BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Sampel Material dan Data

4.1.1 Kronologis Pengambilan Sampel Material

Pada penelitian ini proses pengambilan sampel material dilakukan di stok pile milik (PT. Gihon Unipessoal Lda). *Quarry* Hera. Hera Timor Leste. Material yang berada di stok pile di tumpuk berdasarkan jenisnya. Cara pengambilan contoh agregat mengacu pada SNI 03 – 6889 – 2002. Sampel agregat kasar dan halus diambil dari timbunan agregat berbentuk kerucut hasil produksi stone crusher. Peralatan yang digunakan adalah Sekop, Karung atau kantong plastik, meter, Spidol. Cara pengambilannya adalah menentukan tempat pengambilan contoh agregat pada tempat timbunan. Setelah ditentukan timbunan material yang akan diambil dibagi menjadi 3 (Systematic Random Sampling) untuk mendapatkan suatu sampel yang mewakili keseluruhan populasi.

Pengambilan sampel dilakukan dengan cara menyekop agregat yang berada masing-masing tumpukan dan dimasukkan kedalam karung yang berukuran ± 25 kg sesuai kebutuhan dan masukkan kedalam karung lalu diberikan tulisan keterangan material dengan spidol pada karung sebagai tanda pada material tersebut. Pengambilan sampel yang pertama yaitu batu pecah 3/4” lalu diikuti dengan batu pecah ½”, pasir dan abu batu masing-masing sebanyak ± 40 kg. Untuk aspal dari PT. Pertamina dengan penetrasi 60/70 diambil sebanyak 5 liter dan *filler* abu batu dari (PT. Gihon Unipessoal Lda). Hera Timor Leste sebanyak 10 kg. Filler eksternal abu sekam padi diambil dari tempat penggilingan padi sebanyak 10 kg di Hera Kota Dili Timor Leste.

4.2 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.

4.2.1 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

4.2.2 Data Sekunder

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

4.2.3 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.

4.3 Analisa Data

4.3.1 Agregat Kasar

Material yang digunakan pada pengujian analisa saringan adalah batu pecah ukuran 3/4” dan batu pecah ukuran ½”.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN								
(SNI 03-1969-1990)								
Nama Contoh : Batu Pecah 3/4"								
Saringan		Jumlah Berat Tertahan		Berat benda uji I (gram) = 2,584.3 Berat benda uji II (gram) = 2,588.8				Rata-rata Persen Lolos
(*ASTM*)	(mm)	gram	gram	Persen Tertahan		Persen Lolos		
		A	B	C	D	E	F	G
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.50	836.80	1042.80	32.38	40.28	67.62	59.72	63.67
3/8"	9.50	1838.40	1890.10	71.14	73.01	28.86	26.99	27.92
No.4	4.75	2576.00	2579.00	99.68	99.62	0.32	0.38	0.35
No.8	2.36							

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

Persen Tertahan : $\frac{\text{Jumlah berat tertahan}}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100 = \frac{836.8}{2,584.3} \times 100 = 32.38\%$

Persen Lolos : 100 - Persen tertahan = 100–32.38 = 67.62%

Rata-rata Persen Lolos : $\frac{\text{Persen Lolos E + Persen Lolos F}}{2}$

$= \frac{67,62 + 59.72}{2}$

= 63,67%

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN								
(SNI 03-1969-1990)								
Nama Contoh : Batu Pecah 1/2"								
Saringan		Jumlah Berat Tertahan		Berat benda uji I (gram) = 2,581.2 Berat benda uji II (gram) = 2,596.8				Rata-rata Persen Lolos
(*ASTM*)	(mm)	gram	gram	Persen Tertahan		Persen Lolos		
		A	B	C	D	E	F	G
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	9.50	440.40	443.30	17.06	17.07	82.94	82.93	82.93
No.4	4.75	2,061.40	1,904.30	79.86	73.33	20.14	26.67	23.40
No.8	2.36	2,579.20	2596,5	99.92	99.99	0.08	0.01	0.04
No.16	1.18							

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

Persen Tertahan : $\frac{\text{Jumlah berat tertahan}}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100 = \frac{440.40}{2,581.2} \times 100 = 17.06\%$

Persen Lolos : 100 - Persen tertahan = 100–17.06 = 82.94%

Rata-rata Persen Lolos : $\frac{\text{Persen Lolos E + Persen Lolos F}}{2}$

$= \frac{82,94 + 82.93}{2}$

= 82,93%

Tujuan dari pengujian analisa saringan ini adalah untuk menentukan pembagian butiran dari agregat kasar dan agregat halus dengan menggunakan saringan. Pengujian analisa saringan batu pecah 3/4” dan analisa saringan batu pecah ½” pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu agregat kasar lolos 100 % saringan 3/4” dan tertahan pada saringan No. saringan 4.

4.4 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Berikut ini adalah hasil pemeriksaan agregat kasar yang berasal dari *Quarry* Hera (PT. Gihon Unipessoal Lda). Hera Timor Leste. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah terdirii dari 2 jenis, yaitu batu pecah ¾" dan batu pecah ½". Perhitungan terhadap pemeriksaan agregat kasar adalah sebagai berikut. Perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Batu Pecah ¾"

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR				
(SNI 03-1969-1990)				
				Nama Contoh : Batu pecah 3/4"
No.	NOMOR CONTOH	A	B	Satuan
1	Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	4,064	4,576	Gram
2	Berat benda uji dalam air (Ba)	2,508	2,820	Gram
3	Berat benda uji kering oven (Bk)	4,057	4,570	Gram

No.	Hasil	Rumus	A	B	Rata-rata	Spec
1	Berat jenis (*Bulk*)	$\frac{Bk}{Bj - Ba}$	2.607	2.603	2.605	-
2	Berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*)	$\frac{Bj}{Bj-Ba}$	2.612	2.606	2.609	-
3	Berat jenis semu (*Apparent*)	$\frac{Bk}{Bk-Ba}$	2.619	2.611	2.615	-
4	Penyerapan air (Absorption)	$\frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100$	0.173	0.131	0.152	Max 3

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

1. Berat jenis (*Bulk*) $= \frac{Bk}{Bj- Ba} = \frac{4,057}{4,064-2,820} = 2,607$

   Berat jenis (*Bulk*) Rata – rata = (A + B)/2

   = (2,607 + 2,603)/2 = **2,605**

   Berat jenis (*Bulk*) Rata – rata = **2,605** Spec Max **3%**

2. *(SSD)* $= \frac{Bj}{Bj – Ba} = \frac{4,064}{4,064 – 2,508} = 2,612$

   SSD Rata – rata = (A + B)/2

   = (2,612 + 2,606)/2 = **2,609**

   Berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*) = **2,609** Spec Max **3%**

3. Berat jenis semu *(Apparent)* $= \frac{Bk}{Bk – Ba} = \frac{4,057}{4,057 – 2,508} = 2,615$

   Apparent Rata – rata = (A + B)/2

   = (2,619 + 2,606)/2

   = **2,615**

   Berat jenis Semu(*Apparent*) = **2,615** Spec Max **3%**

4. Penyerapan Air *(Absorption)* $= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100 = \frac{4{,}064 - 4{,}057}{4{,}057} \times 100$ **= 0.173**

Penyerapan Air *(Absorption)* Rata –rata = (A + B)/2

= (0,173 + 0,131)/2

= 0,152

Penyerapan Air *(Absorption)* **= 0,152** Spec Max **3%**

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Batu Pecah ½"

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR				
(SNI 03-1969-1990)				
				Nama Contoh : Batu pecah 1/2"
No.	NOMOR CONTOH	A	B	Satuan
1	Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	4,534	4,525	Gram
2	Berat benda uji dalam air (Ba)	2,795	2,794	Gram
3	Berat benda uji kering oven (Bk)	4,520	4,509	Gram

No.	Hasil	Rumus	A	B	Rata-rata	Spec
1	Berat jenis (*Bulk*)	$\frac{Bk}{Bj - Ba}$	2.599	2.605	2.602	-
2	Berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*)	$\frac{Bj}{Bj-Ba}$	2.607	2.614	2.611	-
3	Berat jenis semu (*Apparent*)	$\frac{Bk}{Bk-Ba}$	2.620	2.629	2.625	-
4	Penyerapan air (Absorption)	$\frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100$	0.310	0.355	0.332	Max 3

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium 2019

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

Pengujian berat jenis dan penyerapan air untuk material agregat kasar. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah 3/4" dan batu pecah ½ ". Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis curah (Bulk), berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu (Apparent) dan penyerapanair (Absorption). Hasil pengujian penyerapan air agregat kasar yang terdapat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yakni maksimum penyerapan air 3 % (SNI 03 - 1969 – 1990).

4.4.1 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles (Abrasi)

Pengujian ini dilakukan pada material batu pecah yang lolos saringan ukuran ¾", ½" dan tertahan saringan 3/8". Maksud dari pengujian ini adalah untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No. 12. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles (Abrasi)

PENGUJIAN KEAUSAN AGREGAT DENGAN MESIN LOS ANGELES (Abrasi)					
(SNI 03-2417-1991)					
Nama Contoh : Batu pecah					
SARINGAN				GRADASI PEMERIKSAAN	
Lolos	Bukaan Saringan	Tertahan	Bukaan Saringan	Jumlah berat Contoh A	Jumlah berat Contoh B
(*ASTM*)	(mm)	(ASTM)	(mm)	(gram)	(gram)
76.20	(3")	63.5	(2 1/2")		
63.50	(2 1/2")	50.8	(2")		
50.80	(2")	36.1	(1 1/2")		
36.10	(1 1/2")	25.4	(1")		
25.40	(1")	19.1	(3/4")		
19.10	(3/4")	12.7	(1/2")	2,500	2,500
12.70	(1/2")	9.52	(3/8")	2,500	2,500
9.52	(3/8")	6.35	(1/4")		
6.35	(1/4")	4.75	(No.4)		
4.75	(No.4)	2.36	(No.8)		
Berat benda uji semula (gram)		(a)		5,000	5,000
Tertahan saringan No. 12 (gram)		(b)		3,845	3,835
Keausan (%)		(c)		23.10	23.30
Rata-rata				23.20	
Ket : Keausan (c) = ((a-b)/a) x 100%					

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

1. Keausan – I $= \frac{a - b}{a} \times 100\%$

$= \frac{5000 - 3,845}{5000} \times 100\% =$ **23.10 %**

2. Keausan – II $= \frac{a - b}{a} \times 100\%$

$= \frac{5000 - 3835}{5000} \times 100\% =$ **23,30 %**

Keausan rata – rata = (A + B)/2

= (23,10 + 23,10) /2

= 23,20 %

Keausan rata – rata = **23,20 %** Spec **: Max 40 %**

Hasil pengujian abrasi agregat kasar yang terdapat pada Tabel 4.5 memenuhi syarat yakni maksimum 40 % (SNI03-2417-1991). Nilai keausan agregat adalah 23,20%.

4.4.2 Pengujian Bahan Lolos Saringan 200

Pengujian ini dilakukan pada material batu pecah dan pasir. Tujuan dilakukan pengujian ini adalah untuk menetukan banyaknya bahan yang lolos saringan nomor 200 (0,075 mm) sesudah agregat dicuci sampai air cucian menjadi jernih dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan 4.7 berikut ini.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Bahan Dalam Agregat Lolos Saringan No. 200

BAHAN DALAM AGREGAT LOLOS SARINGAN NO. 200		
(SNI 03-4142-1996)		
Nama Contoh : Batu Pecah 3/4"		
Uraian	I	II
Berat awal (A) gram	3,569	3,868
Berat kering (B) gram	3,557	3,859
Bahan lolos No. 200 (%) = ((A - B)/A) x 100 %	0.34	0.23
Rata - rata	0.28	

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Bahan Dalam Agregat Lolos Saringan No. 200

BAHAN DALAM AGREGAT LOLOS SARINGAN NO. 200		
(SNI 03-4142-1996)		
Nama Contoh : Batu Pecah 1/2"		
Uraian	I	II
Berat awal (A) gram	2,523	3,527
Berat kering (B) gram	2,508	3,507
Bahan lolos No. 200 (%) = ((A - B)/A) x 100 %	0.59	0.57
Rata - rata	0.58	

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

Tabel 4.8 Pengujian Bahan Lolos Saringan No. 200

BAHAN DALAM AGREGAT LOLOS SARINGAN NO. 200		
(SNI 03-4142-1996)		
Nama Contoh : Pasir		
Uraian	I	II
Berat awal (A) gram	2,555	1,713
Berat kering (B) gram	2,529	1,687
Bahan lolos No. 200 (%) = ((A - B)/A) x 100 %	1.02	1.52
Rata - rata	1.27	

Sumber : Hasil pengujian laboratorium

Hasil pengujian bahan dalam agregat lolos saringan no. 200 pada batu pecah 3/4", ½" dan pasir yang terdapat pada tabel 4.6, 4.7 dan 4.8 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yakni maksimum 1 % (SNI 4142: 1996). Nilai bahan dalam agregat lolos saringan No. 200 untuk batu pecah 3/4" adalah 0,28 % dan batu pecah ½" adalah 0,58%. Pada pasir yang terdapat pada tabel 4.8 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yakni maksimum 8% (SNI 4142: 1996). Nilai bahan dalam agregat lolos saringan No. 200 untuk material pasir adalah 1,27 %.

4.4.3 Agregat Halus

4.4.3.1 Pengujian Analisa Saringan

Material yang digunakan pada pengujian analisa saringan adalah abu batu dan pasir. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 berikut ini.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS (SNI 03-1969-1990)								
							Nama Contoh : Abu Batu	
SARINGAN		Jumlah Berat Tertahan		Berat benda uji I (g) = 1415.8 Berat benda uji II (g) = 1576.0				Rata-Rata
		gram	gram	Persen Tertahan		Persen Lolos		
(ASTM)	(mm)	A	B	C	D	E	F	G
3/4	19.0	0	0	0	0	100	100	**100**
1/2	12.5	0	0	0	0	100	100	**100**
3/8	9.50	0	0	0	0	100	100	**100**
No.4	4.75	0	0	0	0	100	100	**100**
No.8	2.36	456.8	650	32.26	41.24	67.74	58.76	**63.25**
No.16	1.18	720.6	949	50.90	60.19	49.10	39.81	**44.46**
No.30	0.60	963.6	1,183	68.06	75.06	31.94	24.94	**28.44**
No.50	0.30	1052.6	1,328	74.35	84.29	25.65	15.71	**20.68**
No.100	0.150	1244.6	1,422	87.91	90.24	12.09	9.76	**10.93**
No.200	0.075	1304.6	1,464	92.15	92.89	7.85	7.11	**7.48**

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Analisa Saingan Agregat Halus

ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS (SNI 03-1969-1990)								
							Nama Contoh : Pasir	
SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 1554.1 Berat benda uji II (g) = 1466.6				Rata-Rata
		gram	gram	Persen Tertahan		Persen Lolos		
(ASTM)	(mm)	A	B	C	D	E	F	G
3/4	19.0	0	0	0	0	100	100	**100**
1/2	12.5	0	0	0	0	100	100	**100**
3/8	9.50	0	0	0	0	100	100	**100**
No.4	4.75	0	0	0	0	100	100	**100**
No.8	2.36	483	650	31.10	44.32	68.90	55.68	**62.29**
No.16	1.18	869	949	55.88	64.68	44.12	35.32	**39.72**
No.30	0.60	1,345	1,183	86.53	80.66	13.47	19.34	**16.41**
No.50	0.30	1,541	1,328	99.17	90.58	0.83	9.42	**5.13**
No.100	0.15	1,550	1,422	99.75	96.97	0.25	3.03	**1.64**
No.200	0.075	1,553	1,465	99.94	99.88	0.06	0.12	**0.09**

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Pengujian analisa saringan agregat halus abu batu dan analisa saringan agregat halus pasir pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu agregat halus abu batu dan agregat halus pasir lolos 100 % saringan No. 4 dan tertahan pada saringan No. 200.

4.4.3.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Agregat yang dipakai dalam pengujian ini adalah abu batu dan pasir atau agregat yang lolos saringan No.4 yang berasal dari *Quarry* Hera (PT. Gihon Unipessoal Lda). Hera Timor Leste. Hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 berikut ini.

Tabel 4.11 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat Halus (Abu Batu)

No. Contoh		A	B	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500	500	500	gram
Berat piknometer + air (25°C)	B	718.80	718.80	gram
Berat piknometer + air + benda uji	Bt	1027.70	1026.30	gram
Berat benda uji kering oven (Bk)	BK	497.20	498.40	gram

		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	$\frac{Bk}{B + 500 - Bt}$	2.602	2.589	**2.595**	-
Berat Jenis kering permukaan jenuh	$\frac{500}{B + 500 - Bt}$	2.616	2.597	**2.607**	-
Berat Jenis (apparent)	$\frac{Bk}{B + Bk - Bt}$	2.640	2.611	**2.626**	-
Penyerapan Air	$\frac{500 - Bk}{Bk}$ x 100%	0.563	0.321	**0.442**	**Max 3**

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

1. Berat jenis (*Bulk*) $= \frac{Bk}{B+500-Bt} = \frac{497,20}{718.80 + 500 - 1027.70}$ **= 2,602**

   Berat jenis (*Bulk*) Rata - rata = (A + B)/2
   = (2.602 + 2.589)/2
   = 2.595

   Berat jenis (*Bulk*) Rata - rata = **2.595** Spec Max **3%**

2. (*SSD*) $= \frac{500}{B+500-Bt} = \frac{500}{718.80 + 500 + 1027.70}$ **= 2.616**

   SSD Rata – rata = (A + B)/2
   = (2.616 + 2.597)/2
   = 2.607

   Berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*) **= 2.607** Spec Max **3%**

3. Berat jenis semu (*Apparent*) $= \frac{Bk}{B+Bk-Bt} = \frac{497.20}{718.80+497.20+1027.70}$ **=2,640**

   Apparent Rata – rata = (A + B)/2

= (2,640 + 2,611)/2
= **2.626**

Berat jenis Semu (*Apparent*) = **2.626** Spec Max **3%**

4. Penyerapan Air *(Absorption)* = $\frac{500 - Bk}{Bk}$ x100 = $\frac{500 - 497,20}{497,20}$ x 100 = **0.563**

Penyerapan Air *(Absorption)* Rata –rata = (A + B)/2
= (0.563 + 0.321)/2
= **0.442**

Penyerapan Air *(Absorption)* = **0.442** Spec Max **3%**

Tabel 4.12 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat Halus (Pasir)

No. Contoh		A	B	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500	500	500	gram
Berat piknometer + air (25°C)	B	720.90	720.40	gram
Berat piknometer + air + benda uji	Bt	1023.70	1023.40	gram
Berat benda uji kering oven (Bk)	BK	495.10	495.60	gram

		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	$\frac{Bk}{B + 500 - Bt}$	2.511	2.516	**2.513**	-
Berat Jenis kering permukaan jenuh	$\frac{500}{B + 500 - Bt}$	2.535	2.538	**2.537**	-
Berat Jenis (apparent)	$\frac{Bk}{B + Bk - Bt}$	2.575	2.573	**2.574**	-
Penyerapan Air	$\frac{500 - Bk}{Bk}$ x 100%	0.990	0.888	**0.939**	**Max 3**

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

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 penyerapanair (Absorption). Hasil pengujian penyerapan air agregat halusyang terdapat pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yakni maksimum penyerapan air 3 % (SNI 03 - 1969 – 1990).

4.4.4 *Filler*

4.4.4.1 Pengujian Analisa saringan Terhadap *Filler* (Abu Batu Dan Abu Sekam Padi)

Pengujian Analisa saringan dilakukan terhadap Abu batu dan Abu sekam Padi 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* Abu batu dan Abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan 4 .14 di bawah ini :

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Analisa Saringan *Filler* (*Abu batu*)

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 500 Berat benda uji II (g) = 500				Rata-Rata
		gram	gram	Persen Tertahan		Persen Lolos		
(ASTM)	(mm)	A	B	C	D	E	F	G
3/4	19.0	0	0	0	0	100	100	100
1/2	12.5	0	0	0	0	100	100	100
3/8	9.50	0	0	0	0	100	100	100
No.4	4.75	0	0	0	0	100	100	100
No.8	2.36	0	0	0	0	100	100	100
No.16	1.18	0	0	0	0	100	100	100
No.30	0.60	0	0	0	0	100	100	100
No.50	0.30	0	0	0	0	100	100	100
No.100	0.15	0	0	0	0	100	100	100
No.200	0.075	0	0	0	0	100	100	100

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Analisa Saringan *Filler* (Abu sekam padi)

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 500 Berat benda uji II (g) = 500				Rata-Rata
		gram	gram	Persen Tertahan		Persen Lolos		
(ASTM)	(mm)	A	B	C	D	E	F	G
3/4	19.0	0	0	0	0	100	100	100
1/2	12.5	0	0	0	0	100	100	100
3/8	9.50	0	0	0	0	100	100	100
No.4	4.75	0	0	0	0	100	100	100
No.8	2.36	0	0	0	0	100	100	100
No.16	1.18	0	0	0	0	100	100	100
No.30	0.60	0	0	0	0	100	100	100
No.50	0.30	0	0	0	0	100	100	100
No.100	0.15	0	0	0	0	100	100	100
No.200	0.075	0	0	0	0	100	100	100

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

Pengujian analisa saringan filler abu batu dan abu sekam padi pada Tabel 4.13 dan Tabel 4.14 memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu filler lolos 100 % saringan No.200.

4.4.4.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air *Filler*

Pengujian yang dipakai adalah *filler* abu batu dan *filler* adalah abu sekam padi yang lolos saringan No. 200. Hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 4.15 dan 4.16 berikut ini.

Tabel 4.15 Hasil Penghujian Berat Jenis

PENGUJIAN BERAT JENIS			
(SNI -03-1964-1990)			
			Nama Contoh : Abu Batu
No contoh	I	II	Satuan
No. piknometer	a	b	-
Berat piknometer + contoh (W2)	72.27	65.42	gram
Berat piknometer (W1)	62.25	55.40	gram
Berat contoh (Wt = W2 - W1)	10.02	10.02	gram
Temperatur	25	25	°C
Berat piknometer + air + contoh (W3)	171.60	172.09	gram
Berat piknometer + air (W4)	165.90	166.26	gram
W5 = W2 - W1 + W4	175.92	176.28	gram
Isi contoh (W5 - W3)	4.32	4.19	gram
Berat jenis Wt / (W5 - W3)	2.32	2.39	%
Berat Jenis Rata Rata	2.356		

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Hasil pengujian berat jenis *filler* abu batu yang terdapat pada tabel 4.15 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yakni maksimum 3 %. Nilai berat jenis *filler* abu batu adalah 2.356.

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Laboratorium

PENGUJIAN BERAT JENIS			
(SNI-03-1964-1990)			
			Nama Contoh : Abu Sekam Padi
No contoh	I	II	Satuan
No. piknometer	a	b	-
Berat piknometer + contoh (W2)	65.42	72.26	gram
Berat piknometer (W1)	55.40	62.26	gram
Berat contoh (Wt = W2 - W1)	10.02	10.01	gram
Temperatur	25	25	°C
Berat piknometer + air + contoh (W3)	172.04	171.59	gram
Berat piknometer + air (W4)	166.26	165.90	gram
W5 = W2 - W1 + W4	176.28	175.90	gram
Isi contoh (W5 - W3)	4.24	4.31	gram
Berat jenis Wt / (W5 - W3)	2.36	2.32	%
Berat Jenis Rata Rata	2.342		

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Hasil pengujian berat jenis *filler abu sekam padi* yang terdapat pada tabel 4.16 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yakni maksimum 3 %.Nilai berat *filler* abu sekam padi adalah 2,342.

4.4.5 Rancangan Gradasi Agregat Gabungan

Untuk membuat komposisi agregat gabungan maka diperlukan data hasil gradasi dari fraksi kasar (*CA*), atau fraksi agregat kasar yang tertahan saringan No.4, fraksi halus (*FA*) atau fraksi yang lolos saringan No.4 tetapi tertahan saringan No. 200, dan bahan pengisi (*FF*) atau bahan pengisi lolos saringan No. 200. Tujuan dibuat komposisi agregat gabungan yaitu untuk menentukan besarnya persentase dari masing-masing fraksi sehingga hasil persentase tersebut dapat diperoleh perkiraan kadar aspal (Pb) atau biasa disebut dengan kadar aspal tengah.

Komposisi agregat gabungan dapat diketahui dengan cara grafis (penggambaran kurva hubungan antara persentase lolos agregat dan ukuran saringan berada didalam kurva batas atas dan batas bawah (spesifikasi Bina Marga Tahun 2010). Perhitungan persentase agregat gabungan dan penggambaran kurva hubungannya dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18 berikut ini.

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Gabungan

Saringan		BP 3/4"		BP 1/2"		ABU BATU		Pasir		*FILLER A B*		Total	Spek
		7%		35%		49%		7%		2%		100%	
(*ASTM*)	(mm)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
3/4"	19	100.00	7.00	100	35	100	49	100	7	100	2	100	100
1/2"	12.5	63.67	4.46	100	35	100	49	100	7	100	2	97.46	90-100
3/8"	9.50	27.93	1.95	82.93	29.03	100	49	100	7	100	2	88.98	77-90
No.4	4.75	0.35	0.02	23.40	8.19	100	49	100	7	100	2	66.21	53-69
No.8	2.36			0.04	0.02	63.25	30.99	62.29	4.36	100	2	37.41	33-53
No.16	1.16					44.45	21.78	39.72	2.78	100	2	26.56	21-40
No. 30	0.60					28.43	13.93	16.41	1.15	100	2	17.08	14-30
No. 50	0.30					20.68	10.13	5.13	0.36	100	2	12.49	9-22
No. 100	0.15					10.92	5.35	1.64	0.11	100	2	7.47	6-15
No. 200	0.08					7.48	3.67	0.09	0.01	100	2	5.67	4-9

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Gabungan

Saringan		BP 3/4"		BP 1/2"		ABU BATU		Pasir		*FILLER ASP*		Total	Spek
		7%		35%		49%		7%		2%		100%	
(*ASTM*)	(mm)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
3/4"	19	100.00	7.00	100	35	100	49	100	7	100	2	100	100
1/2"	12.5	63.67	4.46	100	35	100	49	100	7	100	2	97.06	90-100
3/8"	9.50	27.93	1.95	82.93	29.03	100	49	100	7	100	2	88.58	77-90
No.4	4.75	0.35	0.02	23.40	8.19	100	49	100	7	100	2	65.81	53-69
No.8	2.36			0.04	0.02	63.25	30.99	62.29	4.11	100	2	37.16	33-53
No.16	1.16					44.45	21.78	39.72	2.62	100	2	26.40	21-40
No. 30	0.60					28.43	13.93	16.41	1.08	100	2	17.02	14-30
No. 50	0.30					20.68	10.13	5.13	0.34	100	2	12.47	9-22
No. 100	0.15					10.92	5.35	1.64	0.11	100	2	7.46	6-15
No. 200	0.08					7.48	3.67	0.09	0.01	100	2	5.67	4-9

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

Keterangan :

A. = Persen lolos rata-rata batu pecah 3/4”

B. = 7% x persen lolos rata-rata batu pecah 3/4”

C. = Persen lolos rata-rata batu pecah ½”

D. = 35 % x persen lolos rata-rata batu pecah ½”

E. = Persen lolos rata-rata abu batu

F. = 49 % x persen lolos rata-rata abu batu

G. = Persen lolos rata-rata pasir

H. = 7 % x persen lolos rata-rata pasir

I. = Persen lolos rata-rata *filler* abu batu

J. = 2 % x persen lolos rata-rata *filler* abu batu dan abu sekam padi

K. = B + D + F + H + J

L. = Spec. Gradasi max dan min

Hasil pengujian gradasi agregat yang terdapat pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18 memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 yang diisyaratkan yakni :

a. Agregat kasar batu pecah 3/4" 100 % lolos saringan ukuran 3/4" dan tertahan pada saringan No. 4

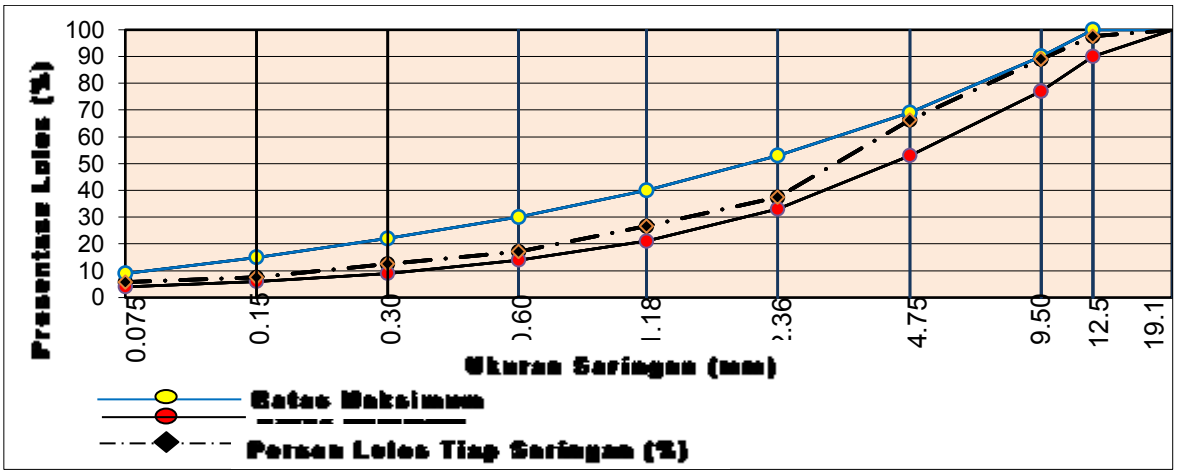
b. Agregat sedang batu pecah ½" 100 % lolos saringan ukuran ½" dan tertahan pada saringan No. 8

c. Agregat halus abu batu 100 % lolos saringan No 4 dan tertahan pada saringan No. 200

d. Agregat halus pasir 100 % lolos saringan No 4 dan tertahan pada saringan No. 200

e. *Filler* abu batu dan abu sekam padi lolos saringan No.200 minimum 75%

f. Jumlah total persentase lolos setiap ukuran saringan berada di antara batas minimum dan maksimum spesifikasi.



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 setiap Saringan %) terletak didalam garis batas atas dan garis bawah. Hasil ini juga menujukan bahwa hasil gradasi agregat gabungan memenuhi standar spesifikasi bina marga 2010 revisi 3 untuk lapis aspal beton (Laston *AC-WC*).

4.4.6 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 NTT dengan penetrasi 60/70 produksi Pertamina yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 revisi 3 dapat dilihat pada Tabel 4.19

Tabel 4.19 Pengujian Aspal 60/70

PENGUJIAN ASPAL					
					Nama Contoh : Aspal Pen. 60/70
No	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat		Satuan
			Min	Max	
1	Penetrasi 25, 100 gr, 5 dtk (SNI 06-2456-1991)	73.70	60	79	0,1 mm
2	Berat jenis (SNI 06-2441-1991)	1.040	1	-	C^o
3	Daktiltas 25 C^o 5 cm/menit (SNI 06-2432-1991)	140.00	100	-	Cm
4	Titik lembek (SNI 06-2434-1991)	58.00	48	58	% Berat

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

Hasil pengujian Aspal Pen. 60/70 yang terdapat pada tabel 4.19 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan sedangkan hasil perhitungan secara detail dapat dilihat pada lampiran.

4.5 Rancangan Campuran Menggunakan 5 Variasi Kadar Aspal (Pb)

4.5.1 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 :

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

Tabel 4.20 Penentuan Kadar Aspal Rencana atau Kadar Aspal Perkiraan (Pb)

U R A I A N	NILAI	SATUAN
Proporsi Fraksi Kasar *(CA)*	33.79	%
Proporsi Fraksi Halus *(FA)*	28.18	%
Proporsi Fraksi Bahan Pengisi *(FF)*	5.67	%
Nilai Konstanta *(K)* ditetapkan	1.00	%
Perkiraan Kadar Aspal *(Pb)*	**4.5**	%

Sumber: Hasil pengujian laboratorium 2019

a. Fraksi Agregat

1) Fraksi agregat kasar (*CA*) = 100% - % Lolos saringan No. 4 pada gradasi agregat gabungan
   = 100 % – 66.21 %
   = 33.79 %
2) Fraksi agregat halus (*FA*) = % Lolos saringan No. 4 pada gradasi agregat gabungan– % Lolos saringan No.200 pada

gradasi agregat gabungan

= 33.79% – 5.67 %

= 28.18%

3) Bahan pengisi (*FF*) = % Lolos saringan No.200 pada gradasi agregat gabungan

= 5.67%

4) Konstanta (*k*) = 0.5 sampai 1 diambil 1

b. Kadar aspal rencana

Perkiraan awal kadar aspal rencana (Pb)

Pb = 0.035 (%*CA*) + 0.045 (%*FA*) + 0.18 (%*FF*) + Konstanta

= 0.035 (33.79) + 0.045 (28.18) + 0.18 (5.67) + 1

= **4.5 %**

Dari hasil perhitungan kadar aspal rencana di atas diperoleh 4.5%, dimana kadar aspal tersebut menjadi 4.5%. Sehingga variasi kadar aspal yang digunakan dalam percobaan, yaitu 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%.

4.5.2 Rancangan Benda uji Marshall *AC-WC* dengan Kadar Aspal Perkiraan (Pb)

Kadar aspal rencana (Pb) untuk Laston adalah 4.5%, berdasarkan kadar aspal rencana diatas maka dilakukan rancangan campuran dengan menggunakan 5 variasi kadar aspal rencana yaitu : (Pb -1), (Pb -0.5), (Pb), (Pb +0.5), (Pb +1) (Pb +1.5). 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* Abu batu dan Abu sekam padi. Perhitungan komposisi rencana campuran beraspal atau beton aspal padat di laboratorium :

Kapasitas silinder beton aspal = 1.200 gram.

Kadar aspal perkiraan = 4.5 %

= 4.5% x 1.200

= 54 gram

Misalnya percobaan komposisi persen batu pecah 3/4” adalah 7% dengan kadar aspal perkiraan 5.5 %

Batu pecah 3/4” = 7% x (100 – 5.5) = 6.615 %

Berat masing-masing material untuk campuran *AC-WC* pada contoh kadar aspal 5.5 %.

Batu pecah 3/4” = (6.615/100) x 1.200 gram = 79.4 gram

Rangkuman hasil perhitungan berat tiap-tiap campuran pada kadar aspal rencana (4.5%; 5.0%; 5.5%; 6.0%; 6.5%) dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan 4.22.

Tabel 4.21 Formula Campuran Rencana

KOMPOSISI CAMPURAN		BERAT YANG DITIMBANG (Gr)				
KADAR ASPAL RENCANA (Pb)		4.5	5.0	5.5	6.0	6.5
(a) BATU PECAH 3/4 7%	Gram	80.2	79.8	79.4	79.0	78.5
(b) BATU PECAH 1/2 35%	Gram	401.1	399.0	396.9	394.8	392.7
(c) ABU BATU 49%	Gram	561.5	558.6	555.7	552.7	549.8
(d) PASIR 7%	Gram	80.2	79.8	79.4	79.0	78.5
(e) *FILLER ABU BATU* 2%	Gram	22.9	22.8	22.7	22.6	22.4
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)		1,146	1,140	1,134	1,128	1,122
BERAT ASPAL (Gr)		54.0	60.0	66.0	72.0	78.0
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)		1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00	1,200.00

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Tabel 4.22 Formula Campuran Rencana

KOMPOSISI CAMPURAN		BERAT YANG DITIMBANG (Gr)				
KADAR ASPAL RENCANA (Pb)		4.6	5.1	5.6	6.1	6.6
(a) BATU PECAH 3/4 7%	Gram	80.2	79.8	79.3	79.0	78.5
(b) BATU PECAH 1/2 35%	Gram	401.1	399.0	396.3	394.8	392.7
(c) ABU BATU 49%	Gram	561.5	558.6	554.8	552.7	549.8
(d) PASIR 7%	Gram	80.2	79.8	79.3	79.0	78.5
(e) *FILLER ABU SEKAM PADI* 2%	Gram	22.9	22.8	22.6	22.6	22.4
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)		1,146	1,140	1,132.3	1,128	1,122
BERAT ASPAL (Gr)		55.7	61.7	67.7	73.7	79.7
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)		1,200	1,200	1,200	1,200	1,200

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Untuk setiap kadar aspal dibuat 2 (Dua) contoh benda uji sehingga jumlah benda uji kadar aspal perkiraan dalam penelitian ini berjumlah 24 (Dua Puluh Empat) benda uji. untuk *filler* abu batu (AB) dan abu sekam padi.

Tabel 4.23 Perhitungan Rancangan Campuran *Filler* Abu Batu 100% dan Abu Sekam Padi 100%

KOMPONEN	PROPORSI 100% (Abu Batu)	PROPORSI 100% (Abu Sekam Padi)	Berat Material (Gr)
Batu Pecah ¾	7,00%	7,00%	79,4
Batu Pecah ½	35,00%	35,00%	392,7
Abu Batu	49,00%	49,00%	549,8
Pasir Alam	7,00%	7,00%	78,5
Filler Abu Batu	2,00%	-	22,4
Filler Abu Sekam Padi	-	2,00%	22,4
Kadar AspalTotal (%)	5,5	5,64	78,0
Total Agg Camp.(%)	100	100	1122
Total Campuran (%)			1.200

Sumber: Hasil pengujian Laboratorium 2019

Tabel 4.24 Rekapitulasi Hasil Penelitian (*Filler* Abu Batu)

Komponen	Hasil	Satuan	Spesifikasi
Kadar Aspal Optimum	5,5	%	-
Proporsi Agregat	79,4	%	-
Berat jenis contoh campuran, Padat	1,198,6	-	-
Stabilitas	1,149.5	Kg	Min 800
Kelelehan Marshall (Flow)	3.28	Mm	2.0-4.0
Rasio Partikel lolos no.200	1,09	%	1.0-1.4
Rongga dalam campuran (VIM)	4,42	%	3.0-5.0
Rongga dalam agregat (VMA)	16,00	%	Min 15
Rongga terisi aspal (VFB)	72,37	%	Min 65

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Tabel 4.25 Rekapitulasi Hasil Penelitian (*Filler* Abu Sekam Padi)

Komponen	Hasil	Satuan	Spesifikasi
Kadar Aspal Optimum	5,64	%	-
Proporsi Agregat	79,4	%	-
Berat jenis contoh campuran, Padat	1192.4	-	-
Stabilitas	1048,0	Kg	Min 800
Kelelehan Marshall (Flow)	3,22	Mm	2.0-4.0
Rasio Partikel lolos no.200	1,04	%	1.0-1.4
Rongga dalam campuran (VIM)	4,30	%	3.0-5.0
Rongga dalam agregat (VMA)	16,41	%	Min 15
Rongga terisi aspal (VFB)	73,81	%	Min 65

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

4.5.3 Test *Marshall* (Untuk *Filler* Abu Batu 100%)

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

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

Tabel 4.26 Rangkuman Hasil Pengujian *Marshall*

Kadar Aspal (%)	Benda Uji *Marshall*	Parameter Marshall Abu Batu					
		Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	*MQ* (kg/mm)	*VMA* (%)	*VIM* (%)	*VFB* (%)
Spesifikasi		Min 800	Min 3	Min 250	Min 14	3 - 5	Min 65
4.5%	A	1,140.00	2.98	382.55	16.79	7.64	54.52
	B	1,050.80	2.87	366.13	16.58	7.40	55.37
Rata-Rata		**1,095.40**	**2.93**	**374.34**	**16.69**	**7.52**	**54.95**
5%	A	1,030.50	3.17	329.97	16.19	5.81	64.11
	B	1,204.90	3.07	392.48	16.29	5.92	63.67
Rata-Rata		**1,117.70**	**3.12**	**361.22**	**16.24**	**5.86**	**63.89**
5.5%	A	1,149.50	3.28	350.46	16.00	4.42	72.37
	B	1,191.70	3.16	377.12	16.20	4.65	71.31
Rata-Rata		**1,170.60**	**3.22**	**363.79**	**16.10**	**4.53**	**71.84**
6.0%	A	1,187.50	3.36	353.42	14.72	1.75	88.09
	B	1,054.80	3.43	307.52	18.75	6.40	65.85
Rata-Rata		**1,121.15**	**3.40**	**330.47**	**16.73**	**4.08**	**76.97**
6.5%	A	1,083.20	3.44	314.88	18.28	4.70	74.32
	B	1,069.20	3.55	301.18	16.89	3.07	81.85
Rata-Rata		**1,076.20**	**3.50**	**308.03**	**17.59**	**3.88**	**78.09**

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

4.5.3.1 Hubungan Parameter *Marshall* dan Kadar Aspal Perkiraan

A. Hubungan Antara Stabilitas dan Kadar Aspal

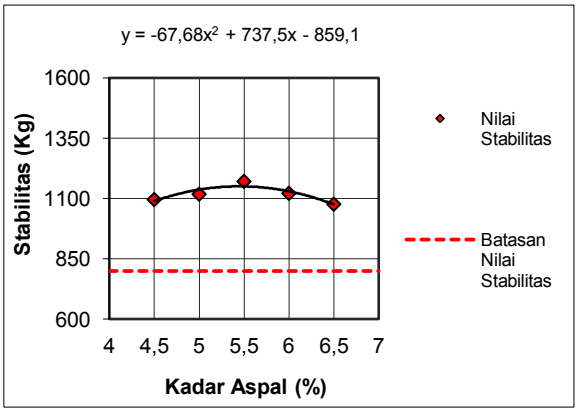
Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi alir *(flow)* yang dinyatakan dalam kilogram. Alir *(flow)* adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban, dinyatakan dalam mm.

Hubungan antara stabilitas dan kadar aspal optimum dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.27 berikut ini.

Tabel 4.27 Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)
4.50	1,095.40
5.00	1,117.70
5.50	1,170.60
6.00	1,121.15
6.50	1,076.20

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Contoh Perhitungan :

KAO = 5,64

Y = $-67{,}68x^2 + 737{,}5x - 859{,}1$

$= -67{,}68 \times (5{,}64)^2 + 737{,}5 \times 5{,}64 - 859{,}1$

= 1.490,06 Kg

Keterangan :

Untuk perhitungan rumus diatas gambar grafik dapat dari hasil tabel kadar aspal (%) dengan hasil hubungan stabilitas (kg) dari hasil pengujian dengan alat Marshall perendaman (30 menit 24 jam)

Gambar 4.2 Grafik Hubungan Stabilitas dengan Kadar Aspal

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Berdasarkan rekapan pada Tabel 4.27, menghasilkan Grafik 4.2 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas semakin meningkat jika kadar aspal bertambah mulai dari 4,5% sampai 5,5%, pada titik 6,0% sampai 6,5% stabilitas akan kembali menurun dengan semakin bertambahnya persentase kadar aspal. Hal ini menunjukan bahwa nilai stabilitas sangat tergantung pada banyaknya kadar aspal yang digunakan. Semakin besar persentase kadar aspal yang digunakan nilai stabilitas semakin besar tapi setelah melebihi kadar aspal optimumnya 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.

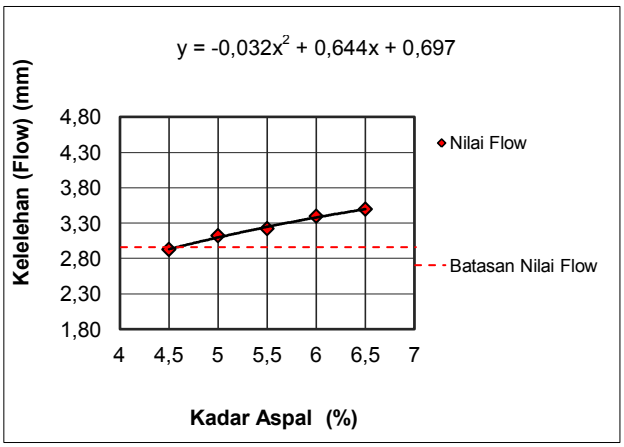
B. Hubungan Antara Kelelehan (*Flow*) dan Kadar Aspal

Ketahanan terhadap *flow* adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelehan berupa alur dan retak. Nilai *flow* menunjukan besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran akibat adanya beban yang bekerja sampai batas keruntuhan.

Tabel 4.28 Hubungan *Flow* dengan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	Flow (mm)
4.50	2.93
5.00	3.12
5.50	3.22
6.00	3.40
6.50	3.50

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Contoh Perhitungan :

KAO = 5,64

Y = $-0{,}032x^2 + 0{,}644x + 0{,}697$

= $-0{,}032 \times (5{,}64)^2 + 0{,}644 \times 5{,}64 + 0{,}697$

= 3,31 mm

Keterangan :

Untuk perhitungan rumus diatas gambar grafik dapat dari hasil tabel kadar aspal (%) dengan hasil hubungan Flow (mm) dari hasil pengujian dengan alat Marshall perendaman (30 menit 24 jam)

Gambar 4.3 Grafik Hubungan *Flow* dengan Kadar Aspal

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari Grafik 4.3 dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai *flow* akan semakin tinggi pula. Hal ini disebabkan karena pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan aspal tidak lagi menyelimuti agregat dengan baik sehingga daya ikat aspal semakin berkurang. Pada kadar aspal yang tinggi suatu campuran aspal akan mudah mengalami perubahan bentuk plastis dibandingkan dengan campuran yang kadar aspal rendah apabila dikenakan beban yang sama. Dari gambar grafik 4.3 menunjukan bahwa hasil pengujian flow atau kelelehan dalam campuran Laston, pada kadar aspal 4,5% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 (min 3 mm) sedangkan kadar aspal 5,0% sampai 6,5% memenuhi spesifikasi.

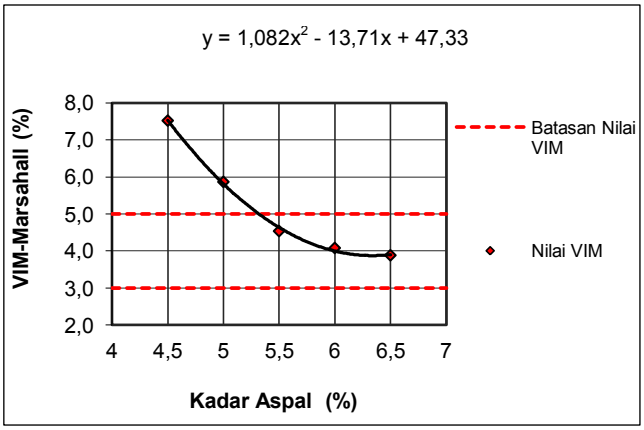
C. Hubungan Antara *Void in Mix* (*VIM)* dan Kadar Aspal

VIM adalah volume rongga atau pori yang masih tersisa yang terdapat di antara butir-butir agregat terselimuti aspal setelah campuran beton aspal dipadatkan.

Tabel 4.29 Hubungan *VIM* dengan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	VIM (%)
4.50	7.52
5.00	5.86
5.50	4.53
6.00	4.08
6.50	3.88

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Contoh Perhitungan :

KAO = 5,64

Y = $1,082x^2 – 13,71x + 47,33$

= $1,082 \times (5,64)^2 - 13,71 \times 5,64 + 47,33$

= 7,25 %

Keterangan :

Untuk perhitungan rumus diatas gambar grafik dapat dari hasil tabel kadar aspal (%) dengan hasil hubungan Vim (%) dari hasil pengujian dengan alat Marshall perendaman (30 menit 24 jam)

Gambar 4.4 Grafik Hubungan *VIM* dengan Kadar Aspal

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari Tabel 4.29 dan Grafik 4.4 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 meleleh (*bleeding*) pada saat pemadatan tambahan akibat lalulintas.

Gambar Grafik 4.4 juga menunjukan 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.

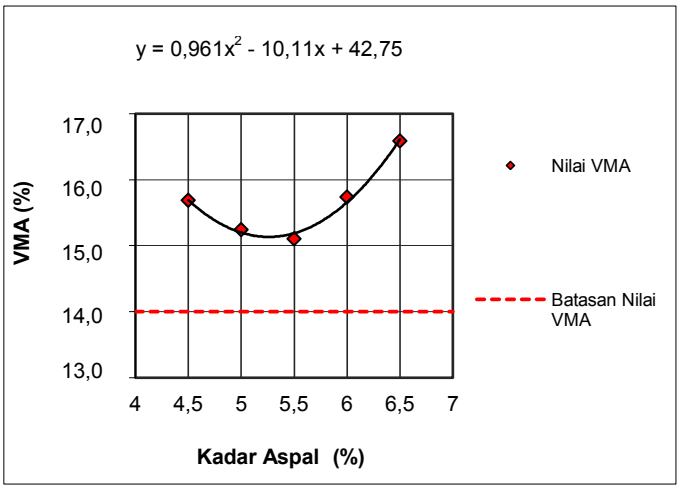
D. Hubungan Antara *Void in the Mineral Aggregate* (*VMA)* dan Kadar Aspal

VMA adalah volume pori dalam beton aspal padat. Hubungan antara VMA dan kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.30 dan Gambar 4.5 berikut ini.

Tabel 4.30 Hubungan *VMA* dengan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	VMA (%)
4.50	16.69
5.00	16.24
5.50	16.10
6.00	16.73
6.50	17.59

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Contoh Perhitungan :

KAO = 5,64

Y = $0,961x^2 - 10,11x + 42,75$

= $0,961 \times (5,64)^2 - 10,11 \times 5,64 + 42,75$

= 15,11%

Keterangan :

Untuk perhitungan rumus diatas gambar grafik dapat dari hasil tabel kadar aspal (%) dengan hasil hubungan Vma (%) dari hasil pengujian dengan alat Marshall perendaman (30 menit 24 jam)

Gambar 4.5 Grafik Hubungan *VMA* dengan Kadar Aspal

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari grafik dapat terlihat bahwa nilai *VMA* akan turun sampai mencapai nilai minimum dan kemudian kembali bertambah dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena dengan semakin bertambahnya kadar aspal maka semakin banyak aspal yang akan mengisi rongga–rongga di antara agregat sehingga dengan sendirinya *VMA* akan semakin kecil.

Dari Tabel 4.30 dan Grafik 4.5 juga dapat dilihat bahwa dari kadar aspal 5,0% dengan 5,5%**,** mengalami penurunan, sedangkan dari 6,0 %, 6,5 %, mengalami kenaikan, mengindikasikan rongga diantara partikel agregat dapat menampung jumlah kadar aspal yang semakin bertambah sehingga kerapatan diantara butiran agregat lebih bagus atau memenuhi standar yang di tentukan spesifikasi min 14 %.

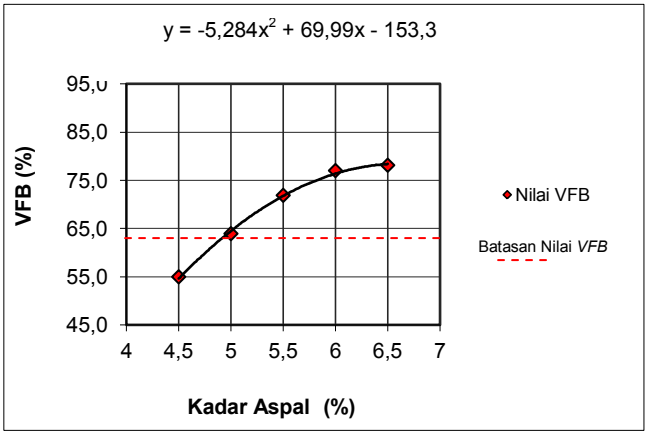
E. Hubungan Antara *Void Filled with Bitumen* (*VFB)* dan Kadar Aspal

VFB adalah volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal. Hubungan antara *VFB* dengan kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.31 dan Gambar 4.6.

Tabel 4.31 Hubungan *VFB* dengan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	VFB (%)
4.50	54.95
5.00	63.89
5.50	71.84
6.00	76.97
6.50	78.09

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Contoh Perhitungan :

KAO = 5,64

$Y = -5{,}284x^2 + 69{,}99x - 153{,}3$

$= -5{,}284 \times (5{,}64)^2 + 69{,}99 \times 5{,}64 - 153{,}3$

= 73,36 %

Keterangan :

Untuk perhitungan rumus diatas gambar grafik dapat dari hasil tabel kadar aspal (%) dengan hasil hubungan Vfb (%) dari hasil pengujian dengan alat Marshall perendaman (30 menit 24 jam)

Gambar 4.6 Grafik Hubungan *VFB* dengan Kadar Aspal

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari Grafik 4.6 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 63 % sedangkan pada kadar aspal 5,0% sampai 6,5% memenuhi syarat spesifikasi.

F. Hubungan Kepadatan dan Kadar Aspal

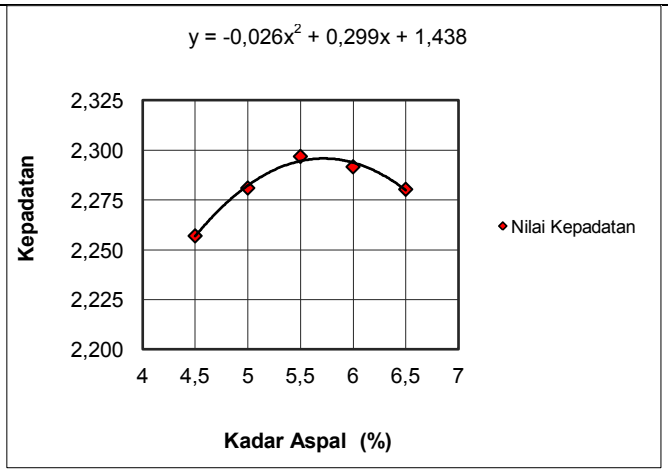
Untuk melihat hubungan antara nilai kepadatan dengan kadar aspal dapat terlihat pada Grafik 4.7. Pada grafik terlihat bahwa semakin besar kadar aspal maka semakin besar kepadatan yang terjadi namun setelah melewati batas kadar aspal optimum maka kepadatan akan menurun. Hal ini karena kadar aspal yang

ada meningkat terus setelah melewati batas optimum. Rongga - rongga yang ada juga sudah penuh terisi aspal, sehingga aspal yang ada sudah tidak bisa mengisi rongga lagi dan menyebabkan kepadatan menurun.

Tabel 4.32 Hubungan *Kepadatan* dengan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	Kepadatan
4.50	2.257
5.00	2.281
5.50	2.297
6.00	2.292
6.50	2.28

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Contoh Perhitungan :

KAO = 5,64

Y = $-0{,}026x^2 + 0{,}299x + 1{,}438$

$= -0{,}026 \times (5{,}64)^2 + 0{,}299 \times 5{,}64 + 1{,}438$

= 2,30

Keterangan :

Untuk perhitungan rumus diatas gambar grafik dapat dari hasil tabel kadar aspal (%) dengan hasil hubungan Kepadatan dari hasil pengujian dengan alat Marshall perendaman (30 menit 24 jam)

Gambar 4.7 Grafik Hubungan Kepadatan dengan Kasar Aspal

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Semakin tinggi kadar aspal maka nilai stabilitas dan nilai kepadatan juga 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 antara agregat yang sudah terisi aspal. Sedangkan semakin tinggi kadar aspal maka nilai *VIM* akan semakin rendah karena rongga-rongga yang ada dalam campuran sudah penuh terisi oleh aspal.

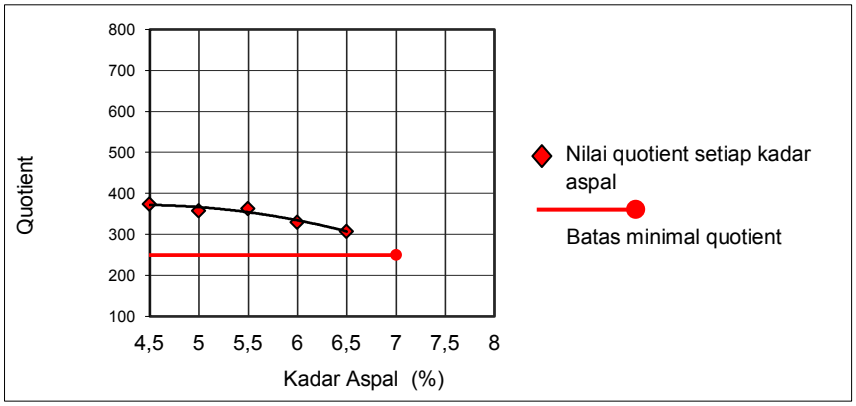
G. Hubungan Antara Hasil Bagi *Marshall* (*MQ*) dan Kadar Aspal.

MQ adalah perbandingan antara nilai stabilitas dengan nilai *flow*. Tujuannya adalah untuk mendapatkan tingkat fleksibilitas dari suatu campuran. Fleksibilitas yang dimaksudkan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban yang berulang yang bekerja tanpa timbulnya retak dan perubahan volume.

Tabel 4.33 Hubungan *MQ* dengan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	MQ (Kg/mm)
4.50	374.34
5.00	361.22
5.50	363.79
6.00	330.47
6.50	308.03

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Gambar 4.8 Grafik Hubungan *MQ* dengan Kadar Aspal

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari hasil pengujian di dapatkan Grafik 4.8 bahwa penambahan kadar aspal mulai dari 4,5% sampai 6,5% nilai *MQ* untuk semua kadar aspal pada Laston *AC*-WC memenuhi persyaratan yakni minimal 250 Kg/mm.

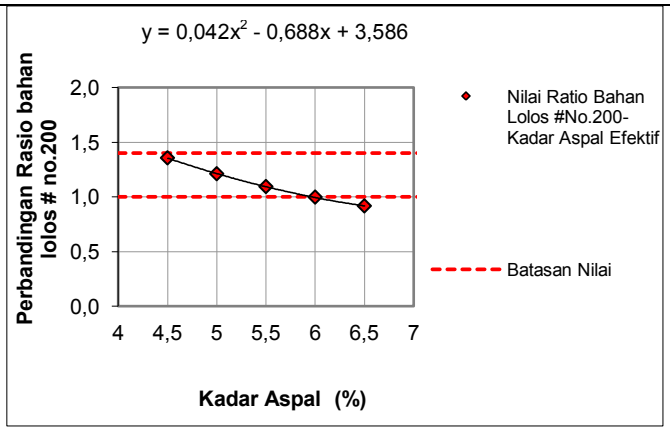
H. Hubungan Rasio Partikel Bahan Lolos Saringan No. 200 Dan Kadar Aspal

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

Tabel 4.34 Hubungan Antara Rasio partikel Bahan Lolos Saringan no. 200 dan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	Rasio Partikel %
4.50	1.36
5.00	1.21
5.50	1.09
6.00	1.00
6.50	0.92

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Contoh Perhitungan :

KAO = 5,64

Y = $0{,}042x^2 - 0{,}688x + 3{,}586$

= $0{,}042 \times (5{,}64)^2 - 0{,}688 \times 5{,}64 + 3{,}586$

= 0,50 %

Keterangan :

Untuk perhitungan rumus diatas gambar grafik dapat dari hasil tabel kadar aspal (%) dengan hasil hubungan Rasio Partikel (%) dari hasil pengujian dengan alat Marshall perendaman (30 menit 24 jam)

Gambar 4.9 Hubungan Antara Rasio partikel Bahan Lolos Saringan No. 200 Dan Kadar Aspal

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari tabel 4.34 dan Gambar 4.9 bahwa semakin besar nilai marshall quotient berarti campuran semakin kaku, sebaliknya jika semakin kecil nilai marshall quotient maka campuran semakin lentur. Dari grafik diatas terlihat bahwa pada 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).

4.5.4 Test *Marshall* (Untuk *Filler* Abu Sekam Padi 100%)

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

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

Tabel 4.35 Rangkuman Hasil Pengujian *Marshall*

Kadar Aspal (%)	Benda Uji *Marshall*	Parameter Marshall Abu Sekam Padi					
		Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	*MQ* (kg/mm)	*VMA* (%)	*VIM* (%)	*VFB* (%)
Spesifikasi		Min 800	Min 3	Min 250	Min 14	3 - 5	Min 65
4.64%	A	1,140.00	2.98	382.55	16.92	7.21	57.40
	B	1,050.80	2.87	366.13	16.70	6.97	58.29
Rata-Rata		**1,095.40**	**2.93**	**374.34**	**16.81**	**7.09**	**57.84**
5.14%	A	1,030.50	3.17	329.97	16.32	5.38	67.06
	B	1,204.90	3.07	392.48	16.41	5.48	66.60
Rata-Rata		**1,117.70**	**3.12**	**361.22**	**16.36**	**5.43**	**66.83**
5.64%	A	1,048.00	3.22	325.47	16.41	4.30	73.81
	B	1,272.00	3.11	409.00	15.59	3.48	77.83
Rata-Rata		**1,160.00**	**3.17**	**367.23**	**16.05**	**3.89**	**75.82**
6.14%	A	1,187.50	3.36	353.42	14.84	1.31	91.20
	B	1,054.80	3.43	307.52	18.87	5.98	68.32
Rata-Rata		**1,121.15**	**3.40**	**330.47**	**16.86**	**3.64**	**79.76**
6.64%	A	1,083.20	3.44	314.88	18.41	4.27	76.82
	B	1,069.20	3.55	301.18	17.01	2.63	84.54
Rata-Rata		**1,076.20**	**3.50**	**308.03**	**17.71**	**3.45**	**80.68**

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

4.5.4.1 Hubungan Parameter *Marshall* dan Kadar Aspal Perkiraan

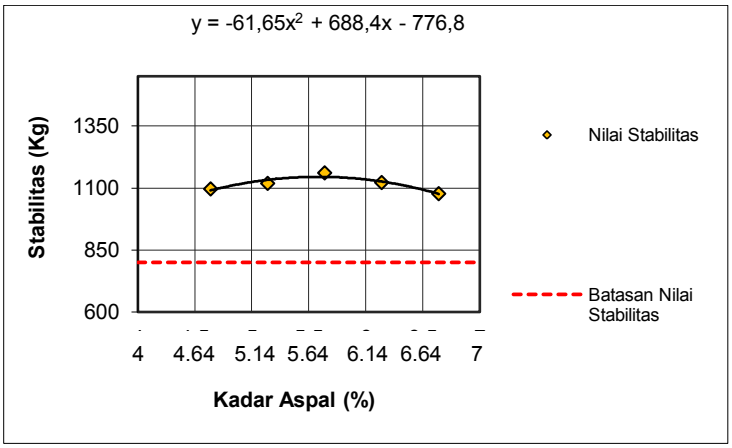
1. Hubungan Antara Stabilitas dan Kadar Aspal

Stabilitas 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. Hubungan antara stabilitas dan kadar aspal optimum dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.36 berikut ini

Tabel 4.36 Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)
4.64	1,149.00
5.14	1,117.70
5.64	1,170.60
6.14	1,121.15
6.64	1,076.20

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Stabilitas dengan Kadar Aspal

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Berdasarkan rekapan pada Tabel 4.36, menghasilkan Grafik 4.10 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas semakin meningkat jika kadar aspal bertambah mulai dari 4,64% sampai 5,64%, 6.14% sampai 6,64% stabilitas akan kembali menurun dengan semakin bertambahnya persentase kadar aspal. Hal ini menunjukan bahwa nilai stabilitas sangat tergantung pada banyaknya kadar aspal yang digunakan. Semakin besar persentase kadar aspal yang digunakan nilai stabilitas semakin besar tapi setelah melebihi kadar aspal optimumnya 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. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa semakin besar persentase kadar aspal,maka nilai stabilitas yang terjadi adalah tinggi. Namun jika persentase kadar aspal sudah mencapai nilai optimum maka akan terjadi pengikatan yang baik antar agregat dengan aspal sehingga menghasilkan nilai stabilitas yang maksimum.

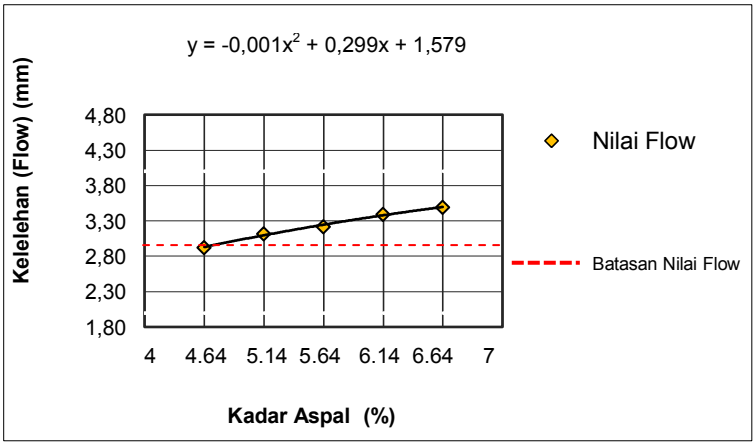
2. Hubungan Antara Kelelehan (*Flow*) dan Kadar Aspal

Ketahanan terhadap *flow* adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelehan berupa alur dan retak. Nilai *flow* menunjukan besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran akibat adanya beban yang bekerja sampai batas keruntuhan.

Tabel 4.37 Hubungan *Flow* dengan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	Flow (mm)
4.64	2.93
5.14	3.12
5.64	3.22
6.14	3.40
6.64	3.50

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Gambar 4.11 Grafik Hubungan *Flow* dengan Kadar Aspal

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari Grafik 4.11 dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai *flow* akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan aspal tidak lagi menyelimuti agregat dengan baik sehingga daya ikat aspal semakin berkurang. Pada kadar aspal yang tinggi suatu campuran aspal akan mudah mengalami perubahan bentuk plastis dibandingkan dengan campuran yang kadar aspal rendah apabila dikenakan beban yang sama. Dari gambar grafik 4.11 menunjukan bahwa hasil pengujian flow atau kelelehan dalam campuran Laston, pada kadar aspal 4,64% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 (min 3 mm) sedangkan kadar aspal 5,14% sampai 6,64% memenuhi spesifikasi.

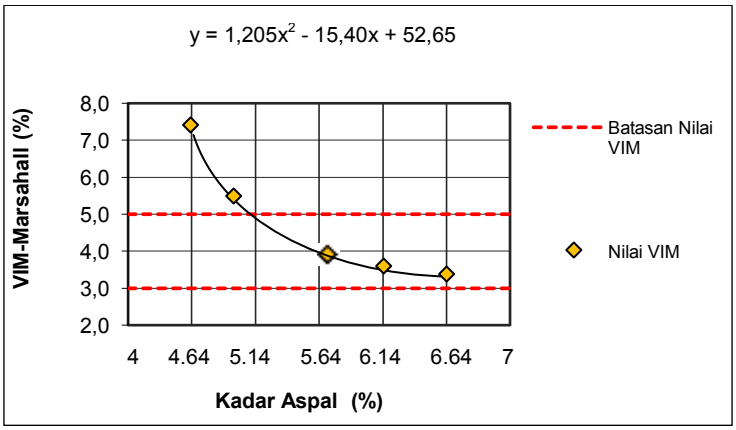
3. Hubungan Antara *Void in Mix* (*VIM)* dan Kadar Aspal

VIM adalah volume rongga atau pori yang masih tersisa yang terdapat di antara butir-butir agregat terselimuti aspal setelah campuran beton aspal dipadatkan.

Tabel 4.38 Hubungan *VIM* dengan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	VIM (%)
4.64	7.09
5.14	5.43
5.64	3.89
6.14	3.64
6.64	3.45

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Gambar 4.12 Grafik Hubungan *VIM* dengan Kadar Aspal

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari Tabel 4.38 dan Grafik 4.12 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/pelepasan aspal yang dapat mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal, sedangkan bila *VIM* kecil dan kadar aspal tinggi akan menyebabkan lapisan aspal meleleh (*bleeding*) pada saat pemadatan tambahan akibat lalulintas.

Gambar Grafik 4.12 juga menunjukan bahwa hasil pengujian rongga udara dalam campuran Laston, pada kadar aspal 5,64% sampai dengan 6,64% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 (minimum 3% dan Maksimum 5%) sedangkan kadar aspal 4.64% dan 5,14% tidak memenuhi spesifikasi.

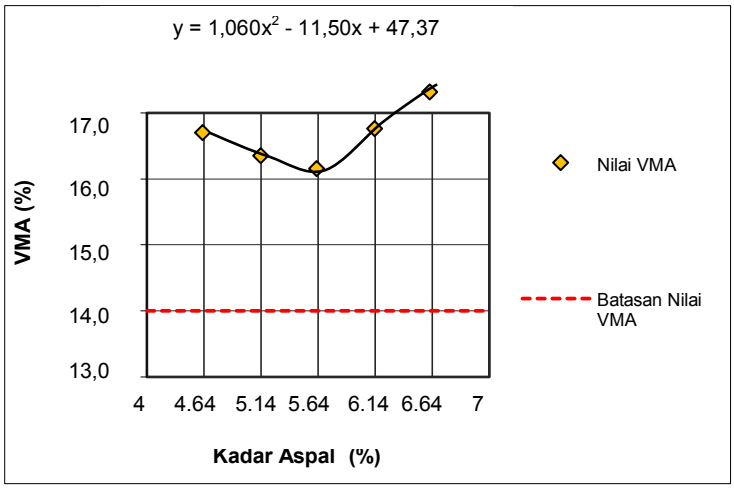
4. Hubungan Antara *Void in the Mineral Aggregate* (*VMA)* dan Kadar Aspal

VMA adalah volume pori dalam beton aspal padat. Hubungan antara VMA dan kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.39 dan Gambar 4.13 berikut ini.

Tabel 4.39 Hubungan *VMA* dengan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	VMA (%)
4.64	16.81
5.14	16.36
5.64	16.05
6.14	16.86
6.64	17.71

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Gambar 4.13 Grafik Hubungan *VMA* dengan Kadar Aspal

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari grafik dapat terlihat bahwa nilai *VMA* akan turun sampai mencapai nilai minimum dan kemudian kembali bertambah dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena dengan semakin bertambahnya kadar aspal maka semakin banyak aspal yang akan mengisi rongga–rongga di antara agregat sehingga dengan sendirinya *VMA* akan semakin kecil.

Dari Tabel 4.39 dan Grafik 4.13 juga dapat dilihat bahwa dari kadar aspal 5,14% dengan 6,14% mengalami penurunan, 6,14% dengan 6,64 %, mengalami kenaikan. Mengindikasikan rongga diantara partikel agregat dapat menampung jumlah kadar aspal yang semakin bertambah sehingga kerapatan diantara butiran agregat lebih bagus atau memenuhi standar yang di tentukan spesifikasi min 14 %.

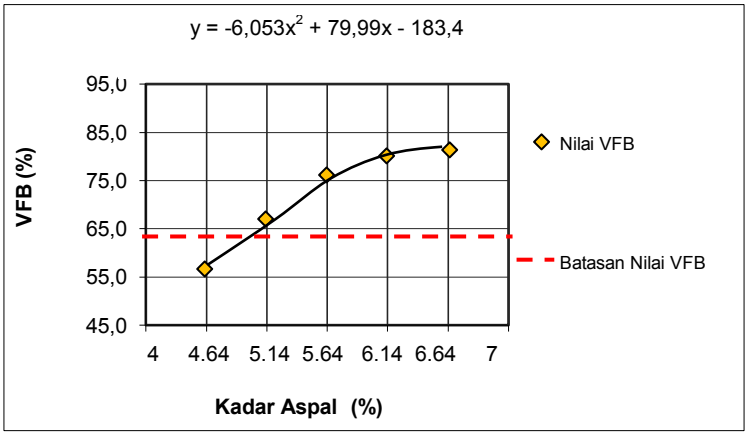
5. Hubungan Antara *Void Filled with Bitumen* (*VFB)* dan Kadar Aspal

VFB adalah volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal. Hubungan antara *VFB* dengan kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.40 dan Gambar 4.14.

Tabel 4.40 Hubungan *VFB* dengan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	VFB (%)
4.64	57.84
5.14	66.83
5.64	75.82
6.14	79.76
6.64	80.68

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Gambar 4.14 Grafik Hubungan *VFB* dengan Kadar Aspal

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari Grafik 4.14 terlihat bahwa nilai VFB semakin tinggi seiring penambahan kadar aspal 4,64% sampai 6,64%. 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 4,64% tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yakni minimum 63 % sedangkan pada kadar aspal 5,14% sampai 6,64% memenuhi syarat spesifikasi.

6. Hubungan Kepadatan dan Kadar Aspal

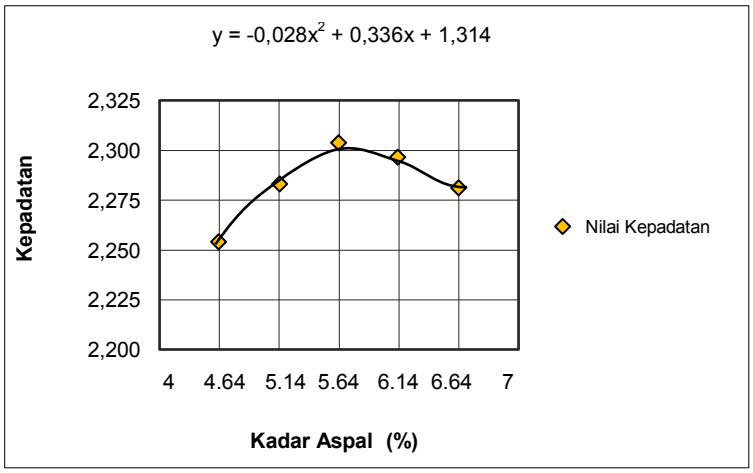
Untuk melihat hubungan antara nilai kepadatan dengan kadar aspal dapat terlihat pada Grafik 4.15. Pada grafik terlihat bahwa semakin besar kadar aspal maka semakin besar kepadatan yang terjadi namun setelah melewati batas kadar aspal optimum maka kepadatan akan menurun. Hal ini karena kadar aspal yang ada meningkat terus setelah melewati batas optimum. Rongga - rongga yang ada

juga sudah penuh terisi aspal, sehingga aspal yang ada sudah tidak bisa mengisi rongga lagi dan menyebabkan kepadatan menurun.

Tabel 4.41 Hubungan *Kepadatan* dengan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	Kepadatan
4.64	2.257
5.14	2.281
5.64	2.302
6.14	2.292
6.64	2.280

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Gambar 4.15 Grafik Hubungan Kepadatan dengan Kasar Aspal

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Semakin tinggi kadar aspal maka nilai stabilitas dan nilai kepadatan juga 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 antara agregat yang sudah terisi aspal. Sedangkan semakin tinggi kadar aspal maka nilai *VIM* akan semakin rendah karena rongga-rongga yang ada dalam campuran sudah penuh terisi oleh aspal.

7. Hubungan Antara Hasil Bagi *Marshall* (*MQ*) dan Kadar Aspal.

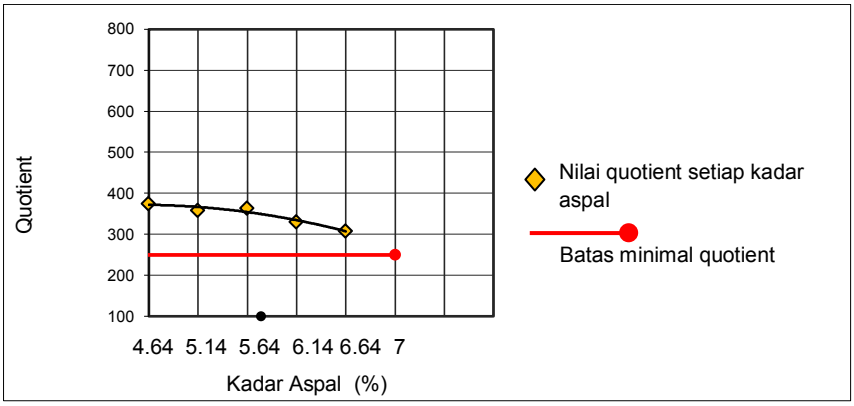
MQ adalah perbandingan antara nilai stabilitas dengan nilai *flow*. Tujuannya adalah untuk mendapatkan tingkat fleksibilitas dari suatu campuran. Fleksibilitas yang dimaksudkan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti

deformasi yang terjadi akibat beban yang berulang yang bekerja tanpa timbulnya retak dan perubahan volume.

Tabel 4.42 Hubungan *MQ* dengan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	MQ (Kg/mm)
4.64	374.34
5.14	361.22
5.64	367.23
6.14	330.47
6.64	308.03

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Gambar 4.16 Grafik Hubungan *MQ* dengan Kadar Aspal

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari hasil pengujian didapatkan Grafik 4.16 bahwa penambahan kadar aspal mulai dari 4,64% sampai 6,64% nilai *MQ* untuk semua kadar aspal pada Laston *AC*-WC memenuhi persyaratan yakni minimal 250 Kg/mm.

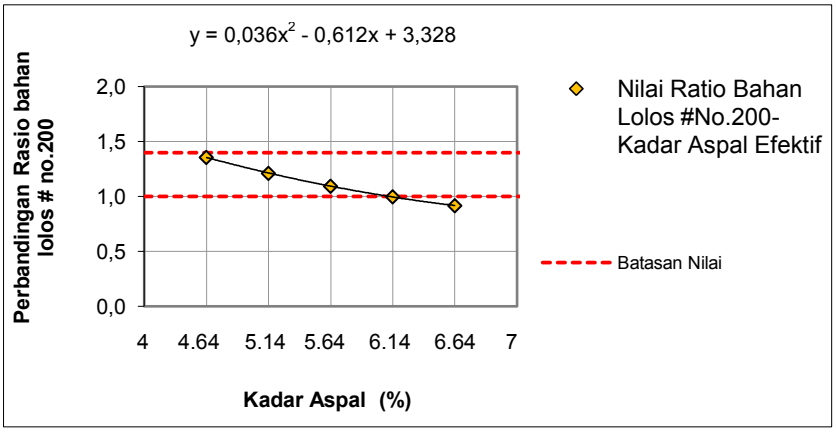
8. Hubungan Rasio Partikel Bahan Lolos Saringan No. 200 Dan Kadar Aspal

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

Tabel 4.43 Hubungan Antara Rasio partikel Bahan Lolos Saringan no. 200 dan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	Rasio Partikel %
4.64	1.28
5.14	1.15
5.64	1.04
6.14	0.95
6.64	0.88

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019



Gambar 4.17 Hubungan Antara Rasio partikel Bahan Lolos Saringan No. 200 Dan Kadar Aspal

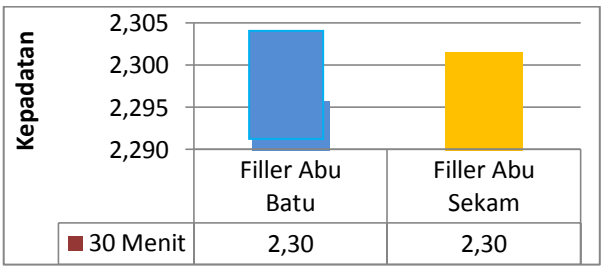
Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari tabel 4.43 dan Gambar 4.17 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 4,64% sampai pada 5,64% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 sedangkan pada kadar aspal 6,14% dan 6,64% tidak memenuhi yang disyaratkan yakni (minimum 1 maksimum 1,4).

4.5.5 Evaluasi Perbandingan Nilai Marshall antara *Filler* Abu Batu Dengan *Filler* Abu Sekam Padi (Perendaman 30 menit & 24 jam)

1. Hubungan Kepadatan Campuran Dengan Perbandingan *Filler* Abu Batu dan *Filler* Abu Sekam Padi

Kepadatan (*density*) merupakan perbandingan antara massa benda terhadap volumenya. Nilai kepadatan campuran beton aspal lapis aus AC-WC *filler* abu batu dengan *filler* abu sekam padi sebagai bahan pengisi dengan 100% dapat dilihat pada Gambar 4.18 untuk campuran beton aspal lapis aus AC-WC.



Gambar 4.18 Grafik Batang Hubungan Kepadatan dengan Perbandingan *Filler* Abu batu dengan *Filler* Abu sekam Padi (Perendaman 30 menit & 24 Jam)

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari gambar 4.18 dapat dilihat bahwa nilai kepadatan *filler* abu sekam padi mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kadar aspal optimum, hal ini disebabkan karena dari hasil pengujian berat jenis *filler* abu batu dan berat jenis *filler* abu sekam padi, menunjukkan bahwa abu sekam padi memiliki nilai berat jenis lebih tinggi dari abu batu, hal ini akan menyebabkan secara volume abu sekam padi lebih banyak dari pada abu batu pada jumlah berat yang sama. semakin bertambahnya volume partikel abu sekam padi dalam campuran akibat perubahan nilai berat jenis sehingga rongga antar agregat semakin banyak terisi oleh partikel abu sekam padi. Nilai kepadatan yang diperoleh pada campuran AC–WC yang menggunakan abu sekam padi 100% dan abu batu 100% sebesar 2,302 gr/cm3 untuk Abu sekam padi dan untuk abu batu sebesar 2,296 gr/cm3.

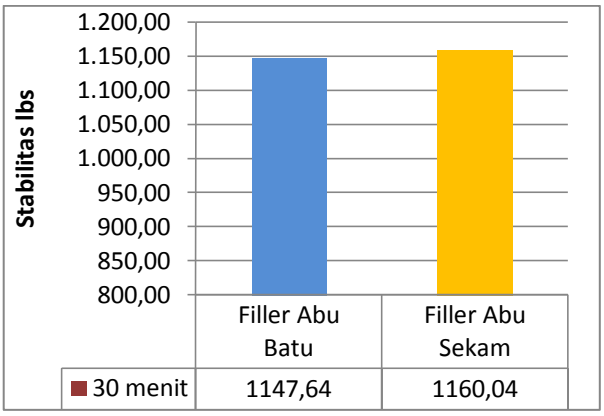
2. Hubungan Stabilitas dengan Perbandingan *Filler* Abu Batu dan *Filler* Abu Sekam Padi

Stabilitas merupakan kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh kohesi aspal, kadar aspal, gesekan (internal friction), sifat saling mengunci (interlocking) dari partikel–partikel agregat, bentuk dan tekstur permukaan serta gradasi agregat. Dari hasil pengujian stabilitas dengan perbandingan *filler* abu sekam dan *filler* abu batu padi pada kadar aspal optimum, pada gambar 4.19 terlihat nilai stabilitas *filler* abu sekan padi mengalami kenaikan pada setiap perbandingan. Pada perbandingan campuran 100% *filler* abu batu dan *filler* abu sekam padi nilai stabilitas lebih besar dari *filler* abu sekam padi yaitu 1.160,04 Kg dan nilai stabilitas *filler* abu batu yaitu 1,147.64 Kg.

Hal ini disebabkan karena pada saat pencampuran terjadi perubahan jumlah volume butiran *filler* abu batu dan *filler* abu sekam padi. Dengan bertambahnya jumlah volume butiran ini, menunjukkan semakin banyak butiran yang digunakan maka semakin banyak pula luas permukaan butiran yang akan diselimuti aspal makin luas permukan maka aspal yang dibutuhkan makin banyak.

Berdasarkan grafik Batang Hubungan Stabilitas dengan Perbandingan *filler* Abu batu dengan *filler* Abu sekam Padi. Dapat disimpulkan volume abu sekam padi lebih besar dari volume *filler* abu batu maka *filler* abu sekam padi volume ruang yang dibutuhkan makin besar, maka dari itu luas permukannya juga semakin besar dan aspal dibutuhkan lebih tipis karena *filler* abu sekam padi mampu mengisi setiap ronga yang ada dalam campuran dan mampu menahan beban yang melewatinya karena aspal yang dibutuhkan pas dan tidak lebih,

Untuk *filler* abu batu volumenya lebih rendah dikarekanakan luas permukaan lebih sedikit dan selimut aspal lebih tebal, oleh karena itu *filler* abu batu lebih sedikit untuk mengisi ronga yang ada dalam campuran, karena ronga dalam campuran lebih banyak terisi oleh aspal. Lebih tebal aspal maka daya ikat untuk campuran juga akan berkurang, apabila ada pembebanan maka akan terjadi pergesakan.

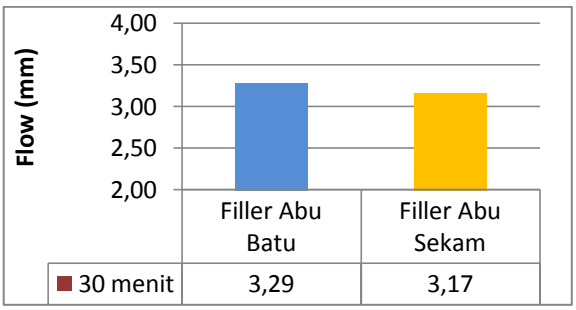


Gambar 4.19 Grafik Batang Hubungan Stabilitas dengan Perbandingan *Filler* Abu batu dengan *Filler* Abu sekam Padi (Perendaman 30 menit & 24 Jam)

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

3. Hubungan *Flow* Dengan Perbandingan *Filler* Abu Batu dan *Filler* Abu Sekam Padi

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



Gambar 4.20 Grafik Batang Hubungan *Flow* dengan Perbandingan *Filler* Abu batu dengan *Filler* Abu sekam Padi (Perendaman 30 menit & 24 Jam)

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari gambar 4.20 menunjukkan bahwa penambahan *filler* abu sekam padi ke dalam campuran dengan menyebabkan nilai *flow* menurun seiring kenaikan pemakaian *filler* abu batu. Hal ini disebabkan karena pada saat pencampuran tidak terjadi perubahan jumlah volume butiran *filler* abu batu dan *filler* abu sekam padi. Tetapi terjadi perubahan jumlah berat. Dengan bertambahnya jumlah volume butiran, menunjukkan semakin banyak butiran yang digunakan, maka semakin banyak pula luas permukaan butiran yang akan diselimuti oleh aspal. Dengan menggunakan kadar aspal yang tetap, Dari grafik digambarkan bahwa nilai *flow filler* Abu batu lebih besar, karena aspal yang menyelimuti *filler* Abu batu lebih tebal, maka dari itu daya ikat antara campuran akan berkurang dan mudah mengalami perubahan bentuk dan cenderung lembek karena ronga yang ada lebih banyak diisi oleh aspal sehingga menyebabkan deformasi permanen apabila menerima beban tetapi dalam hasil uji *filler* Abu batu bisa digunakan karena nilai *flow* untuk *filler* Abu batu memenuhi spesifikasi yaitu 3,29 mm.

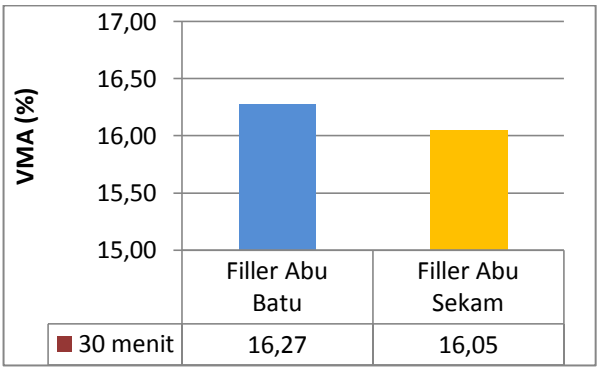
. Untuk *filler* Abu sekam padi nilai *flow* menurun dikarenakan aspal yang menyelimuti *filler* Abu sekam padi lebih tipis karena ronga yang ada dalam campuran diisi oleh Aspal dan *filler* Abu sekam padi sehinga ronga yang ada berkurang, maka campuran akan menjadi kaku dan retak apabila menerima beban tetapi dalam hasil uji *filler* Abu sekam padi bisa digunakan karena nilai *flow* untuk *filler* Abu sekam padi memenuhi spesifikasi yaitu 3,17 mm.

Pada campuran AC–WC. Berdasarkan data hasil uji diatas, penggunaan material *filler* abu batu dan *filler* abu sekam padi 100% layak dipakai karena pada parameter marshall ini *filler* Abu batu dengan *filler* Abu sekam padi memenuhi spesifikasi *flow* yaitu minimal 3 mm. Oleh sebab itu, direkomendasikan untuk menggunakan 100% *filler* Abu batu dengan *filler* Abu sekam padi.

4. Hubungan *VMA* Dengan Perbandingan *Filler* Abu Batu dan *Filler* Abu Sekam Padi

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

pori dalam agregat tergantung pada ukuran butir, susunan, bentuk dan metode pemadatan.



Gambar 4.21 Grafik Batang Hubungan VMA Dengan Perbandingan *Filler* Abu batu dengan *Filler* Abu sekam Padi (Perendaman 30 menit & 24 Jam)

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari gambar 4.21 hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VMA terhadap *filler* Abu sekam padi pada kadar aspal optimum cenderung mengalami penurunan seiring dengan pertambahan kadar *filler* Abu sekam padi. Hal ini disebabkan karena dari hasil pengujian berat jenis *filler* Abu sekam padi dan berat jenis *filler* abu batu. Menunjukkan bahwa *filler* abu sekam padi memiliki nilai berat jenis lebih rendah dari *filler* abu batu, hal ini akan menyebabkan secara volume abu sekam padi lebih banyak dari pada abu batu pada jumlah berat yang sama.

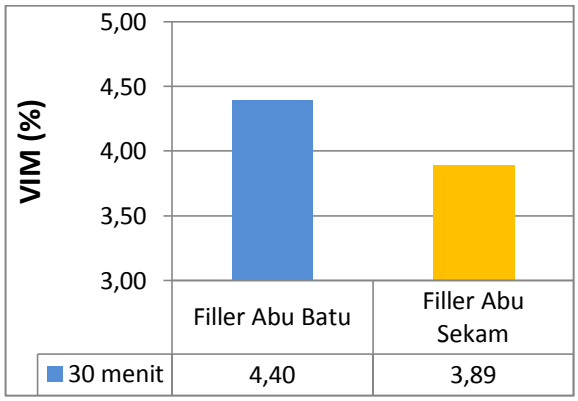
Penambahan *filler* abu sekam padi membuat ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran semakin sedikit karena rongga udara yang ada diisi oleh *filler* Abu sekam padi dan aspal yang di selimuti lebih sedikit.

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

Adapun nilai VMA yang diperoleh pada campuran AC–WC yang menggunakan *filler* abu sekam padi 100% sebesar 16,05 %, dan *filler* abu batu 100% sebesar 16,27%.

5. **Hubungan *VIM* Dengan Perbandingan *Filler* Abu Batu dan *Filler* Abu Sekam Padi**

VIM (Void In Mixture) merupakan persentase rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah dilakukan pemadatan. VIM atau rongga dalam campuran adalah parameter yang biasanya berkaitan dengan durabilitas dan kekuatan dari campuran.Semakin kecil nilai VIM, maka akan bersifat kedap air. Namun nilai VIM yang terlalu kecil dapat mengakibatkan keluarnya aspal ke permukaan.



Gambar 4.22 Grafik Batang Hubungan VIM Dengan Perbandingan *Filler* Abu batu dengan *Filler* Abu sekam Padi (Perendaman 30 menit & 24 Jam)

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

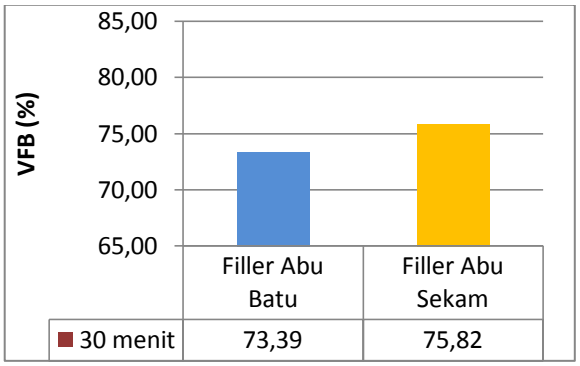
Grafik nilai VIM campuran AC–WC untuk *filler* abu sekam padi pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.22. Dari gambar menunjukkan bahwa penambahan *filler* abu sekam padi ke dalam campuran menyebabkan nilai VIM mengalami penurunan seiring bertambahnya *filler* abu sekam padi. Hal ini disebabkan karena dari hasil pengujian berat jenis *filler* abu sekam padi dan berat jenis *filler* abu batu, menunjukkan bahwa *filler* abu sekam padi memiliki nilai berat jenis lebih rendah dari *filler* abu batu, hal ini akan menyebabkan secara volume *filler* abu sekam padi lebih banyak dari pada *filler* abu batu pada jumlah berat yang sama. Perubahan nilai berat jenis *filler* abu sekam padi membuat rongga udara yang ada semakin sedikit karena rongga udara yang ada terisi penuh oleh *filler* abu sekam padi sehingga rongga udara akan jadi berkurang. Berbeda dengan *filler* abu batu, karena *filler* abu batu aspal yang menyelimuti campuran lebih tebal yang membuat rongga udara yang ada jadi berkurang, karena setiap rongga terisi oleh aspal.

Nilai VIM yang diperoleh pada campuran AC–WC yang menggunakan *filler* abu sekam padi 100% sebesar 3,89%, dan *filler* abu batu 100% sebesar 4,40%.

6. Hubungan *VFB* Dengan Perbandingan *Filler* Abu Batu dan *Filler* Abu Sekam Padi

VFB merupakan volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal. Nilai VFB memperlihatkan persentase rongga terisi aspal. Apabila VFB besar maka rongga yang ada akan terisi oleh aspal dan *filler*. Sehingga kekedapan campuran terhadap udara dan air menjadi lebih sedikit. Aspal yang berjumlah besar apabila menerima beban dan panas kemudian akan mencari rongga yang kosong. Apabila rongga yang tersedia sedikit dan semua akan terisi oleh, apabila aspal besar maka akan naik kepermukaan yang kemudian terjadi kegemukan.

VFB ini berfungsi untuk menjaga keawetan campuran beraspal dengan memberi batasan yang cukup. VFB, VMA dan VIM saling berhubungan karena itu bila dua di antaranya diketahui maka dapat mengevaluasi yang lainnya. Kriteria VFB membantu perencanaan campuran dengan memberikan VMA yang dapat diterima. Pengaruh utama kriteria VFB adalah membatasi VMA maksimum dan kadar aspal maksimum. VFB juga dapat membatasi kadar rongga campuran yang dijinkan yang memenuhi kriteria VMA minimum.



Gambar 4.23 Grafik Batang Hubungan VFB Dengan Perbandingan *Filler* Abu batu dengan *Filler* Abu sekam Padi (Perendaman 30 menit & 24 Jam)

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

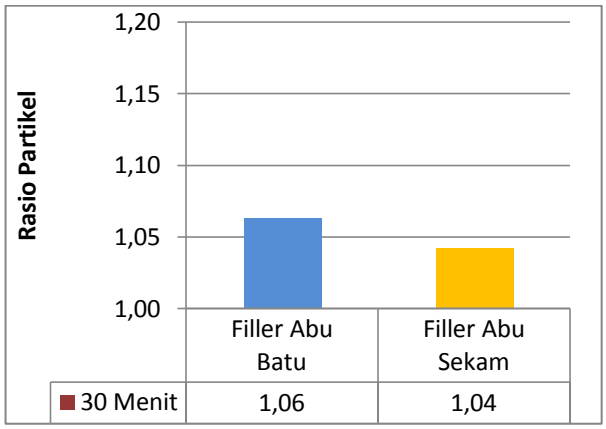
Dari gambar 4.23 menunjukkan bahwa penambahan *filler* abu sekam padi ke dalam campuran cenderung besar dan menyebabkan nilai VFB meningkat. Hal ini disebabkan karena penambahan *filler* abu sekam padi membuat rongga yang tersedia semakin kecil dan kebutuhan rongga terisi oleh aspal juga semakin sedikit. Hal ini menunjukan tidak ada halangan bagi aspal untuk mengisi rongga-rongga yang ada. Agar campuran tidak mudah rutting terhadap beban atau oleh pergeseran lapis permukaan itu sendri.

Untuk *filler* abu batu nilai VFB menurun. Hal ini disebabkan karena penambahan *filler* abu batu lebih sedikit dan kebutuhan rongga terisi oleh aspal lebih besar.

Adapun nilai VFB yang diperoleh padacampuran AC–WC yang menggunakan *filler* abu sekam padi 100% sebesar 75,82% dan *filler* abu batu 100% sebesar 73,39 %.

7. Hubungan Rasio Partikel Dengan Perbandingan *Filler* Abu Batu dan *Filler* Abu Sekam Padi

Rasio Partikel perbandingan nilai marshall antara *filler* abu batu dengan *filler* abu sekam padi.



Gambar 4.24 Grafik Batang Hubungan Rasio Partikel Dengan Perbandingan *Filler* Abu batu dengan *Filler* Abu sekam Padi (Perendaman 30 menit & 24 Jam)

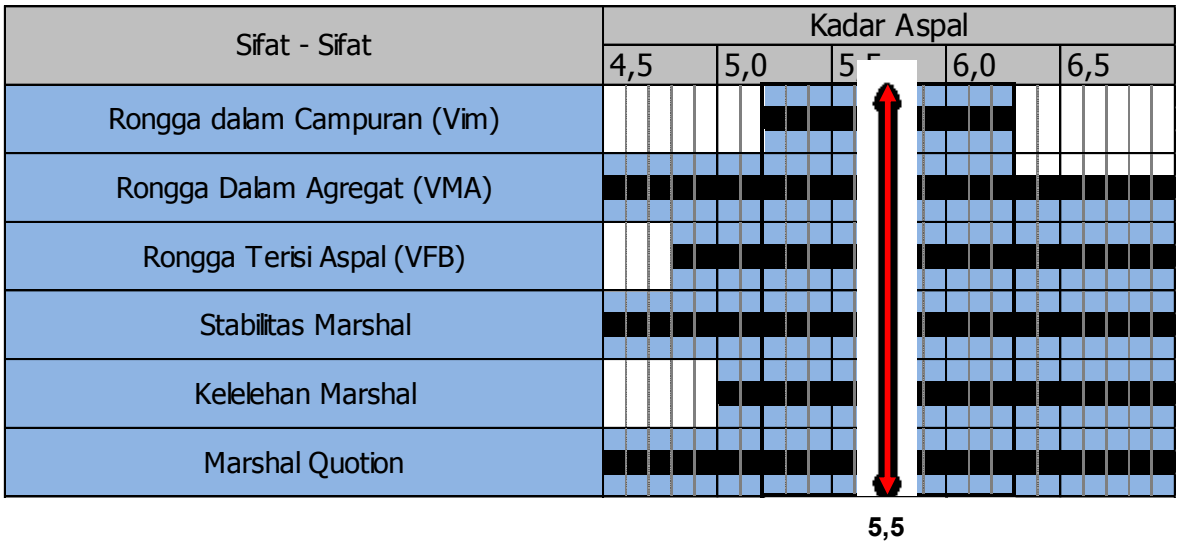
Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Dari gambar 4.24 menyatakan bahwa semakin besar nilai marshall quotient berarti campuran semakin kaku, sebaliknya jika semakin kecil nilai marshall quotient maka campuran semakin lentur. Dari gambar 4.24 diatas juga terlihat bahwa pada nilai rasio partikel antara *filler* abu batu 100% sebesar 1,06% dengan *filler* abu sekam padi 100% sebesar 1,04% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yang disyaratkan yakni (minimum 1 maksimum 1,4).

4.6 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

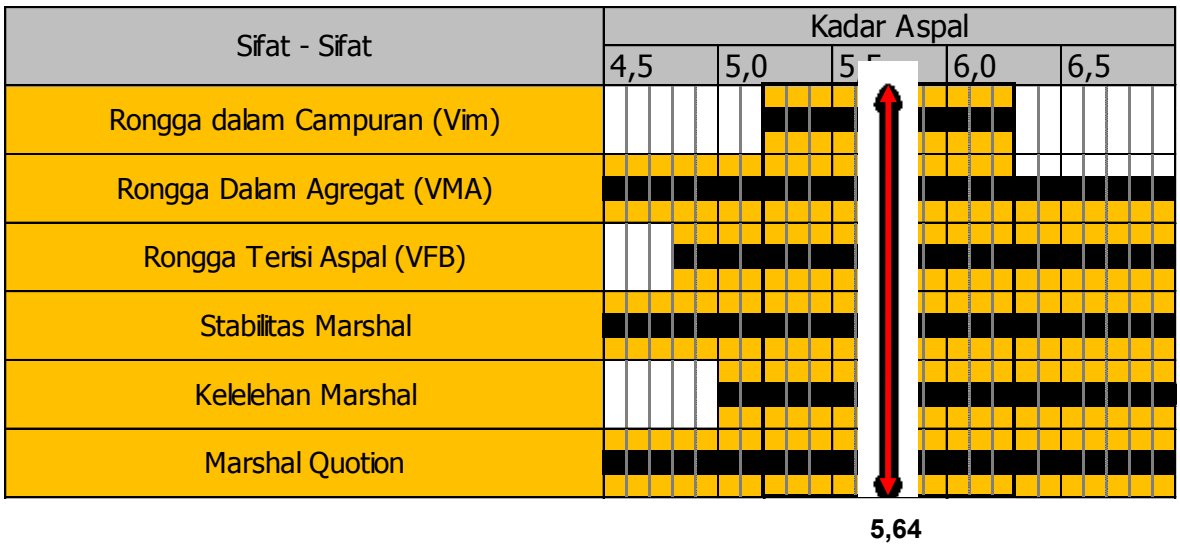
Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi campuran. Kadar aspal optimum yang dicapai sebesar (*Filler Abu Batu* ***5,64 %*** , *Filler Abu Sekam Padi* ***5,64 %,*** *dan Filler,* sudah memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan oleh spesifikasi Bina Marga yaitu menyangkut

Stabilitas, *Flow*, *MQ, 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 4.25 dan 4.26 di bawah ini.



Gambar 4.25 Diagram batang kadar aspal optimum untuk *filler* abu batu 100%

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019



Gambar 4.26 Diagram batang kadar aspal optimum untuk *filler* abu sekam padi 100%

Sumber : Hasil Perhitungan Laboratorium 2019

Keterangan :

= Kadar aspal optimum

= Parameter *Marshall* (yang memenuhi)

= Parameter *Marshall* (yang tidak memenuhi)

4.7 Rangkuman Hasil Pengujian Proporsi Campuran dengan KAO

Dari Tabel 4.44 terlihat bahwa kadar aspal optimum untuk campuran Laston *AC-WC* menggunakan material *Quarry* Hera (PT.Gihon Unipessoal Lda). Hera Timor Leste, dengan komposisi batu pecah 3/4" adalah sebesar 7,00%, batu pecah ½" adalah sebesar 35,00 %, abu batu adalah sebesar 49,00%, pasir adalah sebesar 7,00%, *filler* abu batu 2.00% dan kadar aspal adalah 5,64 % dari parameter *Marshall*. Dilihat pada tabel

Tabel 4.44 Rangkuman Hasil Uji Campuran

No	Komponen	Satuan	Proporsi	Spesifikasi Bina Marga 2010	Keterangan
1	Batu pecah 3/4"	%	7.00	-	Tidak disyaratkan
2	Batu pecah 1/2"	%	35.00	-	Tidak disyaratkan
3	Abu batu	%	49.00	-	Tidak disyaratkan
4	Pasir	%	7.00	Maks 15%	Memenuhi
5	Filler Abu Batu	%	2.00	-	Tidak disyaratkan
6	Kadar aspal	%	5.64	-	Tidak disyaratkan

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

Perhitungan : (*Filler Abu Batu 100%*)

Komposisi Agregat Campuran Total

Batu Pecah 3/4"	= 7,00 %
Batu Pecah ½"	= 35,00 %
Abu Batu	= 49,00 %
Pasir Alam	= 7,00 %
Filler Abu Batu	= 2,00 % +
Total Agregat Campuran	= 100%

A. Batu Pecah 3/4"

= Komposisi Agregat Kasar 3/4" x (100 – KAO)

= 7,00% x (100 – 5,5%)

= 7,00%

B. Batu Pecah ½"

= Komposisi Agregat Kasar ½" x (100 – KAO)

= 35,00% x (100 – 5,5%)

= 34,98%

C. Abu Batu

= Komposisi Abu Batu x (100 – KAO)

= 49,00% x (100 – 5,5%)

= 48,97%

D. Pasir Alam

= Komposisi Pasir Alam x (100 – KAO)

= 7,00% x (100 – 5,5%)

= 7,00%

E. *Filler* Abu Batu

= Komposisi *Filler* Abu Batu x (100 – KAO)

= 2,00% x (100 – 5,5%)

= 2,00%

Untuk mengetahui kadar aspal optimum tersebut dibuat dua contoh benda uji yaitu A dan B sehingga berjumlah 12 benda uji 10 benda uji untu Briket dan 2 benda uji untuk Gmm. Campuran dengan menggunakan filler abu batu 100%.

4.7.1 Rekapan Rancangan Campuran (Laston *AC - WC*) *Filler* Abu Batu 100%

Untuk rekapan rancangan campuran (Laston *AC-WC*) pada *filler* abu batu 100 % dilihat pada tabel **4.45** di bawah ini :

Tabel 4.45 Rangkuman Hasil Uji Campuran Total

No	Sifat-sifat	Satuan	Hasil	Spesifikasi Bina Marga 2010	Keterangan
1	Kadar Aspal Optimum	%	5.64	-	Tidak disyaratkan
2	Berat Jenis Aspal	-	1.030	-	Tidak disyaratkan
3	Berat Jenis Bulk Agregat	-	2.587	-	Tidak disyaratkan
4	Proporsi Agregat	%	94.36	-	Tidak disyaratkan
5	Gmm	-	2.401	-	Tidak disyaratkan
6	Penyerapan aspal	%	0.332	Maks. 1,2	Memenuhi
7	Kadar aspal efektif	%	5.312	Min. 4,3	Memenuhi
8	Gmb	-	2.296	-	Tidak disyaratkan
9	Stabilitas	Kg	1,147.64	Min 800	Memenuhi
10	*Flow*	mm	3.220	Min 3	Memenuhi
11	*MQ*	Kg/mm	308.03	Min 250	Memenuhi
12	*VIM*	%	3.88	3,5-5,0	Memenuhi
13	*VMA*	%	17.59	Min 14	Memenuhi
14	*VFB*	%	78.09	Min 63	Memenuhi
15	*Stabilitas Marshall Sisa*	%	94.36	Min 90	Memenuhi

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

Misalnya percobaan komposisi dengan proporsi persen batu pecah 3/4" 7,00%, batu pecah ½" 35,00%, abu batu 49,00 %, pasir 7,00 %, *filler* abu batu 2,00 %. Berat masing-masing material untuk campuran *AC-WC* pada contoh kadar aspal optimum 5,64 %.

1. Batu pecah 3/4" = 7,00 % x 1.200 = 84,00 gr
2. Batu pecah ½" = 35,00 % x 1.200 = 420,00 gr
3. Abu batu = 49,00 % x 1.200 = 588,00 gr
4. Pasir = 7,00 % x 1.200 = 84,00 gr
5. *Filler* Abu batu = 2,00 % x 1.200 = 24,00 g +

Jumlah = 1.200 gr

Perhitungan :

1. Kadar Aspal Total Hasil Pengujian KAO

   = 5,5%
2. Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm) Hasil Pengujian GMM rata-rata

   = 2,401
3. Berat Jenis Aspal Hasil Pengujian Produksi Pertamina

   = 1,030
4. Berat Jenis Bulk Agregat

   = 38.65

5. Proporsi Agregat

= 100 - KAO

= 100 - 5,5%

= 94,50 %

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

KAO = 5,5

Y = $0{,}042x^2 - 0{,}688x + 3{,}586$

= $0{,}042 \times (5{,}64)^2 - 0{,}688 \times 5{,}5 + 3{,}586$

= 1,04 %

7. Penyerapan Aspal

Gmm rata-rata = 2,401

Perkiraan Kadar Aspal (Gmm) = 5,5%

BJ Bulk Agregat Rata-rata = 38,65

BJ Aspal = 1,030

BJ Agregat *Eff*

$$= \left(\frac{100 - \text{KA Gmm}}{\frac{100}{\text{Gmm}} - \frac{\text{KA Gmm}}{\text{Bj Aspal}}} \right)$$

$$= \left(\frac{100 - 5{,}5\%}{\frac{100}{2{,}401} - \frac{5{,}5\%}{1{,}030}} \right)$$

= 2,403

Penyerapan Aspal

$$= 100 \; \frac{\text{BJ Agregat } \textit{Eff} - \text{BJ Bulk Agregat}}{\text{BJ Agregat } \textit{Eff} \; x \; \text{BJ Bulk Agregat}} \; x \; \text{Bj Aspal}$$

$$= 100 \; \frac{2{,}403 - 38{,}65}{2{,}403 \; x \; 38{,}65} \; x \; 1{,}030$$

= 2,546%

8. Kadar Aspal Efektif

= Kadar Aspal Total - Penyerapan Aspal

= 5,5 % - 2,546 %

= 3,09%

9. Berat Jenis Contoh Camp. Padat (Gmb)

KAO = 5,5%

Y = $-0{,}026x^2 + 0{,}299x + 1{,}38$

$= -0{,}026 \times (5{,}5\%)^2 + 0{,}299 \times 5{,}5\% + 1{,}38$ **= 3,09**

10. Stabilitas Marshall

KAO = 5,5%

Y $= -67{,}68x^2 + 737{,}5x - 859{,}1$

$= -67{,}68 \times (5{,}5\%)^2 + 737{,}5 \times 5{,}5\% - 859{,}1$

= 1.490,06 Kg

11. Kelelehan Marshall

KAO = 5,5%

Y $= -0{,}032x^2 + 0{,}644x + 0{,}697$

$= -0{,}032 \times (5{,}5\%)^2 + 0{,}644 \times 5{,}5\% + 0{,}697$

= 3,31 mm

12. Rongga dalam Campuran *(VIM)*

KAO = 5,5%

Y $= 1{,}082x^2 - 13{,}71x + 47{,}33$

$= 1{,}082 \times (5{,}5\%)^2 - 13{,}71 \times 5{,}5\% + 47{,}33$

= 7,25 %

13. Rongga dalam Agregat *(VMA)*

KAO = 5,5%

Y $= 0{,}961x^2 - 10{,}11x + 42{,}75$

$= 0{,}961 \times (5{,}5\%)^2 - 10{,}11 \times 5{,}5\% + 42{,}75$

= 15,11%

14. Rongga Terisi Aspal *(VFB)*

KAO = 5,5%

Y $= -5{,}284x^2 + 69{,}99x - 153{,}3$

$= -5{,}284 \times (5{,}5\%)^2 + 69{,}99 \times 5{,}5\% - 153{,}3$

= 73,36 %

4.7.2 Berat Jenis Bulk Agregat (*Filler* Abu Batu 100%)

Untuk Berat Jenis Bulk Agregat (*Filler* Abu Batu 100%) dilihat pada tabel **4.46** dibawah ini :

Tabel 4.46 Berat Jenis Bulk Agregat

KOMPONEN	PROPORSI AGREGAT	BERAT JENIS BULK AGREGAT		BERAT JENIS BULK AGREGAT GABUNGAN
(a) BATU PECAH 3/4"	**7.00%**	2.605	2.687	
(b) BATU PECAH 1/2"	**35.00%**	2.602	13.451	
(c) ABU BATU	**49.00%**	2.595	18.879	
(d) PASIR	**7.00%**	2.513	2.785	
(d) FILLER (ABU BATU)	**2.00%**	2.356	0.849	
Berat Jenis Agregat	**100%**		**38.65**	**2.587**

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

a. Batu Pecah 3/4"

= (7,00% / 2,605) x 100

= 2,687

b. BJ Agregat Rata-rata

= 2,687 + 13,451 + 18,879 + 2,785 + 0,849

= 38,65

c. BJ Bulk Agregat Rata-rata

= (100% / 38,65) x 100

= 2,587

4.7.3 Rekapan Rancangan Campuran (Laston *AC-WC*) *Filler* Abu Sekam Padi 100%

Untuk rekapan sifat-sifat campuran (Laston *AC-WC*) *Filler* Abu Sekam Padi 100% dilihat pada tabel **4.47** di bawah ini :

Tabel 4.47 Rangkuman Hasil Uji Campuran

No	Komponen	Satuan	Proporsi	Spesifikasi Bina Marga 2010	Keterangan
1	Batu pecah 3/4"	%	6.60	-	Tidak disyaratkan
2	Batu pecah 1/2"	%	33.02	-	Tidak disyaratkan
3	Abu batu	%	46.23	-	Tidak disyaratkan
4	Pasir	%	6.60	Maks 15%	Memenuhi
5	Filler Abu Sekam Padi	%	1.89	-	Tidak disyaratkan
6	Kadar aspal	%	5.64	-	Tidak disyaratkan

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

Perhitungan : (*Filler Abu Sekam Padi 100%*)

Komposisi Agregat Campuran Total

Batu Pecah 3/4"	= 6,60 %	
Batu Pecah ½"	= 33,02 %	
Abu Batu	= 46,23 %	
Pasir Alam	= 6,60 %	
Filler Abu Sekam Padi	= 1,89 %	+
Total Agregat Campuran	= 100%	

A. Batu Pecah 3/4"

= Komposisi Agregat Kasar 3/4" x (100 – KAO)

= 6,60% x (100 – 5,64%)

= 6,23%

B. Batu Pecah ½"

= Komposisi Agregat Kasar ½" x (100 – KAO)

= 33,02% x (100 – 5,64%)

= 31,16%

C. Abu Batu

= Komposisi Abu Batu x (100 – KAO)

= 46,23% x (100 – 5,64%)

= 43,62%

D. Pasir Alam

= Komposisi Pasir Alam x (100 – KAO)

= 6,60% x (100 – 5,64%)

= 6,23%

E. *Filler* Abu Sekam Padi

= Komposisi *Filler* Abu Sekam Padi x (100 – KAO)

= 1,89% x (100 – 5,64%)

= 1,78%

Untuk mengetahui kadar aspal optimum tersebut dibuat dua contoh benda uji yaitu A dan B sehingga berjumlah 12 benda uji 10 benda uji untuk Briket dan 2 benda uji untuk Gmm. Campuran dengan menggunakan filler abu sekam padi 100%.

4.7.4 Rekapan Rancangan Campuran (Laston *AC - WC*) *Filler* Abu Sekam Padi 100%

Untuk rekapan rancangan campuran (Laston *AC-WC*) pada *filler* abu sekam padi 100 % dilihat pada tabel **4.48** di bawah ini :

Tabel 4.48 Rangkuman Hasil Uji Campuran Total

No	Sifat-sifat	Satuan	Hasil	Spesifikasi Bina Marga 2010	Keterangan
1	Kadar Aspal Optimum	%	5.64	-	Tidak disyaratkan
2	Berat Jenis Aspal	-	1.030	-	Tidak disyaratkan
3	Berat Jenis Bulk Agregat	-	2.587	-	Tidak disyaratkan
4	Proporsi Agregat	%	94.36	-	Tidak disyaratkan
5	Gmm	-	2.395	-	Tidak disyaratkan
6	Penyerapan aspal	%	0.213	Maks. 1,2	Memenuhi
7	Kadar aspal efektif	%	5.431	Min. 4,3	Memenuhi
8	Gmb	-	2.296	-	Tidak disyaratkan
9	Stabilitas	Kg	1,147.64	Min 800	Memenuhi
10	*Flow*	mm	3.220	Min 3	Memenuhi
11	*MQ*	Kg/mm	308.03	Min 250	Memenuhi
12	*VIM*	%	4.40	3,5-5,0	Memenuhi
13	*VMA*	%	16.27	Min 14	Memenuhi
14	*VFB*	%	73.39	Min 63	Memenuhi
15	*Stabilitas Marshall Sisa*	%	94.36	Min 90	Memenuhi

Sumber : Hasil pengujian laboratorium 2019

Misalnya percobaan komposisi dengan proporsi persen batu pecah 3/4" 6,60%, batu pecah ½" 33,02%, abu batu 46,23 %, pasir 6,60 %, *filler* abu sekam padi 1,89 %. Berat masing-masing material untuk campuran *AC-WC* pada contoh kadar aspal optimum 5,64 %.

1. Batu pecah 3/4" = 6,60 % x 1.200 = 79,20 gr
2. Batu pecah ½" = 33,02 % x 1.200 = 396,24 gr
3. Abu batu = 46,23 % x 1.200 = 554,76 gr
4. Pasir = 6,60 % x 1.200 = 79,20 gr
5. *Filler* Abu Sekam Padi = 1,89 % x 1.200 = 22,64 g +

   Jumlah = 1.200 gr

Perhitungan :

1. Kadar Aspal Total Hasil Pengujian KAO

   = 5,64%
2. Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm) Hasil Pengujian GMM rata-rata

   = 2,395
3. Berat Jenis Aspal Hasil Pengujian Produksi Pertamina

   = 1,030
4. Berat Jenis Bulk Agregat

= 38,66

5. Proporsi Agregat

= 100 - KAO

= 100 - 5,64%

= 94,36 %

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

KAO = 5,64%

$Y = 0{,}036x^2 - 0{,}612x + 3{,}328$

$= 0{,}036 \times (5{,}64\%)^2 - 0{,}612 \times 5{,}64\% + 3{,}328$

= 1,02 %

7. Penyerapan Aspal

Gmm rata-rata = 2,395

Perkiraan Kadar Aspal (Gmm) = 5,64%

BJ Bulk Agregat Rata-rata = 38,66

BJ Aspal = 1,030

BJ Agregat *Eff*

$$= \left(\frac{100 - \text{KA Gmm}}{\frac{100}{\text{Gmm}} - \frac{\text{KA Gmm}}{\text{Bj Aspal}}} \right)$$

$$= \left(\frac{100 - 5{,}64\%}{\frac{100}{2{,}395} - \frac{5{,}64\%}{1{,}030}} \right)$$

= **2,397**

Penyerapan Aspal

$$= 100 \; \frac{\text{BJ Agregat } Eff - \text{BJ Bulk Agregat}}{\text{BJ Agregat } Eff \times \text{BJ Bulk Agregat}} \times \text{Bj Aspal}$$

$$= 100 \; \frac{2{,}397 - 38{,}66}{2{,}397 \times 38{,}66} \times 1{,}030$$

= 2,545%

8. Kadar Aspal Efektif

= Kadar Aspal Total - Penyerapan Aspal

= 5,64 % - 2,545 %

= 3,10 %

9. Berat Jenis Contoh Camp. Padat (Gmb)

KAO = 5,64%

Y = $-0,0288x^2 + 0,336x + 1,314$

= $-0,0288 \times (5,64\%)^2 + 0,336 \times 5,64\% + 1,314$

= 2,29

10. Stabilitas Marshall

KAO = 5,64%

Y = $-61,65x^2 + 688,4x – 776,6$

= $-61,65 \times (5,64\%)^2 + 688,4 \times 5,64\% – 776,6$

= 1.144,91 Kg

11. Kelelehan Marshall

KAO = 5,64%

Y = $-0,001x^2 + 0,299x + 1,579$

= $-0,001 \times (5,64\%)^2 + 0,299 \times 5,64\% + 1,579$

= 3,23 mm

12. Rongga dalam Campuran *(VIM)*

KAO = 5,64%

Y = $1,205x^2 – 15,40x + 52,65$

= $1,205x^2 (5,64\%)^2 - 15,40 \times 5,64\% + 52,65$

= 4,03 %

13. Rongga dalam Agregat *(VMA)*

KAO = 5,64%

Y = $1,060x^2 –11,50x + 47,37$

= $1,060 \times (5,64\%)^2 - 11,50 \times 5,64\% + 47,37$

= 16,23%

14. Rongga Terisi Aspal *(VFB)*

KAO = 5,64%

Y = $-6,053x^2 + 79,99x – 183,4$

= $-6,053 \times (5,64\%)^2 + 79,99 \times 5,64\% - 183,4$

= 75,20 %

4.7.5 Berat Jenis Bulk Agregat (*Filler* Abu Sekam Padi100%)

Untuk Berat Jenis Bulk Agregat (*Filler* Abu Sekam Padi 100%) dilihat pada tabel **4.49** dibawah ini :

Tabel 4.49 Berat Jenis Bulk Agregat

KOMPONEN	PROPORSI AGREGAT	BERAT JENIS BULK AGREGAT		BERAT JENIS BULK AGREGAT GABUNGAN
(a) BATU PECAH 3/4"	**7.00%**	2.605	2.687	
(b) BATU PECAH 1/2"	**35.00%**	2.602	13.451	
(c) ABU BATU	**49.00%**	2.595	18.879	
(d) PASIR	**7.00%**	2.513	2.785	
(d) FILLER (ABU SEKAM)	**2.00%**	2.342	0.854	
Berat Jenis Agregat	**100%**		**38.66**	**2.587**

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2019

Contoh Perhitungan :

a. Batu Pecah 3/4"

= (7,00% / 2,605) x 100

= 2,687

b. BJ Agregat Rata-rata

= 2,687 + 13,451 + 18,879 + 2,785 + 0,854

= 38,66

c. BJ Bulk Agregat Rata-rata

= (100% / 38,66) x 100

= 2,587