

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Persiapan Alat Dan Material

4.1.1 Persiapan Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian dilaboratorium PT. Cahaya Berlian Jaya Abadi mencakup alat timbangan, satu set saringan, satu set alat uji keausan, satu set alat berat jenis dan penyerapan air, satu set alat *Marshall test*, dan peralatan pelengkap lainnya. Alat yang dipakai dalam kondisi yang baik dan untuk timbangan-timbangan serta *proving ring* alat *Marshall* sebelumnya sudah dikalibrasi oleh UPTD Pengujian dan Sertifikasi Mutu Barang Dinas Perindustrian dan Perdagangan Provinsi Nusa Tenggara Timur pihak terkait dengan tujuan untuk memastikan keakuratan masing-masing alat sesuai fungsinya.

4.1.2 Persiapan Material

Pada penelitian ini proses pengambilan material berupa agregat kasar dan agregat halus *distock pile* milik PT. Cahaya Berlian Jaya Abadi.

4.2 Pengujian Bahan Perkerasan

Material yang diambil kemudian dibawa ke laboratorium PT. Cahaya Berlian Jaya Abadi untuk dilakukan pengujian. Pengujian material dilakukan dengan tujuan mendapatkan sifat- sifat fisik material yang ada.

4.2.1 Pengambilan Material

Dalam penelitian ini pengambilan sampel material diambil dari stock pile milik PT. Cahaya Berlian Jaya Abadi Quarry Pariti Kabupaten Kupang. Material pada stock pile ditumpuk sesuai dengan jenisnya. Tata cara pengambilan contoh uji agregat mengacu pada SNI 6889:2014 (ASTM D75/D75M-09, IDT). Sampel agregat diambil dari timbunan agregat berbentuk kerucut yang diproduksi stone crusher. Alat yang digunakan saat pengambilan material berupa sekop, triplek, karung plastik, meter dan spidol. Cara pengambilannya adalah menentukan tempat

pengambilan contoh agregat pada tempat timbunan. Setelah ditentukan timbunan material yang akan diambil, ukur panjang kemiringan timbunan agregat lalu dibagi menjadi 3 (Systematic Random Sampling) untuk mendapatkan suatu sampel yang mewakili keseluruhan populasi yang berada pada stock pile milik PT. Cahaya Berlian Jaya Abadi.

Pengambilan sampel dilakukan dengan cara menyekop agregat yang berada di masing-masing tumpukan dan dimasukkan karung yang diberi label sebagai penanda jenis fraksi yang diambil kemudian diangkut dengan gerobak dorong untuk dibawa ke Laboratorium.

Material contoh yang diambil antara lain batu pecah 1", batu pecah 3/4", batu pecah 1/2", abu batu hasil produksi alat pemecah batu dan pasir alam dengan jumlah masing masing setiap fraksi diatas seberat ± 50 kg. Untuk aspal dari PT. Pertamina dengan penetrasi 60/70 yang disimpan ditangki tempat penyimpanan diambil sebanyak ± 15 ltr serta semen Kupang yang dipakai sebagai bahan pengisi (*filler*) diambil sebanyak ± 25 kg. Seluruh sampel yang telah dikumpulkan kemudian dibawa ke laboratorium PT. Cahaya Berlian Jaya Abadi

4.2.2 Data

Data berupa pengujian-pengujian yang dilakukan di laboratorium antara lain pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dan agregat halus, pengujian analisa saringan dan pengujian bahan lolos 200 dari agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi, pengujian abrasi dan pengujian *Marshall*. Selain data primer, juga digunakan data sekunder hasil pengujian aspal curah dengan penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3.

4.3 Analisa Data

4.3.1 Agregat Kasar

Hasil pengujian agregat kasar berupa hasil pengujian analisa saringan, berat jenis dan penyerapan agregat terhadap air, dan Uji Keausan dengan menggunakan Mesin *Los Angels*.

4.3.1.1 Pengujian Analisa Saringan

Tujuan dari pengujian analisa saringan ini adalah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah presentase butiran agregat kasar.

Material yang digunakan pada pengujian analisa saringan adalah batu pecah ukuran 1", batu pecah ukuran 3/4" dan batu pecah ukuran 1/2". Hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.1**, **Tabel 4.2** dan **Tabel 4.3** berikut.

Tabel 4.1. Pengujian Analisa Saringan Batu Pecah 1"

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN								
(SNI ASTM C136 : 2012)								
CONTOH UJI :		BATU PECAH 1"		Berat Benda Uji I = 4.646,0 Gram				
				Berat Benda Uji II = 4.623,3 Gram				
Saringan		Jumlah Berat Tertahan (gram)		Prosen Tertahan (%)		Prosen Lolos (%)		
(ASTM)	(mm)	I	II	I	II	I	II	Rata-Rata
1 "	25,0	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
3/4"	19,0	3.526,5	3.378,5	75,90	73,08	24,10	26,92	25,51
1/2"	12,5	4.537,6	4.548,0	97,67	98,37	2,33	1,63	1,98
3/8"	9,5	4.616,7	4.602,3	99,37	99,55	0,63	0,45	0,54
No. 4	4,75							

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Contoh perhitungan analisa saringan batu pecah 1" diuraikan sebagai berikut:

1. Benda Uji I

a. Berat Benda Uji I = 4646,0 gram

b. Jumlah berat tertahan benda uji I = 3526,5 gram

$$\begin{aligned}
 \text{Persen tertahan} &= \frac{\text{Berat tertahan}}{\text{Berat benda uji}} \times 100 \\
 &= \frac{3526,5}{4646,0} \times 100 \\
 &= 75,90 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Persen lolos} &= 100 - \text{persen tertahan} \\
 &= 100 - 75,90 \\
 &= 24,10 \%
 \end{aligned}$$

2. Benda Uji II

$$\text{a. Berat Benda Uji II} = 4623,3 \text{ gram}$$

$$\text{b. Jumlah berat tertahan benda uji II} = 3378,5 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Persen tertahan} &= \frac{\text{Berat tertahan}}{\text{Berat benda uji}} \times 100 \\
 &= \frac{3378,5}{4623,3} \times 100 \\
 &= 73,08 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Persen lolos} &= 100 - \text{persen tertahan} \\
 &= 100 - 73,08 \\
 &= 26,92 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{3. Nilai rata-rata persen lolos} &= \frac{(\% \text{ Lolos benda uji I} + \% \text{ lolos benda uji II})}{2} \\
 &= \frac{24,10 + 26,92}{2} \\
 &= 25,51\%
 \end{aligned}$$

Tabel 4.2. Pengujian Analisa Saringan Batu Pecah 3/4 ”

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN								
(SNI ASTM C136 : 2012)								
CONTOH UJI :		BATU PECAH 3/4"		Berat Benda Uji I = 2.805,4 Gram				
				Berat Benda Uji II = 3.081,6 Gram				
Saringan		Jumlah Berat Tertahan (gram)		Prosen Tertahan (%)		Prosen Lolos (%)		
(ASTM)	(mm)	I	II	I	II	I	II	Rata-Rata
1 "	25,0	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
3/4"	19,0	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
1/2"	12,5	2.044,6	2.301,6	72,88	74,69	27,12	25,31	26,22
3/8"	9,50	2.735,5	2.993,6	97,51	97,14	2,49	2,86	2,67
No. 4	4,75	2.791,7	3.060,2	99,51	99,31	0,49	0,69	0,59
No. 8	2,36							

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.3. Pengujian Analisa Saringan Batu Pecah 1/2 ”

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN								
(SNI ASTM C136 : 2012)								
CONTOH UJI :		BATU PECAH 1/2"		Berat Benda Uji I = 3.847,0 Gram				
				Berat Benda Uji II = 2.616,0 Gram				
Saringan		Jumlah Berat Tertahan (gram)		Prosen Tertahan (%)		Prosen Lolos (%)		
(ASTM)	(mm)	I	II	I	II	I	II	Rata-Rata
1 "	25,0	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
3/4"	19,0	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
1/2"	12,5	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
3/8"	9,50	429,1	306,7	11,15	11,72	88,85	88,28	88,56
No. 4	4,75	3.629,8	2.505,6	94,35	95,78	5,65	4,22	4,93
No. 8	2,36	3.789,2	2.580,2	98,50	98,63	1,50	1,37	1,44
No. 16	1,18							

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Pengujian analisa saringan atau pemeriksaan gradasi material dari *stock pile* di Pariti dan diuraikan pada **Tabel 4.1**, **Tabel 4.2**. dan **Tabel 4.3**. diperoleh pengelompokan dari masing-masing fraksi antara lain:

1. Batu pecah 1” tertahan saringan 3/4” (19 mm) sampai dengan saringan 3/8” (9,5 mm)
2. Batu pecah 3/4” tertahan saringan 1/2” (12,5 mm) sampai dengan saringan nomor 4 (4,75 mm). Dan
3. Batu pecah 1/2” tertahan saringan 3/8” (9,5) sampai dengan saringan nomor 4 (4.75 mm).

4.3.1.2 Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air

Agregat yang dipakai dalam pengujian ini adalah agregat dengan ukuran 1”, 3/4” dan 1/2” atau agregat yang tertahan saringan No.4 yang berasal dari *stock pile* Pariti.

Hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar dapat dilihat pada **Tabel 4.4**, **Tabel 4.5** dan **Tabel 4.6** berikut ini.

Tabel 4.4. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Batu Pecah 1”

PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR (SNI 03 - 1969 - 2008)					
Contoh Uji : Batu Pecah 1"					
No.	U R A I A N	I	II	SATUAN	
1	Berat benda uji kering oven (Bk)	4.602,4	4.604,5	Gram	
2	Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	4.666,4	4.664,5	Gram	
3	Berat benda uji didalam air (Ba)	2.902,3	2.905,6	Gram	
P E R H I T U N G A N		I	II	Rata-Rata	Spesifikasi
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$= \frac{Bk}{Bj - Ba}$	2,609	2,618	2,613	-
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Saturated Surface Dry)	$= \frac{Bj}{Bj - Ba}$	2,645	2,652	2,649	-
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	$= \frac{Bk}{Bk - Ba}$	2,707	2,710	2,709	-
Penyerapan Air (%)	$= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100$	1,391	1,303	1,347	Max. 3

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.5. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Batu Pecah 3/4"

PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR					
(SNI 03 - 1969 - 2008)					
Contoh Uji : Batu Pecah 3/4"					
No.	U R A I A N	I	II	SATUAN	
1	Berat benda uji kering oven (Bk)	2.785,4	3.052,4	Gram	
2	Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	2.826,9	3.092,6	Gram	
3	Berat benda uji didalam air (Ba)	1.761,0	1.926,2	Gram	
P E R H I T U N G A N		I	II	Rata-Rata	Spesifikasi
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$= \frac{Bk}{Bj - Ba}$	2,613	2,617	2,615	-
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Saturated Surface Dry)	$= \frac{Bj}{Bj - Ba}$	2,652	2,651	2,652	-
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	$= \frac{Bk}{Bk - Ba}$	2,719	2,710	2,715	-
Penyerapan Air (%)	$= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100$	1,490	1,317	1,403	Max. 3

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.6. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Batu Pecah 1/2"

PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR					
(SNI 03 - 1969 - 2008)					
Contoh Uji : Batu Pecah 1/2"					
No.	U R A I A N	I	II	SATUAN	
1	Berat benda uji kering oven (Bk)	2.546,3	3.688,3	Gram	
2	Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	2.583,2	3.748,9	Gram	
3	Berat benda uji didalam air (Ba)	1.612,4	2.338,2	Gram	
P E R H I T U N G A N		I	II	Rata-Rata	Spesifikasi
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$= \frac{Bk}{Bj - Ba}$	2,623	2,615	2,619	-
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Saturated Surface Dry)	$= \frac{Bj}{Bj - Ba}$	2,661	2,657	2,659	-
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	$= \frac{Bk}{Bk - Ba}$	2,727	2,732	2,729	-
Penyerapan Air (%)	$= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100$	1,449	1,643	1,546	Max. 3

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Contoh formula perhitungan Batu Pecah 1" sebagai berikut :

1. Berat Jenis *Bulk*

- a. Berat benda uji I oven (Bk) = 4602,4 gram
- b. Berat benda uji I kering permukaan jenuh (Bj) = 4666,4 gram
- c. Berat benda uji I didalam air (Ba) = 2902,3 gram
- d. Berat jenis *bulk* benda uji I

$$= \frac{Bk}{Bj - Ba}$$

$$= \frac{4602,4}{4666,4 - 2902,3}$$

$$= 2.609 \text{ gram}$$
- e. Berat benda uji II oven (Bk) = 4604,5 gram
- f. Berat benda uji II kering permukaan jenuh (Bj) = 4664,5 gram
- g. Berat benda uji II didalam air (Ba) = 2905,6 gram
- h. Berat jenis *bulk* benda uji I

$$= \frac{Bk}{Bj - Ba}$$

$$= \frac{4604,5}{4664,5 - 2905,6}$$

$$= 2,618 \text{ gram}$$
- i. Nilai rata-rata berat jenis *Bulk*

$$= \frac{2,609 + 2,618}{2}$$

$$= 2,613 \text{ gram}$$

2. Berat Jenis *SSD*

- a. Berat benda uji I kering permukaan jenuh (Bj) = 4666,4 gram
- b. Berat nbenda uji I dalam air (Ba) = 2902,3 gram
- c. Berat jenis *SSD* benda uji I

$$= \frac{Bj}{Bj - Ba}$$

$$= \frac{4666,4}{4666,4 - 2902,3}$$

$$= 2,645 \text{ gram}$$
- d. Berat benda uji II kering permukaan jenuh (Bj) = 4664,5 gram
- e. Berat benda uji II dalam air (Ba) = 2905,6 gram
- f. Berat jenis *SSD* benda uji II

$$= \frac{Bj}{Bj - Ba}$$

$$= \frac{4664,5}{4664,5 - 2905,6}$$

$$= 2,652 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}
 \text{g. Nilai rata-rata berat jenis } SSD &= \frac{2,645 + 2,652}{2} \\
 &= 2,649 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

3. Berat Jenis *Apparent*

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat benda uji I kering oven (Bk)} &= 4602,4 \text{ gram} \\
 \text{b. Berat benda uji I dalam air (Ba)} &= 2902,3 \text{ gram} \\
 \text{c. Berat jenis } apparent \text{ benda uji I} &= \frac{Bk}{Bk - Ba} \\
 &= \frac{4602,4}{4602,4 - 2902,3} \\
 &= 2,707 \text{ gram} \\
 \text{d. Berat benda uji II kering oven (Bk)} &= 4604,5 \text{ gram} \\
 \text{e. Berat benda uji II dalam air (Ba)} &= 2905,6 \text{ gram} \\
 \text{f. Berat jenis } apparent \text{ benda uji II} &= \frac{Bk}{Bk - Ba} \\
 &= \frac{4604,5}{4604,5 - 2905,6} \\
 &= 2,710 \text{ gram} \\
 \text{g. Nilai rata-rata berat jenis } apparent &= \frac{2,709 + 2,710}{2} \\
 &= 2,710 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

4. Penyerapan Air

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat benda uji I kering permukaan jenuh (Bj)} &= 4666,4 \text{ gram} \\
 \text{b. Berat benda uji I kering oven (Bk)} &= 4602,4 \text{ gram} \\
 \text{c. Penyerapan air benda uji I} &= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100 \\
 &= \frac{4666,4 - 4602,4}{4666,4} \times 100 \\
 &= 1,391 \% \\
 \text{d. Berat benda uji II kering permukaan jenuh (Bj)} &= 4664,5 \text{ gram} \\
 \text{e. Berat benda uji II kering oven (Bk)} &= 4604,5 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{f. Penyerapan air benda uji II} &= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 \\
 &= \frac{4664,5 - 4604,5}{4604,5} \times 100 \\
 &= 1,303 \% \\
 \text{g. Nilai rata-rata penyerapan air} &= \frac{1,391 + 1,303}{2} \\
 &= 1,347 \%
 \end{aligned}$$

Pengujian berat jenis dan penyerapan air untuk material agregat kasar menggunakan batu pecah 1", 3/4" dan batu pecah 1/2", bertujuan untuk mengetahui berat jenis curah (*Bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*), berat jenis semu (*Apparent*) dan penyerapan air (*Absorption*) dari masing-masing jenis material tersebut.

Proses pengujian berat jenis bulk, berat jenis SSD, berat jenis apparent dan penyerapan air pada agregat kasar dilakukan secara berurutan, dikarenakan pada pengujian tersebut memiliki kebutuhan parameter yang sama dan saling terkait yaitu berat benda uji kering oven, berat benda uji kering permukaan jenuh dan berat benda uji dalam air. Sehingga pengujian tersebut dapat dilakukan pada hari yang bersamaan dan menjadi satu paket pengujian.

Hasil pengujian penyerapan air agregat kasar yang terdapat pada Tabel 4.4, Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yakni maksimum penyerapan air 3% (SNI 1969-2016).

4.3.1.3 Uji Keausan Dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian ini dilakukan pada material batu pecah yang lolos saringan ukuran 3/4", tertahan 1/2" dan tertahan saringan 3/8". Maksud dari pengujian ini adalah untuk mengetahui angka keausan atau mengetahui ketahanan agregat kasar terhadap keausan. Angka Keausan dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No. 12. Hasil pengujian Keausan Agregat dapat dilihat pada **Tabel 4.7** berikut.

Tabel 4.7. Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin *Los Angeles* (Abrasi)

PENGUJIAN KEAUSAN AGREGAT DENGAN MESIN LOS ANGELES (SNI 03 - 2417 - 2008)							
Contoh Uj Batu Pecah							
SARINGAN				GRADASI PEMERIKSAAN			
LOLOS		TERTAHAN		CARA A	CARA B		CARA C
ASTM	mm	ASTM	mm		Contoh 1	Contoh 2	
3"	76,2	2 1/2"	63,5				
2 1/2"	63,5	2"	50,8				
2"	50,8	1 1/2"	36,1				
1 1/2"	36,1	1"	25,4				
1"	25,4	3/4"	19,1				
3/4"	19,1	1/2"	12,7		2.500,0	2.500,0	
1/2"	12,7	3/8"	9,52		2.500,0	2.500,0	
3/8"	9,52	1/4"	6,35				
1/4"	6,35	No. 4	4,75				
No. 4	4,75	No. 8	2,36				
Jumlah Berat (a)					5.000,0	5.000,0	
Berat Tertahan No.12 sesudah Percobaan (b)					3.891,0	3.884,0	
Keausan = (a - b) / a x 100					22,18	22,32	
KEAUSAN RATA - RATA (%)					22,25		

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Gradasi agregat yang digunakan dalam pengujian keausan agregat kasar adalah gradasi dimana agregat kasar lolos saringan No. 3/4 (19,0 mm) dan tertahan saringan No. 1/2" (12,5 mm) sebanyak 2500 gram serta agregat kasar lolos saringan No.1/2 (12,5 mm) dan tertahan saringan No. 3/8" (9.5 mm) sebanyak 2500 gram. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3, persentase keausan maksimum adalah 40% untuk 500 putaran. Hasil pengujian abrasi agregat kasar yang terdapat pada **Tabel 4.7** memenuhi syarat yakni maksimum 40% (SNI 03-2417:2008) dengan nilai keausan agregat kasar adalah 22,25%.

Agregat dengan nilai keausan yang kecil mengindikasikan bahwa agregat tersebut tidak mudah pecah selama proses pemadatan atau akibat pengaruh beban lalu lintas. Agregat yang kuat akan menghasilkan campuran yang kuat karena bidang pengunci yang bersudut tidak akan mudah pecah.

4.3.1.4 Pengujian Bahan Lolos Saringan No.200

Pengujian ini dilakukan pada material batu pecah dan pasir. Tujuan dilakukan pengujian ini adalah untuk menentukan banyaknya bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jernih. Hasil pengujian tersebut dapat di lihat pada **Tabel 4.8**, **Tabel 4.9** dan **Tabel 4.10** berikut ini.

Tabel 4.8. Pengujian Bahan Lolos Saringan No. 200 Batu Pecah 1"

PENGUJIAN JUMLAH BAHAN DALAM AGREGAT YANG LOLOS SARINGAN NO. 200 (SNI 03 - 4142 - 1996)					
Contoh Uji Batu Pecah 1"					
U R A I A N	I	II	RATA-RATA	SATUAN	
Berat benda uji semula (W1)	4.646,0	4.623,3		Gram	
Berat benda uji setelah dicuci (W2)	4.629,3	4.612,7		Gram	
Bahan Lolos Saringan 200 = $\frac{(W1 - W2)}{(W1)} \times 100$	0,36	0,23	0,29	%	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.9. Pengujian Bahan Lolos Saringan No. 200 Batu Pecah 3/4"

PENGUJIAN JUMLAH BAHAN DALAM AGREGAT YANG LOLOS SARINGAN NO. 200 (SNI 03 - 4142 - 1996)					
Contoh Uji Batu Pecah 3/4"					
U R A I A N	I	II	RATA-RATA	SATUAN	
Berat benda uji semula (W1)	2.805,4	3.081,6		Gram	
Berat benda uji setelah dicuci (W2)	2.797,7	3.074,5		Gram	
Bahan Lolos Saringan 200 = $\frac{(W1 - W2)}{(W1)} \times 100$	0,27	0,23	0,25	%	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.10. Pengujian Bahan Lolos Saringan No. 200 Batu Pecah 1/2"

PENGUJIAN JUMLAH BAHAN DALAM AGREGAT YANG LOLOS SARINGAN NO. 200 (SNI 03 - 4142 - 1996)					
Contoh Uji Batu Pecah 1/2"					
U R A I A N	I	II	RATA-RATA	SATUAN	
Berat benda uji semula (W1)	3.847,0	2.616,0		Gram	
Berat benda uji setelah dicuci (W2)	3.826,5	2.603,2		Gram	
Bahan Lolos Saringan 200 = $\frac{(W1 - W2)}{(W1)} \times 100$	0,53	0,49	0,51	%	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.3.2 Agregat Halus

Hasil pengujian agregat halus berupa pengujian analisa saringan, dan berat jenis, penyerapan air.

4.3.2.1 Pengujian Analisa Saringan

Tujuan dari pengujian analisa saringan ini adalah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah presentase butiran agregat. Material yang digunakan pada pengujian analisa saringan agregat halus adalah abu batu hasil produksi alat pemecah batu, pasir alam. Contoh perhitungan analisa saringan yang digunakan adalah pengujian analisa saringan abu batu yang diuraikan sebagai berikut :

1. Benda Uji I

- a. Berat Benda Uji I = 3437,6 gram
- b. Jumlah berat tertahan benda uji I = 644,2 gram
- Persen tertahan = $\frac{\text{Berat tertahan}}{\text{Berat benda uji}} \times 100$
- $$= \frac{644,2}{3437,6} \times 100$$
- = 18,74 %
- Persen lolos = 100 – persen tertahan
- = 100 – 18,74
- = 81,26 %

2. Benda Uji II

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat Benda Uji II} &= 3390,3 \text{ gram} \\
 \text{b. Jumlah berat tertahan benda uji II} &= 629,6 \text{ gram} \\
 \text{Persen tertahan} &= \frac{\text{Berat tertahan}}{\text{Berat benda uji}} \times 100 \\
 &= \frac{629,6}{3390,3} \times 100 \\
 &= 18,57 \% \\
 \text{Persen lolos} &= 100 - \text{persen tertahan} \\
 &= 100 - 18,57 \\
 &= 81,43 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai rata-rata persen lolos} &= \frac{(\% \text{ Lolos benda uji I} + \% \text{ lolos benda uji II})}{2} \\
 &= \frac{81,26 + 81,43}{2} \\
 &= 81,34 \%
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian pengujian analisa saringan agregat halus antara lain abu batu hasil produksi alat pemecah batu dan pasir alam dapat dilihat pada **Tabel 4.11** dan **Tabel 4.12** berikut :

Tabel 4.11. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN								
(SNI ASTM C136 : 2012)								
CONTOH UJI :		ABU BATU		Berat Benda Uji I = 3.437,6 Gram				
				Berat Benda Uji II = 3.390,3 Gram				
Saringan		Jumlah Berat Tertahan (gram)		Prosen Tertahan (%)		Prosen Lolos (%)		
(ASTM)	(mm)	I	II	I	II	I	II	Rata-Rata
1 "	25,0	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
3/4"	19,0	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
1/2"	12,5	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0

Lanjutan : Tabel 4.11. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN								
(SNI ASTM C136 : 2012)								
CONTOH UJI :		ABU BATU		Berat Benda Uji I = 3.437,6 Gram				
				Berat Benda Uji II = 3.390,3 Gram				
Saringan		Jumlah Berat Tertahan (gram)		Prosen Tertahan (%)		Prosen Lolos (%)		
(ASTM)	(mm)	I	II	I	II	I	II	Rata-Rata
3/8"	9,50	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
No. 4	4,75	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
No. 8	2,36	644,2	629,6	18,74	18,57	81,26	81,43	81,34
No. 16	1,18	1.738,8	1.785,5	50,58	52,66	49,42	47,34	48,38
No. 30	0,60	2.382,4	2.402,5	69,30	70,86	30,70	29,14	29,92
No. 50	0,30	2.678,2	2.683,8	77,91	79,16	22,09	20,84	21,46
No. 100	0,150	2.898,9	2.870,0	84,33	84,65	15,67	15,35	15,51
No. 200	0,075	3.036,2	3.049,1	88,32	89,94	11,68	10,06	10,87

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.12. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Pasir Alam

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN								
(SNI ASTM C136 : 2012)								
CONTOH UJI :		PASIR ALAM		Berat Benda Uji I = 2.301,2 Gram				
				Berat Benda Uji II = 2.345,8 Gram				
Saringan		Jumlah Berat Tertahan (gram)		Prosen Tertahan (%)		Prosen Lolos (%)		
(ASTM)	(mm)	I	II	I	II	I	II	Rata-Rata
1 "	25,0	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
3/4"	19,0	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
1/2"	12,5	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
3/8"	9,50	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
No. 4	4,75	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
No. 8	2,36	6,1	8,5	0,27	0,36	99,73	99,64	99,69
No. 16	1,18	54,3	56,5	2,36	2,41	97,64	97,59	97,62
No. 30	0,60	344,3	334,4	14,96	14,26	85,04	85,74	85,39
No. 50	0,30	1.388,9	1.249,1	60,36	53,25	39,64	46,75	43,20
No. 100	0,150	2.184,4	2.177,9	94,92	92,84	5,08	7,16	6,12
No. 200	0,075	2.203,9	2.299,3	95,77	98,02	4,23	1,98	3,11

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Hasil pengujian analisa saringan (*sieve analysis*) atau pemeriksaan gradasi Material *stock pile* Pariti untuk agregat halus abu batu dan pasir pada **Tabel 4.11**

dan **Tabel 4.12** yaitu agregat halus abu batu dan pasir lolos saringan no.4 (4,75 mm) dan tertahan saringan no.200 (0,075 mm).

4.3.2.2 Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air

Agregat yang dipakai dalam pengujian ini adalah abu batu dan pasir alam yang lolos saringan No.4 yang berasal dari *stock pile* Pariti. Hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilihat pada **Tabel 4.13** dan **Tabel 4.14**, dengan formula perhitungan berikut ini :

1. Berat Jenis *Bulk*

- | | |
|--|--|
| a. Berat benda uji I oven (Bk) | = 498,8 gram |
| b. Berat benda uji I kering permukaan jenuh (Bj) | = 505,1 gram |
| c. Berat piknometer + air (25°C) (Ba) | = 3187,2 gram |
| d. Berat piknometer + air (25°C) + Benda uji I (Bt) | = 3499,9 gram |
| e. Berat jenis <i>bulk</i> benda uji I | $= \frac{Bk}{Ba + Bj - Bt}$ $= \frac{498,8}{3187,2 + 505,1 - 3499,9}$ $= 2,593 \text{ gram}$ |
| f. Berat benda uji II oven (Bk) | = 516,2 gram |
| g. Berat benda uji II kering permukaan jenuh (Bj) | = 524,2 gram |
| h. Berat piknometer + air (25°C) (Ba) | = 1581,8 gram |
| i. Berat piknometer + air (25°C) + Benda uji II (Bt) | = 1908,9 gram |
| j. Berat jenis <i>bulk</i> benda uji II | $= \frac{Bk}{Ba + Bj - Bt}$ $= \frac{516,2}{1581,8 + 524,2 - 1908,9}$ $= 2,619 \text{ gram}$ |
| k. Nilai rata-rata berat jenis <i>Bulk</i> | $= \frac{2.593 + 2.619}{2}$ $= 2,606 \text{ gram}$ |

2. Berat jenis *SSD*

- | | |
|--|--------------|
| a. Berat benda uji I kering permukaan jenuh (Bj) | = 505,1 gram |
|--|--------------|

$$\begin{aligned}
\text{b. Berat piknometer + air (25°C) (Ba)} &= 3187,2 \text{ gram} \\
\text{c. Berat piknometer + air (25°C) + Benda uji I (Bt)} &= 3499,9 \text{ gram} \\
\text{d. Berat jenis SSD benda uji I} &= \frac{B_j}{B_a + B_j - B_t} \\
&= \frac{501,1}{3187,2 + 501,1 - 3499,9} \\
&= 2,625 \text{ gram} \\
\text{e. Berat benda uji II kering permukaan jenuh (Bj)} &= 524,2 \text{ gram} \\
\text{f. Berat piknometer + air (25°C) (Ba)} &= 1581,8 \text{ gram} \\
\text{g. Berat piknometer + air (25°C) + Benda uji II (Bt)} &= 1908,9 \text{ gram} \\
\text{h. Berat jenis SSD benda uji II} &= \frac{B_j}{B_a + B_j - B_t} \\
&= \frac{524,2}{1581,8 + 524,2 - 1908,9} \\
&= 2,660 \text{ gram} \\
\text{i. Nilai rata-rata berat jenis SSD} &= \frac{2,625 + 2,642}{2} \\
&= 2,642 \text{ gram}
\end{aligned}$$

3. Berat jenis *apparent*

$$\begin{aligned}
\text{a. Berat benda uji I oven (Bk)} &= 498,8 \text{ gram} \\
\text{b. Berat piknometer + air (25°C) (Ba)} &= 3187,2 \text{ gram} \\
\text{c. Berat piknometer + air (25°C) + Benda uji I (Bt)} &= 3499,9 \text{ gram} \\
\text{d. Berat jenis } \textit{apparent} \text{ benda uji I} &= \frac{B_k}{B_a + B_k - B_t} \\
&= \frac{498,8}{3187,2 + 498,8 - 3499,9} \\
&= 2,680 \text{ gram} \\
\text{e. Berat benda uji II oven (Bk)} &= 516,2 \text{ gram} \\
\text{f. Berat piknometer + air (25°C) (Ba)} &= 1581,8 \text{ gram} \\
\text{g. Berat piknometer + air (25°C) + Benda uji II (Bt)} &= 1908,9 \text{ gram} \\
\text{h. Berat jenis } \textit{apparent} \text{ benda uji II} &= \frac{B_k}{B_a + B_k - B_t} \\
&= \frac{516,2}{1581,8 + 516,2 - 1908,9} \\
&= 2,730 \text{ gram}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{i. Nilai rata-rata berat jenis } apparent &= \frac{2.680 + 2,730}{2} \\
 &= 2,705 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

4. Penyerapan Air

$$\begin{aligned}
 \text{a. Berat benda uji I oven (Bk)} &= 498,8 \text{ gram} \\
 \text{b. Berat benda uji I kering permukaan jenuh (Bj)} &= 505,1 \text{ gram} \\
 \text{c. Berat jenis penyerapan air benda uji I} &= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100 \\
 &= \frac{505,1 - 498,8}{498,8} \times 100 \\
 &= 1,263 \text{ gram} \\
 \text{d. Berat benda uji II oven (Bk)} &= 516,2 \text{ gram} \\
 \text{e. Berat benda uji II kering permukaan jenuh (Bj)} &= 524,2 \text{ gram} \\
 \text{f. Berat jenis penyerapan air benda uji II} &= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100 \\
 &= \frac{524,2 - 516,2}{516,2} \times 100 \\
 &= 1,550 \text{ gram} \\
 \text{g. Nilai rata-rata berat jenis penyerapan air} &= \frac{1,263 + 1,550}{2} \\
 &= 1,406 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 13. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Abu Batu

PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS					
(SNI 03 - 1970 - 2008)					
Contoh Uji : Abu Batu					
No.	U R A I A N	I	II	SATUAN	
1	Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD) (Bj)	505,1	524,2	Gram	
2	Berat benda uji kering oven (Bk)	498,8	516,2	Gram	
3	Berat Piknometer + air (25°C) (Ba)	3.187,2	1.581,8	Gram	
4	Berat Piknometer + air (25°C) + benda uji (SSD) (Bt)	3.499,9	1.908,9	Gram	
P E R H I T U N G A N		I	II	Rata-Rata	Spesifikasi
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$= \frac{Bk}{Ba + Bj - Bt}$	2,593	2,619	2,606	-
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Saturated Surface Dry)	$= \frac{Bj}{Ba + Bj - Bt}$	2,625	2,660	2,642	-
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	$= \frac{Bk}{Ba + Bk - Bt}$	2,680	2,730	2,705	-
Penyerapan Air	$= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100$	1,263	1,550	1,406	Max. 3

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4. 14. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir Alam

PENGUJIAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS (SNI 03 - 1970 - 2008)					
Contoh Uji : Pasir Alam					
No.	U R A I A N	I	II	SATUAN	
1	Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD) (Bj)	501,0	502,6	Gram	
2	Berat benda uji kering oven (Bk)	495,3	496,9	Gram	
3	Berat Piknometer + air (25°C) (Ba)	1.582,5	3.187,7	Gram	
4	Berat Piknometer + air (25°C) + benda uji (SSD) (Bt)	1.891,2	3.497,2	Gram	
P E R H I T U N G A N		I	II	Rata-Rata	Spesifikasi
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$= \frac{Bk}{Ba + Bj - Bt}$	2,576	2,573	2,574	-
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Saturated Surface Dry)	$= \frac{Bj}{Ba + Bj - Bt}$	2,605	2,603	2,604	-
Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)	$= \frac{Bk}{Ba + Bk - Bt}$	2,654	2,652	2,653	-
Penyerapan Air (%)	$= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100$	1,151	1,147	1,149	Max. 3

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis curah (Bulk), berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu (Apparent) dan penyerapan air (Absorption).

Hasil pengujian penyerapan air agregat halus yang terdapat pada **Tabel 4.13** dan **Tabel 4.14** memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yakni maksimum penyerapan air 3 % (SNI 03-1970-2016).

4.3.2.3 Pengujian Bahan Lolos Saringan No.200

Pengujian ini dilakukan pada material batu pecah dan pasir. Tujuan dilakukan pengujian ini adalah untuk menentukan banyaknya bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jernih, hasil pengujian bahan lolos saringan 200 dari pasir dapat di lihat pada **Tabel 4.15** berikut ini.

Tabel 4.15. Hasil Pengujian Bahan Lolos Saringan nomor 200 Material Pasir Alam

PENGUJIAN JUMLAH BAHAN DALAM AGREGAT YANG LOLOS SARINGAN NO. 200 (SNI 03 - 4142 - 1996)					
Contoh Uji Pasir Alam					
U R A I A N	I	II	RATA-RATA	SATUAN	
Berat benda uji semula (W1)	2.301,2	2.345,8		Gram	
Berat benda uji setelah dicuci (W2)	2.283,4	2.326,1		Gram	
Bahan Lolos Saringan 200 = $\frac{(W1 - W2)}{(W1)} \times 100$	0,77	0,84	0,81	%	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Hasil pengujian memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3 yakni butir-butir mudah pecah dan gumpalan lempung agregat halus adalah maksimum 1% terhadap total berat, yakni ,0,81%

4.3.3 Filler / Bahan Pengisi

Tujuan dari pengujian analisa saringan ini adalah untuk memperoleh distribusi besaran atau jumlah presentase butiran bahan pengisi tambahan (*Filler*)

Pengisi Bahan pengisi (*filler*) adalah bahan yang harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan mempunyai sifat non plastis dan mengandung bahan yang lolos saringan No.200 (0,075) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya sebagaimana disyaratkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3.

Material yang digunakan pada pengujian analisa saringan bahan pengisi tambahan (*filler*) adalah semen Kupang. Hasil pengujian analisa saringan *filler* dapat dilihat pada **Tabel 4.16** berikut ini:

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Analisa Saringan *Filler* / Bahan Pengisi

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN								
(SNI ASTM C136 : 2012)								
CONTOH UJI :		FILLER (SEMEN)		Berat Benda Uji I = 547,8 Gram				
				Berat Benda Uji II = 577,2 Gram				
Saringan		Jumlah Berat Tertahan (gram)		Prosen Tertahan (%)		Prosen Lolos (%)		
(ASTM)	(mm)	I	II	I	II	I	II	Rata-Rata
1 "	25,0	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
3/4"	19,0	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
1/2"	12,5	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
3/8"	9,50	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
No. 4	4,75	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
No. 8	2,36	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
No. 16	1,18	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
No. 30	0,60	-	-	-	-	100,0	100,0	100,0
No. 50	0,30	-	-	-	-	100,00	100,00	100,00
No. 100	0,150	6,6	6,4	1,20	1,11	98,80	98,89	98,84
No. 200	0,075	24,3	23,7	4,44	4,11	95,56	95,89	95,73

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Hasil pengujian analisa saringan (*sieve Analysis*) atau pemeriksaan gradasi *filler* semen Kupang yang duraikan pada **Tabel 4.16** memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3 yakni 95,75 % lolos saringan No. 200 lebih besar dari syarat minimum 75,0%.

4.3.4 Data Aspal Penetrasi 60/70

Sebagai salah satu bahan utama yang digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal, sifat-sifat Aspal yang digunakan menjadi penting untuk diketahui.

Dalam tahapam pengumpulan data dan penujian-pengujian sifat-sifat meterial untuk campuran beraspal, data dari sifat-sifat Aspal tidak dilakukan pengujian tersendiri dan menjadi Data Sekunder pada penelitian yang dikumpulakn dari hasil pengujian yang telah dilakukan oleh dinas terkait dalam hal ini laboratorium pengujian Balai Pelaksana Jalan Nasional NTT yaitu aspal produksi pertamina dengan penetrasi 60/70. Hasil Pemeriksaan dapat dilihat pada **Tabel 4.17** berikut ini :

Tabel 4.17 Data Sekunder Aspal Penetrasi 60/70

HASIL PENGUJIAN ASPAL KERAS					
Contoh Uji : Aspal Penetrasi 60/70 Ex. Pertamina					
NO	JENIS PENGUJIAN	HASIL	SPESIFIKASI		STANDAR PENGUJIAN
			Min	Max	
1	Penetrasi Pada 25 °C, 100 Gram, 5 Detik, 0,1 mm	66,30	60	79	SNI 06 - 2456 - 1991
2	Titik Lembek °C	57,50	48	58	SNI 06 - 2434 - 1991
3	Titik Nyala °C	-	200	-	SNI 06 - 2433 - 1991
4	Daktilitas Pada Suhu 25°C, 5 cm per Menit	> 140	100	-	SNI 06 - 2432 - 1991
5	Berat Jenis	1,030	1.000	-	SNI 06 - 2441 - 1991
6	Kelarutan Dalam Tricholor Ethylen % Berat	-	99	-	SNI 06 - 2438 - 1991
7	Penurunan Berat (dengan TFOT) % Berat	0,104		0,800	SNI 06 - 2440 - 1991
8	Penetrasi Setelah TFOT, % Asli	62,20	54	-	SNI 06 - 2456 - 1991
9	Titik Lembek Setelah TFOT °C	60,95		-	SNI 06 - 2434 - 1991
10	Daktilitas Setelah Penurunan Berat % Asli	> 140	50	-	SNI 06 - 2432 - 1991
11	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal %	> 95	95%	-	SNI 03 - 2439 - 1991

Sumber : Data Sekunder Laboratorium Pengujian Balai Pelaksana Jalan Nasional NTT, 2022

Metode pengujian Aspal Pen. 60/70 yang terdapat pada **Tabel 4.17** memenuhi standar pengujian yang disyaratkan.

4.4 Rancangan Proporsi Agregat Gabungan

Untuk membuat komposisi agregat gabungan maka diperlukan data hasil gradasi dari fraksi kasar (*Coarse Aggregate/CA*), atau fraksi agregat kasar yang tertahan saringan No.8, fraksi halus (*Fine Aggregate/FA*) atau fraksi yang lolos saringan No.8 tetapi tertahan saringan No. 200, dan bahan pengisi (*Fine Filler/FF*) atau bahan pengisi lolos saringan No. 200. Komposisi agregat gabungan dibuat untuk menentukan besarnya persentase dari masing-masing fraksi sehingga hasil persentase tersebut dapat diperoleh perkiraan kadar aspal (Pb).

Komposisi agregat gabungan dapat diketahui dengan cara grafis (penggambaran kurva hubungan antara persentase lolos agregat dan ukuran saringan berada di dalam kurva batas atas dan batas bawah (Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3).

Rancangan gradasi agregat gabungan dibuat dalam 2 jenis komposisi agregat gabungan, antara lain:

4.4.1. Komposisi Agregat Gabungan Campuran Beraspal Panas Jenis Laston Lapis Antara Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Perhitungan persentase agregat gabungan dan penggambaran kurva hubungannya dapat dilihat pada **Tabel 4.18** dan **Gambar 4.1** berikut.

Tabel 4.18. Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

KOMPOSISI AGREGAT GABUNGAN															
DENGAN BUTIRAN MAKSIMUM AGREGAT BERUKURAN 25 MM															
SARINGAN		AGREGAT KASAR						AGREGAT HALUS				Filler (Semen)		HASIL	SPESIFIKASI UMUM 2018 REVISI 3. (Tabel 6.3.2.3)
		Batu Pecah 1"		Batu Pecah 3/4"		Batu Pecah 1/2"		Abu Batu		Pasir		100%	1,0%		
ASTM	(mm)	100%	10,0%	100%	17,0%	100%	20,0%	100%	42,0%	100%	10,0%	100%	1,0%	100%	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1 "	25,0	100	10,0	100	17	100	20,0	100	42,0	100	10,0	100	1,0	100,0	100
3/4"	19,0	25,51	2,55	100	17	100	20,0	100	42,0	100	10,0	100	1,0	92,55	90 - 100
1/2"	12,5	1,98	0,20	26,22	4,46	100	20,0	100	42,0	100	10,0	100	1,0	77,65	75 - 90
3/8"	9,50	0,54	0,05	2,67	0,45	88,56	17,71	100	42,0	100	10,00	100	1,0	71,22	66 - 82
No. 4	4,75	-	-	0,59	0,10	4,93	0,99	100	42,0	100	10,00	100	1,0	54,09	46 - 64
No. 8	2,36	-	-	-	-	1,44	0,29	81,34	34,16	99,69	9,97	100	1,0	45,42	30 - 49
No. 16	1,18	-	-	-	-	-	-	48,38	20,32	97,62	9,76	100	1,0	31,08	18 - 38
No. 30	0,60	-	-	-	-	-	-	29,92	12,56	85,39	8,54	100	1,0	22,10	12 - 28
No. 50	0,30	-	-	-	-	-	-	21,46	9,02	43,20	4,32	98,84	0,99	14,32	7 - 20
No. 100	0,15	-	-	-	-	-	-	15,51	6,51	6,12	0,61	98,12	0,98	8,11	5 - 13
No. 200	0,075	-	-	-	-	-	-	10,87	4,57	3,11	0,31	95,73	0,96	5,83	4 - 8

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Perhitungan Komposisi Campuran dari tabel komposisi agregat gabungan dilakukan dengan cara coba-coba dengan persamaan (4.1), sebagai berikut,

$$M = (B \times A) + (D \times C) + (F \times E) + (H \times G) + (J \times I) + (L \times K) \dots\dots\dots (Pers.4.1)$$

Keterangan :

- M = Hasil Persen Lolos Gradasi Gabungan
- A;C;E;G;I;K = Persen lolos rata-rata masing-masing fraksi agregat
- B;D;F;H;J;L = Proporsi coba-coba atau "Trial And Error" tiap fraksi
- J = Proporsi Pasir (Max.15 % dari total campuran)
- L = Proporsi Filler (Max. 2% dari total campuran)

Contoh Perhitungan :

Persentasi Lolos Komposisi Agregat Gabungan dengan Ukuran Butiran Maksimum 25 mm, diperoleh proporsi masing-masing fraksi agregat adalah berikut:

- a. Batu pecah 1" = 10,0%
- b. Batu pecah 3/4" = 17,0%
- c. Batu pecah 1/2" = 20,0%
- d. Abu batu = 42,0%
- e. Pasir alam = 10%
- f. *Filler* (semen) = 1,0%

1. Persen lolos dari batu pecah 1" dalam campuran yakni:

$$A = 100$$

$$B = 10\% \times A$$

$$\text{Maka Persen Lolos} = 10\% \times 100 = 10,00\%$$

2. Persen lolos dari batu pecah 3/4" dalam campuran yakni:

$$C = 100$$

$$D = 17\% \times C$$

$$\text{Maka Persen Lolos} = 17\% \times 100 = 17,00\%$$

3. Persen lolos dari batu pecah 1/2" dalam campuran yakni:

$$E = 100$$

$$F = 20\% \times E$$

$$\text{Maka Persen Lolos} = 20\% \times 100 = 20,00\%$$

4. Persen Lolos dari abu batu dalam campuran yakni:

$$G = 100$$

$$H = 42\% \times G$$

$$\text{Maka Persen Lolos} = 42\% \times 100 = 42,00\%$$

5. Persen Lolos pada *Filler* dalam campuran yakni:

$$I = 100$$

$$J = 10\% \times I$$

$$\text{Maka Persen Lolos} = 10\% \times 100 = 10,00\%$$

6. Persen lolos dari *Filler* dalam campuran yakni:

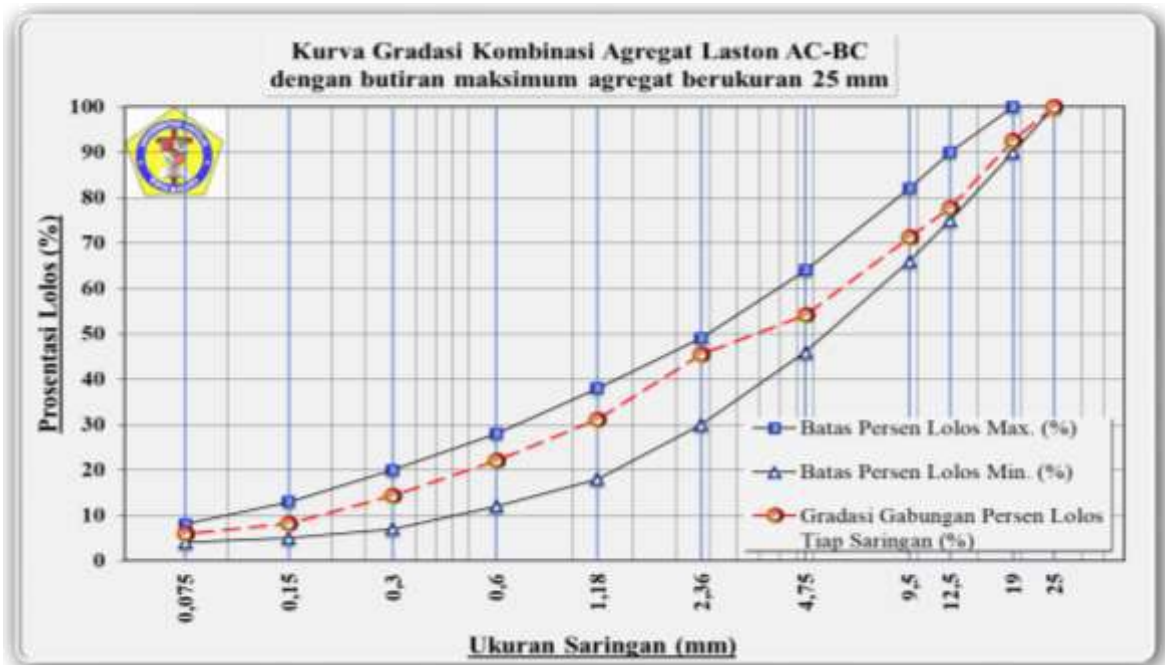
$$K = 100$$

$$L = 1,0\% \times K$$

$$\text{Maka Persen Lolos} = 1\% \times 100 = 1,00\%$$

$$M = 10\% + 17\% + 20\% + 42\% + 10\% + 1\% \\ = 100\%$$

Hasil perhitungan komposisi campuran dari tabel komposisi agregat gabungan dengan ukuran agregat maksimum 25 mm digambarkan dalam kurva gradasi pada **Gambar 4.1** berikut.



Gambar 4.1: Kurva Gradasi Kombinasi Agregat Laston AC-BC dengan butiran maksimum agregat berukuran 25mm
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.4.2. Komposisi Agregat Gabungan Campuran Beraspal Panas Jenis Laston Lapis Antara Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Perhitungan persentase agregat gabungan dan penggambaran kurva hubungannya dapat dilihat pada **Tabel 4.19** dan **Gambar 4.2** berikut.

Tabel 4.19. Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

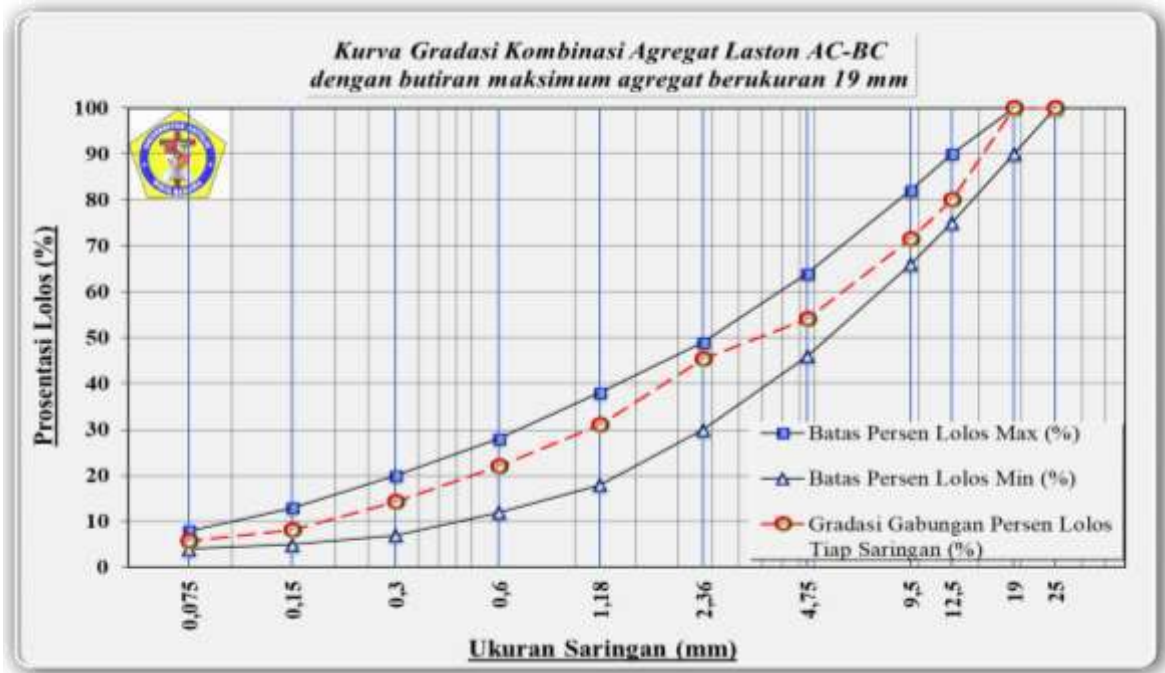
KOMPOSISI AGREGAT GABUNGAN DENGAN BUTIRAN MAKSIMUM AGREGAT BERUKURAN 19 MM																
SARINGAN		AGREGAT KASAR						AGREGAT HALUS				Filler (Semen)		HASIL	SPESIFIKASI UMUM 2018 REVISI 3. (Tabel 6.3.2.3)	
		Batu Pecah 1"		Batu Pecah 3/4"		Batu Pecah 1/2"		Abu Batu		Pasir		100%	1,0%			100%
		100%	0,0%	100%	27,0%	100%	20,0%	100%	42,0%	100%	10,0%					
ASTM	(mm)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M		
1 "	25,0	100	-	100	27	100	20,0	100	42,0	100	10,0	100	1,0	100,0	100	
3/4"	19,0	25,5	-	100	27	100	20,0	100	42,0	100	10,0	100	1,0	100,0	90 - 100	
1/2"	12,5	1,98	-	26,2	7,1	100	20,0	100	42,0	100	10,0	100	1,0	80,08	75 - 90	
3/8"	9,50	0,54	-	2,67	0,72	88,6	17,7	100	42,0	100	10,00	100	1,0	71,43	66 - 82	
No. 4	4,75	-	-	0,59	0,16	4,93	0,99	100	42,0	100	10,00	100	1,0	54,15	46 - 64	
No. 8	2,36	-	-	-	-	1,44	0,29	81,34	34,16	99,69	9,97	100	1,0	45,42	30 - 49	
No. 16	1,18	-	-	-	-	-	-	48,38	20,32	97,6	9,76	100	1,0	31,08	18 - 38	
No. 30	0,60	-	-	-	-	-	-	29,92	12,56	85,39	8,54	100	1,0	22,10	12 - 28	
No. 50	0,30	-	-	-	-	-	-	21,46	9,02	43,20	4,32	98,84	0,99	14,32	7 - 20	
No. 100	0,15	-	-	-	-	-	-	15,51	6,51	6,12	0,61	98,12	0,98	8,11	5 - 13	
No. 200	0,075	-	-	-	-	-	-	10,87	4,57	3,11	0,31	95,73	0,96	5,83	4 - 8	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Dengan metode perhitungan yang sama dengan komposisi campuran pertama yang menggunakan ukuran 25 mm sebagai butiran maksimum, maka persentasi lolos Komposisi Agregat Gabungan dengan Ukuran Butiran Maksimum 19 mm dapat diperoleh proporsi masing-masing fraksi agregat sebagai berikut:

- a. Batu pecah 1" = 0,0%
- b. Batu pecah 3/4" = 27,0%
- c. Batu pecah 1/2" = 20,0%
- d. Abu batu = 42,0%
- e. Pasir alam = 10%
- f. Filler (semen) = 1,0%

Hasil perhitungan komposisi campuran dari **Tabel 4.19**, komposisi agregat gabungan dengan ukuran agregat maksimum 19 mm digambarkan dalam kurva gradasi berikut.



**Gambar 4.2: Kurva Gradasi Kombinasi Agregat Laston AC-BC
dengan butiran maksimum agregat berukuran 19 mm
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023**

Hasil Perhitungan Komposisi Campuran yang terdapat pada **Tabel 4.18** dan **Tabel 4.19** diatas untuk Komposisi Agregat Gabungan dengan Ukuran Butiran Maksimum 25 mm dan Komposisi Agregat Gabungan dengan Ukuran Butiran Maksimum 19 mm memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018 (Revisi 3) yakni:

1. Agregat kasar batu pecah 1” dan batu pecah 3/4”, 100% lolos saringan ukuran 1” dan tertahan pada saringan nomor 4.
2. Agregat kasar batu pecah 3/4”, 100% lolos saringan ukuran 3/4” dan tertahan pada saringan nomor 4.
3. Agregat sedang batu pecah 1/2”, 100% lolos saringan ukuran 1/2” dan tertahan pada saringan nomor 8.
4. Agregat halus abu batu, 100% lolos saringan ukuran nomor 4 dan tertahan pada saringan nomor 200.
5. Agregat halus pasir alam, 100% lolos saringan ukuran nomor 4 dan tertahan pada saringan nomor 200. Dengan hasil agregat halus lolos saringan nomor 200 lebih kecil dari syarat maksimum 10%.

6. Bahan pengisi tambahan (*filler*) lolos saringan nomor 200 lebih besar dari syarat minimum 75%.
7. Jumlah total persentasi bahan lolos fraksi-fraksi agregat pada setiap ukuran saringan berada diantara rentang syarat gradasi dari spesifikasi. Dari kedua kurva gradasi pada **Gambar 4.1** dan **Gambar 4.2** diatas dijelaskan bahwa dari 2 macam Komposisi Gradasi Agregat Gabungan memenuhi syarat rentang gradasi dari Laston Lapis Antara.

4.5 Spesifikasi

Berdasarkan hasil pengujian sifat-sifat fisik dan perhitungan hasil uji dilaboratorium, jenis material batu pecah 1”, batu pecah 3/4”, batu pecah 1/2”, abu batu dan pasir alam dari *stok pile* PT. Cahaya Berlian Jaya Abadi didapatkan struktur dari setiap material memenuhi spesifikasi sehingga dilanjutkan pada tahap berikutnya yaitu pengujian pemadatan campuran beraspal.

4.6 Rancangan Benda Uji *Marshall* Laston Lapis Antara dengan Kadar Aspal Perkiraan (Pb)

Dari hasil komposisi kedua rancangan campuran beraspal panas jenis Laston Lapis Antara diatas, kemudian ditentukan kadar aspal total campuran yang efektif menyelimuti seluruh butiran agregat, mengisi pori antar agregat dan yang terabsorpsi kedalam pori-pori agregat itu sendiri.

Penentuan kadar aspal rencana digunakan sebagai perkiraan untuk mencari kadar aspal optimum. Komposisi (Kadar) aspal rencana ditentukan berdasarkan proporsi gradasi dari tiap fraksi agregat (kasar, halus dan *filler*) serta nilai konstanta yang ditentukan berdasarkan jenis campuran beraspal.

Perhitungan kadar aspal perkiraan dapat ditentukan setelah diperoleh gradasi agregat gabungan dari masing-masing agregat yang telah memenuhi spesifikasi sebagaimana **Tabel 4.18** dan **Tabel 4.19**.

Untuk perhitungan kadar aspal rencana dipergunakan rumus berikut :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18 (\%FF) + K \dots\dots\dots (Pers. 4.2)$$

Keterangan :

Pb : Kadar Aspal Rencana

CA : Fraksi Agregat Kasar (% lolos saringan 1" 100% - % lolos saringan No. 8)

FA : Fraksi agregat Halus (% lolos saringan No.8 - % lolos saringan No.200)

FF : Bahan pengisi (% lolos saringan No.200)

K : Konstanta untuk Laston (0,5 – 1)

4.6.1 Penentuan Kadar Aspal Perkiraan (*Pb*) dari Komposisi Campuran Beraspal Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Komposisi Campuran Beraspal Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm.

Dalam menentukan Kadar Aspal Perkiraan (*Pb*) dari komposisi dengan ukuran butiran maksimum agregat berukuran 25 mm dan komposisi dengan ukuran butiran maksimum agregat berukuran 19 mm, diperoleh nilai Kadar Aspal Perkiraan yang sama karena perbedaan proporsi masing-masing fraksi hanya terdapat pada fraksi kasar, sedangkan proporsi dari fraksi halus dan fraksi bahan pengisi dari kedua komposisi tersebut tidak ada perbedaan.

Hasil perhitungan adalah sebagai berikut :

$$CA = \text{Proporsi Fraksi Kasar (\% lolos saringan 1" - \% lolos saringan No. 8)}$$

$$= 100 - 45,42$$

$$= 54,58 \%$$

$$FA = \text{Proporsi Fraksi Halus (\% lolos saringan No.8 - \% lolos saringan No.200)}$$

$$= 45,42 - 5,83$$

$$= 39,59 \%$$

$$FF = \text{Proporsi fraksi bahan pengisi (\% lolos saringan No.200)} = 5,83 \%$$

$$K = \text{Konstanta } 0,5 \%$$

dipilih dari rentang konstanta Laston yang disyaratkan 0,5 – 1

Dari fraksi agregat yang telah diperoleh maka kadar aspal rencana dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Pb = 0,035 (\% CA) + 0,045(\%FA) + 0,18 (\%FF) + K$$

$$Pb = 0,035 (54,58\%) + 0,045 (39,59\%) + 0,18 (5,24) + 0,5$$

$$= 5,24 \%$$

4.6.2 Rancangan dan Pembuatan Benda Uji Marshall dengan Kadar Aspal Perkiraan (Pb)

Dari perhitungan diatas untuk komposisi dengan maksimum ukuran butiran 25 mm diperoleh kadar aspal perkiraan (Pb) adalah 5,24 % dengan pembulatan 5,50 % sebagai kadar aspal tengah untuk menentukan 5 variasi kadar aspal dari benda uji *Marshall*, untuk dua contoh diatas dan dua contoh dibawah kadar aspal tengah dengan rentang 0,5 %. Benda uji *Marshall* dengan 5 variasi kadar aspal tersebut berturut-turut: 4,5 %, 5,0%, 5,5 % 6,0 %, 6,5 %.

4.6.2.1 Benda Uji *Marshall* dengan Kadar Aspal Pb dari Komposisi Agregat Maksimum 25 mm

Perhitungan komposisi campuran beraspal panas untuk percobaan beton aspal padat dilaboratorium didasarkan pada:

Kapasitas silinder benda uji *Marshall* = 1200 gram
Kadar aspal Pb = 5,24 %
= 5,24 % x 1200
= 62,9 gram

Dari komposisi campuran
Persen batu pecah 1” = 10,0 %
Kadar aspal = 5,24 %
Kebutuhan batu pecah 1” = 10,0% x (100 – 5,24)
= 9,48 %

Berat material batu pecah 1” pada campuran dengan kadar aspal 5,5 % untuk berat benda uji 1200 gram = 9,48% x 1200
= 113,7 gram.

Rangkuman hasil perhitungan berat dari masing-masing fraksi agregat dalam campuran beraspal pada kadar aspal perkiraan (Pb) = 5,24 dapat dilihat pada **Tabel 4.20** berikut.

Tabel 4.20. Benda Uji Marshall dengan Kadar Aspal Pb dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Komponen Dalam Campuran Beraspal Panas	Agregat Maksimum 25 mm		
	Komposisi (%)	Komposisi - Pb (%)	Berat (gr)
		5,24	62,9
Batu Pecah 1"	10,0	9,48	113,7
Batu Pecah 3/4"	17,0	16,11	193,3
Batu Pecah 1/2"	20,0	18,95	227,4
Abu Batu Stone Crucher	42,0	39,80	477,6
Pasir Alam	10,0	9,48	113,7
Filler (Semen)	1,0	0,95	11,4
Total	100,0	100,0	1200,0

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.6.2.2 Benda Uji Marshall dengan Variasi Kadar Aspal dari Komposisi Agregat Maksimum 25 mm

Perhitungan komposisi campuran beraspal panas untuk percobaan beton aspal padat dilaboratorium didasarkan pada:

Kapasitas silinder benda uji *Marshall* = 1200 gram

Kadar aspal percobaan = 5,5 %
 = 5,5 % x 1200
 = 66 gram

Dari komposisi campuran

Persen batu pecah 1" = 10,0 %

Kadar aspal = 5,5 %

Kebutuhan batu pecah 1" = 10,0% x (100 – 5,5)
 = 9,45 %

Berat material batu pecah 1" pada campuran dengan kadar aspal 5,5 % untuk berat benda uji 1200 gram = 9,45% x 1200
 = 113,4 gram.

Rangkuman hasil perhitungan berat dari masing-masing fraksi agregat dalam campuran beraspal pada kadar aspal rencana: 4,5 %, 5,0%, 5,5 % 6,0 % dan 6,5 % dapat dilihat pada **Tabel 4.21** berikut.

Tabel 4.21. Hasil Perhitungan Formula Campuran Benda Uji Marshall Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

RANCANGAN CAMPURAN BERASPAL						
BUTIRAN MAKSIMUM AGREGAT BERUKURAN 25 MM						
KOMPONEN DALAM CAMPURAN BERASPAL	KOMPOSISI AGREGAT (%)	VARIASI KADAR ASPAL DALAM CAMPURAN (%)				
		4,50	5,00	5,50	6,00	6,50
Batu Pecah 1"	10,0	9,55	9,50	9,45	9,40	9,35
Batu Pecah 3/4"	17,0	16,24	16,15	16,07	15,98	15,90
Batu Pecah 1/2"	20,0	19,10	19,00	18,90	18,80	18,70
Abu Batu Stone Crucher	42,0	40,11	39,90	39,69	39,48	39,27
Pasir Alam	10,0	9,55	9,50	9,45	9,40	9,35
Filler (Semen)	1,0	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94
Total Campuran (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

KOMPONEN DALAM CAMPURAN BERASPAL	SATUAN	BERAT ASPAL DALAM CAMPURAN (gram)				
		54,0	60,0	66,0	72,0	78,0
Batu Pecah 1"	Gram	114,6	114,0	113,4	112,8	112,2
Batu Pecah 3/4"	Gram	194,8	193,8	192,8	191,8	190,7
Batu Pecah 1/2"	Gram	229,2	228,0	226,8	225,6	224,4
Abu Batu Stone Crucher	Gram	481,3	478,8	476,3	473,8	471,2
Pasir Alam	Gram	114,6	114,0	113,4	112,8	112,2
Filler (Semen)	Gram	11,5	11,4	11,3	11,3	11,2
Berat Total Rencana Campuran	Gram	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Jumlah benda uji *Marshall* untuk setiap variasi kadar aspal adalah 2 (dua) buah contoh benda uji, sehingga jumlah benda uji untuk Komposisi Campuran Beraspal Panas Jenis Laston Lapis Antara Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm adalah 10 (sepuluh) benda uji.

Kebutuhan benda uji *Marshall* untuk mengetahui nilai Stabilitas *Marshall* Sisa dari komposisi ini pada Kadar Aspal Perkiraan (Pb) adalah 6 (enam) benda uji dan pada Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah 6 (enam) benda uji. Dan 3 buah benda uji *Marshall* untuk kepadatan mutlak. Jumlah seluruh benda uji *Marshall* dari komposisi ini adalah 25 (dua puluh lima) benda uji.

4.6.2.3 Benda Uji *Marshall* dengan Kadar Aspal Pb dari Komposisi Agregat Maksimum 19 mm

Perhitungan komposisi campuran beraspal panas untuk percobaan beton aspal padat dilaboratorium didasarkan pada:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas silinder benda uji } \textit{Marshall} &= 1200 \text{ gram} \\ \text{Kadar aspal Pb} &= 5,24 \% \\ &= 5,24 \% \times 1200 \\ &= 62,9 \text{ gram} \end{aligned}$$

Dari komposisi campuran

$$\begin{aligned} \text{Persen batu pecah } 3/4'' &= 27,0 \% \\ \text{Kadar aspal} &= 5,24 \% \\ \text{Kebutuhan batu pecah } 3/4'' &= 27,0\% \times (100 - 5,24) \\ &= 25,58 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat material batu pecah } 3/4'' \text{ pada campuran dengan kadar aspal } 5,5 \% \text{ untuk} \\ \text{berat benda uji } 1200 \text{ gram} &= 25,58\% \times 1200 \\ &= 307,0 \text{ gram.} \end{aligned}$$

Rangkuman hasil perhitungan berat dari masing-masing fraksi agregat dalam campuran beraspal pada kadar aspal perkiraan (Pb) = 5,24 dapat dilihat pada **Tabel 4.22** berikut.

Tabel 4.22. Benda Uji *Marshall* dengan Kadar Aspal Pb dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Komponen Dalam Campuran Beraspal Panas	Agregat Maksimum 19 mm		
	Komposisi (%)	Komposisi - Pb (%)	Berat (gr)
		5,24	62,9
Batu Pecah 1"	0,0	0	0,0
Batu Pecah 3/4"	27,0	25,58	307,0
Batu Pecah 1/2"	20,0	18,95	227,4
Abu Batu Stone Crucher	42,0	39,80	477,6
Pasir Alam	10,0	9,48	113,7
Filler (Semen)	1,0	0,95	11,4
Total	100,0	100,0	1200,0

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.6.2.4 Benda Uji Marshall dengan Variasi Kadar Aspal dari Komposisi Agregat Maksimum 19 mm

Sedangkan pada kadar aspal perkiraan (Pb) untuk komposisi dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm yang sama nilainya dengan komposisi dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm yaitu : 5,24 %, dengan pembulatan 5,50 % sebagai kadar aspal tengah untuk menentukan 5 variasi kadar aspal dari benda uji *Marshall*, untuk dua contoh diatas dan dua contoh dibawah kadar aspal tengah dengan rentang 0,5 %. Benda uji *Marshall* dengan 5 variasi kadar aspal tersebut berturut-turut: 4,5 %, 5,0%, 5,5 % 6,0 %, 6,5 %.

Perhitungan komposisi campuran beraspal panas untuk percobaan beton aspal padat dilaboratorium didasarkan pada:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas silinder benda uji } \textit{Marshall} &= 1200 \text{ gram} \\ \text{Kadar aspal percobaan} &= 5,5 \% \\ &= 5,5 \% \times 1200 \\ &= 66 \text{ gram} \end{aligned}$$

Dari komposisi campuran

$$\begin{aligned} \text{Persen batu pecah } 3/4'' &= 27,0 \% \\ \text{Kadar aspal} &= 5,5 \% \\ \text{Kebutuhan batu pecah } 3/4'' &= 27,0\% \times (100 - 5,5) \\ &= 25,52 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat material batu pecah } 3/4'' \text{ pada campuran dengan kadar aspal } 5,5 \% \text{ untuk} \\ \text{berat benda uji } 1200 \text{ gram} &= 25,52\% \times 1200 \\ &= 306,2 \text{ gram.} \end{aligned}$$

Rangkuman hasil perhitungan berat dari masing-masing fraksi agregat dalam campuran beraspal pada kadar aspal rencana: 4,5 %, 5,0%, 5,5 % 6,0 % dan 6,5 % dapat dilihat pada **Tabel 4.23** berikut.

Tabel 4.23. Hasil Perhitungan Formula Campuran Benda Uji *Marshall* Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

RANCANGAN CAMPURAN BERASPAL BUTIRAN MAKSIMUM AGREGAT BERUKURAN 19 MM						
KOMPONEN DALAM CAMPURAN BERASPAL	KOMPOSISI AGREGAT (%)	VARIASI KADAR ASPAL DALAM CAMPURAN (%)				
		4,50	5,00	5,50	6,00	6,50
Batu Pecah 1"	0,0	-	-	-	-	-
Batu Pecah 3/4"	27,0	25,79	25,65	25,52	25,38	25,25
Batu Pecah 1/2"	20,0	19,10	19,00	18,90	18,80	18,70
Abu Batu Stone Crucher	42,0	40,11	39,90	39,69	39,48	39,27
Pasir Alam	10,0	9,55	9,50	9,45	9,40	9,35
Filler (Semen)	1,0	0,96	0,95	0,95	0,94	0,94
TOTAL CAMPURAN (%)	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

KOMPONEN DALAM CAMPURAN BERASPAL	SATUAN	BERAT ASPAL DALAM CAMPURAN (gram)				
		54,0	60,0	66,0	72,0	78,0
Batu Pecah 1"	Gram	-	-	-	-	-
Batu Pecah 3/4"	Gram	309,4	307,8	306,2	304,6	302,9
Batu Pecah 1/2"	Gram	229,2	228,0	226,8	225,6	224,4
Abu Batu Stone Crucher	Gram	481,3	478,8	476,3	473,8	471,2
Pasir Alam	Gram	114,6	114,0	113,4	112,8	112,2
Filler (Semen)	Gram	11,5	11,4	11,3	11,3	11,2
Berat Total Rencana Campuran	Gram	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Jumlah benda uji *Marshall* untuk setiap variasi kadar aspal adalah 2 (dua) buah contoh benda uji, sehingga jumlah benda uji untuk Komposisi Campuran Beraspal Panas Jenis Laston Lapis Antara Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm adalah 10 (sepuluh) benda uji

Kebutuhan benda uji *marshall* untuk mengetahui nilai Stabilitas *Marshall* Sisa dari komposisi ini pada Kadar Aspal Perkiraan (Pb) adalah 6 (enam) benda uji dan pada Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah 6 (enam) benda uji. Dan 3 buah benda uji *Marshall* untuk kepadatan mutlak. Jumlah seluruh benda uji *marshall* dari komposisi ini adalah 25 (dua puluh lima) benda uji.

Total seluruh benda uji untuk 2 (dua) macam komposisi agregat gabungan sebagaimana uraian diatas adalah :

1. Benda uji marshall 5 variasi kadar aspal	= 10 x 2	= 20 buah
2. Benda uji marshall dengan Kadar Aspal Pb	= 6 x 2	= 12 buah
3. Benda uji marshall dengan KAO	= 6 x 2	= 12 buah
4. Benda uji kepadatan mutlak	= 3 x 2	= 6 buah
Total kebutuhan benda uji minimum yang disiapkan		= 50 buah

4.6.3 Persiapan dan Pengujian Berat Jenis Maksimum (GMM)

Benda uji untuk pengujian Berat Jenis Maksimum (GMM) dilakukan sebagaimana cara persiapan benda uji marshall yang menggunakan kadar aspal perkiraan (Pb) sebagai kadar aspal dalam campuran sesuai komposisi masing-masing campuran beraspal.

Dari perhitungan yang sama dengan perhitungan pembuatan benda uji *Marshall*, diperoleh berat masing-masing fraksi dalam campuran yang akan digunakan sebagai contoh uji yang didasarkan pada kapasitas benda uji *Marshall* = 1200 gram yang diuraikan sebagaimana disebutkan dibawah ini berdasarkan komposisi campuran

4.6.3.1 Komposisi Campuran Beraspal Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Jumlah contoh campuran yang disiapkan adalah 2 buah contoh campuran beraspal.

Berat masing-masing fraksi dalam 1 buah campuran contoh uji adalah :

Kadar Aspal	= 62,9 gram
Batu pecah 1"	= 113,7 gram
Batu Pecah 3/4"	= 193,3 gram
Batu Pecah 1/2"	= 227,4 gram
Abu Batu	= 477,6 gram
Pasir	= 113,7 gram
Semen	= 11,4 gram

Hasil perhitungan dari pengujian Berat Jenis Maksimum diuraikan pada **Tabel 4.24** berikut.

Tabel 4.24. Nilai Berat Jenis Maksimum dari Komposisi Campuran Beraspal dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

PENGUJIAN BERAT JENIS CAMPURAN MAKSIMUM (GMM)				
BUTIRAN MAKSIMUM AGREGAT BERUKURAN 25 MM				
NO	U R A I A N	SATUAN	NOMOR CONTOH	
			1	2
1	Berat Botol + Contoh	Gram	1.242,20	1.255,30
2	Berat Botol	Gram	735,30	735,90
3	Berat Contoh = (1 - 2)	Gram	506,90	519,40
4	Berat Botol + Air	Gram	2.457,40	2.229,50
5	Berat Botol + Air + Contoh	Gram	2.755,00	2.534,20
6	Berat Jenis = $\frac{3}{3 + 4 - 5}$	Gram/cc	2,422	2,419
7	Suhu Air	°C	27	27
8	Koreksi Suhu	°C	0,999	0,999
9	Berat Jenis = (6 x 8)	Gram/cc	2,420	2,417
Rata - rata			2,418	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.6.3.2 Komposisi Campuran Beraspal Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Berat masing-masing fraksi dalam campuran adalah :

Kadar Aspal	= 62,9 gram
Batu Pecah 3/4"	= 307,0 gram
Batu Pecah 1/2"	= 227,4 gram
Abu Batu	= 477,6 gram
Pasir	= 113,7 gram
Semen	= 11,4 gram

Hasil perhitungan dari pengujian Berat Jenis Maksimum diuraikan pada **Tabel 4.25** berikut.

Tabel 4.25. Nilai Berat Jenis Maksimum dari Komposisi Campuran Beraspal dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

<u>PENGUJIAN BERAT JENIS CAMPURAN MAKSIMUM (GMM)</u>				
BUTIRAN MAKSIMUM AGREGAT BERUKURAN 19 MM				
NO	U R A I A N	SATUAN	NOMOR CONTOH	
			1	2
1	Berat Botol + Contoh	Gram	1.225,10	1.259,00
2	Berat Botol	Gram	735,90	735,30
3	Berat Contoh = (1 - 2)	Gram	489,20	523,70
4	Berat Botol + Air	Gram	2.211,20	2.466,40
5	Berat Botol + Air + Contoh	Gram	2.498,40	2.774,00
6	Berat Jenis = $\frac{3}{3 + 4 - 5}$	Gram/cc	2,422	2,423
7	Suhu Air	°C	27	27
8	Koreksi Suhu	°C	0,999	0,999
9	Berat Jenis = (6 x 8)	Gram/cc	2,420	2,421
Rata - rata			2,420	

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.6.4 Pengujian Marshall

Hasil pengujian *Marshall* standar untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dengan pemadatan benda uji sebanyak 2 x 75 kali tumbukan dengan menggunakan material stok pile PT. Cahaya Berlian Jaya Abadi untuk campuran beraspal panas jenis Laston Lapis Antara dapat dilihat pada **Tabel 4.26** dan **Tabel 4.27** berikut ini.

Hasil perhitungan secara terinci dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.26. Pengujian Marshall dengan KA Pb dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Pengujian Sifat-Sifat Campuran Beraspal Dengan Alat Marshall (SNI 06-2489-1991)													
Laston Lapis Antara dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm													
Kadar Aspal Perkiraan (Pb) =		5,24 %											
BJ. Bulk Agregat =		2,612		BJ. Aspal =		1,030		BJ. Efektif Agregat =		2,613			
Absorsi Aspal =		0,018		Lolos Saringan # 200 =		5,833		GMM =		2,418			
Nomor Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Berat Contoh (gram)			Isi Contoh	Berat Isi	Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)	Stabilitas (kg)	Kelelahan (mm)	Rasio Partikel Lolos Saringan No. 200 dengan KA. Eff. (%)	% Rongga Diantara Agregat (VMA) (%)	% Rongga Terhadap Campuran (VIM) (%)	% Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)
		Kering	Dalam Air	Jenuh									
SPESIFIKASI													
								Min 800	2 - 4	0,6 - 1,2	Min 14	3 - 5	Min 65
Perendaman selama 30 menit													
1	5,24	1.200,6	683,4	1.202,2	518,80	2,314	2,418	1.283,80	3,60	1,117	16,046	4,308	73,156
2	5,24	1.201,2	683,7	1.203,6	519,90	2,310	2,418	1.362,40	3,90	1,117	16,182	4,462	72,425
3	5,24	1.201,9	684,4	1.204,2	519,80	2,312	2,418	1.336,20	3,80	1,117	16,117	4,388	72,773
								1.327,46	3,77				
Perendaman selama 24 jam													
1	5,24	1.202,2	684,4	1.204,4	520,00	2,312	2,418	1.270,70	3,70	1,117	16,128	4,401	72,712
2	5,24	1.200,5	683,6	1.202,9	519,30	2,312	2,418	1.244,50	3,40	1,117	16,134	4,408	72,681
3	5,24	1.200,8	683,5	1.203,2	519,70	2,311	2,418	1.270,70	3,60	1,117	16,178	4,457	72,448
		Rata - rata =		519,58	2,312	2,418	1.261,96	3,57	1,117	16,131	4,404	72,699	
Stabilitas Marshall Sisa (Spesifikasi Min = 90%) =								95,07%					

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.27. Hasil Pengujian Sifat-sifat Marshall dengan Variasi Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Pengujian Sifat-Sifat Campuran Beraspal dengan Alat Marshall (SNI 06-2489-1991)													
Parameter Marshall Campuran Beraspal dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm													
Nomor Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Berat Contoh (gram)			Isi Contoh	Berat Isi	Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)	Stabilitas (kg)	Kelelahan (mm)	Rasio Partikel Lolos Saringan No. 200 dengan KA. Eff. (%)	% Rongga Diantara Agregat (VMA) (%)	% Rongga Terhadap Campuran (VIM) (%)	% Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)
		Kering	Dalam Air	Jenuh									
SPESIFIKASI								Min 800	2 - 4	0,6 - 1,2	Min 14	3 - 5	Min 65
A1	4,5	1.197,6	677,3	1.199,8	522,50	2,292	2,444	1.179,0	2,7	1,301	16,198	6,223	61,585
A2		1.199,4	678,3	1.202,1	523,80	2,290	2,444	1.192,1	3,0	1,301	16,281	6,315	61,213
		RATA - RATA		523,15	2,291	2,444	1.185,55	2,85	1,301	16,239	6,269	61,399	
B1	5,0	1.199,9	684,7	1.202,7	518,00	2,316	2,427	1.283,8	3,1	1,171	15,751	4,545	71,146
B2		1.198,2	683,4	1.200,8	517,40	2,316	2,427	1.270,7	3,2	1,171	15,773	4,570	71,029
		RATA - RATA		517,70	2,316	2,427	1.277,25	3,15	1,171	15,762	4,557	71,087	

Lanjutan : Tabel 4.27. Hasil Pengujian Sifat-sifat Marshall dengan Variasi Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Pengujian Sifat-Sifat Campuran Beraspal dengan Alat Marshall (SNI 06-2489-1991)													
Parameter Marshall Campuran Beraspal dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm													
Nomor Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Berat Contoh (gram)			Isi Contoh	Berat Isi	Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)	Stabilitas (kg)	Kelelahan (mm)	Rasio Partikel Lolos Saringan No. 200 dengan KA. Eff. (%)	% Rongga Diantara Agregat (VMA) (%)	% Rongga Terhadap Campuran (VIM) (%)	% Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)
		Kering	Dalam Air	Jenuh									
SPESIFIKASI							Min 800	2 - 4	0,6 - 1,2	Min 14	3 - 5	Min 65	
C1	5,5	1.196,6	683,1	1.198,7	515,60	2,321	2,410	1.349,3	3,8	1,064	16,036	3,682	77,041
C2		1.200,5	685,5	1.202,5	517,00	2,322	2,410	1.336,2	3,6	1,064	15,991	3,630	77,302
		RATA - RATA			516,30	2,321	2,410	1.342,75	3,70	1,064	16,013	3,656	77,171
D1	6,0	1.196,3	682,7	1.198,5	515,80	2,319	2,393	1.323,1	4,0	0,975	16,534	3,061	81,485
D2		1.195,2	682,2	1.197,7	515,50	2,319	2,393	1.283,8	3,8	0,975	16,562	3,094	81,319
		RATA - RATA			515,65	2,319	2,393	1.303,45	3,90	0,975	16,548	3,078	81,402
E1	6,5	1.201,3	684,5	1.203,0	518,50	2,317	2,376	1.244,5	4,1	0,900	17,065	2,482	85,458
E2		1.198,7	682,8	1.201,1	518,30	2,313	2,376	1.244,5	4,3	0,900	17,212	2,655	84,575
		RATA - RATA			518,40	2,315	2,376	1.244,50	4,20	0,900	17,139	2,568	85,017

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Sedangkan hasil pengujian marshall standar untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm dengan pemadatan benda uji sebanyak 2 x 75 kali tumbukan dengan menggunakan material stok pile PT. Cahaya Berlian Jaya Abadi untuk campuran beraspal panas jenis Laston Lapis Antara dapat dilihat pada **Tabel 4.28** dan **Tabel 4.29** berikut ini.

Hasil perhitungan secara terinci dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.28. Pengujian Marshall dengan KA Pb dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Pengujian Sifat-Sifat Campuran Beraspal Dengan Alat Marshall (SNI 06-2489-1991)													
Laston Lapis Antara dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm													
Kadar Aspal Perkiraan (Pb) =		5,24 %											
BJ. Bulk Agregat =		2,612		BJ. Aspal =		1,030		BJ. Efektif Agregat =		2,616			
Absorsi Aspal =		0,054		Lolos Saringan # 200 =		5,833		GMM =		2,420			
Nomor Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Berat Contoh (gram)			Isi Contoh	Berat Isi	Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)	Stabilitas (kg)	Kelelahan (mm)	Rasio Partikel Lolos Saringan No. 200 dengan KA. Eff. (%)	% Rongga Diantara Agregat (VMA) (%)	% Rongga Terhadap Campuran (VIM) (%)	% Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)
		Kering	Dalam Air	Jenuh									
SPESIFIKASI							Min 800	2 - 4	0,6 - 1,2	Min 14	3 - 5	Min 65	
Perendaman selama 30 menit													
1	5,24	1.203,2	687,4	1.205,3	517,90	2,323	2,420	1.270,70	4,40	1,124	15,724	4,015	74,463
2	5,24	1.200,7	685,9	1.202,6	516,70	2,324	2,420	1.270,70	4,40	1,124	15,704	3,992	74,576
3	5,24	1.201,5	686,7	1.203,0	516,30	2,327	2,420	1.244,50	4,20	1,124	15,582	3,854	75,266
								1.261,96	4,33				
Perendaman selama 24 jam													
1	5,24	1.200,4	686,4	1.202,0	515,60	2,328	2,420	1.113,50	4,30	1,124	15,545	3,812	75,480
2	5,24	1.204,2	689,4	1.206,4	517,00	2,329	2,420	1.113,50	4,10	1,124	15,507	3,768	75,698
3	5,24	1.202,6	688,8	1.205,0	516,20	2,330	2,420	1.087,30	4,00	1,124	15,488	3,747	75,805
		Rata - rata =		516,62	2,327	2,420	1.104,76	4,13	1,124	15,592	3,865	75,215	
Stabilitas Marshall Sisa (Spesifikasi Min = 90%) =								87,54%					

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.29. Hasil Pengujian Sifat-sifat Marshall dengan Variasi Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Pengujian Sifat-Sifat Campuran Beraspal dengan Alat Marshall (SNI 06-2489-1991)													
Parameter Marshall Campuran Beraspal dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm													
Nomor Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Berat Contoh (gram)			Isi Contoh	Berat Isi	Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)	Stabilitas (kg)	Kelelahan (mm)	Rasio Partikel Lolos Saringan No. 200 dengan KA. Eff. (%)	% Rongga Diantara Agregat (VMA) (%)	% Rongga Terhadap Campuran (VIM) (%)	% Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)
		Kering	Dalam Air	Jenuh									
SPESIFIKASI							Min 800	2 - 4	0,6 - 1,2	Min 14	3 - 5	Min 65	
A1	4,5	1.197,5	678,4	1.200,9	522,50	2,292	2,446	1.179,0	2,70	1,312	16,211	6,312	61,065
A2		1.199,2	680,6	1.203,2	522,60	2,295	2,446	1.218,3	2,70	1,312	16,108	6,197	61,530
		RATA - RATA		522,55	2,293	2,446	1.198,65	2,70	1,312	16,159	6,254	61,297	
B1	5,0	1.192,5	679,9	1.194,6	514,70	2,317	2,429	1.244,5	3,30	1,179	15,740	4,607	70,729
B2		1.198,7	686,2	1.202,2	516,00	2,323	2,429	1.257,6	3,30	1,179	15,515	4,353	71,944
		RATA - RATA		515,35	2,320	2,429	1.251,05	3,30	1,179	15,627	4,480	71,337	

Lanjutan : Tabel 4.29. Hasil Pengujian Sifat-sifat Marshall dengan Variasi Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Pengujian Sifat-Sifat Campuran Beraspal dengan Alat Marshall (SNI 06-2489-1991)													
Parameter Marshall Campuran Beraspal dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm													
Nomor Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Berat Contoh (gram)			Isi Contoh	Berat Isi	Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)	Stabilitas (kg)	Kelelahan (mm)	Rasio Partikel Lolos Saringan No. 200 dengan KA. Eff. (%)	% Rongga Diantara Agregat (VMA) (%)	% Rongga Terhadap Campuran (VIM) (%)	% Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)
		Kering	Dalam Air	Jenuh									
SPESIFIKASI								Min 800	2 - 4	0,6 - 1,2	Min 14	3 - 5	Min 65
C1	5,5	1.199,9	687,1	1.202,7	515,60	2,327	2,412	1.310,0	3,80	1,071	15,810	3,498	77,876
C2		1.194,0	683,8	1.196,9	513,10	2,327	2,412	1.283,8	3,90	1,071	15,816	3,505	77,842
		RATA - RATA			514,35	2,327	2,412	1.296,90	3,85	1,071	15,813	3,501	77,859
D1	6,0	1.199,1	686,3	1.202,5	516,20	2,323	2,395	1.244,5	4,20	0,981	16,409	2,991	81,774
D2		1.196,9	685,3	1.199,0	513,70	2,330	2,395	1.270,7	4,30	0,981	16,156	2,697	83,304
		RATA - RATA			514,95	2,326	2,395	1.257,60	4,25	0,981	16,282	2,844	82,539
E1	6,5	1.202,4	686,5	1.204,4	517,90	2,322	2,378	1.218,3	4,20	0,905	16,898	2,360	86,035
E2		1.204,5	687,7	1.205,9	518,20	2,324	2,378	1.244,5	4,40	0,905	16,801	2,246	86,632
		RATA - RATA			518,05	2,323	2,378	1.231,40	4,30	0,905	16,850	2,303	86,334

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Sebagai salah satu campuran beraspal yang menjadi bagian konstruksi pada perkerasan jalan, campuran beraspal panas jenis Laston Lapis Antara memiliki sifat-sifat campuran yang hakikatnya jadi parameter kontrol dalam proses pencampuran dan pelaksanaannya. Sebagaimana diatur dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3, parameter-parameter campuran beraspal panas jenis Laston Lapis Antara harus memenuhi beberapa ketentuan sifat material pembentuknya yang patut diperhatikan dari sejak pemilihan material hingga proses pencampurannya.

Beberapa persyaratan diantaranya adalah: komposisi pencampuran agregat yang harus memenuhi atau berada dalam batas-batas rentang gradasi material, hingga sifat-sifat dari campuran beraspal itu sendiri yang dapat diketahui dari pengujian *Marshall*. Sifat-sifat *Marshall* yang harus terpenuhi diantaranya : sifat-sifat volumetrik campuran beraspal yang erat kaitannya dengan komponen pengikat dalam campuran yakni aspal.

Rangkuman dari hasil pengujian *Marshall* dan perhitungan yang telah dilakukan, dapat dilihat dari tabel-tabel dan grafik-grafik hubungan kadar aspal dengan nilai-nilai parameter *Marshall*.

4.6.5 Hubungan Kadar Aspal Perkiraan (Pb) dengan Parameter *Marshall*

4.6.5.1 Hubungan Kadar Aspal Perkiraan (Pb) dengan Kepadatan (*Density*)

Kepadatan adalah tingkat kerapatan campuran beraspal setelah dipadatkan. Kepadatan adalah berat campuran pada setiap satuan volume atau perbandingan antara massa terhadap volume.

Masalah kepadatan campuran beraspal panas untuk perkerasan jalan yang direncanakan berdasarkan percobaan marshall konvensional adalah ketergantungan terhadap pencapaian rongga udara sebagaimana yang disyaratkan didalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 3) pada **Tabel 2.6.** yang menguraikan jika pengujian *Marshall* standar dijadikan sebagai acuan pelaksanaan pengujian dilaboratorium sebagaimana metode pengujian pada SNI 06-2489-1991.

Nilai Kepadatan dari setiap variasi Kadar Aspal dan Hubungan Kadar Aspal Perkiraan dengan Kepadatan dari hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.30** dan **Gambar 4.3** untuk Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm serta **Tabel 4.31** dan **Gambar 4.4** untuk Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm berikut ini.

Tabel 4.30. Nilai Kepadatan setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Nilai Kepadatan Setiap Variasi Kadar Aspal Dari Komposisi Campuran Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm	
KADAR ASPAL (%)	KEPADATAN (gram/cm ³)
4,5	2,291
5,0	2,316
5,5	2,321
6,0	2,319
6,5	2,315

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



Gambar 4.3 Grafik Nilai Kepadatan Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.31. Nilai Kepadatan setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Nilai Kepadatan Setiap Variasi Kadar Aspal Dari Komposisi Campuran Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

KADAR ASPAL (%)	KEPADATAN (gram/cm ³)
4,5	2,293
5,0	2,320
5,5	2,327
6,0	2,326
6,5	2,323

Sumber: Hasil Pengujian Lab. PT. CBJA Hasil Analisa, 2023.



Gambar 4.4 Grafik Nilai Kepadatan Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.6.5.2 Hubungan Kadar Aspal Perkiraan (Pb) dengan Stabilitas

Stabilitas akan meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dan setelah mencapai nilai yang maksimum, stabilitas berangsur menurun disaat kadar aspal yang makin tinggi.

Pengujian stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban. Nilai Stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh pembacaan pada arloji pembacaan (*dial*) yang menunjukkan batas maksimum beban yang dapat diterima oleh suatu campuran beraspal saat terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam kilogram.

Nilai Stabilitas dari setiap variasi Kadar Aspal dan Hubungan Kadar Aspal Perkiraan dengan Stabilitas dari hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.32** dan **Gambar 4.5** untuk Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm serta **Tabel 4.33** dan **Gambar 4.6** untuk Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm berikut ini.

Tabel 4.32. Nilai Stabilitas setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Nilai Stabilitas Setiap Variasi Kadar Aspal Dari Komposisi Campuran Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm	
KADAR ASPAL (%)	STABILITAS (kg)
4,5	1185,5
5,0	1277,2
5,5	1342,7
6,0	1303,4
6,5	1244,5

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

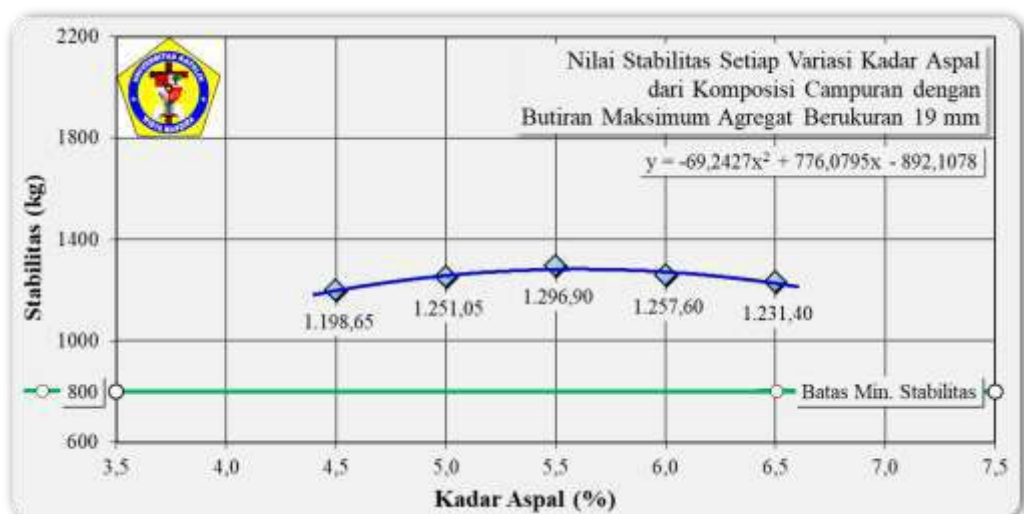


Gambar 4.5 Grafik Nilai Stabilitas Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.33 Nilai Stabilitas setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Nilai Stabilitas Setiap Variasi Kadar Aspal Dari Komposisi Campuran Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm	
KADAR ASPAL (%)	STABILITAS (kg)
4,5	1198,6
5,0	1251,0
5,5	1296,9
6,0	1257,6
6,5	1231,4

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



Gambar 4.6 Grafik Nilai Stabilitas Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.6.5.3 Hubungan Kadar Aspal Perkiraan (Pb) dengan Kelelehan (Flow)

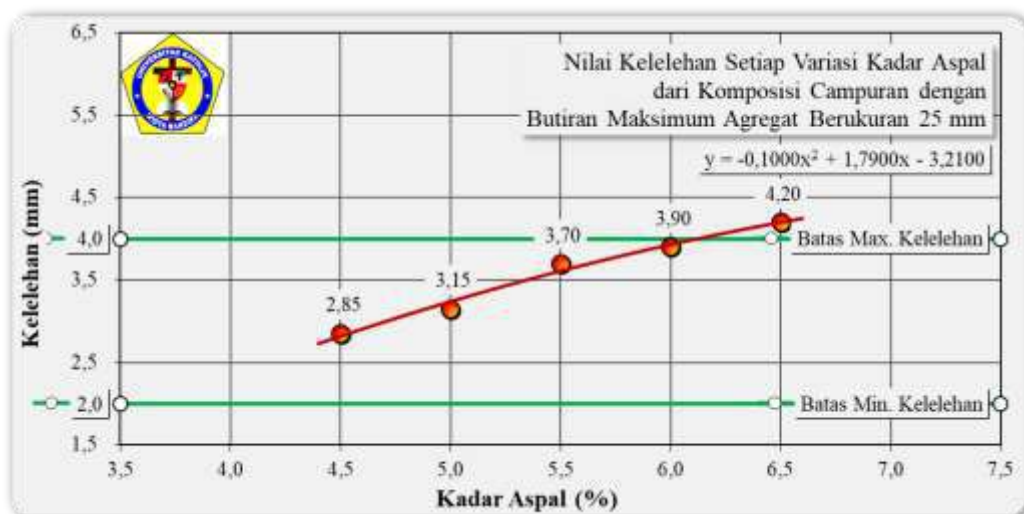
Kelelehan plastis adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan hingga durabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada benda uji sampai batas keruntuhan akibat beban yang diterimanya. Kelelehan plastis atau *flow* akan terus meningkat dengan meningkatnya kadar aspal.

Nilai kelelehan plastis benda uji dari setiap variasi kadar aspal dan hubungan kadar aspal perkiraan dengan kelelehan dari hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.34**, **Gambar 4.7** untuk Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm serta **Tabel 4.35** dan **Gambar 4.8** untuk Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm berikut ini:

Tabel 4.34. Nilai Kelelehan Plastis setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

KADAR ASPAL (%)	KELELEHAN (mm)
4,5	2,9
5,0	3,2
5,5	3,8
6,0	3,9
6,5	4,2

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



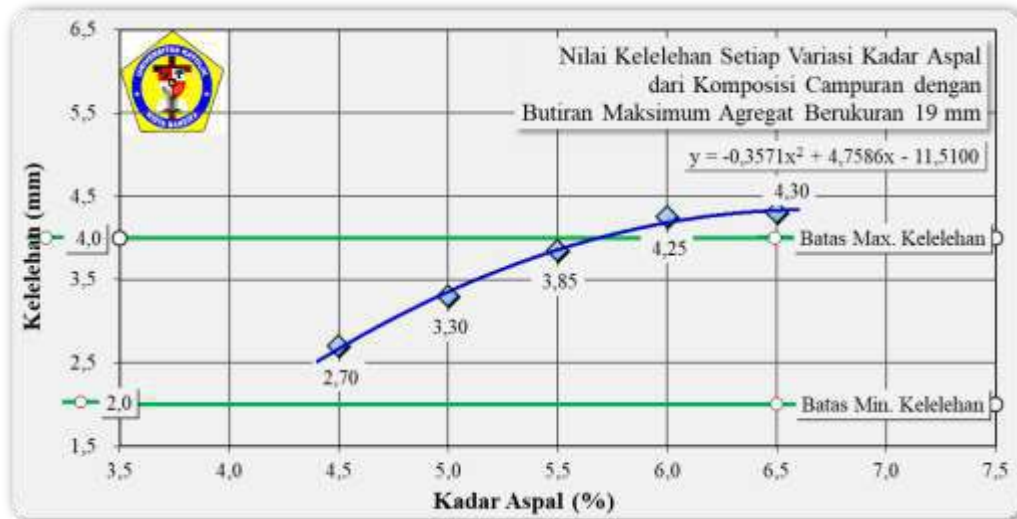
Gambar 4.7 Grafik Nilai Kelelehan Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.35. Nilai Kelelahan Plastis setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Nilai Kelelahan Setiap Variasi Kadar Aspal Dari Komposisi Campuran Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm	
KADAR ASPAL (%)	KELELEHAN (mm)
4,5	2,7
5,0	3,3
5,5	3,9
6,0	4,3
6,5	4,3

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



Gambar 4.8 Grafik Nilai Kelelahan Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.6.5.4 Hubungan Kadar Aspal Perkiraan (Pb) dengan Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif

Rasio Partikel lolos saringan no # 200 dengan kadar aspal efektif adalah jumlah bahan pengisi (*filler*) yang diperlukan, ketika ditambahkan pada jumlah kadar aspal yang tetap.

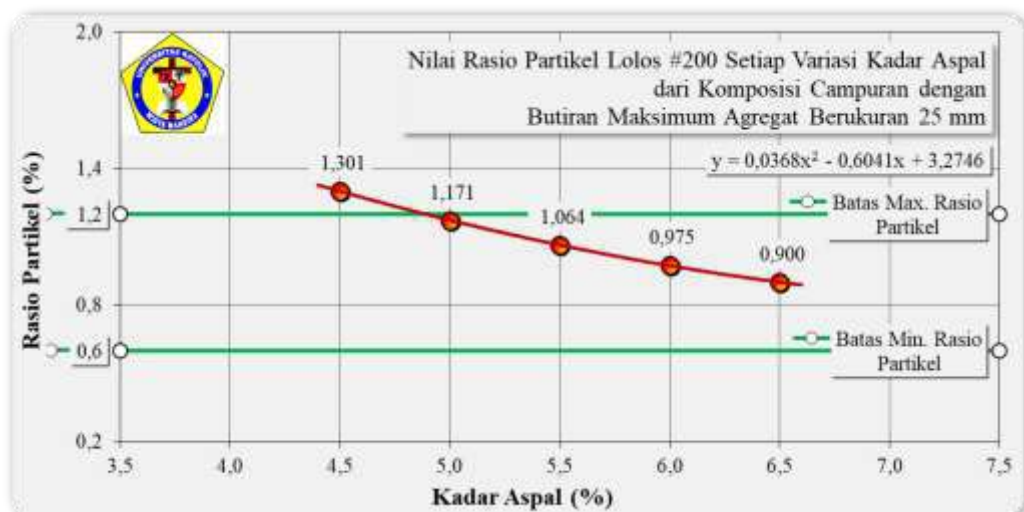
Nilai Rasio Partikel lolos saringan nomor #200 dari setiap variasi Kadar Aspal dan Hubungan Kadar Aspal Perkiraan dengan Nilai Rasio Partikel lolos saringan nomor #200 dari hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.36** dan

Gambar 4.9 untuk Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm serta **Tabel 4.37** dan **Gambar 4.10** untuk Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm berikut ini.

Tabel 4.36. Nilai Rasio Partikel lolos saringan nomor #200 setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Nilai Rasio Partikel Lolos Saringan No. 200 Dengan Kadar Aspal Efektif Setiap Variasi Kadar Aspal Dari Komposisi Campuran Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm	
KADAR ASPAL (%)	Rasio Partikel Lolos Saringan No. 200 dengan Kadar Aspal Efektif (%)
4,5	1,301
5,0	1,171
5,5	1,064
6,0	0,975
6,5	0,900

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



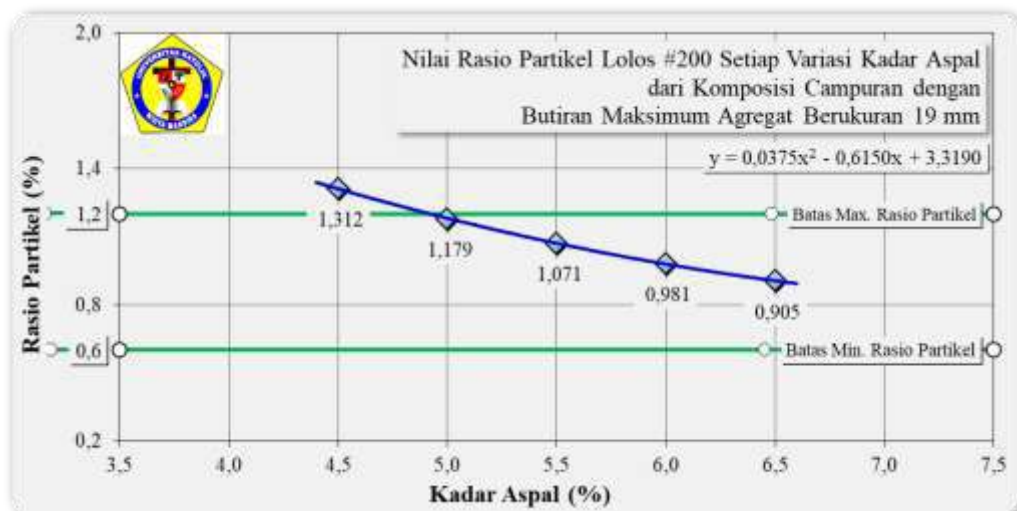
Gambar 4.9 Grafik Nilai Rasio Partikel Lolos Saringan no 200 Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.37. Nilai Rasio Partikel lolos saringan nomor #200 setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Nilai Rasio Partikel Lolos Saringan No. 200 Dengan Kadar Aspal Efektif Setiap Variasi Kadar Aspal Dari Komposisi Campuran Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm	
KADAR ASPAL (%)	Rasio Partikel Lolos Saringan No. 200 dengan Kadar Aspal Efektif (%)
4,5	1,312
5,0	1,179
5,5	1,071
6,0	0,981
6,5	0,905

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



Gambar 4.10. Grafik Nilai Rasio Partikel Lolos Saringan no 200 Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.6.5.5 Hubungan Kadar Aspal Perkiraan (Pb) dengan Volume Rongga Diantara Butir Agregat (Void in the Mineral Agregat/VMA)

Volume Rongga Diantara Butir Agregat (Void in the Mineral Agregat / VMA) adalah rongga udara diantara partikel pada campuran padat termasuk rongga

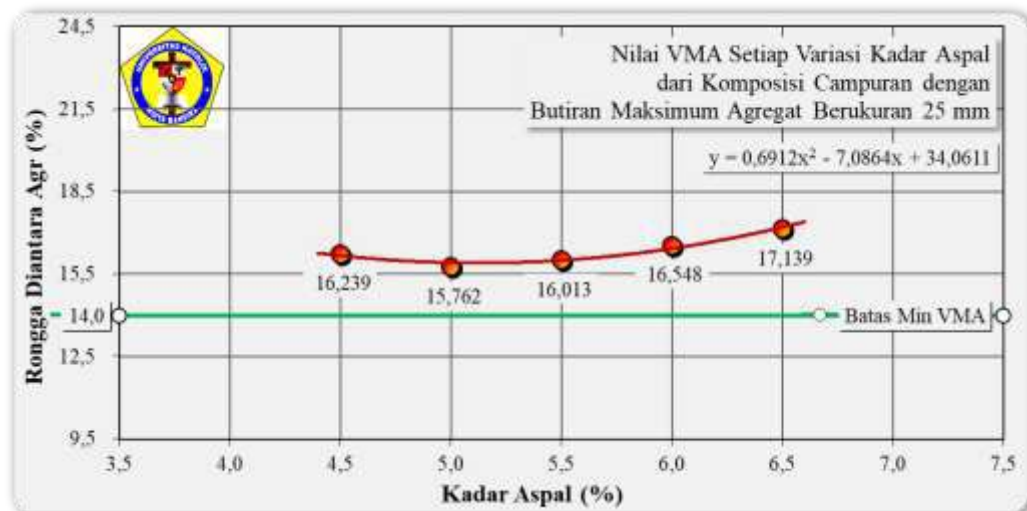
udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persentase terhadap volume bila campuran padat.

Nilai Volume Rongga Diantara Butir Agregat dari setiap variasi Kadar Aspal dan Hubungan Kadar Aspal Perkiraan dengan Nilai Volume Rongga Diantara Butir Agregat dari hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.38** dan **Gambar 4.11** untuk Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm serta **Tabel 4.39** dan **Gambar 4.12** untuk Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm berikut ini.

Tabel 4.38. Nilai Volume Rongga Diantara Agregat setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Nilai Rongga Diantara Agregat (VMA) Setiap Variasi Kadar Aspal Dari Komposisi Campuran Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm	
KADAR ASPAL (%)	VMA (%)
4,5	16,239
5,0	15,762
5,5	16,013
6,0	16,548
6,5	17,139

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



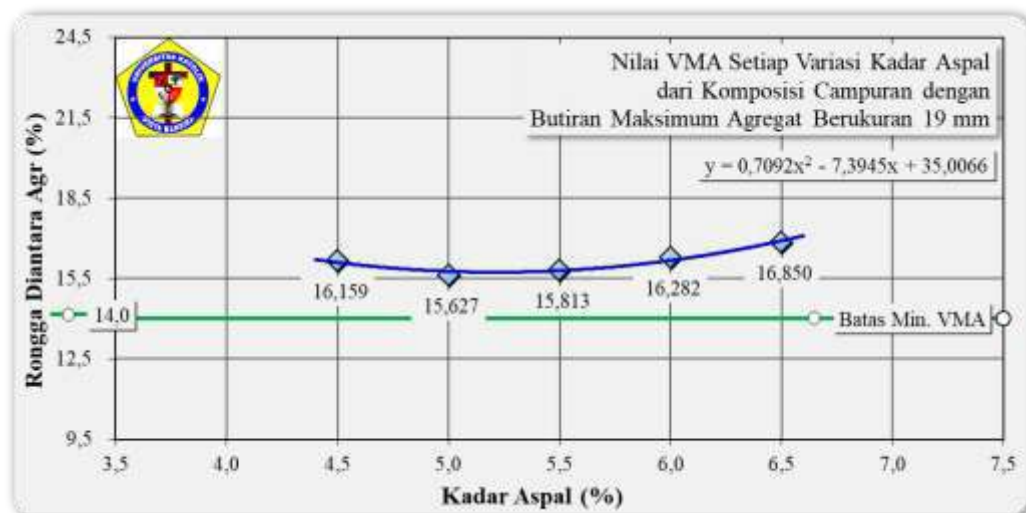
Gambar 4.11. Grafik Nilai VMA Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.39. Nilai Volume Rongga Diantara Agregat setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Nilai Rongga Diantara Agregat (VMA) Setiap Variasi Kadar Aspal Dari Komposisi Campuran Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm	
KADAR ASPAL (%)	VMA (%)
4,5	16,159
5,0	15,627
5,5	15,813
6,0	16,282
6,5	16,850

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



Gambar 4.12 Grafik Nilai VMA Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.6.5.6 Hubungan Kadar Aspal Perkiraan (Pb) dengan Volume Rongga Dalam Campuran Padat (*Void In Mixture / VIM*)

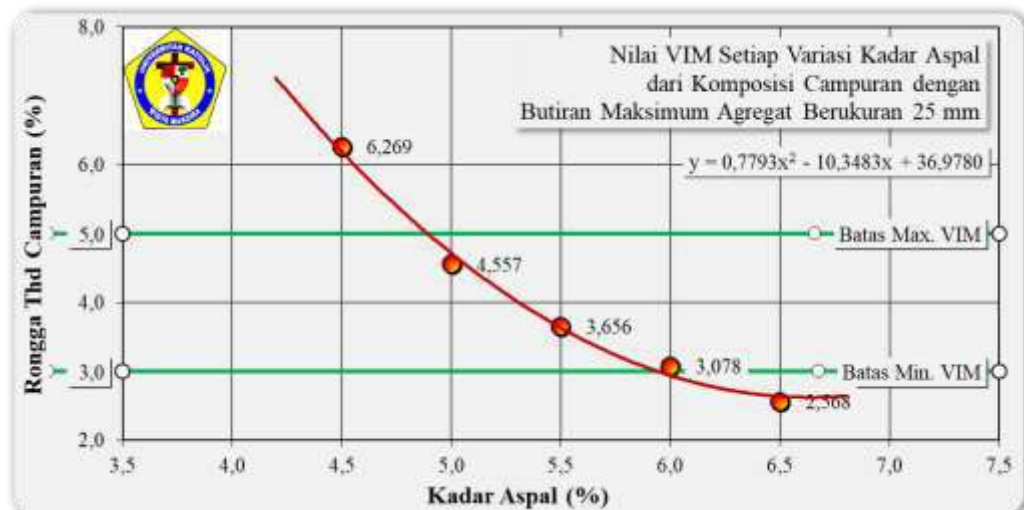
Volume Rongga Dalam Campuran Padat (*Void In Mixture / VIM*) adalah volume rongga yang ada didalam campuran aspal yang telah dipadatkan yang dinyatakan dalam persentasi terhadap volume campuran padat.

Nilai Volume Rongga Dalam Campuran Padat dari setiap variasi Kadar Aspal dan Hubungan Kadar Aspal Perkiraan dengan Nilai Volume Rongga Dalam Campuran Padat dari hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.40** dan **Gambar 4.13** untuk Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm serta **Tabel 4.41** dan **Gambar 4.14** untuk Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm berikut ini.

Tabel 4.40. Nilai Volume Rongga Terhadap Campuran setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Nilai Rongga Terhadap Campuran (VIM) Setiap Variasi Kadar Aspal Dari Komposisi Campuran Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm	
KADAR ASPAL (%)	VIM (%)
4,5	6,269
5,0	4,557
5,5	3,656
6,0	3,078
6,5	2,568

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



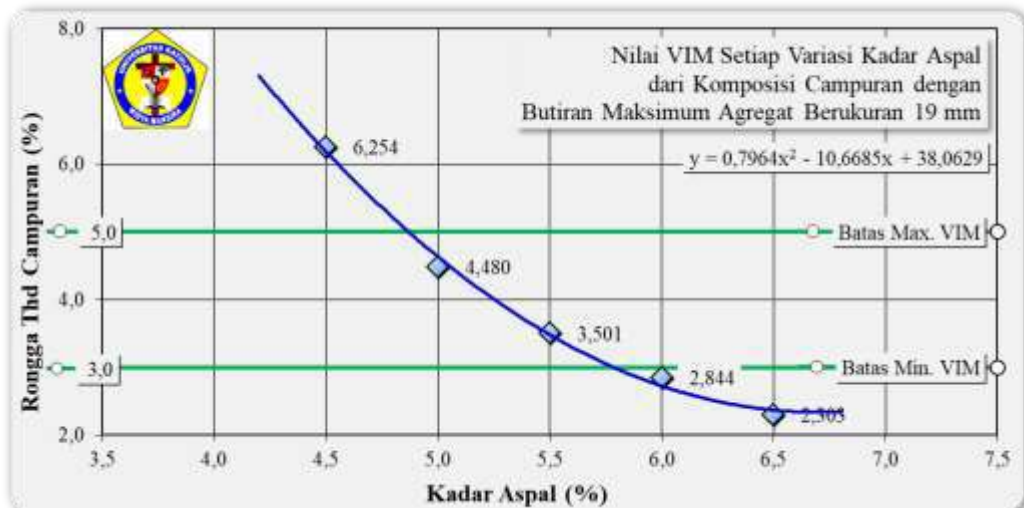
Gambar 4.13 Grafik Nilai VIM Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.41. Nilai Volume Rongga Terhadap Campuran setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Nilai Rongga Terhadap Campuran (VIM) Setiap Variasi Kadar Aspal Dari Komposisi Campuran Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm	
KADAR ASPAL (%)	VIM (%)
4,5	6,254
5,0	4,480
5,5	3,501
6,0	2,844
6,5	2,303

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



Gambar 4.14 Nilai VIM Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.6.5.7 Hubungan Kadar Aspal Perkiraan (Pb) dengan Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*Volume of void Filled with Asphalt / VFA*)

Volume Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*Volume of void Filled with Asphalt / VFA*) merupakan volume rongga antar agregat campuran padat (VMA) ada yang terisi aspal dan sisanya sebagai VIM. Volume yang terisi

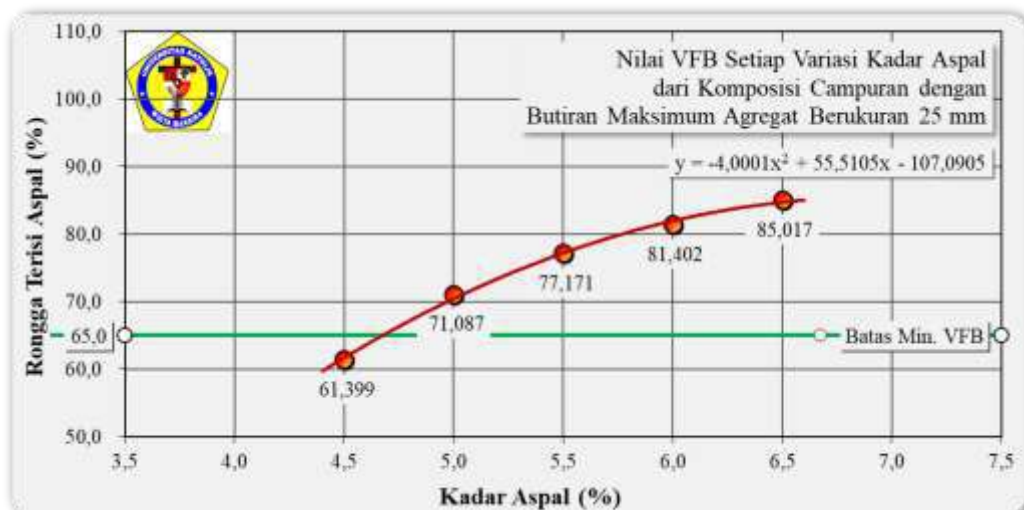
aspal dari VMA dinamakan VFA. Jadi VFA adalah bagian dari VMA yang terisi aspal. Dan dinyatakan dalam persentasi rongga VMA yang terisi aspal.

Nilai Volume Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal dari setiap variasi Kadar Aspal dan Hubungan Kadar Aspal Perkiraan dengan Volume Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal dari hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.42** dan **Gambar 4.15** untuk Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm serta **Tabel 4.43** dan **Gambar 4.16** untuk Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm berikut ini

Tabel 4.42. Nilai Volume Rongga Terisi Aspal setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Nilai Rongga Terisi Aspal (VFB) Setiap Variasi Kadar Aspal Dari Komposisi Campuran Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm	
KADAR ASPAL (%)	VFB (%)
4,5	61,399
5,0	71,087
5,5	77,171
6,0	81,402
6,5	85,017

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



Gambar 4.15 Nilai VFB Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.43. Nilai Volume Rongga Terisi Aspal setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Nilai Rongga Terisi Aspal (VFB) Setiap Variasi Kadar Aspal Dari Komposisi Campuran Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm	
KADAR ASPAL (%)	VFB (%)
4,5	61,297
5,0	71,337
5,5	77,859
6,0	82,539
6,5	86,334

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



Gambar 4.16. Grafik Nilai VFB Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.6.6 Pengujian Kepadatan Mutlak dengan Metode Marshall

Kepadatan Mutlak adalah kepadatan tertinggi (maksimum) yang dicapai sehingga campuran tersebut praktis tidak dapat menjadi lebih padat lagi. Ditjen Bina Marga (1999).

Kepadatan mutlak merupakan pendekatan terhadap kondisi lapangan setelah campuran beraspal dipadatkan secara sekunder oleh lalu lintas selama beberapa tahun umur rencana.

Umumnya pemadatan campuran beraspal panas dilaboratorium menggunakan pemadat *Marshall* dengan jumlah pemadatan adalah 2 x 75 tumbukan. Sedangkan untuk menentukan kepadatan mutlak (kepadatan membal/*refusal density*) sebagaimana diatur dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3, bahwa jika pemadatan dilakukan dengan cara pemadatan manual untuk benda uji dari cetakan berukuran 4 inch maka jumlah pemadatan per bidang adalah 400.

Dari hasil pengujian dan perhitungan untuk menentukan nilai-nilai parameter *Marshall* masing-masing variasi kadar aspal untuk dua macam ukuran butiran maksimum maka dapat ditentukan kadar aspal dari kedua komposisi tersebut yang memiliki VIM 6% sebagai besaran kadar aspal untuk persiapan pengujian kepadatan mutlak yang dapat diuraikan dalam hasil pengujian berikut ini.

4.6.6.1 Pengujian Kepadatan Mutlak untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Ukuran Butiran Maksimum 25 mm

Pada **Tabel 4.40** diperoleh data perhitungan dari kadar aspal yang merupakan rentang kadar aspal dengan nilai VIM sebesar 6% adalah:

- a. Kadar Aspal 4,5% dengan VIM = 6,269 %
- b. Kadar Aspal 5,0% dengan VIM = 4,557 %

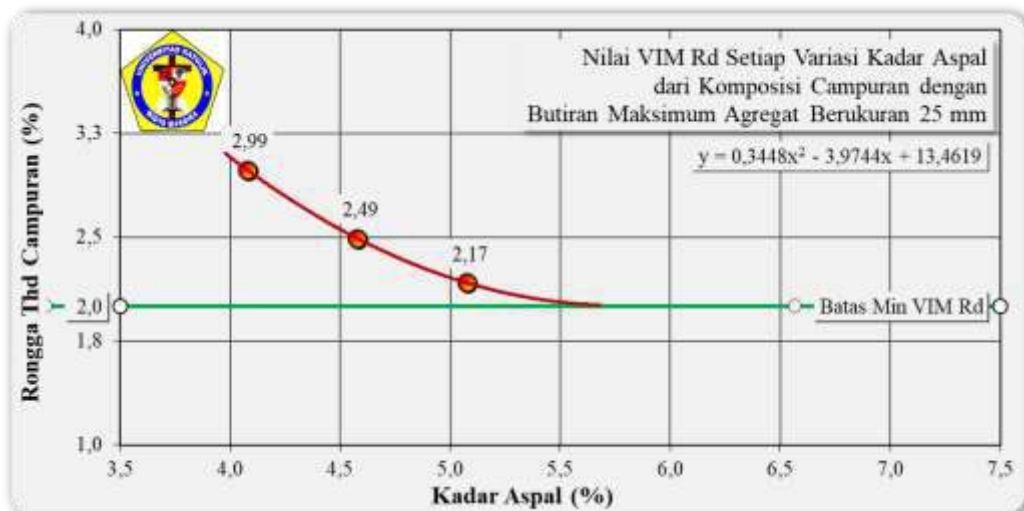
Dengan cara menginterpolasi nilai yang telah diketahui diatas maka diperoleh kadar aspal dengan nilai VIM sebesar 6,0% = 4,58 %.

Setelah ditentukan besarnya kadar aspal dengan VIM 6,0% adalah 4,58%, selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji *Marshall* untuk percobaan kepadatan mutlak dengan variasi kadar aspal $-0,5 K_{A_{vim6,0\%}}$, $K_{A_{vim6,0\%}}$ dan $K_{A_{vim6,0\%}} +0,5$ masing-masing variasi kadar aspal adalah menjadi 4,08%, 4,58% dan 5,08%. Hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.44**. dan **Gambar 4.17** berikut ini.

Tabel 4.44. Nilai Kepadatan Mutlak dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

PENGUJIAN KEPADATAN MUTLAK CAMPURAN BERASPAL DENGAN ALAT MARSHALL										
BUTIRAN MAKSIMUM AGREGAT BERUKURAN 25 MM										
BJ. Bulk Agregat =		2,612		GMM =		2,418		BJ. Efektif Agregat =		2,613
BJ. Aspal =		1,030		Absopsi. Aspal =		0,018		Bahan Lolos # 200 =		5,833
No. Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Berat Contoh (gram)			Isi Contoh	Berat Isi	Gmm	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)
		Kering	Dalam Air	Jenuh						
1	4,08	1202,1	699,9	1203,8	503,9	2,386	2,459	12,393	2,987	75,898
2	4,58	1201,7	698,1	1202,9	504,8	2,381	2,441	13,034	2,492	80,880
3	5,08	1200,4	695,2	1201,4	506,2	2,371	2,424	13,823	2,170	84,304

Sumber: Hasil Pengujian Lab. PT. CBJA Hasil Analisa, 2023



Gambar 4.17 Grafik Nilai Kepadatan Mutlak Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Berdasarkan persamaan regresi type polynomial order 2 dari **Gambar 4.17**, dapat ditentukan besarnya Nilai Kepadatan Mutlak dari kadar aspal perkiraan = 5,24 untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Ukuran Butiran Maksimum 25 mm adalah sebagai berikut:

$$KA_{Pb}(x) = 5,24$$

$$\text{Nilai } VIM_{Rd} = 0,3448x^2 - 3,9744x + 13,4619$$

$$= 0,3448(5,24)^2 - 3,9744(5,24) + 13,4619$$

$$= 2,103 \%$$

Dari perhitungan tersebut menunjukkan bahwa hasil pengujian kepadatan mutlak untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Ukuran Butiran Maksimum 25 mm = 2,103% lebih besar dari batasan minimum 2% yang disyaratkan Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3.

4.6.6.2 Pengujian Kepadatan Mutlak untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Ukuran Butiran Maksimum 19 mm

Pada **Tabel 4.41** diperoleh data perhitungan dari kadar aspal yang merupakan rentang kadar aspal dengan nilai VIM sebesar 6% adalah:

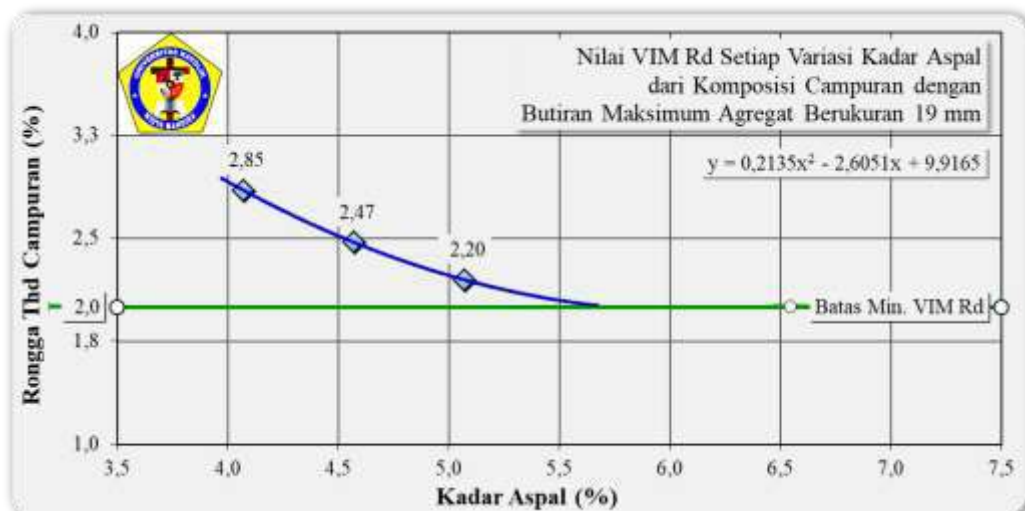
- a. Kadar Aspal 4,5% dengan VIM = 6,254 %
- b. Kadar Aspal 5,0% dengan VIM = 4,480 %

Dengan cara menginterpolasi nilai yang telah diketahui diatas maka diperoleh kadar aspal dengan nilai VIM sebesar 6,0% = 4,57 %. Hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.45.** dan **Gambar 4.18** berikut ini:

Tabel 4.45. Nilai Kepadatan Mutlak dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

PENGUJIAN KEPADATAN MUTLAK CAMPURAN BERASPAL DENGAN ALAT MARSHALL										
BUTIRAN MAKSIMUM AGREGAT BERUKURAN 19 MM										
BJ. Bulk Agregat =		2,612		GMM =		2,420		BJ. Efektif Agregat =		2,616
BJ. Aspal =		1,030		Absopsi. Aspal =		0,054		Bahan Lolos # 200 =		5,833
No. Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Berat Contoh (gram)			Isi Contoh	Berat Isi	Gmm	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)
		Kering	Dalam Air	Jenuh						
1	4,07	1200,2	700,2	1202,1	501,9	2,391	2,461	12,183	2,849	76,612
2	4,57	1202,9	699,8	1204,5	504,7	2,383	2,444	12,930	2,470	80,900
3	5,07	1202,4	696,5	1203,2	506,7	2,373	2,426	13,764	2,197	84,041

Sumber: Hasil Pengujian Lab. PT. CBJA Hasil Analisa, 2023



Gambar 4.18 Grafik Nilai Kepadatan Mutlak Setiap Kadar Aspal dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Berdasarkan persamaan regresi *type polynomial order 2* dari **Gambar 4.18**, dapat ditentukan besarnya Nilai Kepadatan Mutlak dari kadar aspal perkiraan = 5,24 untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Ukuran Butiran Maksimum 19 mm, diperoleh:

$$KA_{Pb} = 5,24 \%$$

$$\text{Nilai } VIM_{Rd} = 2,127 \%$$

Dari perhitungan tersebut menunjukkan bahwa hasil pengujian kepadatan mutlak untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Ukuran Butiran Maksimum 19 mm = 2,127 % lebih besar dari batasan minimum 2% yang disyaratkan Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3.

4.7 Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh persyaratan grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter *Marshall*. Sukirman (2016).

Syarat-syarat parameter *Marshall* campuran beraspal panas jenis Laston Lapis Antara yang diatur dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3, antara lain :

1. Stabilitas Marshall = Min. 800 kg

2. Pelelehan (<i>Flow</i>)	= 2 – 4 mm
3. Rongga Dalam Campuran (VIM)	= 3 – 5 %
4. Rongga dalam Agregat (VMA)	= Min. 14 %
5. Rongga Terisi Aspal (VFB)	= Min. 65 %
6. Rasio Partikel Lolos ayakan #200 dengan kadar aspal Efektif	= 0,6 – 1,2 %
7. Rongga dalam Campuran pada Kepadatan Mutlak	= Min. 2,0 %

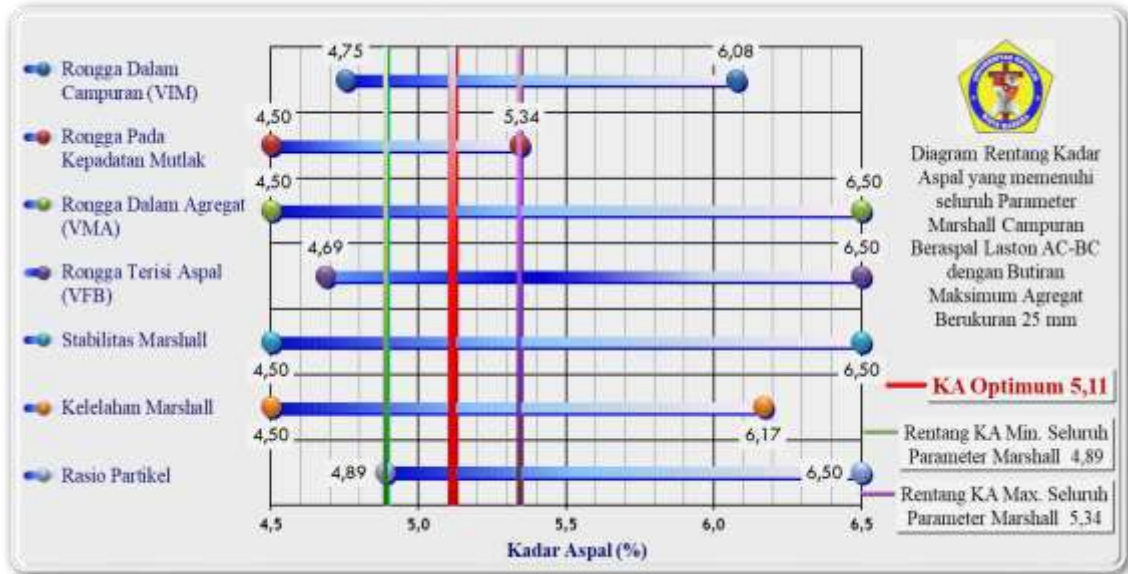
Penentuan Kadar Aspal Optimum diawali dengan membuat diagram batang dari rentang kadar aspal tiap parameter *Marshall* yang memenuhi. Pada diagram batang keseluruhan parameter *Marshall* terlihat rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter *Marshall* berdasarkan syarat spesifikasi. Dari diagram batang tersebut, kemudian dibuat satu garis vertikal pada nilai kadar aspal minimum yang memenuhi seluruh parameter *Marshall* dan satu garis untuk menentukan nilai kadar aspal maksimum. Dua nilai kadar aspal tersebut kemudian dirata-ratakan sebagai Kadar Aspal Tengah atau Kadar Aspal Optimum. Kadar Aspal Optimum adalah besarnya nilai kadar aspal pada campuran yang menghasilkan karakteristik perkerasan yang terbaik.

Penentuan Kadar Aspal Optimum dari dua Komposisi campuran Laston Lapis Antara dari penelitian ini dapat dilihat dari uraian masing-masing komposisi gradasi agregat gabungan berikut ini:

4.7.1 Kadar Aspal Optimum dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Dari **Gambar 4.19**, campuran beraspal panas jenis Lapis Aspal Beton Lapis Antara dengan komposisi agregat gabungan yang menggunakan butiran maksimum agregat berukuran 25 mm dicapai Kadar Aspal Optimum sebesar 5,11 % dengan rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter marshall adalah kadar aspal 4,89% sampai dengan 5,34% sebagai rentang terbaik yang dapat digunakan pada komposisi tersebut.

Berikut diagram rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter marshall Campuran Beraspal Laston AC-BC dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm.



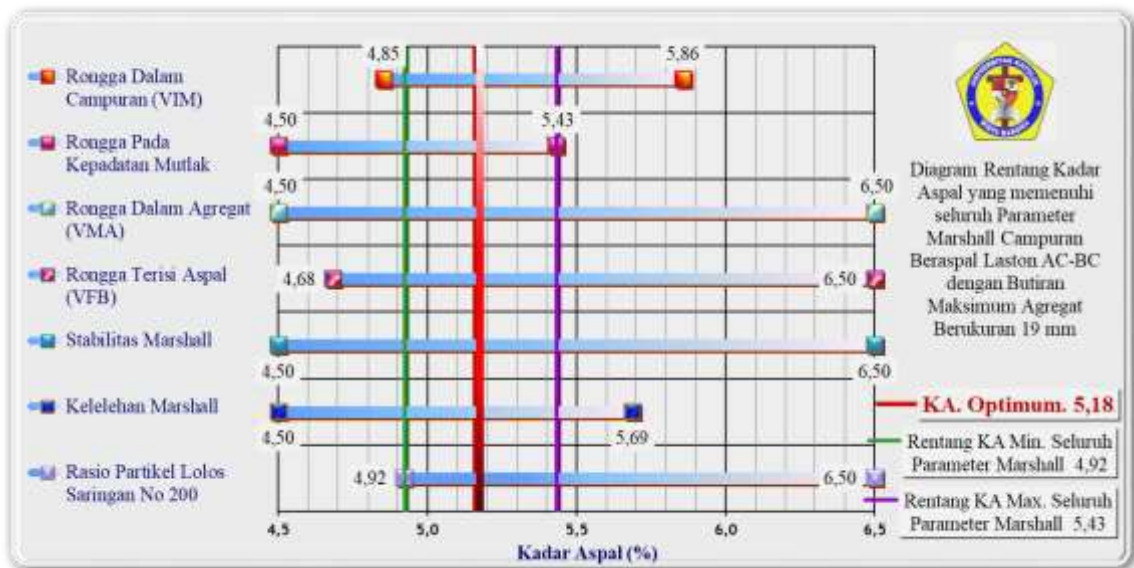
Gambar 4.19 Diagram Batang Kadar Aspal Optimum Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.7.2 Kadar Aspal Optimum dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Pada diagram batang dari **Gambar 4.20**, campuran beraspal panas jenis Lapis Aspal Beton Lapis Antara dengan komposisi agregat gabungan yang menggunakan butiran maksimum agregat berukuran 19 mm dicapai Kadar Aspal Optimum sebesar 5,18 % dengan rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter *Marshall* adalah kadar aspal 4,92% sampai dengan 5,43% sebagai rentang terbaik yang dapat digunakan pada komposisi tersebut.

Berikut ini dapat dilihat diagram rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter *Marshall* Campuran Beraspal Laston AC-BC dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm.



Gambar 4.20 Diagram Batang Kadar Aspal Optimum Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa Kadar Aspal Optimum masing-masing komposisi gradasi agregat gabungan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Campuran Beraspal Laston AC-BC dengan Komposisi Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dari material ex. Pariti *stock pile* PT. Cahaya Berlian Jaya Abadi dengan komposisi campuran yang terdiri dari:
 - a. Batu Pecah 1” = 10%
 - b. Batu Pecah 3/4” = 17%
 - c. Batu Pecah 1/2” = 20%
 - d. Abu batu = 42%
 - e. Pasir = 10%
 - f. Semen Kupang = 1%,

diperoleh rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter marshall adalah kadar aspal dengan rentang 4,89 % sampai dengan 5,34 %,

Kadar Aspal Optimum kemudain ditentukan dari rata-rata rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter *Marshall* sebagaimana perhitungan berikut.

Kadar Aspal Optimum (KAO) dari Campuran Beraspal Laston AC-BC dengan Komposisi Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

$$= (4.89 + 5,34) / 2 = 5,11\%$$

2. Campuran Beraspal Laston AC-BC dengan Komposisi Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dari material ex. Pariti *stock pile* PT. Cahaya Berlian Jaya Abadi dengan komposisi campuran yang terdiri dari:

- a. Batu Pecah 3/4“ = 27%
- b. Batu Pecah 1/2” = 20%
- c. Abu batu = 42%
- d. Pasir = 10%
- e. Semen Kupang = 1%,

diperoleh rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter *Marshall* adalah kadar aspal dengan rentang 4,92 % sampai dengan 5,43 %,

Kadar Aspal Optimum kemudian ditentukan dari rata-rata rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter *Marshall* sebagaimana perhitungan berikut.

Kadar Aspal Optimum (KAO) dari Campuran Beraspal Laston AC-BC dengan Komposisi Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

$$= (4.92 + 5,43) / 2 = 5,18\%.$$

4.7.3 Pembahasan Hubungan Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan Parameter Marshall

Dijelaskan pula bahwa nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) diperoleh setelah pengujian *Marshall* dengan variasi kadar aspal yang memperoleh nilai-nilai parameter *Marshall*. Kemudian nilai-nilai tersebut digambarkan dengan diagram batang rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter *Marshall* berdasarkan syarat spesifikasi.

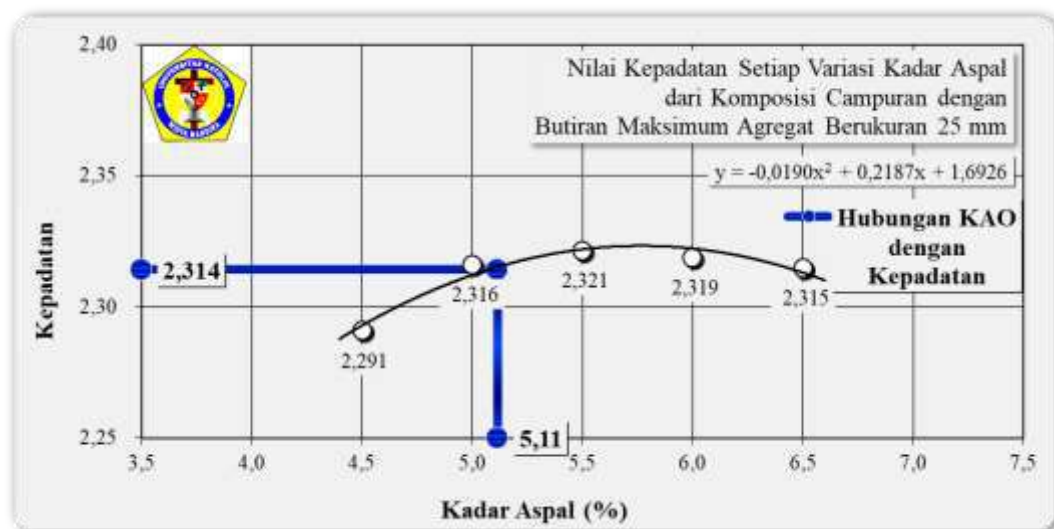
Dari nilai Kadar Aspal Optimum yang didapat kemudian disubstitusikan kedalam persamaan kecenderungan urutan dan hubungan rata-rata antar variabel yang merupakan ekspresi aljabar dari beberapa suku yang tiap suku memiliki tetapan dan peubah (*trendline regresi type polynomial order 2*) yang terdapat pada grafik-grafik nilai parameter *Marshall* yang telah diuraikan sebelumnya guna mendapatkan nilai-nilai optimum parameter *Marshall*, sebagai Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Parameter *Marshall* yang adalah nilai optimum parameter *marshall* itu sendiri.

Proses perhitungan hubungan Kadar Aspal Optimum dengan nilai-nilai parameter *Marshall* akan dibahas di bawah ini.

4.7.3.1 Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kepadatan

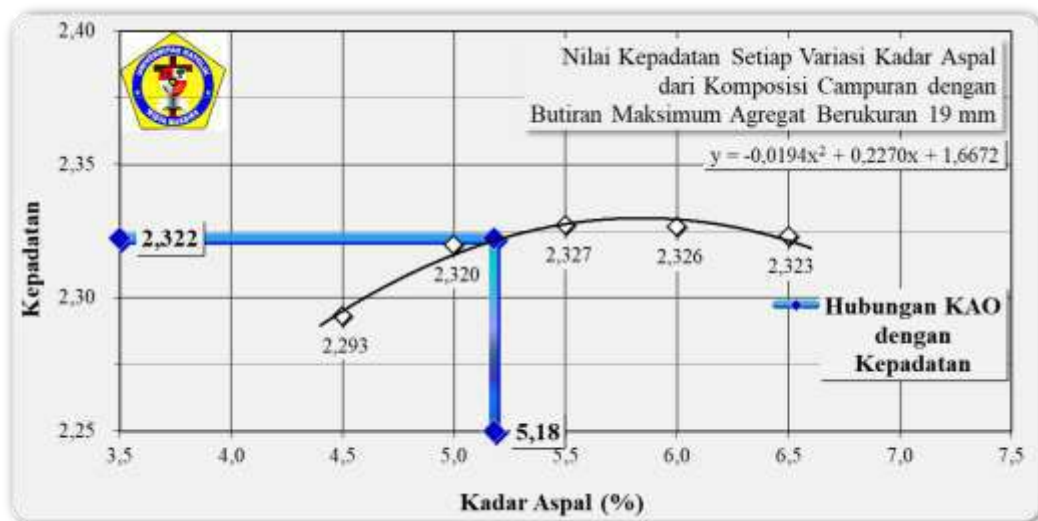
Dari rangkuman nilai Kepadatan untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dapat dilihat pada **Tabel 4.30** dan **Gambar 4.3** serta Nilai Stabilitas untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm pada **Tabel 4.31** dan **Gambar 4.4**. kemudian dibuat grafik sebagai grafik yang menggambarkan hubungan nilai-nilai kepadatan dengan tiap variasi kadar aspal hasil percobaan.

Dari nilai-nilai Kepadatan tersebut, digambarkan grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kepadatan dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dapat dilihat pada **Gambar 4.21** berikut ini.



Gambar 4.21 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kepadatan Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Sedangkan gambaran grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kepadatan sebagai Nilai Kepadatan Optimum dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm dilihat pada **Gambar 4.22** sebagai berikut:



Gambar 4.22 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kepadatan Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Dari grafik hubungan Kadar Aspal Optimum dan Kepadatan kedua komposisi gradasi agregat gabungan diatas pada penelitian ini diperoleh nilai Kepadatan Optimum dari perhitungan berdasarkan persamaan regresi yang kemudian merupakan nilai kepadatan yang paling baik dari masing-masing komposisi campuran tersebut. Berikut adalah uraian perhitungan Kepadatan Optimum dari masing-masing komposisi tersebut:

- 1) **Gambar 4.21.** Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kepadatan dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

$$\text{KAO (x)} = 5,11\%$$

$$\text{Nilai Kepadatan Optimum (y)}$$

$$= -0,0190x^2 + 0,2187x + 1,6926$$

$$= -0,0190(5,11)^2 + 0,2187x (5,11) + 1,6926$$

$$= 2,314$$

- 2) **Gambar 4.22.** Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kepadatan dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

$$\text{KAO (x)} = 5,18\%$$

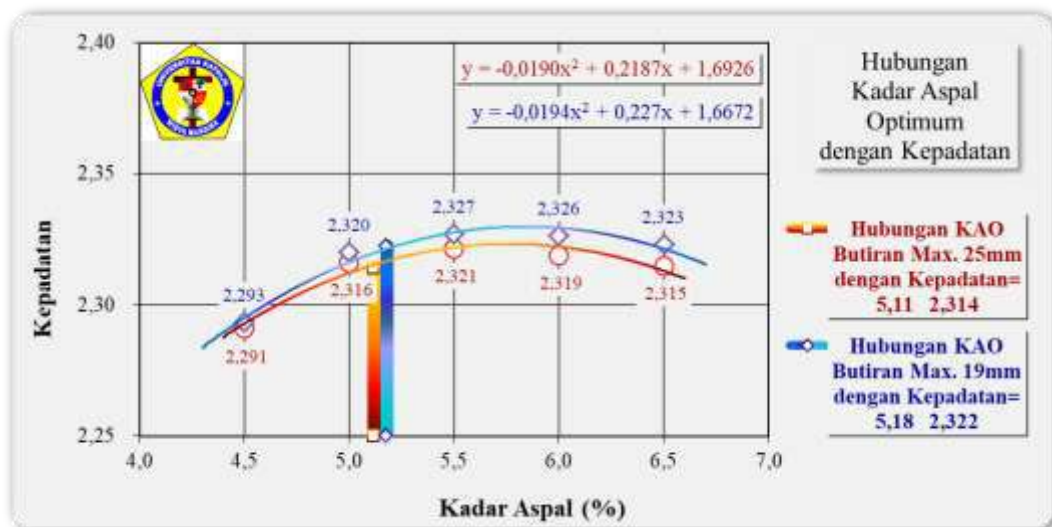
$$\begin{aligned}
&\text{Nilai Kepadatan Optimum (y)} \\
&= -0,0194x^2 + 0,2270x + 1,6672 \\
&= -0,0194(5,18)^2 + 0,2270x (5,18) + 1,6672 \\
&= 2,322
\end{aligned}$$

Dari rekapan nilai-nilai kepadatan pada **Gambar 4.21** dan **Gambar 4.22**, dapat dilihat kecenderungan untuk terus meningkatnya nilai kepadatan seiring dengan bertambahnya kadar aspal hingga sampai pada kepadatan maksimum dan kemudian akan kembali berangsur-angsur turun seiring bertambahnya kadar aspal dalam campuran.

Menurunnya nilai kepadatan diakibatkan oleh rongga diantara partikel agregat semakin terisi akibat penambahan aspal sehingga membuat sifat saling mengunci (*interlocking*) antar agregat menjadi berkurang karena rongga agregat dalam campuran sudah didominasi oleh aspal.

Perbedaan nilai kepadatan optimum dari kedua komposisi menunjukkan bahwa, dengan ditambahkan material dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm pada komposisi campuran, sifat saling menguncinya agregat dalam campuran beraspal lebih kecil dibandingkan dengan komposisi dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm.

Perbedaan nilai Kepadatan Optimum untuk Kadar Aspal Optimum yang juga berbeda dari dua komposisi gradasi agregat gabungan diatas dapat dilihat pada **Gambar 4.23** berikut.



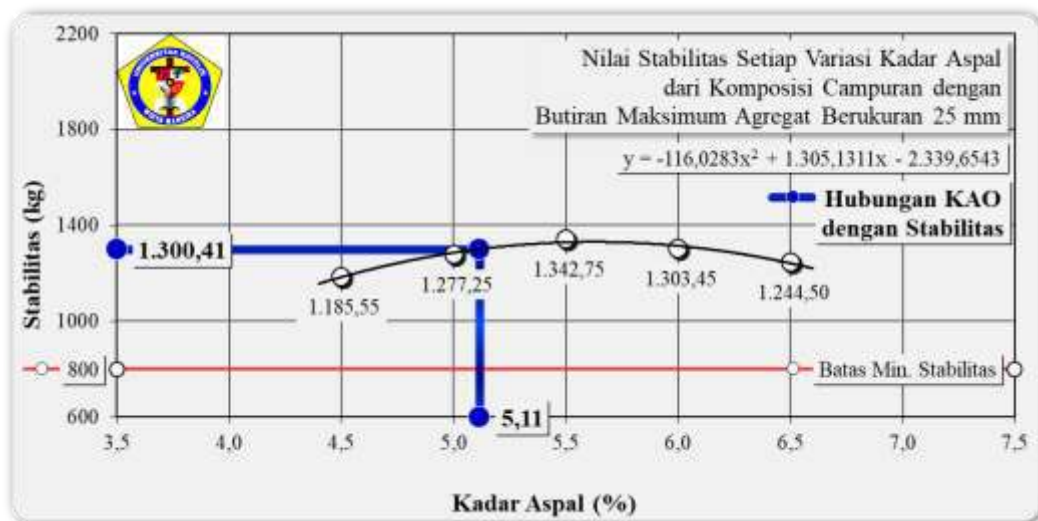
Gambar 4.23 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kepadatan dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Berukuran 19 mm

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.7.3.2 Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Stabilitas

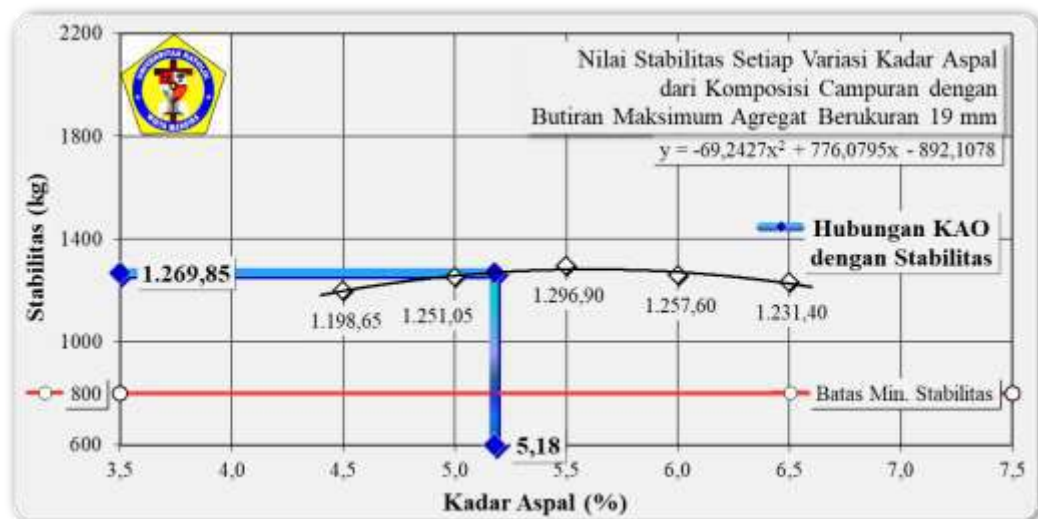
Dari Rangkuman nilai Stabilitas untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm sebagaimana **Tabel 4.32** dan **Gambar 4.5** serta Nilai Stabilitas untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm pada **Tabel 4.33** dan **Gambar 4.6** kemudian dibuat grafik sebagai grafik yang menghubungkan nilai-nilai Stabilitas seluruh variasi kadar aspal hasil percobaan.

Dari nilai-nilai Stabilitas tersebut, digambarkan grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Stabilitas dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dapat dilihat pada **Gambar 4.24** berikut ini.



Gambar 4.24 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Stabilitas Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Sedangkan gambaran grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Stabilitas sebagai Nilai Stabilitas Optimum dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm dilihat pada pada **Gambar 4.25** sebagai berikut:



Gambar 4.25 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Stabilitas Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Berikut adalah uraian perhitungan Stabilitas Optimum dari masing-masing komposisi tersebut:

- 1) **Gambar 4.24.** Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Stabilitas dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

$$\text{KAO (x)} = 5,11\%$$

Nilai Stabilitas Optimum (y)

$$\begin{aligned} &= -116,0283x^2 + 1305,1311x + 2339,6543 \\ &= -116,0283 (5,11)^2 + 1305,1311 (5,11) + 2339,6543 \\ &= 1300,41 \text{ kg} \end{aligned}$$

- 2) **Gambar 4.25.** Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Stabilitas dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

$$\text{KAO (x)} = 5,18\%$$

Nilai Stabilitas Optimum (y)

$$\begin{aligned} &= -69,2427x^2 + 776,0795x - 892,1078 \\ &= -69,2427 (5,18)^2 + 776,0795 (5,18) + 892,1078 \\ &= 1269,95 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan rekapan nilai-nilai Stabilitas pada **Tabel 4.32** dan **Tabel 4.33**, terlihat gambaran dari Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Stabilitas pada **Gambar 4.24** untuk komposisi dengan butiran maksimum agregat berukuran 25 mm dan **Gambar 4.25**, untuk komposisi dengan butiran maksimum agregat berukuran 19 mm, bahwa nilai stabilitas semakin tinggi seiring bertambahnya kadar aspal. Kemudian stabilitas akan kembali berangsur menurun dengan semakin bertambahnya kadar aspal. Hal ini menunjukkan bahwa nilai stabilitas sangat tergantung pada banyaknya kadar aspal yang digunakan.

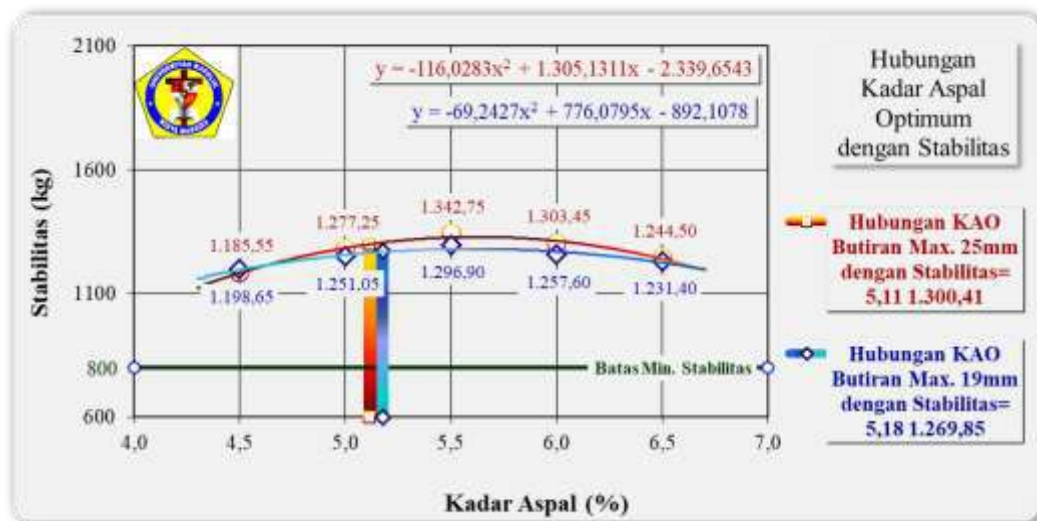
Bila kadar aspal yang digunakan terlalu sedikit atau terlalu banyak, dalam hal ini melebihi kadar aspal optimum maka nilai stabilitas akan menurun setelah Stabilitas mencapai maksimum. Berdasarkan grafik tersebut juga dapat disimpulkan bahwa jika kadar aspal kecil atau terlalu besar maka tebal selimut aspalnya menjadi

tipis dan bahkan terlalu tebal, hal ini akan menyebabkan runtuhnya benda uji akibat kurangnya ikatan diantar agregat ataupun sudah runtuh seiring kelelahan *Marshall* semakin besar saat mendapat beban.

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pada kondisi kadar aspal yang sedikit, nilai stabilitas yang terjadi adalah rendah dan sebaliknya jika kadar aspal terlalu besar pun dapat menyebabkan nilai stabilitas yang rendah pula. Hal ini sebagai akibat besarnya kadar aspal disaat mencapai nilai optimum akan terjadi pengikatan yang baik antar agregat dengan aspal sehingga menghasilkan nilai stabilitas yang optimum. Setelah melewati nilai optimum kadar aspal, stabilitas pun berangsur-angsur turun

Perbedaan nilai Stabilitas optimum dari kedua komposisi menunjukkan bahwa, dengan ditambahkannya material dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm pada komposisi campuran yang menghasilkan Kadar Aspal Optimum = 5,11% lebih kecil dan stabilitas = 1300,41 kg lebih besar dari Komposisi dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm yang menghasilkan Kadar Aspal Optimum = 5,18% dan stabilitas lebih kecil yaitu 1269,95 kg. Hal ini akan menyebabkan komposisi dengan Kadar Aspal Optimum yang kecil cenderung memiliki sifat benda uji yang lebih cepat runtuh ketika mendapatkan beban akibat kurangnya ikatan diantar agregat saat mendapat beban karena sifat saling menguncinya agregat dalam campuran beraspal lebih kecil dibandingkan dengan komposisi dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm. Akan tetapi pada kejadian ini, runtuhnya ikatan agregat pada benda uji dengan kepadatan yang tinggi terjadi saat tingkat kelelahan yang makin tinggi. Namun stabilitas dari percobaan kedua komposisi tersebut memenuhi syarat Stabilitas dari Laston yaitu minimum 800 kg sebagaimana Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3.

Perbedaan nilai Stabilitas Optimum dan Kadar Aspal Optimum yang berbeda dari dua komposisi gradasi agregat gabungan diatas dapat dilihat pada **Gambar 4.26** berikut.



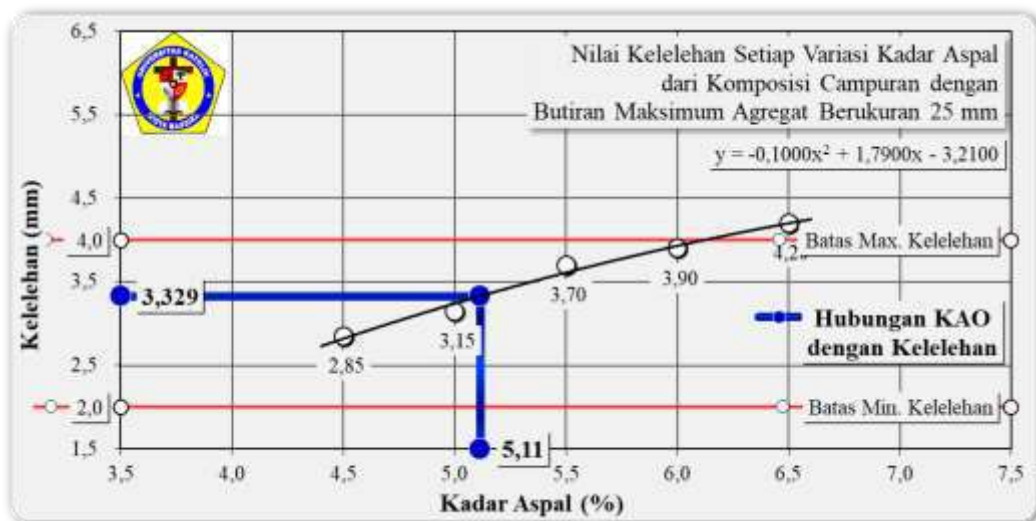
Gambar 4.26 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Stabilitas dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Berukuran 19 mm

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.7.3.3 Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kelelahan

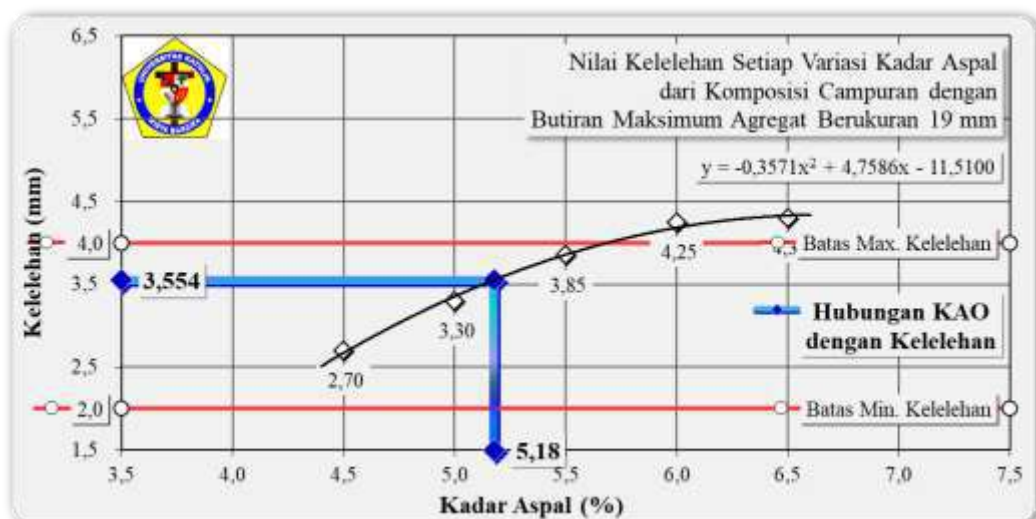
Dari rangkuman nilai Kelelahan plastis benda uji dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm sebagaimana **Tabel 4.34** dan **Gambar 4.7** serta nilai Kelelahan plastis benda uji untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm pada **Tabel 4.35** dan **Gambar 4.8** kemudian dibuat grafik sebagai grafik yang menggambarkan hubungan nilai-nilai kelelahan dengan tiap variasi kadar aspal hasil percobaan.

Dari nilai-nilai Kelelahan Plastis tersebut, digambarkan grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kelelahan Plastis benda uji dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dapat dilihat pada **Gambar 4.27** berikut ini.



Gambar 4.27 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kelelehan plastis benda uji Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Sedangkan gambaran grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kelelehan plastis benda uji sebagai Nilai Kelelehan plastis Optimum dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm dilihat pada pada **Gambar 4.28** sebagai berikut:



Gambar 4.28 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kelelehan plastis benda uji Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Berikut adalah uraian perhitungan Kelelehan plastis Optimum dari masing-masing komposisi tersebut:

- 1) **Gambar 4.27.** Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kelelehan plastis benda uji dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

$$\text{KAO (x)} = 5,11\%$$

Nilai Kelelehan Optimum (y)

$$= -0,100x^2 + 1,7900x - 3,21$$

$$= -0,10 (5,11)^2 + 1,79 (5,11) - 3,21$$

$$= 3,329 \text{ mm}$$

- 2) **Gambar 4.28.** Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kelelehan plastis benda uji dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

$$\text{KAO (x)} = 5,18\%$$

Nilai Kelelehan Optimum (y)

$$= -0,3571x^2 + 4,7586x - 11,51$$

$$= -0,3571 (5,18)^2 + 4,7586 (5,18) - 11,51$$

$$= 3,554 \text{ mm}$$

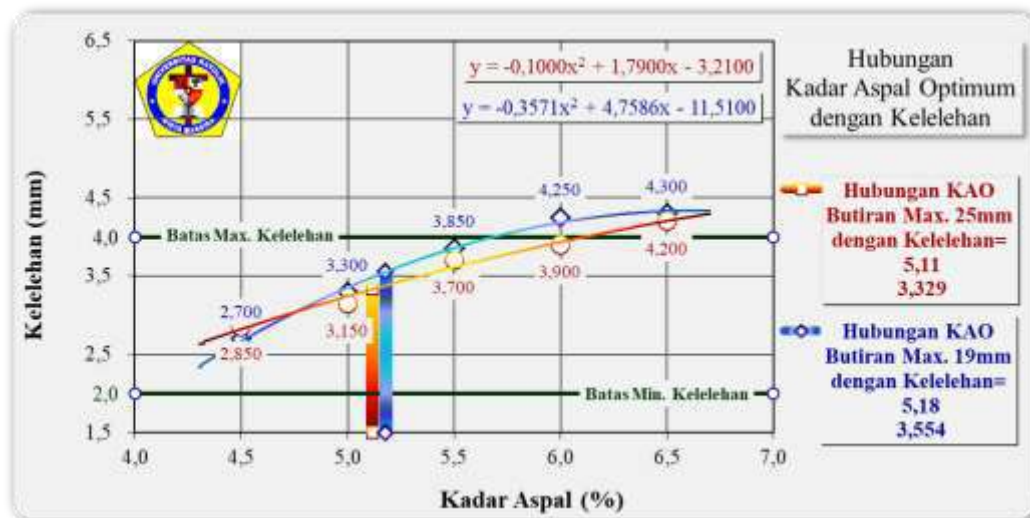
Pada **Gambar 4.29** yang merupakan grafik gabungan hubungan Kadar Aspal optimum dengan Kelelehan plastis benda uji dua macam komposisi campuran sebagaimana pada **Gambar 4.27** dan **Gambar 4.28**, dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai *flow* akan semakin tinggi pula. Hal ini disebabkan karena pemakaian aspal tidak lagi menyelimuti agregat sehingga dapat dikatakan bahwa pada kadar aspal yang tinggi dari suatu campuran beraspal akan mudah mengalami perubahan bentuk plastis dibandingkan dengan campuran yang kadar aspal rendah apabila dikenakan beban yang sama.

Dari **Gambar 4.29** menunjukkan bahwa hasil pengujian *flow* atau kelelehan plastis dalam benda uji campuran Laston dari kedua komposisi campuran pada penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

- 1) Kelelehan plastis benda uji untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm pada kadar aspal 4,5% sampai dengan 6.17% memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3

(2-4 mm) sedangkan kadar aspal 6.17% sampai 6.5% tidak memenuhi spesifikasi.

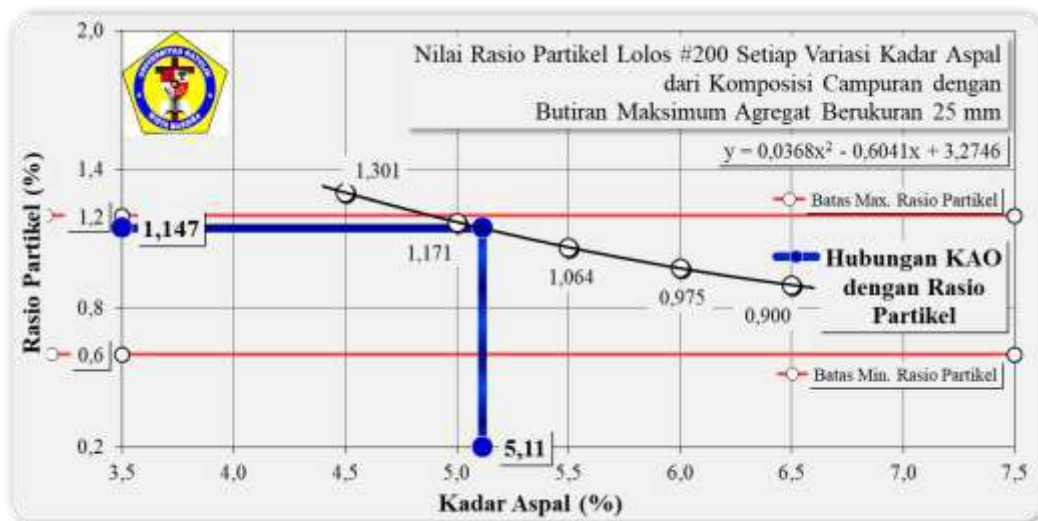
- Kelelehan plastis benda uji untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm pada kadar aspal 4,5% sampai dengan 5.69% memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3 (2-4 mm) sedangkan kadar aspal 5.69% sampai 6.5% tidak memenuhi spesifikasi.



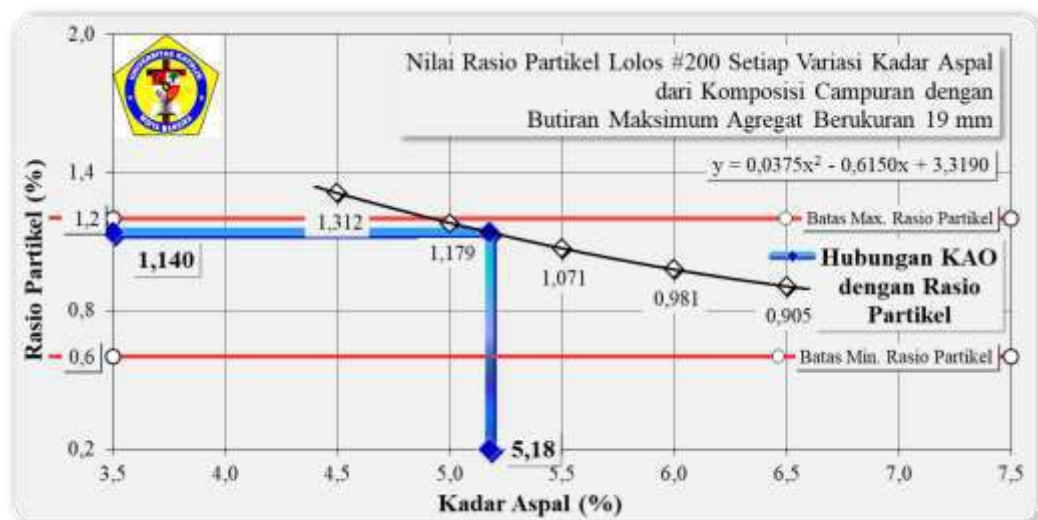
Gambar 4.29 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Kelelehan plastis benda uji dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Berukuran 19 mm
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.7.3.4 Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif

Dari Rangkuman nilai Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm sebagaimana **Tabel 4.36** dan **Gambar 4.9** serta Nilai Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm pada **Tabel 4.37** dan **Gambar 4.10**, dapat digambarkan grafik hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif dari kedua komposisi campuran dapat dilihat pada **Gambar 4.30** dan **Gambar 4.31** berikut ini.



Gambar 4.30 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



Gambar 4.31 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Dari grafik-grafik diatas dapat diuraikan perhitungan hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif dari masing-masing komposisi sebagai berikut:

- 1) **Gambar 4.30.** Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

$$\text{KAO (x)} = 5,11\%$$

Nilai Optimum Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif (y)

$$\begin{aligned} &= -0,0368x^2 - 0,6041x + 3,2746 \\ &= -0,0368 (5,11)^2 - 0,6041 (5,11) + 3,2746 \\ &= 1,147\% \end{aligned}$$

- 2) **Gambar 4.31.** Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

$$\text{KAO (x)} = 5,18\%$$

Nilai Optimum Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif (y)

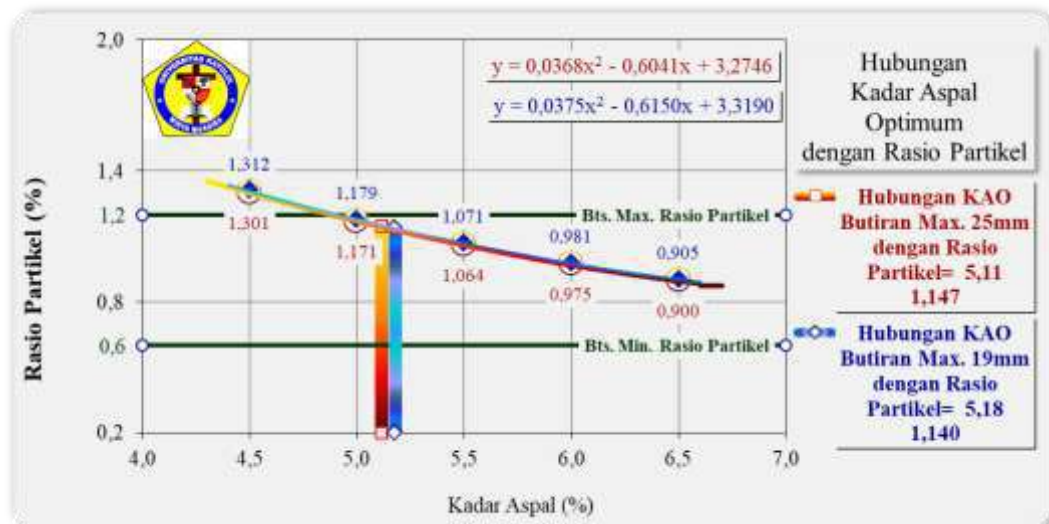
$$\begin{aligned} &= -0,0375x^2 - 0,6150x + 3,319 \\ &= -0,0375 (5,18)^2 - 0,6150 (5,18) + 3,319 \\ &= 1,140\% \end{aligned}$$

Pada **Gambar 4.32** yang merupakan grafik gabungan hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Nilai Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif dua macam komposisi campuran sebagaimana pada **Gambar 4.30** dan **Gambar 4.31**, dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai Nilai Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif akan cenderung menurun sebagai indikasi jika jumlah kadar aspal berkurang maka partikel yang lolos lebih mendominasi untuk mengisi rongga diantara agregat. Dan sebaliknya, jika jumlah kadar aspal semakin tinggi mempengaruhi jumlah partikel lolos ayakan #200 berkurang sebagai akibat rongga diantara agregat yang telah terisi oleh aspal.

Pada nilai terbaik disaat Nilai Optimum Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif adalah secara bersama-sama membentuk campuran dan mengikat agregat secara optimal sebab disaat yang sama, aspal dan partikel lolos saringan #200 berupa filler mengisi rongga diantara agregat halus dan agregat kasar serta meningkatkan kepadatan dan stabilitas dalam campuran yang dipadatkan.

Dari **Gambar 4.32** menunjukkan bahwa hasil Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif dalam campuran Laston dari kedua komposisi campuran pada penelitian memiliki rentang kadar aspal yang memenuhi sebagaimana uraian berikut:

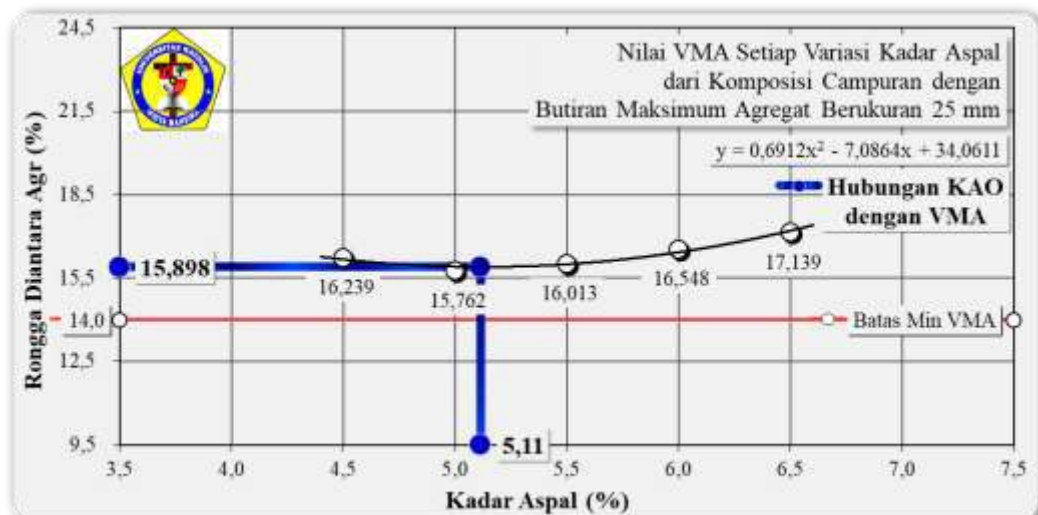
- 1) Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm pada kadar aspal 4,85% sampai dengan 6,5% memenuhi syarat Spesifikasi Bina marga 2018 Revisi 3 yaitu rentang 0,6-1,2%. Sedangkan kadar aspal 4,5% sampai 4,85% tidak memenuhi spesifikasi.
- 2) Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm pada kadar aspal 4,92% sampai dengan 6,5% memenuhi Spesifikasi Bina marga 2018 Revisi 3 yaitu rentang 0,6-1,2% sedangkan kadar aspal 4,5% sampai 4,92% tidak memenuhi spesifikasi.



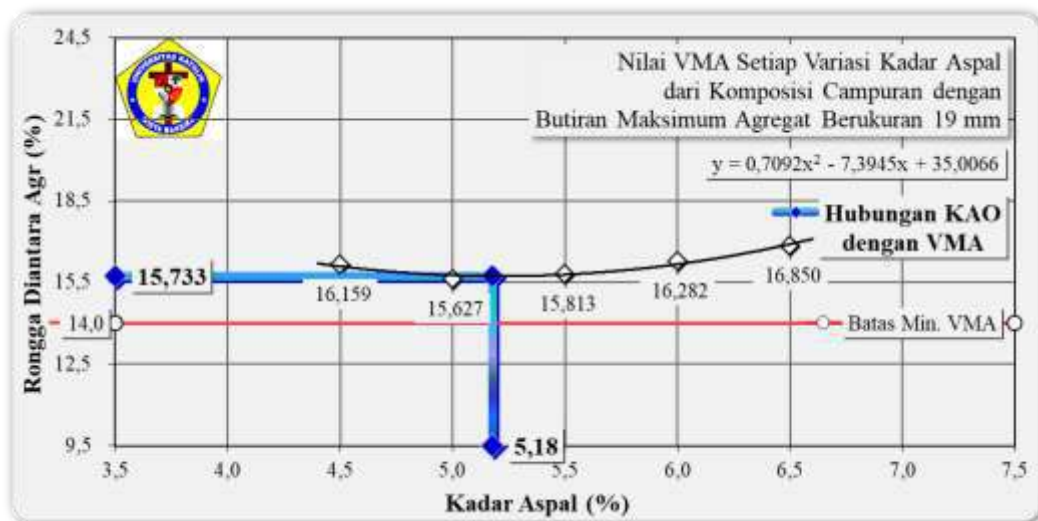
Gambar 4.32 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rasio Antar Partikel Lolos Saringan No. # 200 dengan Kadar Aspal Efektif dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Berukuran 19 mm
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.7.3.5 Hubungan Kadar Aspal dengan Volume Rongga Diantara Butir Agregat (*Void in the Mineral Agregat/VMA*)

Dari Rangkuman nilai Volume Rongga Diantara Butir (*VMA*) untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm sebagaimana **Tabel 4.38** dan **Gambar 4.11** serta Nilai Volume Rongga Diantara Butir (*VMA*) untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm pada **Tabel 4.39** dan **Gambar 4.12** dapat digambarkan grafik hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Volume Rongga Diantara Butir (*VMA*) dari kedua komposisi campuran dapat dilihat pada **Gambar 4.33** dan **Gambar 4.34** berikut ini.



Gambar 4.33 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rongga Diantara Butir Agregat (*VMA*) Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



Gambar 4.34 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rongga Diantara Butir Agregat (VMA) Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Dari grafik-grafik diatas dapat diuraikan perhitungan hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Volume Rongga Diantara Butir (VMA) dari masing-masing komposisi sebagai berikut:

- 1) **Gambar 4.33.** Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Volume Rongga Diantara Butir (VMA) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

$$\text{KAO (x)} = 5,11\%$$

$$\text{Nilai Optimum Volume Rongga Diantara Butir (VMA) (y)}$$

$$= -0,6912x^2 - 7,0864x + 34,0611$$

$$= -0,6912 (5,11)^2 - 7,0864 (5,11) + 34,0611$$

$$= 15,898\%$$

- 2) **Gambar 4.34.** Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Volume Rongga Diantara Butir (VMA) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

$$\text{KAO (x)} = 5,18\%$$

$$\text{Nilai Optimum Volume Rongga Diantara Butir (VMA) (y)}$$

$$= -0,7092x^2 - 7,3945x + 35,0066$$

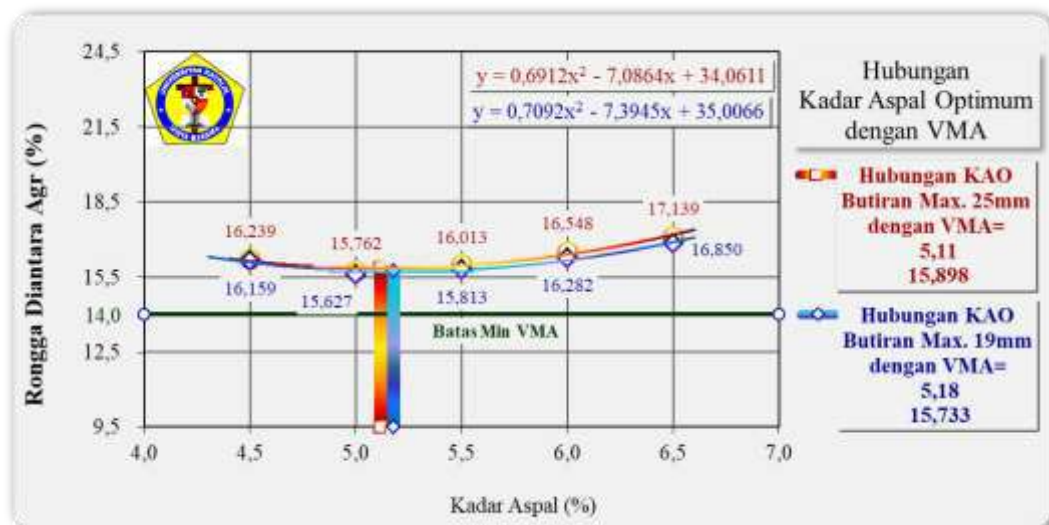
$$= -0,7092 (5,18)^2 - 7,3945 (5,18) + 35,0066$$

$$= 15,733\%$$

Pada **Gambar 4.35** yang merupakan grafik gabungan hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Volume Rongga Diantara Butir (*VMA*) dari dua macam komposisi campuran sebagaimana pada **Gambar 4.33** dan **Gambar 4.34**, dapat dilihat bahwa nilai Nilai Volume Rongga Diantara Butir (*VMA*) akan turun sampai mencapai nilai minimum dan kemudian kembali bertambah dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena dengan semakin bertambahnya kadar aspal maka semakin banyak aspal yang akan mengisi rongga-rongga di antara agregat sehingga dengan sendirinya Volume Rongga Diantara Butir (*VMA*) akan semakin kecil. Hal ini mengindikasikan rongga diantara partikel agregat dapat menampung jumlah kadar aspal yang semakin bertambah sehingga kerapatan diantara butiran agregat lebih baik.

Dari **Gambar 4.35** menunjukkan bahwa hasil Volume Rongga Diantara Butir (*VMA*) dalam campuran Laston dari kedua komposisi campuran pada penelitian memiliki rentang kadar aspal yang memenuhi sebagaimana uraian berikut:

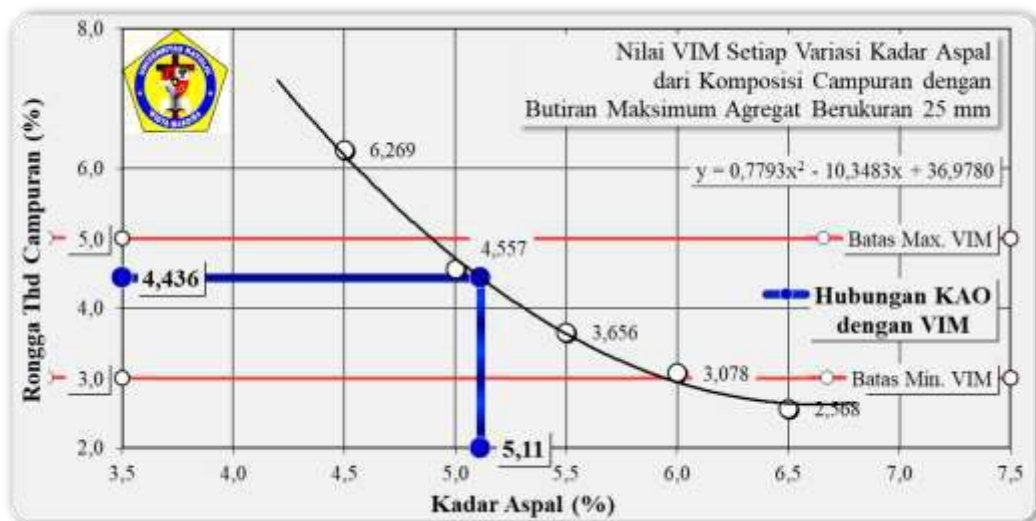
- 1) Volume Rongga Diantara Butir (*VMA*) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm pada kadar aspal 4,5% sampai dengan 6,5% memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3 yaitu minimum 14%.
- 2) Volume Rongga Diantara Butir (*VMA*) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm pada kadar aspal 4,5% sampai dengan 6,5% memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3 yaitu minimum 14%.



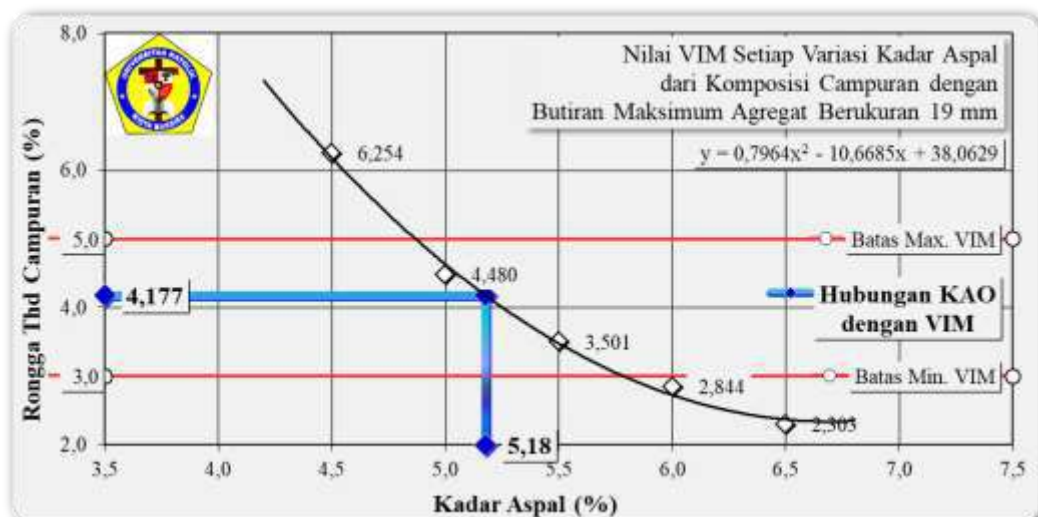
Gambar 4.35 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Volume Rongga Diantara Butir (VMA) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Berukuran 19 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.7.3.6 Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Volume Rongga Dalam Campuran Padat (Void In Mixture / VIM)

Dari Rangkuman nilai Volume Rongga Dalam Campuran Padat (VIM) untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm sebagaimana **Tabel 4.40** dan **Gambar 4.13** serta nilai Volume Rongga Dalam Campuran Padat (VIM) untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm pada **Tabel 4.41** dan **Gambar 4.14** digambarkan grafik hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Volume Rongga Dalam Campuran Padat (VIM) dari kedua komposisi campuran dapat dilihat pada **Gambar 4.36** dan **Gambar 4.37** berikut ini.



Gambar 4.36 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Volume Rongga Dalam Campuran Padat (VIM) Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



Gambar 4.37 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Volume Rongga Dalam Campuran Padat (VIM) Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Dari grafik-grafik diatas dapat diuraikan perhitungan hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Volume Rongga Dalam Campuran Padat (VIM) dari masing-masing komposisi sebagai berikut:

- 1) **Gambar 4.36.** Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Volume Rongga Dalam Campuran Padat (VIM) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

$$\text{KAO (x)} = 5,11\%$$

Nilai Optimum Volume Rongga Dalam Campuran Padat (*VIM*) (*y*)

$$= -0,7793x^2 - 10,3483x + 36,9780$$

$$= -0,7793 (5,11)^2 - 10,3483 (5,11) + 36,9780$$

$$= 4,436\%$$

- 2) **Gambar 4.37.** Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Volume Rongga Dalam Campuran Padat (*VIM*) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

$$\text{KAO (x)} = 5,18\%$$

Nilai Optimum Volume Rongga Dalam Campuran Padat (*VIM*) (*y*)

$$= -0,7964x^2 - 10,6685x + 38,0629$$

$$= -0,7964 (5,18)^2 - 10,6685 (5,18) + 38,0629$$

$$= 4,177\%$$

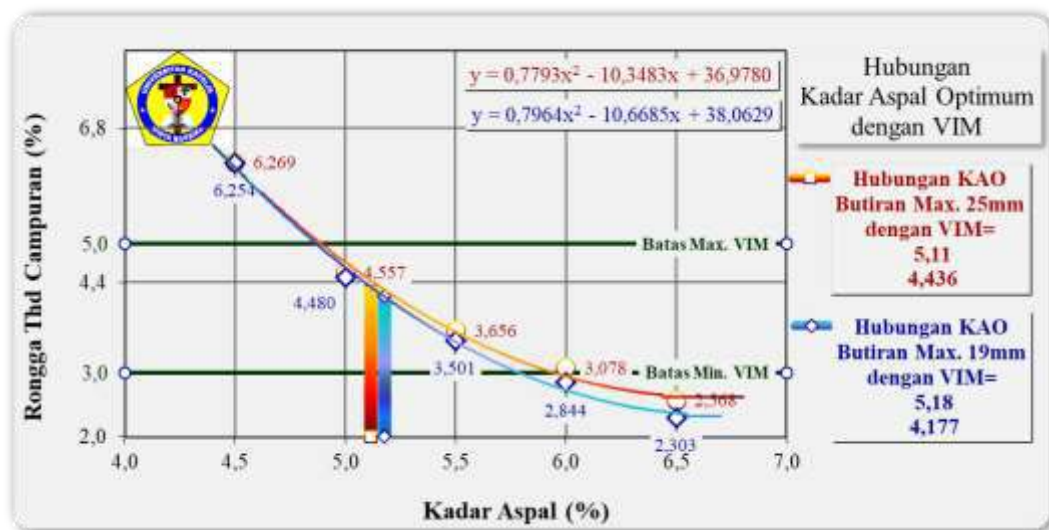
Pada **Gambar 4.38** yang merupakan grafik gabungan hubungan Volume Rongga Dalam Campuran Padat (*VIM*) dari dua macam komposisi campuran sebagaimana pada **Gambar 4.36** dan **Gambar 4.37**, dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai Volume Rongga Dalam Campuran Padat (*VIM*) akan semakin 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 kedapannya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal, sedangkan bila Volume Rongga Dalam Campuran Padat (*VIM*) kecil dan kadar aspal tinggi akan menyebabkan lapisan aspal meleleh (*bleeding*) pada saat pemadatan tambahan akibat lalulintas.

Dari **Gambar 4.35** menunjukkan bahwa hasil Volume Rongga Dalam Campuran Padat (*VIM*) dalam campuran Laston dari kedua komposisi campuran pada penelitian memiliki rentang kadar aspal yang memenuhi sebagaimana uraian berikut:

- 1) Volume Rongga Dalam Campuran Padat (*VIM*) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

dengan rentang kadar aspal yang memenuhi syarat Spesifikasi Bina marga 2018 Revisi 3 yaitu pada kadar aspal 4,75% - 6,06% dengan syarat VIM dari spesifikasi adalah 3-5%.

- 2) Volume Rongga Dalam Campuran Padat (VIM) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan rentang kadar aspal yang memenuhi syarat Spesifikasi Bina marga 2018 Revisi 3 yaitu pada kadar aspal 4,85% - 5,86% dengan syarat VIM dari spesifikasi adalah 3-5%.

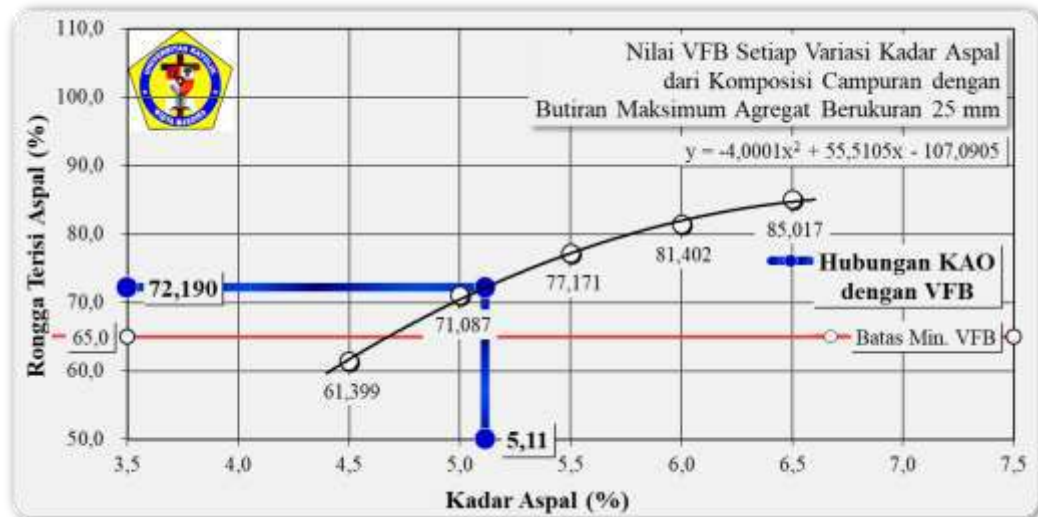


Gambar 4.38 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Volume Rongga Dalam Campuran Padat (VIM) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

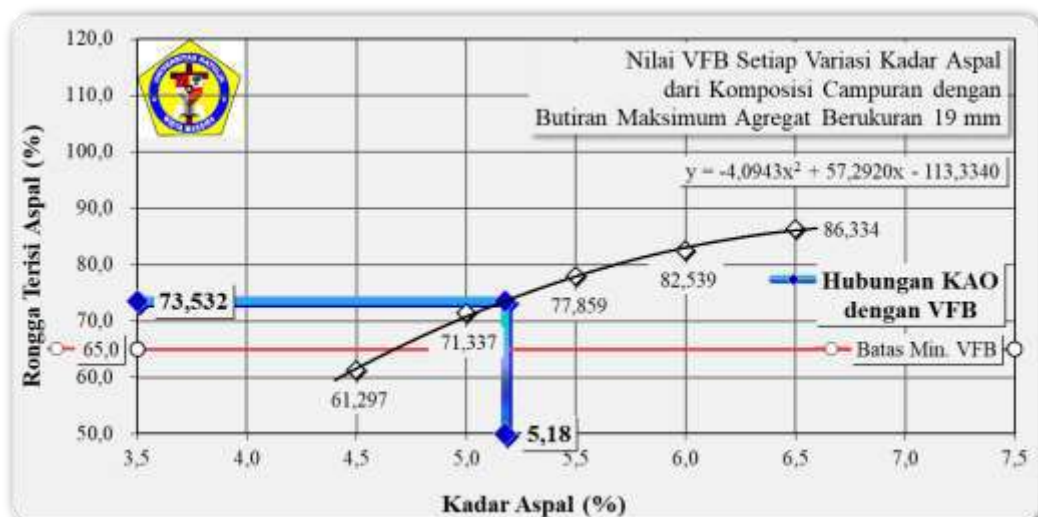
4.7.3.7 Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*Volume of void Filled with Asphalt / VFB*)

Dari Rangkuman nilai Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (VFB) untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm sebagaimana Tabel 4.42 dan Gambar 4.15 serta Nilai Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (VFB) untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm pada Tabel 4.42 dan Gambar 4.16 sebagai gambaran grafik

yang menghubungkan nilai-nilai kepadatan seluruh variasi kadar aspal hasil percobaan, digambarkan grafik hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (VFB) dari kedua komposisi campuran dapat dilihat pada **Gambar 4.39** dan **Gambar 4.40** berikut ini.



Gambar 4.39 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (VFB) Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023



Gambar 4.40 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (VFB) Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Dari grafik-grafik diatas dapat diuraikan perhitungan hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*VFB*) dari masing-masing komposisi sebagai berikut:

- 1) **Gambar 4.39.** Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*VFB*) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

$$KAO (x) = 5,11\%$$

Nilai Optimum Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*VFB*)
(y)

$$\begin{aligned} &= -4,0001x^2 + 55,5105x - 107,0905 \\ &= -4,0001 (5,11)^2 - 55,5105 (5,11) - 107,0905 \\ &= 72,190\% \end{aligned}$$

- 2) **Gambar 4.40.** Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*VFB*) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

$$KAO (x) = 5,18\%$$

Nilai Optimum Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*VFB*)
(y)

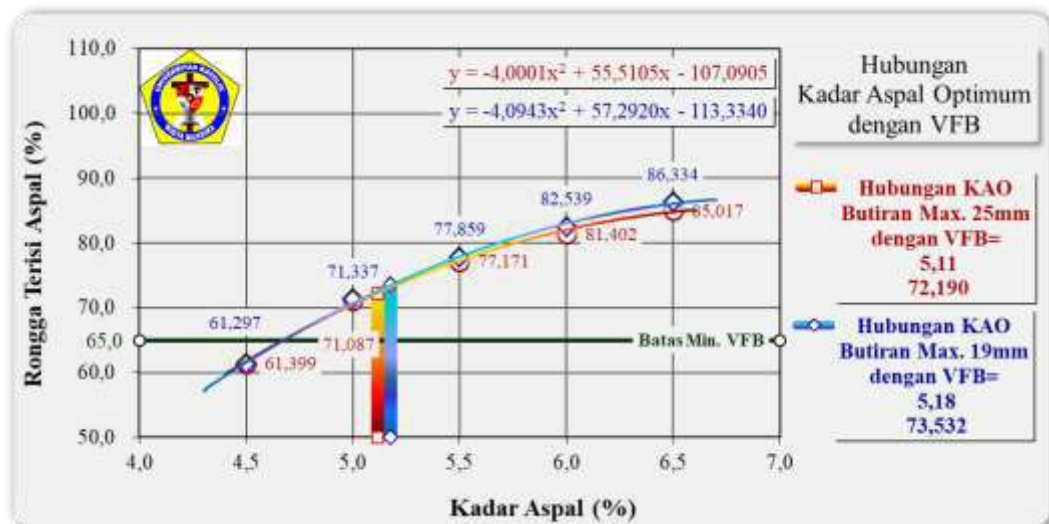
$$\begin{aligned} &= -4,0943x^2 + 57,2920x - 113,3340 \\ &= -4,0943 (5,18)^2 + 57,2920 (5,18) - 113,3340 \\ &= 73,532\% \end{aligned}$$

Pada Gambar 4.41 yang merupakan grafik gabungan hubungan Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*VFB*) dari dua macam komposisi campuran sebagaimana pada **Gambar 4.39** dan **Gambar 4.40** terlihat bahwa nilai Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*VFB*) semakin tinggi seiring penambahan kadar aspal 4,5% sampai 6,5%. Hal ini disebabkan karena rongga antar butiran agregat masih cukup besar dan dapat menampung aspal yang masuk, semakin besar kadar aspal semakin banyak rongga yang terisi oleh aspal sehingga prosentase aspal dalam rongga menjadi tinggi.

Dari **Gambar 4.35** menunjukkan bahwa hasil Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*VFB*) dalam campuran Laston dari kedua komposisi

campuran pada penelitian memiliki rentang kadar aspal yang memenuhi sebagaimana uraian berikut:

- 1) Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*VFB*) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dengan rentang kadar aspal yang memenuhi syarat Spesifikasi Bina marga 2018 Revisi 3 yaitu pada kadar aspal 4,89% - 6,5% dengan syarat VIM dari spesifikasi adalah minimum 65%.
- 2) Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*VFB*) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan rentang kadar aspal yang memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 3 yaitu pada rentang kadar aspal 4,92% - 6,5% dengan syarat *VFB* dari spesifikasi adalah minimum 65%.



Gambar 4.41 Grafik Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*VFB*) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Berukuran 19 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.7.4 Rangkuman Hasil Pengujian Campuran AC-BC dari Kedua Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Dari uraian masing-masing sifat *Marshall* diatas sebagaimana Nilai Kadar Aspal Perkiraan (*Pb*), nilai Kadar Aspal Optimum yang didapat kemudian

disubstitusikan kedalam persamaan *trendline regresi type polynomial order 2* yang terdapat pada grafik-grafik nilai parameter *Marshall* yang telah diuraikan sebelumnya guna mendapatkan nilai-nilai optimum parameter *Marshall*, sebagai Hubungan Kadar Aspal Optimum dengan Parameter *Marshall* yang adalah nilai optimum parameter *Marshall* itu sendiri.

Nilai optimum parameter *Marshall* dari kedua Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Kadar Aspal Perkiraan (Pb) dan Kadar Aspal Optimum (KAO) hasil perhitungan dengan persamaan regresi tersebut dapat dilihat dari uraian yang dirangkum pada **Tabel 4.46** dan **Tabel 4.47** sebagaimana tersebut berikut ini.

Tabel 4.46. Rangkuman Hasil Pengujian Campuran dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

RANGKUMAN PENGUJIAN CAMPURAN BERASPAL PANAS						
DARI KOMPOSISI CAMPURAN DENGAN BUTIRAN MAKSIMUM AGREGAT BERUKURAN 25 MM						
KOMPOSISI						
No	KOMPONEN CAMPURAN BERASPAL PANAS		SATUAN	PROPORSI	SPESIFIKASI	KETERANGAN
1	Batu Pecah 1"	Ex. S. Pariti	%	9,48	-	Tidak disyaratkan
2	Batu Pecah 3/4"	Ex. S. Pariti	%	16,11	-	Tidak disyaratkan
3	Batu Pecah 1/2"	Ex. S. Pariti	%	18,95	-	Tidak disyaratkan
4	Abu Batu Stone Crucher	Ex. S. Pariti	%	39,80	-	Tidak disyaratkan
5	Pasir Alam	Ex. S. Pariti	%	9,48	Max. 15	Memenuhi
6	Filler (Semen)	Ex. Kupang	%	0,95	Max. 2	Memenuhi
7	Kadar Aspal	Ex. Pertamina	%	5,24	-	Tidak disyaratkan
SIFAT -SIFAT DAN NILAI PARAMETER MARSHALL						
No	SIFAT-SIFAT CAMPURAN	SATUAN	HASIL PERHITUNGAN DENGAN PERSAMAAN REGRESI		SPESIFIKASI	KETERANGAN
			Pb	KAO		
1	Kadar Aspal	%	5,24	5,11	-	Tidak disyaratkan
2	Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)	gr/cm ³ .	2,418	2,418	-	Tidak disyaratkan
3	Berat Jenis Contoh Campuran Padat (GMB)	gr/cm ³ .	2,317	2,314	-	Tidak disyaratkan
4	Stabilitas Marshall	kg	1.313,53	1.300,41	Min. 800	Memenuhi
5	Rongga Dalam Campuran (VIM)	%	4,147	4,436	3 - 5	Memenuhi
6	Rongga Dalam Agregat (VMA)	%	15,907	15,898	Min. 14	Memenuhi
7	Rongga Terisi Aspal (VFB)	%	73,975	72,190	Min. 65	Memenuhi
8	Stabilitas Marshall Sisa	%	95,066	95,066	Min. 90	Memenuhi
9	Kelelehan Marshall	mm	3,425	3,329	2 - 4	Memenuhi
10	Rongga Pada Kepadatan Mutlak	%	2,103	2,154	Min. 2	Memenuhi
11	Rasio Partikel	%	1,119	1,147	0,6 - 1,2	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Tabel 4.47. Rangkuman Hasil Pengujian Campuran dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

RANGKUMAN PENGUJIAN CAMPURAN BERASPAL PANAS DARI KOMPOSISI CAMPURAN DENGAN BUTIRAN MAKSIMUM AGREGAT BERUKURAN 19 MM						
KOMPOSISI						
No	KOMPONEN CAMPURAN BERASPAL PANAS	SATUAN	PROPORSI	SPESIFIKASI	KETERANGAN	
1	Batu Pecah 1" Ex. S. Pariti	%	-	-	Tidak disyaratkan	
2	Batu Pecah 3/4" Ex. S. Pariti	%	25,58	-	Tidak disyaratkan	
3	Batu Pecah 1/2" Ex. S. Pariti	%	18,95	-	Tidak disyaratkan	
4	Abu Batu Stone Crucher Ex. S. Pariti	%	39,80	-	Tidak disyaratkan	
5	Pasir Alam Ex. S. Pariti	%	9,48	Max. 15	Memenuhi	
6	Filler (Semen) Ex. Kupang	%	0,95	Max. 2	Memenuhi	
7	Kadar Aspal Ex. Pertamina	%	5,24	-	Tidak disyaratkan	
SIFAT -SIFAT DAN NILAI PARAMETER MARSHALL						
No	SIFAT-SIFAT CAMPURAN	SATUAN	HASIL PERHITUNGAN DENGAN PERSAMAAN REGRESI		SPESIFIKASI	KETERANGAN
			Pb	KAO		
1	Kadar Aspal	%	5,24	5,18	-	Tidak disyaratkan
2	Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)	gr/cm ³ .	2,420	2,420	-	Tidak disyaratkan
3	Berat Jenis Contoh Campuran Padat (GMB)	gr/cm ³ .	2,324	2,322	-	Tidak disyaratkan
4	Stabilitas Marshall	kg	1.273,40	1.269,85	Min. 800	Memenuhi
5	Rongga Dalam Campuran (VIM)	%	4,023	4,177	3 - 5	Memenuhi
6	Rongga Dalam Agregat (VMA)	%	15,732	15,733	Min. 14	Memenuhi
7	Rongga Terisi Aspal (VFB)	%	74,481	73,532	Min. 65	Memenuhi
8	Stabilitas Marshall Sisa	%	87,543	86,851	Min. 90	Tidak Memenuhi
9	Kelelahan Marshall	mm	3,622	3,554	2 - 4	Memenuhi
10	Rongga Pada Kepadatan Mutlak	%	2,127	2,152	Min. 2	Memenuhi
11	Rasio Partikel	%	1,126	1,140	0,6 - 1,2	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.8 Pengujian Marshall dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Setelah tahapan percobaan dan pengujian parameter *Marshall* dengan variasi kadar aspal, kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui parameter *Marshall* dengan komposisi campuran dengan benda uji yang menggunakan Kadar Aspal Optimum sebagai kadar aspal dalam campuran.

Sebagai perbandingan terhadap Kadar Aspal Optimum, dibuat pula percobaan *Marshall* dengan benda uji *Marshall* yang menggunakan Kadar Aspal Perkiraan (Pb) sebagai kadar aspal dalam campuran untuk benda uji.

Hasil pengujian tersebut kemudian rangkum berdasarkan komposisi campuran dari penelitian ini, yang selanjutnya dapat dilihat dari uraian-uraian dibawah ini.

4.8.1 Pengujian *Marshall* Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Dari komposisi campuran agregat gabungan dengan butiran maksimum berukuran 25 mm sebagaimana diuraikan pada **Tabel 4.18** persentasi lolos Komposisi Agregat Gabungan dengan Ukuran Butiran Maksimum 25 mm, diperoleh proporsi masing-masing fraksi agregat adalah:

- a. Batu pecah 1” = 10,0%
- b. Batu pecah 3/4’ = 17,0%
- c. Batu pecah 1/2” = 20,0%
- d. Abu batu = 42,0%
- e. Pasir alam = 10%
- f. *Filler* (semen) = 1,0%

Hasil uji *Marshall* dari komposisi campuran Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm antara lain :

1) Campuran dengan Kadar Aspal Perkiraan (Pb)

Benda uji *Marshall* dengan besarnya kandungan aspal dalam campuran adalah Kadar Aspal Perkiraan yang perhitungan berat masing-masing fraksi dalam campuran diuraikan sebelumnya pada **Tabel 4.20** diperoleh hasil uji yang dapat dilihat pada **Tabel 4.26** dengan rangkuman hasil uji sebagai berikut:

- a. Kepadatan rata-rata = 2,312
- b. Berat Jenis Maksimum Campuran = 2,418
- c. Rasio Partikel Lolos Saringan Nomor 200 dengan Kadar Aspal Efektif = 1,117 %
- d. Rongga Dalam Agregat (VMA) = 16,131%
- e. Rongga Terhadap Campuran (VIM) = 4,404 %
- f. Rongga Terisi Aspal (VFB) = 72,699 %
- g. Stabilitas *Marshall* rata-rata (perendaman 30 menit) = 1327,46 kg
- h. Kelelehan rata-rata (perendaman 30 menit) = 3,77 mm
- i. Stabilitas *Marshall* Sisa = 95,47 %

2) Campuran dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Benda uji *Marshall* dengan besarnya kandungan aspal dalam campuran adalah Kadar Aspal Optimum diperoleh perhitungan berat masing-masing fraksi dalam campuran sebagai berikut:

Tabel 4.48. Benda Uji Marshall dengan Kadar Aspal Optimum dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm

Komponen Dalam Campuran Beraspal Panas	Agregat Maksimum 25 mm		
	Komposisi (%)	Komposisi - KAO (%)	Berat (gr)
		5,11	61,4
Batu Pecah 1"	10,0	9,49	113,9
Batu Pecah 3/4"	17,0	16,13	193,6
Batu Pecah 1/2"	20,0	18,98	227,7
Abu Batu Stone Crucher	42,0	39,85	478,2
Pasir Alam	10,0	9,49	113,9
Filler (Semen)	1,0	0,95	11,4
Total	100,0	100,0	1200,0

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Hasil uji yang dapat dilihat pada **Tabel 4.49** berikut:

Tabel 4.49. Pengujian Marshall dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pengujian Sifat-Sifat Campuran Beraspal Dengan Alat Marshall (SNI 06-2489-1991) Laston Lapis Antara dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm													
Kadar Aspal Optimum (KAO) =		5,11 %											
BJ. Bulk Agregat =		2,612		BJ. Aspal =		1,030		BJ. Efektif Agregat =				2,613	
Absorsi Aspal =		0,018		Lolos Saringan # 200 =		5,833		GMM =				2,418	
Nomor Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Berat Contoh (gram)			Isi Contoh	Berat Isi	Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)	Stabilitas (kg)	Kelelahan (mm)	Rasio Partikel Lolos Saringan No. 200 dengan KA. Eff. (%)	% Rongga Diantara Agregat (VMA) (%)	% Rongga Terhadap Campuran (VIM) (%)	% Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)
		Kering	Dalam Air	Jenuh									
SPESIFIKASI								Min 800	2 - 4	0,6 - 1,2	Min 14	3 - 5	Min 65
Perendaman selama 30 menit													
1	5,11	1.205,5	686,4	1.207,1	520,70	2,315	2,423	1.323,10	3,60	1,144	15,899	4,440	72,072
2	5,11	1.200,2	683,5	1.202,3	518,80	2,313	2,423	1.375,50	3,90	1,144	15,962	4,512	71,734
3	5,11	1.201,6	683,6	1.203,4	519,80	2,312	2,423	1.323,10	3,50	1,144	16,026	4,584	71,394
								1.340,56	3,67				
Perendaman selama 24 jam													
1	5,11	1.201,1	683,8	1.203,5	519,70	2,311	2,423	1.257,60	3,60	1,144	16,045	4,606	71,294
2	5,11	1.202,6	684,9	1.204,9	520,00	2,313	2,423	1.283,80	3,50	1,144	15,988	4,542	71,593
3	5,11	1.200,8	683,2	1.202,4	519,20	2,313	2,423	1.323,10	3,60	1,144	15,985	4,538	71,612
		Rata - rata =		519,70	2,313	2,423	1.288,16	3,57	1,144	15,984	4,537	71,617	
Stabilitas Marshall Sisa (Spesifikasi Min = 90%) =								96,09%					

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.8.2 Pengujian *Marshall* Dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Dari komposisi campuran agregat gabungan dengan butiran maksimum berukuran 19 mm sebagaimana diuraikan pada **Tabel 4.19**, persentasi lolos Komposisi Agregat Gabungan dengan Ukuran Butiran Maksimum 19 mm diperoleh proporsi masing-masing fraksi agregat sebagai berikut:

- a. Batu pecah 1” = 0,0%
- b. Batu pecah ¾” = 27,0%
- c. Batu pecah 1/2” = 20,0%
- d. Abu batu = 42,0%
- e. Pasir alam = 10%
- f. *Filler* (semen) = 1,0%,

Hasil uji *Marshall* dari Komposisi campuran Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm antara lain :

1) Campuran dengan Kadar Aspal Perkiraan (Pb)

Benda uji *Marshall* dengan besarnya kandungan aspal dalam campuran adalah Kadar Aspal Perkiraan yang perhitungan berat masing-masing fraksi dalam campuran diuraikan sebelumnya pada **Tabel 4.20** diperoleh hasil uji yang dapat dilihat pada **Tabel 4.28** diperoleh hasil uji yang antara lain dirangkum sebagai berikut:

- a. Kepadatan rata-rata = 2,327
- b. Berat Jenis Maksimum Campuran = 2,420
- c. Rasio Partikel Lolos Saringan Nomor 200 dengan Kadar Aspal Efektif = 1,124 %
- d. Rongga Dalam Agregat (VMA) = 15,592 %
- e. Rongga Terhadap Campuran (VIM) = 3,865 %
- f. Rongga Terisi Aspal (VFB) = 75,215 %
- g. Stabilitas *Marshall* rata-rata (perendaman 30 menit) = 1261,96 kg
- h. Kelelehan rata-rata (perendaman 30 menit) = 4,33 mm
- i. Stabilitas *Marshall* Sisa = 87,54 %

2) Campuran dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Benda uji *Marshall* dengan besarnya kandungan aspal dalam campuran adalah Kadar Aspal Optimum diperoleh perhitungan berat masing-masing fraksi dalam campuran sebagai berikut:

Tabel 4.50. Benda Uji *Marshall* dengan Kadar Aspal Optimum dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

Komponen Dalam Campuran Beraspal Panas	Agregat Maksimum 19 mm		
	Komposisi (%)	Komposisi - KAO (%)	Berat (gr)
		5,18	62,1
Batu Pecah 1"	0,0	0	0,0
Batu Pecah 3/4"	27,0	25,60	307,2
Batu Pecah 1/2"	20,0	18,96	227,6
Abu Batu Stone Crucher	42,0	39,83	477,9
Pasir Alam	10,0	9,48	113,8
Filler (Semen)	1,0	0,95	11,4
Total	100,0	100,0	1200,0

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

Hasil uji yang dapat dilihat pada Tabel 4.51 berikut:

Tabel 4.51. Pengujian *Marshall* dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pengujian Sifat-Sifat Campuran Beraspal Dengan Alat Marshall (SNI 06-2489-1991)																	
Laston Lapis Antara dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm																	
Kadar Aspal Optimum (KAO) =		5,18 %															
BJ. Bulk Agregat =			2,612			BJ. Aspal =			1,030			BJ. Efektif Agregat =			2,616		
Absorsi Aspal =			0,054			Lolos Saringan # 200 =			5,833			GMM =			2,420		
Nomor Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Berat Contoh (gram)			Isi Contoh	Berat Isi	Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)	Stabilitas (kg)	Kelelahan (mm)	Rasio Partikel Los Saringan No. 200 dengan KA. Eff. (%)	% Rongga Diantara Agregat (VMA) (%)	% Rongga Terhadap Campuran (VIM) (%)	% Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)				
		Kering	Dalam Air	Jenuh													
SPESIFIKASI								Min 800	2 - 4	0,6 - 1,2	Min 14	3 - 5	Min 65				
		Perendaman selama 30 menit															
1	5,18	1.202,2	688,8	1.203,4	514,60	2,336	2,423	1.270,70	4,50	1,139	15,196	3,569	76,511				
2	5,18	1.200,8	687,9	1.202,2	514,30	2,335	2,423	1.270,70	4,40	1,139	15,245	3,625	76,219				
3	5,18	1.200,5	687,7	1.201,9	514,20	2,335	2,423	1.244,50	4,20	1,139	15,250	3,631	76,191				
								1.261,96	4,37								

Lanjutan Tabel 4.51. Pengujian Marshall dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pengujian Sifat-Sifat Campuran Beraspal Dengan Alat Marshall (SNI 06-2489-1991) Laston Lapis Antara dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm														
Kadar Aspal Optimum (KAO) =		5,18 %												
BJ. Bulk Agregat =		2,612		BJ. Aspal =		1,030		BJ. Efektif Agregat =		2,616				
Absorsi Aspal =		0,054		Lolos Saringan # 200 =		5,833		GMM =		2,420				
Nomor Benda Uji	Kadar Aspal (%)	Berat Contoh (gram)			Isi Contoh	Berat Isi	Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)	Stabilitas (kg)	Kelelahan (mm)	Rasio Partikel Lolos Saringan No. 200 dengan KA. Eff. (%)	% Rongga Diantara Agregat (VMA) (%)	% Rongga Terhadap Campuran (VIM) (%)	% Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)	
		Kering	Dalam Air	Jenuh										
SPEKIFIKASI								Min 800	2 - 4	0,6 - 1,2	Min 14	3 - 5	Min 65	
		Perendaman selama 24 jam												
1	5,18	1.203,1	688,7	1.204,4	515,70	2,333	2,423	1.113,50	4,50	1,139	15,313	3,703	75,818	
2	5,18	1.202,7	688,8	1.203,7	514,90	2,336	2,423	1.074,20	4,00	1,139	15,210	3,585	76,427	
3	5,18	1.200,4	687,3	1.201,6	514,30	2,334	2,423	1.100,40	4,20	1,139	15,273	3,658	76,053	
		Rata - rata =		514,67	2,335	2,423	1.096,03	4,23	1,139	15,248	3,629	76,203		
Stabilitas Marshall Sisa (Spesifikasi Min = 90%) =								86,85%						

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.8.3 Perbedaan Parameter Marshall Dari Dua Komposisi Campuran Yang Menggunakan Kadar Aspal Perkiraan (Pb) dan Kadar Aspal Optimum (KAO) Sebagai Kadar Aspal Dalam Campuran

Dari hasil perhitungan diatas, parameter *Marshall* tiap benda uji dengan campuran beraspal untuk Komposisi Campuran Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Komposisi Campuran Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm yang ditentukan kadar aspal dalam campuran adalah Kadar Aspal Perkiraan dan Kadar Aspal Optimum (KAO), kemudian digambarkan berupa diagram batang sebagai gambaran grafis dari perbedaan setiap parameter *Marshall* dengan kadar aspal yang ditentukan.

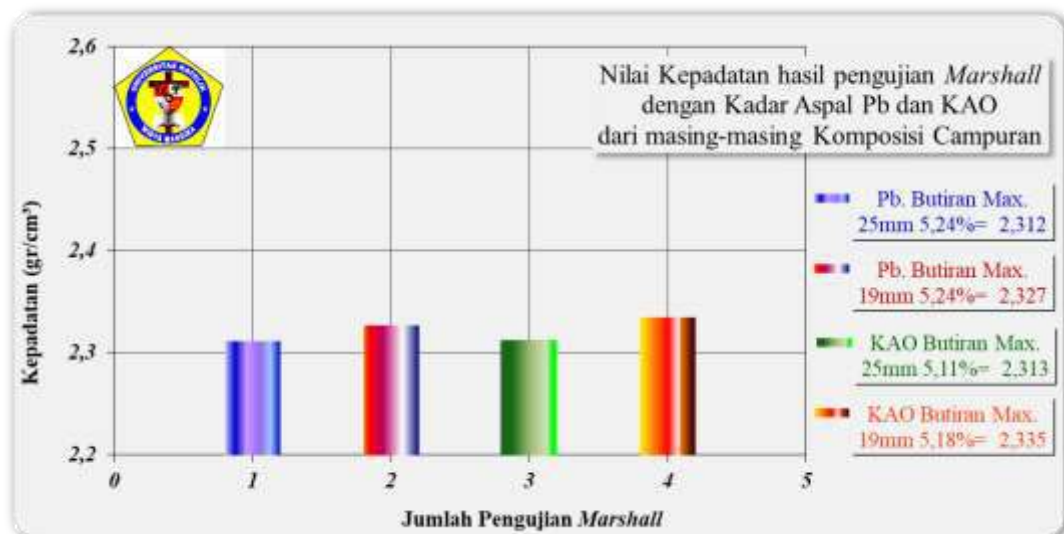
Berikut penjelasan dan diagram batang masing-masing parameter *Marshall* hasil pengujian *Marshall* pada pengujian dua komposisi campuran Laston Lapis Antara dari penelitian ini dengan kadar aspal yang ditentukan.

4.8.3.1 Kepadatan Marshall

Sebagaimana penjelasan dari **Gambar 4.23** sebelumnya, bahwa menurunnya nilai kepadatan diakibatkan oleh rongga diantara partikel agregat semakin terisi akibat penambahan aspal sehingga membuat sifat saling mengunci (*interlocking*) antar agregat menjadi berkurang karena rongga agregat dalam campuran sudah didominasi oleh aspal.

Perbedaan nilai kepadatan dari kedua komposisi menunjukkan bahwa, dengan ditambahkan material dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm pada komposisi campuran, sifat saling menguncinya agregat dalam campuran beraspal lebih kecil dibandingkan dengan komposisi dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm.

Perbedaan nilai Kepadatan pada pengujian dua komposisi campuran Laston Lapis Antara dari penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.52** dan **Gambar 4.42**.



Gambar 4.42 Diagram Batang Kepadatan Marshall dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

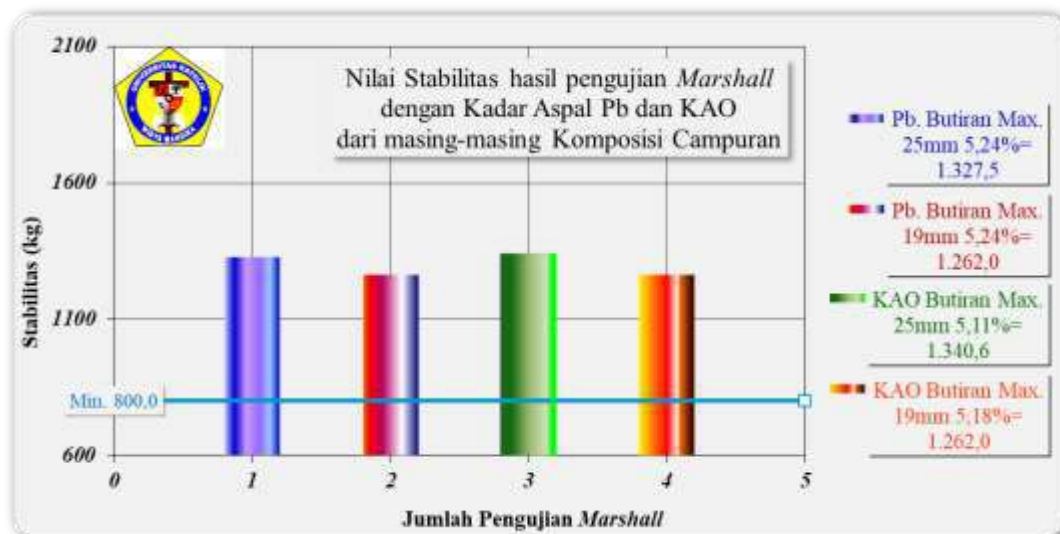
4.8.3.2 Stabilitas *Marshall*

Dari hasil pengujian *Marshall*, dapat dijelaskan bahwa nilai stabilitas hasil perhitungan regresi dari Kadar Aspal Perkiraan dan Kadar Aspal Optimum pada grafik nilai stabilitas dari percobaan pertama yaitu pengujian *Marshall* dengan variasi kadar aspal, tidak terdapat perbedaan yang signifikan dengan nilai stabilitas yang diperoleh dari hasil pengujian nyata dengan Kadar Aspal Perkiraan dan Kadar Aspal Optimum dari kedua komposisi campuran yang menjadi konsentrasi percobaan dari penelitian ini.

Hasil uji menunjukkan bahwa penjelasan dari **Gambar 4.24** dan **Gambar 4.25** bahwa nilai stabilitas hasil perhitungan regresi dari komposisi dengan butiran maksimum agregat berukuran 19 mm cenderung lebih kecil dari stabilitas dari komposisi dengan butiran maksimum agregat berukuran 25 mm tetap menunjukkan hasil yang sama saat pengujian nyata dari kedua komposisi tersebut seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4.43** dibawah ini. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Kadar Aspal Optimum dari salah satu komposisi campuran yang kecil dari dua contoh komposisi campuran yang berbeda tidak selamanya memiliki stabilitas yang kecil. Hal ini disebabkan runtuhnya ikatan agregat pada benda uji dengan kepadatan yang tinggi terjadi saat tingkat kelelahan plastis benda uji yang makin tinggi.

Akan tetapi nilai Stabilitas komposisi dengan butiran maksimum agregat berukuran 25 mm dan komposisi dengan butiran maksimum agregat berukuran 19 mm yang diuji dengan menggunakan Kadar Aspal Perkiraan dan Kadar Aspal Optimum sebagai kadar aspal dalam campuran dinyatakan memenuhi syarat Stabilitas dari Laston yaitu diatas syarat minimum 800 kg sebagaimana disyaratkan Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3.

Perbedaan nilai Stabilitas pada pengujian dua komposisi campuran Laston Lapis Antara dari penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.52** dan **Gambar 4.43**.



Gambar 4.43 Diagram Batang Stabilitas Marshall dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.8.3.3 Kelelahan Marshall

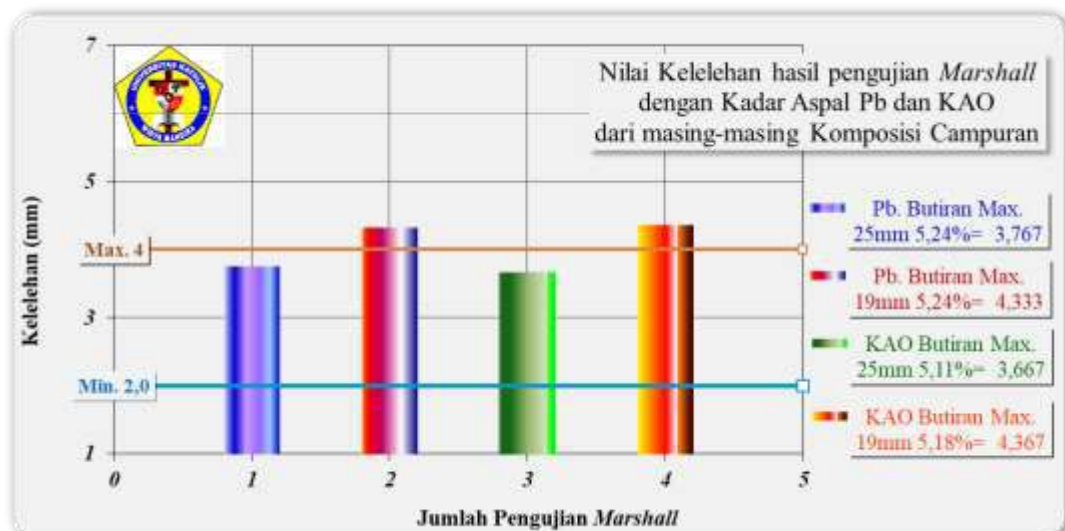
Kelelahan plastis benda uji atau *flow* akan semakin tinggi seiring bertambahnya kadar aspal dalam campuran. Dari percobaan ini dapat dilihat perbedaan nilai kelelahan plastis benda uji *Marshall* dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm yang cenderung lebih kecil dibandingkan dengan Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm.

Dari diagram batang dibawah ini dapat dilihat, kecenderungan meningkatnya nilai kelelahan plastis benda uji bersamaan dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran dan dapat juga diakibatkan oleh luas permukaan agregat lebih kecil dari jumlah kadar aspal dalam campuran. Tingginya kelelahan plastis pada benda uji mengakibatkan benda uji yang mudah mengalami perubahan bentuk sebagai akibat deformasi plastis yang terjadi pada campuran beraspal dan berakibat pada Stabilitas yang rendah sebagaimana uraian sebelumnya tentang Stabilitas *Marshall* yang terjadi pada dua komposisi campuran dari percobaan tersebut.

Dari **Gambar 4.44** menunjukkan bahwa hasil pengujian *flow* atau keelehan plastis benda uji dalam campuran Laston dari kedua komposisi campuran pada penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

- 1) Kelelahan plastis benda uji untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm pada Kadar Aspal Perkiraan 5,24% = 3,767 mm dan Kadar Aspal Optimum sampai dengan 5.11% = 3,367 mm memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3 dengan rentang = 2-4 mm.
- 2) Kelelahan plastis benda uji untuk Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm pada Kadar Aspal Perkiraan 5,24% = 4,333 mm dan Kadar Aspal Optimum sampai dengan 5.18% = 4,367 mm tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3 dengan rentang = 2-4 mm.

Perbedaan nilai Kelelahan plastis benda uji atau *Flow* pada pengujian dua komposisi campuran Laston Lapis Antara dari penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.52** dan **Gambar 4.44**.



Gambar 4.44 Diagram Batang Kelelahan plastis benda uji Marshall dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

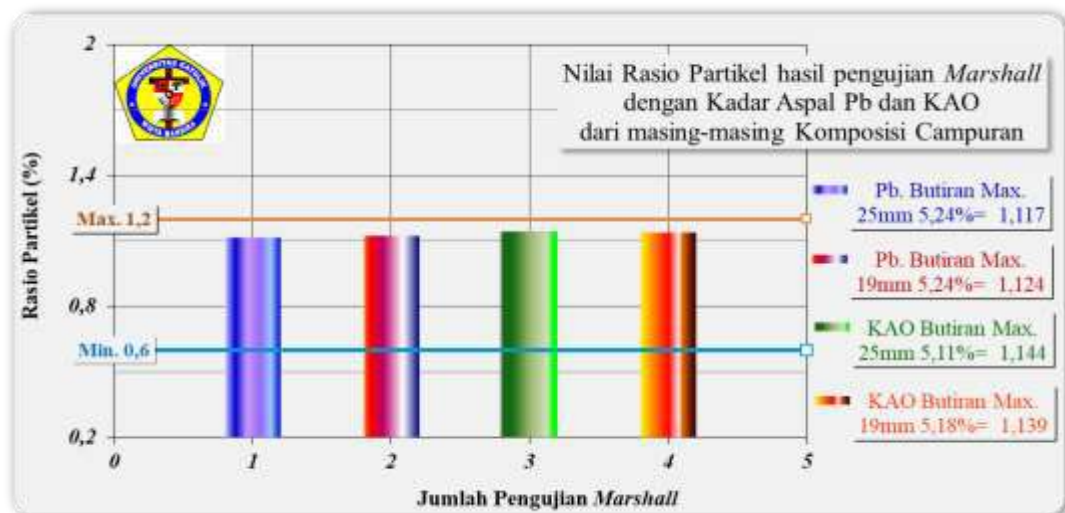
4.8.3.4 Rasio Antar Partikel Lolos Saringan Nomor 200 dengan Kadar Aspal Efektif

Hasil pengujian menunjukkan, Rasio antar partikel lolos saringan nomor 200 dengan kadar aspal efektif yang secara bersama-sama mengikat agregat sebab disaat yang sama aspal dan partikel lolos saringan nomor 200 berupa filler mengisi rongga diantara agregat halus dan agregat kasar serta meningkatkan kepadatan dan stabilitas dalam campuran yang dipadatkan.

Kecenderungan nilai meningkat sebagai indikasi partikel yang lolos saringan nomor 200 lebih mendominasi untuk mengisi rongga diantara agregat, akan tetapi nilai yang didapat dari pengujian dari dua macam komposisi yaitu Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm ini sudah cukup optimal.

Bila dibandingkan dengan nilai rasio partikel hasil perhitungan regresi pada percobaan *Marshall* dengan variasi kadar aspal adalah 1,147% dan 1,140% terlihat nilai dari pengujian ini lebih kecil, dan memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 3 yaitu rentang 0,6-1,2%.

Perbedaan nilai rasio antar partikel lolos saringan nomor 200 dengan kadar aspal efektif pada pengujian dua komposisi campuran Laston Lapis Antara dari penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.52** dan **Gambar 4.45** berikut.



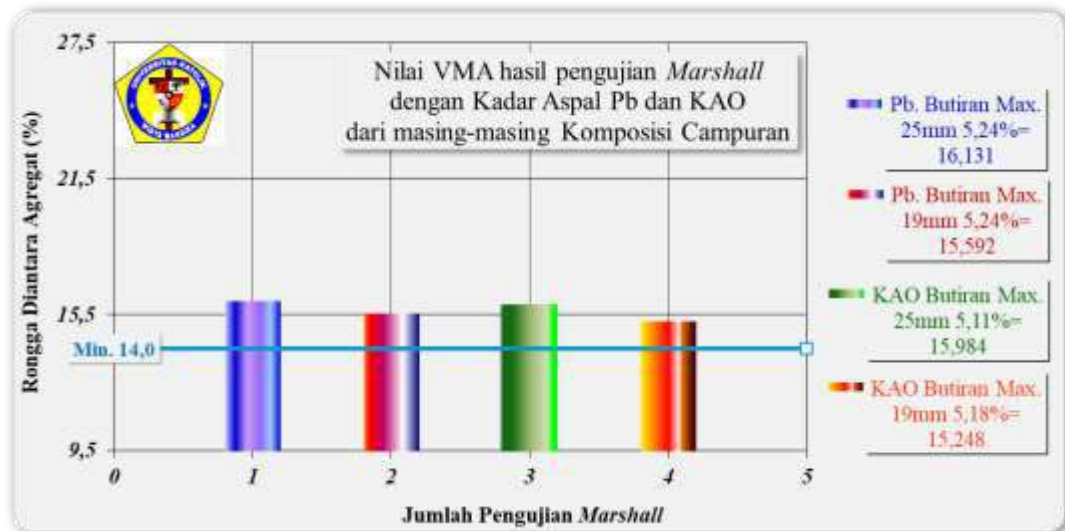
Gambar 4.45 Diagram Batang Rasio Partikel Lolos Saringan No. 200 dengan KA. Eff. dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.8.3.5 Volume Rongga Diantara Butir Agregat (*Void in the Mineral Agregat/VMA*)

Dari hasil perhitungan pada pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa benda uji *Marshall* dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm memiliki rongga diantara butir agregat lebih besar dari benda uji *Marshall* dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm dan dapat menampung jumlah kadar aspal diantara agregat dalam menjaga kerapatan diantara butir agregat lebih baik. Hal ini terlihat dari nilai stabilitas *Marshall* pada benda uji *Marshall* dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm yang lebih tinggi.

Dari hasil pengujian dan uraian diatas, kedua komposisi campuran pada penellitian ini memenuhi syarat Volume Rongga Diantara Butir (*VMA*) pada Laston Lapis Antara yang diatur Spesifikasi Bina marga 2018 Revisi 3 yaitu minimum 14%.

Perbedaan nilai Volume Rongga Diantara Butir (*VMA*) pada pengujian dua komposisi campuran Laston Lapis Antara dari penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.52** dan **Gambar 4.46** berikut.



Gambar 4.46 Diagram Batang Volume Rongga Diantara Butir (*VMA*) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.8.3.6 Volume Rongga Dalam Campuran Padat (*Void In Mixture / VIM*)

Pada pengujian *Marshall* dengan kandungan aspal dalam campuran adalah Kadar Aspal Perkiraan yang adalah 5,24% terhadap total benda uji dari dua komposisi campuran pada penelitian ini dan kandungan aspal sebesar Kadar Aspal Optimum (KAO) dalam campuran pada Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm sebesar 5,11% serta Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm sebesar 5,18%, diperoleh nilai Volume Rongga Dalam Campuran Padat (*VIM*) sebagai berikut:

- 1) Pada Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dengan Kadar Aspal Perkiraan 5,24% diperoleh *VIM* sebesar = 4,404% dan *VIM* pada Kadar Aspal Optimum 5,11% sebesar = 4,537%.

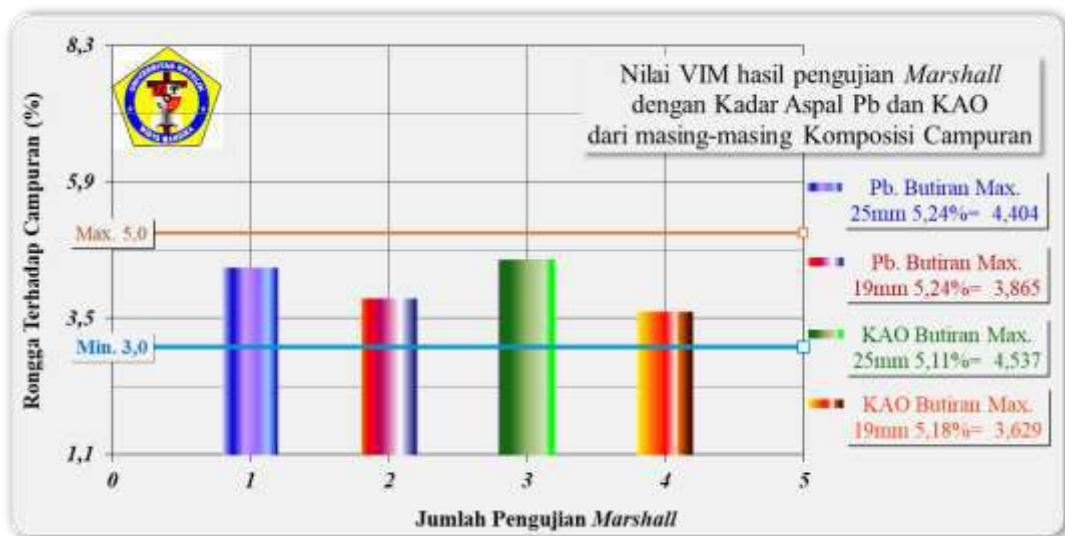
- 2) Pada Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm dengan Kadar Aspal Perkiraan 5,24% diperoleh VIM sebesar = 3,865% dan VIM pada Kadar Aspal Optimum 5,18% sebesar = 3,629%.

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa, pada campuran benda uji Laston Lapis Antara dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm memiliki volume rongga dalam campuran yang kecil sehingga campuran tersebut memiliki kepadatan yang tinggi tapi rentan terhadap *bleeding* atau saat dimana aspal meleleh karena ketidakcukupan rongga. Sedangkan pada campuran benda uji Laston AC-BC dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm yang memiliki volume rongga dalam campuran yang besar berakibat menurunnya durabilitas dan berkurang kekedapan airnya yang meningkatnya proses oksidasi aspal yang mempercepat penuaan pada campuran beraspal.

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa kelelahan karena meningkatnya aspal pada benda uji Laston dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm menjadi tinggi karena volume rongga dalam campuran yang kecil dan menjadi pemicu, nilai stabilitas yang rendah ketika dibebani saat pengujian stabilitas dibandingkan dengan benda uji Laston dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm yang memiliki kepadatan lebih kecil.

Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa kedua komposisi campuran pada penellitian ini memenuhi syarat Volume Rongga Dalam Campuran Padat (*VIM*) pada Laston Lapis Antara yang diatur Spesifikasi Bina marga 2018 Revisi 3 yaitu VIM hasil pengujian berada dalam rentang 3-5%.

Perbedaan nilai Volume Rongga Dalam Campuran Padat (*VIM*) dari pada pengujian dua komposisi campuran Laston Lapis Antara dari penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.52** dan **Gambar 4.47** berikut.



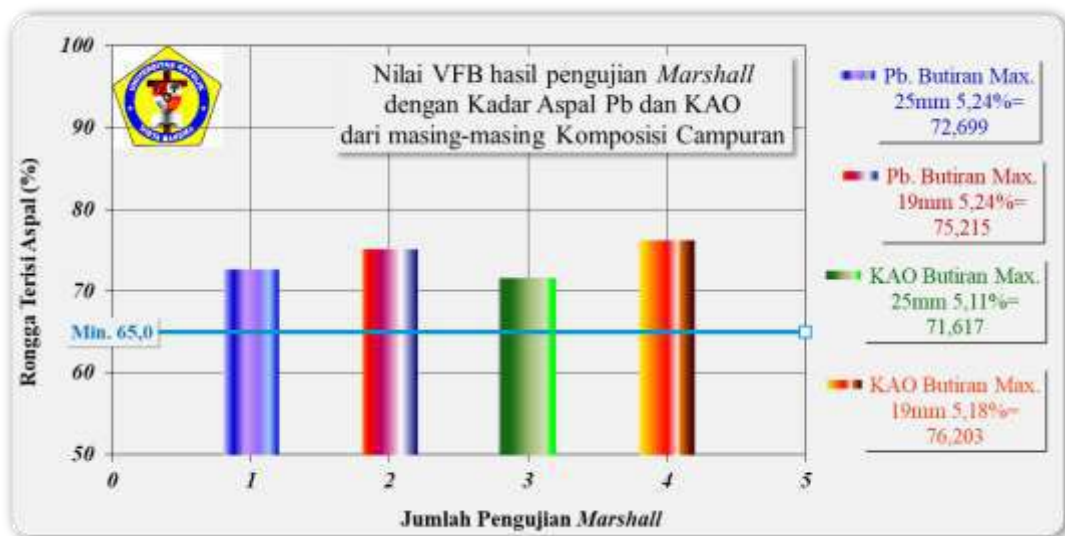
Gambar 4.47 Diagram Batang Volume Rongga Dalam Campuran Padat (VIM) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan Dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.8.3.7 Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*Volume of void Filled with Asphalt / VFB*)

Dari hasil pengujian dapat diuraikan bahwa Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*VFB*) pada campuran benda uji Laston Lapis Antara dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm lebih besar dari benda uji Laston Lapis Antara dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm. Hal ini disebabkan rongga antar butir agregat (*VMA*) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm lebih besar sehingga cukup menampung aspal didalam campuran.

Dari hasil pengujian dan uraian diatas, kedua komposisi campuran pada penellitian ini memenuhi syarat Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*VFB*) pada Laston Lapis Antara yang diatur Spesifikasi Bina marga 2018 Revisi 3 yaitu VIM hasil pengujian berada dalam rentang 65%.

Perbedaan nilai Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (*VFB*) pada pengujian dua komposisi campuran Laston Lapis Antara dari penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.52** dan **Gambar 4.48** berikut.



Gambar 4.48 Diagram Batang Rongga Dalam Campuran Padat Yang Terisi Oleh Aspal (VFB) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

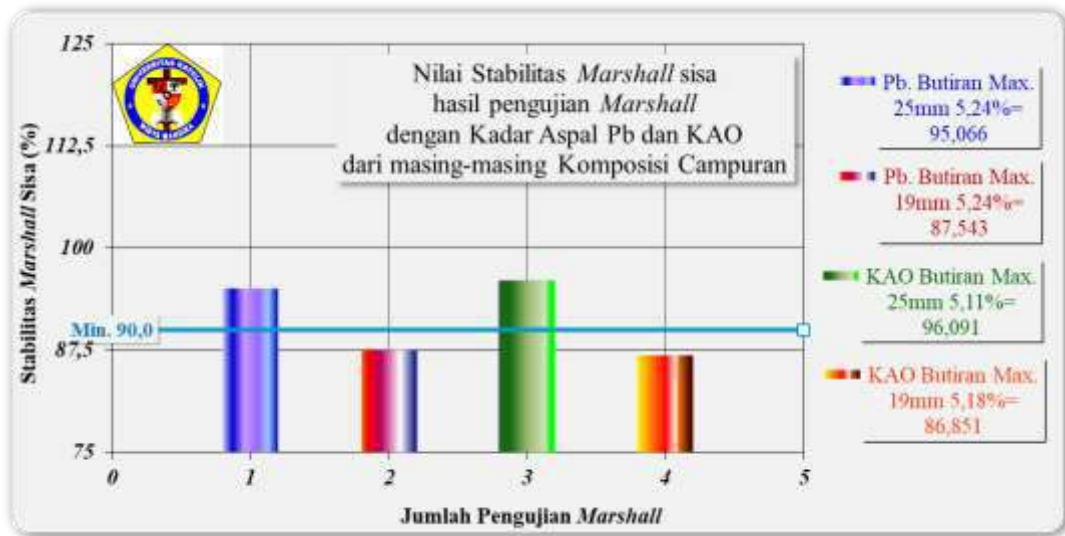
4.8.3.8 Stabilitas Marshall Sisa Setelah Perendaman Selama 24 jam Pada Suhu 60°C

Pengujian Stabilitas Marshall Sisa digunakan untuk mengetahui tingkat durabilitas dari Stabilitas Marshall setelah dilakukan perendaman selama 24 jam. Pengujiannya dengan membandingkan nilai Stabilitas Marshall yang direndam selama 24 jam dengan Stabilitas Marshall standar yaitu benda uji Marshall yang direndam selama 30 menit dari hasil nilai Kadar Aspal Perkiraan dan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada *waterbath* dengan suhu $60 \pm 1^\circ\text{C}$.

Hasil pengujian Stabilitas Marshall sisa pada gradasi campuran benda uji Laston Lapis Antara dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan campuran benda uji Laston Lapis Antara dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm sebagaimana disajikan pada **Tabel 4.26**, **Tabel 4.28**, **Tabel 4.49** dan **Tabel 4.51** tersebut, Stabilitas Marshall sisa setelah perendaman selama 24 jam pada suhu 60°C dari benda uji Laston dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm memenuhi syarat pekerjaan Laston Lapis Antara yang diatur Spesifikasi Bina marga 2018 Revisi 3 yaitu minimum 90%. Sedangkan komposisi

agregat gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm tidak memenuhi.

Perbedaan nilai Stabilitas *Marshall* sisa setelah perendaman selama 24 jam pada suhu 60°C pada pengujian dua komposisi campuran Laston Lapis Antara dari penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.52**. dan **Gambar 4.49** berikut.



Gambar 4.49 Diagram Batang Stabilitas Marshall Sisa dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023

4.9 Ringkasan Perbandingan Karakteristik *Marshall* Pada Campuran Beraspal Dari Dua Macam Komposisi Agregat Gabungan Dengan Kadar Aspal Didalam Campuran Adalah Kadar Aspal Perkiraan (Pb) dan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dari pengujian *Marshall* dengan besaran kadar aspal yang ditentukan sebagai kadar aspal dalam campuran untuk benda uji, diperoleh nilai-nilai dari masing-masing parameter *Marshall* yang kemudian dijadikan acuan dalam analisa sebagaimana penjelasan dan diagram batang masing-masing parameter *Marshall* pada uraian-uraian sebelumnya.

Pada pengujian tersebut, kadar aspal yang dijadikan besaran kadar aspal didalam campuran adalah Kadar Aspal Perkiraan (Pb) yang telah lebih dahulu diuji sesaat persiapan pengujian *Marshall* dengan 5(lima) variasi kadar aspal dari dua Komposisi Gradasi Agregat Gabungan sebagaimana diuraikan pada maksud penelitian ini.

Kadar Aspal Perkiraan (Pb) dari kedua komposisi tersebut adalah 5,24% terhadap total campuran benda uji.

Besaran kadar aspal didalam campuran berikut untuk percobaan *Marshall* adalah Kadar Aspal Optimum dari masing-masing komposisi agregat gabungan, antara lain :

1. Kadar Aspal Optimum (KAO) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm sebesar 5,11%
2. Kadar Aspal Optimum (KAO) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm sebesar 5,18%.

Hasil pengujian *Marshall* dengan kadar aspal didalam campuran beraspal adalah Kadar Aspal Perkiraan (Pb) dan Kadar Aspal Optimum (KAO) dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Berukuran 19 mm tersebut kemudian disandingkan sebagai data-data penunjang untuk membandingkan karakteristik *Marshall* kedua komposisi agregat gabungan tersebut.

Perbedaan sifat-sifat *Marshall* kedua komposisi agregat gabungan tersebut dapat dilihat pada uraian dari **Tabel 4.52** berikut ini.

Tabel 4.52. Rekapitulasi Hasil Uji Marshall dengan KA Pb dan KAO dari Komposisi Gradasi Agregat Gabungan dengan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25 mm dan Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19 mm

PERBANDINGAN NILAI-NILAI KARAKTERESTIK MARSHALL BERDASARKAN UKURAN BUTIRAN MAKSIMUM AGREGAT DALAM CAMPURAN DENGAN KADAR ASPAL PERKIRAAN (Pb) DAN KADAR ASPAL OPTIMUM (KAO)							
No	SIFAT-SIFAT CAMPURAN	SATUAN	HASIL PENGUJIAN				SPESIFIKASI UMUM BINA MARGA TAHUN 2018 (REVISI 3)
			KADAR ASPAL PERKIRAAN (Pb)		KADAR ASPAL OPTIMUM (KAO)		
			Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25mm	Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19mm	Butiran Maksimum Agregat Berukuran 25mm	Butiran Maksimum Agregat Berukuran 19mm	
1	Kadar Aspal Total	%	5,24	5,24	5,11	5,18	-
2	Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)	Gr/cm ³	2,418	2,420	2,418	2,420	-
3	Berat Jenis Contoh Campuran Padat (GMB)	Gr/cm ³	2,312	2,327	2,313	2,335	-
4	Stabilitas Marshall	kg	1.327,46	1.261,96	1.340,56	1.261,96	Min. 800
5	Rongga Dalam Campuran (VIM)	%	4,404	3,865	4,537	3,629	3 - 5
6	Rongga Dalam Agregat (VMA)	%	16,131	15,592	15,984	15,248	Min. 14
7	Rongga Terisi Aspal (VFB)	%	72,699	75,215	71,617	76,203	Min. 65
8	Stabilitas Marshall Sisa	%	95,066	87,543	96,091	86,851	Min. 90
9	Kelelahan Marshall	mm	3,767	4,333	3,667	4,367	2 - 4
10	Rasio Partikel	%	1,117	1,124	1,144	1,139	0,6 - 1,2

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PT. CBJA, 2023