

# PERBANDINGAN NILAI MARSHALL DAN BIAYA PADA VARIASI GARIS GRADASI ATAS, TENGAH, DAN BAWAH PADA CAMPURAN AC-BINDER COURSE GRADASI AGREGAT GABUNGAN

Marianus Frederiko<sup>1</sup> John H. Frans<sup>2</sup> Partogi H. Simatupang<sup>3</sup>

*<sup>1\*</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto - Penfui,  
e-mail: [frederikom292@gmail.com](mailto:frederikom292@gmail.com)*

## ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji campuran laston AC-BC dengan variasi gradasi agregat pada batas atas, tengah, dan bawah untuk mengukur pengaruhnya terhadap karakteristik Marshall, kadar aspal optimum, dan biaya material. Metode Marshall digunakan dalam perencanaan campuran aspal beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai stabilitas, kepadatan, dan durabilitas tertinggi terdapat pada batas bawah, sedangkan nilai flow, VMA, VFB, dan rasio partikel tertinggi pada batas atas. Nilai VIM tertinggi berada pada batas bawah. Nilai stabilitas mencapai 1391,20 kg pada batas atas, 1488,59 kg pada batas tengah, dan 1599,88 kg pada batas bawah, dengan kadar aspal optimum masing-masing 5,99%, 5,83%, dan 5,64%. Nilai MHB gradasi batas atas diperoleh 5.89, batas tengah MHB 6.24, gradasi batas bawah nilai MHB 6.64. Biaya material untuk gradasi batas atas adalah Rp. 1.101.559,071, batas tengah Rp. 1.085.885,405, dan batas bawah Rp. 1.068.801,435. Nilai parameter Marshall memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Semakin besar nilai modulus kehalusan, semakin kasar gradasi agregat dan semakin kecil kadar aspal yang digunakan, sehingga menghemat biaya material.

Kata kunci: Laston Lapis Antara (AC-BC), Gradasi, Marshall, Modulus Kealusan

## 1. PENDAHULUAN

Campuran lapis aspal beton AC-BC dengan gradasi yang bervariasi tentu akan menghasilkan perbedaan pada karakteristik campuran. Penelitian pada campuran laston AC-BC gradasi agregat gabungan dengan variasi gradasi pada batas atas, tengah, dan bawah ini bertujuan untuk mengukur seberapa besar pengaruhnya terhadap karakteristik marshall (stabilitas, Flow, VIM, VMA, VFA) dan besarnya kadar aspal optimum yang dihasilkan oleh variasi gradasi agregat yang berguna mengatasi keawetan perkerasan jalan selain itu penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan hubungan modulus kehalusan dengan karakteristik Marshall serta perbandingan biaya material yang digunakan. Metode yang digunakan dalam perencanaan campuran aspal beton adalah metode Marshall. Pencampuran agregat yang gradasinya divariasikan merupakan cara untuk memenuhi nilai-nilai parameter Marshall.

## 2. METODOLOGI STUDI

### Lokasi Studi dan Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan pada jenis campuran AC-Binder Course dengan menggunakan material dari Quarri Takari Kupang. Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium Jalan Raya Dinas Pekerjaan Umum Provinsi NTT. Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer dalam penelitian ini meliputi hasil penelitian laboratorium, jenis-jenis data yang diambil dari hasil pemeriksaan agregat kasar (Coarse Aggregate), agregat halus (Fine Aggregate) dan bahan pengisi (filler). Data pemeriksaan berupa berat jenis, analisa saringan, keausan dan penyerapan air. Data sekunder meliputi rumus-rumus dan teori-teori yang berhubungan dengan pengujian campuran metode Marshall. Pada penelitian ini dilakukan teknik pengumpulan data dan analisis data yang mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Devisi 6 Revisi 2, SNI, AASTHO dan ASTM. Berdasarkan data primer dan data sekunder yang dilakukan maka analisis data dilakukan sebagai berikut:

1. Pekerjaan Persiapan
2. Pemeriksaan Material
3. Rancangan Proporsi Agregat Gabungan Untuk Variasi Gradasi Pada Gradasi Atas, Tengah, dan Bawah
4. Perhitungan Modulus Kehalusan
5. Rancangan Campuran AC-BC Dengan Variasi Kadar Aspal
6. Pengujian Marshall
7. Kadar Aspal Optimum
8. Analisa Terhadap Parameter Marshall
9. Hubungan Modulus Kehalusan dengan parameter Marshall

## 10. Perhitungan Biaya Material

### Komponen Campuran Laston Asphalt Concret-Binder Course (AC-BC)

Perkerasan jalan adalah bagian struktur perkerasan jalan yang berada diantara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang bertujuan untuk mendukung transportasi dengan baik tanpa mengalami kerusakan yang signifikan selama masa pelayanan. Konstruksi perkerasan jalan terdiri atas lapisan agregat yang disusun atau dipadatkan dengan bahan pengikat, ditempatkan diatas tanah dasar pada jalur lalu lintas.

#### Gradasi Penggabungan Agregat

Penggabungan agregat adalah agregat yang diperoleh dengan cara mencampur secara proporsional fraksi agregat kasar, agregat halus dan abu batu. Proporsi dari masing-masing fraksi dirancang sehingga diperoleh gradasi agregat gabungan yang diinginkan. Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat. Metode yang digunakan untuk merancang proporsi campuran adalah dengan metode grafis. Proporsi campuran dari masing-masing fraksi agregat yang diperoleh kemudian harus dicek dan dievaluasi sehingga diperoleh campuran yang memenuhi spesifikasi.

#### Modulus Kehalusan

Modulus kehalusan adalah suatu indeks yang digunakan untuk mengukur tingkat kehalusan atau kekasaran butiran agregat. Modulus kehalusan merupakan jumlah persen kumulatif sisa saringan diatas ayakan dibagi 100. Nilai modulus kehalusan diperoleh dari hasil analisa saringan. Semakin besar nilai modulus kehalusan agregat menunjukkan bahwa semakin besar ukuran partikel agregatnya sehingga jumlah bahan pengikatnya akan semakin sedikit. Modulus Kehalusan agregat digunakan untuk menentukan sebaran butir agregat halus dan kasar dengan menggunakan analisa saringan pada laboratorium. Rumus yang digunakan dalam menentukan Modulus Kehalusan adalah :

$$MK = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot h_i \%}{100 \%}$$

#### Formula Campuran Rencana (FCR)

Tahapan awal untuk membuat suatu formula campuran rencana adalah menggabungkan agregat (batu pecah, abu batu, pasir) dengan presentase tertentu untuk mendapatkan suatu agregat gabungan dengan gradasi yang memenuhi spesifikasi yang diberikan. Maka fraksi agregat untuk permukaan kadar aspal sebagai berikut :

- Fraksi agregat kasar (CA) : persen dan total berat campuran dan berat material tertahan pada saringan No. 8
- Fraksi agregat halus (FA) : persen dan total berat material lolos pada saringan No. 8 dan tertahan pada saringan No. 200
- Fraksi bahan pengisi (FF) : persen dan total berat campuran dan berat material tertahan pada saringan No. 200

Perkiraan pertama kadar aspal rencana (pb) dapat diperoleh dengan rumus :

$$Pb = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% FF) + \text{Konstanta}$$

Keterangan :

Pb = Perkiraan kadar aspal

CA = Nilai presentase agregat kasar

FA = Nilai presentase agregat halus

FF = Nilai presentase filler

K = Konstanta (kira-kira 0,5-1,0)

(hasil perhitungan Pb dibulatkan ke 0,5 ke atas terdekat)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Pengujian Material

Beberapa pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengujian berat jenis dan penyerapan, pengujian abrasi serta pengujian gradasi, pengujian ini dilakukan untuk memastikan material yang kita gunakan dalam penelitian layak dan memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Spesifikasi Teknis yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spesifikasi Teknis Bina Marga 2018 Devisi 6 Revisi 2. Berikut hasil pengujian material yang telah dilakukan:

Tabel 1. Pengujian Material

No	Jenis Pengujian	Standar	Syarat	Hasil	
1	Berat Jenis	Bulk	SNI 03-1969-2008	-	2,538

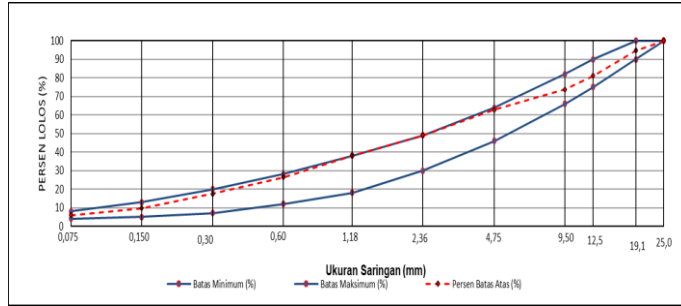
2	Agregat Kasar 3/4	SSD	SNI 03-1969-2008	-	2,554	
		Semu		-	2,580	
		Penyerapan		Max 3%	0,640	
	Berat Jenis	Bulk		-	2,541	
		SSD		-	2,575	
		Agregat Kasar 1/2		Semu	-	2,629
3	Abu Batu	SSD	SNI 03-1969-2008	-	2,558	
		Semu		-	2,601	
		Penyerapan		Max 3%	1,112	
	Pasir Alam	Bulk		-	2,518	
		SSD		SNI 03-1969-2008	-	2,569
		Semu			-	2,654
Penyerapan	Max 3%	2,041				
4	Keausan Agregat/Abrasi	SNI 03-2417-2008	Max 40%		21,50	

Tabel 2. Analisa Saringan Batu Pecah  $\frac{3}{4}$

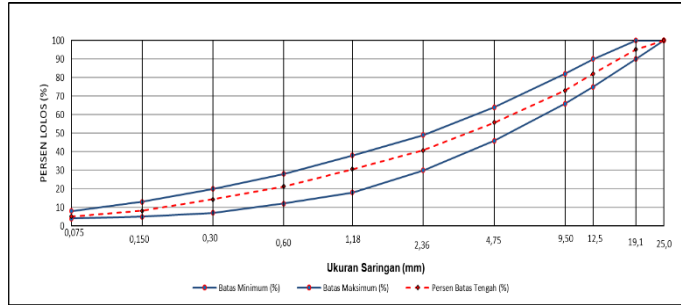
SARINGAN		Rata- Rata				
(ASTM)	(mm)	Batu Pecah 3/4	Batu Pecah 1/2	Abu BATU	Pasir ALAM	Semen
1	25	100	100	100	100	100
3/4	19,0	82,39	100	100	100	100
1/2	12,5	36,09	100	100	100	100
3/8	9,50	18,06	84,04	100	100	100
No.4	4,75	1,02	35,18	100	100	100
No.8	2,36		8,05	82,76	80,41	100
No.16	1,18		0,24	64,68	61,83	100
No.30	0,600		0,19	42,40	45,63	100
No.50	0,300			29,48	20,72	99,3
No.100	0,150			14,80	11,04	97,9
No.200	0,075			6,95	7,82	95,7

### Rancangan Gradasi Agregat Gabungan pada Variasi Batas Atas, Batas Tengah dan Batas Bawah

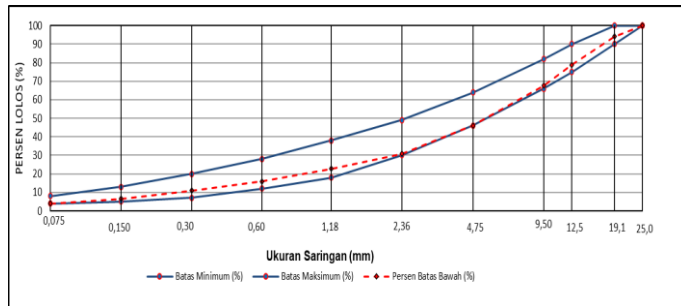
Gradasi agregat gabungan ini diperoleh dari pengujian analisa saringan yang diperoleh dari fraksi agregat, yakni fraksi agregat kasar berupa batu pecah  $\frac{3}{4}$  dan batu pecah  $\frac{1}{2}$  kemudian dari fraksi agregat halus yakni abu batu, pasir dan bahan pengisi atau filler. Berdasarkan hasil analisa saringan kemudian diambil persentase lolos saringan rata-rata dari setiap fraksi kemudian dilakukan perancangan komposisi campuran untuk mendapatkan gradasi agregat gabungan.



**Gambar 1.** Grafik Gradasi Agregat Pada Variasi Batas Atas



**Gambar 2.** Grafik Gradasi Agregat Pada Variasi Batas Tengah



**Gambar 3.** Grafik Gradasi Agregat Pada Variasi Batas Bawah

## Modulus Kehalusan

**Tabel 3.** Perhitungan Modulus Kehalusan

No. Saringan (mm)	Persen Kumulatif Tertahan		
	Batas Bawah	Batas Tengah	Batas Atas
25	0,00	0,00	0,00
19,1	5,51	4,68	4,96
12,5	15,37	12,94	13,75
9,5	26,56	22,05	21,04
4,75	48,14	39,27	32,01
2,36	63,33	54,37	45,79
1,18	71,42	64,46	56,76
0,6	78,24	73,85	68,50
0,3	83,22	80,75	77,36
0,15	87,66	86,86	84,98
0,075	90,15	89,99	88,83
PAN	94,15	95,08	94,77
	663,75	624,29	588,74
<b>MK</b>	<b>6,64</b>	<b>6,24</b>	<b>5,89</b>

Pada gradasi batas atas, di mana agregat halus mendominasi, diperoleh nilai modulus kehalusan 5,89. Nilai ini meningkat pada batas tengah menjadi 6,24, dan mencapai 6,64 pada batas bawah, di mana agregat kasar lebih dominan. Semakin besar nilai modulus kehalusan, semakin kasar gradasi agregat. Sebaliknya, semakin kecil nilai modulus kehalusan, semakin halus agregatnya. Agregat dengan luas permukaan lebih besar memiliki modulus kehalusan lebih kecil, dan sebaliknya.

### Penentuan Kadar Aspal Rencana

Perhitungan kadar aspal ditentukan setelah setelah diperoleh gradasi agregat gabungan dari masing-masing fraksi agregat yang telah memenuhi ketentuan atau spesifikasi.

Tabel 4. Perhitungan Kadar Aspal Rencana

Uraian	Nilai			Satuan
	Batas Bawah	Batas Tengah	Batas Atas	
Proporsi Fraksi Kasar ( <i>CA</i> )	69,17	59,29	51,02	%
Proporsi Fraksi Halus ( <i>FA</i> )	26,82	35,62	43,04	%
Proporsi Fraksi Bahan Pengisi ( <i>FF</i> )	4,01	5,09	5,93	%
Nilai Konstanta ( <i>K</i> ) ditetapkan	1,00	1,00	1,00	%
<b>Perkiraan Kadar Aspal (<i>Pb</i>)</b>	<b>5,3</b>	<b>5,6</b>	<b>5,8</b>	<b>%</b>

### Rancangan Benda Uji Dengan Kadar Aspal Rencana

Setelah mendapatkan estimasi kadar aspal (*Pb*) dari campuran Laston AC-BC, dilakukan penentuan 6 variasi kadar aspal. Dua di antaranya berada di bawah *Pb* dan tiga di atas *Pb*, dengan selisih 0,5%.

Tabel 5. Rancangan Campuran Variasi Gradasi Batas Atas

KOMPONEN	KOMPOSISI	KADAR ASPAL RENCANA (%)					
	AGREGAT	4,8	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3
(a) BATU PECAH 3/4	29,70%	28,27	28,13	27,98	27,83	27,68	27,53
(b) BATU PECAH 1/2	12,10%	11,52	11,46	11,40	11,34	11,28	11,22
(c) ABU BATU	43,20%	41,13	40,91	40,69	40,48	40,26	40,05
(d) PASIR ALAM	13,00%	12,38	12,31	12,25	12,18	12,12	12,05
(e) FILLER (Semen)	2,00%	1,90	1,89	1,88	1,87	1,86	1,85
TOTAL AGG CAMPURAN (%)	100%	95,2	94,7	94,2	93,7	93,2	92,7
TOTAL CAMPURAN (%)		100	100	100	100	100	100
KOMPOSISI CAMPURAN		BERAT TIMBANGAN (Gr)					
KADAR ASPAL RENCANA	%	4,8	5,3	5,8	6,3	6,8	7,3
(a) BATU PECAH 3/4	Gram	339,3	337,5	335,7	333,9	332,2	330,4
(b) BATU PECAH 1/2	Gram	138,2	137,5	136,8	136,1	135,3	134,6
(c) ABU BATU	Gram	493,5	490,9	488,3	485,7	483,1	480,6
(d) PASIR ALAM	Gram	148,5	147,7	147,0	146,2	145,4	144,6
(e) FILLER (Semen)		22,8	22,7	22,6	22,5	22,4	22,2
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)		1.142	1.136	1.130	1.124	1.118	1.112
BERAT ASPAL (Gr)		57,6	63,6	69,6	75,6	81,6	87,6
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)		1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200

Tabel 6. Rancangan Campuran Variasi Gradasi Batas Tengah

KOMPONEN	KOMPOSISI	KADAR ASPAL RENCANA (%)					
	AGREGAT	4,6	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1

(a) BATU PECAH 3/4	27,95%	26,66	26,52	26,38	26,25	26,11	25,97
(b) BATU PECAH 1/2	25,50%	24,33	24,20	24,07	23,94	23,82	23,69
(c) ABU BATU	35,55%	33,91	33,74	33,56	33,38	33,20	33,03
(d) PASIR ALAM	9,00%	8,59	8,54	8,50	8,45	8,41	8,36
(e) FILLER (Semen)	2,00%	1,91	1,90	1,89	1,88	1,87	1,86
TOTAL AGG CAMPURAN (%)	100%	95,4	94,9	94,4	93,9	93,4	92,9
TOTAL CAMPURAN (%)		100	100	100	100	100	100
KOMPOSISI CAMPURAN		BERAT TIMBANGAN (Gr)					
KADAR ASPAL RENCANA	%	4,6	5,1	5,6	6,1	6,6	7,1
(a) BATU PECAH 3/4	Gram	320,0	318,3	316,6	314,9	313,3	311,6
(b) BATU PECAH 1/2	Gram	291,9	290,4	288,9	287,3	285,8	284,3
(c) ABU BATU	Gram	407,0	404,8	402,7	400,6	398,4	396,3
(d) PASIR ALAM	Gram	103,0	102,5	102,0	101,4	100,9	100,3
(e) FILLER (Semen)		22,9	22,8	22,7	22,5	22,4	22,3
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)		1.145	1.139	1.133	1.127	1.121	1.115
BERAT ASPAL (Gr)		55,2	61,2	67,2	73,2	79,2	85,2
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)		1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200

Tabel 7. Rancangan Campuran Variasi Gradasi Batas Bawah

KOMPONEN	KOMPOSISI	KADAR ASPAL RENCANA (%)					
	AGREGAT	4,3	4,8	5,3	5,8	6,3	6,8
(a) BATU PECAH 3/4	33,20%	31,77	31,61	31,44	31,27	31,11	30,94
(b) BATU PECAH 1/2	32,60%	31,20	31,04	30,87	30,71	30,55	30,38
(c) ABU BATU	26,00%	24,88	24,75	24,62	24,49	24,36	24,23
(d) PASIR ALAM	6,20%	5,93	5,90	5,87	5,84	5,81	5,78
(e) FILLER (Semen)	2,00%	1,91	1,90	1,89	1,88	1,87	1,86
TOTAL AGG CAMPURAN (%)	100%	95,7	95,2	94,7	94,2	93,7	93,2
TOTAL CAMPURAN (%)		100	100	100	100	100	100
KOMPOSISI CAMPURAN		BERAT TIMBANGAN (Gr)					
KADAR ASPAL RENCANA	%	4,3	4,8	5,3	5,8	6,3	6,8
(a) BATU PECAH 3/4	Gram	381,3	379,3	377,3	375,3	373,3	371,3
(b) BATU PECAH 1/2	Gram	374,4	372,4	370,5	368,5	366,6	364,6
(c) ABU BATU	Gram	298,6	297,0	295,5	293,9	292,3	290,8
(d) PASIR ALAM	Gram	71,2	70,8	70,5	70,1	69,7	69,3
(e) FILLER (Semen)		23,0	22,8	22,7	22,6	22,5	22,4
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)		1.148	1.142	1.136	1.130	1.124	1.118
BERAT ASPAL (Gr)		51,6	57,6	63,6	69,6	75,6	81,6
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)		1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200

### Pengujian Marshall

Tujuan dari pengujian Marshall adalah untuk memastikan stabilitas dan kemampuan deformasi plastis dari benda uji yang diuji. Selain itu, penggunaan metode Marshall juga menghasilkan sejumlah parameter spesifik terkait dengan benda uji tersebut.

Tabel 8. Rangkuman Pengujian Marshall Pada Variasi Gradasi Batas Atas

Perhitungan dan	Stabilitas	flow	VMA	VIM	VFB	Kepadatan	Rasio	
Analisa	(Kg)	(mm)	(%)	(%)	(%)	gr/cm <sup>3</sup>	Partikel	
			Min		Min		(%)	
Spesifikasi	Min 800	2-4	14	3-5	65	Min 2	0,6 - 1,6	
4,8	A	1022,1	2,97	17,39	7,66	55,96	2,205	1,31
	B	1035,1	3,01	17,60	7,89	55,16	2,199	1,31
	Rata - rata	1028,6	2,99	17,50	7,78	55,56	2,20	1,31
5,3	A	1161,9	3,29	16,62	5,65	65,98	2,237	1,18
	B	1175,3	3,32	16,76	5,82	65,30	2,234	1,18
	Rata - rata	1168,6	3,31	16,69	5,73	65,64	2,24	1,18
5,8	A	1362,3	3,51	16,54	4,41	73,36	2,252	1,07
	B	1322,2	3,62	16,40	4,25	74,09	2,255	1,07
	Rata - rata	1342,2	3,57	16,47	4,33	73,72	2,25	1,07
6,3	A	1502,5	3,77	16,82	3,57	78,79	2,256	0,98
	B	1460,8	3,87	16,33	3,01	81,59	2,269	0,98
	Rata - rata	1481,6	3,82	16,58	3,29	80,19	2,26	0,98
6,8	A	1196,4	4,20	16,89	2,48	85,34	2,266	0,91
	B	1135,2	4,24	16,82	2,40	85,74	2,268	0,91
	Rata - rata	1165,8	4,22	16,86	2,44	85,54	2,27	0,91
7,3	A	1071,2	4,43	17,43	1,93	88,93	2,263	0,84
	B	1001,7	4,64	17,54	2,06	88,26	2,260	0,84
	Rata - rata	1036,4	4,54	17,48	1,99	88,59	2,26	0,84

Tabel 9. Rangkuman Pengujian Marshall Pada Variasi Gradasi Batas Tengah

Perhitungan dan	Stabilitas	flow	VMA	VIM	VFB	Kepadatan	Rasio	
Analisa	(Kg)	(mm)	(%)	(%)	(%)	gr/cm <sup>3</sup>	Partikel	
			Min				(%)	
Spesifikasi	Min 800	2-4	14	3-5	Min 65	Min 2	0,6 - 1,6	
4,6	A	1216,2	2,62	17,48	8,05	53,94	2,200	1,15
	B	1164,4	2,81	17,23	7,78	54,88	2,206	1,15
	Rata - rata	1190,3	2,72	17,36	7,91	54,41	2,20	1,15
5,1	A	1402,3	2,95	16,56	5,89	64,45	2,236	1,04
	B	1335,6	3,04	16,78	6,14	63,41	2,230	1,04
	Rata - rata	1368,9	3,00	16,67	6,01	63,93	2,23	1,04
5,6	A	1455,8	3,24	16,12	4,24	73,70	2,260	0,94
	B	1535,9	3,37	16,43	4,60	72,04	2,251	0,94
	Rata - rata	1495,8	3,31	16,28	4,42	72,87	2,26	0,94
6,1	A	1599,9	3,51	16,41	3,41	79,24	2,264	0,86

B	1613.8	3,65	16,32	3,30	79,76	2,266	0,86
Rata - rata	1606,8	3,58	16,37	3,36	79,50	2,27	0,86



6,6	A	1335,6	3,84	16,58	2,42	85,37	2,271	0,79
	B	1375,6	4,00	16,66	2,52	84,86	2,269	0,79
	Rata - rata	1355,6	3,92	16,62	2,47	85,11	2,27	0,79
7,1	A	1286,9	4,25	17,31	2,10	87,87	2,264	0,74
	B	1238,2	4,34	17,13	1,89	88,95	2,269	0,74
	Rata - rata	1262,5	4,30	17,22	2,00	88,41	2,27	0,74

Tabel 10. Rangkuman Pengujian Marshall Pada Variasi Gradasi Batas Bawah

Perhitungan		Stabilitas	flow	VMA	VIM	VFB	Kepadatan	Rasio Partikel
dan	Analisa	(Kg)	(mm)	(%)	(%)	(%)	gr/cm <sup>3</sup>	(%)
		Min			Min			
Spesifikasi		Min 800	2-4	14	3-5	65	Min 2	0,6 - 1,6
4,3	A	1216,2	2,97	17,05	8,14	52,24	2,206	0,96
	B	1229,1	3,01	17,12	8,23	51,96	2,204	0,96
	Rata - rata	1222,7	2,99	17,08	8,18	52,10	2,205	0,96
4,8	A	1549,2	3,29	16,40	6,30	61,62	2,235	0,86
	B	1442,4	3,32	16,14	6,00	62,81	2,242	0,86
	Rata - rata	1495,8	3,31	16,27	6,15	62,21	2,238	0,86
5,3	A	1641,6	3,51	15,86	4,53	71,43	2,261	0,78
	B	1683,4	3,62	15,96	4,65	70,85	2,258	0,78
	Rata - rata	1662,5	3,57	15,91	4,59	71,14	2,260	0,78
5,8	A	1697,3	3,77	16,28	3,86	76,32	2,262	0,71
	B	1739,0	3,87	15,89	3,41	78,56	2,272	0,71
	Rata - rata	1718,1	3,82	16,09	3,63	77,44	2,267	0,71
6,3	A	1488,6	4,20	16,39	2,81	82,88	2,271	0,65
	B	1469,1	4,24	16,34	2,74	83,20	2,272	0,65
	Rata - rata	1478,8	4,22	16,36	2,77	83,04	2,272	0,65
6,8	A	1446,8	4,43	16,60	1,88	88,71	2,277	0,60
	B	1419,0	4,64	16,83	2,15	87,26	2,271	0,60
	Rata - rata	1432,9	4,54	16,72	2,01	87,98	2,274	0,60

### Analisa Parameter Marshall

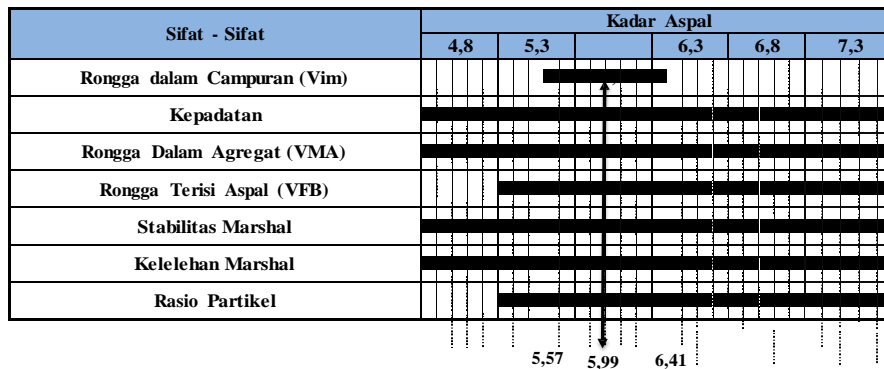
Campuran Laston AC-BC yang digunakan untuk lapisan permukaan jalan harus memenuhi standar yang telah ditetapkan. Persyaratan tersebut mencakup batasan pada gradasi kurva atas dan kurva bawah, serta meliputi nilai-nilai Stabilitas, Kepadatan, Flow, VIM, VMA, dan VFA yang harus sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 Devisi 6 Revisi II, yang diperoleh melalui pengujian Marshall.

Tabel 11. Nilai Parameter Marshall Yang Dicapai

Hasil Uji
-----------

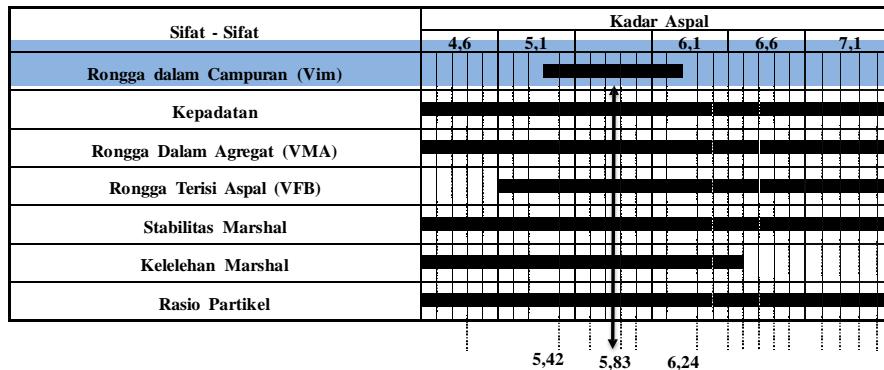
No	Jenis Penonitian	Satuan	Datas Atas	Batas Tengah	Batas Bawah	Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2
1	Stabilitas	kg	1374,84	1529,12	1673,13	Min 800
2	Flow	mm	3,67	3,43	3,26	2-4
3	VIM	%	3,87	3,87	3,88	3-5
4	VMA	%	16,45	16,28	15,97	Min 14
5	VFB	%	76,47	76,22	75,59	Min 65
6	Rasio Partikel		1,03	0,90	0,73	Min 2
7	Kepadatan	gr/cm3	2,26	2,26	2,27	0,6-1,6

### Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)



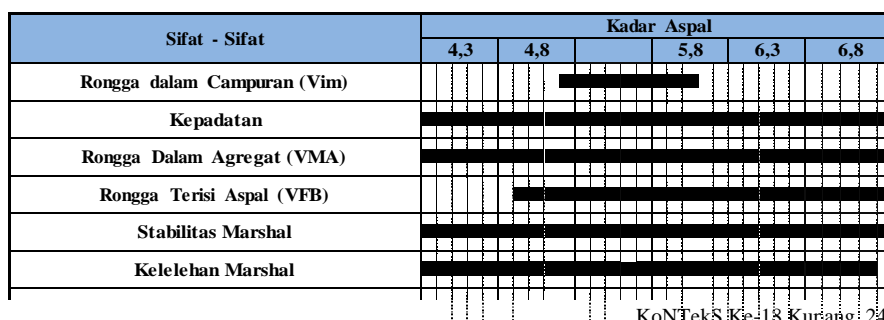
**Gambar 4.** Diagram Batang Kadar Aspal Optimum Batas Atas

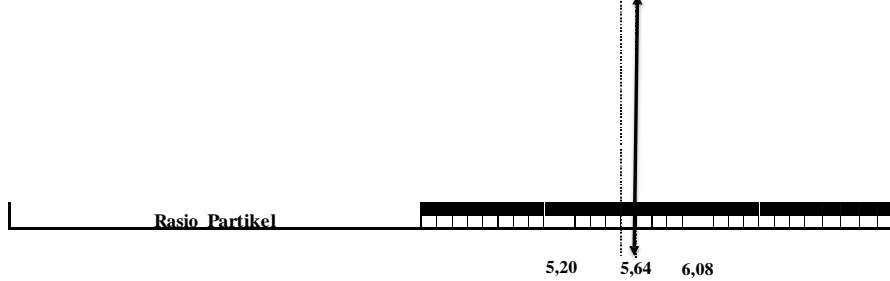
Dari hasil tersebut diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai kadar aspal optimum (KAO) yang memenuhi semua parameter Marshall sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 Devisi 6 Revisi 2, berkisar antara 5,57% hingga 6,41%. Oleh karena itu, kadar aspal optimum yang diperoleh adalah 5,99%.



**Gambar 5.** Diagram Batang Kadar Aspal Optimum Batas Tengah

Dari hasil tersebut diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai kadar aspal optimum (KAO) yang memenuhi semua parameter Marshall sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 Devisi 6 Revisi 2, berkisar antara 5,42% hingga 6,24%. Oleh karena itu, kadar aspal optimum yang diperoleh adalah 5,83%.





**Gambar 6.** Diagram Batang Kadar Aspal Optimum Batas Bawah

**Perbandingan Nilai Marshall Pada Variasi Gradasi Campuran Pada Batas Atas, Tengah dan Bawah**

Dari hasil pengujian marshall pada campuran AC-BC dengan variasi gradasi batas atas, tengah, dan bawah, ditemukan bahwa kadar aspal optimum adalah 5,99%, 5,83%, dan 5,64%. Stabilitas, durabilitas, dan kepadatan lebih tinggi pada batas bawah, sementara flow lebih tinggi pada batas atas. Nilai VIM pada batas bawah lebih besar, sedangkan VMA dan VFB lebih tinggi pada batas atas. Perbedaan kinerja ini tercermin dalam tabel hasil uji.

Tabel 12. Rekapitulasi Hasil Penelitian Pada Batas Berdasarkan pada Kadar Aspal Optimum

No	Parameter Marshall	Satuan	Batas Atas	Batas Tengah	Batas Bawah
1	Stabilitas	kg	1391,200	1488,584	1599,880
2	Flow	mm	3,655	3,365	3,210
3	VIM	%	3,850	3,861	4,014
4	VMA	%	16,436	16,280	16,097
5	VFB	%	76,579	76,287	75,065
6	Rasio Partikel		1,03	0,90	0,73
7	Kepadatan	gr/cm3	2,259	2,261	2,263
8	Durabilitas	%	91,500	92,991	93,478

**Hubungan Kadar Aspal Dengan Modulus Kehalusan**

Setelah mendapatkan kadar aspal optimum untuk tiga variasi gradasi yakni pada gradasi batas atas, batas tengah dan batas bawah dengan karakteristik marshall masing-masing variasi campuran selanjutnya dibuat grafik hubungan Modulus Kehalusan dengan Karakteristik marshall untuk mengetahui seberapa pengaruh modulus kehalusan terhadap karakteristik marshall dalam campuran AC-BC.

Tabel 13. Hubungan Kadar Aspal Dengan Modulus Kehalusan dengan Parameter *Marshall*

No	Parameter Marshall	Satuan	Batas Atas	Batas Tengah	Batas Bawah
			Modulus Kehalusan		
			<b>5,89</b>	<b>6,24</b>	<b>6,64</b>
			Kadar Aspal		
			<b>5,99</b>	<b>5,83</b>	<b>5,64</b>
1	Stabilitas	kg	1391,200	1488,584	1599,880
2	Flow	mm	3,655	3,365	3,210
3	VIM	%	3,850	3,861	4,014
4	VMA	%	16,436	16,280	16,097
5	VFB	%	76,579	76,287	75,065
6	Rasio Partikel	%	1,034	0,900	0,729
7	Kepadatan	gr/cm3	2,259	2,261	2,263
8	Marshall Sisa	kg	91,500	92,991	93,478

**Perbandingan Biaya**

Pekerjaan konstruksi perkerasan jalan bertujuan untuk menghasilkan perkerasan yang mampu melayani lalu lintas dengan baik dan biaya yang ekonomis tanpa mengorbankan kualitas. Aspal merupakan bahan perkerasan jalan yang paling mahal dibandingkan material lainnya. Berdasarkan analisa hubungan antara modulus kehalusan dan

karakteristik marshall, campuran dengan gradasi batas bawah memiliki kadar aspal yang lebih rendah, sehingga biaya campuran tersebut lebih murah. Sebagai ilustrasi, perbandingan biaya material dari tiga variasi gradasi disajikan untuk kebutuhan material campuran Hot Mix AC-BC dengan total campuran sebesar 1 ton.

Tabel 14. Perhitungan Biaya Material Modulus Kehalusan Batas Bawah

Material	Satuan	Harga	volume	Jumlah Harga
Batu Pecah 3/4	Ton	Rp 456.300,0	0,313	Rp 142.946,7
Batu Pecah 1/2	Ton	Rp 456.300,0	0,308	Rp 140.363,3
Abu Batu	Ton	Rp 399.200,0	0,245	Rp 97.937,6
Pasir Alam	Ton	Rp 500.000,0	0,059	Rp 29.251,4
Filler	Ton	Rp 54.800,0	0,019	Rp 1.037,9
Aspal	Ton	Rp 11.652.542,4	0,056	Rp 657.264,5
Total				Rp 1.068.801,435

Tabel 15. Perhitungan Biaya Material Modulus Kehalusan Batas Tengah

Material	Satuan	Harga	volume	Jumlah Harga
Batu Pecah 3/4	Ton	Rp 456.300,0	0,263	Rp 120.102,6
Batu Pecah 1/2	Ton	Rp 456.300,0	0,240	Rp 109.574,8
Abu Batu	Ton	Rp 399.200,0	0,335	Rp 133.644,3
Pasir Alam	Ton	Rp 500.000,0	0,085	Rp 42.377,2
Filler	Ton	Rp 54.800,0	0,019	Rp 1.034,6
Aspal	Ton	Rp 11.652.542,4	0,058	Rp 679.151,9
Total				Rp 1.085.885,405

Tabel 16. Perhitungan Biaya Material Modulus Kehalusan Batas Atas

Material	Satuan	Harga	volume	Jumlah Harga
Batu Pecah 3/4	Ton	Rp 456.300,0	0,279	Rp 127.403,4
Batu Pecah 1/2	Ton	Rp 456.300,0	0,114	Rp 51.905,1
Abu Batu	Ton	Rp 399.200,0	0,406	Rp 162.124,4
Pasir Alam	Ton	Rp 500.000,0	0,122	Rp 61.106,5
Filler	Ton	Rp 54.800,0	0,019	Rp 1.032,4
Aspal	Ton	Rp 11.652.542,4	0,060	Rp 697.987,3
Total				Rp 1.101.559,071

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat dilihat bahwa biaya material campuran untuk Modulus Kehalusan batas bawah diperoleh nilai Rp. 1.068.801,435 kemudian pada modulus kehalusan batas tengah diperoleh biaya sebesar Rp1.085.885,405 dan pada modulus kehalusan batas atas diperoleh biaya sebesar Rp1.101.559,071. Sehingga dapat dikatakan bahwa campuran yang memiliki biaya material paling kecil adalah campuran pada variasi gradasi batas bawah atau dengan nilai modulus kehalusan paling besar.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, variasi gradasi berpengaruh signifikan terhadap karakteristik Marshall pada campuran AC-Binder Course. Stabilitas meningkat seiring bertambahnya kadar aspal namun menurun setelah melewati kadar optimum, dengan gradasi batas bawah menunjukkan stabilitas lebih tinggi karena dominasi agregat kasar. Nilai flow juga meningkat seiring kadar aspal, tetapi gradasi batas bawah lebih unggul dalam mengurangi risiko kegagalan seperti deformasi plastis. Nilai VIM menurun, sedangkan VMA dan VFB meningkat dengan bertambahnya kadar aspal, dengan gradasi batas bawah menunjukkan performa lebih baik karena risiko deformasi dan kelelahan yang lebih kecil.

Nilai parameter Marshall memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, dengan kadar aspal optimum 5,99% untuk gradasi batas atas, 5,83% untuk batas tengah, dan 5,64% untuk batas bawah. Gradasi batas bawah menunjukkan stabilitas, kepadatan, dan durabilitas tertinggi. Semakin besar modulus kehalusan, nilai flow, VMA, VFB, dan rasio partikel semakin kecil, sementara nilai VIM semakin besar. Dari segi biaya, campuran dengan modulus kehalusan pada batas bawah adalah yang paling ekonomis dengan biaya material Rp. 1.068.801,435, dibandingkan batas tengah dan atas. Modulus kehalusan menjadi faktor penting dalam menentukan jenis campuran, kadar aspal, dan biaya material pada campuran AC-BC, dengan gradasi batas bawah memberikan hasil paling ekonomis dan performa terbaik.

#### **DAFTAR PUSTAKA DAN PENULISAN PUSTAKA**

- Bina Marga. 1987. Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Casparo Aplonio, 2017. Perbandingan Nilai Marshall Pada Variasi Garis Gradasi Atas, Tengah, Dan Bawah Pada Campuran AC – WC Gradasi Kasar, Universitas Katolik Widya Mandira, Kupang.
- Departemen Pekerjaan Umum. 1999. Pedoman Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak. Jakarta: Mediatama Saptakarya, Departemen Pekerjaan Umum.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2018. Spesifikasi Bina Marga Divisi 6. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Irawan Agus Made I dan Widhiawati Rai A.I, 2010. Pengaruh Gradasi Agregat Terhadap Karakteristik Campuran Laston, Universitas Udayana, Denpasar.
- Jauhari Y Beyzulnandar dan Doda Nurhayati, 2019. Pengaruh Gradasi Agregat Terhadap Nilai Karakteristik Aspal Beton (AC – BC), Universitas Gorontalo.
- Kerbs dan Walker, R.D. 1971. Highway Material. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Sukirman Silvia. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Bandung: Granit Bandung.
- Sukirman Silvia. 2008. Beton Aspal Campuran Panas, Edisi ke-2. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Sukirman Silvia. 1999. Perkerasan Lentur Jalan Raya, Bandung: Nova Bandung.
- Wendarista Dwiyanti Lesing (2021). Pengaruh Gradasi Terhadap Campuran Lapis Aspal Beton Lapis Antara (AC–BC) Ditinjau Dari Batas Bawah Dengan Menggunakan Alat Marshall, Universitas Katolik Widya Mandira, Kupang.
- Yoder E.J dan Witzack M.W. 1975. Principles Of Pavement Design 2nd Edition. New York: A Wiley Interscience Publication.