PENGGUNAAN BATU ALAM LOKAL KABUPATEN ENDE PENAMBAHAN SERBUK ARANG KELAPA SEBAGAI FILLER CAMPURAN ASPAL

Bobi Sasputra Bin Marufin[1], Eding Iskak Imananto [2], Annur Ma'ruf[3]

[1)]Program Studi Teknik Teknik Sipil S-1, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: bobisaputra1722@gmail.com
[1)]Program Studi Teknik Teknik Sipil S-1, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: edingiskak@yahoo.com
[1)]Program Studi Teknik Teknik Sipil S-1, Institut Teknologi Nasional Malang
Email: annur2017@lecture.itn.ac.id

ABSTRACT

Ende Regency has abundant local natural stone resources that can be utilized as pavement materials. In addition, coconut shell waste processed into charcoal powder has the potential to be used as a filler in Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) mixtures. This study aimed to analyze the effect of adding coconut shell charcoal powder on the Marshall characteristics of AC-WC mixtures using local natural stone from Ende Regency, determine the Optimum Asphalt Content (OAC), and identify the optimum percentage of filler addition. This research employed an experimental method conducted at the Transportation and Highway Engineering Laboratory, National Institute of Technology (ITN) Malang, using local natural stone aggregates from Ende Regency and 60/70 penetration grade asphalt. Coconut shell charcoal powder was added at proportions of 0%, 0.3%, 0.5%, 0.7%, and 0.9%. Marshall testing was carried out in accordance with the 2018 Bina Marga General Specifications. The results showed that the Optimum Asphalt Content (OAC) was 5.68%. The control mixture (0% coconut shell charcoal powder) produced a stability of 1238.99 kg, a flow value of 2.36 mm, VIM of 4.45%, VMA of 16.31%, VFA of 72.75%, MQ of 626.41 kg/mm, and a density of 2.021 g/cm³, all of which satisfied the requirements of the 2018 Bina Marga General Specifications. The addition of coconut shell charcoal powder affected all Marshall parameters and demonstrated its potential as an alternative filler in AC-WC mixtures by utilizing local resources and environmentally friendly waste materials.

***Keywords**: Local Natural Stone, Coconut Shell Charcoal Powder, AC-WC, Marshall Characteristics, KAO.*

ABSTRAK

Kabupaten Ende memiliki potensi batu alam lokal yang dapat dimanfaatkan sebagai material perkerasan jalan. Selain itu, limbah tempurung kelapa yang diolah menjadi serbuk arang berpotensi digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan serbuk arang tempurung kelapa terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC menggunakan batu alam lokal Kabupaten Ende, menentukan kadar aspal optimum (KAO), serta memperoleh persentase penambahan *filler* yang optimum. Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya Institut Teknologi Nasional Malang menggunakan agregat batu alam lokal Kabupaten Ende dan aspal penetrasi 60/70. Variasi serbuk arang tempurung kelapa yang digunakan adalah 0%; 0,3%; 0,5%; 0,7%; dan 0,9%. Pengujian mengacu pada metode Marshall sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,68%. Campuran kontrol (0% serbuk arang tempurung kelapa) menghasilkan nilai stabilitas 1238,99 kg, *flow* 2,36 mm, VIM 4,45%, VMA 16,31%, VFA 72,75%, MQ 626,41 kg/mm, dan *density* 2,021 g/cm³, yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Penambahan serbuk arang tempurung kelapa memengaruhi seluruh parameter Marshall dan berpotensi menjadi *filler* alternatif pada campuran AC-WC dengan memanfaatkan sumber daya lokal dan limbah yang ramah lingkungan.

Kata kunci: Batu alam Lokal, Serbuk Arang Tempurung Kelapa, AC-WC, Karakteristik Marshall, KAO.

1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan salah satu infrastruktur transportasi yang yang memiliki peranan penting dalam menunjang mobilitas masyarakat, distribusi barang dan jasa, serta pertumbuhan ekonomi. Kualitas perkerasan jalan yang baik sangat dipengaruhi oleh mutu material penyusun campuran beraspal. Oleh karena itu, pemilihan material yang memenuhi

spesifikasi teknis menjadi faktor penting dalam menghasilkan konstruksi perkerasan yang memiliki stabilitas tinggi, tahan terhadap deformasi, serta mampu memberikan umur pelayanan yang optimal. Selain pemanfaatan agregat lokal, penggunaan limbah pertanian sebagai bahan tambah dalam campurann beraspal juga menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan kualitas campuran sekaligus mendukung konsep pembangunan berkelanjutan. Tempurung kelapa merupakan limbah organik yang tersedia dalam jumlah cukup banyak di Kabupaten Ende, namun pemanfaatannya masih terbatas. Setelah melalui proses pembakaran dan penghalusan hingga lolos saringan No. 200, serbuk arang tempurung kelapa berpotensi digunakan sebagai bahan tambah pada filler karena memiliki ukuran partikel yang sangat halus sehingga dapat membantu mengisi rongga dalam campuran dan memengaruhi karakteristik mekanis campuran beraspal..

2. DASAR TEORI

Bahan-Bahan Material Penyusun Campururan perkerasan jalan

1. Agregat
   Agregat adalah partikel mineral yang berbentuk butiran – butiran yang merupakan salah satu penggunaan dalam kombinasi dengan berbagai macam tipe mulai dari sebagai bahan material di semen untuk membentuk beton, lapis pondasi jalan, material pengisi, dan lain – lain. Material Agregat merupakan komponen utama dari perkerasan jalan yang berfungsi untuk menahan beban beban lalu lintas, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan Sukirman,2003:1).

   Agregat Kasar

   Fraksi agregat kasar untuk agregat ini adalah agregat yang tertahan di atas saringan 2,36 mm (No.8), menurut saringan ASTM. Agregat kasar untuk campuran aspal harus terdiri dari batu pecah yang bersih, kuat, kering, awet, bersudut, bebas dari kotoran lempung dan material asing lainya serat mempuyai tekstur permukaan yang kasar dan tidak bulat agar dapat memberikan sifat interlocking yang baik dengan material yang lain.

   Agregat Halus

   Agregat halus adalah Agregat dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.4 (4,75 mm). Fungsi utama agregat halus adalah untuk menyediakan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari perkerasan melalui keadaan saling mengunci (interlocking) dan gesekan antar butiran. Untuk hal ini maka sifat eksternal yang diperlukan adalah angularity (bentuk menyudut) dan particle surface roughness (kekasaran permukaan butiran).

Gradasi Agregat

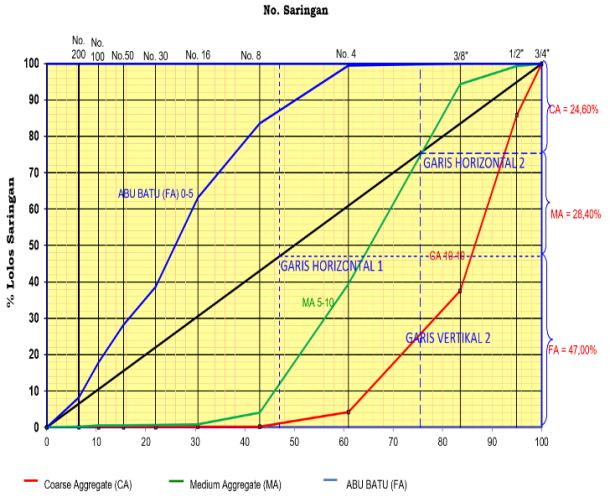
Gradasi didefinisikan secara umum adalah distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat yang saling mengisi sehingga terjadinya suatu ikatan yang saling mengunci. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa pemeriksaan dengan mempergunakan 1 set saringan. Saringan berukuran bukaan paling besar diletakkan teratas, dan yang paling halus (no.200) terbawah sebelum pan. Gradasi agregat menentukan besarnya rongga atau pori yang mungkin terjadi dalam agregat campuran. Agregat campuran yang terdiri dari agregat berukuran sama akan berongga atau berpori banyak, karena tak terdapat agregat berukuran lebih kecil yang dapat mengisi rongga yang terjadi. Sebaliknya, jika campuran agregat terdistribusi dari agregat berukuran besar sampai kecil secara merata, maka rongga atau pori yang terjadi sedikit. Hal ini disebabkan karena rongga yang terbentuk oleh susunan agregat berukuran besar, akan diisi oleh agragat berukuran lebih kecil.

Tabel 2.1 Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston AC		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1,5"	37,5								100
1"	25			100				100	90-100
3/4"	19		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90
1/2"	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	52-71
No.4	4,75	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	35-54
No.8	2,36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	14-21					21-40	18-38	13-30
No.30	0,600	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
No.50	0,300	10-15					9-22	7-20	6-15
No.100	0,15						6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	8-12	8-11	8-11	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

Job Mix Desain

Menurut Sukirman (2003;14), gradasi agregat merupakan salah satu sifat yang sangat menentukan kinerja perkerasan jalan. Setiap jenis perkerasan jalan mempunyai gradasi agregat tertentu yang dapat dilihat di dalam setiap spesifikasi material perkerasan jalan. Agregat campuran adalah agregat yang diperoleh dari mencampur secara proporsional fraksi agregat A, fraksi agregat B, dan fraksi agregat C. Proporsi dari masing – masing fraksi agregat dirancang secara proporsional sehingga diperoleh gradasi agregat yang diinginkan. Agregat campuran adalah hasil pencampuran dari a% fraksi CA 10-10 dengan b% fraksi MA 5-10 dan c% fraksi FA 0-5, dengan a+b+c = 100%.



Gambar 2.4 Diagram Diagonal

3. METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini secara umum merupakan pengujian laboratorium yang bertujuan untuk menguji kelayakan material Kabupaten Ende dengan penambahan serbuk ban sebagai agregat campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-WC).

Tempat Penelitian

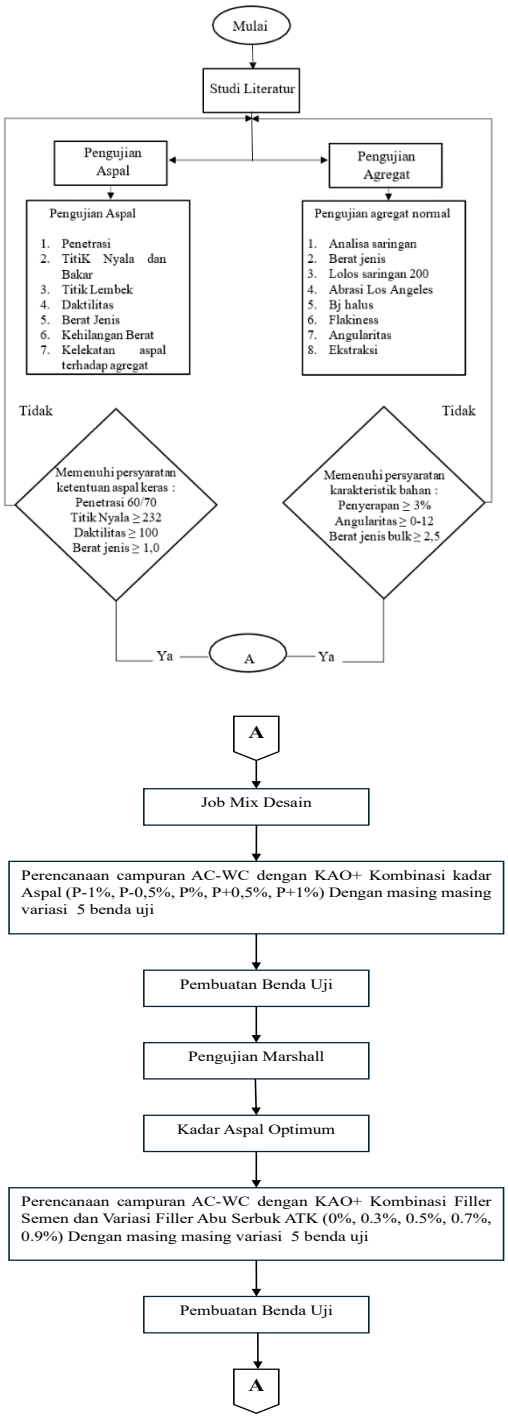
Tempat penelitian, pemeriksaan bahan dan pengujian stabilitas campuran aspal beton ini dilaksanakan di Laboratorium Transportasi & Jalan Raya ITN Malang Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Malang.

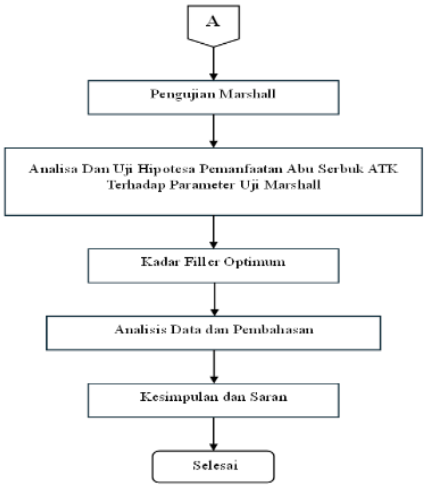
Lokasi Pengambilan Material

Pada penelitian ini lokasi yang dipilih adalah Kabupaten Ende yang terletak di Nusa Tenggara Timur yang menjadi tempat pengambilan material untuk di jadikan penelitian.

Diagram Alir Penelitian

Berikut disajikan urutan rangkaian proses penelitian dalam diagram alir.





Gambar 3.4 Bagan Alir Agregat, AC – WC

4. ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

Pemeriksaan Mutu Bahan

Pada Penelitian ini, bahan-bahan yang digunakan berupa agregat kasar, agregat halus dan aspal pertamina. Aspal pertamina yang di dipakai adalah aspal pertamina penetrasi 60/70 yang sudah tersediah di Laboratorium Bahan Konstruksi Institut Teknologi Nasional Malang. Agregat pengganti yang di gunakan adalah agregat lokal yang di ambil dari hasil batu pecah yang di ambel langsung dari lokasi Kecamatan Alak. Kota Kupang.

Pengujian Agregat

Dari hasil pengujian agregat yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaa, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura – gura No. 2 Malang, diketahui bahwa pengujian agregat yang di ambel dari Kabupaten Sumba Barat Daya telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 untuk digunakan sebagai bahan campuran aspal AC – BC. Hasil dari pengujian agregat dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 1 Hasil Dari Pengujian Material Agregat

No.	Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil	Satuan	Keterangan
AGREGAT HALUS						
1	Berat Jenis Agregat 0-5	SNI 1970 : 2016	≥ 2,50	2,13	-	Tidak
2	Penyerapan Agregat 0-5		≤ 3	6,70	%	Tidak
3	Gum. Lempung & Butir Mudah Pecah	SNI 4141 : 2015	≤ 1	0,27	%	Memenuhi
4	Material lolos ayakan No. 200 (0 - 5)	SNI ASTM C117 : 2012	≤ 10	8,00	%	Memenuhi
5	Nilai Setara Pasir	SNI 03 - 4428 - 1997	≥ 50	60,32	%	Memenuhi
AGREGAT KASAR						
6	Berat Jenis Ag. 5-10	SNI 1969 : 2016	≥ 2,50	2,06	-	
7	Berat Jenis Ag. 10-10			2,15	-	
9	Penyerapan Ag. 5-10		≤ 3	7,68	%	Tidak
10	Penyerapan Ag. 10-10			6,78	%	Tidak
12	Material lolos ayakan No. 200 (5 - 10)	ASTM C117 : 2012	≤ 1	0,94	%	Memenuhi
13	Material lolos ayakan No. 200 (10 - 10)			0,90	%	Memenuhi
14	Abrasi 100 Putaran	SNI 2417 : 2008	≤ 8	7,97	%	Memenuhi
15	Abrasi 500 Putaran		≤ 40	25,48	%	Memenuhi

Pengujian Aspal

Hasil dari pengujian aspal yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencaan, Institut Teknologi Nasional Malang, diketahui bahwa pengujian aspal memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk digunakan sebagai bahan campuran AC – BC. Hasil pengujian aspal dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. 2 Hasil Dari Pengujian Material Aspal

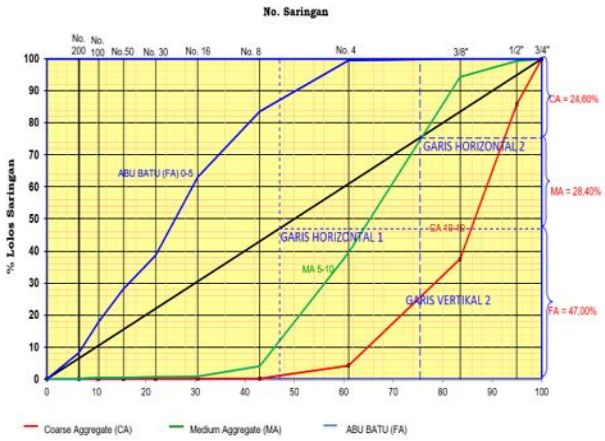
No.	Pengujian	Syarat	Hasil	Satuan	Keterangan
1	Penetrasi Sebelum Kehilangan Minyak	60 - 70	68,50	10^{-1} Mm	Memenuhi
2	Berat Jenis Aspal Keras	≥ 1	1,01	gr/cm²	Memenuhi
3	Daktilitas Sebelum Kehilangan Minyak	≥ 100	103,0	Cm	Memenuhi
4	Titik Nyala Aspal	≥ 232	339	°C	Memenuhi
5	Titik Bakar Aspal	-	344	°C	-
6	Titik Lembek Aspal dan Ter	≥ 48	49,50	°C	Memenuhi
7	Kehilangan Berat Minyak dan Aspal	≤ 0,8	0,182	%	Memenuhi
8	Penetrasi Setelah Kehilangan Minyak (% semula)	≥ 54	89,49	%	Memenuhi
9	Daktilitas Setelah Kehilangan Minyak	≥ 50	101	cm	Memenuhi

Perencanaan Komposisi Campuran

a) Perhitungan Persentase Agregat dengan Metode Grafis

Proses pembuatan perhitungan persentase agregat dengan metode grafis diagonal pada campuran aspal AC-WC melibatkan beberapa langkah. Ini adalah proses yang umum dilakukan untuk mengukur proporsi agregat kasar dan halus dalam campuran aspal.

L



Gambar 2.4 Diagram Diagonal komposisi campuran AC-WC

Perhitungan proporsi dalam campuran agregat dengan menggunakan metode grafis dilakukan dengan cara trial and eror.

Dimana :
Garis vertical 1 (Kiri):
Fraksi agregat halus (FA) = fraksi agregat sedang (MA) + fraksi agegat kasar (CA 10/10)

14,7 % (FA) = 12,0 % (MA) + 1,0 % (CA 10/10)

13,0 % = 13,0 %

Garis vertical 2 (kanan) :
Fraksi agregat sedang (MA) = fraksi agregat kasar (CA 10/10)

20 % (MA) = 15,5 % (CA 10/10)

15,5 % = 15,5 %

Proporsi dari masing – masing agregat : Gradasi horizontal 1 dengan garis diagonal didapatkan : FA = 47%
Garis horizontal 2 dengan garis diagonal didapatkan : CA 10/10 = 24,60 %

Sehingga : MA = 100 % - CA (10/10)- FA (5/10)

= 100 % - 47 % -24,60%

= 28,40 %

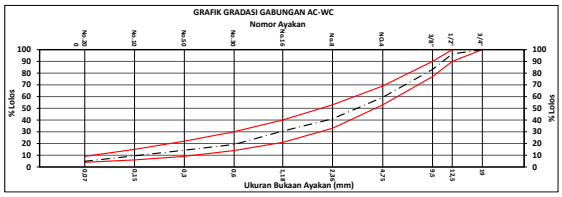
Kombinasi Campuran Presentase Agregat Spesifikasi AC – WC

b) Perhitungan Presentase Agregat Dengan Metode Analitis

Setelah dilakukan pemeriksaan analisa gradasi untuk mengetahui berat dan persentase agregat yang lolos pada masing – masing saringan, maka selanjutnya dihitung proporsi agregat dalam campuran dengan menggunakan metode analisa seperti pada grafik dan tabel komposisi agregat dapat dilihat dibawah ini:

Tabel 4. 3 Komposisi Gradasi Gabungan Campuran AC-WC

Ukuran Saringan	10/10	5/10	0/5	Filler	10/10	5/10	0/5	Filler	Hasil Gabungan	Spek	Fak. Luas	Luas Perm.
	%lolos	%lolos	%lolos	%lolos	24,35	28,12	46,53	1,00				
3/4" (19 mm)	100,00	100,00	100,00	100,00	24,35	28,12	46,53	1,00	100,00	100,00		
1/2" (12,5 mm)	85,84	99,25	100,00	100,00	20,90	27,91	46,53	1,00	96,34	90-100		
3/8" (9,5 mm)	37,50	94,27	99,97	100,00	9,13	26,51	46,52	1,00	83,16	77-90	0,41	0,41
No.4 (4,75 mm)	4,15	39,48	99,46	100,00	1,01	11,10	46,28	1,00	59,39	53-69		
No.8 (2,36 mm)	0,15	4,02	83,56	100,00	0,04	1,13	38,88	1,00	41,05	33-53	0,82	0,34
No.16 (1,18 mm)	0,13	0,78	63,04	100,00	0,03	0,22	29,33	1,00	30,59	21-40	1,64	0,50
No.30 (0,6 mm)	0,12	0,61	38,63	100,00	0,03	0,17	17,98	1,00	19,18	14-30	2,87	0,55
No.50 (0,28 mm)	0,11	0,56	28,25	100,00	0,03	0,16	13,15	1,00	14,33	9-22	6,14	0,88
No.100 (0,15 mm)	0,10	0,47	17,90	100,00	0,02	0,13	8,33	1,00	9,48	6-15	12,29	1,17
No.200 (0,075 mm)	0,05	0,12	8,16	100,00	0,01	0,03	3,80	1,00	4,85	4-9	32,77	1,59
JUMLAH LUAS PERMUKAAN AGREGAT (m²/kg)												5,43



Gambar 2.5 Grafik Gradasi Gabungan Campuran AC-WC

Perhitungan komposisi gradasi gabungan campuran AC – WC

- Komposisi 10/10 (CA)

  %CA $=\left(\frac{\%CA\ grafik\ diagonal \times (100-filler)}{100}\right)$

  $= \left(\frac{24{,}60\times(100-1{,}00)}{100}\right)$

  = 24,35%

- Komposisi 5/10 (MA)

  %MA $=\left(\frac{\%CA\ grafik\ diagonal \times (100-filler)}{100}\right)$

  $= \left(\frac{28{,}40\times(100-1{,}00)}{100}\right)$

  = 28,12%

- Komposisi 0/5 (FA)

  %FA $=\left(\frac{\%MA\ grafik\ diagonal \times (100-filler)}{100}\right)$

  $= \left(\frac{47\times(100-1{,}00)}{100}\right)$

  = 28,12%

Komposisi Campuran Normal Untuk Variasi Kadar Aspal

Setelah proporsi dari masing – masing agregat didapatkan, maka dilanjutkan perhitungan kadar aspal rencan yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam penentuan variasi kadar aspal. Variasi kadar aspal berdasarkan spefikasi Depkimpraswil 2002 dengan mempergunakan rumus sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Kadar Aspal Rencana

URAIAN			NILAI	SATUAN
Proporsi Fraksi Kasar		CA	58,95	%
Proporsi Fraksi Halus		FA	36,20	%
Proporsi Bahan Pengisi		FF	4,85	%
Total			100,00	%
Nilai Konstanta		K	1,00	-
Perkiraan Kadar Aspal		Pb	5,60	%
Rumus Perkiraan Kadar Aspal (Pb): Pb = 0,035 x (CA) + 0,045 x (FA) + 0,18 x (FF) + Konstanta (laston : 0,5~1 & latasbon : 1~2)				**Campuran Gmm**

Jenis Material	% Proporsi Agg.	KADAR ASPAL RENCANA (%)					
		4,60 %	5,10 %	5,60 %	6,10 %	6,60 %	**5,60 %**
		% Proporsi Campuran					
10/10	24,35	23,23	23,11	22,99	22,87	22,75	**22,99**
5/10	28,12	26,82	26,68	26,54	26,40	26,26	**26,54**
0/5	46,53	44,39	44,16	43,92	43,69	43,46	**43,92**
Filler	1,00	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93	**0,94**
Total	100,00	95,40	94,90	94,40	93,90	93,40	**94,40**
		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	**100,00**

Jenis Material	Komposisi (%)	KADAR ASPAL RENCANA (%)					
		4,60 %	5,10 %	5,60 %	6,10 %	6,60 %	**5,60 %**
		Berat Agregat (gr)					
10/10	24,35	220,7	219,6	229,9	228,7	227,5	**252,9**
5/10	28,12	254,8	253,5	265,4	264,0	262,6	**292,0**
0/5	46,53	421,7	419,5	439,2	436,9	434,6	**483,2**
Filler	1,00	9,1	9,0	9,4	9,4	9,3	**10,4**
Berat total Ag. Camp. (gr)		906,3	901,6	944,0	939,0	934,0	**1038,4**
Berat aspal (gr)		43,7	48,5	56,0	61,0	66,0	**61,6**
Berat total campuran (gr)		950,0	950,0	1000,0	1000,0	1000,0	**1100,0**

Komposisi campuran aspal ac-wc dengan bahan tambahan serbuk ban

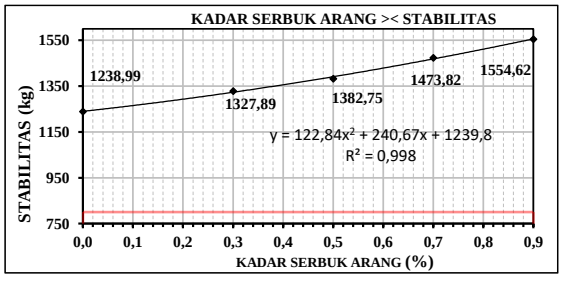
Setelah diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,56%, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan komposisi campuran aspal AC-BC dengan menambahkan serbuk ban sebagai bahan tambahan. Penambahan serbuk ban ini bertujuan untuk melihat pengaruhnya terhadap sifat dan kinerja campuran aspal, seperti kekuatan, daya tahan, serta tingkat porositas. Dalam penelitian ini, serbuk ban ditambahkan dalam beberapa variasi kadar, yaitu 0% (sebagai kontrol/tanpa campuran), 1%, 3%, 6%, dan 9%. Setiap variasi akan diuji untuk mengetahui perubahan karakteristik campuran, sehingga dapat dianalisis apakah serbuk ban memberikan manfaat, misalnya meningkatkan stabilitas atau memperbaiki struktur rongga (void), dan juga untuk menentukan kadar serbuk ban yang paling optimal bagi campuran aspal AC-BC. Hasil perhitungan komposisi campuran aspal AC-WC dengan tambahan sebuk ban dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4. 5 Komposisi campuran aspal AC-WC dengan bahan tambahan serbuk ban

Jenis Material	% Proporsi Agg.	KADAR ASPAL OPTIMUM (%) 5,68 % % Proporsi Campuran 0%	3%	5%	7%	9%
10/10	24,35	22,97	22,97	22,97	22,97	22,97
5/10	28,12	26,52	26,52	26,52	26,52	26,52
0/5	46,53	43,89	43,89	43,89	43,89	43,89
Filler	1,00	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
Total	100,00	94,32	94,32	94,32	94,32	94,32
		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Jenis Material	Komposisi (%)	KADAR ASPAL OPTIMUM (%) 5,68 % SAMPEL 0%	0,3%	0,5%	0,7%	0,9%
		Berat Agregat (gr)				
SERBUK KELAPA		0	3,0	5,0	7,0	9,0
10/10	24,35	229,7	229,0	228,5	228,0	227,5
5/10	28,12	265,2	264,3	263,8	263,2	262,7
0/5	46,53	438,9	437,5	436,5	435,6	434,7
Filler	1,00	9,4	9,4	9,4	9,4	9,3
Berat total Ag. Camp. (gr)		943,2	943,2	943,2	943,2	943,2
Berat aspal (gr)		56,8	56,8	56,8	56,8	56,8
Berat total campuran (gr)		1000	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0

Hasil Pengujian Marshall Dengan Bahan Tambahan Serbuk Ban

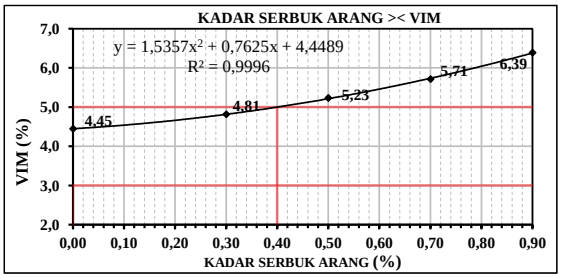
Penentuan kadar serbuk arang tempurung kelapa yang optimum untuk campuran aspal AC-WC dilakukan dengan mengambil nilai rata-rata dari parameter Marshall, yaitu stabilitas, flow, MQ, VIM, VMA, dan VFA, berdasarkan hasil perhitungan parameter Marshall yang disajikan dalam grafik berikut :



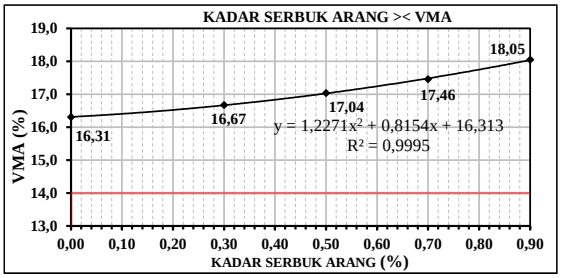
Gambar 2.6 Grafik pengaruh penambahan kadar serbuk arang terhadap stabilitas



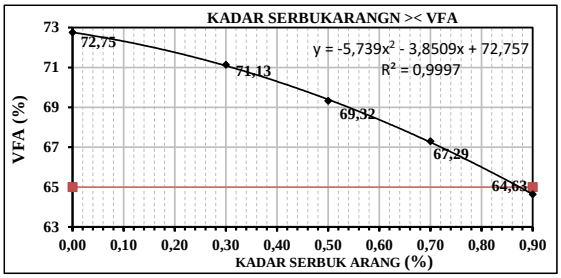
Gambar 2.7 Grafik pengaruh penambahan kadar serbuk arang terhadap flow



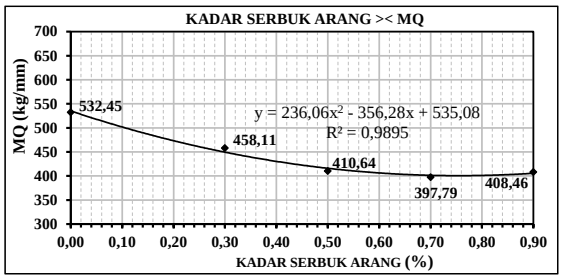
Gambar 2.8 Grafik pengaruh penambahan kadar serbuk arang terhadap VIM



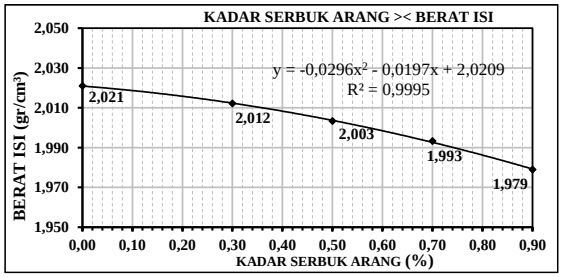
Gambar 2.9 Grafik pengaruh penambahan kadar serbuk arang terhadap VMA



Gambar 2.10 Grafik pengaruh penambahan kadar serbuk arang terhadap VFA



Gambar 2.11 Grafik pengaruh penambahan kadar serbuk arang terhadap MQ



Gambar 2.12 Grafik pengaruh penambahan kadar serbuk arang terhadap density

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengujian tentang pengaruh penggunaan material lokal Kabupaten Ende yang terletak di Kecamatan Nangapanda, Kabupaten Ende Provinsi Nusa Tenggara Timur sebagai agregat alam dengan penambahan serbuk arang tempurung kelapa pada hotmix AC – WC (Asphalt Concrete-Wearing Course) dapat di ambel kesimpulkan sebagai berikut:

1. Penggunaan batu alam local di kabupaten ende dengan penambahan serbuk arang tempurung kelapa sebagai *filler* terbukti mempengaruhi karakteristik Marshall campuran AC-WC. Akan tetapi, hasil pengujian sifat fisik agregat menunjukkan bahwa nilai penyerapan air dan berat jenis agregat belum memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2025. Oleh karena itu, meskipun material tersebut menunjukkan potensi untuk dimanfaatkan pada campuran AC-WC, diperlukan upaya peningkatan kualitas atau proses pengolahan agregat agar dapat memenuhi seluruh persyaratan teknis yang berlaku.

2. Berdasarkan pengujian untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh sebesar 5,68 , nilai karakteristik Marshall yang dihasilkan (pada kadar serbuk ban 0% sebagai kontrol) adalah sebagai berikut:

Stabilitas: 1238,99 kg (syarat min. 1000 kg)

Kelelehan (Flow): 2,36 mm (syarat min. 2 – 4 mm)

VIM : 4,45% (syarat min. 3% – 5%)

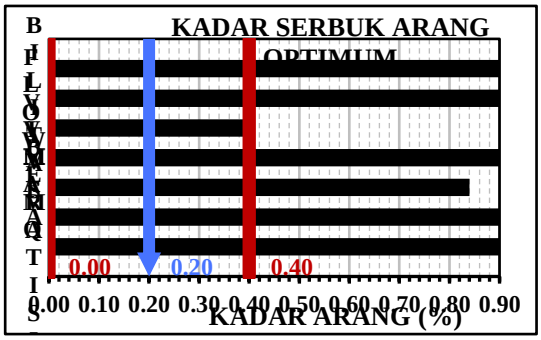
VMA : 16,31% (syarat min. 14%)

VFA : 72,75% (syarat min. 65%)

MQ : 626,41 kg/mm (syarat min. 250)

Kepadatan (Density): 2,248 gr/cm³

3.Untuk Menentukan Kadar filler optimum menggunakan diagram batang seperti grafik di bawah ini :



Ditinjau dari diagram diatas untuk mendapatkan kadar Filler ATK optimum terlihat pada grafik yang mana dikelompokkan menjadi dua sisi dari perpotongan kadar filler optimum yaitu sisi kiri dan sisi kanan. Sisi kiri menyatakan batas maksimum dan sisi kanan menyatakan batas minimum, sehinggan dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$\frac{a+b}{2} = \frac{0{,}0+0{,}40}{2} = 0{,}20$$

Saran

Untuk penelitian selanjutnya penulis dapat menyarankan hal-hal sebagai berikut:

- Disarankan pada penelitian selanjutnya menggunakan agregat dengan nilai berat jenis yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2025 atau menerapkan *blending* antara agregat batu alam lokal Kabupaten Ende dengan agregat dari sumber lain yang memiliki berat jenis lebih tinggi dan penyerapan lebih rendah agar karakteristik agregat memenuhi persyaratan.

- Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi kadar serbuk arang tempurung kelapa yang lebih luas agar diperoleh kadar *filler* optimum yang memberikan karakteristik Marshall terbaik.
- Peneliti selanjutnya dapat membandingkan serbuk arang tempurung kelapa dengan jenis *filler* alternatif lainnya, seperti abu sekam padi, abu batu, abu cangkang sawit, maupun limbah industri lainnya, sehingga dapat diketahui material yang memberikan performa terbaik.
- Perlu dilakukan untuk pengujian deformasi (rutting) dan ketahanan terhadap kelelehan (fatigue) untuk mengetahui kinerja jangka panjang campuran aspal AC-WC dengan filler serbuk arang tempurung kelapa pada kondisi lalu lintas dan cuaca yang sesungguhnya di lapangan.
- Perlu dilakukan evaluasi mendalam terhadap karakteristik fisik dan mekanik dari berbagai variasi jenis batu karang di wilayah Kota Kupang untuk memperluas basis data material lokal.
- Perlu dilakukan pengujian Marshall Immersion (rendaman) untuk mengetahui ketahanan campuran aspal AC-WC terhadap pengaruh air dan kelembapan, sehingga dapat dievaluasi tingkat durabilitas campuran yang menggunakan agregat batu alam lokal Kabupaten Ende dengan penambahan serbuk arang tempurung kelapa sebagai *filler*.
- Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan kepada pihak berkepentingan, termasuk pemerintah daerah Kab. Ende, masyarakat setempat di Kab. Ende dan industri konstruksi di Kab. Ende.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. (1991). *SNI 06-2440-1991: Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal. Jakarta: BSN*.

Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 1969:2008 - Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar. Jakarta: BSN*.

Badan Standardisasi Nasional. (2008*). SNI 3423:2008 - Metode Pengujian Berat Jenis Semu dan Penyerapan Agregat Halus. Jakarta: BSN*.

Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 2432:2011 - Pengujian Daktilitas Aspal Keras. Jakarta: BSN*.

Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 2433:2011 - Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Keras. Jakarta: BSN*.

Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 2434:2011 - Pengujian Titik Lembek Aspal Keras. Jakarta: BSN.*

Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 2456:2011 - Pengujian Penetrasi Aspal Keras. Jakarta: BSN.*

Bulgis, Asma Massara, Abd Karim Hadi, Ahmad Afif, & Ihzanul Fiqri Ananda S. (2024). *Pengaruh Temperatur Pemadatan Terhadap Karakteristik Mekanis Aspal AC-BC dengan Menguntukkan Serbuk Arang Tempurung Kelapa sebagai Subtitusi Filler*. Jurnal Teknik Sipil MACCA, 9(2).

Departemen Pekerjaan Umum. (2018). *Spesifikasi Umum Perkerasan Aspal* (Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018).

Efraim B1, Alpius2, Louise Elizabeth RADJAWANE3.(2023) *Pemanfaatan Batu Gunung Bou Buya Kabupate Poso Untuk Campuran AC-WC*

Ir. Sutoyo, M.Eng., Sc. *Perancangan Campuran Beraspal*. Budi Utama Yogyakarta

Mutiara A P Lahinda, Lucia G J Lalamentik, and Joice E Waani. 2024. "*Pemanfaatan Agregat Batu Gunung Awu Kabupaten Kepulauan Sangihe pada campuran ac-wc*." 22(88).

Nuryadi, S.Pd.Si.,M.Pd Tutut Dewi Astuti, SE.,M.Si.,Ak., CA., CTA Endang Sri Utami, SE.,M.Si.,Ak.,CA M. Budiantara, SE., M.Si.,Ak.,CA. *Dasar-dasar Statistik Pnelitian*. Mercu Buana Yogyakarta

Sukirman, S. (2003). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova Bandung

Syukuriah, Isdyanto, A., & Adha, A. N. (2023). *Pengaruh Penggunaan Serbuk Arang Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Terhadap Karakteristik Laston AC-WC*. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Keteknikan & Informatika (SENARAI 2023).

Wijaya, Baiq Fitria Annissya. (2021). *Pengaruh Penggunaan Limbah Serbuk Arang Batok*

Kelapa Sebagai Bahan Pengganti Filler Pada Lapisa Aus (AC-WC). Skripsi. Universitas Muhammadiyah Mataram.