

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Data dan Material

4.1.1 Kronologis Pengambilan Material

Pengambilan material yaitu agregat kasar (batu pecah $\frac{3}{4}$ " dan batu pecah $\frac{1}{2}$ "), agregat halus (abu batu), di Kecamatan Noemuti, Kabupaten Timor Tengah Utara yang merupakan *quarry* milik PT. Sari Karya Mandiri. Pengambilan material agregat kasar dan agregat halus dilakukan dengan metode *Systematic Random Sampling*, dan menggunakan sekop. Tujuan dari penggunaan metode ini adalah untuk mendapatkan sampel yang benar-benar mewakili keseluruhan material yang terdapat pada *quarry* Noemuti. Cara menyekop material diambil pada bagian bawah, tengah dan atas dari tumpukan material (*stock pile*) tersebut, hal ini dilakukan untuk menghindari tercampurnya agregat yang mengalami segregasi, kemudian agregat dimasukkan kedalam karung. Selanjutnya dibawa ke Laboratorium Jalan Raya Balai Pengujian dan Peralatan Dinas Kimpraswil Propinsi NTT untuk dilakukan pengujian.

4.1.2 Data

Data berupa pengujian – pengujian yang dilakukan di laboratorium antara lain pengujian berat jenis dan penyerapan, gradasi dan pengujian abrasi pada agregat kasar, pengujian berat jenis dan penyerapan, gradasi pada fraksi agregat halus, serta pengujian *Marshall*. Pengujian aspal keras yang diperoleh dari Laboratorium Jalan Raya Dinas Pekerjaan Umum Propinsi NTT yaitu berupa data pengujian aspal pertamina dengan penetrasi 60/70.

4.2 Analisa Data

4.2.1 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat dilakukan pada agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dari agregat kasar, agregat halus dan *filler*.

4.2.1.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Agregat yang dipakai dalam pengujian ini adalah agregat dengan ukuran $\frac{3}{4}$ " dan $\frac{1}{2}$ " atau agregat yang tertahan saringan No.8, merupakan hasil dari mesin pemecah batu (*Stone Crusher*), yang berasal dari *quarry* Noemuti. Hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar untuk batu pecah $\frac{3}{4}$ " dapat dilihat pada Lampiran dan Tabel 4.1 berikut ini :

Tabel 4.1 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air batu pecah $\frac{3}{4}$ "

Uraian			A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh	BJ		5982	5693	gram	
Berat benda uji di dalam air	BA		3685	3506	gram	
Berat benda uji kering oven	BK		5928	5643	gram	
Uraian			A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	B_k		2,581	2,580	2,581	-
	$B_j - B_a$					
Berat Jenis (ssd)	B_j		2,604	2,603	2,604	-
	$B_j - B_a$					
Berat Jenis (apparent)	B_k		2,643	2,641	2,642	-
	$B_k - B_a$					
Penyerapan Air	$\frac{B_j - B_k}{B_k}$	$\times 100\%$	0,911	0,886	0,898	Max 3

Sumber : Hasil pengujian laboratorium, 2017

Perhitungan terhadap pengujian Berat Jenis dan Penyerapan air agregat kasar untuk batu pecah $\frac{1}{2}$ " dapat dilihat pada Lampiran dan Tabel 4.2. berikut ini :

Tabel 4.2 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air batu pecah $\frac{1}{2}$ "

Uraian			A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh	BJ		5.220	5.142	gram	
Berat benda uji di dalam air	BA		3.217	3.170	gram	
Berat benda uji kering oven	BK		5.166	5.089	gram	
Uraian			A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	B_k		2,579	2,581	2,580	-
	$B_j - B_a$					
Berat Jenis (ssd)	B_j		2,606	2,608	2,607	-
	$B_j - B_a$					
Berat Jenis (apparent)	B_k		2,651	2,652	2,651	-
	$B_k - B_a$					
Penyerapan Air	$\frac{B_j - B_k}{B_k}$	$\times 100\%$	1,045	1,041	1,043	Max 3

Sumber : Hasil pengujian laboratorium, 2017

Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar yang terdapat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yakni maksimum 3 % (Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi II).

4.2.1.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Agregat yang dipakai dalam pengujian ini adalah abu batu atau agregat yang lolos saringan No. 8 yang berasal dari *quarry* Noemuti. Hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat halus untuk abu batu dapat dilihat pada Lampiran dan Tabel 4.3 berikut ini :

Tabel 4.3 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan Abu Batu

No. Contoh		A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	Bj	500	500	gram	
Berat piknometer + air (25°C)	B	669,32	671,80	gram	
Berat piknometer + air + benda uji	Bt	978,41	980,48	gram	
Berat benda uji kering oven (Bk)	BK	490,57	491,33	gram	
		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	Bk	2,570	2,568	2,569	-
	$B + Bj - Bt$				
Berat Jenis kering permukaan jenuh	Bj	2,619	2,613	2,616	-
	$B + Bj - Bt$				
Berat Jenis (apparent)	Bk	2,703	2,690	2,697	-
	$B + Bk - Bt$				
Penyerapan Air	$\frac{Bj - Bk}{Bk}$	1,922	1,765	1,843	Max 3
	x 100%				

Sumber : Hasil pengujian laboratorium, 2017

Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus yang terdapat pada Tabel 4.3 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yakni maksimum 3 % (Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi II).

4.2.1.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan *Filler*

Material yang dipakai dalam pengujian ini adalah semen portland yang lolos saringan No. 200. Hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan air untuk *filler* dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut ini :

Tabel 4.4 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan *Filler*

No. Contoh		A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500	500	500	gram	
Berat piknometer + air (25°C)	B	654,06	657,20	gram	
Berat piknometer + air + benda uji	Bt	998,90	999,80	gram	
Berat benda uji kering oven (Bk)	BK	492,10	492,40	gram	
		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	Bk	3,172	3,128	3,1500	-
	B + 500 - Bt				
Berat Jenis kering permukaan jenuh	500	3,222	3,177		
	B + 500 - Bt				
Berat Jenis (apparent)	Bk	3,342	3,287		
	B + Bk - Bt				
Penyerapan Air	$\frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$	1,605	1,543	1,574	Max 3
	Bk				

Sumber : Hasil pengujian laboratorium, 2017

Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air *filler* yang terdapat pada Tabel 4.4 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yakni maksimum 3 % (Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi II).

4.2.2 Pengujian Keausan (Abrasi)

Pengujian ini dilakukan pada material batu pecah yang lolos saringan ukuran $\frac{3}{4}$ " dan tertahan saringan $\frac{1}{2}$ " dan material batu pecah yang lolos saringan ukuran $\frac{1}{2}$ " dan tertahan pada saringan $\frac{3}{8}$ ". Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No. 12 terhadap berat semula. Hasil pengujian abrasi dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini :

Tabel 4.5 pengujian keausan (abrasi)

PENGUJIAN KEAUSAN AGREGAT DENGAN MESIN LOS ANGELES (SNI 03-2417-1991)					
Nama Contoh : Batu pecah $\frac{3}{4}$ " dan $\frac{1}{2}$ "					
SARINGAN				GRADASI PEMERIKSAAN	
Lolos	Bukaan Saringan	Tertahan	Bukaan Saringan	Jumlah berat A	Jumlah berat B
(ASTM)	(mm)	(ASTM)	(mm)	(gram)	(gram)
$\frac{3}{4}$ "	19.00	$\frac{1}{2}$ "	12.50	2500	2500
$\frac{1}{2}$ "	12.50	$\frac{3}{8}$ "	9.50	2500	2500
Berat benda uji semula (gram) (a)				5000	5000
Tertahan saringan No. 12 (gram) (b)				3959	3990
Keausan (%) (c)				20,82	20,20
Keausan rata-rata =				20,51	
Ket : Keausan (c) = $\frac{(a-b)}{a} \times 100\%$					

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

Hasil pengujian abrasi agregat kasar yang terdapat pada tabel 4.5 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yakni maksimum 30 % (SNI-03-2417-1991). Nilai keausan agregat adalah 20,51%.

4.2.3 Rancangan Proporsi Agregat Gabungan

Untuk membuat komposisi agregat secara individu pada tiap saringan, maka digunakan nilai batas atas dan batas bawah pada gradasi agregat gabungan untuk campuran Laston AC-WC Gradasi Kasar sesuai spesifikasi 2010 Revisi II pada tabel 4.6 dibawah ini.

Tabel 4.6. Gradasi Gabungan Agregat Gabungan Untuk Campuran Laston

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos Agregat Gabungan Total Agregat Dalam Campuran					
	Laston (AC)					
	Gradasi Halus			Gradasi Kasar		
	WC	BC	Base	WC	BC	Base
37,5			100			100
25,0		100	90-100		100	90 – 100
19,0	100	90 -100	73-90	100	90 – 100	73 - 90
12,5	90 – 100	74 – 90	61 – 79	90 – 100	71 – 90	55 – 76
9,5	72 – 90	64 – 82	47 – 64	72 – 90	58 – 80	45 – 66
4,75	54 – 69	47 – 64	39,5 – 50	43 – 63	37 – 56	28 - 39,5
2,36	39,1 – 53	34,6 – 49	30,8 – 37	28 – 39,1	23 - 34,6	19 - 26,8
1,18	31,6 – 40	28,3 – 38	24,1 – 28	19 – 25,6	15 - 22,3	12 - 18,1
0,60	23,1 – 30	20,7 – 28	17,6 – 22	13 – 19,1	10 - 16,7	7 - 13,6
0,30	15,5 – 22	13,7 – 20	11,4 – 16	9 – 15,5	7 – 13,7	5 - 11,6
0,15	9 – 15	4 – 13	4 – 10	6 – 13	5 – 11	4,5 – 9
0,075	4 – 10	4 – 8	3 – 6	4 – 10	4 – 8	3 – 7

Sumber : Buku Spesifikasi, Bina Marga, Tahun 2010 Revisi II

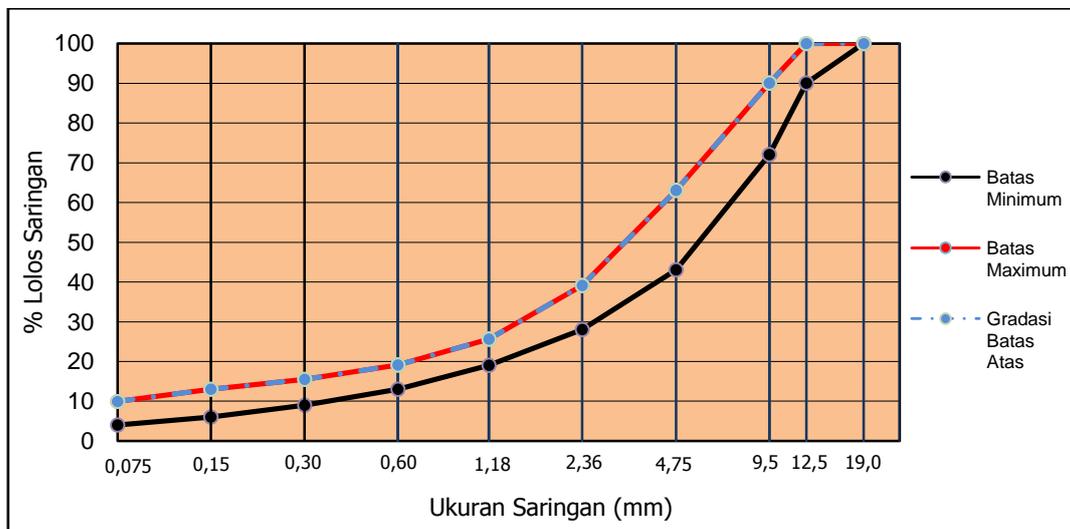
Berdasarkan tabel 4.6, maka dibuat persentase berat material yang tertahan tiap saringan menggunakan spesifikasi batas atas dan batas bawah pada campuran Laston AC-WC Gradasi Kasar.

Tabel 4.7 Gradasi Agregat Gabungan Gradasi Batas Atas, Tengah, dan Bawah

Saringan		% Lolos Saringan		
(ASTM)	mm	Batas Bawah	Batas Tengah	Batas Atas
3/4"	19,1	100,00	100,00	100
1/2"	12,5	90,00	95,00	100
3/8"	9,50	72,00	81,00	90
No. 4	4,75	43,00	53,00	63
No. 8	2,36	28,00	33,55	39,1
No. 16	1,18	19,00	22,30	25,6
No. 30	0,60	13,00	16,05	19,1
No. 50	0,30	9,00	12,25	15,5
No. 100	0,15	6,00	9,50	13
No. 200	0,075	4,00	7,00	10

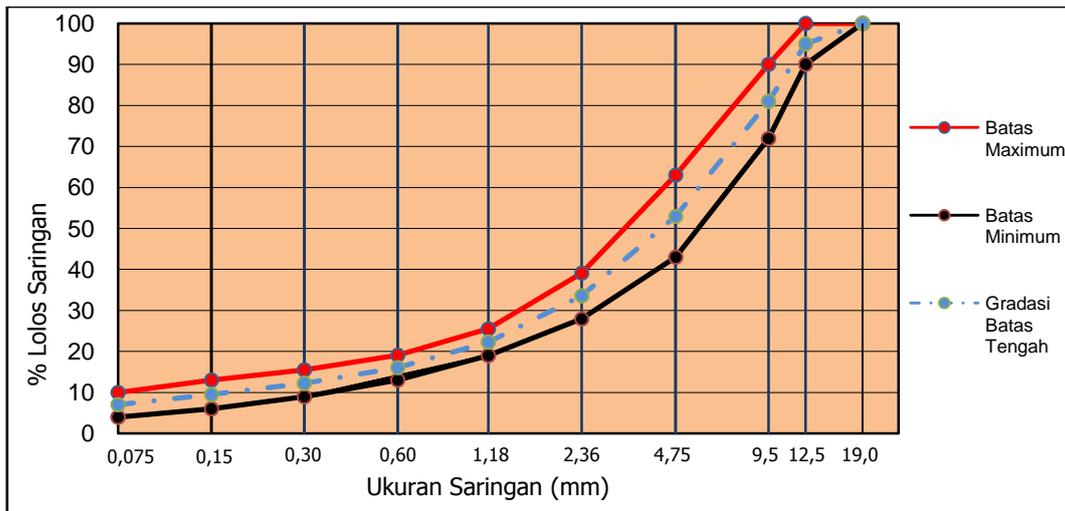
Sumber : Hasil pengujian laboratorium, 2017

Berdasarkan Tabel 4.7 diatas, maka diperoleh grafik gradasi batas atas, tengah, dan bawah pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3 sebagai berikut :



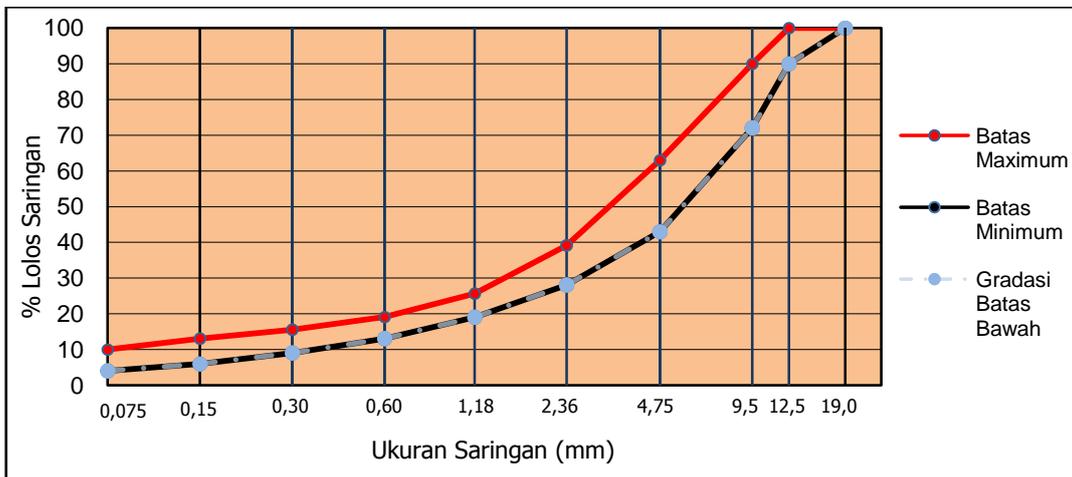
Gambar 4.1 Grafik gradasi batas atas

Sumber : Hasil pengujian laboratorium



Gambar 4.2 Grafik gradasi batas tengah

Sumber : Hasil pengujian laboratorium



Gambar 4.3 Grafik gradasi batas Bawah

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

4.2.4 Kadar Aspal Rencana (Pb)

Pembuatan kadar aspal rencana (Pb) menggunakan nilai tengah dari spesifikasi batas atas dan batas bawah dari gradasi gabungan untuk campuran Laston AC-WC gradasi kasar. Pada gradasi gabungan, nilai tengah dari % Lolos saringan no. 8 adalah 33,55%, dan nilai tengah dari % lolos dari saringan no. 200 adalah 7%.

4.2.4.1 Fraksi Agregat

- Fraksi agregat kasar(CA) = $100\% - \% \text{ Lolos saringan No.8}$
 = $100\% - 33,55\%$
 = $66,45\%$

2. Fraksi agregat halus (*FA*) = %Lolos Saringan No. 8 – %Lolos Saringan No. 200
= 33,55% – 7,00%
= 26,55 %
3. Bahan pengisi (*FF*) = % Lolos Saringan No. 200
= 7,00 %

4.2.4.2 Kadar Aspal Rencana

Perkiraan awal kadar aspal rencana (*Pb*)

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta } (0,5 - 1,0) \\
 &= 0,035 (66,45) + 0,045 (26,55) + 0,18 (7,00) + 1,0 \\
 &= 5,78 \%
 \end{aligned}$$

4.2.5 Rancangan Campuran

Rancangan campuran dibuat dengan menggunakan 6 variasi kadar aspal rencana 4,78%, 5,28%, 5,78%, 6,28%, 6,78% dan 7,28%. Berat rencana total campuran adalah 1200 gram. Hasil perhitungan rancangan dalam persen (%) dan gram untuk variasi gradasi dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.8 Rancangan Campuran Variasi Gradasi Batas Atas

KOMPONEN	SPEK. % LOLOS SARINGAN BATAS ATAS	% TERTAAN SARINGAN BATAS ATAS	KADAR ASPAL RENCANA (%)					
			4,78	5,28	5,78	6,28	6,78	7,28
(a) Tertahan Saringan 3/4'	100,0%	0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(b) Tertahan Saringan 1/2'	100,0%	0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(c) Tertahan Saringan 3/8'	90,0%	10,00%	114,26	113,66	113,06	112,46	111,86	111,26
(d) Tertahan Saringan #4	63,0%	27,00%	308,51	306,89	305,27	303,65	302,03	300,41
(e) Tertahan Saringan #8	39,1%	23,90%	273,09	271,66	270,22	268,79	267,35	265,92
(f) Tertahan Saringan #16	25,6%	13,50%	154,26	153,45	152,64	151,83	151,02	150,21
(g) Tertahan Saringan #30	19,1%	6,50%	74,27	73,88	73,49	73,10	72,71	72,32
(h) Tertahan Saringan #50	15,5%	3,60%	41,13	40,92	40,70	40,49	40,27	40,05
(i) Tertahan Saringan #100	13,0%	2,50%	28,57	28,42	28,27	28,12	27,97	27,82
(j) Tertahan Saringan #200	10,0%	3,00%	34,28	34,10	33,92	33,74	33,56	33,38
(k) Lolos Saringan #200		10,00%	114,26	113,66	113,06	112,46	111,86	111,26
TOTAL AGG CAMPURAN (%)		100%	1142,63	1136,63	1130,63	1124,63	1118,63	1112,63
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)			1142,63	1136,63	1130,63	1124,63	1118,63	1112,63
BERAT ASPAL (Gr)			57,37	63,37	69,37	75,37	81,37	87,37
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)			1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Sumber : Hasil pengujian laboratorium, 2017

Tabel 4.9 Rancangan Campuran Variasi Gradasi Batas Tengah

KOMPONEN	SPEK. % LOLOS	% TERTAHAN	KADAR ASPAL RENCANA (%)					
	SARINGAN	SARINGAN	4,78	5,28	5,78	6,28	6,78	7,28
	BATAS TENGAH	BATAS TENGAH						
(a) Tertahan Saringan 3/4'	100,00%	0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(b) Tertahan Saringan 1/2'	95,00%	5,00%	57,13	56,83	56,53	56,23	55,93	55,63
(c) Tertahan Saringan 3/8'	81,00%	14,00%	159,97	159,13	158,29	157,45	156,61	155,77
(d) Tertahan Saringan #4	53,00%	28,00%	319,94	318,26	316,58	314,90	313,22	311,54
(e) Tertahan Saringan #8	33,55%	19,45%	222,24	221,08	219,91	218,74	217,57	216,41
(f) Tertahan Saringan #16	22,30%	11,25%	128,55	127,87	127,20	126,52	125,85	125,17
(g) Tertahan Saringan #30	16,05%	6,25%	71,41	71,04	70,66	70,29	69,91	69,54
(h) Tertahan Saringan #50	12,25%	3,80%	43,42	43,19	42,96	42,74	42,51	42,28
(i) Tertahan Saringan #100	9,50%	2,75%	31,42	31,26	31,09	30,93	30,76	30,60
(j) Tertahan Saringan #200	7,00%	2,50%	28,57	28,42	28,27	28,12	27,97	27,82
(k) Lolos Saringan #200		7,00%	79,98	79,56	79,14	78,72	78,30	77,88
TOTAL AGG CAMPURAN (Gr)		100%	1142,63	1136,63	1130,63	1124,63	1118,63	1112,63
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)			1142,63	1136,63	1130,63	1124,63	1118,63	1112,63
BERAT ASPAL (Gr)			57,37	63,37	69,37	75,37	81,37	87,37
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)			1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Sumber : Hasil pengujian laboratorium, 2017

Tabel 4.10 Rancangan Campuran Variasi Gradasi Batas Bawah

KOMPONEN	SPEK. % LOLOS	% TERTAHAN	KADAR ASPAL RENCANA (%)					
	SARINGAN	SARINGAN	4,78	5,28	5,78	6,28	6,78	7,28
	BATAS BAWAH	BATAS BAWAH						
(a) Tertahan Saringan 3/4'	100,0%	0,00%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
(b) Tertahan Saringan 1/2'	90,0%	10,00%	114,26	113,7	113,06	112,46	111,86	111,26
(c) Tertahan Saringan 3/8'	72,0%	18,00%	205,67	204,6	203,51	202,43	201,35	200,27
(d) Tertahan Saringan #4	43,0%	29,00%	331,36	329,6	327,88	326,14	324,40	322,66
(e) Tertahan Saringan #8	28,0%	15,00%	171,40	170,5	169,60	168,70	167,80	166,90
(f) Tertahan Saringan #16	19,0%	9,00%	102,84	102,3	101,76	101,22	100,68	100,14
(g) Tertahan Saringan #30	13,0%	6,00%	68,56	68,2	67,84	67,48	67,12	66,76
(h) Tertahan Saringan #50	9,0%	4,00%	45,71	45,5	45,23	44,99	44,75	44,51
(i) Tertahan Saringan #100	6,0%	3,00%	34,28	34,1	33,92	33,74	33,56	33,38
(j) Tertahan Saringan #200	4,0%	2,00%	22,85	22,7	22,61	22,49	22,37	22,25
(k) Lolos Saringan #200		4,00%	45,71	45,5	45,23	44,99	44,75	44,51
TOTAL AGG CAMPURAN (Gr)		100%	1142,63	1136,63	1130,63	1124,63	1118,63	1112,63
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)			1142,63	1136,63	1130,63	1124,63	1118,63	1112,63
BERAT ASPAL (Gr)			57,37	63,37	69,37	75,37	81,37	87,37
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)			1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Sumber : Hasil pengujian laboratorium, 2017

4.2.6 Pengujian Marshall

Pengujian marshall ini bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) dan kelelahan plastis (*flow*) dari setiap benda uji. Selain itu, pengujian dengan metode *Marshall* juga menghasilkan parameter-parameter *Marshall*.

Rangkuman hasil pengujian *Marshall* campuran Laston (AC-WC) berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk masing-masing pengujian yang disertai dengan spesifikasi Bina Marga 2010 revisi II untuk variasi gradasi batas atas dapat dilihat pada tabel 4.11 dibawah ini :

4.11 Rangkuman Pengujian Marshall Variasi Gradasi Batas Atas

Perhitungan dan Analisa		Stabilitas (Kg)	flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VMA (%)	VIM(%)	VFB (%)
		Min 800	Min 3	Min 250	Min 15	3-5	Min 65
4,78%	A	974,95	2,50	389,98	16,12	5,41	66,44
	B	1085,14	2,65	409,49	16,12	5,41	66,44
	Rata-Rata	1030,04	2,58	399,73	16,12	5,41	66,44
5,28%	A	1126,87	2,80	402,45	16,18	4,29	73,47
	B	1085,14	2,65	409,49	16,19	4,31	73,40
	Rata-Rata	1106,00	2,73	405,97	16,19	4,30	73,43
5,78%	A	1182,52	3,14	376,60	16,36	3,31	79,77
	B	1126,87	3,09	364,68	16,36	3,31	79,77
	Rata-Rata	1154,696	3,12	370,64	16,36	3,31	79,77
6,28%	A	1168,61	3,45	338,73	16,88	2,71	83,95
	B	1112,96	3,39	328,31	16,86	2,69	84,05
	Rata-Rata	1140,784	3,42	333,52	16,87	2,70	84,00
6,78%	A	1057,31	3,82	276,78	17,41	2,12	87,81
	B	1085,14	3,75	289,37	17,37	2,08	88,04
	Rata-Rata	1071,224	3,79	283,08	17,39	2,10	87,92
7,28%	A	1043,40	4,10	254,49	18,20	1,85	89,83
	B	987,75	4,16	237,44	18,20	1,85	89,84
	Rata-Rata	1015,576	4,13	245,96	18,20	1,85	89,83

Sumber : Hasil pengujian laboratorium, 2017

Rangkuman hasil pengujian *Marshall* campuran Laston Lapis Aus (AC-WC) berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk masing-masing pengujian yang disertai dengan spesifikasi Bina Marga 2010 revisi II untuk variasi gradasi batas tengah dapat dilihat pada tabel 4.12 dibawah ini :

Tabel 4.12 Rangkuman Hasil Pengujian *Marshall* untuk Variasi Gradasi Batas Tengah

Perhitungan dan Analisa		Stabilitas (Kg)	flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VMA (%)	VIM(%)	VFB (%)
Spesifikasi		Min 800	Min 3	Min 250	Min 15	3-5	Min 65
4,78%	A	961,60	2,36	407,46	16,14	5,75	64,39
	B	1071,22	2,91	368,12	16,11	5,71	64,54
	Rata-Rata	1016,41	2,64	387,79	16,12	5,73	64,47
5,28%	A	1112,96	2,87	387,79	16,17	4,61	71,51
	B	1085,14	2,69	403,40	16,21	4,65	71,31
	Rata-Rata	1099,05	2,78	395,59	16,19	4,63	71,41
5,78%	A	1154,696	3,22	358,60	16,41	3,69	77,54
	B	1126,87	3,12	361,18	16,36	3,64	77,78
	Rata-Rata	1140,784	3,17	359,89	16,38	3,66	77,66
6,28%	A	1126,87	3,52	320,13	16,90	3,06	81,89
	B	1140,784	3,43	332,59	16,88	3,04	82,00
	Rata-Rata	1133,828	3,48	326,36	16,89	3,05	81,94
6,78%	A	1043,40	3,90	267,54	17,59	2,67	84,82
	B	1071,22	3,77	284,14	17,38	2,43	86,02
	Rata-Rata	1057,312	3,84	275,84	17,49	2,55	85,42
7,28%	A	1043,40	4,17	250,22	18,19	2,18	88,03
	B	973,84	4,21	231,32	18,21	2,20	87,91
	Rata-Rata	1008,62	4,19	240,77	18,20	2,19	87,97

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

Rangkuman hasil pengujian *Marshall* campuran Laston Lapis Aus (AC-WC) berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk masing-masing pengujian yang disertai dengan spesifikasi Bina Marga 2010 revisi II untuk variasi gradasi bawah dapat dilihat pada tabel 4.13 dibawah ini :

Tabel 4.13 Rangkuman Hasil Pengujian *Marshall* Variasi Gradasi Batas Bawah

Perhitungan dan Analisa		Stabilitas (Kg)	flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VMA (%)	VIM(%)	VFB (%)
Spesifikasi		Min 800	Min 3	Min 250	Min 15	3-5	Min 65
4,78%	A	934,89	2,40	389,54	16,14	6,05	62,48
	B	1043,40	2,95	353,69	16,13	6,05	62,51
	Rata-Rata	989,14	2,68	371,62	16,13	6,05	62,50
5,28%	A	1099,05	2,91	377,68	16,24	5,00	69,23
	B	1057,31	2,73	387,29	16,21	4,96	69,38
	Rata-Rata	1078,18	2,82	382,49	16,22	4,98	69,30
5,78%	A	1140,784	3,30	345,69	16,42	4,02	75,49
	B	1112,96	3,21	346,72	16,40	4,00	75,63
	Rata-Rata	1126,872	3,26	346,20	16,41	4,01	75,56
6,28%	A	1112,96	3,61	308,30	16,89	3,38	80,01
	B	1085,136	3,49	310,93	16,91	3,40	79,87
	Rata-Rata	1099,048	3,55	309,61	16,90	3,39	79,94
6,78%	A	1001,66	3,95	253,59	17,51	2,91	83,38
	B	1029,49	3,84	268,10	17,49	2,89	83,48
	Rata-Rata	1015,576	3,90	260,84	17,50	2,90	83,43
7,28%	A	1015,58	4,21	241,23	18,20	2,52	86,13
	B	973,84	4,30	226,47	18,24	2,58	85,87
	Rata-Rata	994,708	4,26	233,85	18,22	2,55	86,00

Sumber : Hasil pengujian laboratorium, 2017

4.3 Pembahasan Data

Campuran Laston AC-WC untuk lapisan permukaan jalan harus memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Persyaratan tersebut harus memenuhi batas gradasi kurva atas dan kurva bawah, persyaratan terhadap pengujian *Marshall* yaitu dengan memenuhi nilai stabilitas, *flow*, *MQ*, *VIM*, *VMA*, *VFB* harus sesuai Spesifikasi Bina Marga tahun 2010 revisi II.

Hasil pengujian *Marshall* yang dilakukan dapat dilihat pada tabel dan grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai-nilai parameter *Marshall* dibawah ini.

4.3.1 Hubungan Kadar Aspal Dengan Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang maupun alur. Dalam *Marshall*, pemeriksaan stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban.

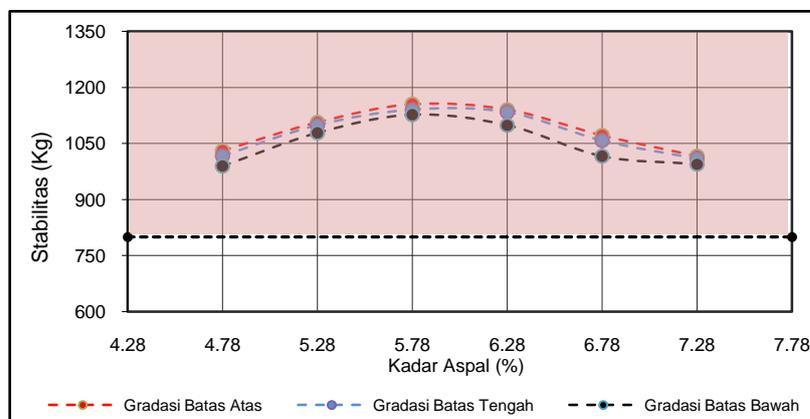
Kadar aspal sangat berpengaruh pada stabilitas, apabila kadar aspal sangat kecil maka tebal lapisan aspal sangat tipis sehingga ikatan antar agregat kurang mengikat, apabila diberikan beban maka ikatan antar agregat tersebut akan terlepas. Apabila kadar aspal yang berlebihan menyebabkan lapisan aspal sangat tebal sehingga akan menyebabkan lapisan aspal tersebut akan mudah bergeser. Hubungan kadar aspal dengan stabilitas untuk variasi gradasi batas atas, tengah, dan bawah dari hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.14 dibawah ini :

Tabel 4.14 Hubungan kadar aspal dengan stabilitas

Kadar Aspal	STABILITAS (Kg)		
	Gradasi Batas Bawah	Gradasi Batas Tengah	Gradasi Batas Atas
4,78%	989,14	1016,41	1030,04
5,28%	1.078,18	1099,05	1106,00
5,78%	1.126,87	1140,78	1154,70
6,28%	1.099,05	1133,83	1140,78
6,78%	1.015,58	1057,31	1071,22
7,28%	994,71	1008,62	1015,58

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

Berdasarkan tabel 4.14 diatas, maka diperoleh grafik pada gambar 4.4 yang menunjukkan hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas adalah sebagai berikut :



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Berdasarkan rekapan pada tabel 4.14 dan gambar 4.4, dapat dilihat bahwa nilai stabilitas semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal mulai dari 4,78% sampai 5,78%. Sedangkan pada kadar aspal 6,28% sampai 7,28%, nilai stabilitas kembali menurun. Hal ini menunjukkan bahwa nilai stabilitas sangat tergantung pada banyaknya kadar aspal yang digunakan.

Pada Kadar aspal yang kecil, mengakibatkan nilai stabilitas menurun karena tebal lapisan aspal sangat tipis. Hal ini menyebabkan ikatan antar agregat kurang mengikat dan apabila diberikan beban, maka ikatan antar agregat tersebut akan terlepas. Jika presentasi kadar aspal mencapai nilai optimum, maka menghasilkan nilai stabilitas yang maksimum. Hal ini disebabkan oleh karena penguncian antara partikel agregat dan daya ikat aspal menjadi lebih kuat serta daya adhesi dan kohesi dari aspal menjadi lebih baik. Penggunaan kadar aspal yang melebihi kadar aspal optimumnya menyebabkan nilai stabilitas akan menurun. Kadar aspal yang besar menyebabkan aspal tidak dapat menyelimuti agregat dengan baik. Aspal yang besar tidak mampu lagi diserap oleh rongga dalam campuran, mengakibatkan selimut aspal menjadi tebal sehingga lapisan tersebut akan mudah bergeser bila dibebani.

Nilai stabilitas pada gradasi batas atas lebih besar dari pada nilai stabilitas pada gradasi batas tengah dan bawah. Hal ini dipengaruhi oleh penambahan butiran halus dan pengurangan pada butiran kasar sehingga menyebabkan campuran lebih padat karena adanya kondisi *interlocking* antara butiran, sehingga hanya ada sedikit rongga diantara agregat dan hanya ditempati oleh bahan pengikat untuk menambah kekuatan pada campuran sehingga mempunyai nilai stabilitas yang tinggi.

4.3.2 Hubungan Kadar Aspal Dengan Kelelahan (*Flow*)

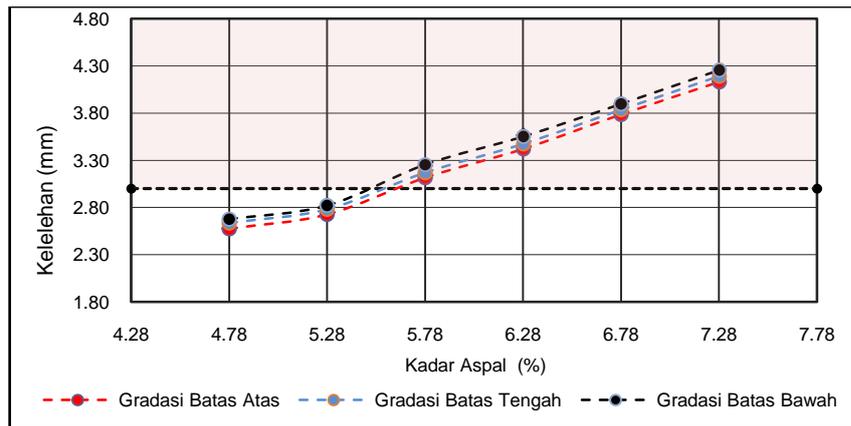
Kelelahan (*flow*) adalah kemampuan beton aspal menerima beban yang diberikan tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Nilai kelelahan (*flow*) menunjukkan besarnya perubahan bentuk sebagai akibat dari beban yang bekerja sampai batas keruntuhan. Hubungan kadar aspal dengan kelelahan (*flow*) untuk variasi gradasi batas atas, tengah, dan bawah dari hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.15 berikut ini :

Tabel 4.15 Hubungan *flow* dengan kadar aspal

Kadar Aspal	<i>FLOW (mm)</i>		
	Gradasi Batas Bawah	Gradasi Batas Tengah	Gradasi Batas Atas
4,78%	2,68	2,64	2,58
5,28%	2,82	2,78	2,73
5,78%	3,26	3,17	3,12
6,28%	3,55	3,48	3,42
6,78%	3,90	3,84	3,79
7,28%	4,26	4,19	4,13

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

Berdasarkan tabel 4.15 diatas, maka diperoleh grafik pada gambar 4.5 yang menggambarkan hubungan kadar aspal dengan kelelahan (*flow*) adalah sebagai berikut:



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan kelelehan (*flow*)

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Berdasarkan tabel 4.15 yang menghasilkan gambar 4.5 terlihat bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai *flow* akan semakin tinggi pula. Hal ini disebabkan karena pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan bertambahnya nilai kelelehan plastis (*flow*). Hal ini disebabkan karena bertambahnya kadar aspal yang mengisi rongga, maka volume rongga semakin kecil yang menyebabkan aspal tidak lagi menyelimuti agregat dengan baik dan daya ikat aspal semakin berkurang. Pada kadar aspal yang tinggi suatu campuran aspal akan mudah mengalami perubahan bentuk plastis seperti gelombang (*washbording*) dan alur (*ruting*). Kelelehan plastis (*flow*) dibutuhkan agar perkerasan mempunyai daerah mulur akibat pembebanan. Pada saat terjadi pembebanan campuran mulur/memanjang untuk mengikuti pembebanan agar perkerasan tidak retak. *Flow* rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapisan perkerasan menjadi mudah retak.

Pada grafik gradasi diatas menunjukkan bahwa hasil pengujian *flow* atau kelelehan dalam campuran Laston, pada kadar aspal 4,78% sampai dengan 5,28% tidak memenuhi spesifikasi sedangkan kadar aspal 5,78% sampai 7,28% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 (min. 3 mm)

Berdasarkan grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa nilai *flow* pada gradasi batas atas lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai *flow* pada gradasi batas tengah dan bawah dikarenakan campuran yang di dominasi oleh agregat halus sehingga campuran menjadi lebih padat karena terjadi kondisi saling mengunci antara butir agregat. Sifat campuran pada gradasi batas atas relatif kaku dan mempunyai kekesatan yang tinggi.

4.3.3 Hubungan Kadar Aspal Dengan *Marshall Qoutient* (MQ)

Marshall Quotient adalah perbandingan antara nilai stabilitas dengan nilai *flow*. Tujuannya adalah untuk mendapatkan tingkat fleksibilitas dari suatu campuran. Fleksibilitas yang dimaksudkan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban yang berulang yang bekerja tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Dalam Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi II, nilai *Marshall Qoutient* minimum yang disyaratkan untuk Laston Lapisan Aus (AC-WC) gradasi kasar adalah 250 kg/mm.

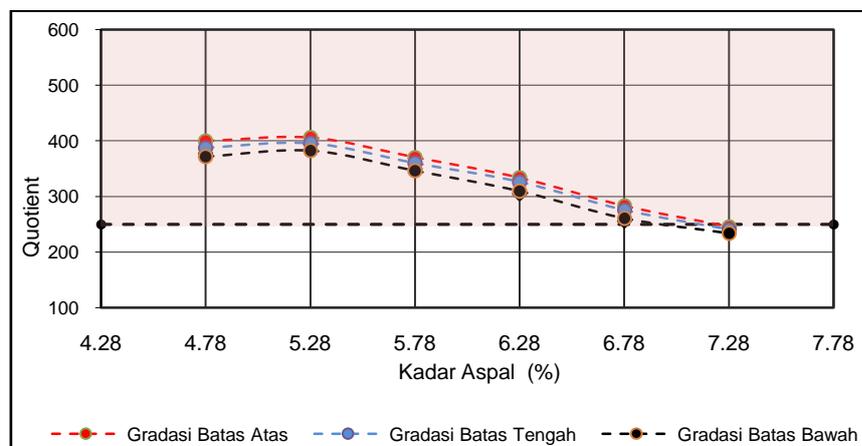
Hasil pengujian hubungan kadar aspal dengan *Marshall Quotient* pada penelitian ini untuk variasi gradasi batas atas, tengah, dan bawah dapat dilihat pada lampiran dan tabel 4.16 berikut :

Tabel 4.16 Hubungan Kadar Aspal dengan MQ

Kadar Aspal	MQ (Kg/mm)		
	Gradasi Batas Bawah	Gradasi Batas Tengah	Gradasi Batas Atas
4,78%	371,62	387,79	399,73
5,28%	382,49	395,59	405,97
5,78%	346,20	359,89	370,64
6,28%	309,61	326,36	333,52
6,78%	260,84	275,84	283,08
7,28%	233,85	240,77	245,96

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

Berdasarkan tabel 4.16 diatas, maka diperoleh grafik pada gambar 4.6 yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal dengan MQ adalah sebagai berikut :



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan MQ

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Berdasarkan gambar 4.6 menunjukkan bahwa hubungan kadar aspal terhadap *MQ* pada kadar aspal mulai dari 4,78% sampai 6,78% nilai *MQ* campuran pada Laston AC-WC gradasi kasar memenuhi persyaratan, sedangkan pada kadar aspal 7,28% tidak memenuhi spesiikasi.

Berdasarkan tabel 4.16 dan gambar 4.6, nilai *MQ* pada gradasi batas atas lebih besar dari pada gradasi batas tengah dan bawah. Besarnya nilai *MQ* menunjukkan bahwa campuran semakin kaku. Begitupun sebaliknya, apabila nilai *MQ* yang kecil maka campuran akan bersifat semakin lentur.

4.3.4 Hubungan Kadar Aspal dengan *Void in Mix (VIM)*

Banyaknya pori yang berada dalam beton aspal padat adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal setelah campuran beton aspal dipadatkan.

Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi II menetapkan nilai minimum yang disyaratkan untuk *VIM* adalah 3.0 % dan maksimum 5.0%. *VIM* mempunyai pengaruh yang cukup besar pada kualitas suatu campuran beraspal. Apabila nilai *VIM* tinggi dan kadar aspal rendah dalam campuran maka akan menghasilkan rongga-rongga yang banyak dalam campuran yang akan mengakibatkan penurunan yang lebih cepat, yakni tidak mampu menerima beban berulang sehingga terjadi alur (*rutting*) dan retak. Sedangkan apabila nilai *VIM* terlalu kecil dan kadar aspal tinggi akan menyebabkan kelebihan aspal karena rongga-rongga sudah terisi aspal sehingga aspal akan meleleh keluar (*bleeding*) pada saat adanya pemadatan tambahan akibat beban lalu lintas (*Sukirman, 2003*).

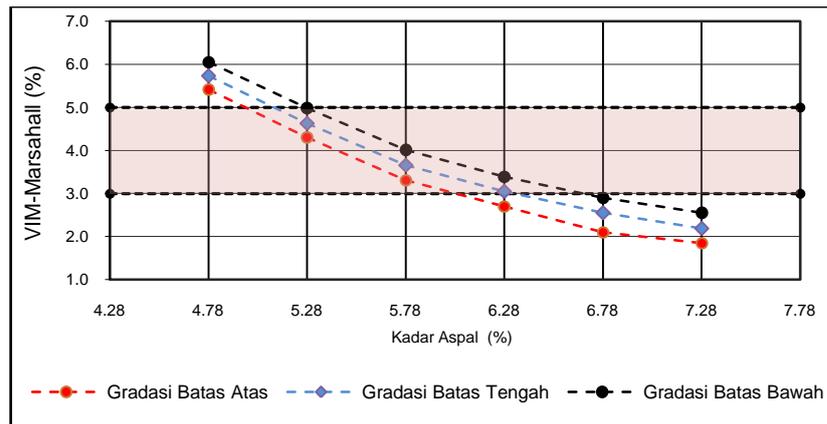
Hasil pengujian hubungan kadar aspal dengan *VIM* dalam penelitian ini untuk variasi gradasi batas atas, tengah, dan bawah dapat dilihat pada tabel 4.17 berikut ini :

Tabel 4.17 Hubungan kadar aspal dengan *VIM*

Kadar Aspal	<i>VIM</i> (%)		
	Gradasi Batas Bawah	Gradasi Batas Tengah	Gradasi Batas Atas
4,78%	6,05	5,73	5,41
5,28%	4,98	4,63	4,30
5,78%	4,01	3,66	3,31
6,28%	3,39	3,05	2,70
6,78%	2,90	2,55	2,10
7,28%	2,55	2,19	1,85

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

Berdasarkan tabel 4.17 di atas, maka diperoleh grafik pada gambar 4.7 yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal dengan *VIM* adalah sebagai berikut :



Gambar 4.7 Grafik Hubungan *VIM* dengan Kadar Aspal

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Dari tabel 4.17 dan gambar 4.7 menunjukkan bahwa hubungan antara kadar aspal dan *VIM* cenderung berbanding terbalik. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal maka rongga udara dalam campuran padat akan semakin kecil, sedangkan semakin kecil kadar aspal maka nilai rongga udara dalam campuran padat akan semakin besar. *VIM* yang terlalu besar akan menyebabkan beton aspal padat berkurang kekedapan airnya, sehingga berakibat pada meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal, sedangkan bila *VIM* kecil dan kadar aspal tinggi akan menyebabkan lapisan aspal meleleh (*bleeding*) pada saat pemadatan tambahan akibat lalulintas.

Dari tabel 4.17 dan gambar 4.7, hubungan kadar aspal terhadap *VIM* diatas terlihat bahwa dalam hasil penelitian untuk variasi gradasi batas atas diperoleh hasil hubungan kadar aspal terhadap *VIM* yang tidak memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga tahun 2010 revisi II yaitu pada kadar aspal 4,78% dan pada kadar aspal 6,28%-7,28%. Sedangkan kadar aspal yang memenuhi syarat yaitu pada kadar aspal 5,28%-5,78%.

Pada gambar 4.7, nilai *VIM* pada gradasi batas atas lebih kecil dari pada gradasi batas tengah dan bawah. Gradasi batas atas mempunyai nilai *VIM* yang kecil dikarenakan penambahan butiran halus lebih dan pengurangan pada butiran kasar sehingga campuran tersebut mempunyai rongga yang kecil pula karena telah diisi oleh butiran halus tersebut. *VIM* dibutuhkan sebagai tempat bergesarnya butir-butir agregat akibat terjadinya repetisi beban lalulintas dan menjadi tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. Nilai *VIM* yang terlalu kecil dapat mengakibatkan campuran mengalami *bleeding* apabila temperatur meningkat. *VIM* yang terlalu besar akan mengakibatkan campuran mengalami penurunan sifat durabilitas.

4.3.5 Hubungan Kadar Aspal dengan *Void in the Mineral Aggregate* (VMA)

VMA adalah volume pori dalam beton aspal padat jika seluruh selimut padat ditiadakan. Banyaknya pori yang berada dalam agregat campuran (*VMA = Voids in the Mineral Aggregate*), adalah banyaknya pori di antara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat termasuk yang terisi oleh aspal. Nilai VMA tersebut dinyatakan dalam persen.

Dalam grafik hasil pengujian pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai VMA cenderung berbanding terbalik dengan kadar aspal atau dengan kata lain nilai VMA akan semakin kecil seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena dengan semakin besar kadar aspal maka semakin banyak aspal yang akan mengisi rongga-rongga diantara agregat sehingga dengan sendirinya VMA akan semakin kecil. Dalam penelitian ini terlihat bahwa nilai VMA akan turun sampai mencapai nilai minimum dan kemudian kembali bertambah dengan bertambahnya kadar aspal. VMA memiliki batas minimum 15% berdasarkan syarat Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi II.

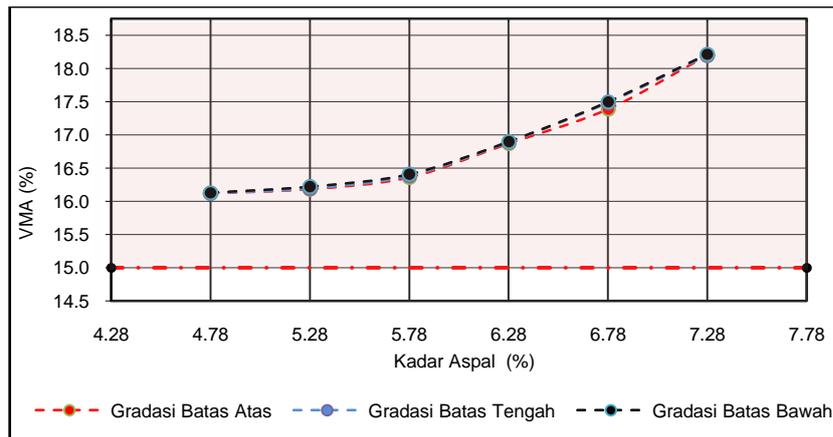
Dari hasil pengujian didapatkan nilai kadar aspal terhadap VMA untuk variasi gradasi batas atas seperti ditunjukkan pada tabel 4.18 berikut ini :

Tabel 4.18 Hubungan kadar aspal dengan VMA

Kadar Aspal	VMA (%)		
	Gradasi Batas Bawah	Gradasi Batas Tengah	Gradasi Batas Atas
4,78%	16,132	16,124	16,119
5,28%	16,222	16,193	16,185
5,78%	16,408	16,384	16,364
6,28%	16,901	16,890	16,873
6,78%	17,503	17,487	17,390
7,28%	18,219	18,197	18,196

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

Berdasarkan tabel 4.18 diatas, maka diperoleh grafik pada gambar 4.8 yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal dengan VMA adalah sebagai berikut :



Gambar 4.8 Grafik Hubungan VMA dengan Kadar Aspal

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Dari gambar 4.8, dapat terlihat bahwa nilai *VMA* bertambah seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena dengan semakin bertambahnya kadar aspal maka semakin banyak aspal yang akan mengisi rongga-rongga diantara agregat sehingga dengan sendirinya *VMA* akan semakin kecil. Berdasarkan tabel 4.18 dan gambar 4.8 diperoleh hasil hubungan kadar aspal terhadap *VMA* yang pada semua kadar aspal memenuhi syarat spesifikasi yang ditetapkan (min 15%).

Berdasarkan tabel 4.18 dan gambar 4.8, terlihat bahwa nilai *VMA* pada gradasi batas bawah lebih besar dibandingkan dengan gradasi batas tengah dan atas. Hal ini disebabkan oleh penambahan pada butiran kasar dan pengurangan pada butiran halus sehingga banyak rongga diantara butiran agregat. Begitupun sebaliknya, pada gradasi batas atas mempunyai nilai *VMA* yang lebih kecil dikarenakan penggunaan butiran halus yang lebih dominan sehingga memperkecil rongga-rongga diantara agregat.

4.3.6 Hubungan Kadar Aspal dengan *Void Filled with Bitumen (VFB)*

VFB (volume pori antara butir agregat terisi aspal) adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat atau *VFB* yang merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi *film* atau selimut aspal.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi II, dimana ketentuan *VFB* untuk Laston Lapis Aus (*AC-WC*) minimum 65%. Dari grafik di bawah ini terlihat bahwa semakin kecil kadar aspal maka semakin kecil pula nilai *VFB*, sebaliknya nilai *VFB* akan semakin besar seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan oleh karena semakin banyaknya rongga udara yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara akan semakin tinggi. Nilai *VFB* yang terlalu tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan mudah mengalami *bleeding*, sebaliknya jika nilai *VFB* terlalu kecil akan

menyebabkan kekedapan campuran terhadap air berkurang karena sedikit rongga yang terisi aspal. Dengan banyaknya rongga yang kosong air dan udara akan mudah masuk kedalam lapis keras sehingga keawetan dari campuran akan berkurang.

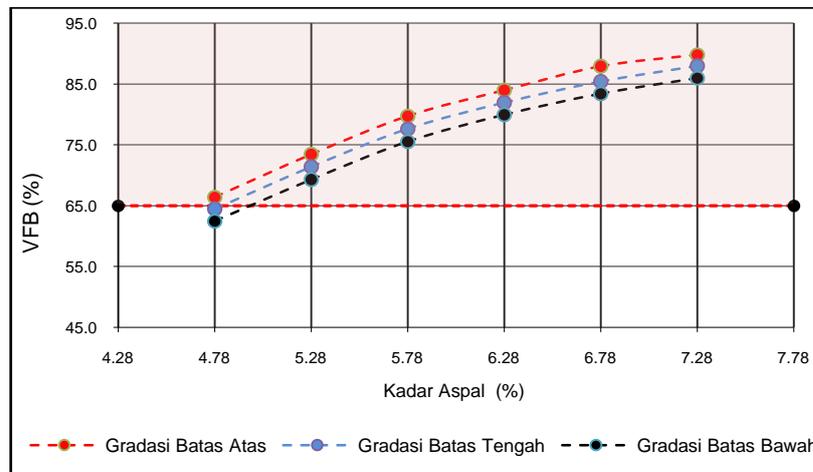
Dari hasil pengujian pada penelitian ini diperoleh nilai masing-masing kadar aspal terhadap *VFB* seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.19 berikut ini :

Tabel 4.19 Hubungan kadar aspal dengan *VFB*

Kadar Aspal	<i>VFB</i> (%)		
	Gradasi Batas Bawah	Gradasi Batas Tengah	Gradasi Batas Atas
4,78%	62,50	64,47	66,44
5,28%	69,30	71,41	73,43
5,78%	75,56	77,66	79,77
6,28%	79,94	81,94	84,00
6,78%	83,43	85,42	87,92
7,28%	86,00	87,97	89,83

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

Berdasarkan tabel 4.19 diatas, maka diperoleh grafik pada gambar 4.9 yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal dengan *VFB* adalah sebagai berikut :



Gambar 4.9 Grafik Hubungan kadar aspal dengan *VFB*

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Dari gambar 4.9 terlihat bahwa hubungan kadar aspal terhadap *VFB* memiliki batas minimum 65%. Dalam hasil penelitian pada gradasi batas atas,tengah, dan bawah diperoleh hasil hubungan kadar aspal terhadap *VFB* pada kadar aspal 4,78% untuk gradasi batas bawah dan tengah tidak memenuhi spesifikasi. Sedangkan pada kadar aspal 5,28% sampai 7,28% untuk gradasi batas atas, tengah, dan bawah memenuhi spesifikasi.

Berdasarkan tabel 4.19 dan 4.9 menunjukkan bahwa nilai *VFB* pada gradasi batas atas lebih tinggi dibandingkan dengan nilai *VFB* pada gradasi batas tengah dan bawah. Hal ini

disebabkan oleh penambahan butiran halus sehingga aspal yang dibutuhkan untuk menyelimuti campuran juga semakin banyak.

4.3.7 Hubungan Kadar Aspal dengan Kepadatan

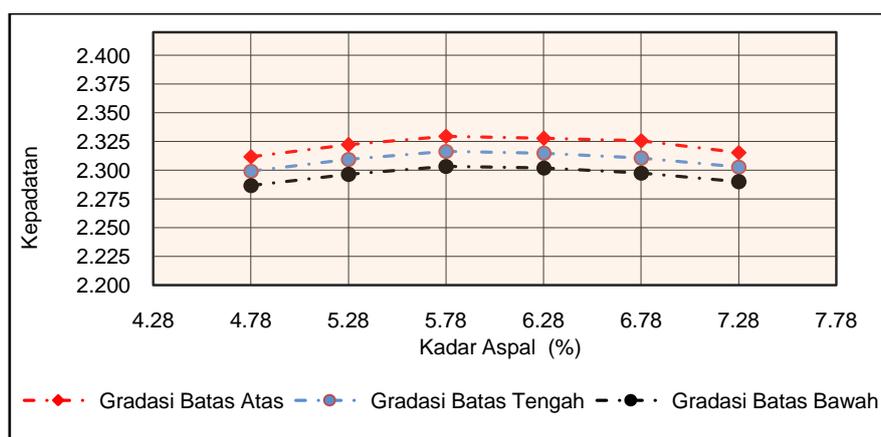
Hubungan antara nilai kepadatan dan kadar aspal dapat dilihat pada tabel 4.20 dan grafik pada gambar 4.10. Pada grafik terlihat bahwa seiring bertambahnya kadar aspal maka semakin besar kepadatan. Namun setelah melewati batas kadar aspal optimum, maka nilai kepadatan akan kembali menurun. Hal ini terjadi karena kadar terus bertambah setelah melewati batas kadar aspal optimum sehingga rongga-rongga sudah penuh terisi aspal sehingga aspal tidak dapat mengisi rongga tersebut. Hal ini menyebabkan selimut aspal menjadi tebal dan mudah terjadi kegemukan (*bleeding*) sehingga nilai kepadatan berkurang.

Tabel 4.20 Hubungan kadar aspal dengan Kepadatan

Kadar Aspal	Kepadatan		
	Gradasi Batas Bawah	Gradasi Batas Tengah	Gradasi Batas Atas
4,78%	2,287	2,299	2,312
5,28%	2,296	2,309	2,322
5,78%	2,303	2,316	2,330
6,28%	2,302	2,315	2,328
6,78%	2,298	2,310	2,326
7,28%	2,290	2,303	2,315

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

Berdasarkan tabel 4.20 diatas, maka diperoleh grafik pada gambar 4.10 yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal dengan Kepadatan adalah sebagai berikut :



Gambar 4.10 Grafik Hubungan kadar aspal dengan Kepadatan

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Berdasarkan tabel 4.20 dan gambar 4.10, dilihat bahwa seiring bertambahnya kadar aspal maka semakin besar kepadatan. Namun setelah melewati batas kadar aspal optimum,

maka nilai kepadatan akan kembali menurun. Hal ini terjadi karena kadar teras bertambah setelah melewati batas kadar aspal optimum sehingga rongga-rongga sudah penuh terisi aspal sehingga aspal tidak dapat mengisi rongga tersebut. Hal ini menyebabkan selimut aspal menjadi tebal dan mudah terjadi kegemukan (*bleeding*) sehingga nilai kepadatan berkurang.

Pada tabel dan gambar diatas, menunjukan bahwa nilai kepadatan pada gradasi batas atas lebih besar jika dibandingkan dengan nilai kepadatan gradasi batas tengah dan bawah. Hal ini dipengaruhi oleh penambahan butiran halus dan pengurangan pada butiran kasar sehingga menyebabkan campuran lebih padat karena adanya kondisi *interlocking* antara butiran, sehingga hanya ada sedikit rongga diantara agregat dan hanya ditempati oleh bahan pengikat untuk menambah kekuatan pada campuran sehingga mempunyai nilai kepadatan yang tinggi.

Berdasarkan hasil pengujian campuran laston AC-WC dengan variasi pada gradasi batas atas, tengah, dan bawah menggunakan metode *Marshall* dengan menggunakan material dari *quarry* Noemuti dapat dikatakan memenuhi semua parameter *Marshall*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

A. Variasi Gradasi Batas Atas

Nilai parameter marshall yang diperoleh dari hasil pengujian dalam penelitian campuran Laston AC-WC untuk variasi gradasi batas atas dapat dilihat pada tabel 4.21 dibawah ini :

Tabel 4.21 Nilai Parameter Marshall yang dicapai pada Pengujian

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi II
1	Kepadatan	-	2,329	
2	Stabilitas	Kg	1.144,06	> 800 kg
3	<i>Flow</i>	mm	3,115	> 3 mm
4	<i>MQ</i>	Kg/mm	367,376	> 250 kg/mm
5	<i>VIM</i>	%	3,289	3 - 5 %
6	<i>VMA</i>	%	16,434	> 15 %
7	<i>VFB</i>	%	79,991	> 65

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

B. Variasi Gradasi Batas Tengah

Nilai parameter marshall yang diperoleh dari hasil pengujian dalam penelitian campuran Laston AC-WC untuk variasi gradasi batas tengah dapat dilihat pada tabel 4.22 dibawah ini :

Tabel 4.22 Nilai parameter marshall yang dicapai pada pengujian

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi II
1	Kepadatan	-	2,316	
2	Stabilitas	Kg	1.134,90	> 800 kg
3	Flow	mm	3,228	> 3 mm
4	MQ	Kg/mm	352,29	> 250 kg/mm
5	VIM	%	3,507	3 - 5 %
6	VMA	%	16,537	> 15 %
7	VFB	%	78,784	> 65

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

C. Variasi Gradasi Batas Bawah

Nilai parameter marshall yang diperoleh dari hasil pengujian dalam penelitian campuran Laston AC-WC untuk variasi gradasi batas bawah dapat dilihat pada tabel 4.23 dibawah ini :

Tabel 4.23 Nilai Parameter Marshall yang dicapai pada Pengujian

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Uji	Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi II
1	Kepadatan	-	2,303	
2	Stabilitas	Kg	1.106,73	> 800 kg
3	Flow	mm	3,372	> 3 mm
4	MQ	Kg/mm	329,812	> 250 kg/mm
5	VIM	%	3,691	3 - 5 %
6	VMA	%	16,649	> 15 %
7	VFB	%	77,815	> 65

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

Semakin tinggi kadar aspal maka nilai stabilitas dan nilai kepadatan akan semakin meningkat hingga mencapai batas optimum. Namun setelah melewati batas optimum maka nilai stabilitas dan nilai kepadatan akan menurun kembali karena selimut film aspal, yang sudah ada sudah menjadi tebal sehingga mudah terjadi kegemukan (*bleeding*). Dan

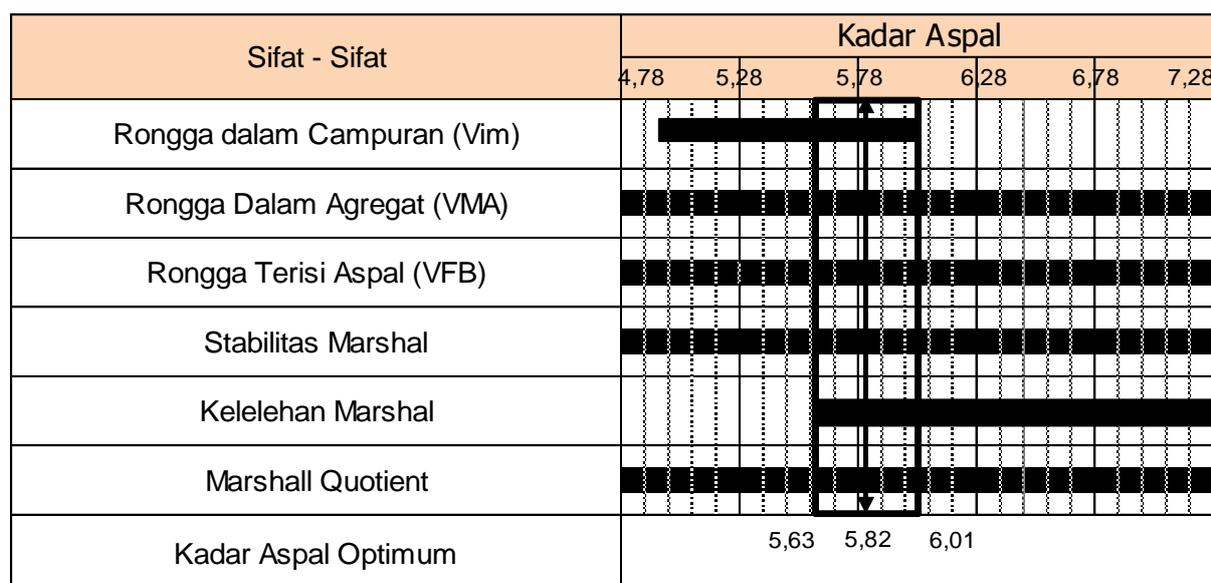
semakin tinggi kadar aspal maka nilai *VMA* dan *VFB* akan semakin tinggi karena rongga-rongga yang ada antar agregat sudah terisi aspal. Sedangkan semakin tinggi kadar aspal maka nilai *VIM* akan semakin rendah karena rongga-rongga yang ada dalam campuran sudah penuh terisi aspal.

4.4. Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum adalah rentang kadar aspal yang masing-masing parameter memenuhi persyaratan *Marshall*. Kadar aspal optimum yang dicapai untuk tiga variasi gradasi tersebut memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan oleh spesifikasi Bina Marga tahun 2010 revisi II yaitu menyangkut stabilitas, *flow*, *MQ*, *VIM*, *VMA*, *VFB*, dengan nilai kadar aspal optimum berbeda pada masing-masing variasi gradasi yaitu untuk variasi gradasi batas atas adalah 5,82 %, variasi gradasi batas tengah adalah 5,92 % dan untuk variasi gradasi batas bawah adalah 6,03 %. Kadar aspal optimum dapat ditentukan dengan membuat diagram batang berdasarkan nilai hasil pengujian terhadap seluruh parameter *Marshall*, dengan menentukan bahwa kadar aspal optimum berada pada titik tengah dari rentang kadar aspal optimum yang memenuhi persyaratan dan spesifikasi. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.11 sampai dengan gambar 4.13 dibawah ini.

A. Variasi Gradasi Batas Atas

Kadar aspal optimum yang diperoleh dari hasil pengujian dalam penelitian campuran Laston *AC-WC*, sebagai nilai dari interval 5,63% - 6,01% adalah 5,82 %. Untuk variasi gradasi batas atas dapat dilihat pada gambar 4.11 dibawah ini :

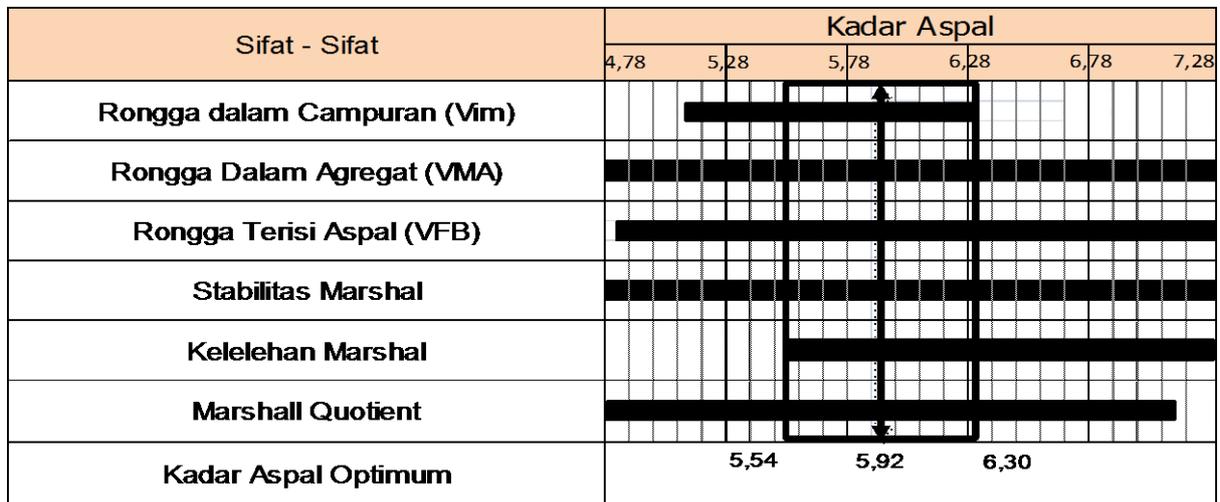


Gambar 4.10 Diagram Batang Kadar Aspal Optimum Variasi Gradasi Batas Atas

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

B. Variasi Gradasi Batas Tengah

Kadar aspal optimum yang diperoleh dari hasil pengujian dalam penelitian campuran Laston AC-WC, sebagai nilai dari interval 5,54% - 6,30% adalah 5,92 %. Untuk variasi gradasi batas tengah dapat dilihat pada gambar 4.12 dibawah ini :

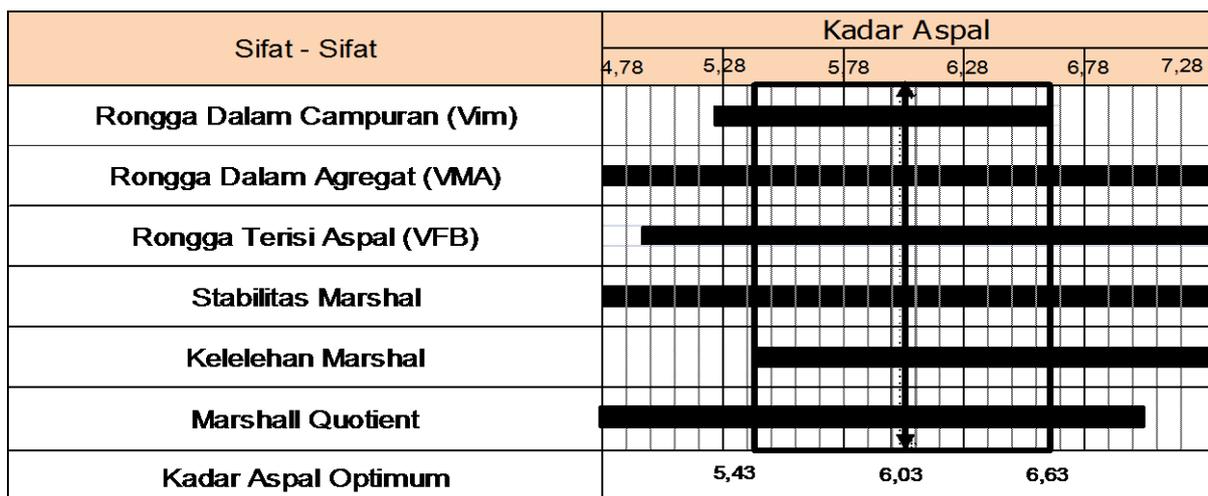


Gambar 4.11 Diagram Batang Kadar Aspal Optimum Variasi Gradasi Batas Tengah

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

C. Variasi Gradasi Batas Bawah

Kadar aspal optimum yang diperoleh dari hasil pengujian dalam penelitian campuran Laston AC-WC, sebagai nilai dari interval 5,43% - 6,63% adalah 6,03 %. Untuk variasi gradasi batas bawah dapat dilihat pada gambar 4.13 dibawah ini:



Gambar 4.12 Diagram Batang Kadar Aspal Optimum Variasi Gradasi Batas Bawah

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Keterangan :
 = Kadar aspal optimum
 = Parameter *Marshall* (yang memenuhi)
 = Batas minimum dan maksimum

4.4.1 Komposisi Campuran Laston AC-WC Untuk variasi Gradasi Batas Atas, Tengah, dan Bawah

Komposisi Campuran Laston Lapis Aus (AC-WC) dengan menggunakan material dari quarry Noemuti dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

A. Variasi Gradasi Batas Atas

Rangkuman proporsi agregat dalam campuran Laston AC-WC untuk variasi gradasi batas atas dapat dilihat pada tabel 4.24 dibawah ini :

Tabel 4.24 Rangkuman proporsi campuran untuk variasi gradasi batas atas

No	Komponen	Satuan	Proporsi	Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi II	Keterangan
1	Material Tertahan saringan $\frac{3}{4}$ "	%	0	-	Tidak diisyaratkan
2	Material Tertahan saringan $\frac{1}{2}$ "	%	0	-	Tidak diisyaratkan
3	Material Tertahan saringan $\frac{3}{8}$ "	%	10	-	Tidak diisyaratkan
4	Material Tertahan saringan No.4	%	27	-	Tidak diisyaratkan
5	Material Tertahan saringan No.8	%	23,9	-	Tidak diisyaratkan
6	Material Tertahan saringan No.16	%	13,5	-	Tidak diisyaratkan
7	Material Tertahan saringan No.30	%	6,5	-	Tidak diisyaratkan
8	Material Tertahan saringan No.50	%	3,6	-	Tidak diisyaratkan
9	Material Tertahan saringan No.100	%	2,5	-	Tidak diisyaratkan
10	Material Tertahan saringan No.200	%	3	-	Tidak diisyaratkan
11	Material Lolos saringan No.200	%	10	-	Tidak diisyaratkan
12	Kadar aspal	%	5.82	-	Tidak diisyaratkan

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

B. Varasi Gradasi Batas Tengah

Rangkuman proporsi agregat dalam campuran Laston AC-WC untuk variasi gradasi batas tengah dapat dilihat pada tabel 4.25 dibawah ini :

Tabel 4.25 Rangkuman proporsi campuran untuk variasi gradasi batas tengah

No	Komponen	Satuan	Proporsi	Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi II	Keterangan
1	Material Tertahan saringan $\frac{3}{4}$ "	%	0	-	Tidak diisyaratkan
2	Material Tertahan saringan $\frac{1}{2}$ "	%	5	-	Tidak diisyaratkan
3	Material Tertahan saringan $\frac{3}{8}$ "	%	14	-	Tidak diisyaratkan

4	Material Tertahan saringan No.4	%	28	-	Tidak diisyaratkan
5	Material Tertahan saringan No.8	%	19,45	-	Tidak diisyaratkan
6	Material Tertahan saringan No.16	%	11,25	-	Tidak diisyaratkan
7	Material Tertahan saringan No.30	%	6,25	-	Tidak diisyaratkan
8	Material Tertahan saringan No.50	%	3,8	-	Tidak diisyaratkan
9	Material Tertahan saringan No.100	%	2,75	-	Tidak diisyaratkan
10	Material Tertahan saringan No.200	%	2,5	-	Tidak diisyaratkan
11	Material Lolos saringan No.200	%	7,0	-	Tidak diisyaratkan
12	Kadar aspal	%	5.92	-	Tidak diisyaratkan

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

C. Variasi Gradi Batas bawah

Rangkuman proporsi agregat dalam campuran Laston AC-WC untuk variasi gradasi batas bawah dapat dilihat pada Lampiran dan Tabel 4.26 dibawah ini :

Tabel 4.26 Rangkuman proporsi campuran untuk variasi gradasi batas bawah

No	Komponen	Satuan	Proporsi	Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi II	Keterangan
1	Material Tertahan saringan $\frac{3}{4}$ "	%	0	-	Tidak diisyaratkan
2	Material Tertahan saringan $\frac{1}{2}$ "	%	10,0	-	Tidak diisyaratkan
3	Material Tertahan saringan $\frac{3}{8}$ "	%	18,0	-	Tidak diisyaratkan
4	Material Tertahan saringan No.4	%	29,0	-	Tidak diisyaratkan
5	Material Tertahan saringan No.8	%	15,0	-	Tidak diisyaratkan
6	Material Tertahan saringan No.16	%	9,0	-	Tidak diisyaratkan
7	Material Tertahan saringan No.30	%	6,0	-	Tidak diisyaratkan
8	Material Tertahan saringan No.50	%	4,0	-	Tidak diisyaratkan
9	Material Tertahan saringan No.100	%	3,0	-	Tidak diisyaratkan
10	Material Tertahan saringan No.200	%	2,0	-	Tidak diisyaratkan
11	Material Lolos saringan No.200	%	4,0	-	Tidak diisyaratkan
12	Kadar aspal	%	6,03	-	Tidak diisyaratkan

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

4.4.2 Rekapitulasi Hasil Penelitian Variasi Gradasi Batas Atas, Tengah, dan Bawah

A. Variasi Gradasi Batas Atas

Rekapitulasi hasil penelitian campuran Laston AC-WC untuk variasi gradasi batas atas dapat dilihat pada tabel 4.27 dibawah ini :

Tabel 4.27 Rekapitulasi hasil penelitian variasi gradasi batas atas

NO	SIFAT-SIFAT	SATUAN	HASIL	SPESIFIKASI	KETERANGAN
1	Kadar Aspal Total	%	5,82	-	Tidak disyaratkan
2	Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm)	-	2,409	-	Tidak disyaratkan
3	Berat Jenis Aspal	-	1,030	-	Tidak disyaratkan
4	Berat Jenis Bulk Agregat	-	2,624	-	Tidak disyaratkan
5	Proporsi Agregat	%	94,18	-	Tidak disyaratkan
6	Penyerapan Aspal	%	0,009	Max 1.2	Memenuhi
7	Kadar Aspal Efektif	%	5,813	Min 4.3	Memenuhi
8	Berat Jenis Contoh Camp. Padat (Gmb)	-	2,329	-	Tidak disyaratkan
9	Stabilitas Marshall	Kg	1.144,06	Min 800	Memenuhi
10	Kelelahan Marshall	mm	3,115	Min 3	Memenuhi
11	Marshall Quotient	kg/mm	367,38	Min 250	Memenuhi
12	Rongga dalam campuran (VIM)	%	3,29	3.0 - 5.0	Memenuhi
13	Rongga dalam agregat (VMA)	%	16,43	Min 15	Memenuhi
14	Rongga terisi aspal (VFB)	%	79,99	Min 65	Memenuhi

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

B. Variasi Gradasi Batas Tengah

Rekapitulasi hasil penelitian campuran Laston AC-WC untuk variasi gradasi batas tengah dapat dilihat pada tabel 4.28 dibawah ini :

Tabel 4.28 Rekapitulasi hasil penelitian variasi gradasi batas tengah

NO	SIFAT-SIFAT	SATUAN	HASIL	SPESIFIKASI	KETERANGAN
1	Kadar Aspal Total	%	5,92	-	Tidak disyaratkan
2	Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm)	-	2,404	-	Tidak disyaratkan
3	Berat Jenis Aspal	-	1,030	-	Tidak disyaratkan
4	Berat Jenis Bulk Agregat	-	2,610	-	Tidak disyaratkan
5	Proporsi Agregat	%	94,08	-	Tidak disyaratkan
6	Penyerapan Aspal	%	0,130	Max 1.2	Memenuhi
7	Kadar Aspal Efektif	%	5,788	Min 4.3	Memenuhi
8	Berat Jenis Contoh Camp. Padat (Gmb)	-	2,316	-	Tidak disyaratkan
9	Stabilitas Marshall	Kg	1.134,90	Min 800	Memenuhi
10	Kelelahan Marshall	mm	3,228	Min 3	Memenuhi
11	Marshall Quotient	kg/mm	352,29	Min 250	Memenuhi
12	Rongga dalam campuran (VIM)	%	3,507	3.0 - 5.0	Memenuhi
13	Rongga dalam agregat (VMA)	%	16,537	Min 15	Memenuhi
14	Rongga terisi aspal (VFB)	%	78,784	Min 65	Memenuhi

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

C. Variasi Gradasi Batas Bawah

Rekapitulasi hasil penelitian campuran Laston AC-WC untuk variasi gradasi batas bawah dapat dilihat pada tabel 4.29 dibawah ini :

Tabel 4.29 Rekapitulasi hasil penelitan variasi gradasi batas bawah

NO	SIFAT-SIFAT	SATUAN	HASIL	SPEKIFIKASI	KETERANGAN
1	Kadar Aspal Total	%	6,03	-	Tidak disyaratkan
2	Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm)	-	2,400	-	Tidak disyaratkan
3	Berat Jenis Aspal	-	1,030	-	Tidak disyaratkan
4	Berat Jenis Bulk Agregat	-	2,596	-	Tidak disyaratkan
5	Proporsi Agregat	%	93,97	-	Tidak disyaratkan
6	Penyerapan Aspal	%	0,251	Max 1.2	Memenuhi
7	Kadar Aspal Efektif	%	5,781	Min 4.3	Memenuhi
8	Berat Jenis Contoh Camp. Padat (Gmb)	-	2,303	-	Tidak disyaratkan
9	Stabilitas Marshall	Kg	1.106,73	Min 800	Memenuhi
10	Kelelahan Marshall	mm	3,372	Min 3	Memenuhi
11	Marshall Quotient	kg/mm	329,81	Min 250	Memenuhi
12	Rongga dalam campuran (VIM)	%	3,691	3.0 - 5.0	Memenuhi
13	Rongga dalam agregat (VMA)	%	16,649	Min 15	Memenuhi
14	Rongga terisi aspal (VFB)	%	77,815	Min 65	Memenuhi

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

4.5 Evaluasi Perbandingan Nilai Parameter *Marshall* Pada Variasi Gradasi Atas, Tengah, dan Bawah

Rekapitulasi hasil pengujian Marshall pada variasi gradasi batas atas, tengah, dan bawah pada tiap-tiap kadar aspal optimum dapat dilihat pada tabel 4.30 dibawah ini.

Tabel 4.30 Rekapitulasi hasil penelitan variasi gradasi batas atas, tengah, dan bawah

PARAMETER MARSHALL	GRADASI		
	BATAS BAWAH	BATAS TENGAH	BATAS ATAS
KEPADATAN	2,303	2,316	2,329
STABILITAS (Kg)	1106,73	1134,90	1144,06
FLOW (mm)	3,37	1134,90	3,11
MQ (Kg/mm)	329,81	352,29	367,38
VIM (%)	3,69	3,51	3,29
VMA (%)	16,65	16,54	16,43
VFB (%)	77,81	78,78	79,99

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

Nilai kepadatan yang tinggi membuat suatu perkerasan jalan mempunyai nilai stabilitas yang tinggi pula dengan nilai *VIM* (rongga diantara campuran) dan *VMA* (rongga diantara butir agregat) yang kecil. Dengan kondisi saling mengunci (*interlocking*) antara butir-butir agregat membuat nilai kelelahan (*flow*) menjadi kecil.

Berdasarkan tabel 4.30 diatas, dapat dilihat bahwa nilai kepadatan dan stabilitas serta fleksibilitas (*MQ*) pada gradasi batas atas lebih tinggi dibandingkan dengan variasi gradasi batas tengah dan bawah. Keadaan dengan nilai fleksibilitas yang tinggi menunjukkan bahwa campuran bersifat kaku. Proporsi agregat pada gradasi batas atas terjadi penambahan butiran halus dan pengurangan butiran kasar, sehingga butiran halus tersebut mengisi rongga diantara butiran kasar. Kondisi ini mengakibatkan campuran yang padat dengan sedikit rongga untuk ditempati oleh aspal. Campuran yang semakin padat akan memperkecil rongga didalam campuran (*VIM*) dan jarak antara butir agregat (*VMA*).

Sedangkan Nilai *VIM* dan *VMA* pada gradasi batas bawah lebih tinggi dibandingkan gradasi batas tengah dan atas. Hal ini dikarenakan terjadi Penambahan penggunaan butiran kasar dan pengurangan butiran halus sehingga mengakibatkan lebih banyak rongga didalam campuran serta memperbesar jarak diantara agregat. Nilai *VIM* yang tinggi akan mengakibatkan campuran beton aspal padat berkurang kekedapan air sehingga terjadi proses oksidasi yang dapat mempercepat penuaan dan menurunkan durabilitas (keawetan). Kondisi ini mempunyai tingkat kepadatan dan stabilitas yang rendah. Nilai fleksibilitas (*MQ*) juga semakin rendah karena rongga-rongga yang ada telah diisi oleh aspal sehingga membuat campuran tersebut bersifat lentur.