

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Pemeriksaan Peralatan dan Material

Pekerjaan persiapan peralatan dilakukan sebelum melakukan pemeriksaan material. Peralatan untuk perencanaan campuran di laboratorium meliputi antara lain alat untuk alat *Qurtering*, satu set saringan (3/4", 1/2", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100 dan No.200), cetakan benda uji, mesin penumbuk, mesin *Los Angeles*, *extruder*, *water bath*, oven, alat pencampur, alat *Marshall* dan alat bantu lainnya. Setiap alat yang digunakan dalam penelitian sudah dalam kondisi baik dan siap digunakan.

4.1.1 Persiapan Alat

1. 1 set alat pengujian berat jenis
2. 1 set alat pengujian analisa saringan
3. 1 set alat pengujian Keausan/Abrasi
4. 1 set alat penggorengan
5. 1 set alat uji Berat jenis maksimum campuran (GMM)
6. 1 set alat uji marshall
7. Pan dan mangkuk

4.1.2 Data Primer

Data primer berupa analisis yang dilakukan di laboratorium antara lain pengujian analisis saringan, berat jenis dan penyerapan fraksi kasar, fraksi halus, pengujian abrasi, dan marshall.

4.1.3 Data Sekunder

Data sekunder berupa aspal pen 60/70 yang diperoleh dari Laboratorium pengujian Teknik dan Bina Teknik Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Provinsi NTT.

4.2 Analisis

4.2.1 Pemeriksaan Material Agregat Kasar dan Agregat Halus

4.2.1.2 Pemerksaan material Agregat Kasar

Berikut ini adalah hasil pemeriksaan agregat kasar yang berasal dari *Quarry* Akanunu. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah terdiri dari 2 jenis, yaitu batu pecah 3/4" dan batu pecah 1/2". Perhitungan terhadap pemeriksaan agregat kasar adalah sebagai berikut.

A. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Agregat yang dipakai dalam pengujian ini adalah agregat dengan ukuran $\frac{3}{4}$ " dan $\frac{1}{2}$ " atau agregat yang tertahan saringan No.4 yang berasal dari *Quarry Akanunu*. Hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Batu Pecah $\frac{3}{4}$ "

Uraian		A	B	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh	BJ	3840	3423	gram
Berat benda uji di dalam air	BA	2353	2092	gram
Berat benda uji kering oven	BK	3816	3403	gram

Uraian		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	$\frac{Bk}{Bj - Ba}$	2,566	2,557	2,561	-
Berat Jenis (ssd)	$\frac{Bj}{Bj - Ba}$	2,582	2,572	2,577	-
Berat Jenis (apparent)	$\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2,608	2,596	2,602	-
Penyerapan Air	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	0,629	0,588	0,608	Max 3

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan

$$1. \text{ Berat jenis (Bulk)} = \frac{Bk}{Bj - Ba} = \frac{3816}{3840 - 2353} = 2,566$$

$$\text{Berat jenis (Bulk) Rata - rata} = A + B = 2,566 + 2,557 = \mathbf{2,561}$$

$$\text{Berat jenis (Bulk) Rata - rata} = \mathbf{2,561}$$

$$2. \text{ (SSD)} = \frac{Bj}{Bj - Ba} = \frac{3840}{3840 - 2353} = 2,582$$

$$\begin{aligned} \text{SSD Rata - rata} &= A + B \\ &= 2,582 + 2,572 = \mathbf{2,577} \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)} = \mathbf{2,577}$$

$$3. \text{ Berat jenis semu (Apparent)} = \frac{Bk}{Bk - Ba} = \frac{3816}{3816 - 2353} = 2,608$$

$$\begin{aligned} \text{Apparent Rata - rata} &= A + B \\ &= 2,608 + 2,596 = \mathbf{2,602} \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis Semu(Apparent)} = \mathbf{2,602}$$

$$4. \text{ Penyerapan Air (Absorption) } = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 = \frac{3840 - 3816}{3816} \times 100 = \mathbf{0,269}$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan Air (Absorption) Rata-rata} &= A + B \\ &= 0,269 + 0,588 \\ &= \mathbf{0,608} \end{aligned}$$

$$\text{Penyerapan Air (Absorption) } = \mathbf{0,608\%} \quad \text{Spec Max } \mathbf{3\%}$$

Perhitungan terhadap pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air material batu pecah ½” dapat dilihat pada lampiran dan hasil pada Tabel 4.2. di bawah ini :

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Batu Pecah ½”

Uraian		A	B	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh	BJ	4010	2377	gram
Berat benda uji di dalam air	BA	2457	1493	gram
Berat benda uji kering oven	BK	3976	2357	gram

		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2,560	2,666	2,613	-
Berat Jenis (ssd)	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2,582	2,689	2,636	-
Berat Jenis (apparent)	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2,618	2,728	2,673	-
Penyerapan Air	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	0,855	0,849	0,852	Max 3

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan:

$$1. \text{ Berat jenis (Bulk) } = \frac{B_k}{B_j - B_a} = \frac{3976}{4010 - 2457} = \mathbf{2,560}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (Bulk) Rata-rata} &= A + B \\ &= 2,560 + 2,666 \\ &= \mathbf{2,613} \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis (Bulk) Rata-rata} = \mathbf{2,613} \quad \text{Spec Max } \mathbf{3}$$

$$2. \text{ (SSD) } = \frac{B_j}{B_j - B_a} = \frac{4010}{4010 - 2457} = \mathbf{2,582}$$

$$\begin{aligned}
 \text{SSD Rata - rata} &= A + B \\
 &= 2,582 + 2,689 \\
 &= \mathbf{2,636}
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)} = \mathbf{2,636}$$

$$3. \text{ Berat jenis semu (Apparent)} = \frac{B_k}{B_k - B_a} = \frac{3976}{3976 - 2457} = \mathbf{2,618}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Apparent Rata - rata} &= A + B \\
 &= 2,618 + 2,728 \\
 &= \mathbf{2,673}
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis Semu (Apparent)} = \mathbf{2,673} \text{ Spec Max } \mathbf{3\%}$$

$$4. \text{ Penyerapan Air (Absorption)} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 = \frac{4010 - 3976}{3976} \times 100 = \mathbf{0,855}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan Air (Absorption) Rata - rata} &= A + B \\
 &= 0,855 + 0,849 \\
 &= \mathbf{0,852}
 \end{aligned}$$

$$\text{Penyerapan Air (Absorption)} = \mathbf{0,852\%} \text{ Spec Max } \mathbf{3\%}$$

Proses pengujian berat jenis (*Bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*), berat jenis semu (*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.

Pengujian berat jenis dan penyerapan air untuk material agregat kasar. Agregat kasar yang digunakan adalah Agregat Kasar $\frac{3}{4}$ " dan Agregat Kasar $\frac{1}{2}$ ". 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 berat jenis dan penyerapan air agregat kasar yang terdapat pada Tabel 4.1, dan Tabel 4.2 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan dalam spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yaitu maksimum 3% (SNI 03-1969-2008).

B. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Pengujian Analisa Saringan dilakukan terhadap agregat kasar, yaitu Batu Pecah ¾" dan Batu Pecah ½" yang berasal dari Quarry Akanunu yang merupakan milik PT. Montana Diak. Pengujian analisa saringan dilakukan dengan cara menyaring masing-masing material. Pengujian Analisa saringan dilakukan masing-masing agregat dengan dua contoh benda uji kemudian kedua hasil pengujian kedua benda uji dirata-ratakan. Nilai rata-rata inilah yang akan digunakan dalam perhitungan proporsi agregat gabungan. Hasil Pengujian analisa saringan batu pecah ¾" dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Analisa saringan Batu Pecah ¾"

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 1591,0				Rata-Rata
				Berat benda uji II (g) = 1693,0				
(ASTM)	(mm)	I	II	Persen Tertahan		Persen Lolos		
				I	II	I	II	
3/4	19,0	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1/2	12,5	1.248	722	78,44	42,65	21,56	57,35	39,46
3/8	9,50	1.529	1.156	96,10	68,28	3,90	31,72	17,81
No.4	4,75	1.591	1.471	100,00	86,89	0,00	13,11	6,56
No.8	2,36	1.022	1.478	64,24	87,30	35,76	12,70	24,23
No.16	1,18							
No.30	0,600							
No.50	0,300							
No.100	0,150							
No.200	0,075							

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan:

- $$\begin{aligned} \text{Persen Tertahan} &= \frac{\text{Jumlah berat tertahan} \times 100}{\text{Berat Benda Uji}} \\ &= \frac{1248}{1591} \times 100 = 78,44\% \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \text{Persen Lolos} &= 100 - \text{Persen tertahan} \\ &= 100 - 78,44\% = \mathbf{21,56\%} \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \text{Rata - rata persen lolos} &= \frac{\text{Persen lolos (I)} + \text{persen lolos(II)}}{2} \\ &= \frac{21,56 + 57,35}{2} = \mathbf{39,46\%} \end{aligned}$$

Hasil Pengujian analisa saringan batu pecah ½” dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini :

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Analisa saringan Batu Pecah ½”

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 1435,0				Rata- Rata
				Berat benda uji II (g) = 1530,0				
(ASTM)	(mm)	I	II	Persen Tertahan		Persen Lolos		
				I	II	I	II	
3/4	19,0	0	0	0	0	100	100	100
1/2	12,5	0	0	0	0	100	100	100
3/8	9,50	674	386	46,97	25,23	53,03	74,77	63,90
No.4	4,75	1.372	1.264	95,61	82,61	4,39	17,39	10,89
No.8	2,36	1.107	1.801	77,14	117,71	22,86	-17,71	2,57
No.16	1,18							
No.30	0,60							
No.50	0,30							
No.100	0,15							
No.200	0,075							

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan:

1. Persen Tertahan = $\frac{\text{Jumlah berat tertahan}}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100$
 $= \frac{674}{1435} \times 100 = 46,97\%$
2. Persen Lolos = 100 - Persen tertahan
 $= 100 - 46,97\% = 53,03\%$
3. Rata – rata persen lolos = $\frac{\text{Persen lolos (I) + persen lolos (II)}{2}$
 $= \frac{53,03 + 74,77}{2} = 63,90 \%$

Penentuan analisis saringan agregat kasar dilakukan dengan cara menyaring agregat kasar pada satu set saringan. Kemudian agregat yang tertahan pada masing-masing saringan ditimbang secara bertahap. setelah itu dilakukan perhitungan terhadap persen tertahan dan persen lolos dengan cara perhitungan terdiri dari persen tertahan merupakan perbandingan antara jumlah tertahan dengan berat awal benda uji dikali 100, sedangkan persen lolos diperoleh dari 100 dikurangi persen tertahan. Hasil dari perhitungan tersebut yang akan digunakan dalam contoh perhitungan.

C. Pengujian Keausan Agregat

Pengujian keausan agregat (abrasi) pada *Quarry* Akanunu yang terdiri dari 2 jenis, yaitu batu pecah ¾" dan batu pecah ½". Dengan menggunakan mesin *Los Angeles* yang bertujuan untuk mengetahui daya tahan agregat terhadap bahan mekanis seperti gaya-gaya yang terjadi selama proses pelaksanaan pekerjaan jalan (penimbunan, penghamparan, pemadatan), pelayanan terhadap beban lalu lintas dan proses kimiawi seperti pengaruh kelembaban, perubahan suhu. Hasil pengujian abrasi terhadap agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pengujian keausan agregat

Gradasi Pemeriksaan		GRADING (B)	
Ukuran Saringan		I	II
Lolos	Tertahan	Berat (a)	Berat (b)
76,2 (3")	63,5 (2 1/2")		
63,5 (2 1/2")	50,8 (2")		
50,8 (2")	36,1 (1 1/2")		
36,1 (1 1/2")	25,4 (1")		
25,4 (1")	19,1 (3/4")		
19,1 (3/4")	12,7 (1/2")	2500	2500
12,7 (1/2")	9,52 (3/8")	2500	2500
9,52 (3/8")	6,35 (1/4")		
6,35 (1/4")	4,75 (No.4)		
4,75 (No.4)	2,36 (No.8)		
Jumlah Berat		5000	5000
Berat tertahan saringan No.12 sesudah percobaan (b)		3841,0	3845

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan

$$\begin{array}{ll}
 \text{I.} & a = 5000,0 \text{ gram} & \text{II.} & a = 5000,0 \text{ gram} \\
 & b = \underline{3841,0 \text{ gram}} - & & b = \underline{3845,0 \text{ gram}} - \\
 & a - b = 1159,0 \text{ gram} & & a - b = 1155,0 \text{ gram}
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 1. \quad \text{Keausan - I} &= \frac{a - b}{A} \times 100\% \\
 &= \frac{5000,0 - 3841,0}{5000,0} \times 100\% = \mathbf{23,18\%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \quad \text{Keausan - II} &= \frac{a - b}{a} \times 100\% \\
 &= \frac{5000,0 - 3845}{5000,0} \times 100\% = \mathbf{23,10\%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Keausan rata - rata} &= A + B \\
 &= \mathbf{23,18 + 23,10} \\
 &= \mathbf{23,14\%}
 \end{aligned}$$

$$\text{Keausan rata - rata} = \mathbf{23,14\%} \quad \text{Spec : Max 40\%}$$

Hasil pengujian Keausan Agregat Kasar dengan Mesin Los Angeles (Abrasi) yang terdapat pada Tabel 4.5 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan dalam spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yakni maksimum **40%** (SNI 2417-2008). Nilai keausan agregat kasar dalam pengujian ini adalah **23,14 %**.

4.2.1.2 Pemeriksa Material Agregat Halus

Material yang digunakan pada pengujian ini adalah abu batu dan pasir yang lolos saringan no.4 dan tertahan no.200 yang di syaratkan dalam spesifikasi bina marga 2010.

A. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Dalam pengujian ini agregat halus yang dipakai terdiri dari pasir alam dan abu batu yang diambil dari *Quarry* Akanunu. Perhitungan terhadap pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air material abu batu dapat dilihat pada lampiran dan hasil pada Tabel 4.6 di bawah.

Tabel 4.6 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat Halus (Abu Batu)

No. Contoh		A	B	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500	500	500	gram
Berat piknometer + air (25°C)	B	718,40	717,30	gram
Berat piknometer + air + benda uji	Bt	1022,20	1022,50	gram
Berat benda uji kering oven (Bk)	BK	498,20	498,00	gram

		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	$\frac{Bk}{B + 500 - Bt}$	2,539	2,556	2,548	-
Berat Jenis kering permukaan jenuh	$\frac{500}{B + 500 - Bt}$	2,548	2,567	2,558	-
Berat Jenis (apparent)	$\frac{Bk}{B + Bk - Bt}$	2,563	2,583	2,573	-
Penyerapan Air	$\frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$	0,361	0,402	0,381	Max 3

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

$$1. \text{ Berat jenis (Bulk)} = \frac{Bk}{B+500-Bt} = \frac{498,20}{718,40 + 500 - 1022,20} = 2,539$$

$$\text{Berat jenis (Bulk) Rata – rata} = A + B$$

$$= 2,539 + 2,556$$

$$= \mathbf{2,548}$$

$$\text{Berat jenis (Bulk) Rata – rata} = \mathbf{2,548}$$

$$2. (SSD) = \frac{500}{B+500-Bt} = \frac{500}{718,40 + 500 + 1020,20} = 2,548$$

$$\begin{aligned} SSD \text{ Rata - rata} &= A + B \\ &= 2,548 + 2,567 \\ &= 2,558 \end{aligned}$$

Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD) = **2,558**

$$3. \text{ Berat jenis semu (Apparent)} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} = \frac{498,20}{718.40+498,20+1022,20} = 2,563$$

$$\begin{aligned} Apparent \text{ Rata - rata} &= A + B \\ &= 2,563 + 2,583 \\ &= 2,573 \end{aligned}$$

Berat jenis Semu (Apparent) = **2,573**

$$4. \text{ Penyerapan Air (Absorption)} = \frac{500 - Bk}{Bk} = \frac{500 - 498,20}{498,20} \times 100 = 0,361$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan Air (Absorption) Rata -rata} &= A + B \\ &= 0,361 + 0,402 \\ &= 0,381 \end{aligned}$$

Penyerapan Air (Absorption) = **0,381%** Spec Max **3%**

Perhitungan terhadap pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air material Pasir dapat dilihat pada lampiran dan hasil pada Tabel 4.7 di bawah ini :

Tabel 4.7 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat Halus (Pasir)

No. Contoh	A	B	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD) 500	500	500	gram
Berat piknometer + air (25°C) B	622,00	635,20	gram
Berat piknometer + air + benda uji Bt	926,60	939,10	gram
Berat benda uji kering oven (Bk) BK	492,10	492,20	gram

	A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk) $\frac{Bk}{B + 500 - Bt}$	2,518	2,510	2,514	-
Berat Jenis kering permukaan jenuh $\frac{500}{B + 500 - Bt}$	2,559	2,550	2,554	-
Berat Jenis (apparent) $\frac{Bk}{B + Bk - Bt}$	2,625	2,614	2,619	-
Penyerapan Air $\frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$	1,605	1,585	1,595	Max 3

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

1. Berat jenis (*Bulk*) = $\frac{Bk}{B+500-Bt} = \frac{492,10}{622,00 + 500 - 926,60} = 2,518$
 Berat jenis (*Bulk*) Rata – rata = A + B
 = 2,518 + 2,510 = **2,514**
 Berat jenis (*Bulk*) Rata – rata = **2,518**

2. (*SSD*) = $\frac{500}{B+500-Bt} = \frac{500}{622,00 + 500 + 926,60} = 2,599$
SSD Rata – rata = A + B
 = 2,599 + 2,550
 = **2,554**
 Berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*) = **2,554**

3. Berat jenis semu (*Apparent*) = $\frac{Bk}{B+Bk-Bt} = \frac{492,10}{622,00+492,10+926,60} = 2,625$
Apparent Rata – rata = A + B
 = 2,625 + 2,614
 = **2,619**
 Berat jenis Semu (*Apparent*) = **2,619**

4. Penyerapan Air (*Absorption*) = $\frac{500 - Bk}{Bk} = \frac{500 - 492,10}{492,10} \times 100 = 1,605$
 Penyerapan Air (*Absorption*) Rata –rata = A + B
 = 1,605 + 1,585
 = **1,595**
 Penyerapan Air (*Absorption*) = **1,595%** Spec Max **3%**

Pengujian berat jenis dan penyerapan air untuk material agregat halus. Agregat halus yang digunakan adalah abu batu dan pasir. 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 4.6 dan Tabel 4.7 memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yakni maksimum penyerapan air 3% (SNI 03-1969-2008).

B. Pengujian Analisa saringan

Pengujian Analisa Saringan dilakukan terhadap agregat halus, yaitu abu batu dan pasir yang berasal dari *Quarry* Akanunu. Pengujian Analisa saringan dilakukan masing-masing agregat dengan dua contoh benda uji kemudian kedua hasil pengujian kedua benda

uji dirata-ratakan. Nilai rata-rata inilah yang akan digunakan dalam perhitungan proporsi agregat gabungan. Hasil pengujian analisa saringan atau analisa saringan material pasir dapat dilihat pada Tabel 4.8 di bawah ini

Tabel 4.8 Hasil pengujian analisa saringan agregat Halus (Abu Batu)

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 1467				Rata- Rata
				Berat benda uji II (g) = 1534				
(ASTM)	(mm)	I	II	Persen Tertahan		Persen Lolos		
				I	II	I	II	
3/4	19,0	0	0	0	0	100	100	100
1/2	12,5	0	0	0	0	100	100	100
3/8	9,50	0	0	0	0	100	100	100
No.4	4,75	0	0	0	0	100	100	100
No.8	2,36	404	436	27,54	28,42	72,46	71,58	72,02
No.16	1,18	865	860	58,96	56,06	41,04	43,94	42,49
No.30	0,60	1.143	1206	77,91	78,62	22,09	21,38	21,73
No.50	0,30	1.260	1312	85,89	85,53	14,11	14,47	14,29
No.100	0,150	1.335	1411	91,00	91,98	9,00	8,02	8,51
No.200	0,075	1.355	1429	92,37	93,16	7,63	6,84	7,24

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan:

1.
$$\text{Persen Tertahan} = \frac{\text{Jumlah berat tertahan}}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100$$

$$= \frac{404}{1467} \times 100 = \mathbf{27,54\%}$$
2.
$$\text{Persen Lolos} = 100 - \text{Persen tertahan}$$

$$= 100 - 27,54\% = \mathbf{72,46\%}$$
3.
$$\text{Rata - rata persen lolos} = \frac{\text{Persen lolos (I)} + \text{persen lolos (II)}}{2}$$

$$= \frac{72,46 + 71,58}{2} = \mathbf{72,02\%}$$

Hasil pengujian analisa saringan atau analisa saringan material pasir dapat dilihat pada Tabel 4.9 di bawah ini :

Tabel 4.9 Hasil pengujian analisa saringan agregat Halus (Pasir)

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 1144				Rata- Rata
				Berat benda uji II (g) = 1347				
(ASTM)	(mm)	I	II	Persen Tertahan		Persen Lolos		
				I	II	I	II	
3/4	19,0	0	0	0	0	100	100	100
1/2	12,5	0	0	0	0	100	100	100
3/8	9,50	0	0	0	0	100	100	100
No.4	4,75	0	0	0	0	100	100	100
No.8	2,36	73	97	6,38	7,20	93,62	92,80	93,21
No.16	1,18	448	521	39,16	38,68	60,84	61,32	61,08
No.30	0,60	738	875	64,51	64,96	35,49	35,04	35,27
No.50	0,30	977	1.146	85,40	85,08	14,60	14,92	14,76
No.100	0,15	1.090	1.282	95,28	95,17	4,72	4,83	4,77
No.200	0,075	1.131	1.330	98,86	98,74	1,14	1,26	1,20

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan:

- $$\begin{aligned} \text{Persen Tertahan} &= \frac{\text{Jumlah berat tertahan}}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100 \\ &= \frac{73}{1144} \times 100 = \mathbf{6,38\%} \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \text{Persen Lolos} &= 100 - \text{Persen tertahan} \\ &= 100 - 6,38\% = \mathbf{93,62\%} \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \text{Rata – rata persen lolos} &= \frac{\text{Persen lolos (I)} + \text{persen lolos (II)}}{2} \\ &= \frac{93,62 + 92,80}{2} = \mathbf{93,21\%} \end{aligned}$$

Pengujian analisa saringan agregat halus (Abu batu) dan analisa saringan agregat halus (Pasir) pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yaitu agregat halus (Abu Batu) dan agregat halus (pasir) lolos 100% saringan No.4 dan tertahan pada saringan No.200

C. Pengujian Analisa Saringan Terhadap Filler Semen

Pengujian Analisa saringan dilakukan terhadap semen yang akan digunakan sebagai bahan pengisi (*Filler*). Pengujian Analisa saringan dilakukan masing-masing dengan dua contoh benda uji kemudian kedua hasil pengujian kedua benda uji dirata-ratakan. Nilai rata-rata inilah yang akan digunakan dalam perhitungan proporsi agregat gabungan. Hasil pengujian analisa saringan *filler* semen dapat dilihat pada Tabel 4.10 di bawah ini :

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan *Filler* (Semen Tonasa)

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 500				Rata- Rata
				Berat benda uji II (g) = 500				
(ASTM)	(mm)	I	II	Persen Tertahan		Persen Lolos		
				I	II	I	II	
3/4	19,0	0	0	0	0	100	100	100
1/2	12,5	0	0	0	0	100	100	100
3/8	9,50	0	0	0	0	100	100	100
No.4	4,75	0	0	0	0	100	100	100
No.8	2,36	0	0	0	0	100	100	100
No.16	1,18	0	0	0	0	100	100	100
No.30	0,60	0	0	0	0	100	100	100
No.50	0,30	0	0	0	0	100	100	100
No.100	0,15	0	0	0	0	100	100	100
No.200	0,075	0	0	0	0	100	100	100

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

D. Pengujian Analisa Saringan Terhadap Filler Kapur

Pengujian Analisa saringan dilakukan terhadap kapur yang akan digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*). Pengujian Analisa saringan dilakukan masing-masing dengan dua contoh benda uji kemudian kedua hasil pengujian kedua benda uji dirata-ratakan. Nilai rata-rata inilah yang akan digunakan dalam perhitungan proporsi agregat gabungan. Hasil pengujian analisa saringan *filler* kapur dapat dilihat pada lampiran Tabel 4.11 di bawah ini:

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Analisa Saringan *Filler* (Kapur Padam)

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 500				Rata- Rata
				Berat benda uji II (g) = 500				
(ASTM)	(mm)	I	II	Persen Tertahan		Persen Lolos		
				I	II	I	II	
3/4	19,0	0	0	0	0	100	100	100
1/2	12,5	0	0	0	0	100	100	100
3/8	9,50	0	0	0	0	100	100	100
No.4	4,75	0	0	0	0	100	100	100
No.8	2,36	0	0	0	0	100	100	100
No.16	1,18	0	0	0	0	100	100	100
No.30	0,60	0	0	0	0	100	100	100
No.50	0,30	0	0	0	0	100	100	100
No.100	0,15	0	0	0	0	100	100	100
No.200	0,075	0	0	0	0	100	100	100

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

4.2.1.3 Penentuan Gradasi Agregat Gabungan

Setelah diperoleh hasil analisa saringan untuk setiap agregat, yaitu agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*) maka dapat ditentukan gradasi agregat gabungan. Penentuan ini bertujuan untuk menentukan persentase dari masing-masing agregat yang terdiri dari batu pecah $\frac{3}{4}$ " , $\frac{1}{2}$ " , pasir, tanah kapur dan *filler* sehingga dari hasil persentase tersebut dapat diperoleh kadar aspal rencana (perkiraan kadar aspal rencana).

Penentuan gradasi agregat gabungan dalam campuran laston yang ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat yang harus memenuhi batas-batas spesifikasi. Hasil pengujian dari perhitungan gradasi agregat gabungan dengan menggunakan *filler* semen tonasa dan kapur padam dapat dilihat dalam Tabel 4.12 di bawah ini :

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Gabungan

Saringan	Batu pecah $\frac{3}{4}$		Batu pecah $\frac{1}{2}$		Abu batu		Pasir		Filler (semen Tonasa)		Total	Spek
	8,00%		30,00%		50,00%		10,00%		2,00%		100%	
(ASTM)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
$\frac{3}{4}$	100	8,00	100	30,00	100	50,00	100	10,00	100	2,00	100	100
$\frac{1}{2}$	39,46	3,16	100	30,00	100	50,00	100	10,00	100	2,00	95,16	90-100
$\frac{3}{8}$	17,81	1,24	63,90	19,17	100	50,00	100	10,00	100	2,00	82,60	77-90
No 4	6,56	0,52	10,89	3,27	100	50,00	100	10,00	100	2,00	65,97	53-69
No 8	24,23	1,94	2,57	0,77	72,02	36,01	93,21	9,32	100	2,00	50,04	33-53
No 16	0,00	0,00	0,00	0,00	42,49	21,24	61,08	6,11	100	2,00	29,35	21-40
No 30	0,00	0,00	0,00	0,00	21,73	10,87	35,27	3,53	100	2,00	16,39	14-30
No 50	0,00	0,00	0,00	0,00	14,29	7,15	14,76	1,48	100	2,00	10,62	9-22
No 100	0,00	0,00	0,00	0,00	8,51	4,25	4,77	0,48	100	2,00	6,73	6-15
No 200	0,00	0,00	0,00	0,00	7,24	3,62	1,20	0,12	100	2,00	5,74	4-9

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

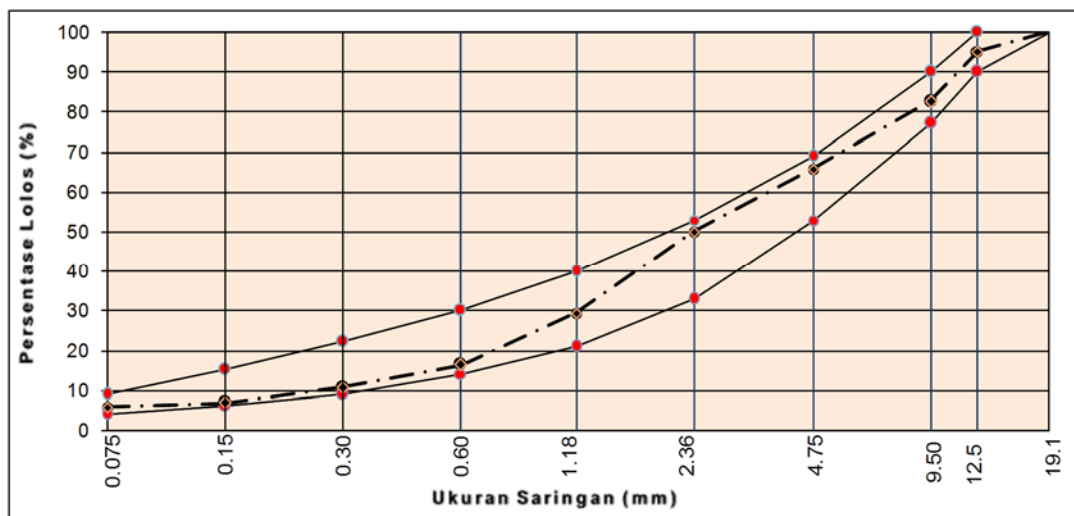
Keterangan :

- A = Persen lolos rata-rata batu pecah $\frac{3}{4}$ "
- B = 8,00 % x persen lolos rata-rata batu pecah $\frac{3}{4}$ "
- C = Persen lolos rata-rata batu pecah $\frac{1}{2}$ "
- D = 30 % x persen lolos rata-rata batu pecah $\frac{1}{2}$ "
- E = Persen lolos rata-rata abu batu
- F = 50,00 % x persen lolos rata-rata abu batu
- G = Persen lolos rata-rata pasir

- H = 10,00% x persen lolos rata-rata pasir
- I = Persen lolos rata-rata *Filler* Semen Tonasa
- j = 2,00% x persen lolos rata-rata *Filler* Semen Tonasa
- K = B+D+F+H+J
- L = Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3



Hasil pengujian gradasi agregat gabungan yang terdapat pada tabel 4.11 memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yang disyaratkan.

Berdasarkan tabel perhitungan gradasi agregat gabungan tersebut dapat diperoleh grafik gradasi agregat gabungan seperti di bawah ini :



Gambar 4.1: Kurva gradasi agregat gabungan laston AC-WC

Sumber: Hasil perhitungan Laboratorium 2019

-  = *Batas atas dan Batas Bawah*
-  = *Persen Lolos tiap Sar. (%)*

Gambar 4.1 diatas menjelaskan bahwa gradasi agregat gabungan (garis persen Lolos tiap Sar.%) terletak didalam garis batas atas dan garis bawah. Hasil ini juga menunjukan bahwa hasil gradasi agregat gabungan memenuhi standar spesifikasi bina marga 2010 revisi 3 untuk lapis aspal beton (Laston AC-WC).

4.2.1.4 Data Aspal Pen 60/70

Dalam penelitian ini data aspal merupakan data sekunder yang digunakan dan merupakan data dari Laboratorium pengujian Teknik dan Bina Teknik Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Provinsi NTT. dengan penetrasi 60/70 produksi Pertamina yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 revisi 3.

Tabel 4.13 Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Satuan
1.	Penetrasi pada 25°C, 100 gram, 5 detik	66,80	60 - 79	0,1 mm
2.	Berat Jenis pada 25°C	1,030	≥1,0	C°
3.	Titik Lembek	58,00	48 - 58	%Berat
4.	Daktalitas 25°C, 5 cm/menit	>140	≥ 100	Cm

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

4.3 Rancangan Campuran Menggunakan 5 Variasi Kadar Aspal Perkiraan (Pb)

4.3.1 Rancangan Kadar Aspal Perkiraan (Pb)

Perhitungan kadar aspal rencana dapat ditentukan setelah diperoleh gradasi agregat gabungan dari masing-masing fraksi agregat yang telah memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3. Untuk perhitungan kadar aspal rencana atau Kadar Aspal Perkiraan dapat dipergunakan rumus sebagai berikut ini :

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

Tabel 4.14 Penentuan Kadar Aspal Rencana atau Kadar Aspal Perkiraan (Pb)

U R A I A N	NILAI	SATUAN
Proporsi Fraksi Kasar (CA)	49,96	%
Proporsi Fraksi Halus (FA)	44,30	%
Proporsi Fraksi Bahan Pengisi (FF)	5,74	%
Nilai Konstanta (K) ditetapkan	0,75	%
Perkiraan Kadar Aspal (Pb)	5,53	%

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

A. Fraksi Agregat

Fraksi agregat kasar diambil dari jumlah agregat gabungan (lihat Tabel 4.12) yang tertahan saringan nomor 8. Sedangkan fraksi agregat halus adalah hasil pengurangan dari presentase analisa saringan agregat yang lolos saringan nomor 8, dengan persentase analisa saringan agregat yang lolos saringan nomor 200. Fraksi bahan pengisi adalah persentase dari analisa saringan agregat yang lolos saringan nomor 200.

- Fraksi agregat kasar (CA) = 100% - % Total agregat lolos saringan No.8
= 100 - 50,04
= 49,96%
- Fraksi agregat halus (FA) = % Total agregat lolos saringan No. 8 -
% Total agregat lolos saringan No. 200
= 50,04 - 5,74%
= **44,30%**

3. Fraksi bahan pengisi (*FF*) = % Total agregat lolos saringan No. 200
= **5,74%**
4. Konstanta (*k*) = **0,5 sampai 1,0 di ambil 0,75**

B. Kadar Aspal Rencana

Perkiraan kadar aspal rencana :

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K \\
 &= 0,035 (49,96) + 0,045 (44,30) + 0,18 (5,74) + 0,75 \\
 &= \mathbf{5,53\%}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan kadar aspal rencana di atas diperoleh 5,53%, dimana kadar aspal tersebut dibulatkan menjadi 5,50%. Sehingga variasi kadar aspal yang digunakan dalam percobaan, yaitu 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%.

4.3.2 Rancangan Benda uji Test Marshall Laston (AC-WC) dengan Kadar Aspal Perkiraan (*P_b*)

Setelah memperoleh kadar aspal rencana (*P_b*), maka dilakukan rancangan campuran dengan menggunakan 5 variasi kadar aspal rencana yaitu {(*P_b* -1), (*P_b* -0,5), (*P_b*), (*P_b* +0,5), (*P_b* +1)}. Sehingga variasi kadar aspal yang digunakan dalam percobaan, yaitu 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%. Berat rencana total campuran adalah 1200 gram. Rancangan campuran ini yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji yang menggunakan *filler* semen tonasa dan kapur padam. Hasil perhitungan rancangan campuran dalam persen (%) dan gram dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan 4.16 di bawah ini

Tabel 4.15 Perhitungan Rancangan Campuran Dalam Persen (%)

KOMPONEN	KOMPOSISI AGREGAT	KADAR ASPAL RENCANA (%)				
		4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
(a) BATU PECAH 3/4	8,00%	7,64	7,60	7,56	7,52	7,48
(b) BATU PECAH 1/2	30,00%	28,65	28,50	28,35	28,20	28,05
(c) ABU BATU	50,00%	47,75	47,50	47,25	47,00	46,75
(d) PASIR	10,00%	9,55	9,50	9,45	9,40	9,35
(e) FILLER (Semen)	2,00%	1,91	1,90	1,89	1,88	1,87
TOTAL AGG CAMPURAN (%)	100%	95,5	95,0	94,5	94,0	93,5
TOTAL CAMPURAN (%)		100	100	100	100	100

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Contoh Penhitungan:

Misalnya percobaan komposisi persen batu pecah adalah 8,0% dengan kadar aspal perkiraan 4,5%.

1. Batu pecah = Komposisi Agregat x (100 – Kadar Aspal)
= 8% x (100 – 4,5)
= **7,64 %**

$$2. \text{ Total agregat Campuran \%} = 7,64 + 28,65 + 47,75 + 9,55 + 1,91$$

$$= \mathbf{95,50\%}$$

$$3. \text{ Total Campuran \%} = \text{Total agregat Campuran} + \text{Kadar Aspal}$$

$$= 95,50 + 4,5$$

$$= \mathbf{100\%}$$

Komposisi Campuran Laston Lapisan Aus (AC-WC) dengan menggunakan *filler* semen yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3 dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.16 Komposisi Campuran Laston AC-WC

KADAR ASPAL RENCANA	%	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
(a) BATU PECAH 3/4	Gram	91,7	91,2	90,7	90,2	89,8
(b) BATU PECAH 1/2	Gram	343,8	342,0	340,2	338,4	336,6
(c) ABU BATU	Gram	573,0	570,0	567,0	564,0	561,0
(d) PASIR	Gram	114,6	114,0	113,4	112,8	112,2
(e) FILLER (Semen)	Gram	22,9	22,8	22,7	22,6	22,4
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)		1.146	1.140	1.134	1.128	1.122
BERAT ASPAL (Gr)		54,0	60,0	66,0	72,0	78,0
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)		1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Contoh Penhitungan :

Berat masing-masing material untuk campuran Laston AC-WC pada contoh kadar aspal 4,5%.

$$1. \text{ Batupecah} = (\text{Berat \% agregat} / 100) \times \text{Berat rencana total campuran}$$

$$= (7,64 / 100) \times 1.200\text{gram}$$

$$= 91,70 \text{ gram}$$

$$2. \text{ Berat Agregat Campuran} = 91,70 + 343,8 + 573 + 114,60 + 22,9$$

$$= 1.146 \text{ gram}$$

$$3. \text{ Berat Aspal (Gr)} = (\text{Kadar Aspal} / 100) \times \text{Berat rencana total campuran}$$

$$= (4,5 / 100) \times 1.200\text{gram}$$

$$= \mathbf{54,0 \text{ gram}}$$

$$4. \text{ Berat rencana total Campuran (Gr)} = \text{Berat Agregat Campuran} + \text{Berat Aspal}$$

$$= 1.146 + 54,0$$

$$= \mathbf{1200 \text{ gram}}$$

4.3.3 Test Marshall

Hasil pengujian *Marshall* standar (2x75) tumbukan dengan menggunakan material dari *Quarry Akanunu* untuk campuran Laston *AC-WC*. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan stabilitas (ketahanan) dan kelelahan (flow) dari benda uji. Selain itu, pengujian dengan metode *Marshall* juga menghasilkan parameter-parameter *Marshall* seperti *VIM*, *VMA*, *VFB*, *Marshall Stabilitas*, *Marshall Kelelahan* dan Perbandingan Rasio Partikel bahan lolos # no.200 dengan kadar aspal efektif.

Perhitungan dan analisa parameter *Marshall* campuran Laston (*AC-WC*) dapat dilihat pada lampiran, sedangkan rangkuman hasil pengujian *Marshall* campuran Laston (*AC-WC*) berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk masing-masing pengujian yang disertai dengan Standar Spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 pada tabel berikut.

Tabel 4.17 Rekapitan Hasil Pengujian Test Marshall Laston (*AC-WC*)

KadarAspal (%)	Benda Uji <i>Marshall</i>	Parameter – Parameter Marshall					
		<i>VIM</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>VFB</i> (%)	Stabilitas (Kg)	<i>Flow</i> (mm)	Rasio Partikel
Spesifikasi		Min 3-max 5	Min14	Min65	Min 800	Min2-max4	Min1-max1,4
4,5 %	1	7,16	16,50	56,60	876,3	3,21	1,34
	2	6,27	15,70	60,08	1.056,5	2,82	1,34
Rata-Rata		6,72	16,10	58,34	966,4	3,02	1,34
5,0 %	1	5,49	16,04	65,77	1.043,8	3,07	1,20
	2	5,05	15,65	67,73	1.018,5	2,97	1,20
Rata-Rata		5,27	15,85	66,75	1.031,1	3,02	1,20
5,5 %	1	4,51	16,20	72,19	1.136,8	3,33	1,09
	2	4,04	15,79	74,43	1.073,4	3,29	1,09
Rata-Rata		4,27	16,00	73,31	1.105,1	3,31	1,09
6,0 %	1	3,50	16,36	78,58	1.145,2	3,97	0,99
	2	3,95	16,75	76,39	977,7	3,28	0,99
Rata-Rata		3,73	16,55	77,48	1.061,5	3,63	0,99
6,5 %	1	4,01	17,81	77,48	856,0	3,77	0,91
	2	2,88	16,84	82,88	1.022,7	3,95	0,91
Rata-Rata		3,45	17,33	80,18	939,4	3,86	0,91

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

4.3.3 Hubungan Antara Stabilitas dan Kadar Aspal.

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Dalam pengujian *Marshall*, pemeriksaan stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban. Kadar aspal berpengaruh pada stabilitas. apabila kadar aspal sangat kecil maka tebal lapisan aspal (*film*) sangat tipis sehingga ikatan antar agregat kurang mengikat, apabila diberikan beban maka sebelum mencapai pembebanan maksimum ikatan antar agregat tersebut akan terlepas. Apabila kadar aspal sangat besar, maka lapisan aspal (*film*) sangat tebal sehingga apabila diberikan beban maka akan menyebabkan lapisan aspal tersebut meleleh dan nilai stabilitas akan berkurang. Apabila kadar aspal mencapai nilai optimum maka ikatan antar agregat cukup merata, sehingga dapat mencapai beban maksimum.

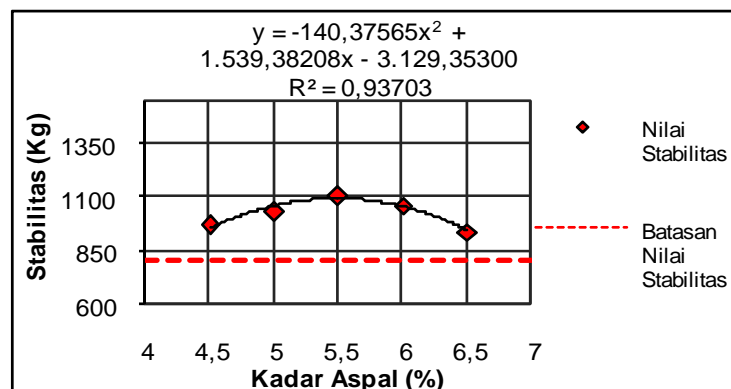
Dari hasil percobaan didapatkan nilai stabilitas pada campuran *filler* semen seperti pada Tabel 4.18 berikut ini

Tabel 4.18 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)
4,5	966,4
5,0	1.031,1
5,5	1.105,1
6,0	1.061,5
6,5	939,4

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019.

Berdasarkan Tabel 4.18 di atas, maka akan diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas adalah sebagai berikut.



Gambar 4.2: Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan rekapan pada Tabel 4.18, menghasilkan Grafik 4.2 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas semakin meningkat jika kadar aspal bertambah, pada suatu titik tertentu nilai stabilitas akan kembali 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 optimumnya maka nilai stabilitas akan menurun.

Berdasarkan grafik juga dapat mengetahui bahwa jika kadar aspal kecil atau sedikit maka tebal selimut aspalnya menjadi tipis hal ini akan menyebabkan kurangnya ikatan yang terjadi antar agregat sehingga jika dikenai beban maka ikatan antara agregat akan sangat mudah untuk terlepas. Jika kadar aspal besar atau banyak maka selimut aspalnya menjadi tebal sehingga apabila dikenai beban lapisan aspal tersebut akan meleleh keluar (*bleeding*) dan mudah hancur. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pada kondisi kadar aspal yang sedikit maupun banyak, nilai stabilitas yang terjadi adalah rendah. Namun jika kadar aspal mencapai nilai optimum maka akan terjadi pengikatan yang baik antar agregat dengan aspal sehingga menghasilkan nilai stabilitas yang maksimum. Gambar Grafik 4.2 menunjukkan bahwa hasil pengujian stabilitas pada campuran *filler* semen memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu minimal 800 kg.

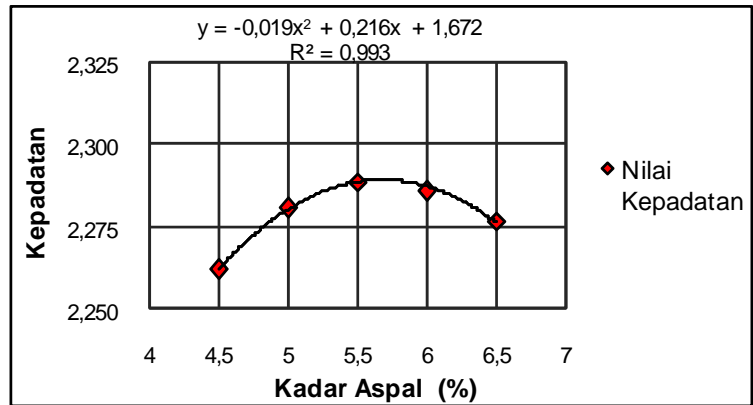
4.3.4 Hubungan Antara Kepadatan dan Kadar Aspal.

Untuk melihat hubungan antara nilai kepadatan dengan kadar aspal dapat terlihat pada Grafik 4.3 Pada grafik terlihat bahwa semakin besar kadar aspal maka semakin besar kepadatan yang terjadi namun setelah melewati batas kadar aspal optimum maka kepadatan akan menurun. Hal ini karena kadar aspal yang ada meningkat terus setelah melewati batas optimum. Rongga - rongga yang ada juga sudah penuh terisi aspal, sehingga aspal yang ada sudah tidak bisa mengisi rongga lagi dan menyebabkan kepadatan menurun.

Tabel 4.19 Hubungan Antara Kepadatan dan Kadar Aspal.

KadarAspal (%)	Kepadatan
4,5	2,262
5,0	2,281
5,5	2,289
6,0	2,286
6,5	2,277

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.3: Hubungan Antara Kepadatan dan Kadar Aspal
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan tabel 4.19 menghasilkan Gambar 4.3 terlihat bahwa Semakin tinggi kadar aspal maka nilai kepadatan akan semakin meningkat hingga mencapai batas optimum. Namun setelah melewati batas optimum maka nilai kepadatan akan menurun kembali karena rongga-rongga yang ada antar agregat sudah terisi aspal dan selimut film aspal menjadi tebal sehingga mudah terjadi kegemukan dan hancur jika diberikan beban.

4.3.5 Hubungan Antara Kadar Aspal dan Kelelehan (Flow)

Kelelehan (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban yang diberikan selama pengujian yang dinyatakan dalam mm. Nilai kelelehan (*flow*) menunjukkan besarnya perubahan bentuk sebagai akibat dari beban yang bekerja, sampai batas keruntuhan.

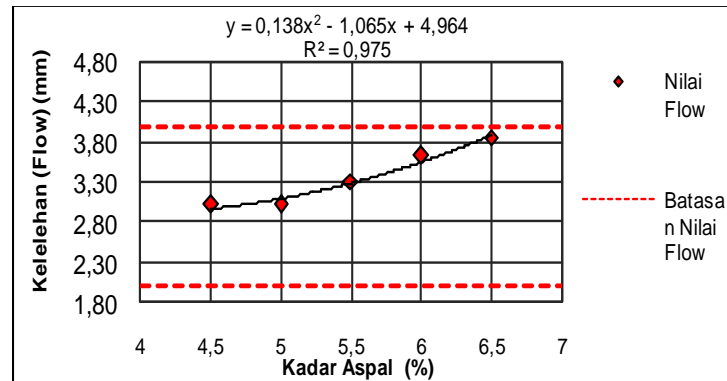
Semakin kecil kadar aspal maka nilai kelelehan semakin kecil karena tebal *film* yang semakin tipis, dengan kata lain campuran akan semakin kaku. Sebaliknya apabila kadar aspal semakin besar maka nilai kelelehan akan semakin besar karena tebal *film* yang semakin tebal, sehingga campuran akan semakin fleksibel. Hasil penelitian hubungan kadar aspal dengan kelelehan (*flow*) pada campuran *filler* semen dapat dilihat pada Tabel 4.20 di bawah ini :

Tabel 4.20 Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan Kelelehan (*Flow*)

KadarAspal (%)	Kelelehan (<i>Flow</i>) (mm)
4,5	3,02
5,0	3,02
5,5	2,31
6,0	3,63
6,5	3,86

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan Tabel 4.20 di atas, maka akan diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal dengan *flow* adalah sebagai berikut.



Gambar 4.4: Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan Kelelahan (*Flow*)

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Dari Grafik 4.4 dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai *flow* akan semakin tinggi pula. Hal ini disebabkan karena pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan aspal tidak lagi menyelimuti agregat dengan baik sehingga daya ikat aspal semakin berkurang. Pada kadar aspal yang tinggi suatu campuran aspal akan mudah mengalami perubahan bentuk plastis dibandingkan dengan campuran yang kadar aspal rendah apabila dikenakan beban yang sama. Gambar Grafik 4.4 menunjukkan bahwa hasil pengujian *flow* dalam campuran *filler* semen, dari semua kadar aspal memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3

4.3.6 Hubungan Antara Kadar Aspal dan Void in Mix (VIM).

Banyaknya pori yang berada dalam beton aspal padat adalah banyaknya pori di antara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. VIM dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat.

Grafik hubungan kadar aspal dengan VIM menunjukkan bahwa hubungan antara kadar aspal dan VIM cenderung berbanding terbalik, yakni jika nilai VIM cenderung akan menurun dengan semakin meningkatnya kadar aspal, begitu pula sebaliknya apabila kadar aspal semakin rendah maka akan memberikan nilai VIM yang besar. Hal ini disebabkan karena dengan semakin besar kadar aspal maka akan semakin banyak aspal yang akan mengisi rongga-rongga diantara agregat, sehingga dengan sendirinya VIM akan semakin kecil.

VIM mempunyai pengaruh yang cukup besar pada kualitas suatu campuran beraspal. Apabila nilai VIM tinggi dan kadar aspal rendah dalam campuran maka akan menghasilkan rongga-rongga yang banyak dalam campuran yang akan mengakibatkan penurunan yang lebih cepat, yakni tidak mampu menerima beban berulang sehingga terjadi alur (*rutting*)

dan retak. Sedangkan apabila nilai VIM terlalu kecil dan kadar aspal tinggi akan menyebabkan kelebihan aspal karena rongga-rongga sudah terisi aspal sehingga lapisan aspal akan meleleh keluar (*bleeding*) pada saat adanya pemadatan tambahan akibat beban lalu lintas (Sukirman S, 2003).

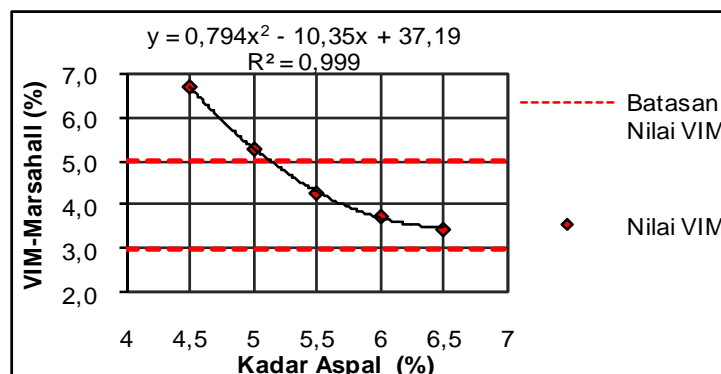
Hasil pengujian hubungan kadar aspal dengan VIM pada campuran *filler* semen dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.21 Hubungan Antara *Void in Mix (VIM)* dan Kadar Aspal.

Kadar Aspal (%)	<i>Void in Mix (VIM)</i> (%)
4,5	6,72
5,0	5,27
5,5	4,27
6,0	3,73
6,5	3,45

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan Tabel 4.21 di atas, maka akan diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal dengan VIM sebagai berikut



Gambar 4.5: Hubungan Antara *Void in Mix (VIM)* dan Kadar Aspal.

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Dari tabel 4.21 mendapatkan Gambar 4.5 menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal maka rongga udara dalam campuran padat akan semakin kecil, sedangkan semakin kecil kadar aspal maka nilai rongga udara dalam campuran padat akan semakin besar. *VIM* yang terlalu besar akan menyebabkan beton aspal padat berkurang kekedapan airnya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal, sedangkan bila *VIM* kecil dan kadar aspal tinggi akan menyebabkan lapisan aspal kegemukan (*bleeding*) pada saat pemadatan tambahan akibat lalulintas.

Gambar 4.5 juga menunjukkan bahwa hasil pengujian rongga udara dalam campuran Laston, pada kadar aspal 5,5% sampai dengan 6,5%, memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 (minimum 3% dan Maksimum 5%), sedangkan pada kadar aspal 4,5% sampai 5,0% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 (minimum 3% dan Maksimum 5%).

4.3.7 Hubungan Antara Kadar Aspal dan Void in the Mineral Aggregate (VMA)

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

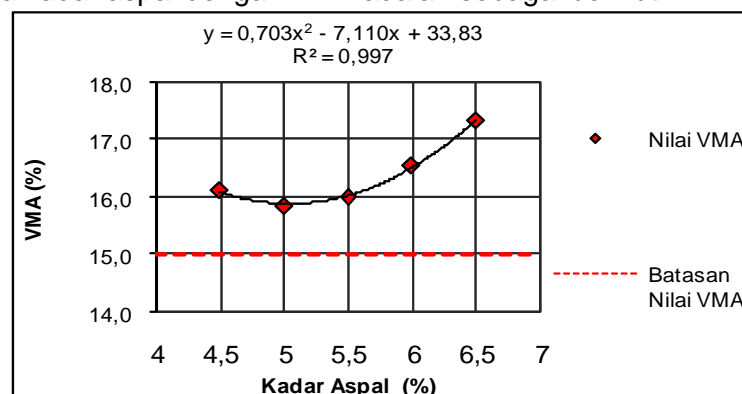
VMA cenderung berbanding terbalik dengan kadar aspal atau dengan kata lain nilai VMA akan semakin kecil apabila kadar aspal semakin besar sampai nilai minimum kemudian naik. Hal ini disebabkan karena dengan semakin besar kadar aspal maka semakin banyak aspal yang akan mengisi rongga-rongga diantara agregat sehingga dengan sendirinya VMA akan semakin kecil, setelah mencapai nilai minimum dan kadar aspal bertambah mengakibatkan naiknya nilai VMA. Dari hasil pengujian didapatkan nilai kadar aspal terhadap VMA seperti ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 4.22 Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan VMA

Kadar Aspal (%)	VMA (%)
4,5	16,10
5,0	15,85
5,5	16,00
6,0	16,55
6,5	17,33

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan Tabel 4.22 di atas, maka akan diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal dengan VMA adalah sebagai berikut



Gambar 4.6: Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan VMA

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Dari Grafik 4.6 dapat terlihat bahwa nilai *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 *VMA* akan semakin kecil. Dari Tabel 4.22 dan Grafik 4.6 dapat dilihat bahwa dari kadar aspal 4.5 %, 5.0 %, 5.5 %, 6.0 %, 6.5 %, semuanya memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3. Spesifikasi ini menetapkan batas minimum untuk nilai *VMA* adalah 14 %.

4.3.8 Hubungan Antara Kadar Aspal dan Void Filled with Bitumen (VFB)

Volume pori antara butir agregat terisi aspal adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat atau VFB yang merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi *film* atau selimut aspal. Dari gambar 4.7 terlihat bahwa kecenderungan nilai VFB semakin meningkat berbanding lurus dengan nilai kadar aspal, atau dengan kata lain nilai VFB akan semakin besar seiring dengan bertambahnya kadar aspal.

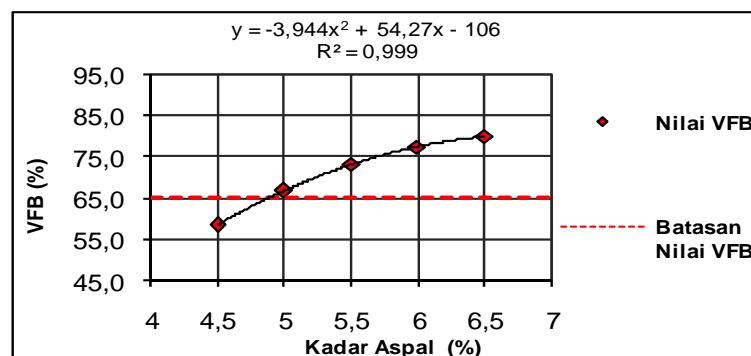
Dari hasil pengujian pada penelitian ini diperoleh nilai VFB terhadap masing-masing kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut ini

Tabel 4.23 Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan VFB

Kadar Aspal (%)	VFB (%)
4,5	58,34
5,0	66,75
5,5	73,31
6,0	77,48
6,5	80,18

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan Tabel 4.23 di atas, maka akan diperoleh grafik yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal dengan VFB adalah sebagai berikut.



Gambar 4.7: Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan VFB

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Dalam hasil penelitian dapat diperoleh beberapa nilai *VFB* yang memenuhi syarat. Dari tabel 4.23 dan Gambar 4.7 juga terlihat bahwa nilai *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 persentase kadar aspal semakin banyak rongga yang terisi oleh aspal sehingga presentase aspal dalam rongga menjadi naik. Pada kadar aspal 4,5% tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yakni minimum 6,5% sedangkan pada kadar aspal 5,0% sampai 6,5% memenuhi syarat spesifikasi.

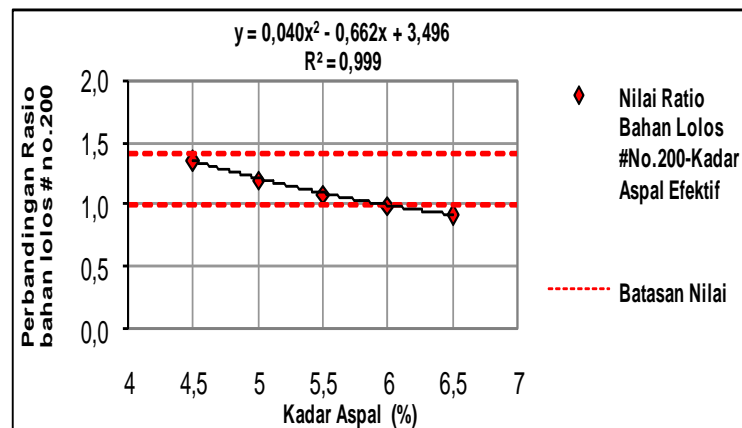
4.3.9 Hubungan Rasio partikel Bahan Lolos # no. 200 dan Kadar Aspal.

Rasio Partikel bahan lolos #no.200 adalah perbandingan antara bahan lolos #no. 200 dengan kadar aspal efektif.

Tabel 4.24 Hubungan Antara Rasio partikel Bahan Lolos # no. 200 dan Kadar Aspal.

Kadar Aspal (%)	Rasio Partikel (%)
4,5	1,34
5,0	1,20
5,5	1,09
6,0	0,99
6,5	0,91

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.8: Hubungan Antara Rasio partikel Bahan Lolos # no. 200 dan Kadar Aspal

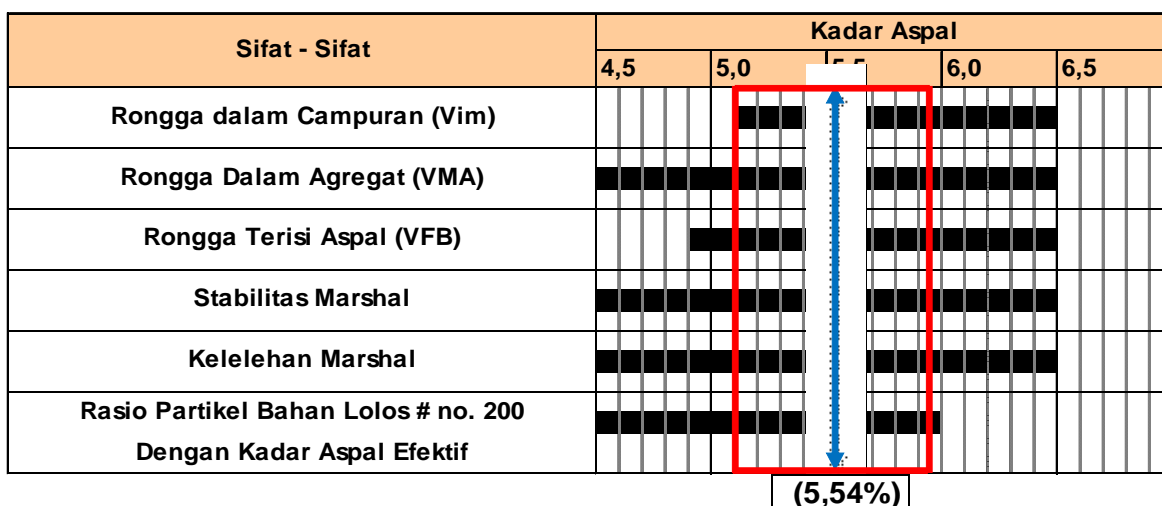
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Dari tabel 4.24 dan Gambar 4.8 bahwa semakin besar nilai Partikel Bahan Lolos # no. 200 berarti campuran semakin kaku, sebaliknya jika semakin kecil nilai Partikel Bahan Lolos # no. 200 maka campuran semakin lentur. Dari grafik-grafik diatas juga terlihat bahwa pada semua kadar aspal mulai dari 4,5% sampai pada 6,0% memenuhi spesifikasi Bina Marga

2010 revisi 3 sedangkan pada kadar aspal 6,5 tidak memenuhi yang disyaratkan yakni (minimum 1 maksimum 1,4).

4.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Pada Filler Semen Tonasa

Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi campuran. Kadar aspal optimum yang dicapai sebesar (*Filler Semen Tonasa 5,54 %*), sudah memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan oleh spesifikasi Bina Marga yaitu menyangkut stabilitas, *flow*, *VIM*, *VMA*, *VFB* dan Rasio partikel bahan lolos #200 dengan Kadar aspal efektif. Kadar aspal optimum dapat ditentukan dengan membuat diagram batang berdasarkan nilai hasil pengujian di atas terhadap seluruh parameter *Marshall*, dengan menentukan bahwa kadar aspal optimum berada pada titik tengah dari rentang kadar aspal optimum yang memenuhi persyaratan dan spesifikasi. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 4.9: Diagram batang kadar aspal optimum untuk *filler* (Semen dan Kapur)
Sumber : Hasil perhitungan laboratorium 2019

Keterangan :

- = Kadar aspal optimum (KAO)
- = Parameter *Marshall* (yang memenuhi)
- = Parameter *Marshall* (yang tidak memenuhi)

Pada diagram di atas nilai kadar aspal minimum yang memenuhi spesifikasi adalah 5.1%, sedangkan nilai kadar aspal maksimumnya adalah 5.95%. Sehingga diperoleh nilai tengah dari kedua kadar aspal tersebut dengan rumus : $\frac{a+b}{2} = \frac{5.1\% + 5.95\%}{2} = 5.54\%$, yang merupakan kadar aspal optimum.

4.5 Marshall Test

4.5.1 Rancangan Campuran pada KAO Menggunakan *Filler* Kapur Padam.

Kadar aspal optimum untuk campuran Laston adalah 5,54%. Berdasarkan kadar aspal optimum di atas maka dilanjutkan dengan mengganti penggunaan *Filler* semen dengan kapur padam. Perhitungan komposisi campuran beraspal atau beton aspal padat di laboratorium :

Tabel 4.25 Perhitungan Rancangan Campuran *Filler* Kapur Padam

KOMPONEN	PROPORSI (Kapur Padam)	Berat Timbangan (Gr)
Batu Pecah $\frac{3}{4}$	7,557	90,68
Batu Pecah $\frac{1}{2}$	28,339	340,06
Abu Batu	47,231	566,77
Pasir Alam	9,446	113,35
Kapur Padam	1,889	22,67
Kadar Aspal Total (%)	5,54	66,46
Total Agg Camp.(%)	100	1133,54
Total Campuran (%)		1.200

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Untuk setiap variasi kadar aspal dibuat 2 (dua) contoh benda uji sehingga jumlah benda uji pada kadar aspal optimum dalam penelitian ini berjumlah 2 (Dua) benda uji.

4.5.2 Test Marshall Untuk (*Filler* Kapur Padam)

Pengujian Marshall pada KAO (5,54%) dan hubungan parameter sifat *Marshall* terhadap *Filler* Kapur Padam. Rekap hasil pengujian marshall untuk *Filler* kapur dapat dilihat pada Tabel 4.25 di bawah ini.

Tabel 4.26 Rekap Hasil Pengujian Test Marshall Laston (*AC-WC*) *Filler* Kapur Padam

KadarAspal (%)	BendaUji <i>Marshall</i>	Parameter – ParameterMarshall					
		<i>VIM</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>VFB</i> (%)	Stabilitas (Kg)	<i>Flow</i> (mm)	Rasio Partikel
Spesifikasi		Min 3-max 5	Min14	Min65	Min 800	Min2- max4	Min1-max 1,4
5,54 %	1	3,95	15,08	73,83	845,2	4,40	1,15
	2	3,89	15,03	74,13	1.073,4	3,38	1,15
Rata-Rata		3,92	15,06	73,98	959,3	3,89	1,15

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

4.5.3 Hubungan Antara Stabilitas dan Kadar Aspal *filler* (Kapur Padam)

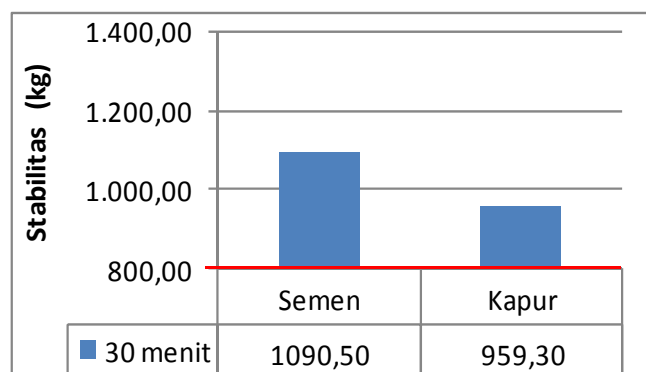
Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Dalam pengujian *Marshall*, pemeriksaan stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban. Kadar aspal berpengaruh pada stabilitas apabila kadar aspal sangat kecil maka tebal lapisan aspal (*film*) sangat tipis sehingga ikatan antar agregat kurang mengikat, apabila diberikan beban maka sebelum mencapai pembebanan maksimum ikatan antar agregat tersebut akan terlepas. Apabila kadar aspal sangat besar, maka lapisan aspal (*film*) sangat tebal sehingga apabila diberikan beban maka akan menyebabkan lapisan aspal tersebut meleleh dan nilai stabilitas akan berkurang. Apabila kadar aspal mencapai nilai optimum maka ikatan antar agregat cukup merata, sehingga dapat mencapai beban maksimum. Stabilitas (Ketahanan) akan meningkat jika kadar *Filler* bertambah, sampai mencapai nilai maksimum, dan setelah itu stabilitas akan menurun.

Tabel 4.27 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas Untuk *Filler* Semen dan Kapur

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	
	Semen	Kapur
5.55	1090,50	959,30

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan tabel 4.27 dapat dilihat nilai antara Kadar Aspal dan Stabilitas untuk *Filler* Semen Tonasa dan Kapur Padam.



Gambar 4.10: Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas Untuk *Filler* Semen dan Kapur

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium 2019

Dari tabel 4.27 dan gambar 4.10 hasil pengujian kadar aspal dengan menggunakan dua variasi *Filler* semen tonasa dan filler kapur padam pada tabel 4.27 dan gambar 4.10, terlihat nilai stabilitas dengan menggunakan *Filler* kapur padam lebih kecil yaitu 959,30 kg, sedangkan untuk *Filler* semen tonasa nilai stabilitasnya adalah 1090,50 kg. Hal ini menjelaskan bahwa dengan menggunakan kadar aspal yang sama dalam campuran tetapi

ada perbedaan antara jumlah nilai stabilitas *Filler* semen tonasa dan *Filler* kapur pabam hal ini terjadi karena perbedaan jumlah volume butiran, dengan bertambahnya jumlah volume butiran ini, menunjukkan semakin banyak butiran yang digunakan maka semakin banyak pula luas permukaan butiran yang akan diselimuti oleh aspal, semakin luas permukaan maka aspal yang dibutuhkan semakin banyak.

Berdasarkan grafik batang hubungan antara stabilitas dengan variasi *Filler* semen tonasa dan *Filler* kapur padam dapat disimpulkan bahwa volume *Filler* semen lebih besar dari volume *Filler* kapur padam maka *Filler* kapur padam volume ruang yang dibutuhkan semakin besar, maka dari itu luas permukaannya juga semakin besar dan aspal yang dibutuhkan lebih tipis karena *Filler* semen mampu mengisi setiap rongga-rongga yang ada di dalam campuran dan mampu menahan beban yang melewatinya karena aspal yang dibutuhkan pas dan tidak lebih

Untuk *Filler* kapur padam volumenya lebih rendah dikarenakan luas permukaan lebih sedikit dan selimut aspal lebih tebal oleh karena itu *Filler* kapur padam lebih sedikit untuk mengisi rongga yang ada di dalam campuran karena rongga-rongga yang ada di dalam campuran lebih banyak terisi oleh aspal lebih tebal aspal maka daya ikat untuk campran akan berkurang apabila ada pembebanaan maka akan terjadi pergesekan apabila ada beban yang melewatinya.

4.5.4 Hubungan Antara Kelelehan (Flow) dan Kadar Filler.

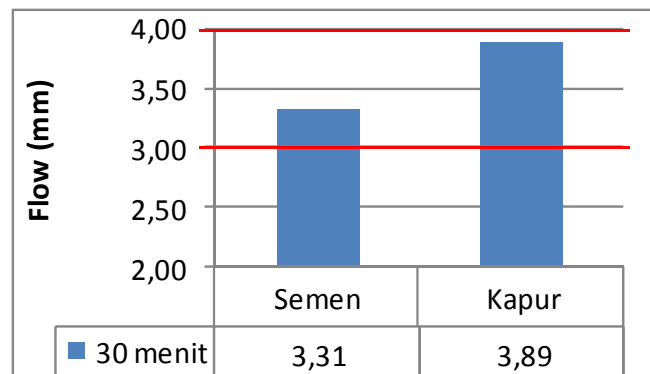
Nilai *flow* menyatakan keadaan perubahan bentuk pada suatu campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban. Suatu campuran dengan *flow* tinggi akan cenderung lenbek sehinggakan akan menyebabkan deformasi permanen apabila menerima beban. Sebaliknya jika nilai *flow* rendah maka campuran menjadi kaku dan mudah retak jika menerima beban yang mempengaruhi daya dukungnya.

Tabel 4. 28 Hubungan Antara Nilai kelelehan (*Flow*) dengan *Filler* Semen Tonasa dan Kapur Padam pada KAO

Kadar Aspal (%)	Kelelehan	
	Semen	Kapur
5.55	3,31	3,89

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan tabel 4.28 dapat dilihat nilai antara Kadar Aspal dan Kelehan untuk *Filler* Semen Tonasa dan Kapur Padam



Gambar 4.11: Hubungan Nilai kelelahan (*Flow*) dengan *Filler* Semen Tonasa dan Kapur Padam pada KAO

Sumber : Hasil perhitungan Laboratorium 2019

Dari gambar 4.11 menunjukkan bahwa penambahan *filler* semen tonasa ke dalam campuran dengan menyebabkan nilai *flow* menurun seiring kenaikan pemakaian *filler* kapur padam. Hal ini disebabkan pada saat pencampuran tidak terjadi perubahan jumlah volume butiran *Filler* semen tonasa dan *Filler* Kapur padam, tetapi terjadi perubahan jumlah berat. Dengan bertambahnya jumlah volume butiran, menunjukkan semakin banyak butiran yang digunakan, maka semakin banyak pula luas permukaan butiran yang akan diselimuti oleh aspal, dengan menggunakan kadar aspal yang tetap, Dari grafik digambarkan bahwa nilai *flow filler* kapur padam lebih besar, karena aspal yang menyelimuti *filler* kapur padam lebih tebal, maka dari itu daya ikat antara campuran akan berkurang dan mudah mengalami perubahan bentuk dan cenderung lembek karena rongga-rongga yang ada lebih banyak diisi oleh aspal sehingga menyebabkan deformasi permanen apabila menerima beban tetapi dalam hasil uji *filler* kapur padam bisa digunakan karena nilai *flow* untuk *filler* Abu batu memenuhi spesifikasi yaitu 3,89 mm.

Untuk *filler* semen tonasa nilai *flow* menurun dikarenakan aspal yang menyelimuti *filler* semen tonasa lebih tipis karena rongga-rongga yang ada di dalam campuran diisi oleh Aspal dan *filler* semen tonasa sehingga rongga-rongga yang ada berkurang, maka campuran akan menjadi kaku dan retak apabila menerima beban tetapi dalam hasil uji *filler* semen tonasa digunakan karena nilai *flow* untuk *filler* semen tonasa memenuhi spesifikasi yaitu 3,31 mm.

4.5.5 Hubungan Antara Void in Mix (VIM) dan Kadar Filler.

VIM (Void In Mixture) merupakan persentase rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah dilakukan pemadatan. VIM atau rongga dalam campuran adalah

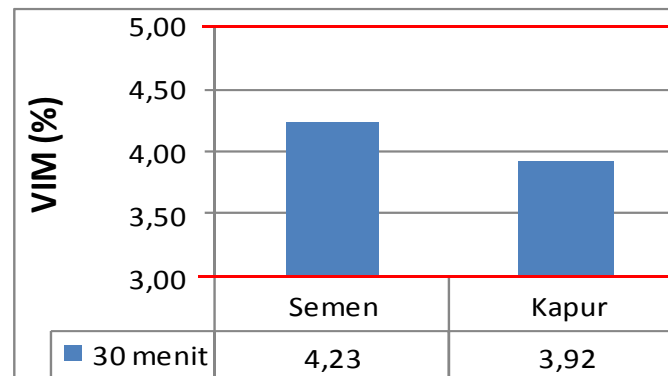
parameter yang biasanya berkaitan dengan durabilitas dan kekuatan dari campuran. Semakin kecil nilai VIM, maka akan bersifat kedap air. Namun nilai VIM yang terlalu kecil dapat mengakibatkan keluarnya aspal ke permukaan.

Tabel 4.29 Hubungan Antara Nilai VIM dengan *Filler* Semen Tonasa dan Kapur Padam pada KAO

Kadar Aspal (%)	Void in Mix (VIM) %	
	Semen	Kapur
5.55	4,23	3,92

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan tabel 4.29 dapat dilihat nilai antara kadar aspal dan VIM untuk *Filler* semen dan kapur padam



Gambar 4.12: Grafik Hubungan Nilai VIM dengan *Filler* Semen Tonasa dan Kapur Padam pada KAO

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium 2019

Grafik nilai VIM campuran AC–WC untuk *filler* kapur padam pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.12. Dari gambar menunjukkan bahwa penambahan *filler* kapur padam ke dalam campuran menyebabkan nilai VIM mengalami penurunan seiring bertambahnya *filler* kapur padam. Hal ini disebabkan karena dari hasil pengujian berat jenis *filler* kapur padam dan berat jenis *filler* semen tonasa, menunjukkan bahwa *filler* kapur padam memiliki nilai berat jenis lebih rendah dari *filler* semen tonasa, hal ini akan menyebabkan secara volume *filler* kapur padam lebih banyak dari pada *filler* semen tonasa pada jumlah berat yang sama. Perubahan nilai berat jenis *filler* kapur padam membuat rongga udara yang ada semakin sedikit karena rongga udara yang ada terisi penuh oleh *filler* kapur padam sehingga rongga udara akan jadi berkurang. Berbeda dengan *filler* semen tonasa, karena *filler* semen tonasa aspal yang menyelimuti campuran lebih tebal yang membuat rongga udara yang ada jadi berkurang, karena setiap rongga terisi oleh aspal.

Nilai VIM yang diperoleh pada campuran AC–WC yang menggunakan *filler* kapur padam 1,889% sebesar 3,92%, dan *filler* abu semen tonasa 2,00% sebesar 4,23%.

4.5.6 Hubungan Antara Void in the Mineral Aggregate (VMA) dan Kadar *Filler*.

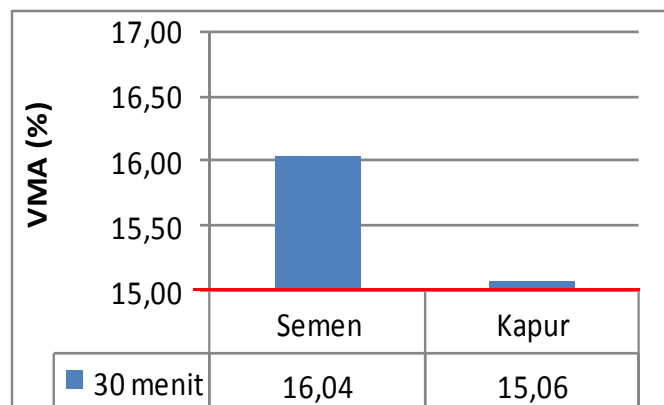
VMA adalah persentase rongga antara butir agregat, termasuk di dalamnya adalah rongga yang terisi udara dan rongga terisi aspal efektif. Nilai VMA yang terlalu kecil dapat menyebabkan campuran beraspal yang menyelimuti agregat menjadi tipis dan mudah teroksidasi / pelepasan, akan tetapi bila kadar aspalnya terlalu banyak akan menyebabkan permukaan beton aspal menjadi tidak rata. Nilai minimum rongga dalam mineral agregat adalah untuk menghindari banyaknya rongga udara yang menyebabkan material menjadi berpori. Rongga pori dalam agregat tergantung pada ukuran butir susunan, bentuk dan metode pemadatan.

Tabel 4.30 Hubungan Antara Nilai VMA dengan *Filler* Semen Tonasa dan Kapur Padam pada KAO

Kadar Aspal (%)	VMA %	
	Semen	Kapur
5.55	16,04	15,06

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan Tabel 4.30 di atas, dapat dilihat nilai antara kadar aspal dan VMA untuk *Filler* semen dan kapur padam



Gambar 4.13: Hubungan Nilai VMA dengan *Filler* Semen Tonasa dan Kapur Padam pada KAO

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium 2019

Dari gambar 4.13 hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VMA terhadap *filler* kapur padam kadar aspal optimum cenderung mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar *filler* kapur padam. Hal ini disebabkan karena dari hasil pengujian berat

jenis *filler* kapur padam dan berat jenis *filler* semen tonasa. Menunjukkan bahwa *filler* kapur padam memiliki nilai berat jenis lebih rendah dari *filler* semen tonasa, hal ini akan menyebabkan secara volume kapur padam lebih banyak daripada *filler* semen pada jumlah berat yang sama.

Penambahan *filler* kapur padam membuat ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran semakin sedikit karena rongga udara yang ada diisi oleh *filler* kapur padam dan aspal yang di selimuti lebih sedikit.

Untuk Penambahan *filler* semen tonasa membuat ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran semakin besar karena rongga udara yang ada terisi oleh Aspal yang lebih tebal akan menyebabkan permukaan beton aspal menjadi tidak rata.

Adapun nilai VMA yang diperoleh pada campuran AC–WC yang menggunakan *filler* semen tonasa 2,00% sebesar 16,04 %, dan *filler* kapur padam 1,889% sebesar 16,06%.

4.5.7 Hubungan Antara Void Filled with Bitumen (VFB) dan Kadar *Filler*.

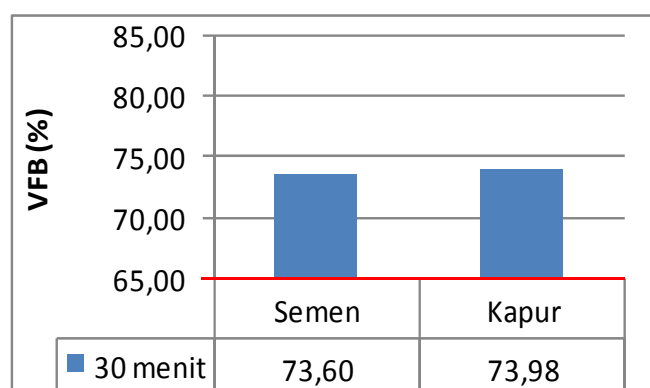
Lengkung *VFA* akan bertambah dengan bertambahnya kadar *Filler*, karena dalam hal ini *VMA* makin banyak terisi oleh *Filler*.

Tabel 4.31 Hubungan Nilai VFB dengan *Filler* Semen Tonasa dan Kapur Padam pada KAO

Kadar Aspal (%)	VFB %	
	Semen	Kapur
5.55	73,60	73,98

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan Tabel 4.31 di atas dapat dilihat Kadar Aspal dan nilai VFB untuk *Filler* semen dan kapur padam



Gambar 4.14: Hubungan Nilai VFB dengan *filler* Semen Tonasa dan Kapur Padam pada KAO

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium 2019

Dari grafik 4.14 dan tabel 4.31 juga terlihat bahwa nilai *VFB* pada kadar *Filler* (Semen) dan (Kapur Padam) memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yakni batas minimum 65 %. Untuk *Filler* semen yaitu 73,60 % dan *Filler* kapur padam yaitu 73,98 %, menunjukkan bahwa penambahan *Filler* semen tonasa dan kapur padam ke dalam campuran cenderung menyebabkan nilai *VFB* meningkat, terutama pada *Filler* kapur padam. Hal ini disebabkan karena *Filler* kapur padam membuat rongga yang tersedia semakin kecil dan kebutuhan rongga terisi aspal juga semakin sedikit.

4.5.8 Hubungan Rasio partikel Bahan Lolos # no. 200 dan Kadar *Filler*.

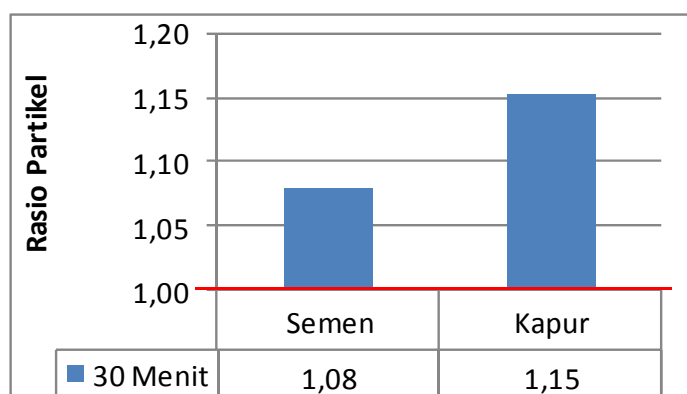
Rasio Partikel bahan lolos #no.200 adalah perbandingan antara bahan lolos #no. 200 dengan kadar *Filler* efektif.

Tabel 4.32 Hubungan Rasio Partikel dengan *filler* Semen Tonasa dan Kapur Padam pada KAO

Kadar Aspal (%)	VFB %	
	Semen	Kapur
5.55	1,08	1,15

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan Tabel 4.32 di atas, dapat dilihat nilai antara kadar aspal dan Rasio Partikel untuk *Filler* semen dan kapur padam



Gambar 4.15: Hubungan Rasio Partikel dengan *filler* Semen Tonasa dan Kapur Padam pada KAO
Sumber : Hasil perhitungan laboratorium 2019

Dari tabel 4.32 dan gambar grafik 4.15 bahwa Pada kadar *Filler* (Semen) sampai *Filler* (Kapur Padam) memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yang disyaratkan yakni minimum 1 dan maksimum 1,4. Untuk *Filler* semen yaitu 1,08% dan untuk filler kapur padam yaitu 1,15%. Perubahan nilai perbandingan rasio bahan lolos # 200 pada kadar *Filler* semen tonasa mengalami penurunan sedangkan pada *Filler* kapur padam mengalami kenaikan.

Penurunan tersebut disebabkan perbandingan antara bahan lolos #no. 200 dengan kadar *aspal* efektif. Dapat diartikan pula bahwa nilai perbandingan rasio bahan lolos # 200 sangat dipengaruhi oleh kadar *aspal* efektif.

Dari hasil penelitian (*Filler Kapur Padam*) ini dapat dilihat pada tabel 4.33 di bawah ini :

Tabel 4.33 Rekapitulasi Hasil Penelitian (*Filler Kapur Padam*)

NO	KOMPONEN	SATUAN	PROPORSI	SPESIFIKASI	KETERANGAN
1.	Batu Pecah 3/4"	%	7,557	-	Tidak disyaratkan
2.	Batu Pecah 1/2"	%	28,339	-	Tidak disyaratkan
3.	Abu Batu	%	47,231	-	Tidak disyaratkan
4.	Pasir	%	9,446	maks. 15	Memenuhi
5.	Filler (Kapur Padam)	%	1,889	maks. 2.0	Memenuhi

NO	SIFAT-SIFAT	SATUAN	HASIL	SPESIFIKASI	KETERANGAN
1	Kadar Aspal Total	%	5,54	-	Tidak disyaratkan
2	Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)	-	2,396	-	Tidak disyaratkan
3	Berat Jenis Aspal	-	1,030	-	Tidak disyaratkan
4	Berat Jenis Bulk Agregat	-	2,560	-	Tidak disyaratkan
5	Proporsi Agregat	%	94,46	-	Tidak disyaratkan
6	Rasio Partikel Lolos No.200 dengan Kadar Aspal Efektif	%	1,15	1.0 - 1.4	Memenuhi
7	Penyerapan Aspal	%	0,588	Max 1.2	Memenuhi
8	Kadar Aspal Efektif	%	4,950	Min 4,3	Memenuhi
9	Berat Jenis Contoh Camp. Padat (Gmb)	-	2,302	-	Tidak disyaratkan
10	Stabilitas Marshall	Kg	959,30	Min 800	Memenuhi
11	Kelelahan Marshall	mm	3,890	2.0 - 4.0	Memenuhi
12	Rongga dalam Campuran (VIM)	%	3,92	3.0 - 5.0	Memenuhi
13	Rongga dalam Agregat (VMA)	%	15,06	Min 15	Memenuhi
14	Rongga Terisi Aspal (VFB)	%	73,98	Min 65	Memenuhi

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

4.6 Pembahasan

4.6.1 Pengujian keausan agregat untuk mengetahui Sifat dan karakteristik material yang memenuhi spesifikasi.

Gradasi Pemeriksaan		GRADING (B)	
Ukuran Saringan		I	II
Lolos	Tertahan	Berat (a)	Berat (b)
76,2 (3")	63,5 (2 1/2")		
63,5 (2 1/2")	50,8 (2")		
50,8 (2")	36,1 (1 1/2")		
36,1 (1 1/2")	25,4 (1")		
25,4 (1")	19,1 (3/4")		
19,1 (3/4")	12,7 (1/2")	2500	2500
12,7 (1/2")	9,52 (3/8")	2500	2500
9,52 (3/8")	6,35 (1/4")		
6,35 (1/4")	4,75 (No.4)		
4,75 (No.4)	2,36 (No.8)		
Jumlah Berat		5000	5000
Berat tertahan saringan No.12 sesudah percobaan (b)		3841,0	3845

Hasil pengujian Keausan Agregat yang terdapat pada Tabel diatas memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yakni maksimum **40%** (SNI 2417-2008), sedangkan nilai keausan agregat kasar dalam pengujian ini adalah **23,14 %**.

4.6.2 Pembahasan Parameter Marshall (Filler Semen Tonasa)

A. Stabilitas (Ketahanan) akan meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai mencapai nilai maksimum, dan setelah itu stabilitas akan menurun. Stabilitas (Ketahanan) adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi alir (*Flow*) yang dinyatakan dalam kilogram. Alir (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban, dinyatakan dalam mm.

Berdasarkan rekapan pada Tabel 4.18 dan Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas semakin meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai nilai tertentu nilai stabilitas akan kembali 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 maka nilai stabilitas akan menurun. Berdasarkan grafik juga dapat disimpulkan bahwa jika kadar aspal kecil atau sedikit maka tebal selimut aspalnya menjadi tipis hal ini akan menyebabkan kurangnya ikatan yang terjadi antar agregat sehingga jika dikenai beban maka ikatan antara agregat akan sangat mudah untuk terlepas. Jika kadar aspal besar atau banyak maka

selimut aspalnya menjadi tebal sehingga aspal tidak lagi sebagai pengikat, tetapi bersifat licing apabila dikenai beban lapisan aspal tersebut akan terjadi perubahan dan mudah menggeser. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pada kondisi kadar aspal yang sedikit maupun banyak, nilai stabilitas yang terjadi adalah rendah. Namun jika kadar aspal mencapai nilai tertentu maka akan terjadi pengikatan yang baik antar agregat dengan aspal sehingga menghasilkan nilai stabilitas yang maksimum.

B. Pada Tabel Kepadatan 4.19 dan grafik 4.3 terlihat bahwa semakin besar kadar aspal maka semakin besar nilai kepadatan yang terjadi namun setelah melewati batas kadar aspal optimum maka kepadatan akan menurun. Hal ini karena dengan bertambahnya kadar aspal rongga - rongga udara yang ada terisi aspal, sehingga aspal yang ada sudah tidak bisa mengisi rongga lagi serta membuat selimut aspal menjadi tebal dan menyebabkan kepadatan menurun.

C. Kelelahan atau *Flow* akan terus meningkat dengan meningkatnya kadar aspal. Ketahanan terhadap *Flow* adalah kemampuan aspal beton menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan berubah bentuk. Nilai *Flow* menunjukkan besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran akibat adanya beban yang bekerja sampai batas keruntuhan.

Hasil Tabel 4.20, dan 4.28, Menghasilkan Gambar 4.4, dan 4.11, dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai *flow* akan semakin tinggi pula. Hal ini disebabkan karena persentasi kadar aspal bertambah mengakibatkan aspal tidak lagi mengikat agregat dengan baik sehingga daya ikat aspal melemah atau berubah bentuk saat di panaskan pada suhu tertentu dan diberikan beban. Pada kadar aspal yang tinggi suatu campuran aspal akan mudah mengalami perubahan bentuk atau mudah terlepas dibandingkan dengan campuran yang kadar aspal rendah apabila dikenakan beban yang sama.

D. Lengkung *VIM* akan terus menurun dengan bertambahnya kadar aspal sampai secara ultimit mencapai nilai minimum. *Void in Mix (VIM)* adalah volume rongga atau pori yang masih tersisa yang terdapat di antara butir-butir agregat terselimuti aspal setelah campuran beton aspal dipadatkan.

Hasil Tabel 4.21 dan Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya kadar aspal maka rongga udara dalam campuran padat akan semakin kecil karena semakin tinggi kadar aspal rongga udara dalam campuran terisi aspal, sedangkan semakin kecil kadar aspal maka nilai rongga udara dalam campuran padat akan semakin besar karena aspal yang dipakai semakin sedikit menyebabkan rongga dalam campuran tidak terisi aspal semua. *VIM* yang terlalu besar akan menyebabkan aspal padat berkurang kekedapan airnya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaan

aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal, sedangkan bila *VIM* kecil dan kadar aspal tinggi akan menyebabkan lapisan aspal berubah bentuk pada saat pemadatan.

E. Lengkung *VMA* akan turun sampai mencapai nilai minimum dan kemudian kembali bertambah dengan bertambahnya kadar aspal. *Void in the Mineral Aggregate (VMA)* adalah volume pori dalam beton aspal padat.

Dari tabel 4.22 dan Gambar 4.6 dapat terlihat bahwa nilai *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 diantara agregat sehingga dengan sendirinya *VMA* akan semakin kecil. Dari tabel dan Gambar juga dapat dilihat bahwa dari kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%, mengalami kenaikan, mengindikasikan rongga diantara partikel agregat dapat menampung jumlah kadar aspal yang semakin bertambah sehingga kerapatan diantara butiran agregat lebih bagus atau memenuhi standar yang di tentukan spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 minimum 14 %.

F. Lengkung *VFA* akan bertambah dengan bertambahnya kadar aspal, karena dalam hal ini *VMA* makin banyak terisi oleh aspal.

Dari hasil tabel 4.23 dan Gambar 4.7 terlihat bahwa kecenderungan nilai *VFB* semakin meningkat berbanding lurus dengan nilai kadar aspal, atau dengan kata lain nilai *VFB* akan semakin besar sering dengan bertambahnya kadar aspal. Hubungan kadar aspal terhadap *VFB* memiliki batas minimum 65%. Dalam hasil penelitian dapat diperoleh beberapa nilai *VFB* yang memenuhi syarat. Dari hasil tabel 4.23 dan Gambar 4.7 juga terlihat bahwa nilai *VFB* pada kadar aspal 4,5% tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yakni minimum 65 % sedangkan pada kadar aspal 5,0% 5,5 %, 6,0 %, 6,5 %, memenuhi syarat spesifikasi yakni minimum 65 %.

G. Perbandingan antara rasio partikel bahan lolos #no. 200 dengan kadar aspal efektif adalah perbandingan persentasi jumlah bahan lolos saringan no.200 yang diperlukan terhadap total campuran dengan persentasi aspal (bitumen) efektif pada campuran.

Berdasarkan rekapan pada tabel 4.24 dan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa nilai rasio partikel bahan lolos #no. 200 semakin menurun jika kadar aspal bertambah mulai dari 4,5% sampai 5,0% karena semakin bertambah persentase kadar aspal, *filler* yang digunakan semakin sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa persentasi kadar aspal bertambah maka *filler* yang digunakan semakin berkurang karena digantikan oleh aspal untuk mengisi rongga antara agregat kasar dan agregat halus. pada tabel 4.24 dan Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa pada kadar aspal (4,5% sampai 6,0%), kadar aspall (5,0% sapai 6,5%), dan pada kadar aspal (4,5% sampai 6,0%), memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yang

disyaratkan yakni (minimum 1 maksimum 1,4 sedangkan pada kadar aspal (6,5%), (4,5%), dan (6,5%) tidak memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yang disyaratkan yakni minimum 1 maksimum 1,4.

Semakin tinggi kadar aspal maka nilai stabilitas dan nilai kepadatan akan semakin meningkat hingga mencapai batas tertentu, namun setelah melewati batas tertentu maka nilai stabilitas dan nilai kepadatan akan menurun kembali. Semakin tinggi kadar aspal nilai Kelelahan naik dengan bertambahnya persen kadar aspal. Semakin tinggi kadar aspal maka nilai *VMA* dan *VFB* akan semakin tinggi karena rongga-rongga yang ada antara agregat sudah terisi aspal. Sedangkan semakin tinggi kadar aspal maka nilai *VIM* dan Rasio Partikel Bahan Lolos #no. 200 akan semakin rendah karena rongga-rongga yang ada dalam campuran sudah penuh terisi aspal.

4.6.2 Kadar Aspal Optimum (KAO)

Untuk rekapan rancangan campuran (Laston Ac-Wc) pada *filler* semen tonasa dilihat pada tabel 4.34 di bawah ini :

Tabel 4.34 Rekapan Rancangan Campuran (LASTON AC-WC)

NO	KOMPONEN	SATUAN	PROPORSI	SPESIFIKASI	KETERANGAN
1.	Batu Pecah 3/4"	%	7,557	-	Tidak disyaratkan
2.	Batu Pecah 1/2"	%	28,339	-	Tidak disyaratkan
3.	Abu Batu	%	47,231	-	Tidak disyaratkan
4.	Pasir	%	9,446	maks. 15	Memenuhi
5.	Filler (semen)	%	2,00	maks. 2.0	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Perhitungan :

Komposisi Agregat Campuran Total

Batu Pecah 3/4"	= 8,00%
Batu Pecah 1/2"	= 30,00%
Abu Batu	= 50,00%
Pasir Alam	= 10,00%
Semen Tonasa	= 2,00% +
Total Agregat Campuran	= 100%

A. Batu Pecah 3/4"

$$\begin{aligned}
 &= \text{Komposisi Agregat Kasar } 3/4" \times (100 - \text{KAO}) \\
 &= 8,00\% \times (100 - 5,54) \\
 &= \mathbf{7,557\%}
 \end{aligned}$$

B. Batu Pecah ½"

$$\begin{aligned} &= \text{Komposisi Agregat Kasar } \frac{1}{2}'' \times (100 - \text{KAO}) \\ &= 30,00\% \times (100 - 5,64) \\ &= \mathbf{28,339\%} \end{aligned}$$

C. Abu Batu

$$\begin{aligned} &= \text{Komposisi Abu Batu} \times (100 - \text{KAO}) \\ &= 50,00\% \times (100 - 5,54) \\ &= \mathbf{47,231\%} \end{aligned}$$

D. Pasir Alam

$$\begin{aligned} &= \text{Komposisi Pasir Alam} \times (100 - \text{KAO}) \\ &= 10,00\% \times (100 - 5,54) \\ &= \mathbf{9,446\%} \end{aligned}$$

E. Semen Tonasa

$$\begin{aligned} &= \text{Komposisi Semen Tonasa} \times (100 - \text{KAO}) \\ &= 2,00\% \times (100 - 5,54) \\ &= \mathbf{1,889\%} \end{aligned}$$

4.6.3 Rekap Sifat-sifat Campuran (LASTON AC-WC)

Untuk rekap sifat-sifat campuran (Laston Ac-Wc) dilihat pada tabel 4.35 di bawah ini :

Tabel 4.35 Rekap Sifat-sifat Campuran (LASTON AC-WC)

Komponen	Hasil	Satuan	Spesifikasi
Kadar Aspal Optimum	5,54	%	-
Proporsi Agregat	94,46	%	-
Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)	2,390	-	-
Berat jenis contoh campuran Padat (GMB)	2,289	-	-
Berat Jenis Bulk Agregat	2,575	-	-
Stabilitas	1090,50	Kg	Min 800
Kelelahan Marshall (Flow)	3,314	mm	2.0-4.0
Penyerapan Aspal	0,236	%	Max 1.2
Rasio Partikel lolos no.200	1,08	%	1.0-1.4
Kadar Aspal Efektif	5,302	%	Min 4.3
Rongga dalam campuran (VIM)	4,23	%	3.0-5.0
Rongga dalam agregat (VMA)	16,04	%	Min 15
Rongga terisi aspal (VFB)	73,60	%	Min 65

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Perhitungan :

1. Kadar Aspal Total

Hasil Pengujian KAO = **5,54%**

2. Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm)

Hasil Pengujian GMM rata-rata = **2,390**

3. Berat Jenis Aspal

Hasil Pengujian Produksi Pertamina = **1,030**

4. Berat Jenis Bulk Agregat

Tabel 4.36 Berat Jenis Bulk Agregat

KOMPONEN	PROPORSI AGREGAT	BERAT JENIS BULK AGREGAT		BERAT JENIS BULK AGREGAT GABUNGAN
(a) BATU PECAH 3/4"	8,00%	2,561	3,123	
(b) BATU PECAH 1/2"	30,00%	2,613	11,480	
(c) ABU BATU	50,00%	2,548	19,624	
(d) PASIR	10,00%	2,514	3,977	
(d) SEMEN	2,00%	3,150	0,635	
Berat Jenis Agregat	100%		38,84	2,575

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

- a. Batu Pecah 3/4"

$$= (8,00\% / 2,561) \times 100$$

$$= \mathbf{3,123 \text{ gram}}$$

- b. BJ Agregat Rata-rata

$$= 3,123 + 11,480 + 19,624 + 3,977 + 0,635$$

$$= \mathbf{38,84 \text{ gram}}$$

- c. BJ Bulk Agregat Rata-rata

$$= (100\% / 38,84) \times 100$$

$$= \mathbf{2,575 \text{ gram}}$$

5. Proporsi Agregat

$$= 100 - \text{KAO}$$

$$= 100 - 5,54$$

$$= \mathbf{94,46 \%}$$

6. Rasio Partikel Lolos no. 200 Dengan Kadar Aspal Efektif

$$\text{KAO} = 5,54 \%$$

$$\begin{aligned} Y &= 0,04087x^2 - 0,66280x + 3,49646 \\ &= 0,04087 \times (5,54)^2 - 0,66280 \times (5,54) + 3,49646 \\ &= 1,079 \% \end{aligned}$$

7. Penyerapan Aspa

$$\begin{aligned} \text{Gmm rata-rata} &= 2,390 \\ \text{Perkiraan Kadar Aspal (Gmm)} &= 5,53\% \\ \text{BJ Bulk Agregat Rata-rata} &= 2,575 \\ \text{BJ Aspal} &= 1,030 \end{aligned}$$

BJ Agregat *Eff*

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{100}{\text{Gmm}} - \frac{\text{KA Gmm}}{\text{Bj Aspal}} \right) \\ &= \left(\frac{100}{2,390} - \frac{5,53\%}{1,030} \right) \\ &= \mathbf{2,590 \%} \end{aligned}$$

Penyerapan Aspal

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{BJ Agregat Eff} - \text{BJ Bulk Agregat}}{\text{BJ Agregat Eff} \times \text{BJ Bulk Agregat}} \times \text{Bj Aspal} \\ &= \frac{2,590 - 2,575}{2,590 \times 2,575} \times 1,030 \\ &= \mathbf{0,232 \%} \end{aligned}$$

8. Kadar Aspal Efektif

$$\begin{aligned} &= \text{Kadar Aspal Total} - \text{Penyerapan Aspal} \\ &= 5,54 \% - 0,232 \% \\ &= \mathbf{5,308 \%} \end{aligned}$$

9. Berat Jenis Contoh Camp. Padat (Gmb)

$$\begin{aligned} \text{KAO} &= 5,54 \\ Y &= -0,01909x^2 + 0,21688x + 1,67294 \\ &= -0,01909 \times (5,54)^2 + 0,21688 \times 5,54 + 1,67294 \\ &= \mathbf{2,289} \end{aligned}$$

10. Stabilitas Marshall

$$\begin{aligned} \text{KAO} &= 5,54 \\ Y &= -140,37565x^2 + 1.539,38208x - 3.129,35300 \\ &= -140,37565 \times (5,54)^2 + 1.539,38208 \times 5,54 - 3.129,35300 \\ &= \mathbf{1.090,47 \text{ Kg}} \end{aligned}$$

11. Kelelehan Marshall

$$\begin{aligned} \text{KAO} &= 5,54 \\ Y &= 0,13857x^2 - 1,06529x + 4,96400 \\ &= 0,13857 \times (5,54)^2 - 1,06529 \times 5,54 + 4,96400 \\ &= \mathbf{3,315 \text{ mm}} \end{aligned}$$

12. Rongga dalam Campuran (VIM)

$$\begin{aligned} \text{KAO} &= 5,54 \\ Y &= 0,79407x^2 - 10,35064x + 37,19747 \\ &= 0,79407x^2 (5,54)^2 - 10,35064 \times 5,54 + 37,19747 \\ &= \mathbf{4,226 \%} \end{aligned}$$

13. Rongga dalam Agregat (VMA)

$$\begin{aligned} \text{KAO} &= 5,54 \\ Y &= 0,70375x^2 - 7,11082x + 33,83364 \\ &= 0,70375 \times (5,54)^2 - 7,11082 \times 5,54 + 33,83364 \\ &= \mathbf{17,686\%} \end{aligned}$$

14. Rongga Terisi Aspal (VFB)

$$\begin{aligned} \text{KAO} &= 5,54 \\ Y &= -3,94451x^2 + 54,27348x - 105,99768 \\ &= -3,94451 \times (5,54)^2 + 54,27348 \times 5,54 - 105,99768 \\ &= \mathbf{285,61 \%}. \end{aligned}$$

4.6.4 Pembahasan Parameter Marshall (Filler Kapur Padam)

- A. Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Dalam pengujian *Marshall*, pemeriksaan stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban. Kadar aspal berpengaruh pada stabilitas apabila kadar aspal sangat kecil maka tebal lapisan aspal (*film*) sangat tipis sehingga ikatan antar agregat kurang mengikat, apabila diberikan beban maka sebelum mencapai pembebanan maksimum ikatan antar agregat tersebut akan terlepas.

Dari hasil pengujian stabilitas dengan variasi filler semen tonasa dan filler kapur padam pada tabel 4.27 dan grafik 4.10, terlihat nilai stabilitas mengalami penurunan pada variasi filler kapur padam yaitu 959,30 kg, Hal ini disebabkan karena pada saat pencampuran terjadi perubahan jumlah volume butiran, sedangkan untuk filler semen tonasa nilai stabilitasnya adalah 1090,50 kg. Dengan bertambahnya jumlah volume butiran ini, menunjukkan semakin banyak butiran yang digunakan maka semakin banyak pula luas permukaan butiran yang akan diselimuti aspal.

- B. Nilai *flow* menyatakan keadaan perubahan bentuk suatu campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban. Suatu campuran dengan nilai *flow* tinggi akan cenderung lembek sehingga akan menyebabkan deformasi permanen apabila menerima beban. Sebaliknya jika nilai *flow* rendah maka campuran menjadi kaku dan mudah retak jika menerima beban yang mempengaruhi daya dukungnya.

Dari tabel 4.28 dan grafik 4.11 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan *Filler* Kapur padam maka nilai *flow* mengalami peningkatan, untuk nilai *flow* semen 3,31 mm dan untuk kapur padam yaitu 3,89 mm. Hal ini disebabkan karena pada saat pencampuran terjadi perbedaan volume butiran antara filler semen tonasa dan kapur padam. Dengan perbedaan volume butiran ini menunjukkan semakin banyak butiran yang digunakan, maka semakin banyak pula luas permukaan butiran yang akan diselimuti oleh aspal dan membuat rongga menjadi kecil. Dengan menggunakan kadar aspal yang tetap, maka tidak terjadi penambahan aspal pada setiap variasi sehingga membuat aspal yang menyelimuti butiran semakin sedikit.

- C. VMA adalah persentase rongga antar butir agregat, termasuk di dalamnya adalah rongga yang terisi udara dan rongga terisi aspal efektif. Nilai VMA yang terlalu kecil dapat menyebabkan campuran beraspal yang menyelimuti agregat menjadi tipis dan mudah teroksidasi, akan tetapi bila kadar aspalnya terlalu banyak akan menyebabkan permukaan beton aspal menjadi tidak rata. Nilai minimum rongga dalam mineral agregat adalah untuk menghindari banyaknya rongga udara yang menyebabkan material menjadi berpori. Rongga pori dalam agregat tergantung pada ukuran butir, susunan, bentuk dan metode pemadatan.

Dari tabel 4.30 dan dan grafik 4.12 juga dapat dilihat bahwa *filler* (semen tonasa) mengalami kenaikan yaitu 16,04% dan kembali mengalami penurunan pada *filler* (kapur padam) yaitu 15,06 %. Hal ini disebabkan karena dari hasil pengujian filler kapur padam dan filler semen tonasa, menunjukkan bahwa filler kapur padam memiliki nilai berat jenis lebih rendah dari filler semen tonasa, hal ini akan menyebabkan secara volumetrik filler semen tonasa lebih sedikit dari pada filler

kapur padam pada jumlah berat yang sama sehingga rongga antar butir agregat menjadi kecil.

- D. VFB merupakan volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal. Nilai VFB memperlihatkan persentase rongga terisi aspal. Apabila VFB besar maka rongga yang terisi aspal sehingga kedap terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi. Hal ini disebabkan aspal yang berjumlah besar apabila menerima beban dan panas akan mencari rongga yang kosong. Jika rongga yang tersedia sedikit dan semua telah terisi, aspal akan naik kepermukaan yang kemudian terjadi bleeding. VFB ini berfungsi untuk menjaga keawetan campuran beraspal dengan memberi batasan yang cukup. VFB, VMA dan VIM saling berhubungan karena itu bila dua di antaranya diketahui maka dapat mengevaluasi yang lainnya. Kriteria VFB membantu perencanaan campuran dengan memberikan VMA yang dapat diterima. Pengaruh utama kriteria VFB adalah membatasi VMA maksimum dan kadar aspal maksimum. VFB juga dapat membatasi kadar rongga campuran yang diijinkan yang memenuhi kriteria VMA minimum.

Dari grafik 4.13 dan tabel 4.31 juga terlihat bahwa nilai *VFB* pada *filler* (Semen) dan (Kapur Padam) memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yakni batas minimum 65 %. Untuk *Filler* semen yaitu 73,60 % dan *Filler* kapur padam yaitu 73,98 %, menunjukkan bahwa perbandingan *filler* semen tonasa dan kapur padam ke dalam campuran cenderung menyebabkan nilai *VFB* meningkat, terutama pada *filler* kapur padam. Hal ini disebabkan karena *filler* kapur padam membuat rongga yang tersedia semakin kecil dan kebutuhan rongga terisi aspal juga semakin besar.

- E. Rasio Partikel bahan lolos #no.200 adalah perbandingan antara bahan lolos #no. 200 dengan kadar *filler* efektif.

Dari tabel 4.32 dan gambar grafik 4.14 bahwa Pada kadar *filler* (Semen) sampai *Filler* (Kapur Padam) memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yang disyaratkan yakni minimum 1 dan maksimum 1,4. Untuk *filler* semen yaitu 1,08% dan untuk *filler* kapur padam yaitu 1,15%. Perubahan nilai perbandingan rasio bahan lolos # 200 pada kadar *filler* semen tonasa mengalami penurunan sedangkan pada *filler* kapur padam mengalami kenaikan. Penurunan tersebut disebabkan perbandingan antara bahan lolos #no. 200 dengan kadar *aspal* efektif. Dapat diartikan pula bahwa nilai perbandingan rasio bahan lolos # 200 sangat dipengaruhi oleh kadar aspal efektif.

4.6.5 Rekapitan Rancangan Campuran (Laston AC - WC) Filler Kapur Padam

Untuk rekapitan rancangan campuran (Laston Ac-Wc) pada *filler* Kapur Padam dilihat pada tabel 4.37 di bawah ini :

Tabel 4.37 Rekapitan Rancangan Campuran (LASTON AC-WC)

Komponen	SATUAN	Proporsi	Spesifikasi	Spesifikasi
Batu Pecah 3/4"	%	7,557	-	Tidak disyaratkan
Batu Pecah 1/2"	%	28,339	-	Tidak disyaratkan
Abu Batu	%	47,231	-	Tidak disyaratkan
Pasir	%	9,446	maks. 15	Memenuhi
Filler (Kapur Padam Lolos No. 200)	%	1,889	maks. 2.0	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Perhitungan :

Komposisi Agregat Campuran Total

Batu Pecah 3/4"	= 7,577%
Batu Pecah 1/2"	= 28,339%
Abu Batu	= 47,231%
Pasir Alam	= 9,446%
Kapur Padam	= 1,889%
Kadar Aspal Total	= 5,54% +
Total Agregat Campuran	= 100%

A. Batu Pecah 3/4"

$$\begin{aligned}
 &= \text{Komposisi Agregat Kasar } 3/4'' \times (100 / \text{KAO}) \\
 &= 8,00\% \times (100 - 5,54) \\
 &= \mathbf{7,557\%}
 \end{aligned}$$

B. Batu Pecah 1/2"

$$\begin{aligned}
 &= \text{Komposisi Agregat Kasar } 1/2'' \times (100 - \text{KAO}) \\
 &= 30,00\% \times (100 - 5,64) \\
 &= \mathbf{28,339\%}
 \end{aligned}$$

C. Abu Batu

$$\begin{aligned}
 &= \text{Komposisi Abu Batu} \times (100 - \text{KAO}) \\
 &= 50,00\% \times (100 - 5,54) \\
 &= \mathbf{47,231\%}
 \end{aligned}$$

D. Pasir Alam

$$\begin{aligned}
 &= \text{Komposisi Pasir Alam} \times (100 - \text{KAO}) \\
 &= 10,00\% \times (100 - 5,54) \\
 &= \mathbf{9,446\%}
 \end{aligned}$$

E. Kapur Padam

$$\begin{aligned} &= \text{Komposisi Kapur Padam} \times (100 - \text{KAO}) \\ &= 2,00\% \times (100 - 5,54) \\ &= \mathbf{1,889\%} \end{aligned}$$

4.6.6 Rekapitan Sifat-sifat Campuran (LASTON AC-WC)

Untuk rekapitan sifat-sifat campuran (Laston Ac-Wc) dilihat pada tabel **4.38** di bawah ini :

Tabel 4.38 Rekapitan Sifat-sifat Campuran (LASTON AC-WC)

Komponen	Hasil	Satuan	Spesifikasi
Kadar Aspal Optimum	5,54	%	-
Proporsi Agregat	94,46	%	-
Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)	2,396	-	-
Berat jenis contoh campuran Padat (GMB)	2,302	-	-
Berat Jenis Bulk Agregat	2,560	-	-
Stabilitas	959,30	Kg	Min 800
Kelelahan Marshall (Flow)	3,890	mm	2.0-4.0
Penyerapan Aspal	0,588	%	Max 1.2
Rasio Partikel lolos no.200	1,15	%	1.0-1.4
Kadar Aspal Efektif	4,950	%	Min 4.3
Rongga dalam campuran (VIM)	3,92	%	3.0-5.0
Rongga dalam agregat (VMA)	15,06	%	Min 15
Rongga terisi aspal (VFB)	73,98	%	Min 65

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Perhitungan :

1. Kadar Aspal Total
Hasil Pengujian KAO = **5,54%**
2. Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm)
Hasil Pengujian GMM rata-rata = **2,302**
3. Berat Jenis Aspal
Hasil Pengujian Produksi Pertamina = **1,030**
4. Berat Jenis Bulk Agregat = **2,560**

Tabel 4.39 Berat Jenis Bulk Agregat

KOMPONEN	PROPORSI AGREGAT	BERAT JENIS BULK AGREGAT		BERAT JENIS BULK AGREGAT GABUNGAN
(a) BATU PECAH 3/4"	8,00%	2,561	3,123	
(b) BATU PECAH 1/2"	30,00%	2,613	11,480	
(c) ABU BATU	50,00%	2,548	19,624	
(d) PASIR	10,00%	2,514	3,977	
(d) KAPUR	2,00%	2,349	0,851	
Berat Jenis Agregat	100%		39,06	2,560

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{d. Batu Pecah } 3/4'' & \\
 &= (8,00\% / 2,561) \times 100 \\
 &= \mathbf{3,123}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. BJ Agregat Rata-rata} & \\
 &= 3,123 + 11,480 + 19,624 + 3,977 + 0,851 \\
 &= \mathbf{39,06}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. BJ Bulk Agregat Rata-rata} & \\
 &= (100\% / 39,06) \times 100 \\
 &= \mathbf{2,560}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{5. Proporsi Agregat} & \\
 &= 100 - \text{KAO} \\
 &= 100 - 5,54 \\
 &= \mathbf{94,46\%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{6. Penyerapan Aspal} & \\
 \text{Gmm rata-rata} &= 2,396 \\
 \text{Perkiraan Kadar Aspal (Gmm)} &= 5,53\% \\
 \text{BJ Bulk Agregat Rata-rata} &= 2,560 \\
 \text{BJ Aspal} &= 1,030
 \end{aligned}$$

BJ Agregat *Eff*

$$\begin{aligned} &= \left(\frac{100}{\text{Gmm}} - \frac{\text{KA Gmm}}{\text{Bj Aspal}} \right) \\ &= \left(\frac{100}{2,396} - \frac{5,53\%}{1,030} \right) \\ &= \mathbf{2,598} \end{aligned}$$

Penyerapan Aspal

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{BJ Agregat } Eff - \text{BJ Bulk Agregat}}{\text{BJ Agregat } Eff \times \text{BJ Bulk Agregat}} \times \text{Bj Aspal} \\ &= \frac{2,598 - 2,560}{2,598 \times 2,560} \times 1,030 \\ &= \mathbf{0,588\%} \end{aligned}$$

7. Kadar Aspal Efektif

$$\begin{aligned} &= \text{Kadar Aspal Total} - \text{Penyerapan Aspal} \\ &= 5,54 \% - 0,588 \% \\ &= \mathbf{4,950 \%} \end{aligned}$$