marga (2018), lapisan aspal beton memiliki tebal minimum lapisan AC-BC sebesar 6 cm. Lapisan AC-BC merupakan lapis antara yang menahan beban maksimum pada lapis permukaan sehingga diperlukan campuran dengan stabilitas minimum 800 kg. Berdasarkan Puslitbang Prasarana Transportasi (2002), campuran AC-BC menggunakan tipe gradasi menerus dengan ukuran butiran terdistribusi merata dalam satu rentang ukuran sehingga mempunyai kekakuan tinggi sebesar 200 kg/mm berdasarkan Marshall Quotient. Karakteristik terpenting pada campuran ini adalah Stabilitas. Kerusakan umum yang dialami campuran AC-BC adalah retak atau pelepasan butir sehingga diperlukan perbaikan dalam kelenturan dan keawetan.

2.2. Karakteristik Uji *Marshall*

2.2.1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan menahan deformasi dampak beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk. Stabilitas pada pengujian *Marshall* didapat dari pembacaan nilai stabilitas yang dikoreksi dengan tebal benda uji. Nilai stabilitas tergantung dari gaya saling mengunci batuan serta kelekatan. Nilai stabilitas yang tinggi menandakan perkerasan bisa menahan beban lalu lintas yang besar, tetapi stabilitas terlalu tinggi akan mengakibatkan perkerasan menjadi kaku serta bersifat getas.

2.2.2. Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan atau *flow* menandakan besarnya penurunan atau deformasi yang terjadi di lapis keras akibat menahan beban yang diterimanya. Nilai kelelehan ditentukan oleh gradasi agregat, kadar aspal, dan proses pemadatan yang mencakup suhu pemadatan dan energi pemadatan. Campuran dengan nilai kelelehan rendah serta stabilitas tingi akan bersifat getas. Tetapi campuran dengan nilai kelelehan yang tinggi serta stabilitas yang rendah akan bersifat plastis dan mudah berubah bentuk bila menerima beban lalu lintas.

2.2.3. Hasil Bagi Marshall/*Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient adalah hasil bagi antara stabilitas dan kelelehan yang diperoleh dari uji tekan menggunakan metode M*arshall* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran.

2.2.4. Rongga dalam Campuran/*Void in Mix* (VIM)

Void in Mix adalah persentase nilai rongga yang ada pada campuran. Nilai VIM dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal dan *density*. Rongga udara pada campuran dibutuhkan untuk tersedianya ruang gerak untuk unsur-unsur campuran sesuai dengan sifat elastisnya. Maka dari itu nilai VIM sangat menentukan karakteristik campuran.

2.2.5. Rongga dalam Agregat/*Void in Mineral Aggregate* (VMA)

Void in Mineral Aggregate adalah rongga udara yang ada di antara mineral agregat di dalam campuran beraspal panas. VMA menggambarkan ruangan yang tersedia untuk menampung volume efektif aspal dan volume rongga udara yang diperlukan untuk mengisi aspal yang keluar akibat tekanan air atau beban lalu lintas. Semakin tebal lapisan aspal di agregat maka daya tahan perkerasan semakin tinggi.

2.2.6. Rongga Tersisi Aspal/*Void Filled with Asphalt* (VFA)

Void Filled with Bitumen adalah persen rongga udara yang terisi aspal di campuran yang sudah dipadatkan. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Semakin tiggi nilai VFA maka semakin banyak rongga udara yang terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap air dan udara akan meningkat, hal ini akan menyebabkan *bleeding*. Tetapi nilai VFA yang terlalu kecil akan mengakibatkan kekedapan campuran terhadap air berkurang karena sedikit rongga yang terisi aspal. Rongga kosong ini kemudian akan dengan mudah terisi air dan udara ke dalam lapis keras dan mengakibatkan keawetan dari lapis keras akan berkurang.

2.3. Durabilitas (*Durability*)

Durabilitas adalah kemampuan atau daya tahan suatu perkerasan terhadap beberapa faktor seperti perubahan-perubahan dalam bitumen yang di sebabkan oleh oksidasi, disintegrasi agregat, dan pelepasan lapisan-lapisan bitumen dari agregat akibat kondisi basah dan beban lalu lintas (Aspalt Institute, 1996). Durabilitas dapat ditingkatkan dengan cara membuat campuran yang padat dan kedap air, yang dapat diperoleh dari penggunaan agregat bergradasi rapat dan kadar aspal yang tinggi. Durabilitas lapisan dipengaruhi oleh tebal selimut aspal, banyak pori dalam campuran, kepadatan, dan kedap airnya campuran.

2.3.1. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

IKS atau IRS (*Index Retained Stability*) diperoleh melalui pengujian terhadap sifat mekanik benda uji (stabilitas dan *flow*) yang dibagi menjadi dua kelompok, yaitu diuji stabilitas *Marshall*-nya setelah perendaman dalam air pada suhu 60°C selama waktu T1 dan diuji setelah perendaman pada suhu 60°C selama waktu T2. Nilai IKS yang disyaratkan oleh Bina Marga adalah minimum 90%. Nilai tersebut menandakan bahwa campuran aspal masih dianggap cukup tahan terhadap kerusakan oleh pengaruh air.

2.3.2. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama (IDP) didefinisikan sebagai nilai sensitivitas campuran aspal terhadap durasi perendaman yang dinyatakan cukup durabel apabila bernilai 'r' $\leq$ 1%. Nilai 'r' bernilai positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai 'r' bernilai negatif mengindikasikan adanya perolehan kekuatan. IDP dapat dijelaskan sehubungan dengan nilai absolut dari kehilangan bobot dalam kekuatan (R).

2.3.3. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Menurut Craus *et al* mendefinisikan Indeks Daya Tahan Kedua (a) sebagai rata-rata area kekuatan tertutup antara kurva daya tahan dan garis S_0=100%. IDK dapat didefinisikan sebagai persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (sa), nilai absolut dari ekuivalen kehilangan kekuatan (A), dan nilai absolut kekuatan sisa (SA) berturut-turut. Indeks durabilitas ini menggambarkan kehilangan kekuatan satu hari. 'a' bernilai positif menggambarkan kehilangan kekuatan, sedangkan 'a' bernilai negatif menggambarkan pertambahan kekuatan. Berdasarkan definisi tersebut, maka nilai a < 100.

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Persiapan Material dan Peralatan Penelitian

Material yang digunakan pada penelitian ini, antara lain Agregat Kasar yaitu agregat yang tertahan pada saringan No.8 (2,36 mm), Agregat Halus yaitu hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.8 (2,36 mm), *Filler* yaitu material lolos saringan No.200. Ketiga material ini berasal dari PT. Sumber Batu Berkah (Tanjungan, Lampung Selatan). Dan material lainnya adalah Aspal Keras dengan penetrasi 60/70.

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini, antara lain Satu Set Saringan, *Los Angeles*, Piknometer, Timbangan, Oven, Timbangan, Alat Uji Tekan *Marshall* terdiri dari Kapal Penekan berbentuk lengkung, Cincin Penguji berkapasitas 22,2 kN dilengkapi dengan arloji pengukur *flow meter*, Alat Cetak benda uji berbentuk silinder dengan diameter 4 inchi dan tinggi 3 inchi, Cincin Penguji (*Proving Ring*) untuk mengukur stabilitas dan *flow meter* berkapasitas 2500 kg atau 5000 kg dilengkapi arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 mm, *Marshall Automatic Compactor* untuk pemadatan campuran, *Ejector* untuk mengeluarkan benda uji, Bak Perendam dengan pengatur suhu, Penggorengan, Kompor, *Thermometer*, Sendok Pengaduk, Sarung Tangan, Jangka Sorong, dan Pan.

3.2. Pengujian Material

Pengujian agregat kasar, agregat halus, dan *filler* dilakukan pengujian Analisa Saringan dengan standar uji SNI 03-1968-1990, Berat Jenis dan Penyerapan dengan standar uji SNI 03-1969-1990 dan SNI 03-1970-1990, *Los Angeles Test* SNI 03-2417-2008, *Aggregate Impact Value Test* (AIV) BS 812: Part 3: 1975, dan *Aggregate Crushing Value Test* (ACV) BS 812: Part 3: 1975. Standar pengujian agregat ini mengacu pada peraturan Dirjen Bina Marga Departemen PUPR, Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6. Sementara untuk Aspal Penetrasi 60/70 dilakukan dengan melakukan uji Penetrasi sesuai SNI 06-2456-1991, Titik Lembek sesuai SNI 06-2434-1991, Daktilitas sesuai SNI 06-2432-1991, Berat Jenis sesuai SNI 06-2441-1991, dan Kehilangan Berat sesuai SNI 06-2440-1991.

3.3. Perancangan Gradasi Agregat

Adapun rencana gradasi agregat campuran aspal pada lapisan pengikat atau AC-BC dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Rencana Gradasi Agregat

Ukuran Saringan (mm)	Spesifikasi % Berat Lolos	% Berat yang Lolos	% Berat yang Tertahan
25,000	100	100	0,00
19,000	90-100	95	5,00
12,500	75 – 90	82,5	12,50
9,500	66 – 82	74	8,50
4,750	46 – 64	55	19,00
2,360	30 – 49	39,5	15,50
1,180	18 – 38	28	11,50
0,600	12 – 28	20	8,00
0,300	7 – 20	13,5	6,50
0,150	5 – 13	9	4,50
0,075	4 – 8	6	3,00
Pan			6
Total			**100**

Berdasarkan tabel di atas, dapat dihitung nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) Rencana dengan menggunakan gradasi agregat. Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai KAO rencana sebesar **5,61%** yang kemudian dibulatkan menjadi **5,5%**. Selanjutnya digunakan 5 variasi kadar aspal untuk memudahkan penarikan kesimpulan pada penentuan KAO, dengan titik yang ditinjau adalah ± 1 dan ± 0,5 dari KAO rencana, sehingga kadar aspal yang digunakan adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.

3.4. Pembuatan Benda Uji

Pada pembuatan benda uji, jumlah benda uji untuk menentukan KAO dihitung sesuai dengan variasi kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Kemudian benda uji dibuat sebanyak 3 buah pada masing-masing variasi. Sehingga total benda uji untuk menentukan KAO dengan 5 variasi dikalikan dengan 3 buah untuk setiap variasi adalah sebanyak 15 buah. Sementara jumlah benda uji untuk pengujian durabilitas dihitung sesuai dengan variasi waktu rendaman 30 menit, 1 hari, 7 hari, dan 28 hari. Kemudian benda uji juga dibuat sebanyak 3 buah pada masing-masing variasi. Sehingga total benda uji untuk menentukan KAO dengan 4 variasi dikalikan dengan 3 buah untuk setiap variasi adalah sebanyak 12 buah. Oleh karena itu, total benda uji untuk kedua jenis pengujian adalah sebanyak 27 buah benda uji.

Untuk proses pembuatan benda uji sendiri dapat dilakukan dengan beberapa langkah. Pertama, timbang agregat sesuai dengan persentase agregat campuran yang telah dihitung. Kemudian benda uji dibuat sebanyak tiga buah pada masing-masing variasi kadar aspal. Lalu masukan bahan agregat ke dalam oven selama ±4 jam sehingga didapatkan berat kering dan menghitung kembali kadar aspal berdasarkan berat agregat setelah dioven. Campurkan agregat sesuai perencanaan dengan berat total agregat masing-masing benda uji sebesar 1000 gram. Sebelum dilakukan pemadatan, terlebih dahulu memanaskan cetakan yang akan digunakan dengan tujuan agar tidak terjadi penurunan suhu yang terlalu signifikan pada sampel. Masukkan campuran dalam cetakan per 1/3 dan 1/2 tinggi cetakan kemudian padatkan menggunakan pemadat pipih dan lakukan pemadatan dengan alat *compactor* terhadap sampel sebanyak 2 x 75 tumbukan dengan suhu 150ºC. Setelah itu benda uji didiamkan selama kurang lebih 24 jam agar suhu pada benda uji menurun.

Selanjutnya benda uji dikeluarkan menggunakan *ejector* dan diberi kode sampel. Lalu benda uji dibersihkan dari kotoran dan diukur tingginya menggunakan jangka sorong di ketiga sisi benda uji dan ditimbang untuk mendapatkan berat kering. Rendam benda uji selama 30 menit untuk mengetahui kadar penyerapan air. Setelah itu timbang benda uji dalam air untuk mengetahui berat jenuh. Kemudian benda uji dikeringkan sehingga didapatkan benda uji kering permukaan dan timbang kembali benda uji untuk mendapatkan berat benda uji kondisi *Saturated Surface Dry*. Pada benda uji untuk menentukan KAO, benda uji dapat dilakukan pengujian setelah direndam dalam bak perendaman pada suhu 60^{o}C selama 30 menit. Sedangkan pada benda uji untuk menentukan durabilitas, benda uji direndam selama 4 variasi waktu , yaitu 30 menit, 1 hari, 7 hari, dan 28 hari. Kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui durabilitasnya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Tabel 2. Hasil Pengujian *Asphalt Concrete* 60/70

No.	Jenis pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil Pengujian
1	Berat Jenis	≥1,0	1,02
2	Penetrasi (0,1 mm)	60 – 70	63
3	Daktilitas (cm)	≥100	125
4	Titik Lembek ^{o}C	≥48	48

Hasil pengujian Berat Jenis aspal penetrasi 60/70 sebesar 1,02 sehingga memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥1,00. Nilai Kepadatan dipengaruhi besarnya nilai Berat Jenis aspal, sehingga hal tersebut akan mempengaruhi nilai VIM dan VMA. Lalu hasil pengujian Penetrasi aspal menunjukan nilai sebesar 63 mm sehingga memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 antara 60 sampai 70 mm. Aspal dengan penetrasi kurang atau melebihi persyaratan akan berpengaruh pada nilai stabilitas dan kelelehan. Kemudian hasil pengujian Daktilitas menunjukan nilai sebesar 125 cm sehingga memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 sebesar ≥100 cm. Dan hasil pengujian Titik Lembek memiliki nilai 48^{o}C sehingga memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 ≥48^{o}C.

4.2. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Tabel 3. Hasil Pengujian Agregat

No.	Pengujian	Satuan	Syarat	Hasil
A.	**Agregat Kasar**			
1.	Berat jenis *bulk*	gr/cm	>2,5	2,6565
2.	Berat jenis SSD	gr/cm	>2,5	2,6747
3.	Berat jenis semu	gr/cm	>2,5	2,7058
4.	Penyerapan	%	<3	0,6857
5.	*Los Angeles Test*	%	Maks. 40	15,71
6.	*Aggregate Impact Value*	%	Maks. 30	0,77
7.	*Aggregate Crushing Value*	%	Maks. 30	7,38
B.	**Agregat Halus**			
1.	Berat jenis *Bulk*	gr/cm	>2,5	2,6395
2.	Berat jenis SSD	gr/cm	>2,5	2,7027
3.	Berat jenis semu	gr/cm	>2,5	2,8177
4.	Penyerapan	%	<3	2,3961

Hasil dari pengujian berat jenis agregat kasar asal Tanjungan sebesar 2,6565 sehingga memenuhi persyaratan >2,5 dan hasil pengujian agregat halus sebesar 2,6395 sehingga memenuhi persyaratan >2,5. Sementara hasil pengujian penyerapan air agregat kasar asal Tanjungan sebesar 0,686% sehingga memenuhi persyaratan <3% dan hasil pengujian agregat halus sebesar 2,396 % sehingga memenuhi persyaratan <3%. Kemudian untuk hasil pengujian keausan dengan mesin *Los Angeles* pada campuran agregat Tanjungan sebesar 15,71% sehingga memenuhi persyaratan <40%. Hasil pengujian kekuatan agregat terhadap tekanan untuk agregat asal Tanjungan sebesar 0,77% sehingga memenuhi persyaratan <30%. Sedangkan hasil pengujian kekuatan agregat terhadap tumbukan untuk agregat asal Tanjungan sebesar 7,38% memenuhi persyaratan <30%.

4.3. Karakteristik dan Parameter *Marshall* Campuran AC-BC Setiap Kadar Aspal

Tabel 4. Hasil Pengujian *Marshall* untuk KAO Agregat Asal Tanjungan

Kadar Aspal (%)	**Stabilitas (kg)**	***Flow* (mm)**	***MQ* (kg/mm)**	***VIM* (%)**	***VMA* (%)**	***VFA* (%)**	***Density* (gr/cc)**
4,5	1352,39	2,3	587,99	5,15	13,96	63,11	2,34
5	1414,67	2,7	517,56	4,56	14,46	68,57	2,34
5,5	1441,36	3,0	480,45	4,15	14,54	71,84	2,36
6	1508,09	3,1	476,24	3,30	14,64	77,65	2,38
6,5	1561,47	3,5	446,14	3,03	14,78	79,65	2,37
Spesifikasi	**> 800**	**2-4**	**> 250**	**3-5**	**> 14**	**> 65**	**> 2**

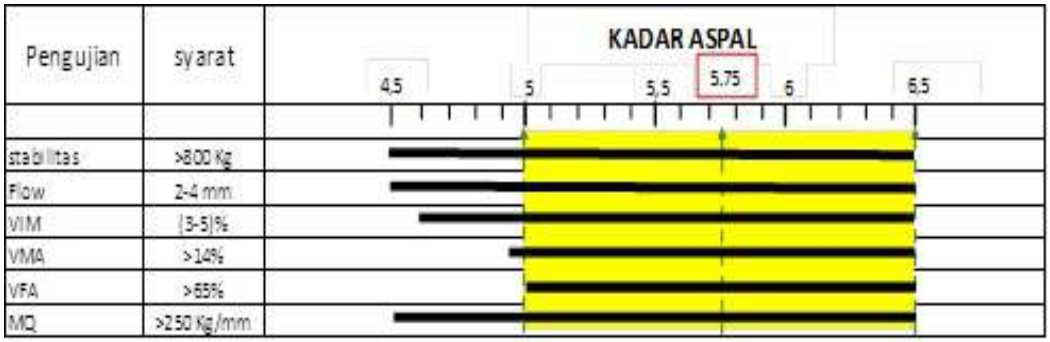
Nilai Stabilitas pada campuran AC-BC agregat Tanjungan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai Stabilitas telah memenuhi spesifikasi Bina Marga sebesar >800 kg. Kemudian untuk nilai *Flow* pada campuran AC-BC agregat Tanjungan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai *flow* telah memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan syarat nilai 2 mm < *Flow* < 4 mm. Selanjutnya untuk nilai *Marshal Quotient* mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena pengaruh nilai Stabilitas dan *Flow*. Meskipun mengalami penurunan, nilai *Marshal Quotient* pada campuran AC-BC dengan agregat asal Tanjungan tetap memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan nilai >250 kg/mm.

Nilai VIM pada campuran AC-BC agregat Tanjungan mengalami penurunan sampai nilai optimum kemudian naik kembali. Nilai VIM memenuhi spesifikasi Bina Marga pada kadar aspal 5% - 6,5% dan tidak memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 4,5%. Kemudian untuk nilai VMA campuran AC-BC pada agregat Tanjungan meningkat seiring bertambahnya kadar aspal. Nilai VMA pada kadar aspal 4,5% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga dan kadar aspal 5% - 6,5% memenuhi spesifikasi nilai VMA >14. Selanjutnya untuk nilai VFA pada campuran AC-BC agregat Tanjungan semakin naik pada batas optimum kemudian turun seiring bertambahnya kadar aspal pada campuran. Nilai VFA yang tidak memenuhi standar spesifikasi Bina Marga pada kadar aspal 4,5%.

4.4. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Metode yang digunakan untuk menentukan KAO pada penelitian ini adalah metode *Arrow Range/* Diagram Pita. Nilai KAO ditentukan berdasarkan hasil analisis data pengujian *Marshall* berupa Stabilitas (*Stability),* Kelelehan (*Flow*), VMA *(Void in Mineral Aggregate),* VFWA *(Void Filled With Asphalt),* VITM *(Void in the Total Mix),* dan MQ *(Marshal Quotient)*. KAO ditentukan dengan melihat setiap karakteristik yang memenuhi persyaratan batas minimal dan batas maksimal dari spesifikasi campuran.

KAO didapat dengan mengambil nilai tengah dari keseluruhan nilai karakteristik *Marshall* yang memenuhi spesifikasi. Nilai-nilai yang memenuhi spesifikasi tersebut dibuat dalam bentu Diagram Pita, lalu dibandingkan dengan spesifikasi yang telah ditentukan, sehingga akan diperoleh *Range* letak nilai KAO.



Gambar 1. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan Diagram Pita yang telah dibuat, didapatkan nilai KAO adalah **5,75%**. Nilai kadar aspal tersebut yang digunakan untuk melakukan penelitian selanjutnya.

4.5. Durabilitas Campuran AC-BC

4.5.1. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Nilai IKS didefinisikan sebagai persentase kekuatan stabilitas selama masa rendaman.

Tabel 5. Nilai IKS Terhadap Variasi Lama Rendaman

Parameter	Lama Rendaman	
	0.5 jam (30 menit)	24 jam (1 hari)
Nilai Stabilitas (kg)	1505,42	1378,69
Nilai IKS (%)	100.00	91,58

Berdasarkan hasil analisis didapat nilai IKS 91,58% setelah perendaman 1 hari, sehingga campuran beton aspal cukup durabel pada perendaman 1 hari dengan batas nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) yang disyaratkan minimal 90%.

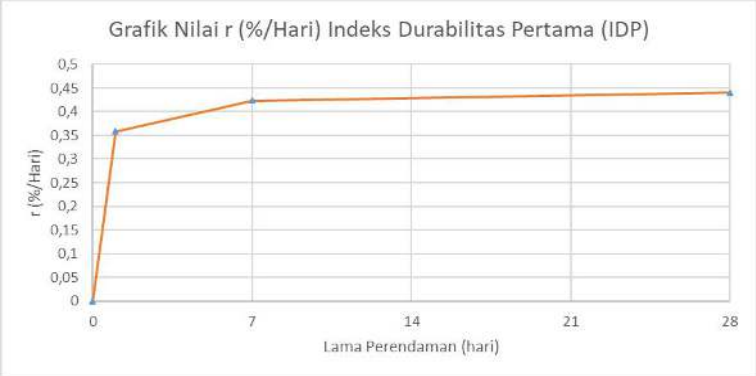
4.5.2. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama (IDP) didefinisikan sebagai nilai sensitivitas campuran aspal terhadap durasi perendaman yang dinyatakan cukup durabel apabila bernilai $\leq$ 1%.

Tabel 6. Nilai Indeks Durabilitas Pertama

No.	Durasi Rendaman (Jam)	Nilai IKS (%)	r (%)	Nilai IDP R (kg)
1	**0.5**	100.00	-	-
2	**24**	91,58	0,358	5,393
3	**168**	82,24	0,065	0,977
4	**672**	73,62	0,017	0,258
Jumlah			**0,440**	**6,628**

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa nilai IDP bernilai positif sehingga kekuatannya menurun sebesar 0,44% < 1% selama perendaman 672 jam. Hal ini disebabkan oleh penurunan Stabilitas pada setiap pertambahan waktu perendaman.



Gambar 2. Hubungan Nilai r dengan Waktu Perendaman

Pada perendaman selama 30 menit tidak mengalami penurunan kekuatan, pada perendaman selama 24 jam mengalami penurunan kekuatan sebesar 0,358%, dan pada perendaman selama 168 jam mengalami penurunan kekuatan sebesar 0,065%. Sehingga total penurunan kekuatan sebesar 0,423%. Kemudian pada rendaman 28 hari mengalami penurunan kekuatan sebesar 0,017% sehingga total penurunannya sebesar 0,44%.

Gambar 3. Hubungan Nilai R dengan Waktu Perendaman

Pada perendaman selama 30 menit tidak mengalami kehilangan bobot, pada perendaman selama 24 jam mengalami kehilangan bobot sebesar 5,393 kg, dan pada perendaman selama 168 jam mengalami kehilangan bobot sebesar 0,977 kg. Sehingga total kehilangan bobot sebesar 6,37 kg. Kemudian pada perendaman selama 28 hari mengalami kehilangan bobot sebesar 0,258 kg sehingga total kehilangan bobotnya sebesar 6,628 kg.

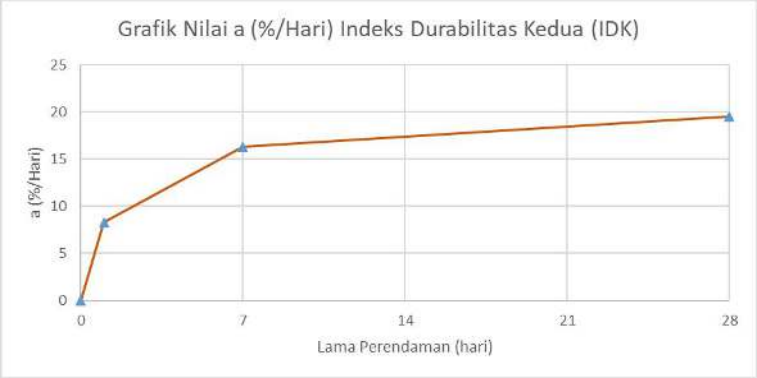
4.5.3. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas Kedua (IDK) dinotasikan dengan a (%).

Tabel 7. Perhitungan Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

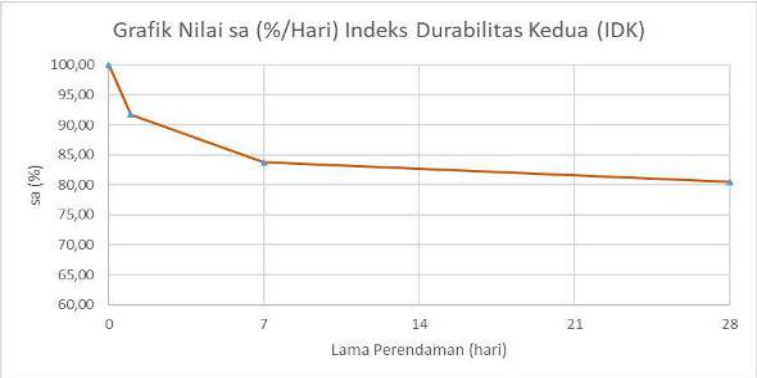
Indeks Durabilitas Kedua (IDK)					**Hasil**
Lama Rendaman (Jam)	**0.5**	**24**	**168**	**672**	
Kehilangan kekuatan rerata satu hari a (%)	-	8,26	8,01	3,23	19,51
Kekuatan sisa rerata satu hari Sa (%)	100	91,74	83,73	80,49	91,74
A = (a/100) x S0 (kg)	-	124,42	120,55	48,68	293,64
SA = S0-A (kg)	1505,42	1381	1260,45	1211,78	-

Hasil pengolahan data pada campuran AC-BC menunjukkan nilai IDK sebesar 19,51 yang mengalami penurunan kekuatan sebesar 19,51%. Hal ini diakibatkan oleh penurunan nilai Stabilitas terhadap lama waktu rendaman.



Gambar 4. Hubungan Nilai a dengan Waktu Perendaman

Pada perendaman selama 30 menit tidak mengalami kehilangan kekuatan rerata satu hari, pada perendaman selama 24 jam mengalami kehilangan kekuatan rerata satu hari sebesar 8,26%, dan pada perendaman selama 168 jam mengalami kehilangan kekuatan rerata satu hari sebesar 8,01%. Sehingga total penurunan kekuatannya sebesar 16,27%. Kemudian pada rendaman 28 hari mengalami kehilangan kekuatan rerata satu hari sebesar 3,23% sehingga total kehilangan kekuatannya sebesar 19,5%



Gambar 5. Hubungan Nilai sa dengan Waktu Perendaman

Pada perendaman selama 30 menit mempunyai kekuatan sisa rerata satu hari sebesar 100%, pada perendaman selama 24 jam mempunyai kekuatan sisa rerata satu hari sebesar 91,74%, dan pada perendaman selama 168 jam mempunyai kekuatan sisa rerata satu hari sebesar 83,73%. Kemudian pada rendaman 28 hari mempunyai kekuatan sisa rerata satu hari sebesar 80,49%

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.
1. Pengaruh terhadap lama perendaman variasi 0,5 jam, 24 jam, 168 jam, 672 jam dengan suhu 60°C, apabila campuran direndam dengan waktu yang lama maka Stabilitas dan Durabilitasnya semakin kecil. Hal ini disebabkan kerena banyak ruang dan pori yang terisi oleh air, sehingga campuran tidak tahan air atau mudah mengalami kerusakan.

2. Nilai IKS (Indeks Kekuatan Sisa) didapat sebesar 91,58%, Sehingga IKS telah memenuhi standar Bina Marga minimal sebesar 90%. Hal tersebut menunjukan semakin lama perendaman maka nilai IKS pada tiap rendaman akan semakin kecil.

3. Nilai IDP (Indeks Durabilitas Pertama) bernilai positif yang berarti setiap nilai IDP yang bernilai positif kekuatannya menurun sebesar 0.44% selama masa perendaman. Sehingga campuran aspal telah memenuhi standar nilai IDP < 1%. Hal ini disebabkan oleh penurunan Stabilitas pada setiap pertambahan waktu perendaman.

4. Nilai IDK (Indeks Durabilitas Kedua) menunjukkan nilai sebesar 19.51, dimana nilai IDK mengalami penurunan kekuatan sebesar 19,51% selama waktu perendaman. Hal ini diakibatkan oleh penurunan dari nilai Stabilitas terhadap lama waktu rendaman.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM 1995, Annual Book of American Society for Testing Materials Standard. USA.

Awaludin, Johan, 2008, Studi Komparasi Campuran Laston AC–WC dengan Bahan Pengikat Aspal Shell 60/70 dan Aspal Pertamina 60/70 dengan Cara Prd (Percentage Refusal Density), Skripsi, Universitas Dipenegoro, Semarang.

Bukhari, dkk, 2007, Rekayasa Bahan dan Tebal Perkerasan, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala.

Das'at Widodo, (1999), Agregat Sebagai Bahan Perkerasan Jalan, Penataran dan Pelatihan Dosen Teknik Sipil Perguruan Tinggi Swasta Wilayah VI, Semarang.

Eka Saputra. Pengaruh Penambahan Belerang Pada Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakterisik Campuran Laston AC-BC.

Gumilang, Damar and , Ir. Agus Riyanto, M.T. (2017) Analisis Dampak Rendaman Air Tawar Terhadap Durabilitas Dan Properties Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (Ac-Bc).

Golalipour, A., Jamshidi, E., Niazi, Y., Afsharikia, Z., and Khadem, M., 2012, Effect of Aggregate Gradation on Rutting of Asphalt Pavements, Elsevier Ltd. Selection and/or peer-review under responsibility of SIIV2012 Scientific Committee, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.09.895.

Hendarsin, Shirley L. 2000, Perencanaan Teknik Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil – Politeknik Negeri Bandung, Bandung.

Institute A (1983) Asphalt Cold-Mix Recycling: Asphalt Institute.

Miller JS, Uzan J, Witczak MW (1983) Modification Of The Asphalt Institute Bituminous Mix Modulus Predictive Equation (Discussion). ISBN: 0309035546.

Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D.Y., dan Kennedy, T.W. 1991. Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction. First Edition. Lanham, MD: NAPA Education Foundation.

Shell Bitumen, 1990, Shell Bitumen Handbook, Shell Bitumen, England Krebs, R.D. dan Walker, R.D. 1971. Highway Materials, McGraw – Hill Book Company, New York.

Sukirman, S, 2003, Beton Aspal Campuran Panas, Bandung: Penerbit Granit.

Suparma LB (2004) Mix Ageing Behaviour of Asphaltic Concrete Mixture Containing Recycled Plastics Waste Aggregate Replacement. Media Teknik Vol. 26. 2004.

Syahrul. Perkerasan Campuran Aspal Beton (AC- Base) Dengan Material Lokal Kutai Kartanegara.

Fitri, S., Saleh, S. M., & Isya, M. (2018). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Kresek Sebagai Subsitusi Aspal Pen 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston Ac – Bc. Jurnal Teknik Sipil, 1(3), 737–748.