

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengambilan Data

4.1.1. Kronologis Pengambilan Material

Dalam penelitian ini pengambilan data sampel material secara langsung yaitu berupa agregat kasar (batu pecah $\frac{3}{4}$ " dan batu pecah $\frac{1}{2}$ "), agregat halus (abu batu), yang diambil dari *Quarry* Takari milik PT. Bumi Indah. Pengambilan material agregat kasar dan agregat halus dilakukan dengan Metode *Systematic Random Sampling* tujuannya untuk mewakili seluruh sampel yang ada. Cara pengambilannya menggunakan sekop, cara menyekop diambil pada bagian bawah, bagian tengah dan bagian atas penumpukan material (*stok pile*) tersebut, agregat kemudian dimasukkan ke dalam karung. Selanjutnya dibawa ke Laboratorium Pengujian Dinas PUPR Bidang Bina Marga Provinsi NTT untuk dilakukan pengujian.

4.1.2 Persiapan Peralatan dan Material

4.1.2.1 Persiapan Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Satu set saringan
- b. Timbangan
- c. Mesin *Los Angeles*
- d. Bak perendaman
- e. Alat Vakum
- f. Cetakan benda uji (Briket)
- g. Alat tes marshall
- h. Water Bath dan oven.

Alat bantu lainnya berupa ember dan kain, dan setiap alat yang digunakan dalam penelitian ini harus dalam kondisi baik, untuk timbangan sebelum digunakan harus.

4.1.2.2 Persiapan Material

Material yang digunakan yaitu agregat kasar batu pecah $\frac{3}{4}$ " dan batu pecah $\frac{1}{2}$ ", agregat halus berupa abu batu dan filler, milik PT. Bumi Indah.

4.1.3 Data

Data – data yang didapat pada pengujian di laboratorium antara lain,

1. Data Primer

Data yang diperoleh dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan, gradasi, abrasi dan pengujian *Marshall*.

2. Data Sekunder

Data aspal penetrasi 60/70 produksi Pertamina yang diperoleh dari Laboratorium Pengujian Dinas PUPR Provinsi NTT yaitu data pengujian aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70.

4.2. Pengujian Material

4.2.1. Agregat Kasar

Hasil pengujian agregat kasar berupa pengujian analisa saringan, berat jenis dan penyerapan air, pengujian keausan agregat (abrasi) dengan mesin Los Angeles

4.2.1.1 Pengujian Analisa saringan/Gradasi

Pengujian gradasi dilakukan dengan cara menyaring masing-masing material baik itu agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi untuk mendapatkan persentase lolos saringan. Pengujian gradasi atau pemisahan ukuran butiran dilakukan guna mendapatkan ukuran butiran setiap jenis material sesuai dengan spesifikasi pada saat proporsi agregat gabungan. Pengujian gradasi untuk setiap material menggunakan dua benda uji yaitu benda uji I dan benda uji II yang bertujuan untuk mendapatkan nilai rata-rata. Nilai rata-rata inilah yang digunakan dalam perhitungan proporsi agregat gabungan. Hasil pengujian gradasi dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat kasar (Batu Pecah ^{3/4})

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 3159		Berat benda uji II (g) = 2484		Rata-Rata
				Persen Tertahan		Persen Lolos		
(ASTM)	(mm)	I	II	I	II	I	II	
1	25	0	0	0	0	100	100	100
3/4	19,0	545	445	17,25	17,91	82,75	82,09	82,42
1/2	12,5	1945	1645	61,57	66,22	38,43	33,78	36,10
3/8	9,50	2615	2014	82,78	81,08	17,22	18,92	18,07
No.4	4,75	3125	2458	98,92	98,95	1,08	1,05	1,06
No.8	2,36							
No.16	1,18							
No.30	0,600							
No.50	0,300							
No.100	0,150							
No.200	0,075							

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorim

Contoh Perhitungan :

a. Benda Uji I

1. Berat benda Uji I = 3159 gr
2. Jumlah berat tertahan benda uji I = 545

$$\text{Persen Tertahan} = \frac{\text{Jumlah berat tertahan}}{\text{Berat benda uji}} \times 100 \equiv \frac{545}{3159} \times 100 = 17,25 \%$$

$$\text{Persen Lolos} = 100 - \text{Persen tertahan} = 100 - 17,25 = 82,75 \%$$

b. Benda Uji II

1. Berat benda Uji II = 2484 gr
2. Jumlah berat tertahan benda uji II = 445

$$\text{Persen Tertahan} = \frac{\text{Jumlah berat tertahan}}{\text{Berat benda uji}} \times 100 \equiv \frac{445}{2484} \times 100 = 17,91 \%$$

$$\text{Persen Lolos} = 100 - \text{Persen tertahan} = 100 - 17,91 = 82,09 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata Persen Lolos} &= \frac{\text{Persen Lolos I} + \text{Persen Lolos II}}{2} \\ &= \frac{82,75 + 82,09}{2} = 82,42\% \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat kasar (Batu Pecah ½)

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 1988				Rata-Rata
				Persen Tertahan		Persen Lolos		
(ASTM)	(mm)	I	II	I	II	I	II	
1	25	0	0	0	0	100	100	100
3/4	19,0	0	0	0	0	100	100	100
1/2	12,5	0	0	0	0	100	100	100
3/8	9,50	315	274	15,85	16,00	84,15	84,00	84,08
No.4	4,75	1.245	1.077	62,63	62,91	37,37	37,09	37,23
No.8	2,36	1.798	1.536	90,44	89,72	9,56	10,28	9,92
No.16	1,18	1.986	1.710	99,90	99,88	0,10	0,12	0,11
No.30	0,60							
No.50	0,30							
No.100	0,15							
No.200	0,075							

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Tujuan pengujian analisa saringan ini adalah untuk menentukan pembagian butiran dari agregat kasar dan agregat halus dengan menggunakan saringan. Pengujian analisa saringan batu pecah ¾ dan analisa saringan batu pecah ½, memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu agregat kasar yang tertahan saringan No. 4 sehingga dapat digunakan sebagai bahan campuran AC-BC (*Asphalt Concrete - Binder Course*).

4.2.1.2. Pengujian Berat Jenis dan penyerapan air

Pada pengujian ini agregat yang digunakan adalah agregat dengan ukuran ¾" dan ½" atau agregat yang tertahan saringan No. 4 yang berasal dari *Quarry* Takari. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan berat jenis, berat jenis kering permukaan jenuh, berat jenis semu dan penyerapan air. Hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada Table 4.3 dan Tabel 4.4 berikut :

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (Batu Pecah ¾)

Uraian		A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh	BJ	4278	4456	gram	
Berat benda uji di dalam air	BA	2612	2689	gram	
Berat benda uji kering oven	BK	4251	4425	gram	
Uraian		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	B_k	2,552	2,504	2,528	-
	$B_j - B_a$				
Berat Jenis (ssd)	B_j	2,568	2,522	2,545	-
	$B_j - B_a$				
Berat Jenis (apparent)	B_k	2,594	2,549	2,571	-
	$B_k - B_a$				
Penyerapan Air	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	0,635	0,701	0,668	Max 3

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Table 4.4 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (Batu Pecah ½)

Uraian		A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh	BJ	3192	3854	gram	
Berat benda uji di dalam air	BA	1972	2345	gram	
Berat benda uji kering oven	BK	3169	3826	gram	
Uraian		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	B_k	2,598	2,535	2,566	-
	$B_j - B_a$				
Berat Jenis (ssd)	B_j	2,616	2,554	2,585	-
	$B_j - B_a$				
Berat Jenis (apparent)	B_k	2,647	2,583	2,615	-
	$B_k - B_a$				
Penyerapan Air	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	0,726	0,732	0,729	Max 3

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air, batu pecah ¾ dan ½ memenuhi standar yang di syaratkan yaitu Max 3% (Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2).

4.2.1.3. Pengujian Keausan Agregat (Abrasi) dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian ini dilakukan pada material batu pecah ¾ yang lolos saringan No. ¾ dan tertahan saringan No.½, dan batu pecah ½ yang lolos saringan No. ½ dan tertahan saringan No.¾". Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No.12. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Keausan Agregat (Abrasi)

PENGUJIAN KEAUSAN AGREGAT DENGAN MESIN LOS ANGELES (SNI 03 - 2417 - 2008)					
				Nama Contoh : Batu Pecah 3/4 dan 1/2	
Saringan				GRADASI PEMERIKSAAN	
Bukaan Saringan	Lolos	Bukaan Saringan	Tertahan	Berat (a)	Berat (b)
(mm)	ASTM	(mm)	ASTM	gram	gram
19,1	(3/4")	12,7	(1/2")	2500	2500
12,7	(1/2")	9,52	(3/8")	2500	2500
Jumlah Berat (a)				5000	5000
Berat tertahan saringan No.12 sesudah percobaan (b)				3922	3908
Keausan (%) (c)				21,58	21,84
Keausan Rata - rata =				21,70	
Ket : Keausan (c) = ((a-b)/a) x 100%					
I.		a. =	5000,0 gram	II.	
		b. =	3922,0 gram	a. =	
		a - b =	1078,0 gram	b. =	
				a - b =	
Keausan -I		=	$\frac{a - b}{a} \times 100\%$	=	
Keausan -II		=	$\frac{a - b}{a} \times 100\%$	=	
Keausan rata-rata		=	21,70	Spec : Max 40	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Dari hasil pengujian keausan (abrasi) agregat kasar batu pecah $\frac{3}{4}$ dan batu pecah $\frac{1}{2}$, memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yaitu maksimum 40% (Spesifikasi Bina Marga Revisi 2).

4.2.2. Agregat Halus

4.2.2.1. Pengujian Analisa saringan

Material yang digunakan pada pengujian analisa saringan agregat halus adalah abu batu dan pasir. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada tabel 4.6 dan tabel 4.7 berikut ini.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus (Abu Batu)

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 2033				Rata- Rata
				Berat benda uji II (g) = 2019				
(ASTM)	(mm)	I	II	Persen Tertahan		Persen Lolos		
				I	II	I	II	
1	25	0	0	0	0	100	100	100
3/4	19,0	0	0	0	0	100	100	100
1/2	12,5	0	0	0	0	100	100	100
3/8	9,50	0	0	0	0	100	100	100
No.4	4,75	0	0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0
No.8	2,36	351	346	17,27	17,14	82,73	82,86	82,80
No.16	1,18	725	705	35,66	34,92	64,34	65,08	64,71
No.30	0,60	1.175	1.158	57,80	57,36	42,20	42,64	42,42
No.50	0,30	1.425	1.432	70,09	70,93	29,91	29,07	29,49
No.100	0,150	1.745	1.706	85,83	84,50	14,17	15,50	14,83
No.200	0,075	1.871	1.897	92,03	93,96	7,97	6,04	7,01

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir)

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 2088				Rata- Rata
				Berat benda uji II (g) = 2064				
(ASTM)	(mm)	I	II	Persen Tertahan		Persen Lolos		
				I	II	I	II	
1	25	0	0	0	0	100	100	100
3/4	19,0	0	0	0	0	100	100	100,00
1/2	12,5	0	0	0	0	100	100	100,00
3/8	9,50	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.4	4,75	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.8	2,36	312	295	14,94	14,29	85,06	85,71	85,38
No.16	1,18	758	829	36,30	40,16	63,70	59,84	61,77
No.30	0,60	1.184	1.125	56,70	54,51	43,30	45,49	44,39
No.50	0,30	1.645	1.645	78,78	79,70	21,22	20,30	20,76
No.100	0,15	1.703	1.700	81,56	82,36	18,44	17,64	18,04
No.200	0,075	1.925	1.904	92,19	92,25	7,81	7,75	7,78

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Pengujian analisa saringan agregat halus abu batu dan analisa saringan agregat halus pasir, memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu agregat halus yang lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200 sehingga dapat digunakan sebagai bahan campuran AC-BC (*Asphalt Concrete - Binder Course*).

4.2.2.2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pada pengujian ini agregat yang digunakan adalah abu batu dan Pasir atau agregat yang lolos saringan No. 4 yang berasal dari *Quarry* Takari. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan berat jenis (Bulk), berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu (Apparent) dan penyerapan air (Absorption). Hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan 4.9 berikut :

Table 4.8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (Abu Batu)

No. Contoh			A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500		500	500	gram	
Berat piknometer + air (25°C)	B		673,70	664,30	gram	
Berat piknometer + air + benda uji	Bt		982,50	975,50	gram	
Berat benda uji kering oven (Bk)	BK		492,5	491,6	gram	
			A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	Bk		2,576	2,604	2,590	-
	B + 500 - Bt					
Berat Jenis kering permukaan jenuh	500		2,615	2,648	2,632	-
	B + 500 - Bt					
Berat Jenis (apparent)	Bk		2,681	2,725	2,703	-
	B + Bk - Bt					
Penyerapan Air	500 - Bk	x 100%	1,523	1,709	1,616	Max 3
	Bk					

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (Pasir)

No. Contoh			A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500		500	500	gram	
Berat piknometer + air (25°C)	B		673,3	663,9	gram	
Berat piknometer + air + benda uji	Bt		977,6	967,8	gram	
Berat benda uji kering oven (Bk)	BK		492,7	493,8	gram	
			A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	Bk		2,518	2,518	2,518	-
	B + 500 - Bt					
Berat Jenis kering permukaan jenuh	500		2,555	2,550	2,552	-
	B + 500 - Bt					
Berat Jenis (apparent)	Bk		2,615	2,600	2,608	-
	B + Bk - Bt					
Penyerapan Air	500 - Bk	x 100%	1,482	1,256	1,369	Max 3
	Bk					

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Pengujian berat jenis dan penyerapan pada abu batu dan Pasir. memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yaitu Max 3% (Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2).

4.2.3. Filler

Bahan pengisi (*Filler*) adalah bahan yang harus kering dan bebas dari gumpalan dan mempunyai sifat nonplastik dan mengandung bahan yang lolos saringan No.200 (0,075) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya (Bina Marga 2018, Revisi 2). Pengujian yang dilakukan adalah analisa saringan.

4.2.3.1. Pengujian Analisa Saringan

Material yang digunakan pada pengujian analisa saringan *Filler* dapat dilihat pada tabel berikut ini

Tabel 4.10 Hasil Pengujian *Filler*

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 500				Rata-Rata
				Berat benda uji II (g) = 500				
(ASTM)	(mm)	I	II	Persen Tertahan		Persen Lolos		
				I	II	I	II	
1	25	0	0	0	0	100	100	100
3/4	19,0	0	0	0	0	100	100	100
1/2	12,5	0	0	0	0	100	100	100
3/8	9,50	0	0	0	0	100	100	100
No.4	4,75	0	0	0	0	100	100	100
No.8	2,36	0	0	0	0	100	100	100
No.16	1,18	0	0	0	0	100	100	100
No.30	0,60	0	0	0	0	100	100	100
No.50	0,30	3	4	0,6	0,8	99,4	99,2	99,30
No.100	0,15	11	10	2,2	2,0	97,8	98,0	97,90
No.200	0,075	20	21	4,0	4,2	96,0	95,8	95,90

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Pengujian analisa saringan *Filler* semen *Portland* pada tabel 4.13 memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu lolos 100% saringan No.200.

4.3 Rancangan komposisi Gradasi Campuran untuk (Tiga) 3 Variasi Campuran

Gradasi Agregat gabungan ini didapat dari hasil pengujian analisa saringan dari tiap-tiap fraksi yaitu : fraksi agregat kasar (batu pecah $\frac{3}{4}$ dan batu pecah $\frac{1}{2}$), fraksi agregat halus (abu batu dan pasir) dan fraksi bahan pengisi (*filler*). Hasil pengujian analisa saringan tersebut diambil nilai persen lolos rata-rata dari setiap fraksi kemudian dilakukan rancangan komposisi campuran sehingga diperoleh gradasi agregat gabungan yang diinginkan. Tujuan dibuat komposisi agregat gabungan yaitu untuk menentukan besarnya persentase dari masing - masing fraksi sehingga hasil persentase tersebut dapat diperoleh perkiraan kadar aspal (Pb) atau biasa disebut dengan kadar aspal rencana.

4.3.1 Rancangan komposisi Agregat Gabungan (Variasi 1)

Campuran agregat ini terdiri dari batu pecah $\frac{3}{4}$ (28,95%), batu pecah $\frac{1}{2}$ (26,50%), abu batu (35,55%), pasir alam (8,00%) dan semen Ex. Portland (1%). Perhitungan presentase agregat gabungan dan penggambaran kurva hubungan dapat dilihat pada tabel 4.11 berikut ini

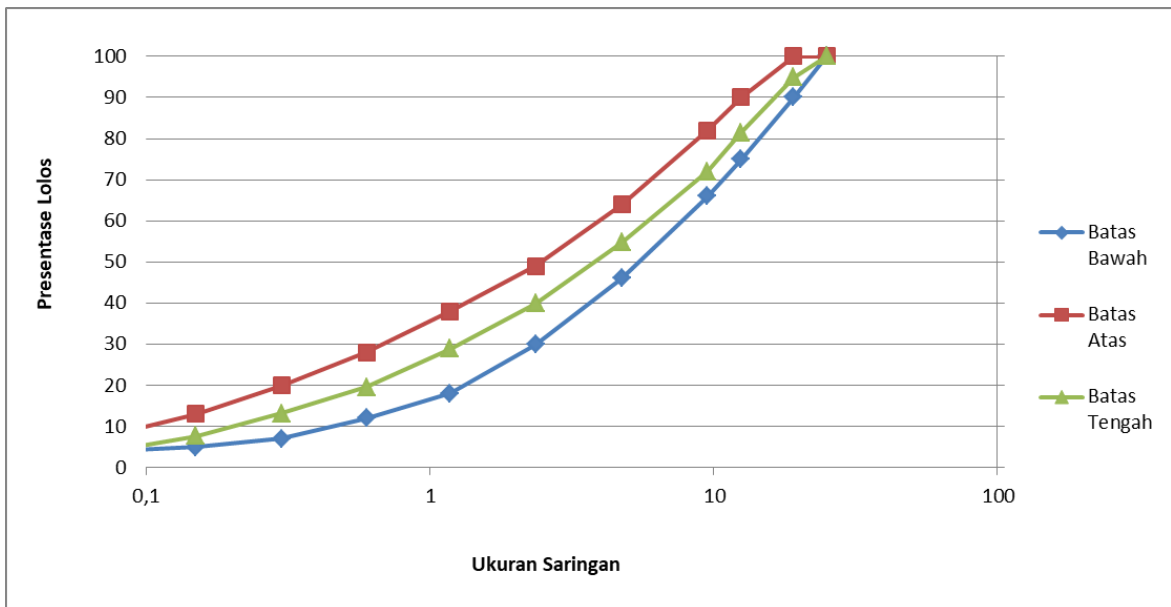
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Gabungan (Variasi I)

Uraian												
Inc mm	1	3/4 "	1/2 "	3/8 "	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200	
	25	19,1	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,08	
Data Gradasi												
Batu Pecah 3/4" Ex. Takari	100	82,42	36,10	18,07	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Batu Pecah 1/2" Ex. Takari	100	100,00	100,00	84,08	37,23	9,92	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	
Abu Batu Ex. Takari	100	100,00	100,00	100,00	100,00	82,80	64,71	42,42	29,49	14,83	7,01	
Pasir Alam Ex. Takari	100	100,00	100,00	100,00	100,00	85,38	61,77	44,39	20,76	18,04	7,78	
Filler (Semen) Ex. Portland	100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,30	97,90	95,90	
Combinasi Agregat												
Batu Pecah 3/4" Ex. Takari	28,95%	28,95	23,86	10,45	5,23	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Batu Pecah 1/2" Ex. Takari	26,50%	26,50	26,50	26,50	22,28	9,87	2,63	0,03	0,00	0,00	0,00	
Abu Batu Ex. Takari	35,55%	35,55	35,55	35,55	35,55	35,55	29,43	23,00	15,08	10,48	5,27	
Pasir Alam Ex. Takari	8,00%	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	6,83	4,94	3,55	1,66	1,44	
Filler (Semen) Ex. Portland	1,00%	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	0,96	
Total Campuran	100,0%	100,00	94,91	81,50	72,06	54,72	39,89	28,97	19,63	13,14	7,70	
Spec. gradasi												
max	100	100,0	90,0	82,0	64,0	49,0	38,0	28,0	20,0	13,0	8,0	
min	100	90,0	75,0	66,0	46,0	30,0	18,0	12,0	7,0	5,0	4,0	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Hasil pengujian gradasi agregat gabungan proporsi awal yang terdapat pada tabel 4.11 memenuhi Standar Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018, Revisi 2 yang disyaratkan (berada pada garis batas atas dan batas bawah). Berdasarkan tabel perhitungan gradasi

agregat gabungan tersebut maka diperoleh grafik gradasi agregat gabungan seperti pada gambar 4.11 berikut.



Gambar 4.1 Kurva Gradasi Laston AC-BC Variasi I (Komposisi Campuran 1)

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Gambar 4.1 diatas menunjukkan bahwa gradasi agregat gabungan (garis persen lolos tiap saringan %) terletak didalam garis batas atas dan batas bawah atau berada tepat ditengah sesuai dengan total campuran yang ada pada tabel 4.11. hal ini menunjukkan bahawa hasil gradasi agregat gabungan proporsi awal memenuhi standar spesifikasi Bina Marga Tahun 2018, Revisi 2 untuk lapis aspal beton (Laston AC-BC).

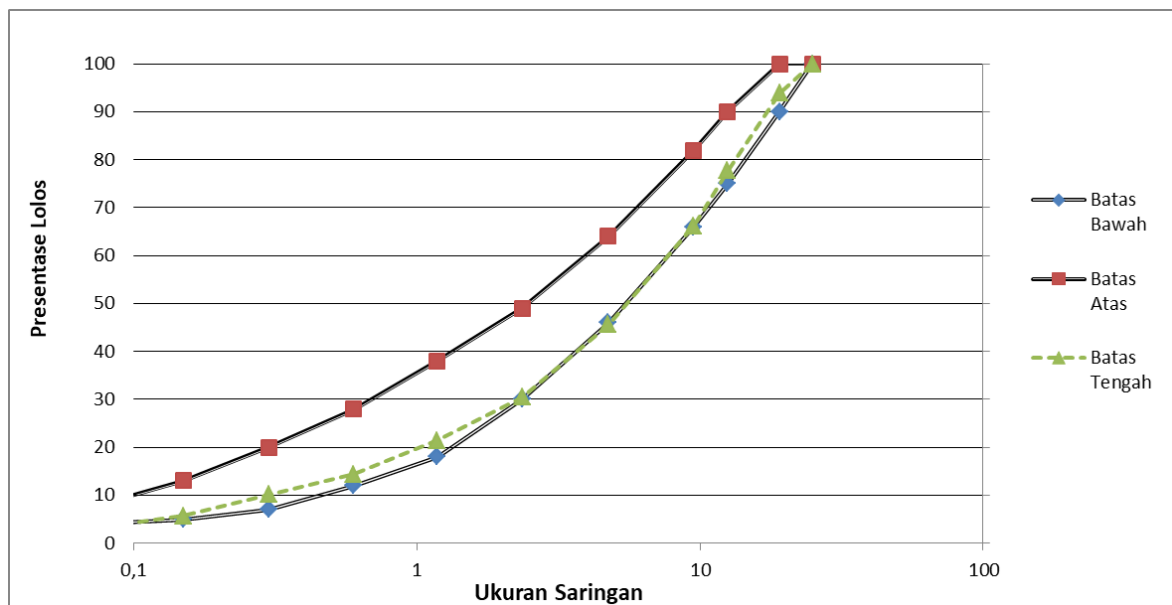
4.3.2 Rancangan komposisi Agregat Gabungan + 6 % Agregat Kasar dari komposisi awal (Variasi II)

Penambahan 6% agregat kasar dari komposisi campuran awal (Variasi II) yaitu tanpa menggunakan “*trial and error*” tetapi langsung menggunakan komposisi campuran awal, untuk menambahkan 6% pada agregat kasar sehingga total campuran 100%, maka dilakukan dengan cara pengurangan persentase 6% agregat halus (abu batu dan pasir) dan penambahan 6% agregat kasar (batu pecah $\frac{3}{4}$ dan batu pecah $\frac{1}{2}$) maka menjadi (34,95% batu pecah $\frac{3}{4}$, 32,50% batu pecah $\frac{1}{2}$, 29,55% abu batu, 2,00% pasir alam dan 1% filler) sehingga jumlah total campuran 100%. Berdasarkan tabel perhitungan gradasi agregat gabungan tersebut maka diperoleh grafik gradasi agregat gabungan seperti pada gambar 4.12 berikut.

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Gabungan (Variasi II)

Uraian												
Inc mm	1	3/4 "	1/2 "	3/8 "	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200	
	25	19,1	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,08	
Data Gradasi												
Batu Pecah 3/4" Ex. Takari	100	82,42	36,10	18,07	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Batu Pecah 1/2" Ex. Takari	100	100,00	100,00	84,08	38,50	9,92	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	
Abu Batu Ex. Takari	100	100,00	100,00	100,00	100,00	82,80	64,71	42,42	29,49	14,83	7,01	
Pasir Alam Ex. Takari	100	100,00	100,00	100,00	100,00	85,38	61,77	44,39	20,76	18,04	7,78	
Filler (Semen) Ex. Portland	100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,30	97,90	95,90	
Combinasi Agregat												
Batu Pecah 3/4" Ex. Takari	34,95%	34,95	28,80	12,62	6,32	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Batu Pecah 1/2" Ex. Takari	32,50%	32,50	32,50	32,50	27,32	12,51	3,22	0,04	0,00	0,00	0,00	
Abu Batu Ex. Takari	29,55%	29,55	29,55	29,55	29,55	29,55	24,47	19,12	12,54	8,71	4,38	
Pasir Alam Ex. Takari	2,00%	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,71	1,24	0,89	0,42	0,36	
Filler (Semen) Ex. Portland	1,00%	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98	
Total Campuran	100%	100,00	93,85	77,67	66,19	45,56	30,40	21,39	14,42	10,12	5,72	
Spec. gradasi												
max	100	100,0	90,0	82,0	64,0	49,0	38,0	28,0	20,0	13,0	8,0	
min	100	90,0	75,0	66,0	46,0	30,0	18,0	12,0	7,0	5,0	4,0	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 4.2 Kurva Gradasi Laston AC-BC Variasi II (Komposisi Campuran 1)

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Gambar 4.2 diatas menunjukkan bahwa gradasi agregat gabungan +6% (garis persen lolos tiap sarigan %) terletak didalam garis batas atas dan batas bawah atau berada tepat ditengah sesuai dengan total campuran yang ada pada tabel 4.12. hal ini menunjukkan bahawa hasil gradasi agregat gabungan variasi batu pecah 3/4 dan batu pecah 1/2 +6% dari

proporsi awal memenuhi standar spesifikasi Bina Marga Tahun 2018, Revisi 2 untuk lapis aspal beton (Laston AC-BC).

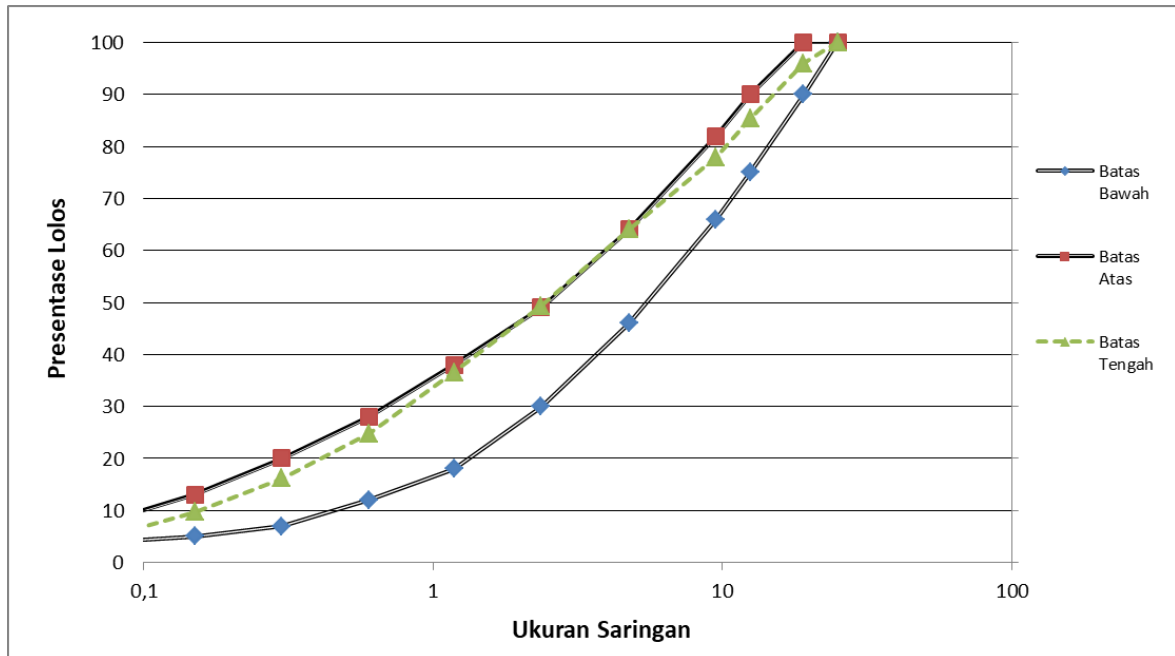
4.3.3. Rancangan komposisi Agregat Gabungan -6 % Agregat Kasar dari komposisi awal (Variasi III)

Pengurangan 6% agregat halus dari komposisi campuran awal (Variasi III) yaitu tanpa menggunakan “*trial and error*” tetapi langsung menggunakan komposisi campuran awal, untuk pengurangan 6% pada agregat Halus sehingga total campuran 100%, maka dilakukan dengan cara penambahan persentase 6% agregat kasar (batu pecah $\frac{3}{4}$ dan pecah $\frac{1}{2}$) dan pengurangan 6% agregat halus (abu batu dan pasir) maka menjadi (22,95% batu pecah $\frac{3}{4}$, 20,50% batu pecah $\frac{1}{2}$, 41,55% abu batu, 14,00% pasir alam dan 1% filler) sehingga jumlah total campuran 100%. Berdasarkan tabel perhitungan gradasi agregat gabungan tersebut maka diperoleh grafik gradasi agregat gabungan seperti pada gambar 4.12 berikut.

Tabel 4.13 Hasil perhitungan Gradasi Agregat Gabungan Agregat Gabungan variasi III

Uraian											
Inc mm	1	3/4 "	1/2 "	3/8 "	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
	25	19,1	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,08
Data Gradasi											
Batu Pecah 3/4" Ex. Takari	100	82,42	36,10	18,07	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batu Pecah 1/2" Ex. Takari	100	100,00	100,00	84,08	37,23	9,92	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
Abu Batu Ex. Takari	100	100,00	100,00	100,00	100,00	82,80	64,71	42,42	29,49	14,83	7,01
Pasir Alam Ex. Takari	100	100,00	100,00	100,00	100,00	85,38	61,77	44,39	20,76	18,04	7,78
Filler (Semen) Ex. Portland	100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,30	97,90	95,90
Combinasi Agregat											
Batu Pecah 3/4" Ex. Takari	22,95%	22,95	18,91	8,29	4,15	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batu Pecah 1/2" Ex. Takari	20,50%	20,50	20,50	20,50	17,24	7,21	2,03	0,02	0,00	0,00	0,00
Abu Batu Ex. Takari	41,55%	41,55	41,55	41,55	41,55	41,55	34,40	26,89	17,63	12,25	6,16
Pasir Alam Ex. Takari	14,00%	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	11,95	8,65	6,22	2,91	2,53
Filler (Semen) Ex. Portland	1,00%	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99	0,98
Total Campuran	100%	100,00	95,96	85,34	77,93	64,00	49,39	36,56	24,84	16,15	9,67
Spec. gradasi											
max	100	100,0	90,0	82,0	64,0	49,0	38,0	28,0	20,0	13,0	8,0
min	100	90,0	75,0	66,0	46,0	30,0	18,0	12,0	7,0	5,0	4,0

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 4.3 Kurva Gradasi Laston AC-BC Variasi III (Komposisi Campuran 1)

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Gambar 4.3 diatas menunjukkan bahwa gradasi agregat gabungan -6% (garis persen lolos tiap sarigan %) terletak didalam garis batas atas dan batas bawah atau berada tepat ditengah sesuai dengan total campuran yang ada pada tabel 4.12. hal ini menunjukkan bahawa hasil gradasi agregat gabungan variasi Abu Batu dan Pasir -6% dari proporsi awal memenuhi standar spesifikasi Bina Marga Tahun 2018, Revisi 2 untuk lapis aspal beton (Laston AC-BC).

4.4. Penentuan Kadar Aspal Rencana (Pb) Dengan Lima (5) Variasi Komposisi Campuran

Kadar aspal rencana dapat ditentukan setelah diperoleh gradasi agregat gabungan dari masing-masing fraksi agregat yangtelah memenuhi spesifikasi Bina Marga Tahun 2018, Revisi 2. Untuk perhitungan kadar aspal rencana atau kadar aspal perkiraan denga rumusan sebagai berikut:

$$Pb = 0.035 (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18 (\%Filler) + \text{Konstanta}$$

Keterangan :

CA = Proporsi fraksi kasar (100-persen lolos saringan No. 4)

FA =Proporsi fraksi halus (% lolos saringan No. 4 - % lolo saringan No. 200)

FA =Proporsi fraksi bahan pengisi (% lolos saringan No. 200)

K = Konstanta unuk AC-BC

Berikut ini adalah penentuan kadar aspal rencana (Pb) dengan masing-masing variasi komposisi campuran.

4.4.1 Penentuan Kadar Aspal Rencana Untuk Variasi I (komposisi Campuran 1)

a. Fraksi Agregat

- 1) Fraksi agregat kasar (CA) = 100% - % total agregat saringan No. 4
 = 100 – 54,72
 = 45,28 %
- 2) Fraksi agregat halus (FA) = % total gregat saringan No. 4 – total agregat saringan No. 200
 = 54,72 – 4,07
 = 50,65 %
- 3) Bahan pengisi (FF) = % lolos saringan No. 200 pada gradasi agregat gabungan
 = 4,07 %
- 4) Konstanta (K) = 0.5 sampai 1, karena laston maka ambil 1

b. Kadar aspal rencana

Perkiraan awal kadar aspal rencana (Pb)

$$Pb = 0.035 (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18 (\%FF) + \text{Konstanta}$$

$$= 0.035 (45,28) + 0.045 (50,65) + 0.18 (4,07) + 1$$

$$= 5,60 \% \text{ dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut}$$

Rangkuman hasil perhitungan berat tiap – tiap campuran pada kadar aspal rencana (Normal) dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Penentuan Kadar Aspal Rencana Awal

U R A I A N	NILAI	SATUAN
Proporsi Fraksi Kasar (CA)	45,28	%
Proporsi Fraksi Halus (FA)	50,65	%
Proporsi Fraksi Bahan Pengisi (FF)	4,07	%
Nilai Konstanta (K) ditetapkan	1,00	%
Perkiraan Kadar Aspal (Pb)	5,60	%

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

4.4.2 Penentuan Kadar Aspal Rencana Untuk Proporsi Agregat Gabungan + 6 % Agregat Kasar dari komposisi awal (Variasi II)

a. Fraksi Agregat

$$\begin{aligned} 1) \text{ Fraksi agregat kasar (CA)} &= 100\% - \% \text{ total agregat saringan NO. 4} \\ &= 100 - 45,56 \\ &= 54,44 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Fraksi agregat halus (FA)} &= \% \text{ total agregat saringan No. 4} - \text{total agregat saringan} \\ &\text{No.200} \\ &= 45,56 \% - 3,18\% \\ &= 42,38 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Bahan pengisi (FF)} &= \% \text{ total agregat saringan No.200} \\ &= 3,18 \% \end{aligned}$$

$$4) \text{ Konstanta (K)} = 0.5 \text{ sampai } 1, \text{ karena laston maka ambil } 1$$

b. Kadar aspal rencana

Perkiraan awal kadar aspal rencana (P_b)

$$\begin{aligned} P_b &= 0.035 (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18 (\%FF) + \text{Konstanta} \\ &= 0.035 (54,44) + 0.045 (42,38) + 0.18 (3,18) + 1 \end{aligned}$$

$$= 5,39 \approx 5,4 \% \text{ dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut}$$

Rangkuman hasil perhitungan berat tiap – tiap campuran pada kadar aspal rencana dapat dilihat pada Tabel 4.15

Tabel 4.15 Kadar Aspal Rencana Untuk Proporsi Agregat Gabungan + 6 % Agregat Kasar dari komposisi awal

URAIAN	NILAI	SATUAN
Proporsi Fraksi Kasar (CA)	54,44	%
Proporsi Fraksi Halus (FA)	42,38	%
Proporsi Fraksi Bahan Pengisi (FF)	3,18	%
Nilai Konstanta (K) ditetapkan	1,00	%
Perkiraan Kadar Aspal (P_b)	5,39	%

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Kadar aspal perkiraan untuk campuran Laston adalah 5,39 % dan dibulatkan menjadi 5,4 %. Berdasarkan kadar aspal perkiraan di atas maka ditetapkan 5 variasi kadar aspal 2 di bawah P_b dan 2 di atas P_b dengan selisih 0,5%. Untuk contoh benda uji yaitu 4,4%, 4,9%,

5,4%, 5,9% dan 6,4%. Perhitungan komposisi rencana campuran beraspal atau beton padat di laboratorium :

4.4.3 Rancangan komposisi Agregat Gabungan -6 % Agregat Kasar dari komposisi awal (Variasi III)

a. Fraksi Agregat

- 1) Fraksi agregat kasar (CA) = 100% - % total agregat saringan N0. 4

$$= 100 - 64,00$$

$$= 36,00 \%$$
- 2) Fraksi agregat halus (FA) = % total agregat saringan No. 4 – total agregat saringan No.200

$$= 64,00\% - 4,96\%$$

$$= 59,04\%$$
- 3) Bahan pengisi (FF) = % total agregat saringan No.200

$$= 4,96 \%$$
- 4) Konstanta (K) = 0.5 sampai 1, karena laston maka ambil 1

b. Kadar aspal rencana

Perkiraan awal kadar aspal rencana (Pb)

$$Pb = 0.035 (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18 (\%FF) + \text{Konstanta}$$

$$= 0.035 (36,00) + 0.045 (59,04) + 0.18 (4,96) + 1$$

$$= 5,81 \approx 5,8 \%$$

dapat dilihat pada Tabel 4.16 berikut

Rangkuman hasil perhitungan berat tiap – tiap campuran pada kadar aspal rencana (Normal) dapat dilihat pada Tabel 4.16

Tabel 4.16 Rancangan komposisi Agregat Gabungan -6 % Agregat Kasar dari komposisi awal

URAIAN	NILAI	SATUAN
Proporsi Fraksi Kasar (CA)	36,00	%
Proporsi Fraksi Halus (FA)	59,04	%
Proporsi Fraksi Bahan Pengisi (FF)	4,96	%
Nilai Konstanta (K) ditetapkan	1,00	%
Perkiraan Kadar Aspal (Pb)	5,81	%

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Kadar aspal perkiraan untuk campuran Lataston adalah 5,81% dan dibulatkan menjadi 5,80%. Berdasarkan kadar aspal perkiraan di atas maka ditetapkan 5 variasi kadar aspal 2 di bawah Pb dan 2 di atas Pb dengan selisih 0,5%. Untuk contoh benda uji yaitu

4,8%, 6,3%, 5,8%, 6,3% dan 6,8%. Perhitungan komposisi rencana campuran beraspal atau beton padat di laboratorium :

4.5 Rancangan Benda Uji *Marshall AC-BC* Dengan kadar Aspal Rencana (Pb) Pada Lima (5) Variasi Komposisi Campuran

Setelah didapatkan hasil kadar aspal perkiraan (Pb) campuran Laston AC-BC maka ditetapkan 5 variasi kadar aspal 2 dibawah Pb dan 2 diatas Pb dengan selisih 0,5% dapat dilihat pada tabel 4.17 dan 4.22 sebagai berikut.

4.5.1 Rancangan Campuran Proporsi Awal

Kadar Aspal Rencana atau Kadar aspal perkiraan (Pb) untuk campuran Laston (AC-BC) adalah 5,6%. Berdasarkan kadar aspal perkiraan di atas maka ditetapkan 5 variasi kadar aspal 2 dibawah Pb dan 2 diatas Pb dengan selisih 0,5%. Untuk contoh benda uji yaitu 4,6%,5,1%,5,6%,6,1%,6,5%. Perhitungan komposisi rencana campuran AC-BC awal di Laboratorium :

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas silinder beton aspal} &= 1200 \text{ gr} \\ \text{Kadar aspal perkiraan} &= 5,6 \% \\ &= 5,6 \% \times 1200 \\ &= 67,2 \text{ gr} \end{aligned}$$

Tabel 4.17 Komposisi Agregat Campuran AC-BC variasi awal

KOMPONEN	KOMPOSISI AGREGAT	KADAR ASPAL RENCANA (%)				
		4,6	5,1	5,6	6,1	6,6
(a) BATU PECAH 3/4	28,95%	27,62	27,47	27,33	27,18	27,04
(b) BATU PECAH 1/2	26,50%	25,28	25,15	25,02	24,88	24,75
(c) ABU BATU	35,55%	33,92	33,74	33,56	33,38	33,20
(d) PASIR ALAM	8,00%	7,63	7,59	7,55	7,51	7,47
(e) FILLER (Semen)	1,00%	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93
TOTAL AGG CAMPURAN (%)	100%	95,4	94,9	94,4	93,9	93,4
KADAR BAHAN PENGELUPASAN (%)		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
TOTAL CAMPURAN (%)		100	100	100	100	100

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Contoh perhitungan :

Misalnya percobaan komposisi persen batu pecah $\frac{3}{4}$ " 28,95%, batu pecah $\frac{1}{2}$ " 26,50%, abu batu 35,55%, pasir 8%, semen 1%

- 1) Batu pecah $\frac{3}{4}$ " = 28,95 % \times (100-5,6) = 27,33%
- 2) Batu pecah $\frac{1}{2}$ " = 26,50% \times (100-5,6) = 25,02 %
- 3) Abu batu = 35,55 % \times (100-5,6) = 33,56 %
- 4) Pasir = 8% \times (100-5,6) = 7,55 %
- 5) Semen = 1% \times (100-5,6) = 0,94 %
- 6) Aspal = 5,6 %

Jumlah = 100 %

Contoh Perhitungan Komposisi Campuran Laston (AC-BC) :

Berat masing-masing material untuk campuran AC-BC pada contoh kadar aspal 5,6%

- 1) Batu pecah $\frac{3}{4}$ " = 1200 \times (27,33/100) = 238 gr
- 2) Batu pecah $\frac{1}{2}$ " = 1200 \times (25,02/100) = 300,2gr
- 3) Abu batu = 1200 \times (33,56/100) = 402,7gr
- 4) Pasir = 1200 \times (7,55/100) = 90,6gr
- 5) Semen = 1200 \times (0,94/100) = 11,3 gr
- 6) Aspal = (5,6/100) \times 1200 = 67,2 gr

Jumlah = 1200 gr dapat dilihat pada tabel 4.18 berikut.

Tabel 4.18 Komposisi campuran Laston AC-BC variasi awal

KOMPOSISI CAMPURAN KADAR ASPAL RENCANA	BERAT TIMBANGAN (Gr)					
	%	4,6	5,1	5,6	6,1	6,6
(a) BATU PECAH $\frac{3}{4}$	Gram	331,4	329,7	328,0	326,2	324,5
(b) BATU PECAH $\frac{1}{2}$	Gram	303,4	301,8	300,2	298,6	297,0
(c) ABU BATU	Gram	407,0	404,9	402,7	400,6	398,5
(d) PASIR ALAM	Gram	91,6	91,1	90,6	90,1	89,7
(e) FILLER (Semen)	Gram	11,4	11,4	11,3	11,3	11,2
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)		1.145	1.139	1.133	1.127	1.121
BERAT ASPAL (Gr)		55,2	61,2	67,2	73,2	79,2
BERAT BAHAN ANTI PENGELUPASAN (Gr)		0,11	0,12	0,13	0,15	0,16
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)		1.200	1.200	1.200	1.200	1.200

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Untuk setiap variasi kadar aspal dibuat 2 (dua) contoh benda uji sehingga jumlah benda uji kadar aspal perkiraan berjumlah 10 benda uji.

4.5.2 Penentuan Kadar Aspal Rencana Untuk Proporsi Agregat Gabungan Batu Pecah $\frac{3}{4}$ dan $\frac{1}{2}$ + 6 % dari komposisi awal

Kadar Aspal Rencana atau Kadar aspal perkiraan (Pb) untuk campuran Laston (AC-BC) variasi II adalah 5.39% dan dibulatkan menjadi 5,4%. Berdasarkan kadar aspal perkiraan di atas maka ditetapkan 5 variasi kadar aspal 2 dibawah Pb dan 2 diatas Pb dengan selisih 0,5%. Untuk contoh benda uji yaitu 4,4%, 4,9%, 5,4%, 5,9%, 6,4%.

Tabel 4.19 Komposisi agregat campuran variasi Batu Pecah $\frac{3}{4}$ dan $\frac{1}{2}$ + 6 %

KOMPONEN	KOMPOSISI AGREGAT	KADAR ASPAL RENCANA (%)				
		4,4	4,9	5,4	5,9	6,4
(a) BATU PECAH 3/4	34,95%	33,42	33,24	33,07	32,89	32,72
(b) BATU PECAH 1/2	32,50%	31,07	30,91	30,75	30,59	30,42
(c) ABU BATU	29,55%	28,25	28,11	27,96	27,81	27,66
(d) PASIR ALAM	2,00%	1,91	1,90	1,89	1,88	1,87
(e) FILLER (Semen)	1,00%	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94
TOTAL AGG CAMPURAN (%)	100%	95,6	95,1	94,6	94,1	93,6
KADAR BAHAN PENGELUPASAN (%)		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
TOTAL CAMPURAN (%)		100	100	100	100	100

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.20 Komposisi agregat campuran variasi Batu Pecah $\frac{3}{4}$ dan $\frac{1}{2}$ + 6 %

KOMPOSISI CAMPURAN	KADAR ASPAL RENCANA	BERAT TIMBANGAN (Gr)					
		%	4,4	4,9	5,4	5,9	6,4
(a) BATU PECAH 3/4	Gram		401,0	398,9	396,8	394,7	392,6
(b) BATU PECAH 1/2	Gram		372,9	370,9	369,0	367,0	365,1
(c) ABU BATU	Gram		339,0	337,3	335,5	333,7	332,0
(d) PASIR ALAM	Gram		22,9	22,8	22,7	22,6	22,5
(e) FILLER (Semen)	Gram		11,5	11,4	11,4	11,3	11,2
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)			1.147	1.141	1.135	1.129	1.123
BERAT ASPAL (Gr)			52,6	58,6	64,6	70,6	76,6
BERAT BAHAN ANTI PENGELUPASAN (Gr)			0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)			1.200	1.200	1.200	1.200	1.200

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Untuk setiap variasi kadar aspal dibuat 2 (dua) contoh benda uji sehingga jumlah benda uji kadar aspal perkiraan berjumlah 10 benda uji.

4.5.3 Rancangan komposisi Agregat Gabungan Abu Batu dan Pasir -6 % dari komposisi awal

Kadar Aspal Rencana atau Kadar aspal perkiraan (Pb) untuk campuran Laston (AC-BC) variasi III adalah 5,81% dan dibulatkan menjadi 5,8%. Berdasarkan kadar aspal perkiraan di atas maka ditetapkan 5 variasi kadar aspal 2 dibawah Pb dan 2 diatas Pb dengan selisih 0,5%. Untuk contoh benda uji yaitu 4,8%, 5,3%, 5,8%, 6,3%, 6,8%.

Tabel 4.21 Komposisi agregat campuran variasi Abu Batu dan Pasir -6%

KOMPONEN	KOMPOSISI AGREGAT	KADAR ASPAL RENCANA (%)				
		4,8	5,3	5,8	6,3	6,8
(a) BATU PECAH 3/4	22,95%	21,85	21,73	21,62	21,50	21,39
(b) BATU PECAH 1/2	20,50%	19,51	19,41	19,31	19,21	19,10
(c) ABU BATU	41,55%	39,55	39,34	39,14	38,93	38,72
(d) PASIR ALAM	14,00%	13,33	13,26	13,19	13,12	13,05
(e) FILLER (Semen)	1,00%	0,95	0,95	0,94	0,94	0,93
TOTAL AGG CAMPURAN (%)	100%	95,2	94,7	94,2	93,7	93,2
KADAR BAHAN PENGELUPASAN (%)		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
TOTAL CAMPURAN (%)		100	100	100	100	100

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.22 Komposisi agregat campuran variasi Abu Batu dan Pasir -6%

KOMPOSISI CAMPURAN		BERAT TIMBANGAN (Gr)				
KADAR ASPAL RENCANA	%	4,8	5,3	5,8	6,3	6,8
(a) BATU PECAH 3/4	Gram	262,2	258,0	259,4	258,0	256,6
(b) BATU PECAH 1/2	Gram	234,2	230,5	231,7	230,5	229,2
(c) ABU BATU	Gram	474,6	467,1	469,6	467,1	464,6
(d) PASIR ALAM	Gram	159,9	157,4	158,2	157,4	156,6
(e) FILLER (Semen)	Gram	11,4	11,2	11,3	11,2	11,2
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)		1.142	1.124	1.130	1.124	1.118
BERAT ASPAL (Gr)		57,7	63,7	69,7	75,7	81,7
BERAT BAHAN ANTI PENGELUPASAN (Gr)		0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)		1.200	1.188	1.200	1.200	1.200

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium

Setiap variasi kadar aspal dibuat 2 benda uji sehingga jumlah benda uji pada kadar aspal rencana dalam penelitian ini berjumlah 30 benda uji.

4.6 Pengujian Marshall

Pengujian dengan metode *Marshall* bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) dan kelelahan (*flow*) benda uji. Selain stabilitas dan kelelahan, pengujian dengan metode *Marshall* juga menghasilkan parameter - parameter *marshall* lainnya seperti VIM, VMA, VFA, kepadatan (*density*) dan MQ.

Hasil pengujian Marshall standard (2×75) tumbukan dengan menggunakan material dari Quarry Takari untuk campuran Laston AC-BC berdasarkan hasil pengujian dilaboratorium untuk masing-masing pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.23, Tabel 4.24 dan Tabel 4.25 berikut.

Tabel 4.23 Rekapitan Hasil Pengujian Marshall variasi I

kadar Aspal (%)	Benda Uji Marshall	kepadatan	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Rasio Partikel
spesifikasi			Min.800	Min.2 Max. 4	Min. 14	Min. 3 Max. 5	Min. 65	Min. 0,6 Max. 1,6
4,60	A	2,286	835,2	1,90	14,95	6,02	59,74	1,01
	B	2,288	966,5	1,80	14,88	5,94	60,07	1,01
Rata-rata		2,287	900,9	1,85	14,91	5,98	59,91	1,01
5,10	A	2,289	1.073,9	2,20	15,27	5,21	65,87	0,90
	B	2,296	1.121,6	2,10	15,02	4,94	67,15	0,90
Rata-rata		2,293	1.097,7	2,15	15,15	5,07	66,51	0,90
5,60	A	2,300	1.193,2	3,10	15,31	4,08	73,36	0,81
	B	2,299	1.288,7	3,30	15,37	4,14	73,05	0,81
Rata-rata		2,300	1.240,9	3,20	15,34	4,11	73,20	0,81
6,10	A	2,299	1.026,2	3,60	15,82	3,47	78,05	0,74
	B	2,299	1.061,9	3,50	15,81	3,46	78,10	0,74
Rata-rata		2,299	1.044,1	3,55	15,81	3,47	78,08	0,74
6,60	A	2,303	859,1	4,10	16,12	2,62	83,72	0,67
	B	2,301	847,2	4,00	16,17	2,69	83,39	0,67
Rata-rata		2,302	853,1	4,05	16,14	2,65	83,56	0,67

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Contoh perhitungan :

a. Kepadatan (uji I) = Berat Kering/Berat isi contoh

$$= 1192,4/521,6$$

$$= 2,286$$

$$\text{Benda uji II} = 1192,0/521,0$$

$$= 2,288$$

$$\text{Rata-rata} = \text{Benda uji I} + \text{Benda uji II}$$

$$= 2,286 + 2,288/2$$

$$= 2,287$$

b. Flow (Benda uji I) = Nilai Flow X 0,01

$$= 190 \times 0,01$$

$$= 1,90$$

Benda Uji II = $180 \times 0,01$

$$= 1,80$$

Rata-rata = $(1,90 + 1,80) / 2$

$$= 1,85 \text{ mm}$$

c. VMA

Benda uji I = $100 - G_{mb} \times (100 - P_b) / G_{sb}$

$$= 100 - (2,286 \times (100 - 4,60)) / 2,564$$

$$= 14,95$$

Benda uji II = $100 - (2,288 \times (100 - 4,60)) / 2,564$

$$= 14,88$$

Rata-rata = $(14,95 + 14,88) / 2$

$$= 14,91\%$$

Keterangan :

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume *bulk*

G_{sb} = Berat jenis bulk agregat

G_{mb} = Berat jenis bulk campuran padat

P_b = kadar aspal, persen terhadap berat total campuran

d. VIM

Benda uji I = $100 - (100 \times G_{mb} / G_{mn})$

$$= 100 - (100 \times 2,286 / 2,432)$$

$$= 6,02$$

Benda uji II = $100 - (100 \times 2,288 / 2,432)$

$$= 5,94$$

Rata-rata = $(6,02 + 5,94) / 2$

$$= 5,98\%$$

VIM = Rongga udara campuran, persen total campuran

G_{mn} = Berat jenis maksimum campuran agregat rongga udara 0 (nol)

G_{mb} = Berat jenis bulk campuran padat

e. VFA

$$\begin{aligned} \text{Benda uji I} &= ((100 \times (\text{VMA} - \text{VIM}) / \text{VMA}) \\ &= ((100 \times (14,95 - 6,02) / 14,95) \\ &= 59,74 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Benda uji II} &= ((100 \times (14,88 - 5,94) / 14,88) \\ &= 60,07 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata} &= 59,74 + 60,07 / 2 \\ &= 59,91\% \end{aligned}$$

VFA = Rongga terisi aspal, persentase dari VMA

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen volume *bulk*

VIM = Rongga didalam campuran, persen total campuran.

f. Rasio Partikel

$$\begin{aligned} \text{Benda Uji I} &= \text{Gradasi}(\text{analisa saringan No. 200}) / \text{MQ} \\ &= 4,07 / 4,02 \\ &= 1,01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Benda Uji II} &= 4,07 / 4,02 \\ &= 1,01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata} &= 1,01 + 1,01 / 2 \\ &= 1,01 \end{aligned}$$

Tabel 4.24 Rangkuman Hasil *Marshall* variasi Batu Pecah $\frac{3}{4}$ dan $\frac{1}{2}$ + 6 % (Variasi II)

kadar Aspal (%)	Benda Uji Marshall	kepadatan	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Rasio Partikel
spesifikasi			Min.800	Min.2 Max. 4	Min. 14	Min. 3 Max. 5	Min. 65	Min. 0,6 Max. 1,6
4,60	A	2,273	744,6	2,50	15,39	6,10	60,35	0,97
	B	2,277	916,4	2,60	15,25	5,94	61,03	0,97
Rata-rata		2,275	830,5	2,55	15,32	6,02	60,69	0,97
5,10	A	2,293	1.088,2	3,50	15,10	4,61	69,49	0,86
	B	2,298	973,7	3,20	14,93	4,42	70,40	0,86
Rata-rata		2,296	1.030,9	3,35	15,01	4,51	69,95	0,86
5,39	A	2,291	1.193,2	4,05	15,44	4,32	72,03	0,81
	B	2,291	1.122,6	4,10	15,44	4,32	72,03	0,81
Rata-rata		2,291	1.157,9	4,08	15,44	4,32	72,03	0,81
6,10	A	2,288	978,4	4,90	16,18	3,49	78,46	0,71
	B	2,285	894,9	4,80	16,29	3,61	77,86	0,71
Rata-rata		2,287	936,7	4,85	16,23	3,55	78,16	0,71
6,60	A	2,304	787,5	5,50	16,05	2,14	86,66	0,65
	B	2,306	835,2	5,40	15,98	2,06	87,12	0,65
Rata-rata		2,305	811,4	5,45	16,01	2,10	86,89	0,65

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.25 Rangkuman Hasil *Marshall* variasi Abu Batu dan Pasir -6% (Variasi III)

kadar Aspal (%)	Benda Uji Marshall	kepadatan	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Rasio Partikel
spesifikasi			Min.800	Min.2 Max. 4	Min. 14	Min. 3 Max. 5	Min. 65	Min. 0,6 Max. 1,6
4,60	A	2,309	930,7	1,50	14,13	6,51	53,95	1,20
	B	2,310	1.054,8	1,40	14,09	6,47	54,11	1,20
Rata-rata		2,309	992,7	1,45	14,11	6,49	54,03	1,20
5,10	A	2,320	1.178,9	1,80	14,16	5,36	62,17	1,04
	B	2,326	1.166,5	2,00	13,95	5,13	63,23	1,04
Rata-rata		2,323	1.172,7	1,90	14,05	5,24	62,70	1,04
5,8	A	2,336	1.312,5	2,70	14,22	3,72	73,82	0,88
	B	2,346	1.431,8	2,60	13,85	3,31	76,09	0,88
Rata-rata		2,341	1.372,2	2,65	14,04	3,52	74,95	0,88
6,10	A	2,326	1.026,2	3,00	14,86	3,75	74,77	0,83
	B	2,336	1.116,8	3,10	14,47	3,31	77,11	0,83
Rata-rata		2,331	1.071,5	3,05	14,66	3,53	75,94	0,83
6,60	A	2,343	894,9	3,50	14,68	2,34	84,07	0,75
	B	2,338	883,0	3,70	14,87	2,55	82,82	0,75
Rata-rata		2,340	888,9	3,60	14,77	2,45	83,45	0,75

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

4.7 Analisis Terhadap Parameter *Marshall*

Campuran Laston AC-BC untuk lapisan permukaan jalan harus memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Persyaratan tersebut harus memenuhi batas gradasi kurva atas dan kurva bawah, persyaratan tersebut pengujian *Marshall* yaitu dengan memenuhi nilai stabilitas, kepadatan, flow, VIM, VMA, VFA sesuai spesifikasi Bina Marga 2018, Revisi II. Hasil pengujian *Marshall* yang dilakukan dapat dilihat pada tabel dan grafik hubungan Kadar Aspal Perkiraan dengan nilai-nilai parameter Marshall dibawah ini.

4.7.1 Hubungan Antara Kadar Aspal dan Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan jalan untuk menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan bleeding. Stabilitas terjadi karena adanya pembebanan sehingga terjadinya pergeseran antar butiran, sifat saling mengunci serta daya ikat lapisan aspal.

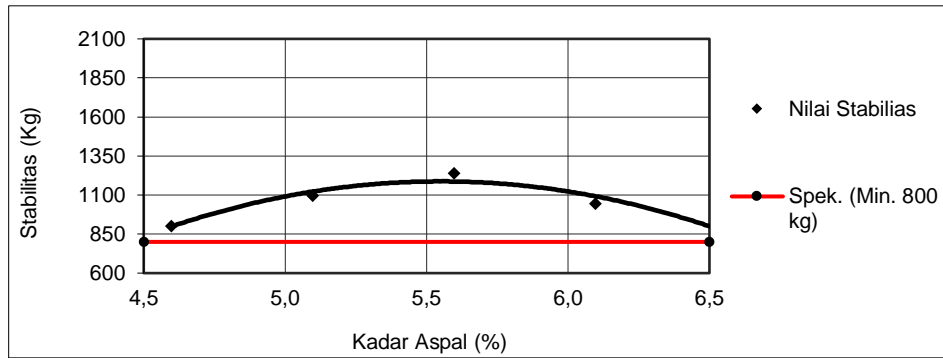
Hubungan antara stabilitas dan kadar aspal optimum dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.26 berikut.

Tabel 4.26 Hubungan Kadar Aspal dan Stabilitas Awal

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Spesifikasi Min. 800 kg
4,6	900,87	Memenuhi
5,1	1097,74	Memenuhi
5,6	1240,93	Memenuhi
6,1	1044,05	Memenuhi
6,6	853,14	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Berdasarkan hubungan kadar aspal dengan stabilitas maka didapat grafik pada gambar 4.4 berikut



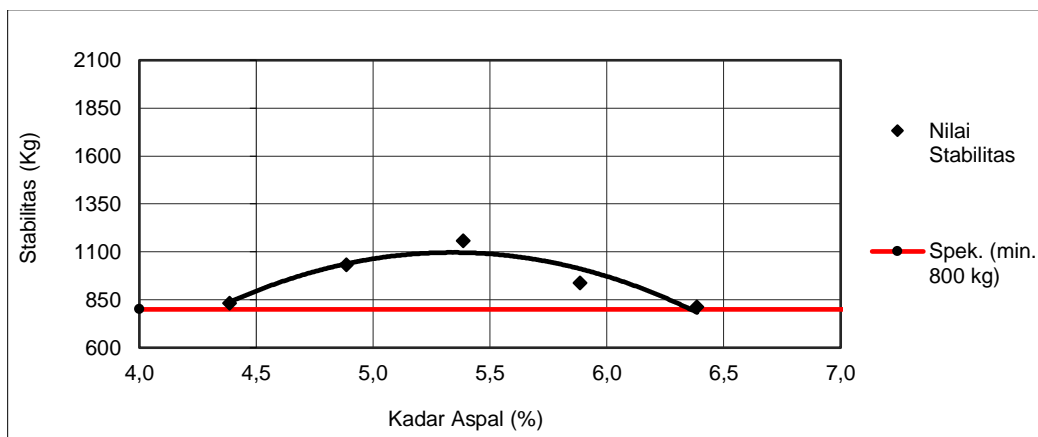
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.27 Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas + 6% Agregat Kasar (Variasi II)

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Spesifikasi Min. 800 kg
4,4	830,47	Memenuhi
4,9	1030,92	Memenuhi
5,4	1157,88	Memenuhi
5,9	936,66	Memenuhi
6,4	811,38	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



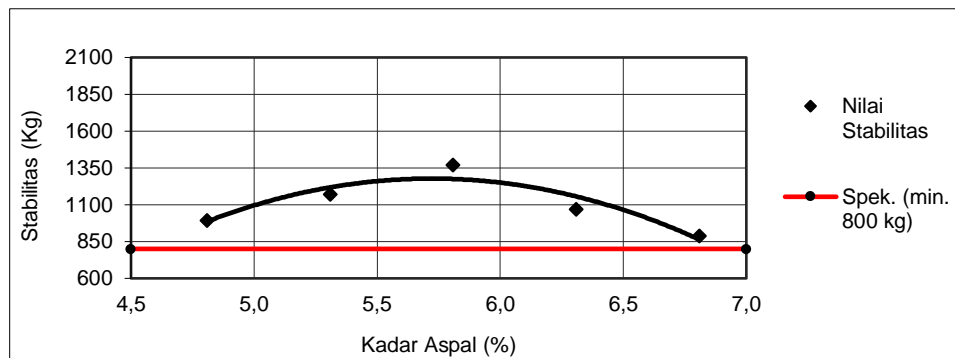
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas + 6% Agregat kasar Variasi II

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.28 Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas -6% Agregat Kasar (Variasi III)

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Spesifikasi Min. 800 kg
4,8	992,74	Memenuhi
5,3	1172,68	Memenuhi
5,8	1372,18	Memenuhi
6,3	1071,49	Memenuhi
6,8	888,93	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas -6% Agregat Kasar (Variasi III)

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Berdasarkan tabel 4.26 - 4.28 dan gambar 4.4 - 4.6 dapat dilihat penambahan kadar aspal menaikkan nilai stabilitas. Ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya aspal menyebabkan penguncian antar partikel agregat dan daya ikat aspal terhadap agregat menjadi kuat, juga adhesi dan kohesi dari aspal menjadi lebih baik.

Penambahan kadar aspal yang terus menerus tidaklah menyebabkan nilai stabilitas semakin tinggi, karena sudah tidak efektif lagi. Kadar aspal terlalu tinggi mengakibatkan aspal tidak dapat menyelimuti agregat dengan baik. Aspal yang berlebihan tidak mampu diserap oleh rongga dalam campuran, apabila ada beban lalu lintas yang menambah pemadatan lapisan mengakibatkan aspal meleleh keluar yang disebut *bleeding*.

Nilai stabilitas pada gradasi -6% agregat kasar lebih besar dari nilai stabilitas gradasi awal dan gradasi +6% agregat kasar. Hal ini dipengaruhi oleh penambahan butiran halus dan pengurangan 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.

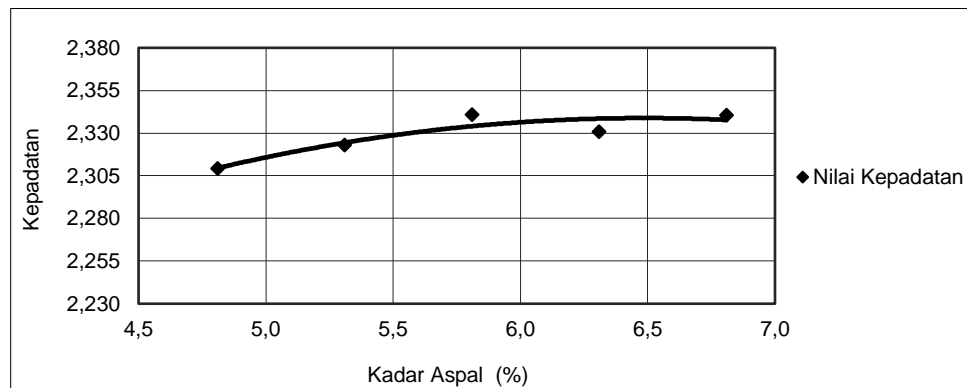
4.7.2 Hubungan Kadar Aspal dengan Kepadatan

Density atau kepadatan adalah rasio antara berat benda uji kering dengan volume benda uji yang dipengaruhi oleh temperatur, komposisi, kadar bahan tambah, pemadatan, dan kadar aspal. Hubungan kadar aspal dengan pemadatan dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 4.29 Hubungan Kadar Aspal Dengan Kepadatan awal

Kadar Aspal (%)	Kepadatan (mm)	Spesifikasi Min. 2 gr/cm ³
4,6	2,287	Memenuhi
5,1	2,293	Memenuhi
5,6	2,300	Memenuhi
6,1	2,299	Memenuhi
6,6	2,302	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



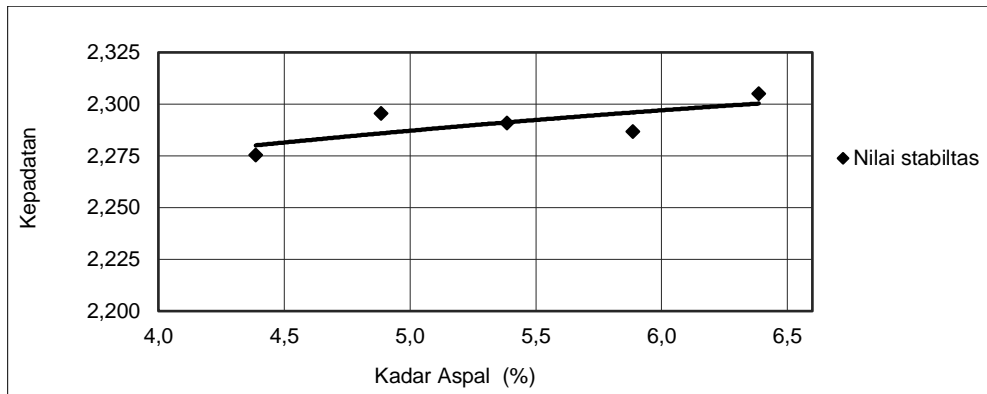
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kepadatan Proporsi Awal

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.30 Hubungan Kadar Aspal dengan Kepadatan + 6% Agregat Kasar (Variasi II)

Kadar Aspal (%)	Kepadatan (mm)	Spesifikasi Min. 2 gr/cm ³
4,4	2,275	Memenuhi
4,9	2,296	Memenuhi
5,4	2,291	Memenuhi
5,9	2,287	Memenuhi
6,4	2,305	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



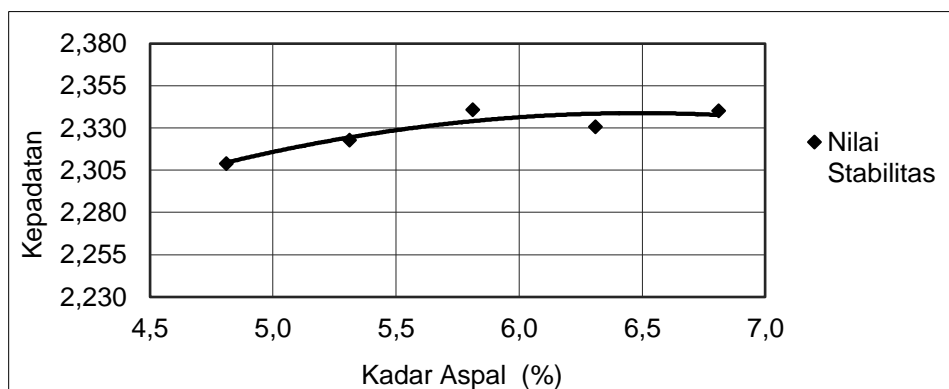
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan Kepadatan + 6% Agregat kasar Variasi II

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.31 Hubungan Kadar Aspal Dengan Kepadatan -6% Agregat Kasar Variasi III

Kadar Aspal (%)	Kepadatan (mm)	Spesifikasi Min. 2 gr/cm ³
4,8	2,309	Memenuhi
5,3	2,323	Memenuhi
5,8	2,341	Memenuhi
6,3	2,331	Memenuhi
6,8	2,340	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kepadatan -6% Agregat Kasar Variasi III

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Berdasarkan tabel 4.29 - 4.31 dan gambar 4.7 - 4.9 menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai kepadatan suatu campuran akan semakin meningkat. Hal ini karena dengan penambahan kadar aspal memudahkan agregat yang berukuran kecil

mengisi rongga-rongga antar butiran agregat yang berukuran lebih besar. Peningkatan kadar aspal menyebabkan kadar aspal dalam campuran lebih banyak mengisi rongga dalam campuran sehingga campuran cenderung lebih padat yang berarti nilai kepadatan semakin meningkat.

Pada tabel dan gambar diatas, menunjukkan bahwa nilai kepadatan pada gradasi -6% agregat kasar lebih besar dari nilai kepadatan gradasi awal dan gradasi +6% agregat halus. Hal ini dipengaruhi oleh penambahan butiran halus dan pengurangan 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.

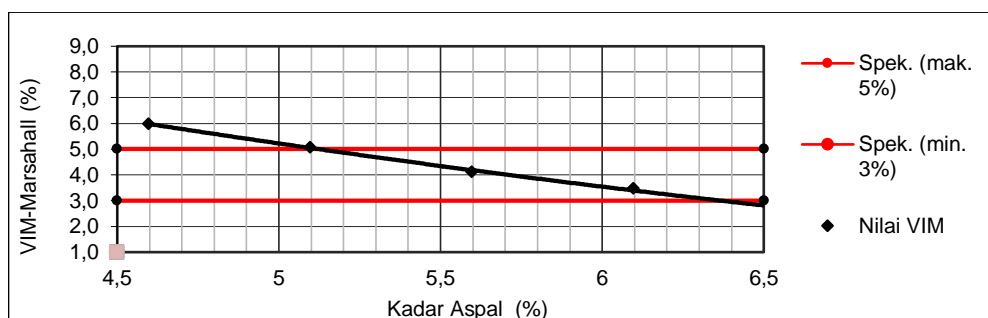
4.7.3 Hubungan Kadar Aspal dengan Rongga Dalam Campuran (VIM)

Void in Mix (VIM) adalah banyaknya pori atau rongga dalam campuran diantara butir – butir agregat yang diselimuti aspal setelah campuran beton aspal dipadatkan. Hubungan kadar aspal dengan VIM dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut.

Tabel 4.32 Hubungan Antara Kadar Aspal dan Void in Mix (VIM) Awal

Kadar Aspal (%)	VIM (%)	Spesifikasi 3-5%
4,6	5,98	Memenuhi
5,1	5,07	Memenuhi
5,6	4,11	Memenuhi
6,1	3,47	Memenuhi
6,6	2,65	Tidak Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Void in Mix (VIM) Awal

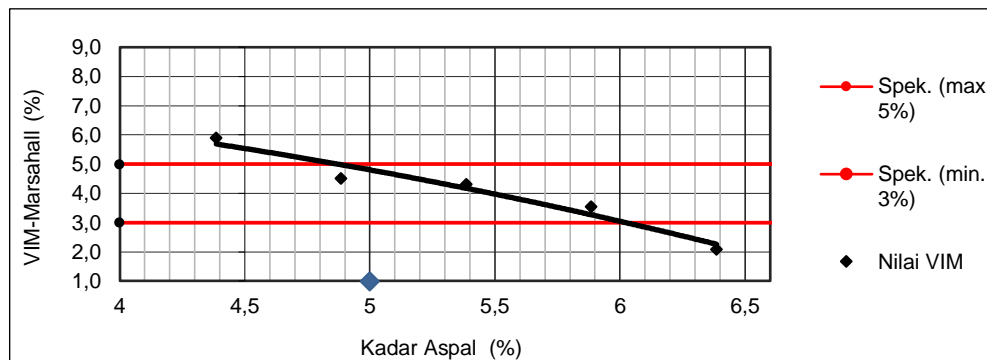
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Berdasarkan tabel 4.32 dan gambar 4.10 menunjukkan bahwa hasil pengujian rongga udara dalam campuran laston pada kadar aspal 5,10% sampai 6,10% memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2018, Revisi 2 sedangkan kadar aspal 4,50% sampai 5,09% dan kadar aspal 6,11% sampai 6,50% tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga (nilai VIM yang rendah 3% berarti rongga pada campuran relative kecil, menjadikan tidak tersedianya ruang yang cukup, menyebabkan aspal akan naik ke permukaan bila dibebani, sebaliknya untuk nilai lebih tinggi 5% akan menyebabkan campuran kurang kedap air dan udara sehingga campuran beraspal panas tersebut kurang awet mudah retak).

Tabel 4.33 Hubungan Kadar Aspal Dengan VIM +6% Agregat Kasar Variasi II

Kadar Aspal (%)	VIM (%)	Spesifikasi 3-5%
4,4	5,90	Memenuhi
4,9	4,51	Memenuhi
5,4	4,32	Memenuhi
5,9	3,55	Memenuhi
6,4	2,10	Tidak Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan VIM + 6% Agregat kasar Variasi II

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

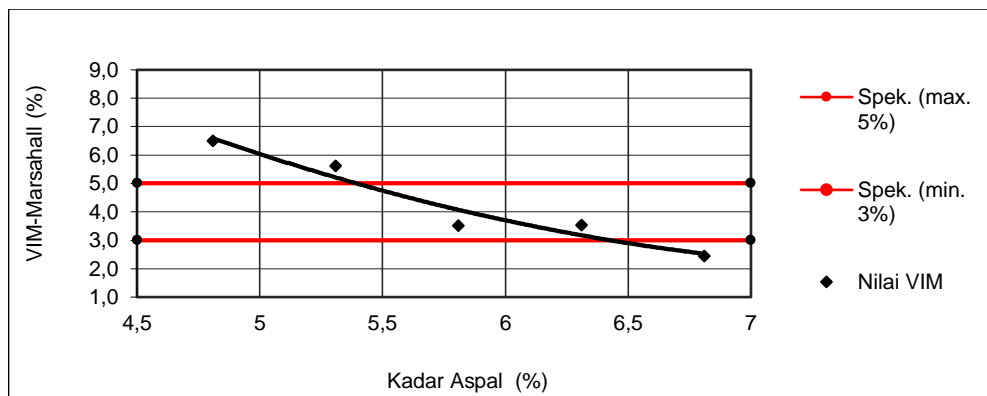
Berdasarkan tabel 4.33 dan gambar 4.11 menunjukkan bahwa hasil pengujian rongga udara dalam campuran laston pada kadar aspal 4,8% sampai 6,1% memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2018, Revisi 2 sedangkan kadar aspal 4,4% sampai 4,79% dan kadar aspal 6,11% sampai 6,4% tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga (nilai VIM yang rendah 3% berarti rongga pada campuran relative kecil, menjadikan tidak tersedianya ruang yang cukup, menyebabkan aspal akan naik ke permukaan bila dibebani, sebaliknya

untuk nilai lebih tinggi 5% akan menyebabkan campuran kurang kedap air dan udara sehingga campuran beraspal panas tersebut kurang awet mudah retak).

Tabel 4.34 Hubungan Kadar Aspal Dengan VIM -6% Agregat Kasar Variasi III

Kadar Aspal (%)	VIM (%)	Spesifikasi 3-5%
4,8	6,49	Memenuhi
5,3	5,60	Memenuhi
5,8	3,52	Memenuhi
6,3	3,53	Memenuhi
6,8	2,45	Tidak Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 4.12 Grafik Hubungan Kadar Aspal Dengan VIM -6% Agregat kasar Variasi III

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Berdasarkan tabel 4.34 dan gambar 4.12 menunjukkan bahawa hasil pengujian rongga udara dalam campuran laston pada kadar aspal 5,3% sampai 6,5% memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2018, Revisi 2 sedangkan kadar aspal 4,8% sampai 5,29% dan kadar aspal 6,49% sampai 6,8% tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga (nilai VIM yang rendah 3% berarti rongga pada campuran relative kecil, menjadikan tidak tersedianya ruang yang cukup, menyebabkan aspal akan naik ke permukaan bila dibebani, sebaliknya untuk nilai lebih tinggi 5% akan menyebabkan campuran kurang kedap air dan udara sehingga campuran beraspal panas tersebut kurang awet mudah retak).

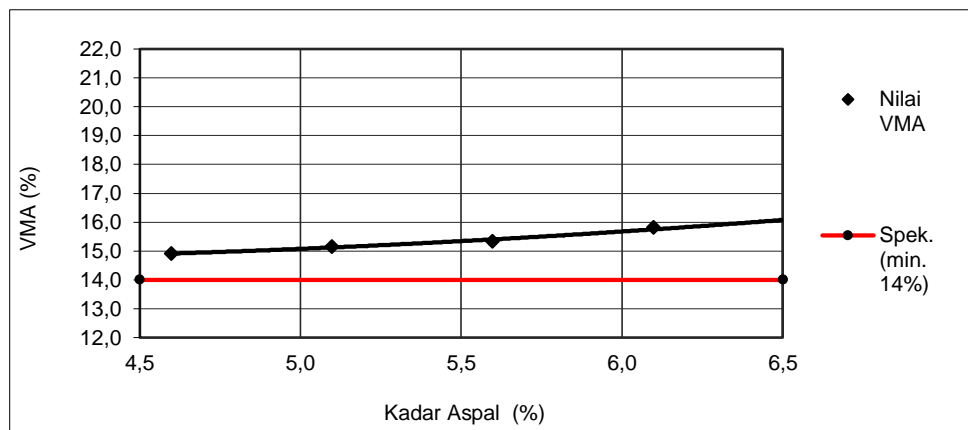
4.7.4. Hubungan Kadar Aspal dengan Rongga Dalam Campuran (VMA)

Void in the Mineral Aggregate (VMA) adalah volume pori dalam beton aspal padat. Hubungan kadar aspal dengan VMA dapat dilihat pada tabel 4.35 sampai 4.37 dan gambar 4.13 sampai 4.15 berikut.

Tabel 4.35 Hubungan Kadar Aspal Dengan *Void in the Mineral Aggregate* (VMA) Awal

Kadar Aspal (%)	VMA (%)	Spesifikasi Min. 14
4,6	14,91	Memenuhi
5,1	15,15	Memenuhi
5,6	15,34	Memenuhi
6,1	15,81	Memenuhi
6,6	16,14	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 4.13 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VMA Awal

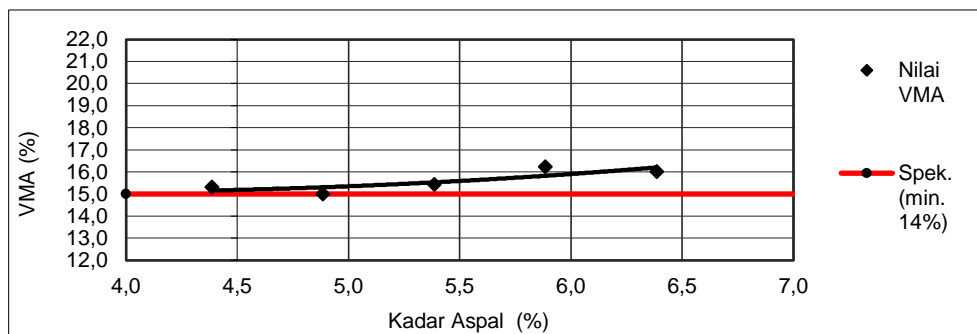
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Dari tabel 4.35 dan gambar 4.13 dapat dilihat nilai VMA akan menurun dan kembali naik seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang digunakan. Nilai VMA pada kadar aspal. Nilai VMA pada kadar aspal 4,6% sampai 5,6% mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena aspal pada campuran menyebabkan agregat lebih mudah bergerak sehingga campuran lebih rapat. Pada kadar aspal 6,1% sampai 6,6% nilai VMA mengalami peningkatan, hal ini dapat terjadi karena aspal yang menyelimuti agregat semakin tebal sehingga menyebabkan jarak antara agregat semakin jauh yang berakibat pada naiknya nilai VMA.

Tabel 4.36 Hubungan Kadar Aspal Dengan VMA +6% Agregat Kasar Variasi II

Kadar Aspal (%)	VMA (%)	Spesifikasi Min. 14
4,4	15,32	Memenuhi
4,9	15,01	Memenuhi
5,4	15,44	Memenuhi
5,9	16,23	Memenuhi
6,4	16,01	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 4.14 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VMA +6% Agregat Kasar Variasi II

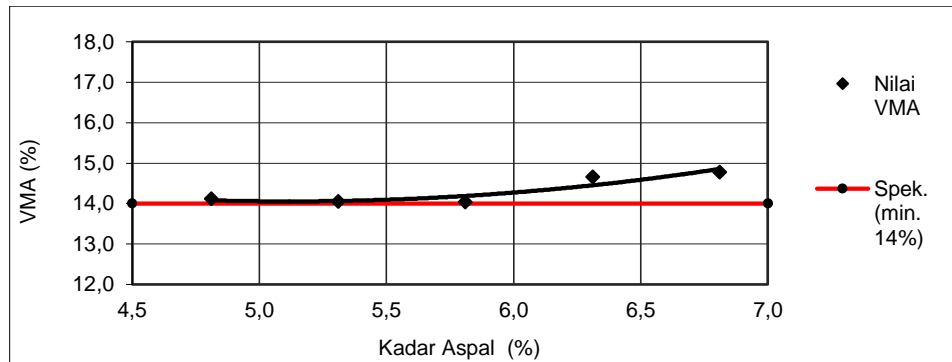
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Dari tabel 4.36 dan gambar 4.14 dapat dilihat nilai VMA akan menurun dan kembali naik seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang digunakan. Nilai VMA pada kadar aspal. Nilai VMA pada kadar aspal 4,4% sampai 5,4% mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena aspal pada campuran menyebabkan agregat lebih mudah bergerak sehingga campuran lebih rapat. Pada kadar aspal 5,9% sampai 6,4% nilai VMA mengalami peningkatan, hal ini dapat terjadi karena aspal yang menyelimuti agregat semakin tebal sehingga menyebabkan jarak antara agregat semakin jauh yang berakibat pada naiknya nilai VMA.

Tabel 4.37 Hubungan Kadar Aspal dengan VMA -6% Agregat Kasar

Kadar Aspal (%)	VMA (%)	Spesifikasi Min. 14
4,8	14,11	Memenuhi
5,3	14,05	Memenuhi
5,8	14,04	Memenuhi
6,3	14,66	Memenuhi
6,8	14,77	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 4.15 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VMA -6% Agregat Kasar

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Dari tabel 4.35 dan gambar 4.13 dapat dilihat nilai VMA akan menurun dan kembali naik seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang digunakan. Nilai VMA pada kadar aspal. Nilai VMA pada kadar aspal 4,8% sampai 5,8% mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena aspal pada campuran menyebabkan agregat lebih mudah bergerak sehingga campuran lebih rapat. Pada kadar aspal 6,3 sampai 6,8 nilai VMA mengalami peningkatan, hal ini dapat terjadi karena aspal yang menyelimuti agregat semakin tebal sehingga menyebabkan jarak antara agregat semakin jauh yang berakibat pada naiknya nilai VMA.

Berdasarkan tabel 4.35 sampai 4.37 dan gambar 4.13 sampai 4.15 terlihat bahwa nilai VMA pada variasi -6% agregat kasar dari proporsi awal lebih kecil dibandingkan dengan proporsi awal dan variasi +6% agregat kasar dari proporsi awal mempunyai nilai VMA yang lebih kecil dikarenakan penggunaan butiran halus yang lebih dominan sehingga memperkecil rongga-rongga diantara agregat.

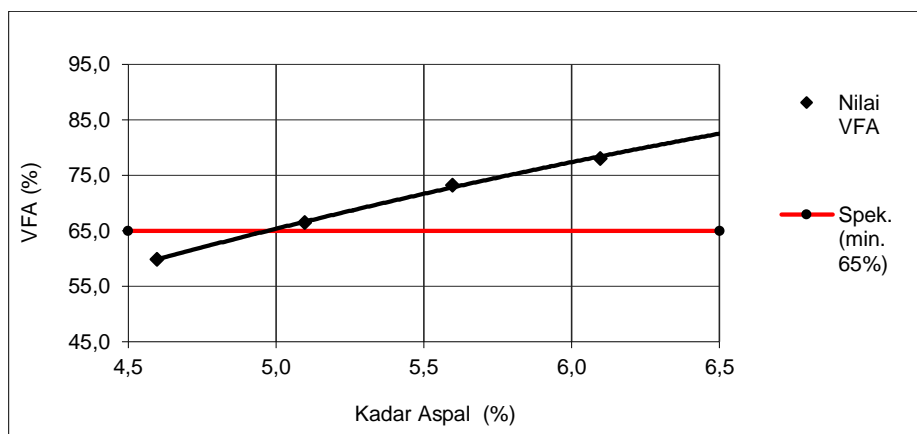
4.7.5 Hubungan Kadar Aspal Dengan Rongga Terisi Aspal (VFA)

Void Filled with Asphalt (VFA) merupakan volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal. Hubungan kadar aspal terhadap VFA dapat dilihat pada table dan gambar berikut.

Tabel 4.38 Hubungan Antara Kadar Aspal dan Void Filled with Asphalt (VFA) Awal

Kadar Aspal (%)	VFA (%)	Spesifikasi Min. 65%
4,6	59,91	Tidak memenuhi
5,1	66,51	memenuhi
5,6	73,20	memenuhi
6,1	78,20	memenuhi
6,6	83,56	memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



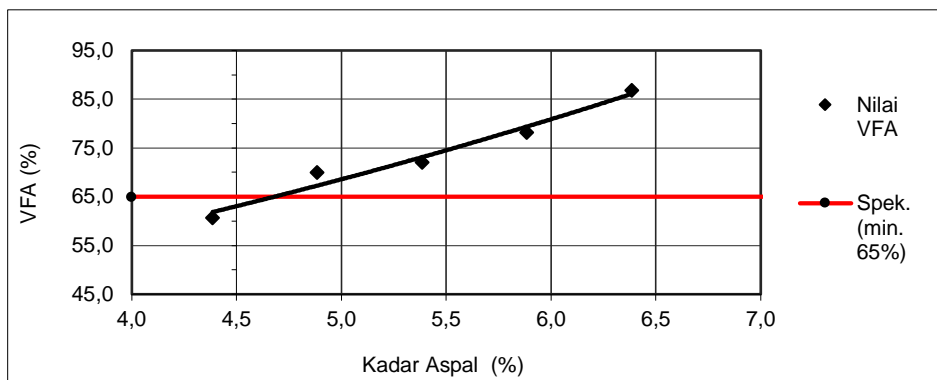
Gambar 4.16 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Void Filled with Asphalt (VFA)

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.39 Hubungan Kadar Aspal dan VFA +6% Agregat Kasar Variasi II

Kadar Aspal (%)	VFA (%)	Spesifikasi Min. 65
4,4	60,69	Tidak memenuhi
4,9	69,95	memenuhi
5,4	72,03	memenuhi
5,9	78,16	memenuhi
6,4	86,89	memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



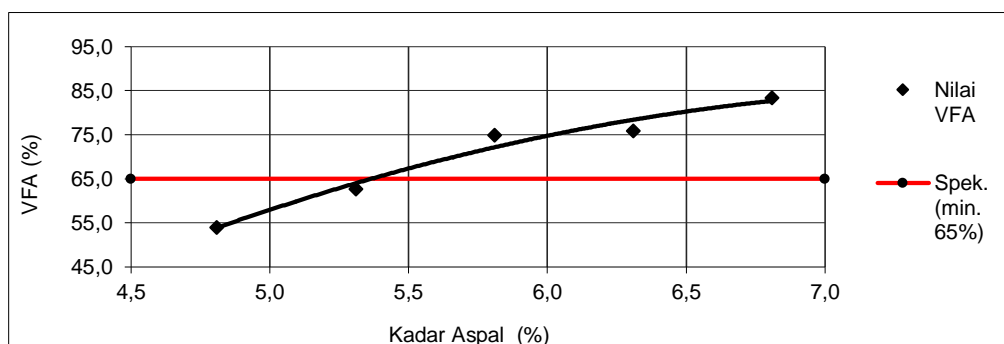
Gambar 4.17 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VFA +6% Agregat Kasar Variasi II

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.40 Hubungan Kadar Aspal dan Void Filled with Asphalt (VFA) -6% Agregat Kasar Variasi III

Kadar Aspal (%)	VFA (%)	Spesifikasi Min. 65
4,8	54,03	Tidak memenuhi
5,3	62,70	Tidak memenuhi
5,8	74,95	memenuhi
6,3	75,94	memenuhi
6,8	83,45	memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 4.18 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Void Filled with Asphalt (VFA) -6% Agregat Kasar Variasi III

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Dari tabel 4.38 - 4.40 dan gambar 4.16 - 4.18 dapat dilihat bahwa semakin kecil kadar aspal semakin kecil pula nilai VFA. Sebaliknya nilai VFA semakin besar seiring

dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena semakin banyaknya rongga udara yang terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap air dan udara akan semakin tinggi. Nilai VFA yang semakin tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan mudah mengalami *bleeding*, sebaliknya jika VFA 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.

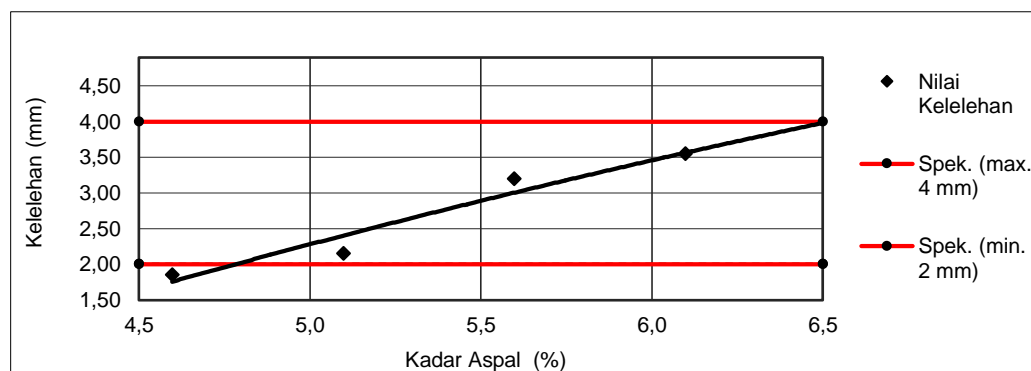
4.7.6 Hubungan Kadar Aspal Dengan kelelehan (flow)

Kelelehan (*Flow*) merupakan besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan. Hubungan kadar aspal dengan kelelehan dapat dilihat pada tabel dan grafik berikut ini :

Tabel 4.41 Hubungan Kadar Aspal Dengan Kelelehan (Flow) variasi awal

Kadar Aspal (%)	Kelelehan (%)	Spesifikasi Min. 2 Max. 4
4,6	1,85	Tidak Memenuhi
5,1	2,15	Memenuhi
5,6	3,20	Memenuhi
6,1	3,55	Memenuhi
6,6	4,05	Tidak Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



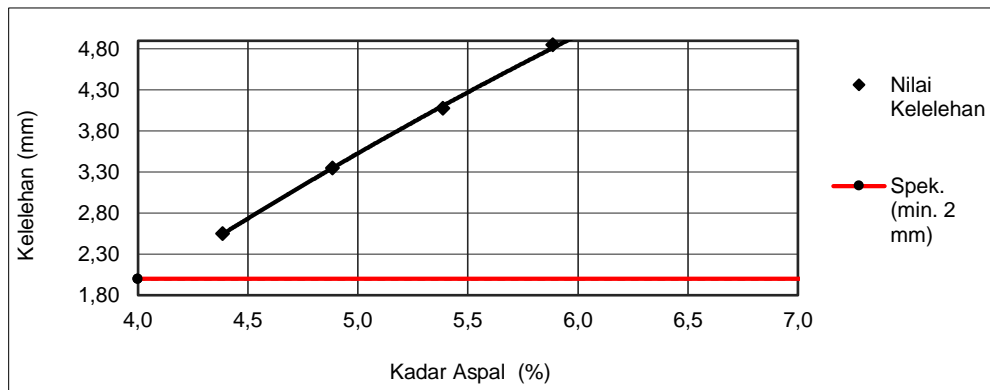
Gambar 4.19 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Kelelehan (Flow)

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.42 Hubungan Kadar Aspal Dengan Kelelahan (Flow) +6% Agregat Kasar variasi II

Kadar Aspal (%)	Kelelahan (%)	Spesifikasi Min. 2 Max. 4
4,4	2,55	Memenuhi
4,9	3,35	Memenuhi
5,4	4,08	Tidak Memenuhi
5,9	4,85	Tidak Memenuhi
6,4	5,45	Tidak Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



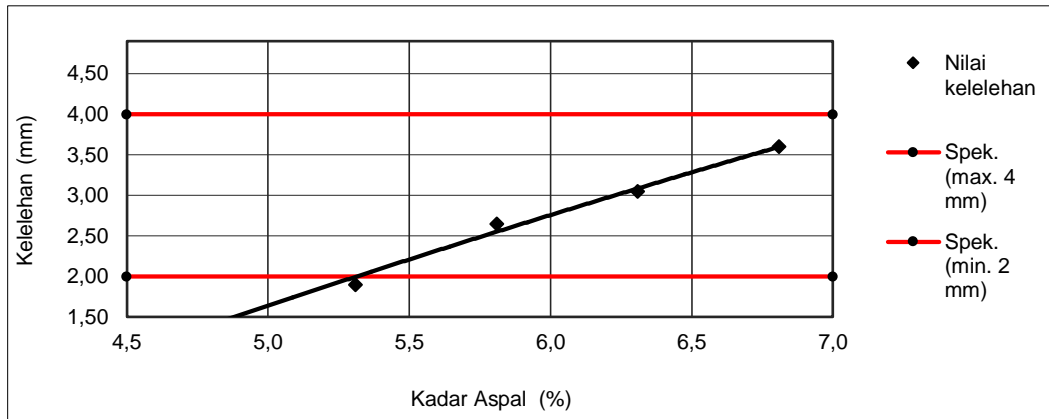
Gambar 4.20 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Dengan Kelelahan +6% Agregat Kasar variasi II

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.43 Hubungan Kadar Aspal Dengan Kelelahan (Flow) -6% Agregat Kasar variasi III

Kadar Aspal (%)	Kelelahan (%)	Spesifikasi Min. 2 Max. 4
4,8	1,45	Tidak Memenuhi
5,3	1,90	Tidak Memenuhi
5,8	2,65	Memenuhi
6,3	3,05	Memenuhi
6,8	3,60	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



**Gambar 4.21 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Dengan Kelelahan -6%
Agregat Kasar variasi III**

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Berdasarkan hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 4.22 dan grafik Bahwa nilai *flow* dalam campuran laston pada kadar aspal 5,3% sampai 6,8% memenuhi standar spesifikasi Bina Marga tahun 2018 Revisi 2. Sedangkan kadar aspal 4,8 sampai 5,29% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga, Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai *flow* akan semakin tinggi pula. Hal ini disebabkan karena aspal tidak lagi menyelimuti agregat dengan baik akibat pemakaian aspal yang banyak sehingga daya lekat (*interlocking*) aspal akan mudah mengalami perubahan bentuk atau *bleeding*.

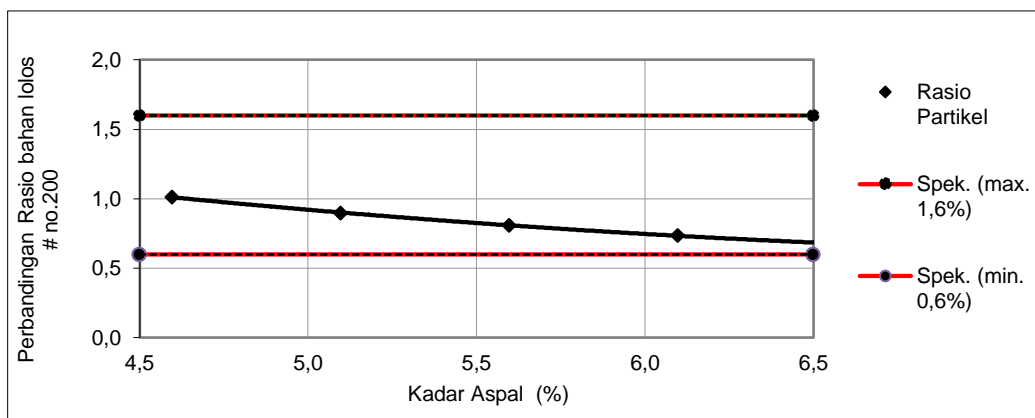
4.7.7. Hubungan Kadar Aspal Dengan Rasio Partikel Bahan Lolos No. 200

Rasio partikel bahan lolos No. 200 adalah perbandingan antara nilai stabilitas dengan kadar aspal. Tujuannya adalah untuk mendapatkan tingkat *fleksibilitas* dari satu campuran. *Fleksibilitas* yang dimaksudkan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban yang bekerja tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Hubungan rasio partikel bahan lolos No. 200 dan kadar aspal dapat dilihat apada tabel dan grafik berikut.

Tabel 4.44 Hubungan Kadar Aspal Dengan Rasio Partikel Bahan Lolos No. 200 variasi I

Kadar Aspal (%)	Ratio Partikel (%)	Spesifikasi Min. 0,6% Max. 1,6%
4,6	1,01	Memenuhi
5,1	0,90	memenuhi
5,6	0,81	Memenuhi
6,1	0,74	Memenuhi
6,6	0,67	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



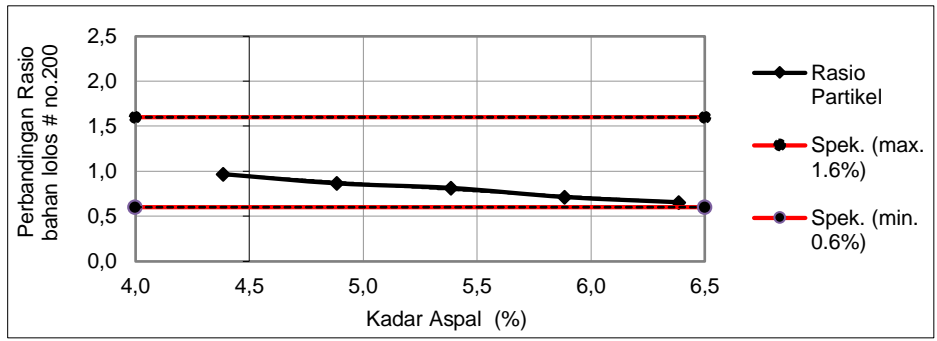
Gambar 4.22 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Dengan Rasio Partikel Bahan Lolos No. 200 variasi I

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.45 Hubungan Kadar Aspal Dengan Rasio Partikel Bahan Lolos No. 200 +6% Agregat Kasar variasi II

Kadar Aspal (%)	Ratio Partikel (%)	Spesifikasi Min. 0,6% Max. 1,6%
4,4	0,97	Memenuhi
4,9	0,86	memenuhi
5,4	0,81	Memenuhi
5,9	0,71	Memenuhi
6,4	0,65	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



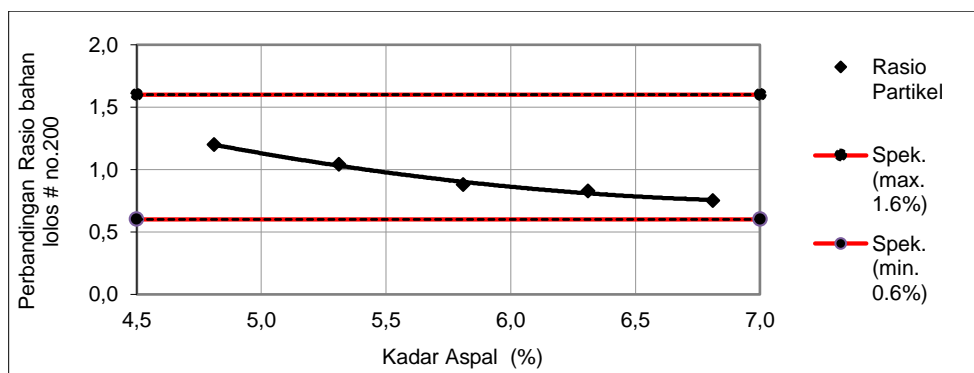
Gambar 4.23 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Dengan Rasio Partikel Bahan Lolos No. 200 variasi II

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Tabel 4.46 Hubungan Kadar Aspal Dengan Rasio Partikel Bahan Lolos No. 200 -6% Agregat Kasar variasi III

Kadar Aspal (%)	Ratio Partikel (%)	Spesifikasi Min. 0,6% Max. 1,6%
4,8	1,20	Memenuhi
5,3	1,04	memenuhi
5,8	0,88	Memenuhi
6,3	0,83	Memenuhi
6,8	0,75	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 4.24 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Dengan Rasio Partikel Bahan Lolos No. 200 variasi III

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Dari tabel 4.46 dan gambar 4.22 dapat dilihat bahwa bahwa nilai Rasio Partikel untuk kadar aspal 4,8% sampai 6,8% pada Laston AC-BC memenuhi spesifikasi Berdasarkan rekapitan pada Tabel 4.46 dapat dilihat bahwa nilai rasio partikel bahan lolos no.200 semakin menurun jika persentase kadar aspal bertambah mulai dari 4.8% sampai 6,8%. Hal ini mengindikasikan jika jumlah kadar aspal kurang maka partikel lolos saringan no. 200 lebih mendominasi untuk mengisi rongga diantara agregat. Sebaliknya, jika jumlah kadar aspal semakin tinggi maka pengaruh dari partikel lolos saringan no. 200 akan berkurang sebab rongga diantara agregat telah terisi oleh aspal.

4.8 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

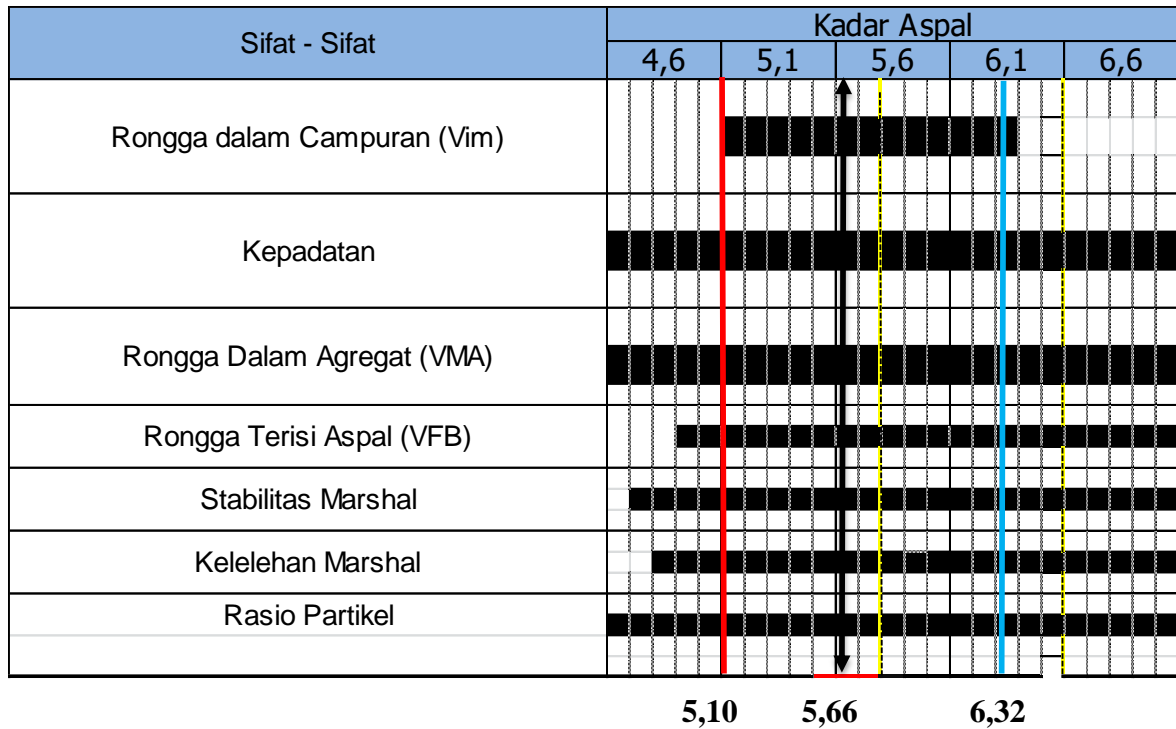
Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal campuran yang memenuhi spesifikasi. Kadar aspal optimum yang didapat pada Komposisi awal (Variasi I) sebesar 5,66%, variasi II +6% agregat kasar dari komposisi awal sebesar 5,4% dan Variasi III -6% agregat kasar dari komposisi awal sebesar 5,91% dan memenuhi syarat sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu mengacu pada nilai Kepadatan, Stabilitas, VIM, VMA, VFA, Folw dan Rasio partikel. Kadar aspal optimum dapat ditentukan dengan membuat diagram batang berdasarkan nilai hasil pengujian diatas terhadap seluruh parameter *Marshall*, dengan menentukan kadar aspal optimum berada pada titik tengah pada rentang kadar aspal optimum yang memenuhi persyaratan dan spesifikasi, yang dapat lihat pada gambar 4.25 sampai gambar 4.27 berikut.

a. Penentuan kadar aspal optimu proporsi awal

Tabel 4.47 Rentang Kadar Aspal Variasi I Yang Memenuhi Spesifikasi

Parameter Marshall	Spesifikasi	Rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi (%)
Kepadatan	Min. 2gr/cm ³	4,6 - 6,6
Stabiitas	Min : 800 kg	4,6 – 6,6
VIM	Min : 3.0 % Maks : 5.0 %	5,1 – 6,3
VMA	Min : 14%	4,6 – 6,6
VFA	Min : 65%	4,9 – 6,6
Kelelahan	2 – 4 mm	4,8 – 6,6
Rasio Partikel	0,6-1,6 %	4,6 – 6,6

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 4.25 Diagramm Batang Kadar Aspal Optimum Variasi I

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Keterangan grafik :

↔ : Kadar Aspal Optimum (KAO)

— : MAX

— : MIN

█ : Parameter Marshall (yang memenuhi Spesifikasi)

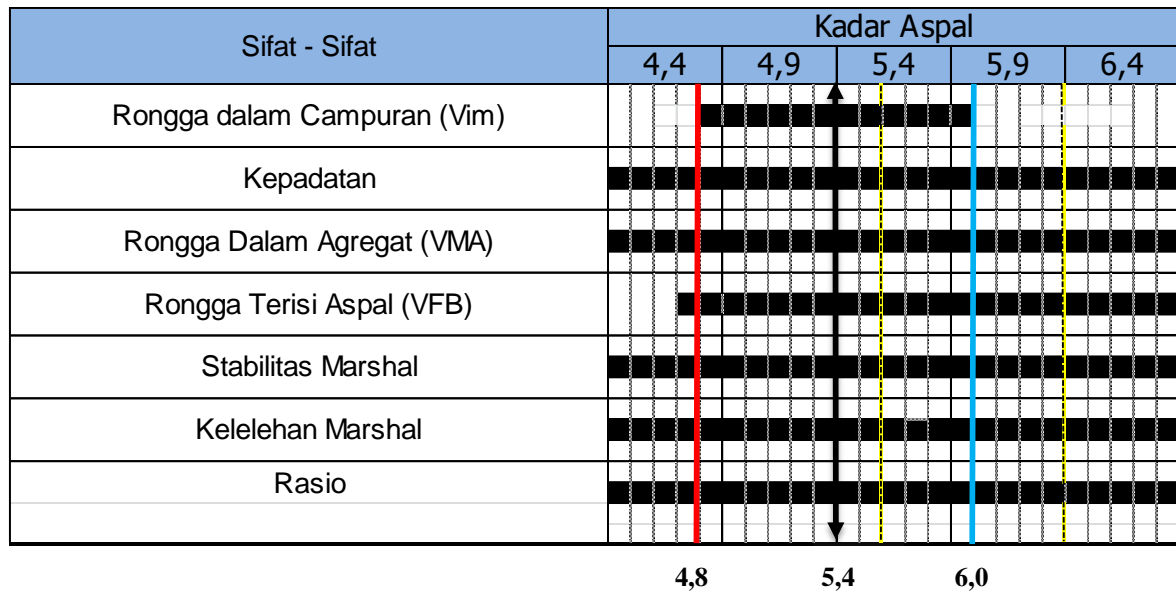
Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai kadar aspal optimum (KAO) yang memenuhi seluruh parameter *marshall* adalah Kepadatan, stabilitas, VIM, VMA, VFA, Flow dan Rasio yang disyaratkan memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, Revisi 2 didapat nilai kadar aspal antara 5,10% sampai 6,32% sehingga kadar aspal optimum yang didapatkan yaitu 5,66% dari hasil rata-rata kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter aspal *Marshall*.

b. Penentuan kadar aspal optimum +6% agregat kasar variasi (II)

Tabel 4.48 Rentang Kadar Aspal +6% agregat kasar variasi II

Parameter Marshall	Spesifikasi	Rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi (%)
Kepadatan	Min. 2gr/cm ³	4,4 - 6,4
Stabiitas	Min : 800 kg	4,4 - 6,4
VIM	Min : 3.0 % Maks : 5.0 %	4,8 - 6,0
VMA	Min : 14%	4,4 - 6,4
VFA	Min : 65%	4,7 - 6,4
Kelelahan	2 - 4 mm	4,4 - 6,4
Rasio Partikel	0,6-1,6 %	4,4 - 6,4

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 4.26 Diagramm Batang Kadar Aspal Optimum +6% Agregat Kasar (Variasi II)

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Keterangan grafik :

- : Kadar Aspal Optimum (KAO)
- : MAX
- : MIN
- : Parameter Marshall (yang memenuhi Spesifikasi)

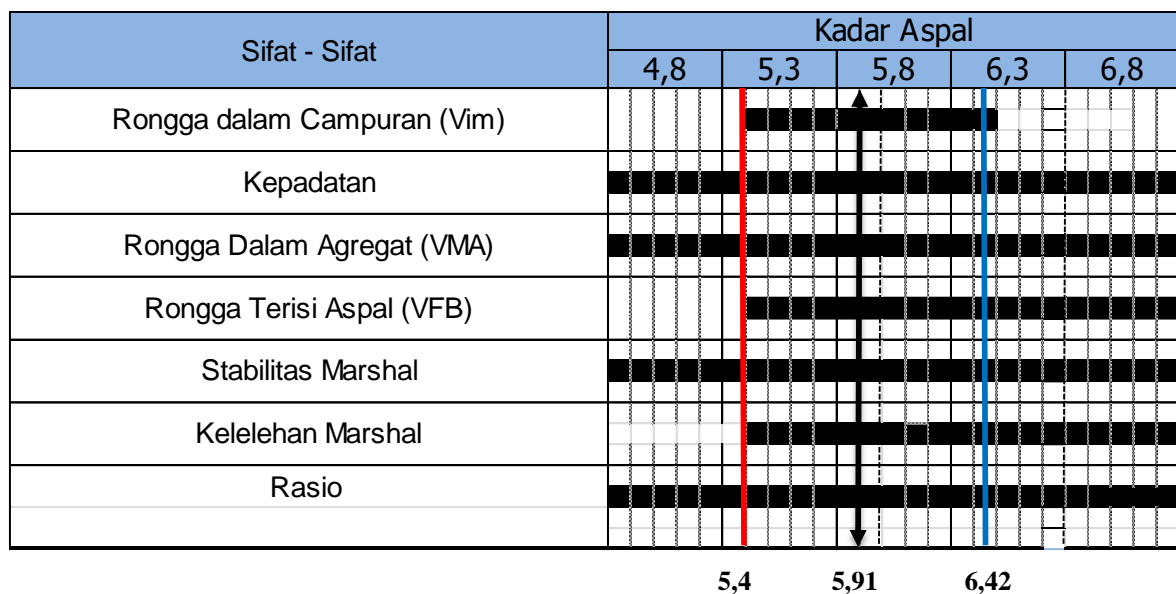
Berdasarkan gambar diatas dapat maka diperoleh nilai kadar aspal optimum (KAO) yang memenuhi seluruh parameter *marshall* adalah kepadatan, stabilitas, VIM, VMA, VFA, flow dan rasio yang disyaratkan memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, Revisi 2 didapat nilai kadar aspal antara 4,8% sampai 6,0% sehingga kadar aspal optimum yang didapatkan yaitu 5,4% dari hasil rata-rata kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter marshall.

c. Penentuan kadar aspal optimum -6% agregat kasar (variasi III)

Tabel 4.49 Rentang Kadar Aspal -6% agregat kasar (variasi III)

Parameter Marshall	Spesifikasi	Rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi (%)
Kepadatan	Min. 2gr/cm ³	4,8 - 6,8
Stabiitas	Min : 800 kg	4,8 - 6,8
VIM	Min : 3.0 % Maks : 5.0 %	5,4 - 6,4
VMA	Min : 14%	4,8 - 6,8
VFA	Min : 65%	5,4 - 6,8
Kelelehan	2 - 4 mm	5,4 - 6,8
Rasio Partikel	0,6-1,6 %	4,8 - 6,8





Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium



Gambar 4.27 Diagramm Batang Kadar Aspal Optimum -6% agregat kasar (variasi III)

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Keterangan grafik :

-  : Kadar Aspal Optimum (KAO)
-  : MAX
-  : MIN
-  : Parameter Marshall (yang memenuhi Spesifikasi)

Berdasarkan hasil diatas dapat dilihat bahwa nilai kadar aspal optimum (KAO) yang memenuhi seluruh parameter *marshall* adalah kepadatan, stabilitas, VIM, VMA, VFA, kelelahan dan rasio yang disyaratkan memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, Revisi 2 didapat nilai kadar aspal antara 5,40% sampai 6,42% sehingga kadar aspal optimum yang didapatkan yaitu 5,91%.

4.9 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa Kadar Aspal Optimum dengan masing-masing nilai parameter marshall untuk campuran laston (AC-BC) pada variasi I, +6% agregat kasar (Variasi II) dari komposisi awal, -6% agregat kasar (Variasi III) dari komposisi awal, dapat dilihat pada tabel 4.50 berikut.

Tabel 4.50 Data Rekapitan Hasil Uji Campuran

Komposisi Campuran Agregat Kasar (%)	KAO (%)	Kepadatan	Stabilitas (%)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	Flow (%)	Rasio Partikel (kg/mm)
Awal	5,66	2,30	1189,93	4,08	15,44	73,57	3,08	0,80
+6%	5,40	2,29	1095,58	4,15	15,53	73,29	4,13	0,80
-6%	5,91	2,33	1264,89	3,88	14,23	73,65	2,66	0,80

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium

Dari hasil analisa dapat dilihat bahwa dengan adanya variasi +6% agregat kasar dari komposisi awal maka akan menyebabkan kadar aspal optimum menurun, nilai kepadatan, nilai VFA menurun dan nilai stabilitas, VIM, VMA, flow meningkat. Sedangkan -6% agregat kasar dari komposisi awal (variasi II) maka akan menyebabkan

kadar aspal optimum meningkat, nilai kepadatan, VIM, VFA, flow meningkat dan nilai Stabilitas, VMA menurun.