

## **PENGARUH LIMBAH BATU BARA SEBAGAI FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL DAN INDEK KEKUATAN SISA (IKS) PADA CAMPURAN ASPAL BETON AC-WC**

**Firmansyah Rachman<sup>1,\*</sup>, Tamalkhani Syammaun<sup>1</sup>, Fadja Heikal<sup>1</sup>**

<sup>1)</sup> Universitas Muhammadiyah Aceh, Jl. Muhammadiyah No. 91, Banda Aceh,  
23123, Indonesia

\*Email: firmansyah@unmuha.ac.id

### **ABSTRAK**

Penambangan batubara di Indonesia banyak menghasilkan limbah berupa abu batubara. Salah satunya ialah Batubara yang terdapat di Nagan Raya, memiliki kandungan silika (Si O<sub>2</sub>) lebih banyak daripada jenis lainnya. Berdasarkan literatur, penggunaan sulfur dalam campuran beraspal dapat meningkatkan stabilitas Marshall. Penelitian ini dilakukan untuk mendukung penelitian sebelumnya tentang *filler* dan untuk memperbaiki mutu dalam campuran beraspal. Tujuan Penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh abu batubara sebagai filler terhadap karakteristik dan indeks kekuatan sisa pada campuran aspal beton AC-WC. Penelitian ini menggunakan metode marshall dan indeks kekuatan sisa (IKS). Aspal yang digunakan penelitian ini merupakan aspal pertamina Pen 60/70 dengan penambahan limbah abu batubara pada variasi 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% sebagai filler. Pelaksanaan penelitian dimulai dengan pengambilan material lalu dilanjutkan dengan sifat-sifat fisis agregat sehingga dapat diketahui apakah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Pada penelitian ini banyak benda uji/sampel KAO sebanyak 25 buah benda uji. Dengan memperoleh kadar aspal 6,1 yang bakal dipakai pada 6 variasi dimana per variasi 5 sampel benda uji. Untuk variasi yang menggunakan abu batubara yaitu sebanyak 30 buah benda uji satu diantara benda uji akan dilakukan indek kekuatan sisa (IKS). Jadi jumlah total benda uji yang dibuat yaitu sebanyak 55 benda uji. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan abu batubara sebagai filler pada parameter marshall semuanya memenuhi spesifikasi begitu juga dengan indeks kekuatan sisa (IKS) dimana > 80 sehingga hasil nilai tertinggi pada IKS yaitu pada variasi 3% dengan nilai 102.50.

**Kata Kunci :** *Filler Batubara, Indeks Kekuatan Sisa, Marshall Test.*

### **1. PENDAHULUAN**

Perkerasan jalan yang umum digunakan di Indonesia adalah campuran Lapis Aspal Beton (Laston) atau *Asphalt Concrete (AC)*. Campuran beton aspal (Laston) adalah jenis perkerasan lentur yang terdiri dari campuran agregat dan aspal. Ada juga pendukung yang lain yaitu filler, dimana suatu material halus yang minimal 75% lolos saringan No. 200 (0,075mm). *Filler* terdiri dari unsur nonplastis yang memenuhi persyaratan, umumnya berupa semen, abu batu, kapur atau mineral organik lainnya.

Penelitian-penelitian yang dilakukan oleh Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, tentang penambahan bahan *additive* untuk memperbaiki mutu aspal dalam campuran panas telah membuka informasi bahwa campuran aspal panas dengan bahan tambahan, dapat meningkatkan mutu campuran itu. Untuk itu pada penelitian ini akan diterapkan pemakaian suatu bahan *additive* yaitu abu dalam campuran *Asphalt Concrete-*

*Wearing Course.*

Abu batubara relatif mudah ditemukan, yang merupakan bagian terkecil dari suatu campuran padatan yang dihasilkan dari pengolahan batubara di pertambangan yang dianggap sudah tidak terpakai lagi. Untuk itulah dicoba memanfaatkan abu batubara dalam penelitian tentang campuran beraspal. Salah satu variabel yang menarik untuk diteliti dalam campuran AC-WC adalah dengan penambahan abu batubara. Penggunaan filler abu batubara sebagai pengganti filler abu batu terbukti dapat meningkatkan stabilitas.

## **2. TINJAUAN KEPUSTAKAAN**

### **2.1 Lapisan Aspal Beton (*Asphalt Concrete, AC*)**

Lapisan Aspal Beton adalah suatu lapis permukaan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam kondisi panas dan suhu tertentu. Laston bersifat kedap air, mempunyai nilai struktural, awet, kadar aspal berkisar 4-7% terhadap berat campuran, dapat digunakan untuk lalu lintas ringan, sedang sampai berat, (Saodang, 2005). Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 4 cm dan ukuran maksimum agregat adalah 19 mm (Hardiyatmo, 2015)

### **2.2 Material Penyusun Perkerasan Jalan**

Dalam pelaksanaan konstruksi perkerasan lapis aspal beton terdiri dari tiga komposisi utama yaitu, agregat yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus, *filler* dan bahan pengikat berupa aspal serta bahan tambah lainnya. Untuk menghasilkan perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Sukirman, 2003), yaitu Agregat Kasar, Agregat Halus, Filler dan Aspal.

### **2.3. Abu Batubara**

Batubara terbentuk dengan cara yang sangat kompleks dan memerlukan waktu yang lama (puluhan sampai ratusan juta tahun) dibawah pengaruh fisika, kimia ataupun keadaan geologi. Batubara merupakan suatu campuran padatan yang sangat heterogen dan terdapat di alam dengan tingkat yang berbeda.

Menurut Achmad Prijono (1992), Batubara adalah bahan bakar *hydro-karbon* padat yang terbentuk dari tumbuh – tumbuhan dalam lingkungan bebas oksigen dan terkena pengaruh temperatur serta tekanan yang berlangsung sangat lama.

Dari beberapa sumber diatas, dapat dirangkum suatu definisi Batubara adalah berupa sedimen organik bahan bakar hidrokarbon padat yang terbentuk dari tumbuh – tumbuhan yang telah mengalami pembusukan secara biokimia, kimia, dan fisika dalam kondisi bebas oksigen yang berlangsung pada tekanan serta temperatur pada kurun waktu yang sangat lama.

Batubara terdiri dari beberapa tingkat, mulai dari *lignit*, *subbitumine*, *bittumine*, dan *antrasit*. Sebagai padatan batubara terdiri atas kumpulan *maceral* (*vitritine*, *eksinite*, dan *enertinite*) dan mineral. Unsur – unsur pembentuk batubara terdiri atas karbon, oksigen, nitrogen, sedikit sulfur, fospor, dan lain – lain. Struktur molekul dapat dibedakan atas *aromatik* dan *aliphatik*.

Batubara jenis lignit dikenal sebagai *brown coal*. Batubara ini berwarna hitam dan sangat rapuh. *Brown coal* memiliki nilai kalor rendah. Kandungan air, abu dan *sulfur* dari batubara ini banyak, sedangkan kandungan karbonnya rendah. Batubara ini menghasilkan suhu nyala yang relatif rendah.

#### **2.4. Karakteristik Beton Aspal**

Untuk mendapatkan mutu aspal beton yang baik, dalam proses perencanaan campuran harus memperhatikan karakteristik campuran aspal beton. Berikut ketujuh macam karakteristik yang dimiliki oleh aspal beton, yaitu :

1. Stabilitas
2. Durabilitas (daya tahan)
3. Fleksibilitas (kelenturan)
4. *Skid resistance* (tahanan geser/kekesatan)
5. Kemudahan pelaksanaan (workabilitas)
6. Kedap air (impremeabilitas)

#### **2.5. Parameter Marshall**

Menurut Sukirman (2003), parameter penting yang ditentukan pengujian ini adalah nilai *stability* dan *flow* yang dibaca langsung pada alat *marshall*. Pengukuran dilakukan dengan menempatkan benda uji pada alat *marshall* dan beban diberikan pada benda uji dengan kecepatan 2 inci/menit atau 51 mm/menit. Beban pada saat terjadi keruntuhan dibaca pada arloji pengukur dari proving ring. Deformasi yang terjadi pada saat merupakan nilai *flow* yang dapat dibaca flow meternya. Nilai *stabilitas* merupakan nilai arloji pengukur dikalikan dengan nilai kalibrasi proving ring, dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji. Para meter lain yang penting adalah berat isi (*density*), rongga dalam butiran (VMA), rongga dalam campuran (VIM), rongga terisi aspal (VFA) dan *marshall quotient* (Sukirman, 2003).

### **3. METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Proses Penelitian**

Dalam penelitian ini dilakukan pengumpulan data yang berguna bagi proses penelitian. Data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengujian sifat-sifat fisis agregat, analisa saringan, pengujian Marshall,

dan penentuan kadar aspal optimum (KAO) berdasarkan metode Marshall. Sedangkan data sekunder diperoleh dari hasil pengujian sifat-sifat fisis aspal dan data pendukung yang diperoleh dari brosur-brosur produksi material dan literturnya. Setelah semua hasil dari pemeriksaan sifat fisis-fisis material dan disesuaikan dengan spesifikasi.

Tabel 3.1 Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Agregat Kasar

<b>Pengujian</b>	<b>Standar</b>
Berat Jenis	SNI 1969-2008
Penyerapan Terhadap Air	SNI 1969-2008
Berat Isi Agregat	AASHTO T-19-74
Indeks Kelonjongan	ASTM D-4791
Indeks Kepipihan	ASTM D-4791
Tumbukan ( <i>Impact</i> )	SNI 03-4426-1997
Keausan agregat dengan Mesin Los Angeles	SNI 2417-2008

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 (2014)

Sedangkan pemeriksaan sifat fisis agregat halus meliputi pemeriksaan berat jenis, penyerapan terhadap air, Seperti pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

Tabel 3.2 Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Agregat Halus

<b>Pengujian</b>	<b>Standar</b>
Berat jenis	SNI 1970-2008
Penyerapan terhadap air	SNI 1970-2008

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 (2014)

Pengujian sifat-sifat fisis aspal berupa pengujian berat jenis, penetrasi, daktilitas, dan titik lembek. Pada Tabel 3.3 sebagai berikut:

Tabel 3.3 Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Aspal Pen. 60/70

<b>No.</b>	<b>Sifat-sifat Fisis Aspal</b>	<b>Standar</b>
1.	Berat jenis (25°C)	SNI 06-2441-1991
2.	Penetrasi (25°C; 5 detik; 0,1 mm; 100gr)	SNI 06-2456-1991
3.	Daktilitas (25°C; 5 cm/detik)	SNI 06-2432-1991
4.	Titik lembek; °C	SNI 06-2434-1991

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 (2014)

Pemeriksaan gradasi agregat akan dilakukan dengan pengujian analisa saringan, pemeriksaan dilakukan dengan menggunakan satu set saringan sesuai dengan ukuran

saringan. Adapun spesifikasi gradasi Laston (AC-WC) seperti pada Tabel 3.4 sebagai berikut :

Tabel 3.4. Gradasi Agregat Rencana

Ukuran Saringan		Laston Lapis Aus (AC-WC)			
		% Berat yang lolos		% Berat yang tertahan	
Saringan	Ukuran (mm)	Spesifikasi	Gradasi Uji Rencana	Tertahan	Kumulatif
$\frac{3}{4}$ "	19,0	100	100		
$\frac{1}{2}$ "	12,5	90 – 100	92,2	7,8	7,82
$\frac{3}{8}$ "	9,5	77 – 90	86,4	5,8	13,60
No. 4	4,75	53 – 69	64,8	21,6	35,25
No.8	2,36	33 – 53	43,2	21,6	56,80
No. 16	1,18	21 – 40	31,4	11,8	68,59
No. 30	0,60	14 – 30	17,9	13,5	82,13
No. 50	0,30	9 – 22	12,0	5,8	87,98
No. 150	0,15	6 – 15	8,3	3,7	91,67
No. 200	0,075	4 – 9	6,2	2,1	93,78
Filler	0	0	0	21,6	35,25

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 (2014)

### 3.2. Persiapan Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Abu Batubara yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) dengan variasi persentase 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% . Dan semen *portland* yang digunakan merupakan produksi PT. Semen Andalas Indonesia yang berlokasi di Kecamatan Lhok Nga, Kabupaten Aceh Besar.

### 3.3. Jumlah Benda Uji Penelitian

Penentuan jumlah benda uji berdasarkan kebutuhan untuk melaksanakan penelitian ini. Langkah pertama yang dilakukan untuk membuat perancangan benda uji adalah menentukan kadar aspal tengah (*Pb*), seperti Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Perencanaan Benda Uji

Perancangan kadar aspal tengah ( <i>Pb</i> )						Jumlah
Kadar aspal	4 %	4,5 %	5 %	5,5 %	6 %	
Jumlah benda uji	5	5	5	5	5	25
Pembuatan benda uji menggunakan modifikasi pada filler						Jumlah
Kadar modifikasi filler	0 %	1%	2 %	3%	4 %	5 %
Jumlah benda uji	5	5	5	5	5	30

## **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1 Pemeriksaan berat jenis aspal**

Aspal yang digunakan adalah aspal keras dengan penetrasi 60/70.

Tabel 4.1 Sifat Fisis Aspal penetrasi 60/70.

No.	Sifat-sifat Fisis Aspal	Standar	Satuan	Syarat	Hasil
1.	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	-	$\geq 1,0$	1,020
2.	Penetrasi	SNI 06-2456-1991	(0,1 mm)	60-70	64
3.	Daktilitas	SNI 06-2432-1991	Cm	$\geq 100$	130
4.	Titik lembek	SNI 06-2434-1991	°C	$\geq 48$	48

### **4.2 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar**

Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah dengan ukuran yaitu 19 mm, 12,5 mm, 9,5 mm dan 4,75 mm, yang berasal dari AMP PT. Abad Jaya – Kreung Geukeuh. Untuk proses pemeriksaan agregat kasar dilakukan secara berurutan, dikarenakan pada pengujian tersebut memiliki kebutuhan parameter yang sama dan saling terkait. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh angka berat jenis kering oven (*bulk specific gravity OD*), berat jenis kering permukaan jenuh (*bulk specific gravity SSD*), berat jenis semu (*apparent specific gravity*) dan kemampuan penyerapan air (*water absorption*) agregat kasar.

1. Hasil pengujian agregat kasar ukuran material tertahan  $\frac{3}{4}$

Dari hasil penelitian, dapat dilihat bahwa hasil uji berdasarkan sampel untuk berat jenis kering oven (*bulk specific gravity OD*) sebesar 2450 gr/cm, berat jenis kering permukaan jenuh (*bulk specific gravity SSD*) sebesar 2,415 gr/cm, berat jenis semu (*apparent specific gravity*) sebesar 2,487 gr/cm, dan kemampuan penyerapan air (*water absorption*) sebesar 2,039 %.

2. Hasil pengujian agregat kasar ukuran material tertahan  $\frac{3}{8}$

Dari hasil penelitian, dapat dilihat bahwa hasil uji berdasarkan sampel untuk berat jenis kering oven (*bulk specific gravity OD*) sebesar 2427,1 gr/cm, berat jenis kering permukaan jenuh (*bulk specific gravity SSD*) sebesar 2,478 gr/cm, berat jenis semu (*apparent specific gravity*) sebesar 2,594 gr/cm, dan kemampuan penyerapan air (*water absorption*) sebesar 3,003%. Sebagai titik kontrol agregat kasar yang telah diuji di laboratorium, telah memenuhi standar Spesifikasi Umum 2010 revisi 3, dimana persyaratannya yaitu untuk penyerapan air oleh agregat maksimum 3 %.

### **4.3 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus**

Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh angka berat jenis kering oven (*bulk specific gravity OD*), berat jenis kering permukaan jenuh (*bulk specific gravity SSD*), berat jenis semu (*apparent specific gravity*) dan kemampuan penyerapan air (*water absorption*) agregat halus.

1. Pasir

Dari hasil penelitian, dapat dilihat bahwa hasil uji berdasarkan sampel untuk berat jenis kering oven (*bulk specific gravity OD*) sebesar 490,3 gr/cm, berat jenis kering permukaan jenuh (*bulk specific gravity SSD*) sebesar 2,584 gr/cm, berat jenis semu (*apparent specific gravity*) sebesar 2,668 gr/cm, dan kemampuan penyerapan air (*water absorption*) sebesar 1,987 %. Sebagai titik kontrol agregat halus yang telah diuji dilaboratoirum, penyerapan air sebesar 1,987 % yaitu memenuhi standar Spesifikasi Umum 2010 revisi 3 yaitu penyerapan air oleh agregat maksimum 3 %.

2. Dust

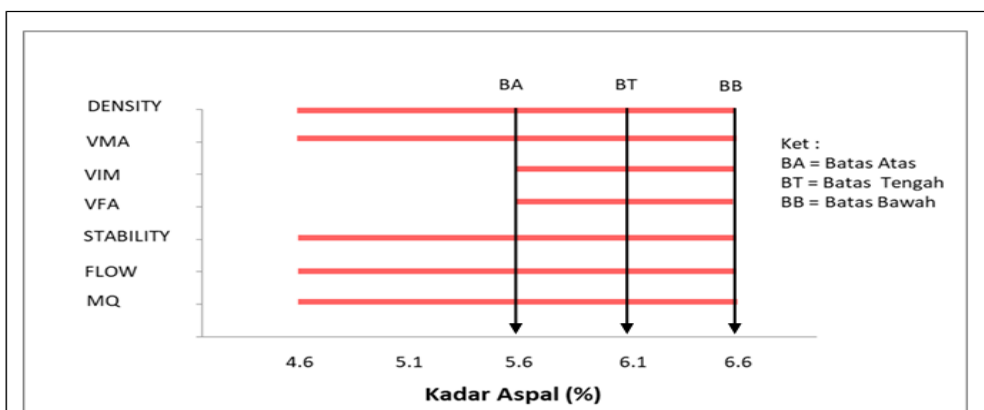
Dari hasil dapat dilihat bahwa hasil uji berdasarkan sampel untuk berat jenis kering oven (*bulk specific gravity OD*) sebesar 485,6 gr/cm, berat jenis kering permukaan jenuh (*bulk specific gravity SSD*) sebesar 2,667 gr/cm, berat jenis semu (*apparent specific gravity*) sebesar 2,805 gr/cm, dan kemampuan penyerapan air (*water absorption*) sebesar 2.951 %. Sebagai titik kontrol agregat halus yang telah diuji dilaboratoirum, penyerapan air sebesar 2,951 % yaitu memenuhi standar Spesifikasi Umum 2010 revisi 3 yaitu penyerapan air oleh agregat maksimum 3 %.

**4.4 Penentuan nilai KAO**

Kadar aspal optimum adalah kadar yang menunjukkan kondisi campuran harus memenuhi persyaratan yang digunakan yaitu standar Spesifikasi Umum 2010 revisi 3. Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan pengujian Marshall,. Berikut perhitungan  $P_b$  :

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0,035 (CA) + 0,045 (FA) + 0,18 (Filler) + K \\
 &= 0,035 (60.39) + 0,045 (33,61) + 0,18 (6,0) + 0,5 \\
 &= 5,206
 \end{aligned}$$

Dari nilai parameter Marshall, yang memenuhi Spesifikasi Umum 2010 revisi 3 yaitu pada nilai KAO 6,1% dari berat total agregat. KAO 6,1%, diperoleh nilai *Density* sebesar 2,267, VMA sebesar 14,14 %, VIM sebesar 7,49 %, VFA sebesar 47,81 %, Stabilitas Marshall sebesar 2084,78 Kg, *flow* sebesar 3,300 mm, MQ sebesar 659,183 m



Gambar 4.1. Grafik hasil KAO

#### 4.5 Hasil Pengujian Parameter Marshall Variasi Penambahan Abu BatuBara

Pengujian ini merupakan hasil dari pengujian langsung terhadap benda uji yaitu beton aspal (AC-BC) dengan menggunakan kadar aspal 5,1 % yang diperoleh dari kadar aspal optimum (KAO) yang telah diuji sebelumnya, maka setelah didapat nilai tersebut barulah dilakukan pengujian benda uji penambahan campuran Abu Batu bara sebagai bahan tambahan dengan variasi 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% .

Tabel 4.2 Kadar penelitian aspal beton (AC-WC) dengan campuran abu batubara (%)

No	Kadar Aspal	Variasi Abu Batu Bara	density (gr/cm <sup>3</sup> )	(VMA) (%)	(VIM) (%)	(VFA) (%)	stability (kg)	flow (mm)	MQ (kg/mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
I	6.1	0%	2.305	14.27	3.64	74.50	1192	6.60	181
II			2.285	15.01	4.48	70.19	1402	5.60	250
III			2.367	11.97	1.06	64.20	1286	4.60	279
IV			2.283	15.08	4.56	65.23	1584	5.30	299
Nilai Rata-Rata			2.310	14.09	3.43	68.53	1366	5.53	252
I	6.1	1%	2.248	16.40	6.03	63.22	1270	4.50	282
II			2.288	14.90	4.34	70.84	1204	6.00	201
III			2.298	14.54	3.95	72.87	1236	4.40	281
IV			2.271	15.53	5.06	64.50	1190	4.30	277
Nilai Rata-Rata			2.276	15.34	4.84	67.86	1225	4.80	260

I	6.1	2%	2.277	15.32	4.82	68.55	1155	6.00	193
II			2.291	14.78	4.21	67.90	1178	5.00	236
III			2.269	15.62	5.16	66.98	1309	4.00	327
IV			2.279	15.23	4.72	69.03	1236	4.20	294
Nilai Rata-Rata			2.279	15.24	4.73	68.12	1220	4.80	262
I	6.1	3%	2.259	16.00	5.58	65.12	1686	4.30	392
II			2.266	15.70	5.25	66.57	1928	5.74	336
III			2.265	15.74	5.29	66.39	1675	4.30	389
IV			2.318	13.79	3.10	77.50	2148	4.87	441
Nilai Rata-Rata			2.277	15.31	4.81	68.89	1859	4.80	390
I	6.1	4%	2.289	14.86	4.30	71.04	1421	5.80	245
II			2.269	15.62	5.16	66.98	1490	4.30	347
III			2.281	15.18	4.66	69.30	1613	6.40	252
IV			2.276	15.33	4.83	68.47	1478	5.20	284
Nilai Rata-Rata			2.279	15.25	4.74	68.95	1500	5.43	282
I	6.1	5%	2.268	15.66	5.20	66.79	1861	7.50	248
II			2.260	15.94	5.52	72.00	1850	6.50	285
III			2.299	14.49	3.89	73.15	1652	4.60	359
IV			2.268	15.65	5.19	70.00	1802	6.30	286
Nilai Rata-Rata			2.274	15.44	4.95	70.48	1791	6.23	294



Dari hasil pengujian marshall dengan menggunakan penambahan campuran Abu Batu bara variasi 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. Maka, diperoleh nilai *density* yaitu 2,310 gr/cm<sup>3</sup>, 2,276 gr/cm<sup>3</sup>, 2,279 gr/cm<sup>3</sup>, 2,277 gr/cm<sup>3</sup>, 2,279 gr/cm<sup>3</sup>, 2,274 gr/cm<sup>3</sup>, hasil dari triendline nilai grafik yang diperoleh menurun di 5% dan meningkat pada 0%,

Dari hasil pengujian marshall dengan menggunakan penambahan campuran Abu Batubara variasi 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. maka, diperoleh nilai kadar rongga dalam agregat (VMA) yaitu 14,09%, 15,34%, 15,24%, 15,31%, 15,25%, 15,44%, hasil dari triendline nilai grafik yang diperoleh menurun di 0% dan meningkat pada 5%.

Dari hasil pengujian marshall dengan menggunakan penambahan campuran Abu Batubara variasi 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. maka, diperoleh nilai kadar rongga terhadap campuran (VIM) yaitu 3,43%, 4,48%, 4,73%, 4,81%, 4,74%, 4,95%, hasil dari triendline nilai grafik yang diperoleh menurun di 0% dan meningkat pada 5%,

Dari hasil pengujian marshall dengan menggunakan penambahan campuran Abu Batubara 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. maka diperoleh nilai kadar rongga yang terisi aspal (VFA) yaitu, 68,53%, 67,86%, 68,12%, 68,89%, 68,95%, 70,48

Dari hasil pengujian marshall dengan menggunakan penambahan campuran Abu Batubara variasi 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. maka, diperoleh nilai stabilitas yaitu, 1366 kg, 1225 kg, 1220 kg, 1859 kg, 1500 kg, 1791 kg. Hasil dari triendline nilai grafik yang diperoleh menurun di 0% dan meningkat pada 5%.

Dari hasil pengujian marshall dengan menggunakan penambahan campuran Abu Batubara variasi 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. maka, diperoleh nilai kelelahan plastis (*flow*) yaitu, 5,53 mm, 3,73 mm, 4,29 mm, 4,49 mm, 4,07 mm, 4,79 mm. Hasil dari triendline nilai grafik yang diperoleh menurun di 5% dan meningkat pada 0%.

Dari hasil pengujian marshall dengan menggunakan penambahan campuran Abu Batubara 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%. maka, diperoleh nilai kelelahan marshall quotien (MQ) yaitu, 252 kg/mm, 260 kg/mm, 262 kg/mm, 390 kg/mm, 282 kg/mm, 294 kg/mm. Hasil dari triendline nilai grafik yang diperoleh menurun di 0% dan meningkat pada 5%.

#### 4.6 Indeks Kekuatan Sisa Dengan Variasi Abu Batubara

Indeks Kekuatan Sisa Marshall untuk mengevaluasi ketahanan campuran terhadap pengerusakan air dan efisiensi daya adhesi dari bahan ikat dan agregat. Spesifikasi nilai IKS pada campuran aspal beton AC-BC minimum sebesar 80% dari nilai stabilitas awal. Indeks kekuatan sisa pada campuran aspal beton AC-WC dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Tabel Nilai IKS pada Kadar Abu Batubara Optimum

Stabilitas Kadar Abu Batu Bara Optimum										Spesifikasi Iks %			
30 Menit					24 Jam								
0%	1%	2%	3%	4%	5%	0%	1%	2%	3%	4%	5%		
1636	1451	1330	1814	1635	1872	1366	1225	1220	1859	1500	1791		
IKS										MIN		MAX	
0%		1%		2%		3%		4%		5%		80	-
119.77		118.49		109.09		97.56		109.00		104.54		Memenuhi	

Tabel 4.3 memperlihatkan bahwa nilai indeks kekuatan sisa (IKS) mengalami peningkatan. Nilai IKS tertinggi terdapat pada variasi 0 %. Nilai IKS pada variasi 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5% masih memenuhi spesifikasi dari aspal beton AC-WC menyebutkan bahwa nilai indeks kekuatan sisa harus lebih besar dari 80%, dengan demikian campuran yang menggunakan *filler* tersebut memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan. Nilai IKS di atas didapat dari hasil perhitungan dengan cara matematis, maka hasil tersebut adalah nilai stabilitas antara perendaman selama 30 menit, yang kemudian menggunakan persamaan regresi perhitungan *marshall* untuk mendapatkan nilai indeks kekuatan sisa (IKS).

## **5. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1. Kesimpulan**

Dari penelitian yang sudah dilaksanakan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan abu batubara sebagai *filler* sebesar 1-5% dapat memenuhi syarat dalam campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC).
2. Nilai KAO yang diperoleh pada pengujian yaitu 6,1%.
3. Pengaruh Abu batubara untuk nilai *density* mengalami peningkatan pada variasi 2% dan 4% yaitu 2.279 gr/cm<sup>3</sup>, untuk *VMA*, *VIM*, *VFA* dan *Flow* mengalami kesamaan dalam peningkatan yaitu pada variasi 5%, sedangkan nilai *Stabilitas* dan *MQ* mengalami peningkatan pada variasi 3%.
4. Hasil pengujian *marshall* untuk variasi dari 0% - 5% dapat disimpulkan bahwa variasi 5% memiliki nilai terbaik dibandingkan dengan persentase variasi yang lainnya.
5. Hasil penelitian yang didapat dari parameter *marshall* dan nilai indeks kekuatan sisa (IKS) pada campuran aspal beton AC-WC memenuhi syarat yaitu > 80% dan meningkat pada variasi 0 % sebesar 119,8 %.

### **5.2 Saran**

Untuk menindaklanjuti penelitian ini, diperlukan beberapa koreksi yang harus diperhatikan agar dapat dijadikan sebagai pedoman dan acuan bagi penelitian – penelitian selanjutnya agar dapat lebih baik. Adapun saran – saran untuk penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut:

1. Pengaruh pemanfaatan modifikasi *filler* abu batubara sebagai variasi *filler* perlu ditambah kadarnya (%) pada campuran, agar nilai stabilitasnya semakin naik.
2. Dalam penelitian ini digunakan aspal pertamina pen 60/70 dan agregat yang diperoleh dari PT. Abad Jaya Abadi Sentosa diharapkan kedepan bisa mencoba dengan jenis aspal beserta dengan material yang lain.
3. Dalam penelitian kadar Abu Batubara yang terbaik yaitu 5%. KAO yang dipilih yaitu 6,1%, disarankan untuk penelitian selanjutnya agar pemakaian nilai kadar aspal langsung dibulatkan agar memudahkan dalam proses penelitian.

**Daftar Pustaka**

Achmad Prijono (1992), *Batubara adalah bahan bakar hydro-karbon padat*.

Hardiyatmo, Hary Christady, 2015, *Perencanaan Perkerasan Jalan & Penyelidikan Tanah*, Yogyakarta: UGM Press.

Saodang, H., 2005, *Konstruksi Jalan Raya*, Bandung: Nova.

Sukirman, Silvia. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Grafika Yuana Marga : Bandung