

## Durabilitas Campuran AC-WC dengan Pemanfaatan Abu Cangkang Kemiri dan Getah Damar Sebagai Material Substitusi

### *Durability of AC-WC Mixture with the Utilization of Candlenut Shell Ash and Damar Resin as Substitute Materials*

**Kusmira Agustian<sup>1</sup>, Cut Liliiza Yusra<sup>2</sup>, Roni Agusmaniza<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Program Studi Konstruksi Pondasi, Beton dan Pengaspalan Jalan, Akademi Komunitas Negeri Aceh Barat, Jln. Alue Peunyareng, Ujong Tanoh Darat, Kec. Meureubo, Aceh Barat, Aceh 23681

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar, Jl. Alue Peunyareng, Gunong Kleng, Kec. Meureubo, Aceh Barat, Aceh 23681  
Email : [kusmira@aknacehbarat.ac.id](mailto:kusmira@aknacehbarat.ac.id)

#### **Abstrak**

Durabilitas merupakan satu dari beberapa karakteristik yang dibutuhkan untuk mengetahui tingkat ketahanan campuran aspal dalam menghadapi perubahan iklim dan cuaca. Penelitian ini dimaksudkan untuk mendapatkan perbandingan ketahanan campuran aspal jenis AC-WC dengan penggunaan material substitusi abu cangkang kemiri dan getah damar. Tahapan yang dilakukan adalah merencanakan komposisi campuran, membuat briket Marshall, menimbang dan merendam briket selama 30 menit dalam air bersuhu 60°C, selanjutnya dilakukan uji Marshall baik pada campuran konvensional maupun dengan material substitusi untuk mendapatkan kadar aspal optimum (KAO). Kadar substitusi getah damar yang digunakan adalah 2%, 4%, 6% dari berat total aspal, sementara abu cangkang kemiri sebesar 10% dari berat total *filler* dalam campuran. Setelah diperoleh KAO, tahap berikutnya adalah membuat briket pada KAO dari setiap jenis campuran, dilanjutkan dengan uji Marshall setelah direndam selama 30 menit dan 24 jam. Nilai durabilitas merupakan hasil bagi nilai stabilitas briket rendaman selama 24 jam dengan briket rendaman selama 30 menit. Hasil perhitungan yang didapat menunjukkan bahwa pemanfaatan abu cangkang kemiri dan getah damar dapat meningkatkan durabilitas campuran aspal. Durabilitas tertinggi diperoleh pada kadar substitusi 6% getah damar dan 10% abu cangkang kemiri yaitu 117,65%, sedangkan durabilitas terendah diperoleh pada campuran aspal konvensional yaitu sebesar 94,10%.

**Kata Kunci:** Durabilitas AC-WC, Abu cangkang kemiri; Getah damar

#### **Abstract**

*Durability is one of several characteristics needed to determine the level of asphalt mixture resistance in facing climate and weather changes. This study is intended to compare the resistance of AC-WC type asphalt mixtures with the use of substitute materials of candlenut shell ash and damar resin. The stages carried out are planning the composition of the mix, making test specimens, weighing and soaking the test specimens for 30 minutes in water at a temperature of 60°C, then a Marshall test is carried out on both conventional mixtures and with substitute materials to obtain the optimum asphalt content (OAC). The substitution levels of damar resin used are 2%, 4%, and 6% of the total weight of asphalt, while candlenut shell ash is 10% of the total weight of filler in the mixture. After obtaining the OAC, the next stage is to make test specimens on the OAC of each type of mixture, followed by a Marshall test after being soaked for 30 minutes and 24 hours. The durability value is the result of dividing the stability value of the test specimen soaked for 24 hours by the test specimen soaked for 30 minutes. The calculation results obtained show that the use of candlenut shell ash and damar resin can increase the durability of the asphalt mixture. The highest durability was obtained at a substitution rate of 6% damar resin and 10% candlenut shell ash, which is 117.65%, while the lowest durability was obtained in a conventional asphalt mixture, which is 94.10%.*

**Keywords:** Candlenut shell ash; AC-WC; Damar resin

## PENDAHULUAN

Perkerasan aspal merupakan salah satu jenis perkerasan jalan yang paling umum dan banyak digunakan di Indonesia. Masalah yang sering ditemui pada perkerasan aspal adalah terjadinya keretakan pada permukaannya akibat nilai durabilitas yang rendah (Awuah & Garcia-Hernández, 2022). Durabilitas atau ketahanan campuran pada perkerasan aspal sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan, terutama perubahan iklim dan cuaca (Liu et al., 2022).

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang memiliki curah hujan yang relatif tinggi dengan durasi yang relatif lama, sehingga sering menimbulkan genangan air atau banjir pada permukaan jalan (Setiawan et al., 2019). Fenomena tersebut telah diidentifikasi menjadi pemicu utama penurunan tingkat ketahanan campuran aspal yang pada akhirnya menyebabkan kerusakan jalan. Hal tersebut semakin diperkuat oleh Adiman & Suparma (2022) bahwa banjir atau genangan air memiliki kemampuan untuk melemahkan ikatan kohesif aspal serta ikatan adhesif antara aspal dengan agregat. Oleh karena itu, sangat penting untuk menguji ketahanan campuran aspal terhadap perubahan iklim dan cuaca guna menghindari terjadinya kerusakan jalan (Yu-Shan & Shakiba, 2021).

Pengujian tentang pemanfaatan bahan lain dengan tujuan untuk meningkatkan durabilitas/ketahanan campuran aspal telah banyak dilakukan, diantaranya:

1. Agustian & Ridha (2018) mengungkapkan bahwa penggunaan getah damar dengan kadar 2% sebagai material pengganti aspal berpengaruh positif terhadap nilai durabilitas.
2. Agustian & Agusmaniza (2021) menyatakan bahwa pemanfaatan abu cangkang kemiri sebagai material pengganti *filler* mampu meningkatkan ketahanan campuran *asphalt concrete base course* (AC-BC) ketika terjadi perubahan temperatur udara.
3. Agustian & Agusmaniza (2022) menyebutkan pemakaian 4% getah damar sebagai material substitusi aspal terbukti mampu meningkatkan stabilitas campuran AC-BC dibandingkan dengan campuran aspal konvensional.
4. Wahyudin et al (2024) menganalisis penambahan abu cangkang kemiri sebagai *filler* pada campuran *asphalt concrete-wearing course* (AC-WC). Dari hasil analisisnya, diperoleh kesimpulan bahwa peningkatan persentase abu cangkang kemiri dalam campuran berbanding lurus dengan stabilitas, atau dapat dikatakan semakin tinggi kadar penambahan abu cangkang

kemiri, menyebabkan stabilitas Marshall yang semakin baik.

Informasi latar belakang di atas mendorong penulis untuk melakukan penelitian tentang ketahanan campuran AC-WC yang diproduksi menggunakan kombinasi abu cangkang kemiri (AK) sebagai material substitusi *filler* dan getah damar (D) sebagai material substitusi aspal. Besaran kadar substitusi abu cangkang kemiri yang diaplikasikan dalam campuran adalah 10% dari berat total *filler*, sementara besaran kadar substitusi getah damar yaitu 2%, 4% dan 6% dari berat total aspal dalam campuran.

## Campuran Beton Aspal

Campuran beton aspal merupakan hasil dari gabungan agregat (kasar dan halus), *filler* dan aspal yang dipanaskan dengan suhu tertentu untuk selanjutnya dilakukan pemadatan sesuai dengan ketentuan (Sukirman, 2010).

Ketentuan campuran beton aspal jenis AC-WC berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga (2018) seperti terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Ketentuan Beton Aspal AC

Sifat Campuran	Beton Aspal (AC)	Beton Aspal (AC-Modif)
Penyerapan aspal (%)		1,20
Jumlah tumbukan per bidang		75,00
VIM (%)		3,00 – 5,00
VMA (%)		Min. 15,00
VFB (%)		Min. 65,00
Stabilitas Marshall (kg)	Min. 800	Min. 1.000
Flow (mm)	2,00 – 4,00	2,00 – 4,00
Sisa stabilitas Marshall		Min. 90,00
VIM (%) kondisi kepadatan membal ( <i>refusal</i> )		Min. 2,00

Sumber: Bina Marga (2018)

## Durabilitas

Durabilitas dikenal sebagai daya tahan campuran beton aspal (campuran aspal padat) dalam menerima beban lalu lintas yang berulang, seperti kendaraan dengan tonase tinggi, gesekan antara permukaan aspal dan roda kendaraan, serta kemampuan dalam menghindari terjadi keausan yang disebabkan oleh perubahan cuaca dan iklim (Sukirman, 2016).

Durabilitas campuran beton aspal dipengaruhi oleh:

1. Film aspal (selimut aspal); semakin tebal film aspal dapat meningkatkan durabilitas campuran

beton aspal, tetapi memungkinkan terjadinya *bleeding* sehingga membuat permukaannya cenderung licin;

2. VIM (*voids in mix*) kecil, menjadikan campuran beton aspal yang kedap air sehingga udara tidak masuk ke dalam campuran. Dimana udara merupakan penyebab utama yang membuat aspal menjadi rapuh;
3. VMA (*voids in mineral aggregate*) besar, sehingga film aspal yang dihasilkan cenderung lebih tebal. Bila VMA dan VIM rendah serta kadar aspal tinggi, kemungkinan terjadinya *bleeding* menjadi semakin besar.

Nilai durabilitas adalah perbandingan antara nilai stabilitas durasi rendam 24 jam dan nilai stabilitas durasi rendam 30 menit (dalam persen). Spesifikasi umum Bina Marga (2018) menyebutkan nilai durabilitas dikatakan baik apabila nilainya  $\geq 90\%$ .

### Abu Cangkang Kemiri

Abu cangkang kemiri merupakan hasil pembakaran dari cangkang buah kemiri (*aleurites moluccanus*). Cangkang kemiri memiliki senyawa penyusun berupa  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Minanulloh et al., 2020). Berdasarkan pengujian komposisi kimia yang dilakukan Jannat et al (2021), abu cangkang kemiri mengandung unsur  $\text{CaO}$  50,48%,  $\text{SiO}_2$  4,89%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  0,77%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  1,89%,  $\text{MgO}$  1,67%,  $\text{K}_2\text{O}$  27,73%,  $\text{Na}_2\text{O}$  2,89%,  $\text{SO}_3$  3,20%. Senyawa yang terkandung dalam abu cangkang kemiri sama dengan komponen utama yang digunakan dalam pembuatan semen yaitu kapur ( $\text{CaO}$ ), silika ( $\text{SiO}_2$ ), alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

### Getah Damar

Getah damar diperoleh dari hasil sekresi (getah) dari pohon *shorea sp*, *vatica sp*, *dryobalanops sp*, dan jenis lain dari *dipterocarpaceae* termasuk damar mata kucing dan damar batu (Kuspradini et al., 2016). Getah ini biasanya keluar dari pohon setelah bagian kulit pohon terluka, baik secara alami maupun karena proses penerasan (*tapping*) oleh manusia.

## MATERIAL DAN METODE

### Material

Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah agregat kasar dan halus hasil dari mesin pemecah batu pada *stone crusher* yang berada di Aceh Barat, aspal penetrasi 60/70 produksi PT.

Pertamina, abu cangkang kemiri dan getah damar yang diambil dari perkebunan warga yang ada di Aceh Tenggara, dan semen produksi PT. Solusi Bangun Andalas.

Abu cangkang kemiri yang dimasukkan ke dalam campuran aspal sebagai substitusi *filler* diperoleh dari proses pembakaran sempurna, selanjutnya dilakukan penyaringan dan abu yang digunakan adalah material yang tertampung di dalam *pan* (lolos ayakan 200), sama halnya dengan getah damar yang nantinya dicampur ke dalam aspal, adalah material yang lolos ayakan 200 yang sebelumnya telah ditumbuk sampai halus dan dilakukan proses penyaringan untuk memperoleh material yang diinginkan.



Gambar 1a.

Abu cangkang kemiri

Gambar 1b.

Bubuk getah damar

Sebelum dilakukan perhitungan komposisi campuran dan pembuatan briket Marshall, semua material penyusun tersebut harus dilakukan pemeriksaan sifat fisisnya, agar diketahui apakah material yang digunakan telah memenuhi persyaratan atau tidak.

Pemeriksaan sifat fisis agregat yang dilakukan adalah berat jenis, penyerapan, berat isi, kekerasan dan keausan agregat. Sementara pemeriksaan aspal meliputi berat jenis, titik lembek, daktilitas dan penetrasi mengacu pada spesifikasi umum Bina Marga (2018).

Khusus untuk abu cangkang kemiri dan aspal yang disubstitusi dengan getah damar hanya dilakukan pengujian berat jenis.

### Metode

Tahap lanjutan yang dilakukan dalam penelitian ini setelah semua material memenuhi persyaratan yaitu menghitung komposisi agregat dalam campuran AC-WC baik campuran konvensional maupun dengan pemanfaatan material substitusi, menghitung kadar aspal ideal (*Pb*) untuk menentukan variasi kadar aspal yang nantinya diaplikasikan dalam campuran, dilanjutkan dengan pembuatan briket Marshall, penimbangan briket dan diakhiri dengan pengujian kuat tekan Marshall setelah perendaman sesuai dengan durasi yang

direncanakan di dalam *waterbath* bersuhu 60 derajat celcius.

Berdasar pada data yang diperoleh tersebut, dilakukan analisis untuk memperoleh kadar aspal optimum (KAO) pada tiap jenis campuran berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga (2018). Setelah KAO didapat, kembali dilakukan pembuatan briket Marshall pada tiap-tiap KAO, setelahnya dilakukan uji tekan Marshall pada briket dengan durasi rendam dalam *waterbath* selama 24 jam dan 30 menit untuk mengetahui perbandingan durabilitas

dari tiap jenis campuran AC-WC yang dibuat dalam penelitian ini.

### Perhitungan Komposisi Agregat

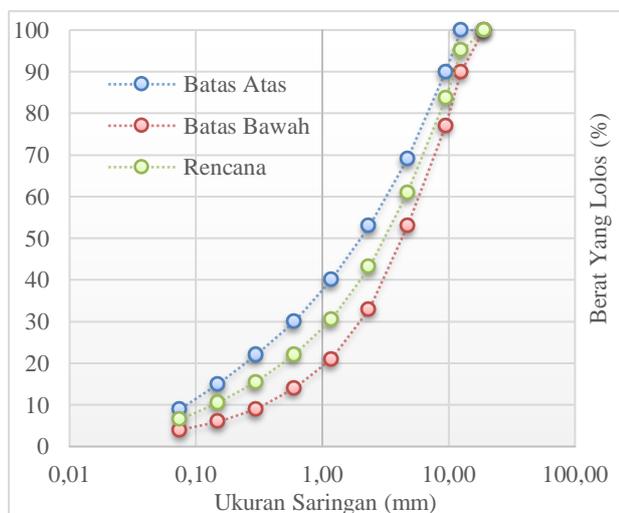
Komposisi agregat pada penelitian ini mengacu pada nilai tengah *range* gradasi campuran AC-WC sesuai spesifikasi umum Bina Marga (2018) seperti yang terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Komposisi agregat campuran AC-WC

Ukuran Saringan		% Lolos	% Tertahan			
ASTM	(mm)	Spesifikasi	Komposisi Rencana	Tertahan	Kumulatif	
3/4"	19 mm	100	100			
1/2"	12,5 mm	90 - 100	95	5	5	
3/8"	9,5 mm	77 - 90	83,5	11,5	16,5	%CA = 57,00%
No. 4	4,75 mm	53 - 69	61	22,5	39	
No. 8	2,36 mm	33 - 53	43	18	57	
No. 16	1,18 mm	21 - 40	30,5	12,5	69,5	
No. 30	0,6 mm	14 - 30	22	8,5	78	
No. 50	0,3 mm	9 - 22	15,5	6,5	84,5	%FA = 36,50%
No. 150	0,15 mm	6 - 15	10,5	5	89,5	
No. 200	0,075 mm	4 - 9	6,5	4	93,5	
Filler	Pan	0	0	6,5	100	%Filler = 6,50%

Sumber: Bina Marga (2018)

Komposisi rencana agregat campuran AC-WC sebagaimana ditunjukkan pada tabel 2 dapat digambarkan dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik komposisi rencana agregat

### Perhitungan Kadar Aspal Ideal (*Pb*)

Perhitungan *Pb* mengacu pada rumus empiris yang telah ditetapkan oleh Bina Marga (2018) berdasarkan besaran persentase agregat kasar (CA),

agregat halus (FA) dan *filler* yang telah diperoleh dari perhitungan komposisi agregat, serta nilai konstanta. Pada penelitian ini nilai konstanta (*C*) yang digunakan adalah 0,5, sehingga *Pb* dapat dihitung sebagai berikut:

$$Pb = 0,035CA + 0,045FA + 0,18FF + C \dots\dots [1]$$

$$Pb = 0,035(57) + 0,045(36,5) + 0,18(6,5) + 0,5$$

$$Pb = 5,30\%$$

Dari hasil perhitungan tersebut, nilai *Pb* kemudian dikenakan menjadi 5,5%. Sehingga variasi kadar aspal yang digunakan untuk pembuatan briket Marshall yaitu 2 (dua) kadar aspal di bawah *Pb* dan 2 (dua) kadar aspal diatas *Pb* dengan selisih 0,5%. Dengan demikian diperoleh lima variasi kadar aspal yang digunakan dalam campuran yaitu 4,5%; 5%; 5,5%; 6% dan 6,5%.

### Pembuatan Briket Marshall Untuk Perhitungan KAO

Pembuatan briket Marshall untuk memperoleh nilai KAO pada tiap-tiap jenis campuran dilakukan pada campuran aspal konvensional dan campuran

aspal dengan material substitusi yaitu abu cangkang kemiri dan getah damar.

Jumlah briket Marshall yang dibuat untuk perhitungan KAO seperti terlihat pada tabel 3.

Tabel 3. Jumlah briket Marshall untuk perhitungan KAO

Kadar Aspal	0%D, 100% Semen	2%D, 10% AK; 90% Semen	4%D, 10% AK; 90% semen	6%D, 10% AK; 90% Semen
4,5%	3 briket	3 briket	3 briket	3 briket
5%	3 briket	3 briket	3 briket	3 briket
5,5%	3 briket	3 briket	3 briket	3 briket
6%	3 briket	3 briket	3 briket	3 briket
6,5%	3 briket	3 briket	3 briket	3 briket
Total	15 briket	15 briket	15 briket	15 briket

Briket Marshall, mulanya dibuat pada campuran aspal konvensional yaitu dengan menggunakan 100% aspal penetrasi 60/70 dan 100% *filler* semen, selanjutnya dibuat kembali briket untuk jenis campuran dengan substitusi 2%, 4% dan 6% bubuk getah damar pada aspal serta gabungan 90% semen dan 10% abu cangkang kemiri sebagai *filler*.

Proses pencampuran getah damar ke dalam aspal dilakukan dengan cara basah yaitu dengan memanaskan aspal terlebih dahulu hingga mencair, selanjutnya dimasukkan bubuk getah damar sesuai dengan kadar yang direncanakan. Kedua material tersebut diaduk merata hingga tercampur sempurna dan homogen, selanjutnya dimasukkan agregat serta *filler* gabungan antara semen dan abu cangkang kemiri sesuai komposisi berat yang telah dihitung berdasarkan masing-masing persentase kadar aspal.

Setelah semua material tersebut tercampur dengan baik sesuai dengan suhu pencampuran yang ditetapkan Bina Marga (2018), selanjutnya dilakukan pemadatan briket.

Tahap berikutnya, setelah proses pembuatan briket Marshall selesai adalah menimbang briket dalam keadaan kering, dalam air dan berat jenuh kering permukaan. Selanjutnya dilakukan perendaman briket dalam *waterbath* berisi air dengan suhu 60 derajat celcius selama 30 menit untuk kemudian dilakukan uji tekan Marshall.

Berdasarkan data-data tersebut, dilakukan perhitungan dan analisis sifat Marshall untuk memperoleh KAO dari setiap jenis campuran aspal .

### Analisis Data

Analisis data perhitungan sifat Marshall dalam penelitian ini menggunakan metode regresi non-linear dua ordo untuk mengidentifikasi hubungan antara variasi kadar aspal dengan sifat Marshall.

Hubungan sifat Marshall dengan variasi kadar aspal *diplotting* pada diagram x,y sehingga terbentuk titik-titik sebar yang disebut diagram pencar, dimana sumbu y mewakili sifat Marshall dan sumbu x mewakili variasi kadar aspal dalam campuran. Kurva pendekatan yang menghubungkan setiap titik pada diagram adalah berupa garis lengkung yang menunjukkan hubungan dari kedua variabel tersebut (Triadmodjo, 2010).

Nilai KAO pada semua jenis campuran AC-WC dapat dihitung dengan menggunakan metode *narrow range*. KAO ditentukan berdasarkan nilai rata-rata yang memenuhi serangkaian persyaratan sifat Marshall diantaranya yaitu stabilitas Marshall, *flow*, *void in mix*, *void in mineral aggregate*, *void filled by bitumen* dan *Marshall quotient* (Dhir et al., 2019).

### Pembuatan Briket Marshall Pada KAO

Pembuatan briket Marshall pada masing-masing KAO dari setiap jenis campuran aspal, dilakukan baik pada campuran konvensional maupun campuran dengan material substitusi, yaitu abu cangkang kemiri dan getah damar.

Dengan tahapan yang sama, briket Marshall di timbang baik dalam kondisi kering, kondisi dalam air maupun kondisi jenuh kering permukaan, kemudian direndam dalam *waterbath* yang telah berisi air bersuhu 60 derajat celcius selama 30 menit dan 24 jam untuk selanjutnya dilakukan uji kuat tekan Marshall.

Nilai durabilitas campuran aspal merupakan hasil bagi antara bacaan dial stabilitas briket Marshall dengan durasi rendaman 24 jam dan 30 menit setelah dikalikan angka kalibrasi alat dan faktor koreksi briket dalam satuan persen (Pratama et al., 2023).

Rekapitulasi jumlah briket Marshall pada KAO dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah briket Marshall pada KAO

Campuran Aspal Pada KAO	Durasi Rendam 30 Menit	Durasi Rendam 24 Jam
0%D dan 100% Semen	3 briket	3 briket
2%D dan 10% AK; 90% Semen	3 briket	3 briket
4%D dan 10% AK; 90% Semen	3 briket	3 briket
6%D dan 10% AK; 90% Semen	3 briket	3 briket
Total	12 briket	12 briket

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pemeriksaan Aspal

Hasil pemeriksaan aspal memperlihatkan bahwa aspal penetrasi 60/70 dapat digunakan karena telah memenuhi setiap karakteristik yang ditentukan. Hasil pemeriksaan sifat aspal sebagaimana disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil pemeriksaan aspal

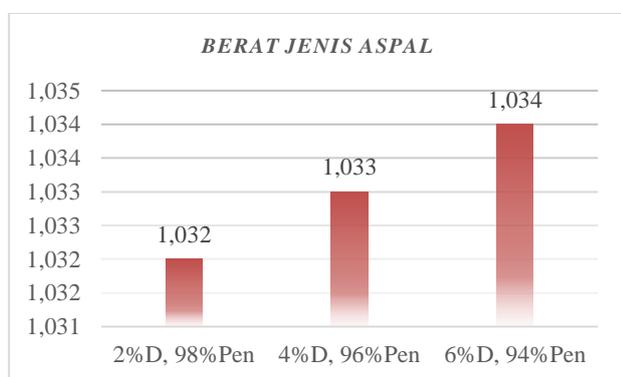
Jenis Pemeriksaan	Metoda	Hasil	Ketentuan
Penetrasi	SNI06-2456-1991	62	60–70
Berat jenis	SNI2441-12011	1,031	Min. 1
Titik lembek	SNI2434-2011	50,1	Min. 48 °C
Daktalitas	SNI2432-2011	140	Min. 100 cm

### Hasil Pemeriksaan Aspal dengan Substitusi Getah Damar

Hasil pemeriksaan aspal penetrasi 60/70 dengan material substitusi getah damar sebesar 2%, 4% dan 6% yang mengacu pada besaran berat total aspal dalam campuran hanya difokuskan pada pemeriksaan berat jenis.

Hasil pemeriksaan berat jenis aspal tersebut dapat dilihat pada gambar 3.

Memperhatikan gambar 3, dapat ditarik kesimpulan bahwa berat jenis aspal dengan substitusi getah damar telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan oleh Bina Marga (2018) yaitu lebih besar dari 1 (satu), sehingga dapat digunakan dalam pembuatan campuran aspal.



Gambar 3. Berat jenis aspal dengan substitusi getah damar

### Hasil Pemeriksaan Agregat

Hasil pemeriksaan agregat sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pemeriksaan agregat

Jenis Pemeriksaan	Metoda	Hasil	Ketentuan
Berat jenis	SNI03-1969-1991	2,668	-
Penyerapan	SNI03-1969-1991	0,31	Maks. 3%
Abrasi	SNI2417:2008	15	Maks. 40%
Kelekatan pada aspal	SNI2439:2011	98	Min. 95%

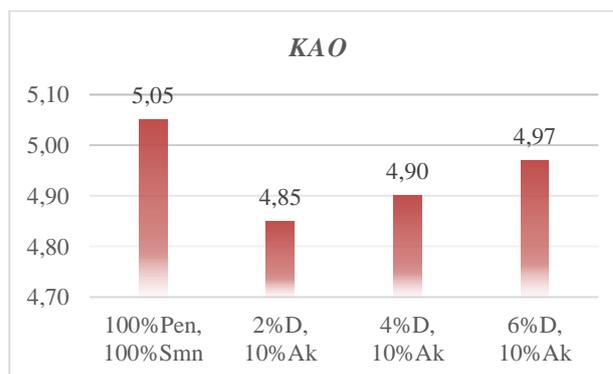
Berdasarkan data yang ditunjukkan pada tabel 6, dapat ditarik kesimpulan bahwa agregat yang diperiksa tersebut telah memenuhi persyaratan yang ditentukan, sehingga dapat diaplikasikan pada campuran aspal. Jika terdapat satu atau lebih hasil pemeriksaan agregat yang tidak sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan, maka agregat tersebut tetap dapat digunakan bila memenuhi persyaratan hasil pemeriksaan keausan (*abrasion test*) dengan mesin *los angeles*.

### Hasil Perhitungan KAO

Perhitungan KAO dilakukan dengan menganalisis data sifat Marshall yang terdiri dari: kepadatan, *void in mix* (VIM), *void in mineral aggregate* (VMA), *void filled by bitument* (VFB), stabilitas dan *flow* baik pada campuran aspal konvensional maupun campuran aspal dengan pemanfaatan material substitusi.

Nilai masing-masing sifat Marshall dengan variasi kadar aspal selanjutnya digambarkan pada diagram x;y agar diketahui bagaimana relasi antara kedua variabel tersebut dengan menggunakan analisis regresi non-linear. Relasi antara kedua variabel tersebut merupakan acuan dasar dalam menghitung KAO pada setiap jenis campuran.

Pada penelitian ini, KAO dihitung menggunakan metode *narrow range* untuk menentukan berapa persen aspal yang memenuhi semua ketentuan sifat Marshall. Nilai KAO untuk setiap jenis campuran ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. KAO masing-masing campuran AC-WC

Gambar 3 menunjukkan bahwa terdapat disimilaritas nilai KAO yang dihasilkan antara campuran aspal konvensional dengan campuran aspal dengan material substitusi, dimana KAO campuran aspal dengan material substitusi sedikit lebih rendah dari KAO pada campuran aspal konvensional. Ada kemungkinan hal ini terjadi karena keberadaan material getah damar dan abu cangkang kemiri yang ada pada campuran sehingga mengakibatkan terjadinya penurunan kadar aspal tersebut.

Kadar aspal yang rendah memungkinkan terjadinya penurunan sifat kohesif dan adhesif aspal. Namun demikian, diharapkan KAO ini akan menghasilkan sifat Marshall yang lebih baik daripada campuran aspal konvensional.

### Hasil Perhitungan durabilitas Pada KAO

Hasil perhitungan nilai durabilitas dari setiap jenis campuran aspal ditunjukkan pada tabel 7.

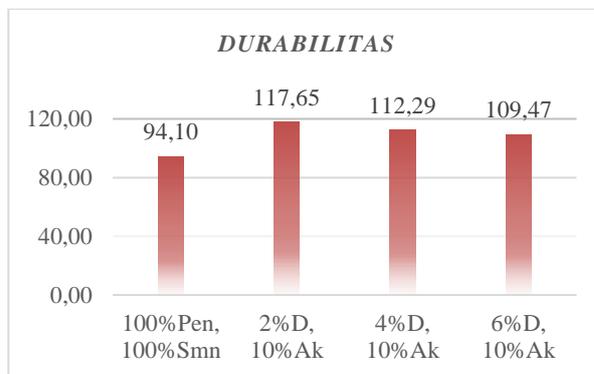
Tabel 7. Nilai durabilitas pada KAO

Jenis campuran	Stabilitas durasi rendam 30 Menit	Stabilitas durasi rendam 24 Jam	Nilai durabilitas (%)
(a)	(b)	(c)	(4) = $c/b \times 100$
0%D & 100% Semen	2.037,78	1.917,50	94,1
2%D & 10%AK; 90% Semen	2.044,86	2.405,72	117,65
4%D & 10%AK; 90% Semen	2.073,16	2.327,89	112,29
6%D & 10%AK; 90% Semen	2.158,07	2.362,52	109,47

Hasil perhitungan tersebut dapat digambarkan sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5.

Berdasarkan data gambar 5, menunjukkan bahwa nilai durabilitas terbaik diperoleh pada campuran aspal dengan material substitusi 6% getah damar pada aspal dan 10% abu cangkang kemiri pada *filler* yaitu 117,65%, sementara nilai durabilitas terendah dihasilkan pada campuran aspal konvensional yaitu 94,10%.

Hasil tersebut dapat dianalisis bahwasanya keberadaan material abu cangkang kemiri dan getah damar pada campuran AC-WC dapat berpengaruh positif terhadap nilai durabilitas, sehingga mampu menjadikan ketahanan campuran aspal yang lebih baik ketika dihadapkan dengan perubahan cuaca dan iklim yang sering terjadi di Indonesia.



Gambar 5. Nilai durabilitas masing-masing campuran AC-WC

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan abu cangkang kemiri sebagai material substitusi *filler* sebesar 10% dan getah damar sebagai substitusi aspal sebesar 2%, 4% dan 6% pada campuran AC-WC telah mampu menghasilkan nilai durabilitas yang lebih baik bila dibandingkan dengan campuran konvensional.

Kehadiran abu cangkang kemiri dan getah damar dengan kadar tersebut telah mampu meningkatkan ketahanan campuran AC-WC dalam menghadapi perubahan cuaca dan iklim.

Nilai durabilitas terbaik diperoleh pada kadar substitusi 6% getah damar pada aspal, sementara yang terendah diperoleh pada campuran aspal konvensional. Nilai durabilitas yang diatur dalam spesifikasi umum Bina Marga (2018) adalah minimal 90%, dan semua jenis campuran telah memenuhi persyaratan tersebut.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah memberikan dukungan dalam bentuk pendanaan penelitian melalui Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik, serta ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada Akademi Komunitas Negeri Aceh Barat yang telah bersedia memfasilitasi pelaksanaan penelitian melalui izin penggunaan laboratorium material jalan pada Prodi DII Konstruksi Pondasi, Beton dan Pengaspalan Jalan.

### REFERENSI

Adiman, E. Y., & Suparma, L. B, 2022, "Effect Of Water Immersion On The Ac-Wc Mixture Utilizing Elastomeric Modified Asphalt To

- Compressive Strength, Elastic Modulus And Durability", *Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences*, 15(3), 179–184. <https://doi.org/10.30772/qjes.v15i3.831>
- Agustian, K., & Agusmaniza, R., 2021, "Evaluasi Karakteristik Campuran AC-BC menggunakan Abu Cangkang Kemiri sebagai Bahan Substitusi Filler terhadap Parameter Marshall", *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 86–93.
- Agustian, K., & Agusmaniza, R., 2022, "Karakteristik Marshall Campuran AC-BC Menggunakan 4% Getah Damar Sebagai Pengganti Aspal", *Siklus Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 161–173.
- Agustian, K., & Ridha, M., 2018, "Karakteristik Marshall Campuran AC-BC Dengan Menggunakan 6% Getah Damar Sebagai Bahan Substitusi Aspal", *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 4(1), 1–10.
- Auwah, F. K. A., & Garcia-Hernández, A., 2022, "Machine-Filling Of Cracks In Asphalt Concrete", *Automation in Construction*, 141(July), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104463>
- Dhir, R. K., de Brito, J., Silva, R. V., & Lye, C. Q., 2019, "Use of Recycled Aggregates in Road Pavement Applications", *Sustainable Construction Materials*, 451–494. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100985-7.00012-1>
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018, "*Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan*", Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Jannat, N., Latif Al-Mufti, R., Hussien, A., Abdullah, B., & Cotgrave, A., 2021, "Utilisation of nut shell wastes in brick, mortar and concrete: A review", *Construction and Building Materials*, 293, 123546. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2021.123546>
- Kuspradini, H., Enih, R., Sukaton, E., Arung, E. T., & Kusuma, I. W., 2016, "*Buku Pengetahuan Jenis Getah, Gum-Lateks-Resin*".
- Liu, Z., Balieu, R., & Kringos, N., 2022, "Integrating Sustainability Into Pavement Maintenance Effectiveness Evaluation: A Systematic Review", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 104(February), 103187. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103187>
- Minanulloh, M. A. B., Cahyo, Y., & Ridwan, A., 2020, "Pengaruh Penambahan Abu Cangkang Kemiri Terhadap Kuat Tekan Beton K-300", *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 3(1), 12. <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v3i1.875>
- Pratama, U. A., Saleh, S. M., & Darma, Y., 2023, "The Durability of Asphalt Concrete Mix (AC-WC) Using Fly Ash from Coal Bottom Ash as Filler Substitution", *NanoWorld Journal*, 9(S2), S144–S148. <https://doi.org/10.17756/nwj.2023-s2-026>
- Setiawan, A., Suparma, L. B., & Mulyono, A. T., 2019, "Flood Water Resistance Of Asphalt Concrete By Using Unconfined Compressive Strength Test", *Journal of Physics: Conference Series*, 1175(1), 1–8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1175/1/012022>
- Sukirman, S., 2010, "Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur", In *Nova* (3rd ed.).
- Sukirman, S., 2016, "Beton Aspal Campuran Panas", In *Bandung* (3rd ed., Vol. 3). Institut Teknologi Nasional.
- Triadmodjo, B., 2010, "*Metode Numerik*" (8th ed.). Beta Offset.
- Wahyudin, Sainudin, Saudi, A. I., Suryani, H., & Okviyani, N., 2024, "Pengaruh Kekuatan Aspal Dengan Penambahan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Pengganti Filler Pada Lapis AC – WC", *BANDAR: JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING*, 6(1), 16–23.
- Yu-Shan, A., & Shakiba, M., 2021, "Flooded Pavement: Numerical Investigation of Saturation Effects on Asphalt Pavement Structures", *Journal of Transportation Engineering Part B*, 147(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.1061/JPEODX.0000276>