

BAB IV

ANALISA 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 (1", 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 Sekunder

Data sekunder berupa aspal pen 60/70 yang diperoleh dari Balai pengujian dan Peralatan Dinas Pekerjaan Umum Provinsi NTT.

4.1.3 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.

4.2 Pemeriksaan Material Agregat Kasar dan Agregat Halus

4.2.1 Pemeriksaan Material Agregat Kasar

Berikut ini adalah hasil pemeriksaan agregat kasar yang berasal dari *Quarry* Kota Foun Atambua. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah terdiri dari 2

jenis, yaitu batu pecah $\frac{3}{4}$ " dan batu pecah $\frac{1}{2}$ ". 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* Kota Foun Atambua. 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 $\frac{3}{4}$ "

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR				
(SNI 03-1969-2008)				
Nama Contoh : Agregat Kasar				
No.	NOMOR CONTOH	A	B	Satuan
1	Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	5587	3723	Gram
2	Berat benda uji dalam air (Ba)	3340	2236	Gram
3	Berat benda uji kering oven (Bk)	5501	3666	Gram

No.	Hasil	Rumus	A	B	Rata-rata	Spec
1	Berat jenis (<i>Bulk</i>)	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2,449	2,465	2,457	-
2	Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2,487	2,496	2,496	-
3	Berat jenis semu (<i>Apparent</i>)	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2,547	2,555	2,555	-
4	Penyerapan air (<i>Absorption</i>)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100$	1,563	1,559	1,559	Max 3%

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan

$$1. \text{ Berat jenis (Bulk) } = \frac{B_k}{B_j - B_a} = \frac{5501}{5587 - 3340} = 2,449$$

$$\text{Berat jenis (Bulk) Rata - rata} = A + B = 2,449 + 2,465 = \mathbf{2,457}$$

Berat jenis (*Bulk*) Rata – rata = **2,457** Spec Max **3%**

$$2. (SSD) = \frac{B_j}{B_j - B_a} = \frac{5587}{5587 - 3340} = 2,487$$

$$\begin{aligned} SSD \text{ Rata – rata} &= A + B \\ &= 2,487 + 2,496 = \mathbf{2,496} \end{aligned}$$

Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD) = **2,496** Spec Max **3%**

$$3. \text{ Berat jenis semu (Apparent)} = \frac{B_k}{B_k - B_a} = \frac{5501}{5501 - 3340} = 2,547$$

$$\begin{aligned} Apparent \text{ Rata – rata} &= A + B \\ &= 2,547 + 2,555 \\ &= \mathbf{2,555} \end{aligned}$$

Berat jenis Semu(Apparent) = **2,555** Spec Max **3%**

$$4. \text{ Penyerapan Air (Absorption)} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 = \frac{5587 - 5501}{5501} \times 100 = \mathbf{1,563}$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan Air (Absorption) Rata –rata} &= A + B \\ &= 1,563 + 1,559 \\ &= \mathbf{1,559} \end{aligned}$$

Penyerapan Air (Absorption) = **1,559** Spec Max **3%**

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

Uraian		A	B	Satuan
Berat benda uji	BJ	3458	3457	gram
kering permukaan jenuh				
Berat benda uji di dalam air	BA	2061	2071	gram
Berat benda uji kering oven	BK	3403	3402	gram

Uraian		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2,435	2,455	2,445	-
Berat Jenis (ssd)	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2,475	2,494	2,485	-
Berat Jenis (apparent)	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2,535	2,556	2,546	-
Penyerapan Air	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	1,616	1,617	1,616	Max 3

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan:

$$1. \text{ Berat jenis (Bulk) } = \frac{B_k}{B_j - B_a} = \frac{3403}{3458 - 2061} = 2,435$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (Bulk) Rata - rata} &= A + B \\ &= 2,435 + 2,455 \\ &= 2,445 \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis (Bulk) Rata - rata} = 2,445 \text{ Spec Max } 3$$

$$2. (SSD) = \frac{B_j}{B_j - B_a} = \frac{3458}{3458 - 2061} = 2,475$$

$$\begin{aligned} SSD \text{ Rata - rata} &= A + B \\ &= 2,475 + 2,494 \\ &= 2,485 \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)} = 2,485 \text{ Spec Max } 3\%$$

$$3. \text{ Berat jenis semu (Apparent) } = \frac{B_k}{B_k - B_a} = \frac{3403}{3403 - 2061} = 2,535$$

$$\begin{aligned} Apparent \text{ Rata - rata} &= A + B \\ &= 2,535 + 2,556 \\ &= 2,546 \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis Semu (Apparent)} = 2,546 \text{ Spec Max } 3\%$$

$$4. \text{ Penyerapan Air (Absorption) } = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100 = \frac{3458 - 3403}{3403} \times 100 = 1,616$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan Air (Absorption) Rata - rata} &= A + B \\ &= 1,616 + 1,617 \\ &= 1,616 \end{aligned}$$

$$\text{Penyerapan Air (Absorption) } = 1,616 \text{ SpecMax } 3\%$$

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 $\frac{3}{4}$ " dan Batu Pecah $\frac{1}{2}$ " yang berasal dari *Quarry* Kota Foun Atambua yang merupakan milik PT. Pundimas Bahagia Atambua. 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 $\frac{3}{4}$ " dapat dilihat pada Tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Analisa saringan Batu Pecah $\frac{3}{4}$ "

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 5.491				Rata- Rata
				Berat benda uji II (g) = 5.047				
		Persen Tertahan		Persen Lolos				
(ASTM)	(mm)	I	II	I	II	I	II	
3/4	19,0	-	-	0	0	100	100	100,00
1/2	12,5	3.268	3.019	59,52	59,82	40,48	40,18	40,33
3/8	9,50	5.062	4.630	92,19	91,74	7,81	8,26	8,04
No.4	4,75	5.466	5.034	99,54	99,74	0,46	0,26	0,36
No.8	2,36							
No.16	1,18							
No.30	0,600							
No.50	0,300							
No.100	0,150							
No.200	0,075							

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan:

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

$$= \frac{3628}{5491} \times 100 = 59,52\%$$

$$2. \text{Persen Lolos} = 100 - \text{Persen tertahan}$$

$$= 100 - 59,52\% = 40,48\%$$

$$3. \text{Rata – rata persen lolos} = \frac{\text{Persen lolos (I)} + \text{persen lolos (II)}}{2}$$

$$= \frac{40,48 + 40,18}{2} = 40,33\%$$

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Analisa saringan Batu Pecah ½”

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 2.806				Rata-
				Berat benda uji II (g) = 4.515				
		Persen Tertahan		Persen Lolos		Rata		
(ASTM)	(mm)	I	II	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	100,00
3/8	9,50	1.761	2.859	62,76	63,32	37,24	36,68	36,96
No.4	4,75	2.764	4.455	98,50	98,67	1,50	1,33	1,41
No.8	2,36	2.780	4.471	99,07	99,03	0,93	0,97	0,95
No.16	1,18	2.784	4.483	99,22	99,29	0,78	0,71	0,75
No.30	0,60	2.795	4.491	99,61	99,47	0,39	0,53	0,46
No.50	0,30							
No.100	0,15							
No.200	0,075							

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan:

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

$$= \frac{1761}{2806} \times 100 = 62,76\%$$

$$2. \text{ Persen Lolos} = 100 - \text{Persen tertahan}$$

$$= 100 - 62,76\% = \mathbf{37,24\%}$$

$$3. \text{ Rata – rata persen lolos} = \frac{\text{Persen lolos (I)} + \text{persen lolos(II)}}{2}$$

$$= \frac{37,24 + 36,68}{2} = \mathbf{36,96 \%}$$

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* Kota Foun Atambua yang terdiri dari 2 jenis, yaitu batu pecah $\frac{3}{4}$ " dan batu pecah $\frac{1}{2}$ ". 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)		4128,0	4122,2

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan

I.	a	=	5000 gram	II.	a	=	5000 gram
	b	=	<u>4128 gram</u> -		b	=	<u>4122 gram</u> -
	a - b	=	872 gram		a - b	=	877 gram

$$\begin{aligned} 1. \quad \text{Keausan - I} &= \frac{a - b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{5000 - 4128}{5000} \times 100\% = \mathbf{17,44 \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \quad \text{Keausan - II} &= \frac{a - b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{5000 - 4122}{5000} \times 100\% = \mathbf{17,56 \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keausan rata - rata} &= A + B \\ &= \mathbf{17,44 + 17,56} \\ &= \mathbf{17,50 \%} \end{aligned}$$

$$\text{Keausan rata - rata} = \mathbf{17,50 \%} \quad \text{Spec : Max 40 \%}$$

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 **17,50 %**.

4.2.2 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* Kota Foun Atambua. 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)

Uraian		A	B	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500	500	500	Gram
Berat piknometer + air (25°C)	B	718,00	719,00	Gram
Berat piknometer + air + benda uji	Bt	1032,00	1034,00	Gram
Berat benda uji kering oven (Bk)	BK	491,00	490,00	Gram

Uraian		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	$\frac{Bk}{B + 500 - Bt}$	2,640	2,649	2,644	-
Berat Jenis kering permukaan jenuh	$\frac{500}{B + 500 - Bt}$	2,688	2,703	2,695	-
Berat Jenis (apparent)	$\frac{Bk}{B + Bk - Bt}$	2,774	2,800	2,787	-
Penyerapan Air	$\frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$	1,833	2,041	1,937	Max 3

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

$$1. \text{ Berat jenis (Bulk) } = \frac{Bk}{B+500-Bt} = \frac{491,00}{718 + 500 - 1032,00} = 2,640$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (Bulk) Rata - rata} &= A + B \\ &= 2,640 + 2,649 \\ &= \mathbf{2,644} \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis (Bulk) Rata - rata} = \mathbf{2,644} \quad \text{Spec Max } \mathbf{3\%}$$

$$2. (SSD) = \frac{500}{B+500-Bt} = \frac{500}{718,0 + 500 + 1032,00} = 2,688$$

$$\begin{aligned} SSD \text{ Rata - rata} &= A + B \\ &= 2,688 + 2,703 \\ &= \mathbf{2,695} \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)} = \mathbf{2,695} \quad \text{Spec Max } \mathbf{3\%}$$

$$3. \text{ Berat jenis semu (Apparent) } = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} = \frac{491,00}{718,00+491,00+1032,00} = \mathbf{2,774}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Apparent Rata – rata} &= A + B \\
 &= 2,774 + 2,800 \\
 &= \mathbf{2,787}
 \end{aligned}$$

Berat jenis Semu (*Apparent*) = **2,787** Spec Max **3%**

$$4. \text{ Penyerapan Air (Absorption) } = \frac{500 - B_k}{B_k} = \frac{500 - 491,00}{491,00} \times 100 = \mathbf{1,833}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan Air (Absorption) Rata – rata} &= A + B \\
 &= 1,833 + 2,041 \\
 &= \mathbf{1,937}
 \end{aligned}$$

Penyerapan Air (*Absorption*) = **1,937** Spec Max **3%**

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

Uraian		A	B	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh	BJ	5587,0	3723,0	Gram
Berat benda uji di dalam air	BA	3340,9	2236,0	Gram
Berat benda uji kering oven	BK	5501,0	3666,0	Gram

Uraian		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2,449	2,465	2,457	-
Berat Jenis (ssd)	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2,487	2,504	2,496	-
Berat Jenis (apparent)	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2,547	2,564	2,555	-
Penyerapan Air	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	1,563	1,555	1,559	Max 3

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

$$1. \text{ Berat jenis (Bulk) } = \frac{B_k}{B + 500 - B_t} = \frac{498,00}{711,00 + 500 - 1020,00} = \mathbf{2,601}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat jenis (Bulk) Rata – rata} &= A + B \\
 &= 2,601 + 2,589 = \mathbf{2,598}
 \end{aligned}$$

Berat jenis (*Bulk*) Rata – rata = **2,598** Spec Max **3%**

$$2. (SSD) = \frac{500}{B+500-Bt} = \frac{500}{711,00 + 500 + 1020,00} = 2,618$$

$$\begin{aligned} SSD \text{ Rata – rata} &= A + B \\ &= 2,618 + 2,604 \\ &= \mathbf{2,611} \end{aligned}$$

Berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*) = **2,611** Spec Max **3%**

$$3. \text{ Berat jenis semu (} Apparent \text{)} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} = \frac{498,00}{711,00+498,00+1020,00} = 2,635$$

$$\begin{aligned} Apparent \text{ Rata – rata} &= A + B \\ &= 2,635 + 2,630 \\ &= \mathbf{2,632} \end{aligned}$$

Berat jenis Semu (*Apparent*) = **2,632** Spec Max **3%**

$$4. \text{ Penyerapan Air (} Absorption \text{)} = \frac{500 - Bk}{Bk} = \frac{500 - 494,00}{494,00} \times 100 = \mathbf{0,402}$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan Air (} Absorption \text{) Rata –rata} &= A + B \\ &= 0,402 + 0,604 \\ &= \mathbf{0,503} \end{aligned}$$

Penyerapan Air (*Absorption*) = **0,503** 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* Kota Foun Atambua. 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) = 942				Rata- Rata
				Berat benda uji II (g) = 918				
		Persen Tertahan		Persen Lolos				
(ASTM)	(mm)	I	II	I	II	I	II	
¾	19,0	-	-	0	0	100	100	100
½	12,5	-	-	0	0	100	100	100
3/8	9,50	-	-	0	0	100	100	100
No.4	4,75	-	-	0	0	100	100	100,00
No.8	2,36	471	464	50,00	50,54	50,00	49,46	49,73
No.16	1,18	760	739	80,68	80,50	19,32	19,50	19,41
No.30	0,60	836	814	88,75	88,67	11,25	11,33	11,29
No.50	0,30	857	835	90,98	90,96	9,02	9,04	9,03
No.100	0,150	866	840	91,93	91,50	8,07	8,50	8,28
No.200	0,075	868	848	92,14	92,37	7,86	7,63	7,74

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan:

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

$$= \frac{471}{942} \times 100 = 50,00\%$$

$$2. \text{ Persen Lolos} = 100 - \text{Persen tertahan}$$

$$= 100 - 50,00\% = 50,00\%$$

$$3. \text{ Rata – rata persen lolos} = \frac{\text{Persen lolos (I)} + \text{persen lolos (II)}}{2}$$

$$= \frac{50,00 + 49,46}{2} = 49,73\%$$

Tabel 4.9 Hasil pengujian analisa saringan agregat Halus (Pasir)

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 1091				Rata- Rata
				Berat benda uji II (g) = 1020				
		Persen Tertahan		Persen Lolos				
(ASTM)	(mm)	I	II	I	II	I	II	
¾	19,0	0	0	0	0	100	100	100
½	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	100,00
No.8	2,36	33	31	3,02	3,04	96,98	96,96	96,97
No.16	1,18	191	176	17,51	17,25	82,49	82,75	82,62
No.30	0,60	563	566	51,60	55,49	48,40	44,51	46,45
No.50	0,30	867	819	79,47	80,29	20,53	19,71	20,12
No.100	0,15	1053	979	96,52	95,98	3,48	4,02	3,75
No.200	0,075	1074	1008	98,44	98,82	1,56	1,18	1,37

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Persen Tertahan} &= \frac{\text{Jumlah berat tertahan} \times 100}{\text{Berat Benda Uji}} \\
 &= \frac{33}{1091} \times 100 = \mathbf{3,02 \%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Persen Lolos} &= 100 - \text{Persen tertahan} \\
 &= 100 - 3,02\% = \mathbf{96,98\%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ Rata – rata persen lolos} &= \frac{\text{Persen lolos (I)} + \text{persen lolos(II)}}{2} \\
 &= \frac{96,98 + 96,96}{2} = \mathbf{96,97\%}
 \end{aligned}$$

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 Pengujian Analisa saringan Terhadap *Filler* (Semen Dan Kapur Padam)

Pengujian Analisa saringan dilakukan terhadap semen dan 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* semen dan kapur padam dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan 4 .11 di bawah ini :

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

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 958				Rata- Rata
				Berat benda uji II (g) = 805				
				Persen Tertahan		Persen Lolos		
(ASTM)	(mm)	I	II	I	II	I	II	
¾	19,00	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
½	12,50	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
3/8	9,50	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.4	4,75	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.8	2,36	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.16	1,18	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.30	0,60	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.50	0,30	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.100	0,15	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.200	0,075	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

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

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 819				Rata-
				Berat benda uji II (g) = 792				
		Persen Tertahan		Persen Lolos		Rata		
(ASTM)	(mm)	I	II	I	II		I	II
¾	19,00	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
½	12,50	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
3/8	9,50	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.4	4,75	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.8	2,36	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.16	1,18	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.30	0,60	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.50	0,30	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.100	0,150	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
No.200	0,075	0	0	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

4.2.3 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 Gabunga

SARINGAN		Agregat Kasar 3/4		Agregat Halus 1/2		Abu Batu		Pasir		Semen Tonasa		Kapur Padam		Total	Spek
ASTM		5,00%		28,00%		50,00%		15,00%		2,00%		2,00%		100%	
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	L
3/4"	19,1	100	5,00	100,00	28,0	100	50,00	100	15,00	100	2,00	100	2,00	100	90-100
1/2"	12,5	40,33	2,02	100	28	100	50,00	100	15,00	100	2,00	100	2,00	97,02	75-90
3/8"	9,5	8,00	0,40	36,96	10,35	100	50,00	100	15,00	100	2,00	100	2,00	77,75	66-82
No.4	4,75	0.38	0,02	1,41	0,4	100	50,00	100	15,00	100	2,00	100	2,00	67,41	46-64
No.8	2,36			0,95	0,27	49,73	24,86	96,97	14,55	100	2,00	100	2,00	41,68	30-49
No.16	1,18			0,75	0,21	19,41	9,700	82,62	12,39	100	2,00	100	2,00	24,31	18-38
No. 30	0,6			0,46	0,13	11,29	5,65	46,45	6,97	100	2,00	100	2,00	14,74	12-28
No. 50	0,3					9,03	4,52	20,12	3,02	100	2,00	100	2,00	9,53	7 –20
No. 100	0,15					8,28	4,14	3,75	0,56	100	2,00	100	2,00	6,7	5 –13
No. 200	0,075					7,74	3,87	1,37	2,00	100	2,00	100	2,00	6,08	4 – 8

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

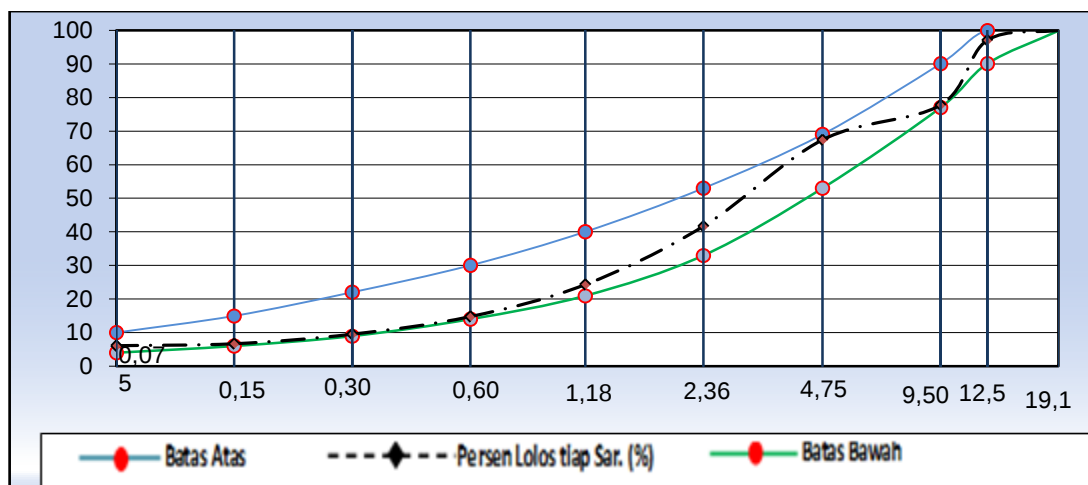
Keterangan :

- A = Persen lolos rata-rata batu pecah $\frac{3}{4}$ "
- B = 5,00 % x persen lolos rata-rata batu pecah $\frac{3}{4}$ "
- C = Persen lolos rata-rata batu pecah $\frac{1}{2}$ "
- D = 28 % 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 = 15,00% x persen lolos rata-rata pasir
- I = Persen lolos rata-rata kapur padam
- j = 2,00% x persen lolos rata-rata kapur padam
- 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

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).

4.2.4 Data Aspal Pen 60/70

Dalam penelitian ini data aspal merupakan data sekunder yang digunakan dan merupakan data dari Laboratorium Pengujian Bina Teknik Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Timur 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	$\geq 1,0$	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 (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 Pekiraan 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)	32,59	%
Proporsi Fraksi Halus (FA)	61,34	%
Proporsi Fraksi zBahan Pengisi (FF)	6,08	%
Nilai Konstanta (K) ditetapkan	0,75	%
Perkiraan Kadar Aspal (Pb)	5,74	%

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

A. Fraksi Agregat

Fraksi agregat kasar diambil dari jumlah agregat gabungan (lihat Tabel 4.11) 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.

1. Fraksi agregat kasar (CA) = $100\% - \% \text{ Total agregat lolos saringan No.8}$
 $= 100 - 41,68$
 $= 58,32\%$
2. Fraksi agregat halus (FA) = $\% \text{ Total agregat lolos saringan No. 8} - \%$
 $\% \text{ Total agregat lolos saringan No. 200}$
 $= 41,68 - 6,08\%$
 $= 35,6\%$
3. Fraksi bahan pengisi (FF) = $\% \text{ Total agregat lolos saringan No. 200}$
 $= 6,08\%$
4. Konstanta (k) = 0,5 sampai di ambil 0,61

B. Kadar Aspal Rencana

Perkiraan kadar aspal rencana :

$$\begin{aligned} Pb &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K \\ &= 0,035 (58,32) + 0,045 (35,60) + 0,18 (6,08) + 1,00 \\ &= 5,74\% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan kadar aspal rencana di atas diperoleh 5,74%, 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 (Pb)

Setelah memperoleh kadar aspal rencana (Pb), maka dilakukan rancangan campuran dengan menggunakan 5 variasi kadar aspal rencana yaitu {(Pb -1), (Pb -0,5), (Pb), (Pb +0,5), (Pb +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 4.14 dan 4.15 di bawah ini

Tabel 4.15 Perhitungan Rancangan Campuran Dalam Persen (%)

KOMPONEN	KOMPOSISI	KADAR ASPAL RENCANA (%)				
	AGREGAT	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
BATU PECAH 3/4	5,00%	4,78	4,75	4,73	4,70	4,68
BATU PECAH 1/2	28,00%	26,74	26,60	26,46	26,32	26,18
ABU BATU	50,00%	47,75	47,50	47,25	47,00	46,75
PASIR ALAM	15,00%	14,33	14,25	14,18	14,10	14,03
SEMEN TONASA	2,00%	1,91	1,90	1,89	1,88	1,87
(KAPUR PADAM	2,00%	1,91	1,90	1,89	1,88	1,87
TOTAL AGG CAMPURAN(%)	100%	95,50	95,00	94,50	94,00	93,50
TOTAL CAMPURAN (%)		100	100	100	100	100

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Contoh Penhitungan :

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

1. Batupecah = Komposisi Agregat x (100 – Kadar Aspal)
= 5% x (100 – 4,5)
= 4,78 %
2. Total agregat Campuran % = 4,78 + 26,74 + 47,75 + 14,33 + 1,91
= 95,50%
3. Total Campuran % = Total agregat Campuran + Kadar Aspal
= 95,50 + 4,5
= 100%

Tabel 4.16 Komposisi Campuran Laston AC-WC

KOMPOSISI CAMPURAN	BERAT TIMBANGAN (Gr)					
KADAR ASPAL RENCANA	%	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
(a) BATU PECAH 3/4	Gram	57,30	57,00	56,70	56,40	56,10
(b) BATU PECAH 1/2	Gram	320,88	319,20	317,52	315,84	314,16
(c) ABU BATU	Gram	573,00	570,00	567,00	564,00	561,00
(d) PASIR ALAM	Gram	171,90	171,00	170,10	169,20	168,30
(e) SEMEN	Gram	11,46	11,40	11,34	11,28	11,22
(f) KAPUR PADAM	Gram	11,46	11,40	11,34	11,28	11,22
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)		1146,00	1140,00	1134,00	1128,00	1122,00
BERAT ASPAL (Gr)		54,00	60,00	66,00	72,00	78,00
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)		1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Contoh Penhitungan :

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

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Batupecah} &= (\text{Berat \% agregat} / 100) \times \text{Berat rencana total campuran} \\
 &= (4,78 / 100) \times 1.200\text{gram} \\
 &= \mathbf{57,30 \text{ gram}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Berat Agregat Campuran} &= 57,30 + 320,88 + 573,0 + 171,90 + 22,92 \\
 &= \mathbf{1.146 \text{ gram}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ Berat Aspal (Gr)} &= (\text{Kadar Aspal} / 100) \times \text{Berat rencana total campuran} \\
 &= (4,5 / 100) \times 1.200\text{gram} \\
 &= \mathbf{54,0\text{gram}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. \text{ Berat rencana total Campuran (Gr)} &= \text{Berat Agregat Campuran} + \text{Berat Aspal} \\
 &= 1.146 + 54,0 \\
 &= \mathbf{1200 \text{ gram}}
 \end{aligned}$$

Untuk setiap variasi kadar aspal dibuat 2 (dua) contoh benda uji sehingga jumlah benda uji kadar aspal perkiraan dalam penelitian ini berjumlah 15 (Lima Belas) benda uji.

Tabel 4.17 Perhitungan Rancangan Campuran *Filler* Kapur Padam dan Semen Tonasa 100%

KOMPONEN	PROPORSI 100% (Kapur Padam)	PROPORSI 100% (Semen Tonasa)	Berat Timbangan (Gr)
Batu Pecah 3/4	5,00%	5,00%	56,55
Batu Pecah 1/2	28,00%	28,00%	316,70
Abu Batu	50,00%	50,00%	565,53
Pasir Alam	15,00%	15,00%	169,66
Kapur Padam	2,00%	-	22,62
Semen	-	2,00%	22,62
Kadar AspalTotal (%)	5,66	5,64	68,93
Total Agg Camp.(%)	100	100	1131,07
Total Campuran (%)			1.200

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Tabel 4.18 Perhitungan Rancangan Campuran *Filler* Kapur Padam dan Semen Tonasa 50%

KOMPONEN	PROPORSI 50% (Kapur Padam)	PROPORSI 50% (Semen Tonasa)	Berat Timbangan (Gr)
Batu Pecah 3/4	5,00%	5,00%	56,55
Batu Pecah 1/2	28,00%	28,00%	316,70
Abu Batu	50,00%	50,00%	565,53
Pasir Alam	15,00%	15,00%	169,66
Kapur Padam	1,00%	-	22,62
Semen	-	1,00%	22,62
Kadar AspalTotal (%)	5,65	5,65	68,93
Total Agg Camp.(%)	100	100	1131,07
Total Campuran (%)			1.200

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Tabel 4.19 Rekapitulasi Hasil Penelitian (*Filler Kapur Padam*)

Komponen	Hasil	Satuan	Spesifikasi
Kadar Aspal Optimum	5,66	%	-
Proporsi Agregat	94,34	%	-
Berat jenis contoh campuran, Padat	2,289	-	-
Stabilitas	933,18	Kg	Min 800
Kelelahan Marshall (Flow)	3,520	mm	2.0-4.0
Rasio Partikel lolos no.200	1,12	%	1.0-1.4
Rongga dalam campuran (VIM)	3,98	%	3.0-5.0
Rongga dalam agregat (VMA)	15,85	%	Min 15
Rongga terisi aspal (VFB)	74,85	%	Min 65

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Tabel 4.20 Rekapitulasi Hasil Penelitian (*Filler Semen*)

Komponen	Hasil	Satuan	Spesifikasi
Kadar Aspal Optimum	5,64	%	-
Proporsi Agregat	94,36	%	-
Berat jenis contoh campuran, Padat	2,281	-	-
Stabilitas	1007,73	Kg	Min 800
Kelelahan Marshall (Flow)	3,371	mm	2.0-4.0
Rasio Partikel lolos no.200	1,09	%	1.0-1.4
Rongga dalam campuran (VIM)	4,19	%	3.0-5.0
Rongga dalam agregat (VMA)	16,47	%	Min 15
Rongga terisi aspal (VFB)	74,66	%	Min 65

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2018

4.4 Analisa

4.4.1 Test *Marshall*

Hasil pengujian *Marshall* standar (2 x75) tumbukan dengan menggunakan material dari *Quarry* Kota Foun 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.

4.4.1a Test Marshall (Filler Semen Tonasa 100%)

Tabel 4.21 Rekapitan Hasil Pengujian Test Marshall Laston (AC-WC)

KadarAspal (%)	BendaUji Marshall	Parameter - ParameterMarshall					
		VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	Rasio Partikel
Spesifikasi		Min 3-max 5	Min14	Min65	Min 800	Min2-max4	Min1-max1,4
4,5 %	1	6,92	16,55	58,19	882,28	3,00	1,38
	2	6,29	15,99	60,64	846,27	2,82	1,38
Rata-Rata		6,16	16,27	59,42	864,28	2,91	1,38
5,0 %	1	6,19	16,93	63,40	963,31	3,10	1,24
	2	4,22	15,18	72,22	947,18	3,04	1,24
Rata-Rata		5,21	16,05	67,81	955,24	3,07	1,24
5,5 %	1	5,16	17,03	69,72	1053,34	3,32	1,17
	2	3,62	15,69	76,94	1050,34	3,30	1,17
Rata-Rata		4,39	16,36	73,33	1051,84	3,31	1,17
6,0 %	1	4,15	17,17	75,84	918,29	3,46	1,03
	2	3,69	16,77	78,01	954,31	3,67	1,03
Rata-Rata		3,92	16,97	76,92	936,30	3,57	1,03
6,5 %	1	3,81	17,89	78,71	837,27	3,75	0,95
	2	3,90	17,97	78,27	891,29	3,96	0,95
Rata-Rata		3,86	17,93	78,49	864,28	3,86	0,95

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

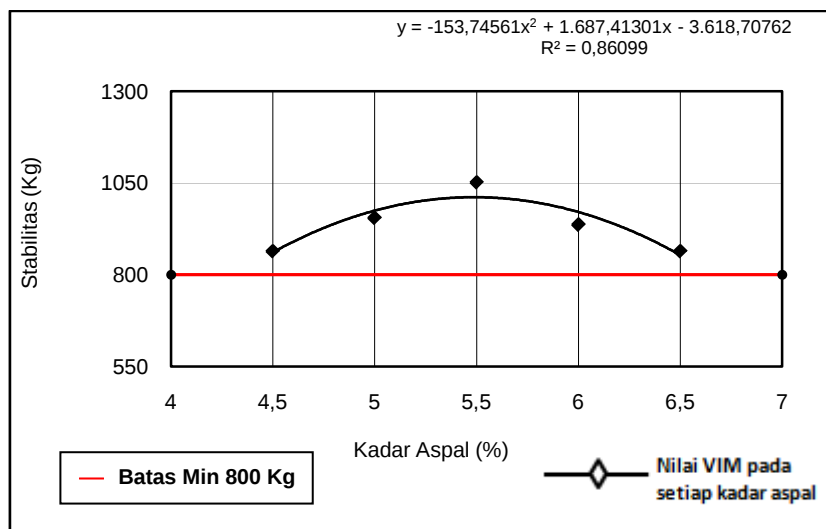
A Hubungan Antara Stabilitas dan Kadar Aspal.

Stabilitas (Ketahanan) akan meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai mencapai nilai maksimum, dan setelah itu stabilitas akan menurun

Tabel 4.22 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)
4,5	864,24
5,0	955,24
5,5	1051,84
6,0	936,30
6,5	864,28

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019.



Gambar 4.2 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan rekapan pada tabel 4.22 menghasilkan Gambar 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. 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. Disamping itu Pemilihan agregat bergradasi menerus akan memperkecil rongga antar agregat sehingga penguncian antar agregat (*interlocking*) menjadi lebih baik.

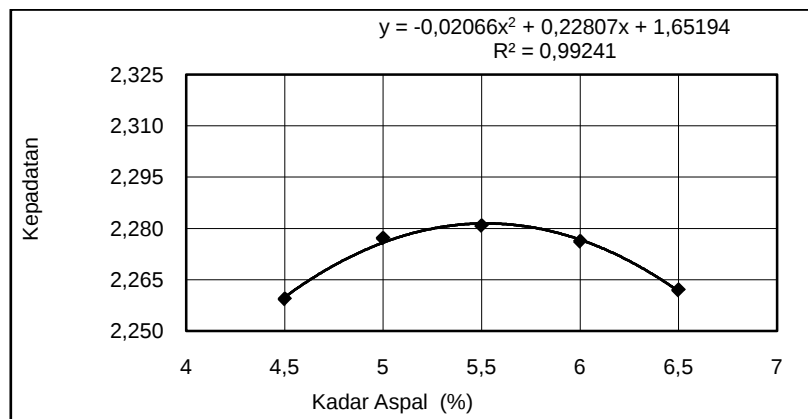
B Hubungan Antara Kepadatan dan Kadar Aspal.

Kepadatan akan meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai mencapai nilai tertentu, dan setelah itu kepadatan akan menurun.

Tabel 4.23 Hubungan Antara Kepadatan dan Kadar Aspal.

KadarAspal (%)	Kepadatan
4,5	2,26
5,0	2,28
5,5	2,28
6,0	2,28
6,5	2,26

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.3 Hubungan Antara Kepadatan dan Kadar Aspal

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2018

Berdasarkan tabel 4.23 menghasilkan Gambar 4.3 terlihat bahwa Semakin tinggi kadar aspal maka nilai stabilitas dan nilai kepadatan akan semakin meningkat hingga mencapai batas optimum. Namun setelah melewati batas optimum maka nilai stabilitas dan nilai kepadatan akan menurun kembali karena selimut film aspal, yang sudah ada sudah menjadi tebal sehingga mudah terjadi kegemukan (*bleeding*). Semakin tinggi kadar aspal maka nilai *VMA* dan *VFB* akan semakin tinggi karena rongga-rongga yang ada antar agregat sudah terisi aspal. Sedangkan semakin tinggi kadar aspal maka nilai *VIM* akan semakin rendah karena rongga-rongga yang ada dalam campuran sudah penuh terisi aspal.

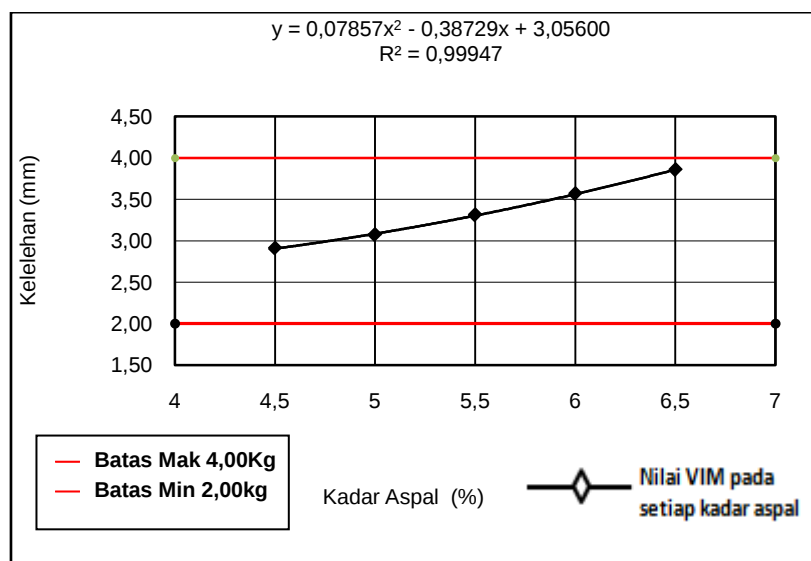
C Hubungan Antara Kadar Aspal dan Kelelehan (*Flow*)

Kelelahan atau *Flow* akan terus meningkat dengan meningkatnya kadar aspal.

Tabel 4.24 Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan Kelelehan (*Flow*)

KadarAspal (%)	Kelelehan (<i>Flow</i>) (mm)
4,5	2,91
5,0	3,07
5,5	3,31
6,0	3,57
6,5	3,86

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019



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

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Hasil tabel 4.24 dan Gambar 4.3 dapat dilihat semakin tinggi kadar aspal maka nilai *flow* akan semakin tinggi pula. Campuran yang memiliki angka kelelehan rendah stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku, sedangkan campuran kelelehan tinggi stabilitas rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk. Selain itu rongga yang terbentuk akibat butiran agregat menyebabkan berkurangnya *interlocking* campuran dan berakibat timbulnya deformasi. Dari gambar 4.3 menunjukkan bahwa hasil pengujian *flow* atau kelelehan dalam campuran memenuhi spesifikasi.

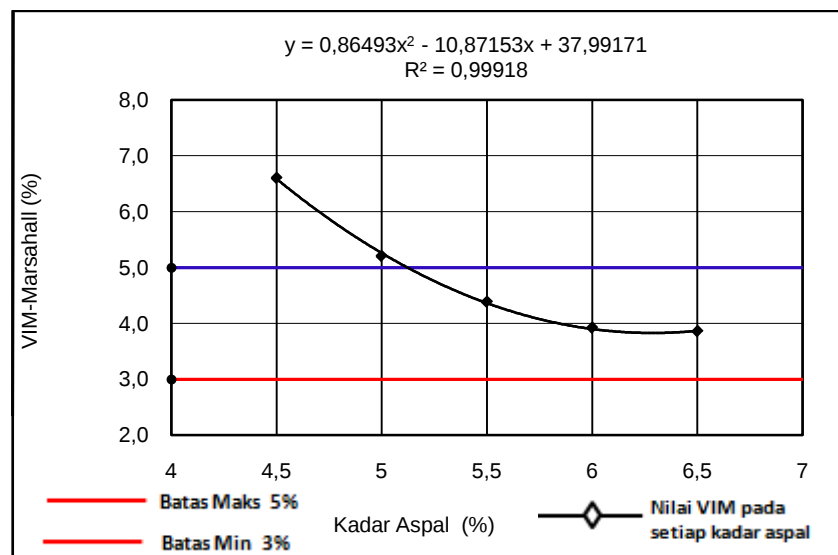
D Hubungan Antara Kadar Aspal dan *Void in Mix (VIM)*.

Lengkung *VIM* akan terus menurun dengan bertambahnya kadar aspal sampai secara ultimit mencapai nilai minimum.

Tabel 4.25 Hubungan Antara *Void in Mix (VIM)* dan Kadar Aspal.

Kadar Aspal (%)	<i>Void in Mix (VIM)</i> (%)
4,5	6,61
5,0	5,21
5,5	4,39
6,0	3,92
6,5	3,86

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2019



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

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT

Dari tabel 4.25 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 kadar aspal 4,5% dan 5,0% tidak memenuhi spesifikasi.

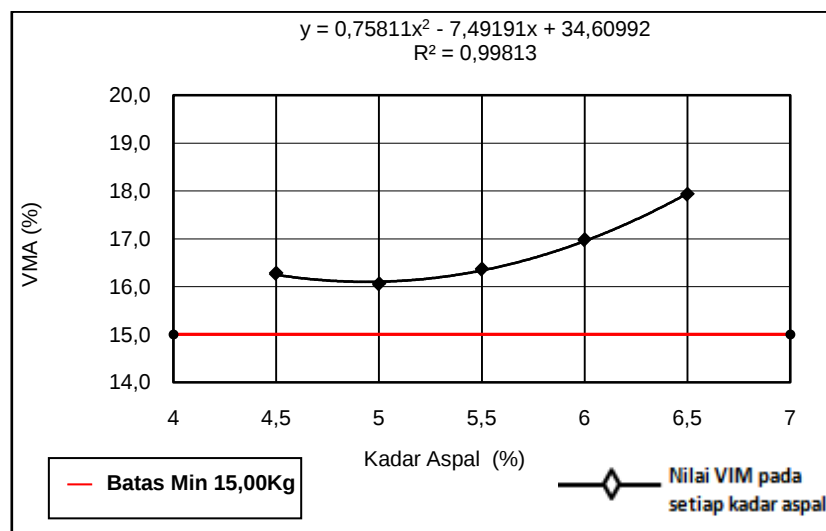
E Hubungan Antara Kadar Aspal dan Void in the Mineral Aggregate (VMA)

Lengkung VMA akan turun sampai mencapai nilai minimum dan kemudian kembali bertambah dengan bertambahnya kadar aspal.

Tabel 4.26 Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan VMA

Kadar Aspal (%)	VMA (%)
4,5	16,27
5,0	16,05
5,5	16,36
6,0	16,97
6,5	17,93

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.6 : Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan VMA

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Dari tabel 4.26 dan Gambar 4.6 diatas dapat terlihat bahwa nilai VMA akan naik 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. Selain itu nilai VMA juga dipengaruhi oleh factor pemadatan yang berkaitan dengan gradasi agregat. Besarnya pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara dalam beton aspal, menyebabkan semakin mudahnya film atau selimut aspal teroksidasi dengan udara sehingga menjadi kaku dan menurun durabilitasnya.

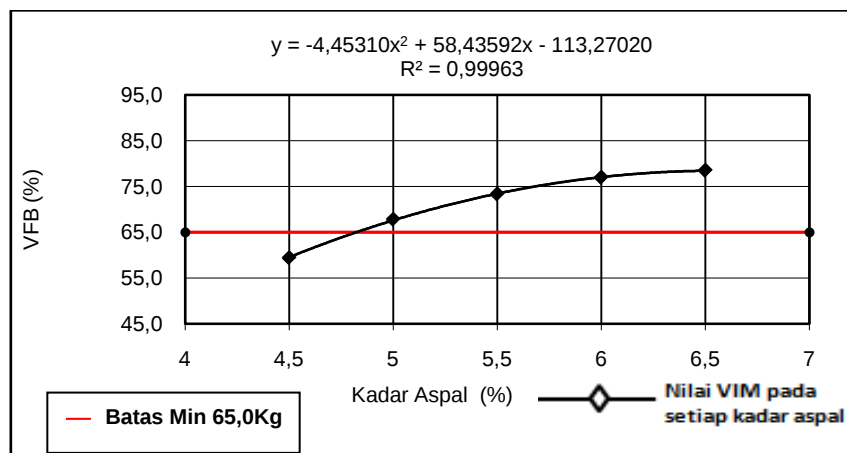
F Hubungan Antara Kadar Aspal dan Void Filled with Bitumen (VFB)

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

Tabel 4.27 Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan VFB

Kadar Aspal (%)	VFB (%)
4,5	59,42
5,0	67,81
5,5	73,33
6,0	76,92
6,5	738,49

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019



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 4.27 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 prosentase aspal dalam rongga menjadi naik. Pada kadar aspal 4,5% tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yakni minimum 65% sedangkan pada kadar aspal 5,0% sampai 6,5% memenuhi syarat spesifikasi.

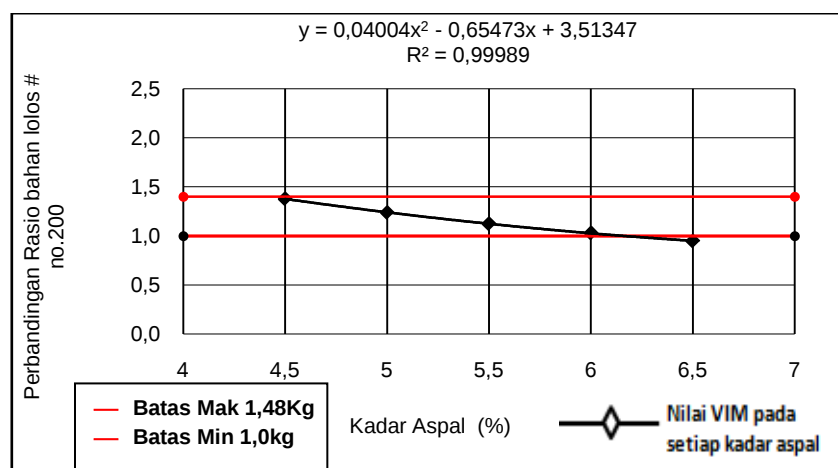
G Hubungan Rasio partikel Bahan Lolos # no. 200 dan Kadar Aspal.

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

Tabel 4.28 Hubungan Antara Rasio partikel Bahan Lolos # no. 200 dan Kadar Aspal.

Kadar Aspal (%)	Rasio Partikel (%)
4,5	1,38
5,0	1,24
5,5	1,12
6,0	1,03
6,5	0,95

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 4.28 dan Gambar 4.8 bahwa semakin besar nilai marshall quotient berarti campuran semakin kaku, sebaliknya jika semakin kecil nilai marshall quotient 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).

4.4.1b Test Marshall (Untuk Filler Kapur Padam 100%)

Tabel 4.29 Rekapitan Hasil Pengujian Test Marshall Laston (AC-WC)

Kadar Aspal (%)	Benda Uji Marshall	Parameter – Parameter Marshall					
		VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	Rasio Partikel
Spesifikasi		Min 3-max 5	Min14	Min65	Min 800	Min2-max4	Min1-max1,4
4,5 %	1	6,35	15,55	59,16	810,26	3,00	1,45
	2	6,44	15,63	58,81	756,24	2,95	1,45
Rata-Rata		6,40	15,59	58,98	783,25	2,98	1,45
5,0 %	1	4,97	15,36	67,63	900,29	3,32	1,30
	2	5,10	15,47	67,02	900,29	3,15	1,30
Rata-Rata		5,04	15,42	67,33	900,29	3,24	1,30
5,5 %	1	4,12	15,64	73,66	945,30	3,63	1,17
	2	4,11	15,63	73,71	918,29	3,15	1,17
Rata-Rata		4,12	15,64	73,68	931,80	3,39	1,17
6 %	1	3,81	16,40	76,75	890,91	3,70	1,07
	2	4,82	16,41	76,70	918,29	3,75	1,07
Rata-Rata		3,82	16,41	76,73	904,60	3,73	1,07
6,5 %	1	4,84	18,30	73,56	729,23	3,82	0,98
	2	2,41	16,22	85,13	834,64	4,00	0,98
Rata-Rata		3,53	17,26	79,34	781,94	3,91	0,98

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

4.4.1.2 Hubungan Antara Parameter Marshall dengan 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 bendauji 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* kapur padam dan semen seperti di bawah ini.

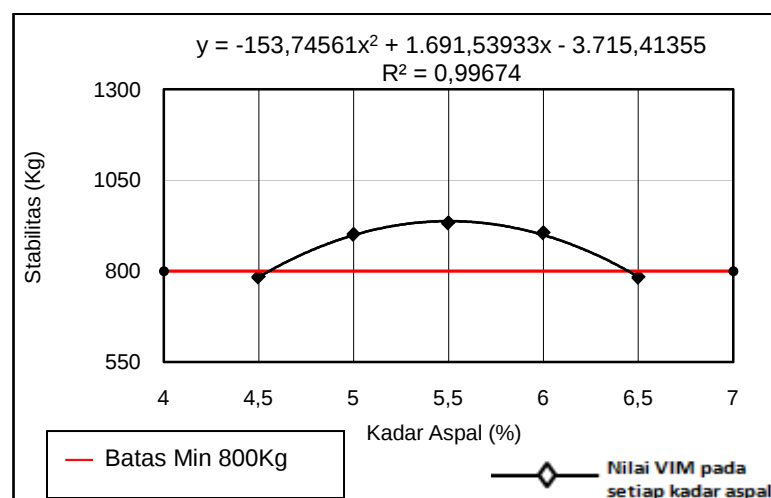
A Hubungan Antara Stabilitas dan Kadar Aspal.

Stabilitas (Ketahanan) akan meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai mencapai nilai maksimum, dan setelah itu stabilitas akan menurun.

Tabel 4.30 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)
4,5	783,25
5,0	900,29
5,5	931,80
6,0	904,60
6,5	781,94

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.9 : Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan Stabilitas

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan rekapan pada tabel 4.30 menghasilkan Gambar 4.9 dapat dilihat nilai stabilitas semakin meningkat jika kadar aspal bertambah. Pada suatu titik tertentu nilai stabilitas akan kembali menurun dengan semakin bertambahnya kadar aspal. 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. Disamping itu Pemilihan agregat bergradasi menerus akan memperkecil rongga antar agregat sehingga penguncian antar agregat (*interlocking*) menjadi lebih baik.

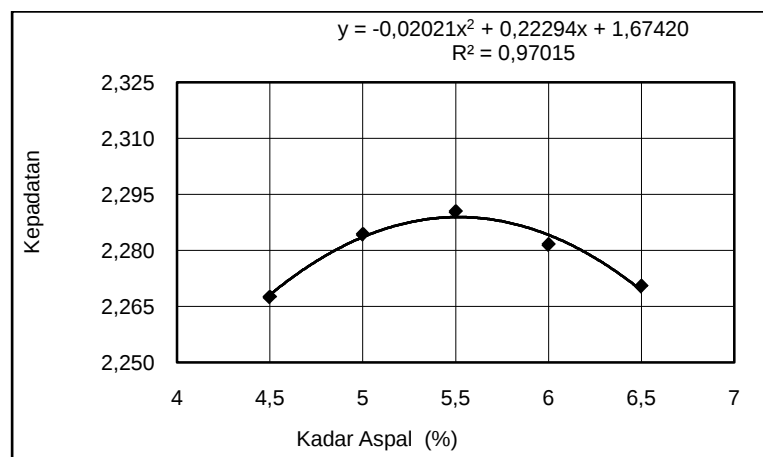
B Hubungan Antara Kepadatan dan Kadar Aspal.

Kepadatan akan meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai mencapai nilai tertentu, dan setelah itu kepadatan akan menurun.

Tabel 4.31 Hubungan Antara Kepadatan dan Kadar Aspal.

KadarAspal (%)	Kepadatan
4,5	2,27
5,0	2,28
5,5	2,29
6,0	2,28
6,5	2,27

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.10 : Hubungan Antara Kepadatan dan Kadar Aspal

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan rekapan pada tabel 4.31 menghasilkan Gambar 4.10 dapat di lihat bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai stabilitas dan nilai kepadatan akan semakin meningkat hingga mencapai batas optimum. Namun setelah melewati batas optimum maka nilai stabilitas dan nilai kepadatan akan menurun kembali karena selimut film aspal, yang sudah ada sudah menjadi tebal sehingga mudah terjadi kegemukan (*bleeding*). Semakin tinggi kadar aspal maka nilai *VMA* dan *VFB* akan semakin tinggi karena rongga-rongga yang ada antar agregat sudah terisi aspal. Sedangkan semakin tinggi kadar aspal maka nilai *VIM* akan semakin rendah karena rongga-rongga yang ada dalam campuran sudah penuh terisi aspal.

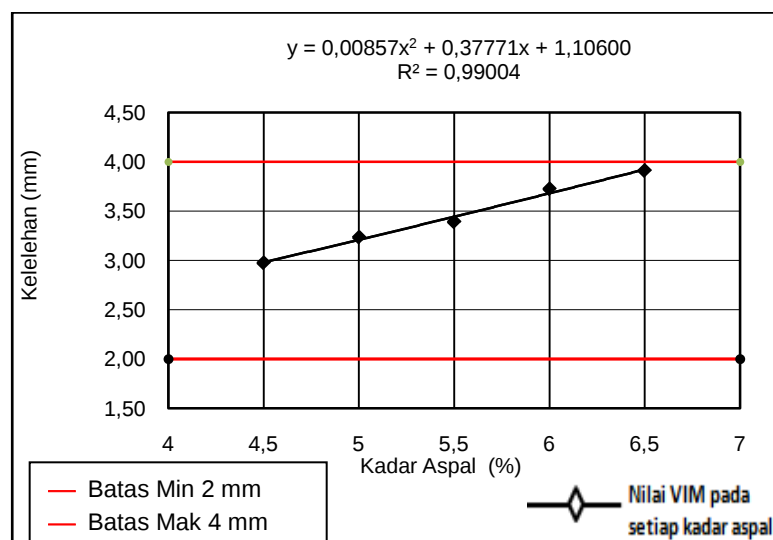
C Hubungan Antara Kelelehan (*Flow*) dan Kadar Aspal.

Kelelehan atau *Flow* akan terus meningkat dengan meningkatnya kadar aspal.

Tabel 4.32 Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan Kelelehan (*Flow*)

KadarAspal (%)	Kelelehan (<i>Flow</i>) (mm)
4,5	2,98
5,0	3,24
5,5	3,39
6,0	3,73
6,5	3,91

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.11 : Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan Kelelehan (*Flow*)

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan rekapan pada tabel 4.32 menghasilkan Gambar 4.11 dapat di lihat bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai *flow* akan semakin tinggi pula. Campuran yang memiliki angka kelelahan rendah stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku, sedangkan campuran kelelahan tinggi stabilitas rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk. Selain itu rongga yang terbentuk akibat butiran agregat menyebabkan berkurangnya *interlocking* campuran dan berakibat timbulnya deformasi. Dari gambar grafik-grafik menunjukkan bahwa hasil pengujian flow atau kelelahan dalam campuran memenuhi spesifikasi bina marga 2010 revisi 3.

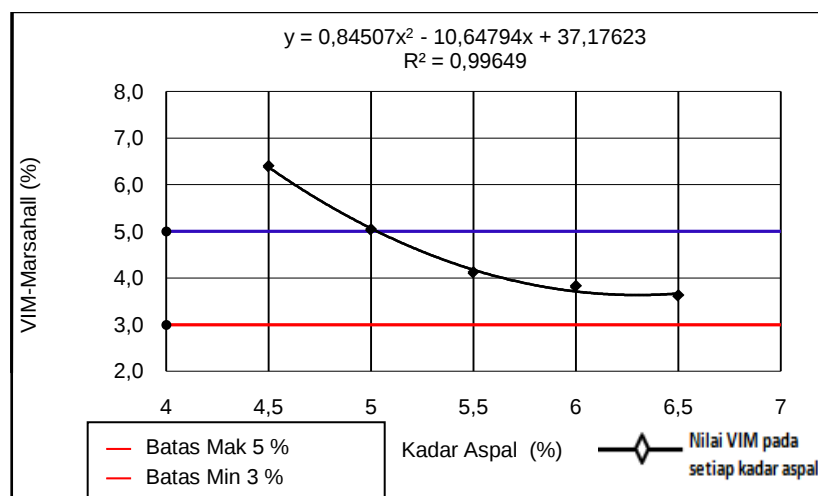
D Hubungan Antara *Void in Mix (VIM)* dan Kadar Aspal.

Lengkung *VIM* akan terus menurun dengan bertambahnya kadar aspal sampai secara ultimit mencapai nilai minimum.

Tabel 4.33 Hubungan Antara *Void in Mix (VIM)* dan Kadar Aspal.

Kadar Aspal (%)	<i>Void in Mix (VIM)</i> (%)
4,5	6,40
5,0	5,04
5,5	4,12
6,0	3,82
6,5	3,53

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.12 : Hubungan Antara *Void in Mix (VIM)* dan Kadar Aspal.

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Dari tabel 4.33 didapatkan Gambar 4.12 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 4.12 juga menunjukkan bahwa hasil pengujian rongga udara dalam campuran Laston, pada kadar aspal 5,0% sampai dengan 6,5%, memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 (minimum 3% dan Maksimum 5%) sedangkan kadar aspal 4,5% tidak memenuhi spesifikasi.

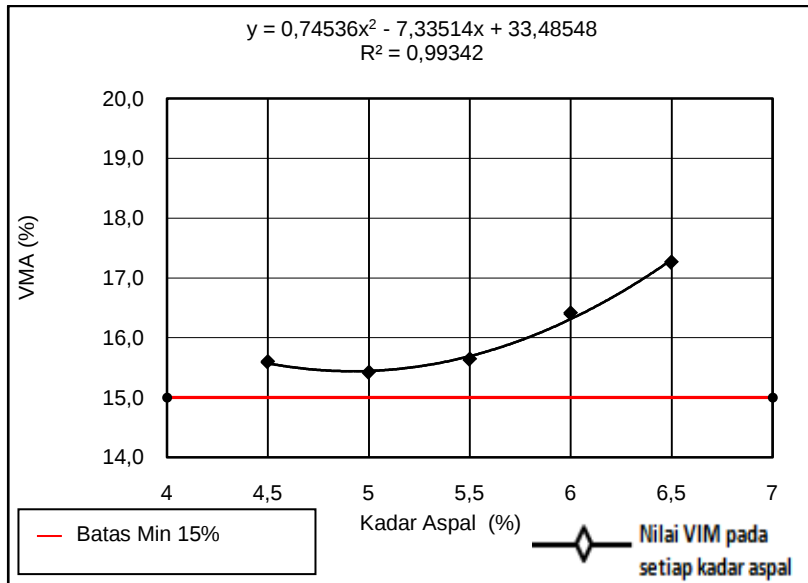
E Hubungan Antara *Void in the Mineral Aggregate (VMA)* dan Kadar Aspal.

Lengkung *VIM* akan terus menurun dengan bertambahnya kadar aspal sampai secara ultimit mencapai nilai minimum.

Tabel 4.34 Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan VMA

KadarAspal (%)	<i>Void in Mix (VMA) (%)</i>
4,5	15,59
5,0	15,42
5,5	15,64
6,0	16,41
6,5	17,30

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2018



Gambar 4.13 : Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan VIM

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Dari tabel 4.34 mendapatkan Gambar 4.13 menunjukkan bahwa bahwa nilai *VMA* akan naik 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. Selain itu nilai *VMA* juga dipengaruhi oleh factor pemadatan yang berkaitan dengan gradasi agregat. Besarnya pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara dalam beton aspal, menyebabkan semakin mudahnya film atau selimut aspal teroksidasi dengan udara sehingga menjadi kaku dan menurun durabilitasnya.

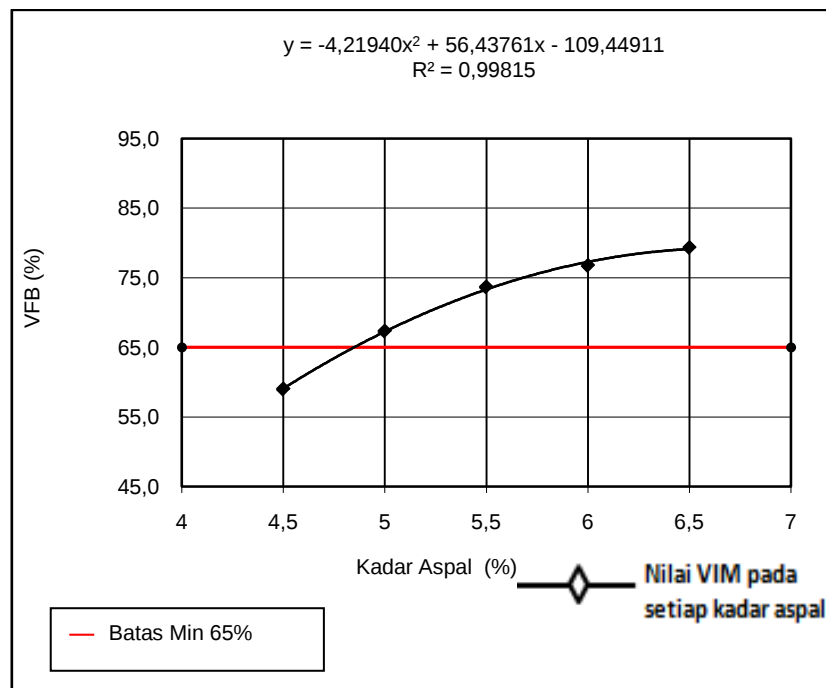
G Hubungan Antara *Void Filled with Bitumen (VFB)* dan Kadar Aspal.

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

Tabel 4.35 Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan VFB

Kadar Aspal (%)	VFB (%)
4,5	58,98
5,0	67,33
5,5	73,68
6,0	76,73
6,5	79,30

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 209



Gambar 4.14 : Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan VFB

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Dalam hasil penelitian dapat diperoleh nilai VFA 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 prosentase aspal dalam rongga menjadi naik. Pada kadar aspal 4,5% tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yakni minimum 65% sedangkan pada kadar aspal 5,0% sampai 6,5% memenuhi syarat spesifikasi.

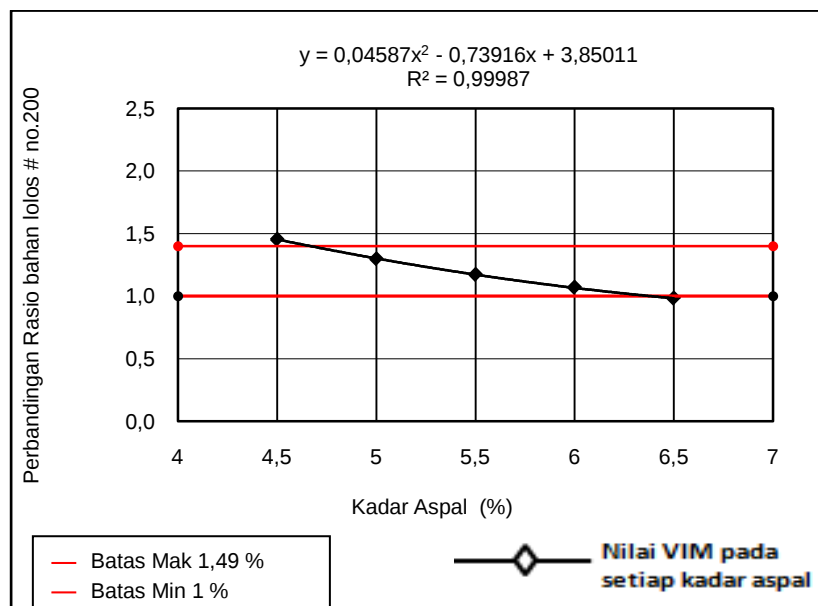
H Hubungan Rasio partikel Bahan Lolos # no. 200 dan Kadar Aspal.

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

Tabel 4.36 Hubungan Antara Rasio partikel Bahan Lolos # no. 200 dan Kadar Aspal.

Kadar Aspal (%)	Rasio Partikel (%)
4,5	1,45
5,0	1,30
5,5	1,17
6,0	1,07
6,5	0,98

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.15 : Hubungan Antara Rasio partikel Bahan Lolos # no. 200 dan Kadar

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Dari tabel 4.36 dan Gambar 4.15 bahwa semakin besar nilai marshall quotient berarti campuran semakin kaku, sebaliknya jika semakin kecil nilai marshall quotient maka campuran semakin lentur. Dari grafik-grafik diatas juga terlihat bahwa pada semua kadar aspal mulai dari 5,0% sampai pada 6,5% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3, sedangkan pada kadar aspal 4,5 tidak memenuhi yang disyaratkan yakni (minimum 1,0 dan maksimum 1,4)

4.4.1c Test Marshall (*Filler* Kapur Padam Dan Semen 50% + 50%)

Tabel 4.37 Rekapitan Hasil Pengujian Test Marshall Laston (AC-WC)

KadarAspal (%)	BendaUji <i>Marshall</i>	Parameter – Parameter Marshall					
		<i>VIM</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>VFA</i> (%)	Stabilitas (Kg)	<i>Flow (mm)</i>	Rasio Partikel
Spesifikasi		Min 3-max 5	Min14	Min65	Min 800	Min2-max4	Min1-max1,4
4,5 %	1	6,45	15,95	59,55	819,26	2,93	1,40
	2	6,60	16,09	58,97	774,,25	2,96	1,40
Rata-Rata		6,16	16,02	59,26	796,75	2,95	1,40
5,0 %	1	5,18	15,85	67,31	972,31	3,12	1,26
	2	5,16	15,83	67,41	918,29	3,20	1,26
Rata-Rata		5,17	15,84	67,36	945,30	3,16	1,26
5,5 %	1	4,12	15,94	74,18	1017,33	3,30	1,14
	2	4,19	16,01	73,80	981,31	3,43	1,14
Rata-Rata		4,16	15,98	73,99	999,32	3,37	1,14
6 %	1	3,83	16,72	77,08	927,30	3,60	1,04
	2	3,99	16,85	76,35	909,27	3,72	1,04
Rata-Rata		3,91	16,97	76,71	918,29	3,66	1,04
6,5 %	1	3,77	17,68	78,66	783,25	4,03	0,96
	2	3,83	17,73	78,38	828,26	4,24	0,96
Rata-Rata		3,80	17,71	78,52	805,76	4,14	0,96

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

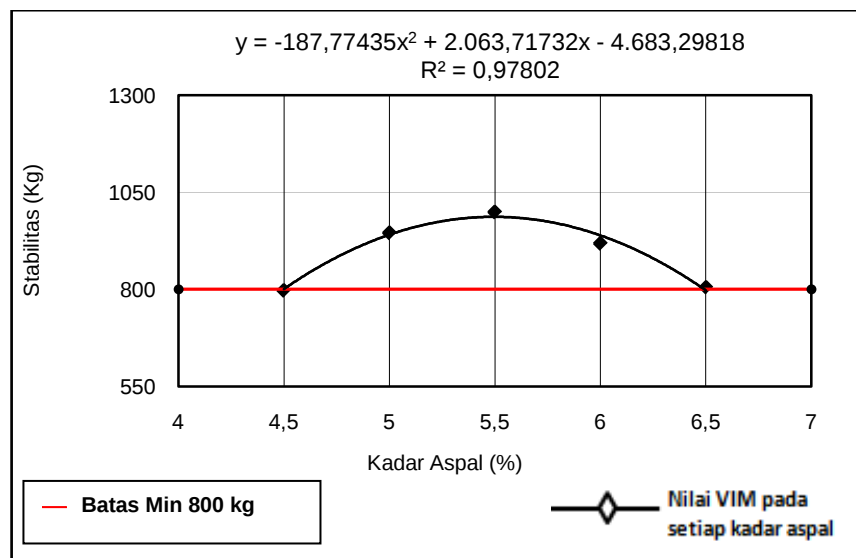
A Hubungan Antara Stabilitas dan Kadar Aspal.

Stabilitas (Ketahanan) akan meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai mencapai nilai maksimum, dan setelah itu stabilitas akan menurun.

Tabel 4.38 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)
4,5	796,75
5,0	945,30
5,5	999,32
6,0	918,29
6,5	805,76

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.16 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Stabilitas

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan tabel 4.38 Gambar 4.16 diatas 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. 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. Disamping itu Pemilihan agregat bergradasi menerus akan memperkecil rongga antar agregat sehingga penguncian antar agregat (*interlocking*) menjadi lebih baik.

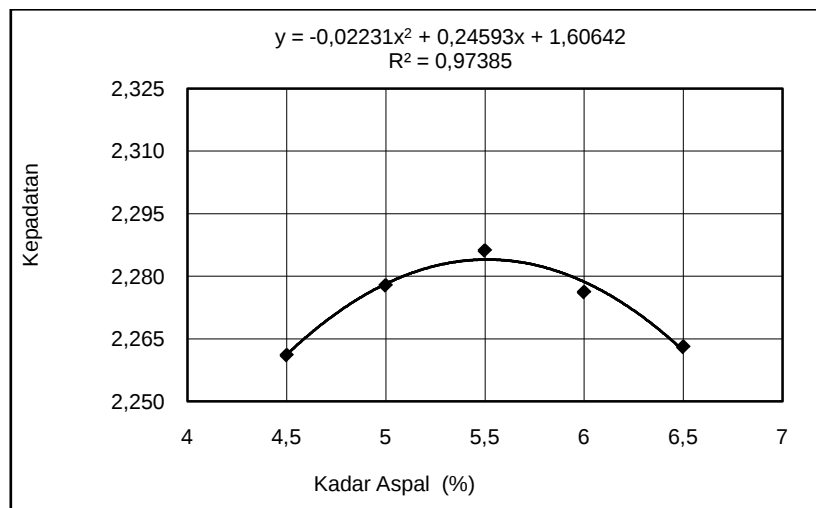
B Hubungan Antara Kepadatan dan Kadar Aspal.

Kepadatan akan meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai mencapai nilai tertentu, dan setelah itu kepadatan akan menurun.

Tabel 4.39 Hubungan Antara Kepadatan dan Kadar Aspal.

KadarAspal (%)	Kepadatan
4,5	2,26
5,0	2,28
5,5	2,29
6,0	2,28
6,5	2,26

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.17 Hubungan Antara Kepadatan dan Kadar Aspal

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Berdasarkan tabel 4.39 dan Gambar 4.17 terlihat bahwa semakin besar kadar aspal maka semakin besar juga kepadatan yang terjadi namun setelah melewati batas tertentu maka kepadatan akan menurun. Hal ini karena kadar aspal yang ada meningkat terus rongga - rongga yang ada juga sudah penuh terisi aspal, sehingga aspal yang ada sudah tidak bisa mengisi rongga lagi.

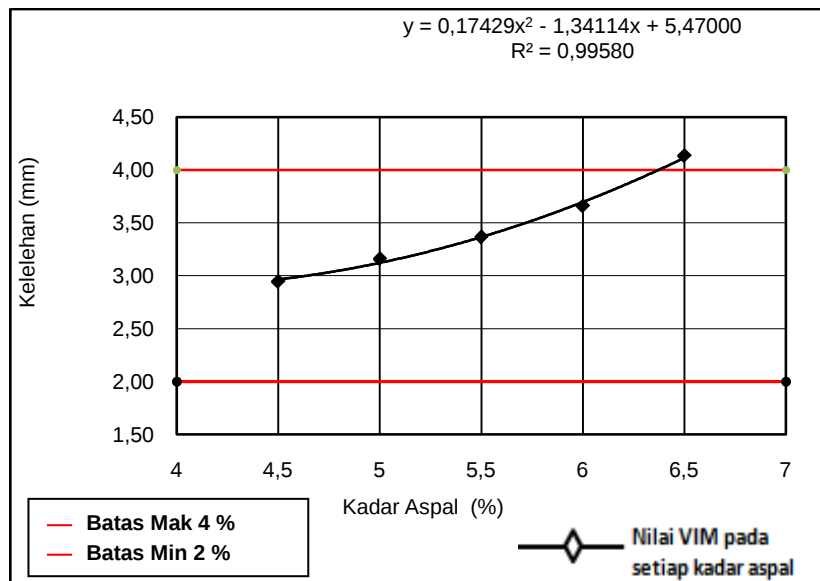
C Hubungan Antara Kadar Aspal dan Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan atau *Flow* akan terus meningkat dengan meningkatnya kadar aspal.

Tabel 4.40 Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan Kelelehan (*Flow*)

KadarAspal (%)	Kelelehan (<i>Flow</i>) (mm)
4,5	2,95
5,0	3,16
5,5	3,37
6,0	3,66
6,5	4,14

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.18 : Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan Kelelehan (*Flow*)

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2018

Dari hasil pada tabel 4.40 dan Gambar 4.18 dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai *flow* akan semakin tinggi pula. Campuran yang memiliki angka kelelehan rendah stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku, sedangkan campuran kelelehan tinggi stabilitas rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk. Selain itu rongga yang terbentuk akibat butiran agregat menyebabkan berkurangnya *interlocking* campuran dan berakibat timbulnya deformasi. Dari Gambar 4.18 menunjukkan bahwa

hasil pengujian flow atau kelelahan dalam campuran dari kadar 4,5 samapi 6,0 memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3, seadangkan pada kadar aspal 6,5 tidak memenuhi syarat yakni : (minimum 3 mm dan maksimum 4 mm)

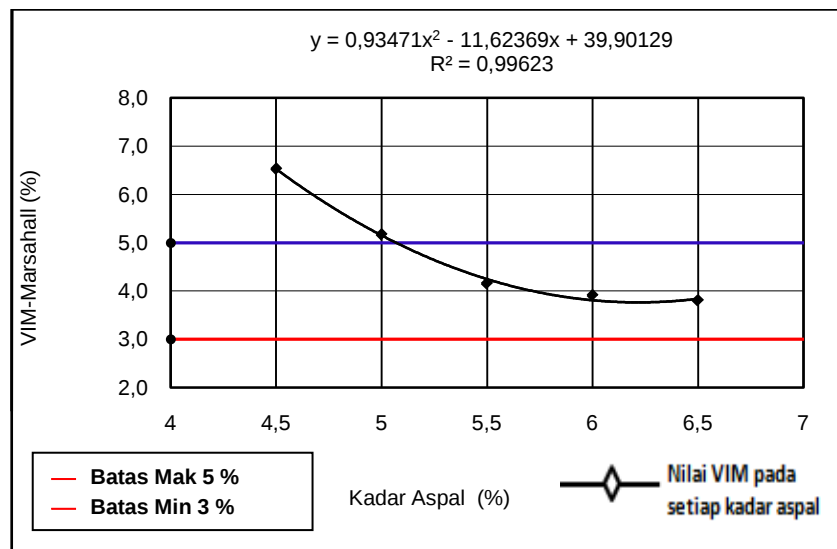
D Hubungan Antara Kadar Aspal dan *Void in Mix (VIM)*.

Lengkung *VIM* akan terus menurun dengan bertambahnya kadar aspal sampai secara ultimit mencapai nilai minimum.

Tabel 4.41 Hubungan Antara *Void in Mix (VIM)* dan Kadar Aspal.

Kadar Aspal (%)	<i>Void in Mix (VIM)</i> (%)
4,5	6,53
5,0	5,17
5,5	4,16
6,0	3,91
6,5	3,80

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.19 : Hubungan Antara *Void in Mix (VIM)* dan Kadar Aspal.

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Dari tabel 4.41 dan Gambar 4.19 dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal maka rongga udara dalam campuran padat akan semakin kecil, sedangkan semakin

kecil kadar aspal maka nilai rongga udara dalam campuran padat akan semakin besar. *VIM* yang terlalu besar akan menyebabkan beton aspal padat berkurang kekedapan airnya, sehingga berakibat 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.

Dari tabel 4.39 mendapatkan Gambar 4.18 juga menunjukkan bahwa hasil pengujian rongga udara dalam campuran Laston, pada kadar aspal 5,5% sampai dengan 6,5% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3, sedangkan pada kadar aspal 4,5% sampai 5,0 tidak memenuhi yang di syaratkan yakni (minimum 3% dan Maksimum 5%).

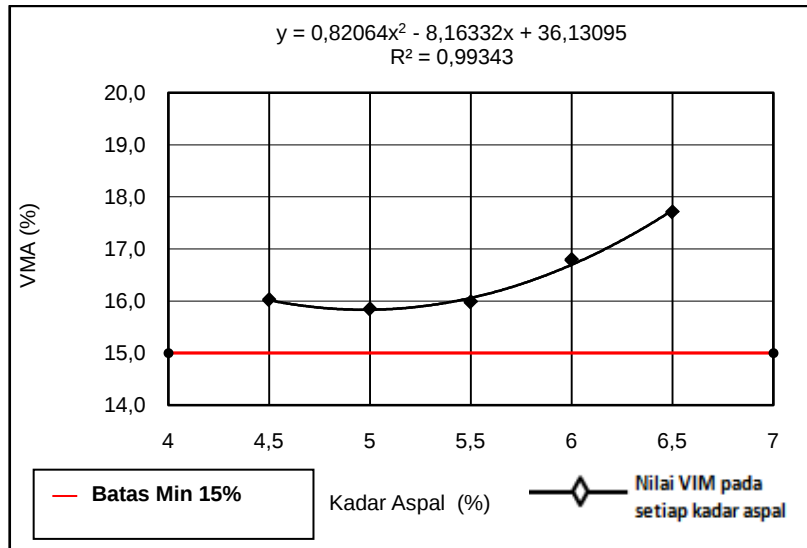
E Hubungan Antara Kadar Aspal dan *Void in the Mineral Aggregate (VMA)*

Lengkung *VMA* akan turun sampai mencapai nilai minimum dan kemudian kembali bertambah dengan bertambahnya kadar aspal.

Tabel 4.42 Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan *VMA*

Kadar Aspal (%)	<i>VMA</i> (%)
4,5	16,02
5,0	15,84
5,5	15,98
6,0	16,79
6,5	17,72

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.20 : Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan VMA

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Dari tabel 4.42 dan Gambar 4.20 diatas dapat terlihat bahwa nilai VMA akan naik 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. Selain itu nilai VMA juga dipengaruhi oleh factor pemadatan yang berkaitan dengan gradasi agregat. Besarnya pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara dalam beton aspal, menyebabkan semakin mudahnya film atau selimut aspal teroksidasi dengan udara sehingga menjadi kaku dan menurun durabilitasnya.

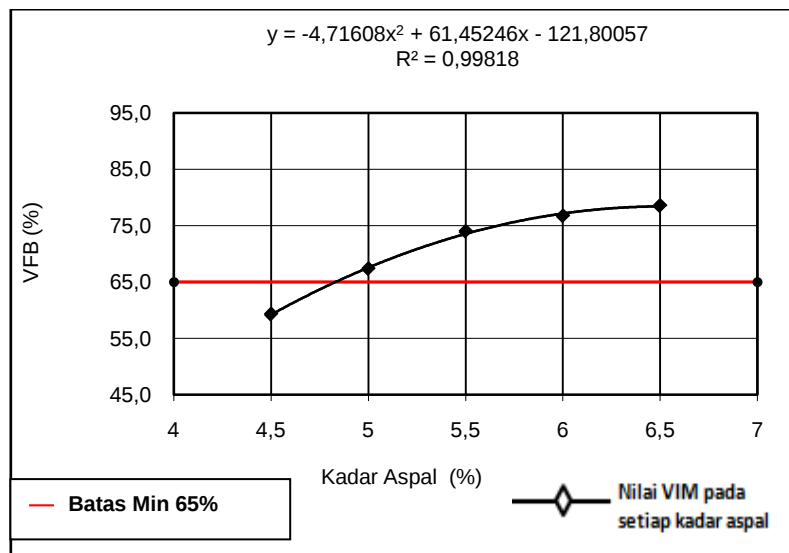
F Hubungan Antara Kadar Aspal dan Void Filled with Bitumen (VFB)

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

Tabel 4.43 Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan VFB

Kadar Aspal (%)	VFB (%)
4,5	59,26
5,0	67,36
5,5	73,99
6,0	76,71
6,5	78,52

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.21 : Hubungan Antara Kadar Aspal Dengan VFB

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Dalam hasil penelitian dapat diperoleh beberapa nilai *VFB* yang memenuhi syarat. Dari tabel 4.43 dan Gambar 4.21 juga terlihat bahwa nilai *VFB* pada kadar aspal 4,5 tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yakni minimum 65 %. 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 prosentase aspal dalam rongga menjadi naik, 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 %.

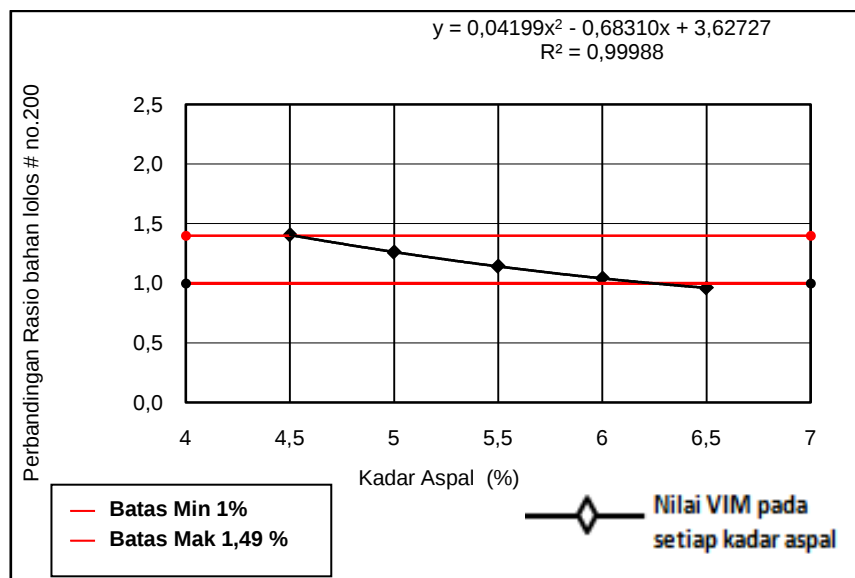
G Hubungan Rasio partikel Bahan Lolos # no. 200 dan Kadar Aspal.

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

Tabel 4.44 Hubungan Antara Rasio partikel Bahan Lolos # no. 200 dan Kadar Aspal.

Kadar Aspal (%)	Rasio Partikel (%)
4,5	1,40
5,0	1,26
5,5	1,14
6,0	1,04
6,5	0,96

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019



Gambar 4.22 : Hubungan Antara Rasio partikel Bahan Lolos # no. 200 dan Kadar Aspal

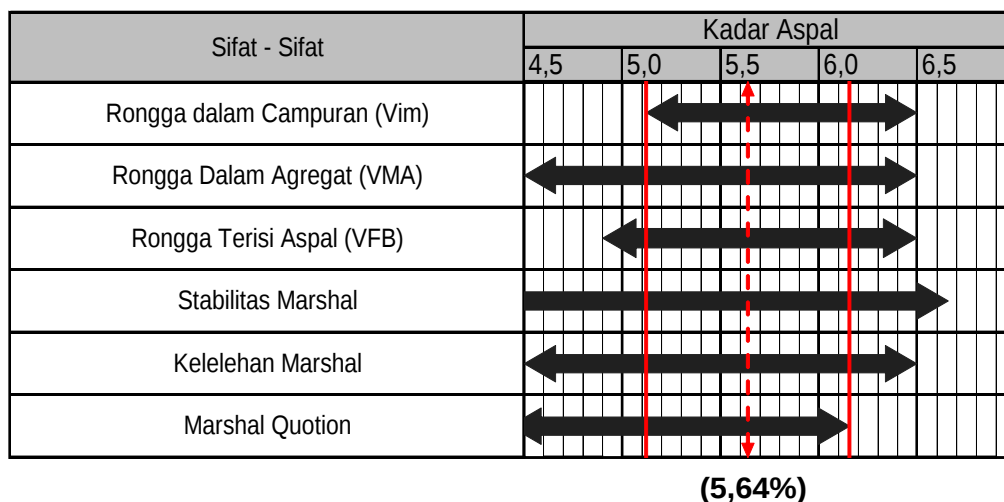
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Dari tabel 4.44 dan Gambar 4.22 bahwa semakin besar nilai marshall quotient berarti campuran semakin kaku, sebaliknya jika semakin kecil nilai marshall quotient maka campuran semakin lentur.

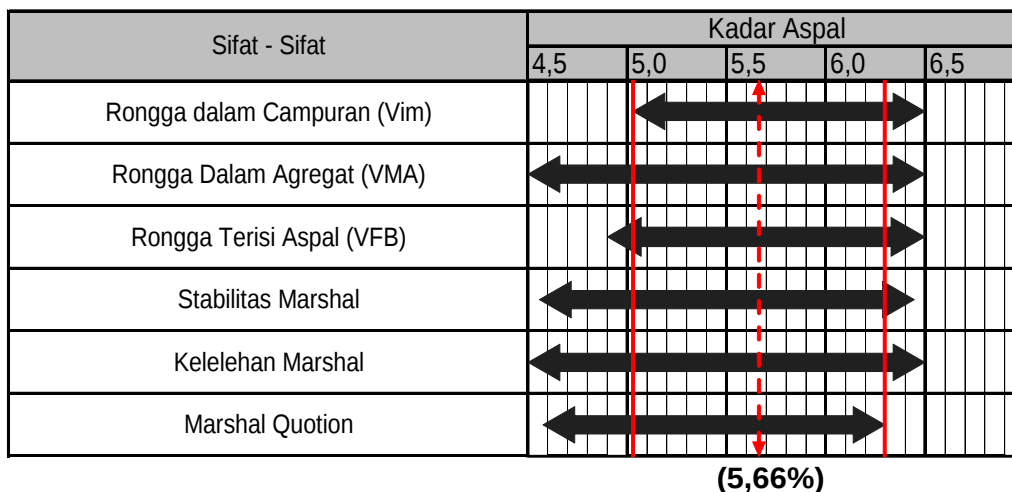
Dari tabel 4.44 dan Gambar 4.22 juga menyatakan bahwa Pada kadar aspal 4,5% sampai 6,0% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yang disyaratkan yakni minimum 1 maksimum 1,4 sedangkan pada kadar aspal 6,5% tidak memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yang disyaratkan yakni minimum1 maksimum 1,4.

4.5 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

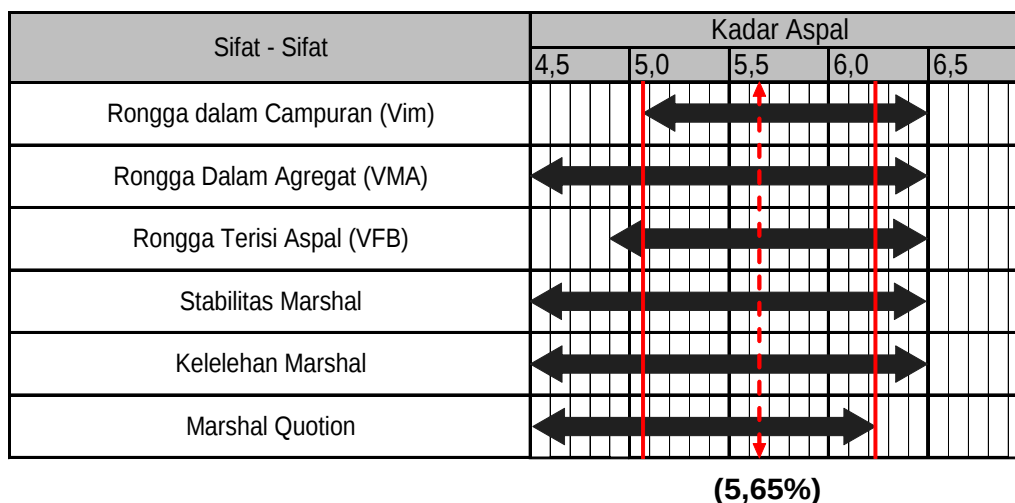
Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi campuran. Kadar aspal optimum yang dicapai sebesar (*Filler Semen Tonasa 5,64 %* , *Filler Kapur Padam 5,66 %*, dan *Filler Semen + Kapur Padam 5,65 %*) sudah memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan 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 4.23 : Diagram batang kadar aspal optimum untuk *filler* semen tonasa 100%
Sumber : Hasil perhitungan laboratorium 2019



Gambar 4.24 : Diagram batang kadar aspal optimum untuk *filler* kapur padam 100%
Sumber : Hasil perhitungan laboratorium 2019



Gambar 4.25 : Diagram batang kadar aspal optimum untuk *filler* semen tonasa 50% +
filler kapur padam 50%

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium 2019

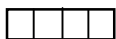
Keterangan :



= Kadar aspal optimum (KAO)



= Parameter *Marshall* (yang memenuhi)



= Parameter *Marshall* (yang tidak memenuhi)

Tabel 4.45 Perhitungan Rancangan Campuran *Filler* Kapur Padam dan Semen Tonasa 100%

KOMPONEN	PROPORSI 100% (Semen Tonasa)	PROPORSI 100% (Kapur Padam)	Berat Timbangan (Gr)
Batu Pecah 3/4	4,71%	4,71%	56,55
Batu Pecah 1/2	26,42%	26,42%	316,70
Abu Batu	47,18%	47,18%	565,53
Pasir Alam	14,15%	14,15%	22,62
Semen Tonasa	1,88%	-	22,62
Kapur Padam	-	1,88%	169,66
Kadar AspalTotal (%)	5,64	5,66	68,93
Total Agg Camp.(%)	100	100	1131,07
Total Campuran (%)			1.200

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium 2019

Tabel 4.46 Perhitungan Rancangan Campuran *Filler* Kapur Padam dan Semen Tonasa 50%

KOMPONEN	PROPORSI 50% (Semen Tonasa)	PROPORSI 50% (Kapur Padam)	Berat Timbangan (Gr)
Batu Pecah 3/4	4,71%	4,71%	56,55
Batu Pecah 1/2	26,42%	26,42%	316,70
Abu Batu	47,18%	47,18%	565,53
Pasir Alam	14,15%	14,15%	22,62
Semen Tonasa	0,94%	-	22,62
Kapur Padam	-	0,94%	169,66
Kadar AspalTotal (%)	5,65	5,65	68,93
Total Agg Camp.(%)	100	100	1131,07
Total Campuran (%)			1.200

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium 2019

Tabel 4.47 Rekapitulasi Hasil Penelitian (*Filler Kapur Padam*)

Komponen	Hasil	Satuan	Spesifikasi
Kadar Aspal Optimum	5,66	%	-
Proporsi Agregat	94,34	%	-
Berat jenis contoh campuran, Padat	2,289	-	-
Stabilitas	933,18	Kg	Min 800
Kelelahan Marshall (Flow)	3,520	mm	2.0-4.0
Rasio Partikel lolos no.200	1,12	%	1.0-1.4
Rongga dalam campuran (VIM)	3,98	%	3.0-5.0
Rongga dalam agregat (VMA)	15,85	%	Min 15
Rongga terisi aspal (VFB)	74,85	%	Min 65

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Tabel 4.48 : Rekapitulasi Hasil Penelitian (*Filler Semen*)

Komponen	Hasil	Satuan	Spesifikasi
Kadar Aspal Optimum	5,64	%	-
Proporsi Agregat	94,36	%	-
Berat jenis contoh campuran, Padat	2,281	-	-
Stabilitas	1007,73	Kg	Min 800
Kelelahan Marshall (Flow)	3,371	mm	2.0-4.0
Rasio Partikel lolos no.200	1,09	%	1.0-1.4
Rongga dalam campuran (VIM)	4,19	%	3.0-5.0
Rongga dalam agregat (VMA)	16,47	%	Min 15
Rongga terisi aspal (VFB)	74,66	%	Min 65

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

4.5.1 Rangkuman Hasil Pengujian Proporsi Campuran dengan KAO

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa Kadar Aspal Optimum untuk campuran Laston AC-WC menggunakan material *Quarry* Kota Foun Atambua dengan komposisi batu pecah 3/4" 4,71 %, batu pecah 1/2" 26,41 %, abu batu 47,17 %, pasir 14,15 %, Kadar Aspal Perkiraan adalah 5,74 %. Jadi, Kadar Aspal Optimum sebesar 5,66 %.

Tabel 4.49 Rekapitan Hasil Uji Campuran (*Filler Semen Tonasa 100%*)

No.	Komponen	Satuan	Proporsi	Spec	Keterangan
1	Batu Pecah 1"	%	4,71	-	Memenuhi Gradasi
2	Batu Pecah ½"	%	26,41	-	Memenuhi Gradasi
3	Abu Batu	%	47,17	-	Memenuhi Gradasi
4	Pasir	%	14,15	Max 15%	Memenuhi
5	Semen Tonasa	%	1,88	Max 2%	Memenuhi
6	Kadar Aspal Perkiraan	%	5,74	-	Memenuhi
7	Kadar Aspal Optimum	%	5,66	-	Memenuhi

Sumber: Hasil perhitungan Laboratorium 2019

Tabel 4.50 Rekapitan Hasil Uji Campuran (*Filler Kapur Padam 100%*)

No.	Komponen	Satuan	Proporsi	Spec	Keterangan
1	Batu Pecah 1"	%	4,71	-	Memenuhi Gradasi
2	Batu Pecah ½"	%	26,41	-	Memenuhi Gradasi
3	Abu Batu	%	47,17	-	Memenuhi Gradasi
4	Pasir	%	14,15	Max 15%	Memenuhi
5	Kapur Padam	%	1,88	Max 2%	Memenuhi
6	Kadar Aspal Perkiraan	%	5,74	-	Memenuhi
7	Kadar Aspal Optimum	%	5,64	-	Memenuhi

Sumber: Hasil perhitungan Laboratorium 2019

Tabel 4.51 Rekapitan Hasil Uji Campuran (*Filler Semen Tonasa 50% dan Filler Kapur Padam 50%*)

No.	Komponen	Satuan	Proporsi	Spec	Keterangan
1	Batu Pecah 1"	%	4,71	-	Memenuhi Gradasi
2	Batu Pecah ½"	%	26,41	-	Memenuhi Gradasi
3	Abu Batu	%	47,17	-	Memenuhi Gradasi
4	Pasir	%	14,15	Max 15%	Memenuhi
5	Semen Tonasa	%	0,94	Max 2%	Memenuhi
6	Kapur Padam	%	0,94	Max 2%	Memenuhi
7	Kadar Aspal Perkiraan	%	5,74	-	Memenuhi
8	Kadar Aspal Optimum	%	5,65	-	Memenuhi

Sumber: Hasil perhitungan Laboratorium 2019

4.6 Pembahasan

4.6.1 Pembahasan Parameter Marshall

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 rekapitan pada Tabel 4.22, 4.30, dan 4.38 Gambar 4.2, 4.9, dan 4.16 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 Kelelahan atau *Flow* akan terus meningkat dengan meningkatnya kadar aspal. Ketahanan anter hadap *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 4.23, 4.32, dan 4.40 Menghasilkan Gambar 4.4, 4.11, dan 4.18 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 semakin berkurang atau mudah menggeser. 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.

C 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 4.25, 4.33, dan 4.41 Gambar 4.5, 4.12, dan 4.19 dapat dilihat bahwa semakin tinggi 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.

D 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 4.26, 4.34, dan 4.42 Gambar 4.6, 4.13, dan 4.20 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 4.26, 4.34, dan 4.42 Gambar 4.6, 4.13, dan 4.20 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 ditentukan spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 minimum 14 %.

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

Dari hasil tabel 4.27, 4.35, dan 4.43 Gambar 4.7, 4.14, dan 4.21 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. Hubungan kadar aspal terhadap *VFB* memiliki batas minimum 65%. Dalam hasil penelitian dapat diperoleh beberapa nilai *VFB* yang memenuhi syarat. Dari hasil tabel 4.27, 4.35, dan 4.43 Gambar 4.7, 4.14, dan 4.21 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 %.

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

Berdasarkan rekapan pada tabel 4.28, 3.36, dan 4.44 menghasilkan Gambar 4.8, 4.14, dan 4.22 dapat dilihat bahwa nilai rasio partikel bahan lolos #no. 200 semakin menurun jika kadar aspal bertambah mulaidari 4,5% sampai 5,0% karena semakin bertambah persentase kadar aspal, *filler* yang digunakan semakin sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa persentase kadar aspal bertambah maka *filler* yang digunakan semakin berkurang karena digantikan oleh aspal untuk mengisi rongga antara agregat kasar dan agregat halus. Dari tabel 4.28, 3.36, dan 4.44 menghasilkan Gambar 4.8, 4.14, dan 4.22 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 Rekapitan Rancangan Campuran (Laston AC - WC) Filler Semen Tonasa 100%

Untuk rekapitan rancangan campuran (Laston Ac-Wc) pada filler semen tonasa 100 % dilihat pada tabel 4.52 di bawah ini :

Tabel 4.52 Rekapitan Rancangan Campuran (LASTON AC-WC)

NO	KOMPONEN	SATUAN	PROPORSI	SPESIFIKASI	KETERANGAN
1	Batu Pecah 3/4"	%	4,71	-	Memenuhi Gradasi
2	Batu Pecah 1/2"	%	26,41	-	Memenuhi Gradasi
3	Abu Batu	%	47,17	-	Memenuhi Gradasi
4	Pasir Alam	%	14,15	-	Memenuhi Gradasi
5	Filler (Semen Tonasa)	%	1,88	-	Memenuhi Gradasi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Perhitungan : (Filler Semen Tonasa 100%)

Komposisi Agregat Campuran Total

Batu Pecah 1" = 5,00 %
 Batu Pecah ½" = 28,00 %
 Abu Batu = 50,00 %
 Pasir Alam = 15,00 %
 Semen Tonasa = 2,00 % +

Total Agregat Campuran = 100%

A. Batu Pecah ¾"

= Komposisi Agregat Kasar ¾" x (100 – KAO)
 = 8,00% x (100 – 5,64)
 = **7,547%**

B. Batu Pecah ½"

$$= \text{Komposisi Agregat Kasar } \frac{1}{2}'' \times (100 - \text{KAO})$$
$$= 28,00\% \times (100 - 5,64) = \mathbf{26,421\%}$$

C. Abu Batu

$$= \text{Komposisi Abu Batu} \times (100 - \text{KAO})$$
$$= 50,00\% \times (100 - 5,64)$$
$$= \mathbf{47,180\%}$$

D. Pasir Alam

$$= \text{Komposisi Pasir Alam} \times (100 - \text{KAO})$$
$$= 15,00\% \times (100 - 5,64)$$
$$= \mathbf{14,151\%}$$

E. Semen Tonasa

$$= \text{Komposisi Semen Tonasa} \times (100 - \text{KAO})$$
$$= 2,00\% \times (100 - 5,64)$$
$$= \mathbf{1,88\%}$$

4.6.2.1 Rekapitan Sifat-sifat Campuran (LASTON AC-WC) Filler Semen Tonasa 100%

Untuk rekapitan sifat-sifat campuran (Laston Ac-Wc) Filler Semen Tonasa 100% dilihat pada tabel 4.53 di bawah ini :

Tabel 4.53 Rekapitan Sifat-sifat Campuran (LASTON AC-WC)

N0	Sifat-Sifat	Satuan	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Kadar Aspal Total	%	5,64	-	Memenuhi
2	Berat Jenis Maksimum Camp. (Gmm)	-	2,377	-	Memenuhi
3	Berat Jenis Aspal	-	1,030	-	Memenuhi
4	Berat Jenis Bulk Agregat	-	2,571	-	Memenuhi
5	Proporsi Agregat	%	94,35	-	Memenuhi
6	Rasio Partikel Lolos no. 200 Dengan Kadar Aspal Efektif	%	1,09	1,0 – 1,4	Memenuhi
7	Penyerapan Aspal	%	0,184	Max 1.2	Memenuhi
8	Kadar Aspal Efektif	%	5,469	Min 4.3	Memenuhi
9	Berat Jenis Contoh Camp. Padat (Gmb)	-	2,284	-	Memenuhi
10	Stabilitas Marshall	Kg	982,29	Min 800	Memenuhi
11	Kelelahan Marshall	Mm	3,458	2,0 – 4,0	Memenuhi
12	Rongga dalam campuran (VIM)	%	4,06	3,0 – 5,0	Memenuhi
13	Rongga dalam agregat (VMA)	%	16,21	Min 15	Memenuhi
14	Rongga terisi aspal (VFB)	%	74,88	Min 65	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Perhitungan :

1. Kadar Aspal Total
Hasil Pengujian KAO = **5,64%**
2. Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm)
Hasil Pengujian GMM rata-rata= **2,377**
3. Berat Jenis Aspal
Hasil Pengujian Produksi Pertamina= **1,030**
4. Berat Jenis Bulk Agregat

4.6.2.2 Berat Jenis Bulk Agregat (*Filler* Semen Tonasa 100%)

Untuk Berat Jenis Bulk Agregat (*Filler* Semen Tonasa 100%) dilihat pada tabel 4.54 dibawah ini :

Tabel 4.54 : Berat Jenis Bulk Agregat

Komponen	Proporsi Agregat	BJ Bulk Agregat		BJ Bulk Agregat Gabungan
Batu Pecah 3/4"	4,71%	2,457	2,035	
Batu Pecah 1/2"	26,41%	2,445	11,452	
Abu Batu	47,17%	2,664	18,909	
Pasir Alam	14,15%	2,598	5,774	
Semen Tonasa	1,88%	3,150	0,635	
BJ Agregat	100%		40,97	2,577

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

- a. Batu Pecah 3/4"
$$= (5,00\% / 2,457) \times 100$$
$$= \mathbf{2,035}$$
- b. BJ Agregat Rata-rata
$$= 2,035 + 11,452 + 18,909 + 5,774 + 0,635$$
$$= \mathbf{40,79}$$
- c. BJ Bulk Agregat Rata-rata
$$= (100\% / 40,79) \times 100$$
$$= \mathbf{2,453}$$

5. Proporsi Agregat

$$\begin{aligned}
 &= 100 - \text{KAO} \\
 &= 100 - 5,64 \\
 &= \mathbf{94,36 \%}
 \end{aligned}$$

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

$$\text{KAO} = 5,64$$

$$\begin{aligned}
 Y &= 0,04004x^2 + 0,65473x + 3,51347 \\
 &= 0,04004 \times (5,64)^2 - 0,65473 \times 5,64 + 3,51347 \\
 &= \mathbf{1,094 \%}
 \end{aligned}$$

7. Penyerapan Aspal

$$\text{Gmm rata-rata} = 2,377$$

$$\text{Perkiraan Kadar Aspal (Gmm)} = 5,74\%$$

$$\text{BJ Bulk Agregat Rata-rata} = 2,577$$

$$\text{BJ Aspal} = 1,030$$

$$\text{BJ Agregat Eff}$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{100 - \text{KA Gmm}}{\frac{100}{\text{Gmm}} - \frac{\text{KA Gmm}}{\text{Bj Aspal}}} \right) \\
 &= \left(\frac{100 - 5,74\%}{\frac{100}{2,377} - \frac{5,74}{1,030}} \right) \\
 &= 2,583
 \end{aligned}$$

$$\text{Penyerapan Aspal}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{BJ Agregat Eff} - \text{BJ Bulk Agregat}}{\text{BJ Agregat Eff} \times \text{BJ Bulk Agregat}} \times \text{BjAspal} \\
 &= \frac{2,583 - 2,571}{2,583 \times 2,571} \times 1,030 \\
 &= \mathbf{0,186\%}
 \end{aligned}$$

8. Kadar Aspal Efektif

$$\begin{aligned}
 &= \text{Kadar Aspal Total} - \text{Penyerapan Aspal} \\
 &= 5,64 \% - 0,186 \% \\
 &= \mathbf{5,454 \%}
 \end{aligned}$$

9. Berat Jenis Contoh Camp. Padat (Gmb)

$$\text{KAO} = 5,64$$

$$\begin{aligned}
 Y &= -0,02066x^2 + 0,22807x + 1,65194 \\
 &= -0,02066 \times (5,64)^2 + 0,22807 \times 5,64 + 1,65194 = \mathbf{2,281}
 \end{aligned}$$

10. Stabilitas Marshall

$$\begin{aligned} \text{KAO} &= 5,64 \\ Y &= -153,74561x^2 + 1.687,41301x - 3.618,70762 \\ &= -153,74561 \times (5,64)^2 + 1.687,41301 \times 5,64 - 3.618,70762 \\ &= \mathbf{1.007,715 \text{ Kg}} \end{aligned}$$

11. Kelelehan Marshall

$$\begin{aligned} \text{KAO} &= 5,64 \\ Y &= 0,07857x^2 - 0,38729x + 3,05600 \\ &= 0,07857 \times (5,64)^2 - 0,38729 \times 5,64 + 3,05600 \\ &= \mathbf{3,371 \text{ mm}} \end{aligned}$$

12. Rongga dalam Campuran (VIM)

$$\begin{aligned} \text{KAO} &= 5,64 \\ Y &= 0,86493x^2 - 10,87153x + 37,99171 \\ &= 0,86493x^2 (5,64)^2 - 10,87153 \times 5,64 + 37,99171 \\ &= \mathbf{4,189 \%} \end{aligned}$$

13. Rongga dalam Agregat (VMA)

$$\begin{aligned} \text{KAO} &= 5,64 \\ Y &= 0,75811x^2 - 7,49191x + 34,60992 \\ &= 0,75811 \times (5,64)^2 - 7,49191 \times 5,64 + 34,60992 \\ &= \mathbf{16,471\%} \end{aligned}$$

14. Rongga Terisi Aspal (VFA)

$$\begin{aligned} \text{KAO} &= 5,64 \\ Y &= -4,45310x^2 + 58,43592x - 113,27020 \\ &= -4,45310 \times (5,64)^2 + 58,43592 \times 5,64 - 113,27020 \\ &= \mathbf{74,657 \%} \end{aligned}$$

4.6.3 Rekapitan Rancangan Campuran (Laston AC-WC) Filler Kapur Padam 100%

Untuk Rekapitan Rancangan Campuran (Laston AC-WC) Filler Kapur Padam 100% dilihat pada tabel 4.55 di bawah ini :

Tabel 4.55 Rekapitan Rancangan Campuran (LASTON AC-WC)

NO	KOMPONEN	SATUAN	PROPORSI	SPESIFIKASI	KETERANGAN
1	Batu Pecah 3/4"	%	4,71	-	Memenuhi Gradasi
2	Batu Pecah 1/2"	%	26,41	-	Memenuhi Gradasi
3	Abu Batu	%	47,17	-	Memenuhi Gradasi
4	Pasir Alam	%	14,15	-	Memenuhi Gradasi
5	Filler (Kapur Padam)	%	1,88	-	Memenuhi Gradasi

Sumber: Hasil perhitungan Laboratorium 2019

Perhitungan : (Filler Kapur Padam 100%)

Komposisi Agregat Campuran Total

Batu Pecah 1"	= 5,00 %	
Batu Pecah 1/2"	= 28,00 %	
Abu Batu	= 50,00 %	
Pasir Alam	= 15,00 %	
Kapur Padam	= 2,00 %	+
Total Agregat Campuran		= 100%

F. Batu Pecah 3/4"

$$\begin{aligned} &= \text{Komposisi Agregat Kasar } 3/4" \times (100 - \text{KAO}) \\ &= 8,00\% \times (100 - 5,66) \\ &= \mathbf{7,547\%} \end{aligned}$$

G. Batu Pecah 1/2"

$$\begin{aligned} &= \text{Komposisi Agregat Kasar } 1/2" \times (100 - \text{KAO}) \\ &= 28,00\% \times (100 - 5,66) \\ &= \mathbf{26,415\%} \end{aligned}$$

H. Abu Batu

$$\begin{aligned} &= \text{Komposisi Abu Batu} \times (100 - \text{KAO}) \\ &= 50,00\% \times (100 - 5,66) \\ &= \mathbf{47,170\%} \end{aligned}$$

I. Pasir Alam

$$\begin{aligned}
 &= \text{Komposisi Pasir Alam} \times (100 - \text{KAO}) \\
 &= 15,00\% \times (100 - 5,66) \\
 &= \mathbf{14,151\%}
 \end{aligned}$$

J. Pasir Alam

$$\begin{aligned}
 &= \text{Komposisi Kapur Padam} \times (100 - \text{KAO}) \\
 &= 2,00\% \times (100 - 5,66) \\
 &= \mathbf{1,887}
 \end{aligned}$$

4.6.3.1 Rekapitan Sifat-sifat Campuran (Laston AC-WC) Filler Kapur Padam 100%

Untuk Rekapitan Sifat-sifat Campuran (Laston AC-WC) Filler Kapur Padam 100% dilihat pada tabel **4.56** di bawah ini :

Tabel 4.56 Rekapitan Sifat-sifat Campuran (LASTON AC-WC)

N0	Sifat-Sifat	Satuan	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Kadar Aspal Total	%	5,66	-	Memenuhi
2	Berat Jenis Maksimum Camp. (Gmm)	-	2,381	-	Memenuhi
3	Berat Jenis Aspal	-	1,030	-	Memenuhi
4	Berat Jenis Bulk Agregat	-	2,571	-	Memenuhi
5	Proporsi Agregat	%	94,35	-	Memenuhi
6	Rasio Partikel Lolos no. 200 Dengan Kadar Aspal Efektif	%	1,12	1,0 – 1,4	Memenuhi
7	Penyerapan Aspal	%	0,184	Max 1.2	Memenuhi
8	Kadar Aspal Efektif	%	5,469	Min 4.3	Memenuhi
9	BeratJenisContohCamp.Padat (Gmb)	-	2,284	-	Memenuhi
10	Stabilitas Marshall	Kg	982,29	Min 800	Memenuhi
11	Kelelehan Marshall	Mm	3,458	2,0 – 4,0	Memenuhi
12	Rongga dalam campuran (VIM)	%	4,06	3,0 – 5,0	Memenuhi
13	Rongga dalam agregat (VMA)	%	16,21	Min 15	Memenuhi
14	Rongga terisi aspal (VFB)	%	74,88	Min 65	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Perhitungan :

1. Kadar Aspal Total
Hasil Pengujian KAO = **5,65%**
2. Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm)
Hasil Pengujian GMM rata-rata= **2,381**
3. Berat Jenis Aspal
Hasil Pengujian Produksi Pertamina= **1,030**
4. Berat Jenis Bulk Agregat

4.6.3.2 Berat Jenis Bulk Agregat *Filler* Kapur Padam 100%

Untuk Berat Jenis Bulk Agregat *Filler* Kapur Padam 100% dilihat pada tabel **4.57** dibawah ini :

Tabel 4.57 : Berat Jenis Bulk Agregat

Komponen	Proporsi Agregat	BJ Bulk Agregat		BJ Bulk Agregat Gabungan
Batu Pecah 3/4"	4,71%	2,457	2,035	
Batu Pecah 1/2"	26,41%	2,445	11,452	
Abu Batu	47,17%	2,664	18,909	
Pasir Alam	14,15%	2,598	5,774	
Kapur Padam	1,88%	2,474	0,808	
BJ Agregat	100%		38,98	2,566

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

- a. Batu Pecah 3/4"
$$= (5,00\% / 2,457) \times 100$$
$$= 2,035$$
- b. BJ Agregat Rata-rata
$$= 2,035 + 11,452 + 18,909 + 5,774 + 0,808$$
$$= 38,98$$
- c. BJ Bulk Agregat Rata-rata
$$= (100\% / 38,98) \times 100$$
$$= \mathbf{2,566}$$

5. Proporsi Agregat

$$\begin{aligned}
 &= 100 - \text{KAO} \\
 &= 100 - 5,66 \\
 &= \mathbf{94,34 \%}
 \end{aligned}$$

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

$$\text{KAO} = 5,66$$

$$\begin{aligned}
 Y &= 0,04587x^2 - 0,73916x + 3,85011 \\
 &= 0,04587 \times (5,66)^2 - 0,73916 \times 5,66 + 3,85011 \\
 &= \mathbf{1,136 \%}
 \end{aligned}$$

7. Penyerapan Aspal

$$\text{Gmm rata-rata} = 2,381$$

$$\text{Perkiraan Kadar Aspal (Gmm)} = 5,74\%$$

$$\text{BJ Bulk Agregat Rata-rata} = 2,566$$

$$\text{BJ Aspal} = 1,030$$

$$\text{BJ Agregat Eff}$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{100 - \text{KA Gmm}}{\frac{100}{\text{Gmm}} - \frac{\text{KA Gmm}}{\text{Bj Aspal}}} \right) \\
 &= \left(\frac{100 - 5,74\%}{\frac{100}{2,381} - \frac{5,74}{1,030}} \right) \\
 &= 2,665
 \end{aligned}$$

$$\text{Penyerapan Aspal}$$

$$= \frac{\text{BJ Agregat Eff} - \text{BJ Bulk Agregat}}{\text{BJ Agregat Eff} \times \text{BJ Bulk Agregat}} \times \text{BjAspal}$$

$$= \frac{2,665 - 2,566}{2,665 \times 2,566} \times 1,030$$

$$= \mathbf{0,166 \%}$$

8. Kadar Aspal Efektif

$$= \text{Kadar Aspal Total} - \text{Penyerapan Aspal}$$

$$= 5,66 \% - 0,166 \%$$

$$= \mathbf{5,494 \%}$$

9. Berat Jenis Contoh Camp. Padat (Gmb)

$$KAO = 5,66$$

$$\begin{aligned} Y &= 0,02231x^2 + 0,24953x + 1,60642 \\ &= 0,02231 \times (5,66)^2 + 0,24953 \times 5,66 + 1,60642 \\ &= \mathbf{3,733} \end{aligned}$$

10. Stabilitas Marshall

$$KAO = 5,66$$

$$\begin{aligned} Y &= -153,745x^2 + 1.691,539x - 3.715,413 \\ &= -153,745 \times (5,66)^2 + 1.691,539 \times 5,66 - 3.715,413 \\ &= \mathbf{933,384 \text{ Kg}} \end{aligned}$$

11. Kelelahan Marshall

$$KAO = 5,66$$

$$\begin{aligned} Y &= 0,00857x^2 + 0,37771x + 1,10600 \\ &= 0,00857 \times (5,66)^2 + 0,37771 \times 5,66 + 1,10600 \\ &= \mathbf{3,518 \text{ mm}} \end{aligned}$$

12. Rongga dalam Campuran (VIM)

$$KAO = 5,65$$

$$\begin{aligned} Y &= 0,9347x^2 - 11,6236x + 39,9012 \\ &= 0,9347 \times (5,65)^2 - 11,6236 \times 5,65 + 39,9012 \\ &= \mathbf{4,07 \%} \end{aligned}$$

13. Rongga dalam Agregat (VMA)

$$KAO = 5,66$$

$$\begin{aligned} Y &= 0,745x^2 - 7,335x + 33,485 \\ &= 0,745 \times (5,66)^2 - 7,335 \times 5,66 + 33,485 \\ &= \mathbf{15,847 \%} \end{aligned}$$

14. Rongga Terisi Aspal (VFB)

$$KAO = 5,66$$

$$\begin{aligned} Y &= -4,219x^2 + 56,437x - 109,449 \\ &= -4,219 \times (5,66)^2 + 56,437 \times 5,66 - 109,449 \\ &= \mathbf{74,826 \%} \end{aligned}$$

4.6.4 Rekapitan Rancangan Campuran (Laston AC-WC) Filler Semen Tonasa 50% + Kapur Padam 50%

Untuk Rekapitan Rancangan Campuran (Laston AC-WC) Filler Semen Tonasa 50% + Kapur Padam 50% dilihat pada tabel **4.58** di bawah ini :

Tabel 4.58 Rekapitan Rancangan Campuran (LASTON AC-WC)

NO	KOMPONEN	SATUAN	PROPORSI	SPESIFIKASI	KETERANGAN
1	Batu Pecah 3/4"	%	4,717	-	Memenuhi Gradasi
2	Batu Pecah 1/2"	%	26,417	-	Memenuhi Gradasi
3	Abu Batu	%	47,173	-	Memenuhi Gradasi
4	Pasir Alam	%	14,152	-	Memenuhi Gradasi
5	Filler (Kapur Padam)	%	0,94%	-	Memenuhi Gradasi
6	Filler (Semen Tonasa)	%	0,94%	-	Memenuhi Gradasi

Sumber: Hasil perhitungan Laboratorium 2019

Perhitungan : (Filler Kapur Padam 50% dan Semen Tonasa 50%)

Komposisi Agregat Campuran Total

Batu Pecah 1" = 5,00 %
 Batu Pecah 1/2" = 28,00 %
 Abu Batu = 50,00 %
 Pasir Alam = 15,00 %
 Kapur Padam = 1,00 %
 Semen Tonasa = 1,00 % +

Total Agregat Campuran = 100%

K. Batu Pecah 3/4"

= Komposisi Agregat Kasar 3/4" x (100 – KAO)
 = 5,00% x (100 – 5,65)
 = **4,718%**

L. Batu Pecah 1/2"

= Komposisi Agregat Kasar 1/2" x (100 – KAO)
 = 28,00% x (100 – 5,65)
 = **26,418%**

M. Abu Batu

= Komposisi Abu Batu x (100 – KAO)
 = 50,00% x (100 – 5,65) = **47,175%**

N. Pasir Alam

$$\begin{aligned}
 &= \text{Komposisi Pasir Alam} \times (100 - \text{KAO}) \\
 &= 15,00\% \times (100 - 5,64) \\
 &= \mathbf{14,153\%}
 \end{aligned}$$

O. Kapur Padam

$$\begin{aligned}
 &= \text{Komposisi Pasir Alam} \times (100 - \text{KAO}) \\
 &= 1,00\% \times (100 - 5,65) \\
 &= \mathbf{0,944}
 \end{aligned}$$

P. Semen Tonasa

$$\begin{aligned}
 &= \text{Komposisi Pasir Alam} \times (100 - \text{KAO}) \\
 &= 1,00\% \times (100 - 5,65) \\
 &= \mathbf{0,944}
 \end{aligned}$$

4.6.4.1 Rekapitan Sifat-sifat Campuran (Laston AC-WC) Filler Semen Tonasa 50% + Kapur Padam 50%

Untuk rekapitan sifat-sifat campuran (Laston AC-WC) filler semen tonasa 50% + kapur padam 50% dilihat pada tabel 4.59 dibawah ini :

Tabel 4.59 Rekapitan Sifat-sifat Campuran (LASTON AC-WC)

N0	Sifat-Sifat	Satuan	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Kadar Aspal Total	%	5,65	-	Memenuhi
2	Berat Jenis Maksimum Camp. (Gmm)	-	2,377	-	Memenuhi
3	Berat Jenis Aspal	-	1,030	-	Memenuhi
4	Berat Jenis Bulk Agregat	-	2,571	-	Memenuhi
5	Proporsi Agregat	%	94,35	-	Memenuhi
6	Rasio Partikel Lolos no. 200 Dengan Kadar Aspal Efektif	%	1,11	1,0 – 1,4	Memenuhi
7	Penyerapan Aspal	%	0,184	Max 1.2	Memenuhi
8	Kadar Aspal Efektif	%	5,469	Min 4.3	Memenuhi
9	BeratJenisContohCamp.Padat (Gmb)	-	2,284	-	Memenuhi
10	Stabilitas Marshall	Kg	982,29	Min 800	Memenuhi
11	Kelelehan Marshall	Mm	3,458	2,0 – 4,0	Memenuhi
12	Rongga dalam campuran (VIM)	%	4,06	3,0 – 5,0	Memenuhi
13	Rongga dalam agregat (VMA)	%	16,21	Min 15	Memenuhi
14	Rongga terisi aspal (VFB)	%	74,88	Min 65	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Perhitungan :

1. Kadar Aspal Total
Hasil Pengujian KAO = **5,65%**
2. Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm)
Hasil Pengujian GMM rata-rata= **2,377**
3. Berat Jenis Aspal
Hasil Pengujian Produksi Pertamina= **1,030**
4. Berat Jenis Bulk Agregat

4.6.4.2 Berat Jenis Bulk Agregat (Laston AC-WC) Filler Semen Tonasa 50% + Kapur Padam 50%

Untuk berat jenis bulk agregat (Laston AC-WC) *filler* semen tonasa 50% + kapur padam 50% dilihat pada tabel **4.60** dibawah ini :

Tabel 4.60 : Berat Jenis Bulk Agregat

Komponen	Proporsi Agregat	BJ Bulk Agregat		BJ Bulk Agregat Gabungan
Batu Pecah 3/4"	5,00%	2,457	2,035	
Batu Pecah 1/2"	28,00%	2,445	11,452	
Abu Batu	50,00%	2,664	18,909	
Pasir Alam	15,00%	2,598	5,774	
Kapur Padam	1,00%	3,150	0,317	
Semen Tonasa	1,00%	2,474	0,404	
BJ Agregat	100%		38,89	2,571

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

- a. Batu Pecah 3/4"

$$= (5,00\% / 2,457) \times 100$$
$$= \mathbf{2,035}$$

- b. BJ Agregat Rata-rata

$$= 2,035 + 11,452 + 18,909 + 5,774 + 0,635$$
$$= \mathbf{40,79}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. BJ Bulk Agregat Rata-rata} \\
 &= (100\% / 40,79) \times 100 \\
 &= \mathbf{2,453}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5. \text{ Proporsi Agregat} \\
 &= 100 - \text{KAO} \\
 &= 100 - 5,65 \\
 &= \mathbf{94,35 \%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6. \text{ Rasio Partikel Lolos no. 200 Dengan Kadar Aspal Efektif} \\
 \text{KAO} &= 5,65 \\
 Y &= 0,4199x^2 + 0,68310x + 3,62727 \\
 &= 0,4199 \times (5,65)^2 - 0,68310 \times 5,65 + 3,62727 \\
 &= \mathbf{2,140 \%}
 \end{aligned}$$

7. Penyerapan Aspal

$$\begin{aligned}
 \text{Gmm rata-rata} &= 2,377 \\
 \text{Perkiraan Kadar Aspal (Gmm)} &= 5,74\% \\
 \text{BJ Bulk Agregat Rata-rata} &= 2,571 \\
 \text{BJ Aspal} &= 1,030 \\
 \text{BJ Agregat Eff}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{100 - \frac{\text{KA Gmm}}{\text{Gmm}}}{\frac{100}{\text{Gmm}} - \frac{\text{KA Gmm}}{\text{Bj Aspal}}} \right) \\
 &= \left(\frac{100 - \frac{5,74\%}{2,377}}{\frac{100}{2,377} - \frac{5,74}{1,030}} \right) \\
 &= \mathbf{2,583}
 \end{aligned}$$

Penyerapan Aspal

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{BJ Agregat Eff} - \text{BJ Bulk Agregat}}{\text{BJ Agregat Eff} \times \text{BJ Bulk Agregat}} \times \text{BjAspal} \\
 &= \frac{2,583 - 2,571}{2,583 \times 2,571} \times 1,030 \\
 &= \mathbf{0,188 \%}
 \end{aligned}$$

8. Kadar Aspal Efektif

$$\begin{aligned}
 &= \text{Kadar Aspal Total} - \text{Penyerapan Aspal} \\
 &= 5,65 \% - 0,188 \% \\
 &= \mathbf{5,462 \%}
 \end{aligned}$$

9. Berat Jenis Contoh Camp. Padat (Gmb)

$$KAO = 5,65$$

$$\begin{aligned} Y &= 0,02231x^2 + 0,24593x + 1,60642 \\ &= 0,02231 \times (5,65)^2 + 0,24593 \times 5,65 + 1,60642 \\ &= \mathbf{3,708} \end{aligned}$$

10. Stabilitas Marshall

$$KAO = 5,65$$

$$\begin{aligned} Y &= -187,77435x^2 + 2.063,717x - 4.683,29 \\ &= -187,77435 \times (5,65)^2 + 2.063,717 \times 5,65 - 4.683,29 \\ &= \mathbf{5.915,79 \text{ Kg}} \end{aligned}$$

11. Kelelehan Marshall

$$KAO = 5,65$$

$$\begin{aligned} Y &= 0,1742x^2 - 1,3411x + 5,4700 \\ &= 0,1742 \times (5,65)^2 - 1,3411 \times 5,65 + 5,4700 \\ &= \mathbf{3,454 \text{ mm}} \end{aligned}$$

12. Rongga dalam Campuran (VIM)

$$KAO = 5,65$$

$$\begin{aligned} Y &= 0,9347x^2 - 11,6236x + 39,9012 \\ &= 0,9347 \times (5,65)^2 - 11,6236 \times 5,65 + 39,9012 \\ &= \mathbf{4,07 \%} \end{aligned}$$

13. Rongga dalam Agregat (VMA)

$$KAO = 5,65$$

$$\begin{aligned} Y &= 0,8204x^2 - 8,1633x + 36,1309 \\ &= 0,8204 \times (5,65)^2 - 8,1633 \times 5,65 + 36,1309 \\ &= \mathbf{16,20\%} \end{aligned}$$

14. Rongga Terisi Aspal (VFA)

$$KAO = 5,65$$

$$\begin{aligned} Y &= -4,71608x^2 + 61,4524x - 121,80057 \\ &= -4,71608 \times (5,65)^2 + 61,4524 \times 5,65 - 121,80057 \\ &= \mathbf{74,86 \%} \end{aligned}$$