

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Material

Pada penelitian ini proses pengambilan material yang berupa agregat kasar, agregat halus dan *filler* dilakukan di tempat penyimpanan material (*stock pile*) pada *Quarry* Mandoki milik PT. Sinoma. Material-material yang terdapat *Quarry* Mandoki ditumpuk berdasarkan jenisnya. Material agregat kasar, agregat halus dan *filler* diambil dari tumpukan agregat yang berbentuk kerucut hasil produksi dari *stone crusher*. Teknik pengambilan sampel agregat kasar, agregat halus dan *filler* menggunakan metode *Systematic Random Sampling* yaitu dengan mengambil agregat dari segala arah baik itu pada bagian bawah, tengah, atas. Tujuan dari penggunaan metode ini, agregat yang diambil dapat mewakili keseluruhan populasi agregat yang berada pada *Quarry* Mandoki

4.2 Persiapan Peralatan dan pengujian Material

Pekerjaan persiapan peralatan dilakukan sebelum melakukan pengujian material. Peralatan untuk perencanaan campuran di laboratorium meliputi antara lain alat untuk alat *Quartering*, satu set saringan (1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", 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.

4.3 Pengujian Data Primer

4.3.1 Pengujian Material Agregat Kasar

Berikut ini adalah hasil pengujian agregat kasar yang berasal dari *Quarry* Mandoki. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah terdiri dari 2 jenis, yaitu batu pecah 1" (25,4 mm) dan batu pecah $\frac{1}{2}$ " (12,5 mm). Perhitungan terhadap pengujian agregat kasar adalah sebagai berikut.

A. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Agregat yang dipakai dalam pengujian ini adalah agregat dengan ukuran 1" (25,4 mm) dan $\frac{1}{2}$ " (12,5 mm). Atau agregat yang tertahan saringan No.4 yang berasal dari *Quarry* Mandoki. Data yang di tampilkan pada pengujian ini adalah berat jenis (Bulk), berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu (Apprent), dan penyerapan air. Contoh perhitungan dapat dilihat di bawah ini.

Contoh A :Perhitungan Agregat Kasar 1”:

$$1. \text{ Berat jenis (Bulk)} = \frac{BK}{Bj - Ba} = \frac{3390}{3404 - 2099} = \mathbf{2,598}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (Bulk) Rata - rata} &= A + B \\ &= 2,598 + 2,559 \\ &= \mathbf{2,579} \end{aligned}$$

$$2. \text{ (SSD)} = \frac{Bj}{Bj - Ba} = \frac{3404}{3404 - 2099} = \mathbf{2,608}$$

$$\begin{aligned} \text{SSD Rata - rata} &= A + B \\ &= 2,608 + 2,569 \\ &= \mathbf{2,589} \end{aligned}$$

$$3. \text{ Berat jenis semu (Apparent)} = \frac{Bk}{Bk - Ba} = \frac{3390}{3390 - 2099} = \mathbf{2,626}$$

$$\begin{aligned} \text{Apparent Rata - rata} &= A + B \\ &= 2,626 + 2,585 \\ &= \mathbf{2,605} \end{aligned}$$

$$4. \text{ Penyerapan Air (Absorption)} = \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100 = \frac{3404 - 2099}{2099} \times 100 = \mathbf{0,407}$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan Air (Absorption) Rata -rata} &= A + B \\ &= 0,407 + 0,381 \\ &= \mathbf{0,394} \end{aligned}$$

$$\text{Penyerapan Air (Absorption)} = \mathbf{0,394} \quad \text{Spesifikasi Max } \mathbf{3\%}$$

Dari hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar diatas, perhitungan tersebut dibuat dalam tabel perhitungan. Tabel dapat dilihat pada tabel perhitungan 4.1 dan tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4.1 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar 1”

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR						
(SNI 03-1969-2008)						
Nama Contoh : Agregat Kasar 1 ”						
No.	NOMOR CONTOH	A	B	Satuan		
1	Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	3404	2952	Gram		
2	Berat benda uji dalam air (Ba)	2099	1803	Gram		
3	Berat benda uji kering oven (Bk)	3390	2940	Gram		
No.	Hasil	Rumus	A	B	Rata-rata	Spes
1	Berat jenis (<i>Bulk</i>)	$\frac{Bk}{Bj-Ba}$	2,589	2,559	2,579	-
2	Berat jenis kering permukaan jenuh (<i>SSD</i>)	$\frac{Bj}{Bj-Ba}$	2,608	2,569	2,589	-
3	Berat jenis semu (<i>Apparent</i>)	$\frac{Bk}{Bk-Ba}$	2,626	2,585	2,605	-
4	Penyerapan air (<i>Absorption</i>)	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100$	0,407	0,381	0,394	Max 3%

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019

Tabel 4.2 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar ½”

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT KASAR						
(SNI 03-1969-2008)						
Nama Contoh : Agregat Kasar ½”						
No.	NOMOR CONTOH	A	B	Satuan		
1	Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	3414	3429	Gram		
2	Berat benda uji dalam air (Ba)	2115	2097	Gram		
3	Berat benda uji kering oven (Bk)	3347	3366	Gram		
No.	Hasil	Rumus	A	B	Rata-rata	Spes
1	Berat jenis curah (<i>Bulk</i>)	$\frac{Bk}{Bj-Ba}$	2,577	2,527	2,552	-
2	Berat jenis kering permukaan jenuh (<i>SSD</i>)	$\frac{Bj}{Bj-Ba}$	2,628	2,574	2,601	-
3	Berat jenis semu (<i>Apparent</i>)	$\frac{Bk}{Bk-Ba}$	2,716	2,652	2,684	-
4	Penyerapan air (<i>Absorption</i>)	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100$	1,977	1,860	1,918	Max 3%

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2019

Proses pengujian berat jenis (*Bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*), berat jenis semu (*Apparent*) dan penyerapan air pada agregat kasar dilakukan secara berurutan, dikarenakan pada pengujian tersebut memiliki kebutuhan parameter yang sama dan saling terkait yaitu berat benda uji kering oven, berat benda uji kering permukaan jenuh dan berat benda uji dalam air. Sehingga pengujian tersebut dapat dilakukan pada hari yang bersamaan dan menjadi satupaket pengujian.

Pengujian berat jenis dan penyerapan air untuk material agregat kasar. Agregat kasar yang digunakan adalah agregat kasar 1" (25,4 mm) dan agregat kasar ½"(12,5 mm). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis curah (*Bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*), berat jenis semu (*Apparent*) dan penyerapan air (*Absorption*). Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar yang terdapat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan dalam spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yaitu maksimum 3% (SNI 03-1969-2008).

B. Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Pengujian Gradasi atau Analisa Saringan dilakukan terhadap agregat kasar, yaitu batu pecah 1" (25,4 mm) dan batu pecah ½"(12,5 mm). yang berasal dari *Quarry* Mandoki yang merupakan milik PT. Sinoman. Pengujian gradasi dilakukan dengan cara menyaring masing-masing material. Pengujian gradasi dilakukan masing-masing agregat dengan dua contoh benda uji kemudian kedua hasil pengujian dirata-ratakan. Nilai rata-rata inilah yang akan digunakan dalam perhitungan proporsi agregat gabungan.

Tujuan dari pengujian analisa saringan ini adalah untuk menentukan pembagian butiran dari agregat kasar dan agregat halus dengan menggunakan saringan. Pengujian analisa saringan agregat kasar 1" (25,4 mm) dan analisa saringan agregat kasar ½" (12,5 mm) pada tabel 4.3 dan tabel 4.4 memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yaitu agregat kasar tertahan pada saringan no.4. Hasil Pengujian gradasi batu pecah 1" (25,4 mm) dapat dilihat pada tabel 4.3 dan ½ (12,5 mm) dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut:

Contoh A Perhitungan Agregat Kasar 1":

$$\begin{aligned} 1. \text{ Persen Tertahan} &= \frac{\text{Jumlah berat tertahan}}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100 \\ &= \frac{26.60}{1590.4} \times 100 \\ &= \mathbf{1.67\%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Persen Lolos} &= 100 - \text{Persentertahan} \\
 &= 100 - 1.67\% \\
 &= \mathbf{98.31\%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ Rata - rata persen lolos} &= \frac{\text{Persen lolos E} + \text{persen lolos F}}{2} \\
 &= \frac{98.31 + 98.31}{2} \\
 &= \mathbf{98.31\%}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan Pengujian Gradasi atau Analisa Saringan diatas, perhitungan tersebut dibuat dalam tabel perhitungan. Tabel dapat dilihat pada tabel perhitungan 4.3 dan tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.3 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar 1”

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN								
(SNI ASTM C136 : 2012)								
Nama Contoh : Agregat Kasar 1”								
Saringan		Jumlah Berat Tertahan		Berat benda uji (gram) A = 1590.4		Berat benda uji (gram) B = 1210.4		Rata-rata Persen Lolos
(ASTM)	(mm)	Gram	Gram	Persen Tertahan		Persen Lolos		
		A	B	C	D	E	F	G
1"	25,00	0,00	0,00	0.00	0.00	100	100	100
3/4"	19,00	26.60	20.40	1.67	1.69	98.31	98.31	98.31
1/2"	12,70	1040	735	65.37	60.74	34.63	39.26	36.95
3/8"	9,50	1384.	1020	87.03	84.24	12.97	15.76	14.36
No.4	4,75	1590	1210	99.95	99.98	0,05	0,02	0,04
No.8	2,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2019

Dari hasil perhitungan pengujian analisa saringan dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar ½"

PENGUJIAN ANALISA SARINGAN								
(SNI ASTM C136 : 2012)								
Nama Contoh : Agregat Kasar ½"								
Saringan		Jumlah Berat Tertahan		Berat benda uji (gram) A = 1594		Berat benda uji (gram) B = 1547.4		Rata-rata Persen Lolos
(ASTM)	(mm)	Gram	Gram	Persen Tertahan		Persen Lolos		
		A	B	C	D	E	F	
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	100	100
1/2"	12,70	0,00	0,00	0,00	0,00	100	100	100
3/8"	9,50	205	228	12.87	14.73	87.13	85.27	86.20
No.4	4,75	1380	1307	86.57	84.48	13.43	15.52	14.47
No.8	2,36	1591	1546	99.80	99.91	0.20	0.09	0.15
No.16	1.18	0.00	0.00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2019

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

C. Pengujian Keausan Agregat Kasar (Abrasi)

Pengujian ini dilakukan pada material agregat kasar 1" (25,4 mm) dan agregat kasar ½" (12,5 mm) yang tertahan saringan ukuran ½" (12,5 mm) dan tertahan saringan ukuran ¾" (9,5 mm). Maksud dari pengujian ini adalah untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan no.12. pengujian ini dapat digunakan untuk menemtukan keausan agregat kasar, hasil pengujian material ini pada umumnya dapat dipergunakan dalam perencanaan dan pelaksanaan bahan perkerasan jalan atau konstruksi beton.

Contoh A Perhitungan Agregat Kasar :

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Keausan} - I &= \frac{a - b}{a} \times 100\% \\
 &= \frac{5000 - 4174.8}{5000} \times 100\% = \mathbf{16.504\%}
 \end{aligned}$$

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

$$= \frac{5000 - 4190.2}{5000} \times 100\% = \mathbf{16.196\%}$$

$$\text{Keausan rata - rata} = \frac{A + B}{2}$$

$$= \frac{16.504 + 16.196}{2}$$

$$= \mathbf{16.35\%}$$

Keausan rata - rata = **16.35 %** Spesifikasi : **Max 40 %**

Dari hasil perhitungan pengujian keausan dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5 Hasil pengujian Keausan Agregat Kasar dengan Mesin Los Angeles

Gradasi pemeriksian				Gradasi	
Ukuran saringan				I	II
Lolos		Tertahan		Berat (a)	Berat (a)
Mm	In	Mm	In		
36,1	1 1/2"	25,0	1"		
25,0	1"	19,0	3/4"		
19,0	3/4"	12,5	1/2"	2500	2500
12,5	1/2"	9,5	3/8"	2500	2500
9,52	3/8"	6,35	1/4"		
6,35	1/4"	4,75	No. 4		
Jumlah berat (a)				5000	5000
Berat tertahan saringan No. 12 sesudah percobaan (b)				4174.8	4190.2
% Keausan (c)				16.504	16.196
% Keausan rata-rata				16.35%	
Catatan : () = — × 100%; Spesifikasi : Maks. 40 %					

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019

Hasil pengujian Keausan agregat kasar dengan Mesin Los Angeles (Abrasi) yang terdapat pada tabel 4.5 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan dalam spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yakni maksimum **40%** (SNI 2417-2008). Nilai keausan agregat kasar dalam pengujian ini adalah **16.35%**.

4.3.2 Pengujian Material Agregat Halus

Material yang digunakan pada pengujian ini adalah abu batu dan pasir yang lolos saringan no.4 dan tertahan no.200 yang di syaratkan dalam spesifikasi bina marga 2010 revisi 3.

A. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Agregat halus yang dipakai dalam pengujian ini adalah agregat halus (abu batu) dan agregat halus (pasir) atau agregat halus yang lolos saringan no.4 dan tertahan saringan no.200 yang berasal dari *Quarry* Mandoki.

Contoh A Perhitungan Abu Batu :

$$1. \text{ Berat jenis (Bulk)} = \frac{Bk}{B+500-Bt} = \frac{498.20}{717+ 500 - 1019} = 2,516$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (Bulk) Rata - rata} &= A + B \\ &= 2,516 + 2,515 \\ &= 2,515 \% \end{aligned}$$

$$2. (SSD) = \frac{500}{B+500-Bt} = \frac{500}{717+ 500 + 1019} = 2,525$$

$$\begin{aligned} \text{SSD Rata - rata} &= A + B \\ &= 2,525 + 2,523 \\ &= 2,524 \% \end{aligned}$$

$$\text{Berat jenis semu (Apparent)} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} = \frac{498.20}{717+498.20 + 1019} = 2,539$$

$$\begin{aligned} \text{Apparent Rata - rata} &= A + B \\ &= 2,539 + 2,535 \\ &= 2,537 \% \end{aligned}$$

$$3. \text{ Penyerapan Air (Absorption)} = \frac{500 - Bk}{Bk} \times 100 = \frac{500 - 498.20}{498.20} \times 100 = 0.361$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan Air (Absorption) Rata - rata} &= A + B \\ &= 0.361 + 0.321 \\ &= 0.341 \% \end{aligned}$$

$$\text{Penyerapan Air (Absorption)} = 0.341 \% \quad \text{Spesifikasi Max } 3\%.$$

Dari hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat air halus dapat dilihat pada tabel 4.6 dan tabel 4.7 berikut ini.

Tabel 4.6 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS						
(SNI 03-1969-2008)						
Nama Contoh : Abu Batu						
No.	NOMOR CONTOH	A	B	Satuan		
1	Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500	500	Gram		
2	Berat pikno meter + air (25°C) (B)	717.00	718.70	Gram		
3	Berat piknometer + air + benda uji (Bt)	1019.00	1020.50	Gram		
3	Berat benda uji kering oven (Bk)	498.20	498.40	Gram		
No.	Hasil	Rumus	A	B	Rata-rata	Spes
1	Berat jenis (<i>Bulk</i>)	$\frac{Bk}{B+500-Bt}$	2.516	2.515	2.515	-
2	Berat jenis kering Permukaan jenuh (SSD)	$\frac{500}{Ba+500-Bt}$	2.525	2.523	2.524	-
3	Berat jenis semu (<i>Apparent</i>)	$\frac{Bk}{B+Bk-Bt}$	2.539	2.535	2.537	-
4	Penyerapan air (Absorption)	$\frac{500-Bk}{Bk} \times 100$	0.361	0.321	0.341	Max3%

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019

Tabel 4.7 Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat Halus

BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR AGREGAT HALUS						
(SNI 03-1969-2008)						
Nama Contoh : Pasir						
No.	NOMOR CONTOH	A	B	Satuan		
1	Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500	500	Gram		
2	Berat piknometer + air (25°C) (B)	717.40	718.60	Gram		
3	Berat piknometer + air + benda uji (Bt)	1026.00	1028.20	Gram		
3	Berat benda uji kering oven (Bk)	494.60	495.00	Gram		
No.	Hasil	Rumus	A	B	Rata-rata	Spes
1	Berat jenis (<i>Bulk</i>)	$\frac{Bk}{B+500-Bt}$	2.584	2.600	2.592	-
2	Berat jenis kering Permukaan jenuh (SSD)	$\frac{500}{B+500-Bt}$	2.612	2.626	2.619	-
3	Berat jenis semu (<i>Apparent</i>)	$\frac{Bk}{B+Bk-Bt}$	2.659	2.670	2.665	-
4	Penyerapan air (Absorption)	$\frac{500-Bk}{Bk} \times 100$	1.092	1.010	1.051	Max3%

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 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 penyerapan air (*Absorption*). Hasil pengujian penyerapan air agregat halus yang terdapat pada tabel 4.6 dan tabel 4.7 memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yakni maksimum penyerapan air 3% (SNI 03-1969-2008).

B. Pengujian Analisis Saringan

Material yang digunakan pada pengujian analisa saringan ini adalah abu batu dan pasir, agregat yang lolos saringan no.4 dan tertahan saringan no.200. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat di lihat pada tabel 4.8 dan tabel 4.9 berikutini.

Contoh Perhitungan Abu Batu :

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Persen Tertahan} &= \frac{\text{Jumlah berat tertahan}}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100 \\
 &= \frac{634.00}{1578} \times 100 \\
 &= \mathbf{40.41 \%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Persen Lolos} &= 100 - \text{Persen tertahan} \\
 &= 100 - 40.41 \% \\
 &= \mathbf{59.79 \%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ Rata – rata persen lolos} &= \frac{\text{Persen lolos E} + \text{persen lolos F}}{2} \\
 &= \frac{59.79 + 57.56}{2} \\
 &= \mathbf{58.68 \%}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan pengujian analisa saringan dapat dilihat pada tabel 4.8 dan tabel 4.9 berikut ini.

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

ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS								
(SNI ASTM C136 : 2012)								
Nama Contoh : Abu Batu								
Saringan		Jumlah Berat Tertahan		Berat benda uji (gram) A = 1578 Berat benda uji (gram) B = 1556				Rata-rata Persen Lolos
(ASTM)	(mm)	Gram	Gram	Persen tertahan		Persen Lolos		
		A	B	C	D	E	F	G
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	0,00	100	100	100
No.4	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	100	100	100
No.8	2,36	634	660	40.21	42.44	59.79	57.56	58.68
No.16	1,16	954	963	60.48	61.88	39.52	38.12	38.82
No.30	0,60	1213	1195	76.91	76.82	23.09	23.18	23.14
No.50	0,30	1383	1338	87.65	85.97	12.35	14.03	13.19
No.100	0,15	1430	1426	90.64	91.66	9.36	8.34	8.85
No.200	0,075	1479	1454	93.74	93.46	6.26	6.54	6.40

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019

Tabel 4.9 Hasil pengujian analisa saringan agregat Halus (Pasir)

ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS								
(SNI ASTM C136 : 2012)								
Nama Contoh : Pasir								
Saringan		Jumlah Berat Tertahan		Berat benda uji (gram) A = 1561 Berat benda uji (gram) B = 1550				Rata-rata Persen Lolos
(ASTM)	(mm)	Gram	Gram	Persen tertahan		Persen Lolos		
		A	B	C	D	E	F	G
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	0,00	100	100	100
No.4	4,7	0,00	0,00	0,00	0,00	100	100	100
No.8	2,3	378	384	24.24	24.75	75.78	75.25	75.52
No.16	1,1	667	672	42.73	43.36	57.27	56.64	56.96
No.30	0,6	1088	1087	69.70	70.15	30.30	29.85	30.00
No.50	0,3	1432	1414	91.74	91.21	8.26	8.79	8.53
No.100	0,1	1,538	1527	98.53	98.53	1.47	1.47	1.47
No.200	0,075	1540	1,512	98.65	98.54	1.35	1.46	1.40

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Propinsi NTT 2019

Pengujian analisa saringan agregat halus (abu batu) dan analisa saringan agregat halus (pasir) pada tabel 4.8 dan tabel 4.9 memenuhi standar spesifikas iBina Marga 2010 revisi 3 yaitu agregat halus (abu batu)dan agregat halus (pasir) lolos100% saringan no.4 dan tertahan pada saringan no.200.

4.4 Rancangan Komposisi Agregat Gabungan

Untuk membuat komposisi agregat gabungan maka diperlukan data hasil gradasi dari fraksi kasar (CA), atau fraksi agregat kasar yang tertahan saringan no.8, 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 kadar aspal perkiraan (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 Revisi 3. Perhitungan persentase agregat gabungan dan penggambaran kurva hubungannya dapat dilihat pada tabel 4.10 berikut ini.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Gabungan

Saringan	Agregat Kasar 1"		Agregat Halus ½"		Abu Batu		Pasir		Semen		Total	Spek
	20.00%		20.00%		46.00%		12.00%		2.00%		100%	
(ASTM)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1"	100	20.00	100	20.00	100	46.00	100	12.00	100	2.00	100	100
¾"	98.31	19.66	100	20.00	100	46.00	100	12.00	100	2.00	99.66	90 - 100
½"	36.95	7.39	100	20.00	100	46.00	100	12.00	100	2.00	87.39	75 - 90
⅜"	14.36	2.87	86.20	17.24	100	46.00	100	12.00	100	2.00	80.11	66 - 82
No.4	0.04	0.01	14.47	2.89	100	46.00	100	12.00	100	2.00	62.90	46 - 64
No.8	0.00	0.00	0.15	0.03	58.68	26.99	75.52	9.06	100	2.00	38.08	30 - 49
No.16	0.00	0.00	0.00	0.00	38.82	17.86	56.96	6.83	100	2.00	26.69	18 - 38
No. 30	0.00	0.00	0.00	0.00	23.14	10.64	30.08	3.61	100	2.00	16.25	12 - 28
No. 50	0.00	0.00	0.00	0.00	13.18	6.07	8.53	1.02	100	2.00	9.09	7 - 20
No. 100	0.00	0.00	0.00	0.00	8.85	4.07	1.47	0.18	100	2.00	6.25	5 - 13
No. 200	0.00	0.00	0.00	0.00	6.40	2.94	1.40	0.17	100	2.00	5.11	4 - 8

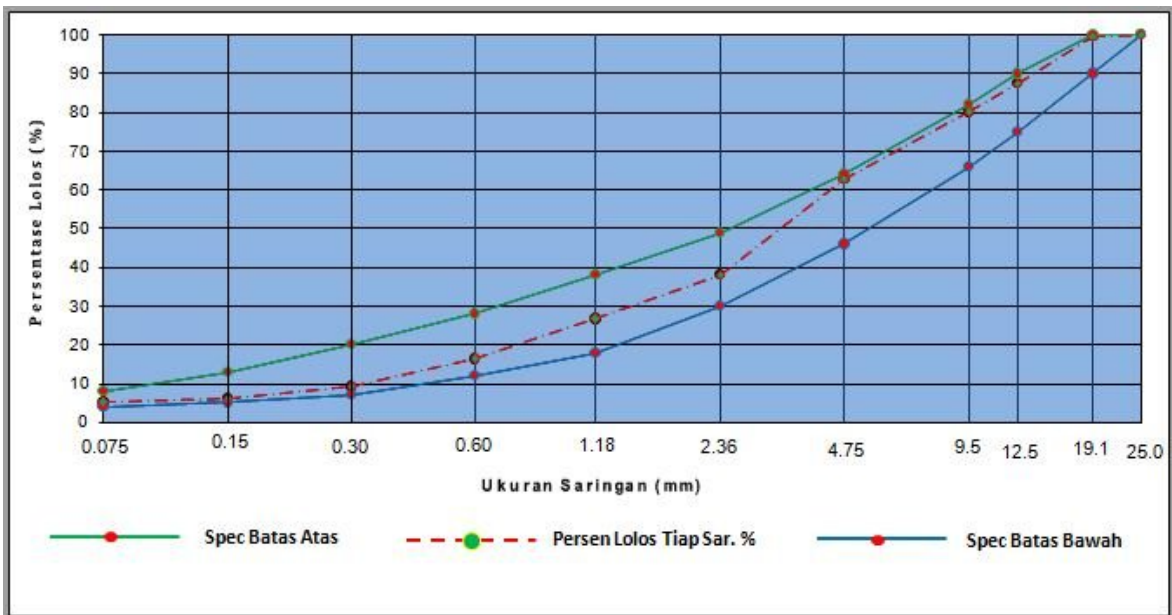
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019

Keterangan :

- A =Persen lolos rata-rata batu pecah 1"
- B =20,00% x persen lolos rata-rata batu pecah 1"
- C =Persen lolos rata-rata batu pecah ½"
- D =20.00 % x persen lolos rata-rata batu pecah ½"
- E =Persen lolos rata-rata abu batu
- F =46.00 % x persen lolos rata-rata abu batu

- G = Persen lolos rata-rata pasir
- H = 12,00% x persen lolos rata-rata pasir
- I = Persen lolos rata-rata Semen
- J = 2,00% x persen lolos rata-rata Semen
- K = B+D+F+H+J
- L = Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3

Hasil pengujian gradasi agregat gabungan yang terdapat pada tabel 4.10 memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yang disyaratkan. Berdasarkan tabel perhitungan gradasi agregat gabungan tersebut dapat diperoleh grafik gradasi agregat gabungan seperti di bawah ini :



Gambar4.1 Kurva gradasi agregat gabungan laston AC-BC
Sumber:Hasil perhitungan laboratorium PU Provinsi 2019

Gambar 4.2 diatas menjelaskan bahwa gradasi agregat gabungan (garis persen Lolos tiap Saringan.%) terletak didalam garis batas atas dan garis bawah. Hasil ini juga menunjukan bahwa hasil gradasi agregat gabungan memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 untuk lapis aspal beton (Laston AC-BC).

4.5 Data Sekunder Aspal Penetrasi 60/70

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

Tabel 4.11Data Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

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

Sumber :Laboratorium pengujian dan peralatan Dinas Pekerjaan Umum Provinsi NTT2019

4.6 Rancangan Campuran Menggunakan 5 Variasi Kadar Aspal (Pb)

4.6.1 Rancangan Kadar Aspal Perkiraan (Pb)

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

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

Keterangan :

Pb: Kadar aspal rencana atau Kadar Aspal Perkiraan

CA: Proporsi fraksi kasar (100 – % tertahan saringan No.8)

FA: Proporsi fraksi halus (% tertahan saringan No.8 – % lolos saringan No.200)

FF: Proporsi fraksi bahan pengisi (% lolos saringan No.200)

K : Konstanta untuk Laston (0,5 – 1,0)

A. Fraksi Agregat Kasar dan Halus

1) Fraksi agregat kasar (CA)

$$= 100\% - \% \text{ Tertahan saringan no.8 pada gradasi Agregat gabungan}$$

$$= 100\% - 38.08\%$$

$$= \mathbf{61.92\%}$$

2) Fraksi agregat halus (*FA*)

$$\begin{aligned} &= \% \text{ Tertahan saringan no.8 pada gradasi agregat gabungan} - \\ &\quad \% \text{ Lolos saringan no. 200 pada gradasi agregat gabungan} \\ &= 38.08\% - 5.11\% \\ &= \mathbf{32.97\%} \end{aligned}$$

3) Bahan pengisi (*FF*)

$$\begin{aligned} &= \% \text{ Lolos saringan no.200 pada gradasi agregat gabungan} \\ &= \mathbf{5,11\%} \end{aligned}$$

4) Konstanta (*k*)

$$= \mathbf{0,5 \text{ sampai } 1 \text{ diambil } 1.00}$$

B. Kadar aspal rencana

Perkiraan awal kadar aspal rencana (*Pb*)

$$\begin{aligned} P_b &= 0.035 (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18 (\%FF) + \text{Konstanta} \\ &= 0.035 (61.92\%) + 0.045 (32.97\%) + 0.18(5.11\%) + 1.00 \\ &= \mathbf{5,57\%} \end{aligned}$$

Tabel 4.12 Penentuan Kadar Aspal Rencana atau Kadar Aspal Perkiraan (*Pb*)

URAIAN	NILAI	SATUAN
Proporsi Fraksi Kasar (<i>CA</i>)	61.92	%
Proporsi Fraksi Halus (<i>FA</i>)	32.97	%
Proporsi Fraksi Bahan Pengisi (<i>FF</i>)	5.11	%
Nilai Konstanta (<i>K</i>) ditetapkan	1.00	-
Perkiraan Kadar Aspal (<i>Pb</i>)	5.57	%

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019

4.6.2 Rancangan Benda uji Test Marshall Laston (*AC-BC*) dengan Kadar Aspal Perkiraan (*Pb*)

Kadar Aspal Rencana atau Kadar aspal perkiraan (*Pb*) untuk campuran Laston (*AC-BC*) adalah **5.57%**. Berdasarkan kadar aspal perkiraan di atas maka ditetapkan 5 variasi kadar aspal 2 dibawah *Pb* dan 2 diatas *Pb* dengan selisih 0,5%. Untuk contoh benda uji yaitu 4.57%, 5.07%, **5.57%**, 6.07%, 6.57%. Perhitungan komposisi rencana campuran beraspal atau beton aspal padat di laboratorium :

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas silinder beton aspal} &= 1.200 \text{ gram.} \\ \text{Kadar aspal perkiraan} &= 5.57 \% \\ &= 5.57\% \times 1.200 \\ &= \mathbf{66.84 \text{ gram}} \end{aligned}$$

Tabel 4.13 Komposisi Agregat Campuran

Komponen	Komposisi Agregat	Kadar Aspal Rencana (Pb) %				
		4.57%	5.07%	5.57%	6.07%	6.57%
Batu Pecah 1"	20.00%	19.09	18.99	18.89	18.79	18.69
Batu Pecah ½"	20.00%	19.09	18.99	18.89	18.79	18.69
Abu Batu	46.00%	43.90	43.67	43.44	43.21	42.98
Pasir	12.00%	11.45	11.39	11.33	11.27	11.21
Semen Tonasa	2.00%	1.91	1.90	1.89	1.88	1.87
Total Agg Campuran (%)	100%	95.43	94.93	94.43	93.93	93.43
Total Campuran (%)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019

Contoh Perhitungan :

Misalnya percobaan komposisi persen batu pecah 1" adalah 20% dengan kadar aspal perkiraan 4.57%.

1. Batu pecah1" = Komposisi Agregat x (100 – Kadar Aspal)
 = 20% x (100 –4.57)
 = **19.09 %**
2. Total agregat Campuran % = 19.09 + 19.09 + 43.90 + 11.45 + 1.91
 = **95.43%**
3. Total Campuran % = Total agregat Campuran + Kadar Aspal
 = 95.43 + 4.57
 = **100%**

Contoh Perhitungan Komposisi Campuran Laston (AC-BC) :

Berat masing-masing material untuk campuran Laston AC-BC pada contoh kadar aspal 4.57%.

1. Batu pecah 1" = (Berat % agregat / 100) x Berat rencana total campuran
 = (19.09/ 100) x 1.200 gram
 = **229.03 gram**
2. Berat Agregat Campuran = 229.03 + 229.03 + 526.77 + 137.42 + 22.90
 = **1145.15 Gram**
3. Berat Aspal (Gr) = (Kadar Aspal / 100) x Berat rencana total campuran
 = (4.57/ 100) x 1.200 gram
 = **54.85gram**

$$\begin{aligned}
 4. \text{ Berat rencana total Campuran (Gr)} &= \text{Berat Agregat Campuran} + \text{Berat Aspal} \\
 &= 1145.15 + 54.85 \\
 &= \mathbf{1200 \text{ Gram}}
 \end{aligned}$$

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

Tabel 4.14 Komposisi Campuran Laston AC-BC

Komposisi Campuran		Berat Timbangan (Gr)				
Kadar Aspal Rencana	Satuan	4.57%	5.07%	5.57%	6.07%	6.57%
Batu Pecah 1"	Gram	229.03	227.83	226.63	225.43	224.23
Batu Pecah ½"	Gram	229.03	227.83	226.63	225.43	224.23
Abu Batu	Gram	526.77	524.01	521.25	518.49	515.73
Pasir	Gram	137.42	136.70	135.98	135.26	134.54
Semen Tonasa	Gram	22.90	22.78	22.66	22.54	22.42
Berat Agg Campuran (Gr)		1145.15	1139.15	1133.15	1127.15	1121.15
Berat Aspal (Gr)		54.85	60.85	66.85	72.85	78.85
Berat Rencana Total Campuran (Gr)		1200	1200	1200	1200	1200

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019

4.7 Test Marshall

Hasil pengujian *Marshall* standar (2x75) tumbukan dengan menggunakan material dari *Quarry* Mandoki untuk campuran Laston AC-BC. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan Stabilitas (Ketahanan) dan Kelelahan (*Flow*) dari benda uji. Selain itu, pengujian dengan metode *Marshall* juga menghasilkan parameter-parameter *Marshall* lain seperti *Void in Mix (VIM)*, *Void in the mineral aggregate (VMA)*, *Void Filled with Asphalt (VFA)*, dan Perbandingan Rasio Partikel bahan lolos no.200 dengan kadar aspal efektif.

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

Tabel 4.15 Rekapitan Hasil Pengujian Test Marshall Laston (AC-BC)

KadarAspal (%)	BendaUji Marshall	Parameter – ParameterMarshall					
		VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	Rasio Partikel bahan lolos No.200 dengan kadar aspal
Spesifikasi		Min 3-max 5	Min14	Min65	Min 800	Min2 – max4	Min1 – max1,4
4.57%	A	7.27	15.79	53.97	1286,1	3.06	1.31
	B	6.93	15.49	55.23	1257,7	2.98	1.31
Rata-Rata		7.10	15.64	54.60	1271,9	3.02	1.31
5.07%	A	4.60	14.43	68.14	1360,8	3.38	1.16
	B	6.82	16.43	58.46	1352,3	2.79	1.16
Rata-Rata		5.71	15.43	63.30	1356,5	3.09	1.16
5.57%	A	4.76	15.62	69.52	1500,2	3.48	1.04
	B	3.94	14.89	73.57	1377,7	3.66	1.04
Rata-Rata		4.35	15.26	71.54	1439,0	3.57	1.04
6.07%	A	3.95	15.95	75.22	1301,6	3.58	0.95
	B	3.81	15.82	75.94	1339,6	3.74	0.95
Rata-Rata		3.88	15.88	75.58	1320,6	3.66	0.95
6.57%	A	4.19	17.18	75.63	1204,4	3.39	0.87
	B	3.74	16.79	77.75	1267,8	5.45	0.87
Rata-Rata		3.96	16.98	76.69	1236,1	4.42	0.87

Sumber:Hasil PengujianLaboratorium PU Provinsi NTT 2019

4.7.1 Hubungan Antara Parameter *Marshall* dengan Kadar Aspal

Campuran Laston (AC-BC) untukl apisan permukaan jalan harus memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Persyaratan tersebut harus memenuhi batas gradasi kurva maksimum dan kurva minimum, persyaratan terhadap pengujian *Marshall* yaitu dengan memenuhi nilai Stabilitas (Ketahanan), Kelelehan (*Flow*), *VIM*, *VMA*, *VFA*, Perbandingan Rasio Partikel bahan lolos no.200 dengan Kadar aspal Efektif harus sesuai Standar Spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3. Hasil pengujian *Marshall* yang dilakukan dapat dilihat pada tabel dan grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai-nilai parameter *Marshall*di bawahini.

1. Hubungan Antara Stabilitas dan Kadar Aspal.

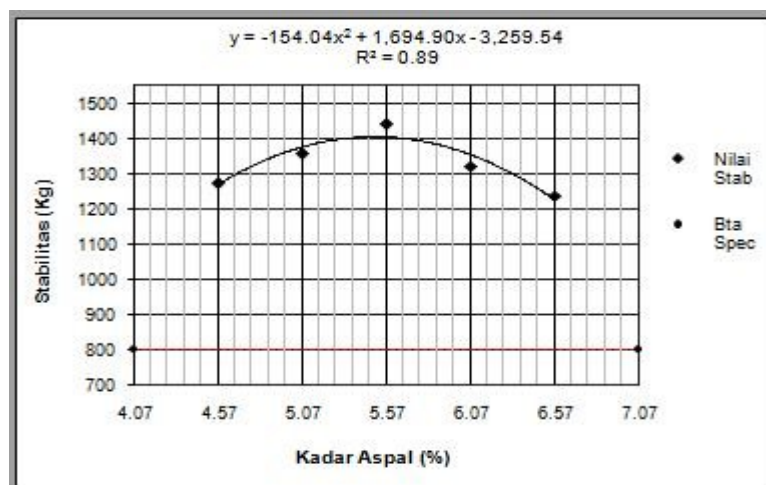
Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Dalam pengujian *Marshall*, pemeriksaan stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban. Kadar aspal berpengaruh pada stabilitas.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

Dari hasil percobaan didapatkan nilai stabilitas pada campuran *filler* semen seperti pada Tabel 4.16 berikut ini.

Tabel 4.16 Hubungan Antara Stabilitas dan KadarAspal.

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)
4.57	1271.9
5.07	1356.5
5.57	1439.0
6.07	1320.6
6.57	1236.1

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019



Gambar 4.2 Hubungan Antara Stabilitas dan Kadar Aspal.

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019

Berdasarkan rekapan pada Tabel 4.16, menghasilkan Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas semakin meningkat jika kadar aspal bertambah, pada suatu titik tertentu nilai stabilitas akan kembali menurun dengan semakin bertambahnya kadar aspal. Hal ini menunjukkan bahwa nilai stabilitas sangat tergantung pada banyaknya kadar aspal yang digunakan. Bila kadar aspal yang digunakan terlalu sedikit atau terlalu banyak, dalam hal ini melebihi kadar aspal optimumnya maka nilai stabilitas akan menurun.

Berdasarkan grafik juga dapat disimpulkan bahwa jika kadar aspal kecil atau sedikit maka tebal selimut aspalnya menjadi tipis hal ini akan menyebabkan kurangnya ikatan yang terjadi antar agregat sehingga jika dikenai beban maka ikatan antara agregat akan sangat mudah untuk terlepas. Jika kadar aspal besar atau banyak maka selimut aspalnya menjadi tebal sehingga apabila dikenai beban lapisan aspal tersebut akan meleleh keluar (*bleeding*) dan mudah hancur. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pada kondisi kadar aspal yang sedikit maupun banyak, nilai stabilitas yang terjadi adalah rendah. Namun jika kadar aspal mencapai nilai optimum maka akan terjadi pengikatan yang baik antar agregat dengan aspal sehingga menghasilkan nilai stabilitas yang maksimum. Gambar Grafik 4.3 menunjukkan bahwa hasil pengujian stabilitas pada campuran *filler* semen memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu minimal 800 kg.

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

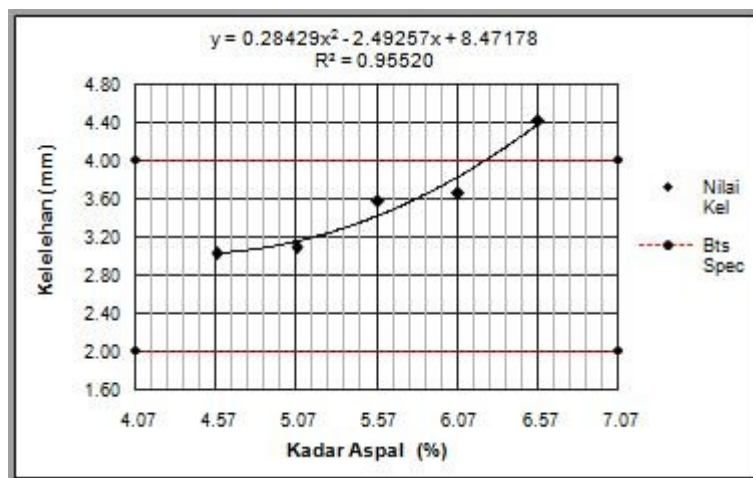
Kelelehan (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran beraspal yang terjadi akibat suatu beban yang diberikan selama pengujian yang dinyatakan dalam mm. Nilai kelelehan (*flow*) menunjukkan besarnya perubahan bentuk sebagai akibat dari beban yang bekerja, sampai batas keruntuhan.

Semakin kecil kadar aspal maka nilai kelelehan semakin kecil karena tebal *film* yang semakin tipis, dengan kata lain campuran akan semakin kaku. Sebaliknya apabila kadar aspal semakin besar maka nilai kelelehan akan semakin besar karena tebal *film* yang semakin tebal, sehingga campuran akan semakin fleksibel. Hasil penelitian hubungan kadar aspal dengan kelelehan (*flow*) pada campuran *filler* semen dapat dilihat pada Tabel 4.17 di bawah ini :

Tabel 4.17 Hubungan Antara Kelelehan (*Flow*) dan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	Kelelehan (<i>Flow</i>) (mm)
4.57	3.02
5.07	3.09
5.57	3.57
6.07	3.66
6.57	4.42

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019



Gambar 4.3 Hubungan Antara Kelelehan (*Flow*) dan Kadar Aspal.

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 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. Gambar Grafik 4.4 menunjukkan bahwa hasil pengujian *flow* dalam campuran *filler* semen, pada kadar aspal 4.07% sampai dengan 6.07% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 (minimum 2 mm dan maksimum 4 mm) dan pada kadar aspal 6.57% tidak memenuhi spesifikasi yang di syaratkan.

3. Hubungan Antara Void in Mix (VIM) dan KadarAspal.

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

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

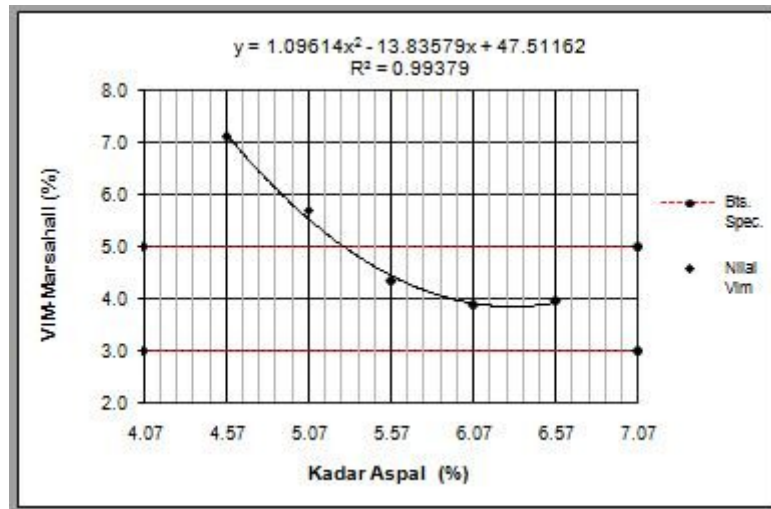
VIM mempunyai pengaruh yang cukup besar pada kualitas suatu campuran beraspal. Apabila nilai *VIM* tinggi dan kadar aspal rendah dalam campuran maka akan menghasilkan rongga-rongga yang banyak dalam campuran yang akan mengakibatkan penurunan yang lebih cepat, yakni tidak mampu menerima beban berulang sehingga terjadi alur (*rutting*) dan retak. Sedangkan apabila nilai *VIM* terlalu kecil dan kadar aspal tinggi akan menyebabkan kelebihan aspal karena rongga-rongga sudah terisi aspal sehingga lapisan aspal akan meleleh keluar (*bleeding*) pada saat adanya pemadatan tambahan akibat beban lalu lintas (Sukirman S, 2003).

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

Tabel 4.18 Hubungan Antara Void in Mix (*VIM*) dan Kadar Aspal.

Kadar Aspal (%)	<i>VIM</i> (%)
4.57	7.10
5.07	5.71
5.57	4.35
6.07	3.88
6.57	3.96

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019



Gambar 4.4 Hubungan Antara *VIM* dan Kadar Aspal.

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019

Dari 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 lalu lintas. Gambar Grafik 4.4 menunjukkan bahwa hasil pengujian rongga udara dalam campuran *filler* semen, pada kadar aspal 5.57 % sampai dengan 6,57% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 (minimum 3 % dan maksimum 5 %) sedangkan kadar aspal 4.57 % dan 5.07 % tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 (minimum 3 % dan maksimum 5 %).

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

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

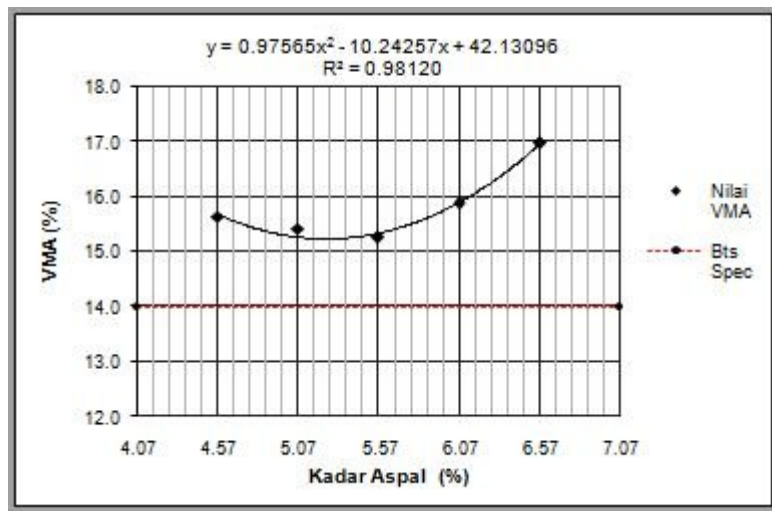
VMA cenderung berbanding terbalik dengan kadar aspal atau dengan kata lain nilai *VMA* akan semakin kecil apabila kadar aspal semakin besar sampai nilai minimum kemudian naik. Hal ini disebabkan karena dengan semakin besar kadar aspal maka semakin banyak aspal yang akan mengisi rongga-rongga diantara agregat sehingga dengan sendirinya *VMA* akan semakin kecil, setelah mencapai nilai minimum dan kadar aspal bertambah mengakibatkan naiknya nilai *VMA*.

Dari hasil pengujian didapatkan nilai kadar aspal terhadap VMA seperti ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4.19 Hubungan Antara *Void Mineral Aggregate (VMA)* dan Kadar Aspal.

Kadar Aspal (%)	VMA (%)
4.57	15.64
5.07	15.43
5.57	15.26
6.07	15.88
6.57	16.98

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019



Gambar 4.5 Hubungan Antara VMA dan Kadar Aspal.

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019

Dari Grafik 4.6 dapat terlihat bahwa nilai VMA akan turun sampai mencapai nilai minimum dan kemudian kembali bertambah dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena dengan semakin bertambahnya kadar aspal maka semakin banyak aspal yang akan mengisi rongga-rongga di antara agregat sehingga dengan sendirinya VMA akan semakin kecil. Dari Tabel 4.19 dan Grafik 4.6 dapat dilihat bahwa dari kadar aspal 4.57 %, 5.07 %, 5.57 %, 6.07 %, 6.57 %, semuanya memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3. Spesifikasi ini menetapkan batas minimum untuk nilai VMA adalah 14 %.

5. Hubungan Antara *Void Filled with Asphalt (VFA)* dan Kadar Aspal.

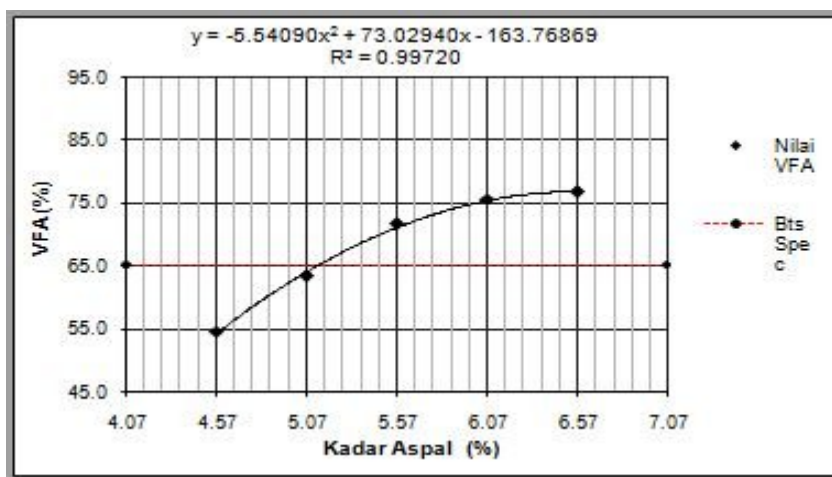
Volume pori antara butir agregat terisi aspal adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat atau *VFA* yang merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi *film* atau selimut aspal. Dari grafik di bawah ini terlihat bahwa kecenderungan nilai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

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

Tabel 4.20 Hubungan Antara *Void Filled with Asphalt (VFA)* dan Kadar Aspal.

Kadar Aspal (%)	VFA (%)
4.57	54.60
5.07	63.30
5.57	71.54
6.07	75.58
6.57	76.69

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019



Gambar 4.6 Hubungan Antara *VFA* dan Kadar Aspal.

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019

Dari Gambar 4.6 terlihat bahwa kecenderungan nilai *VFA* semakin meningkat berbanding lurus dengan nilai kadar aspal, atau dengan kata lain nilai *VFA* akan semakin besar seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai *VFA* pada kadar aspal 4.07 dan 4.57 % tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010

revisi 3 yang disyaratkan (minimum 65%) sedangkan pada kadar aspal 5,57 %, 6.07 %, 6.57 %, memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3(minimum 65 %).

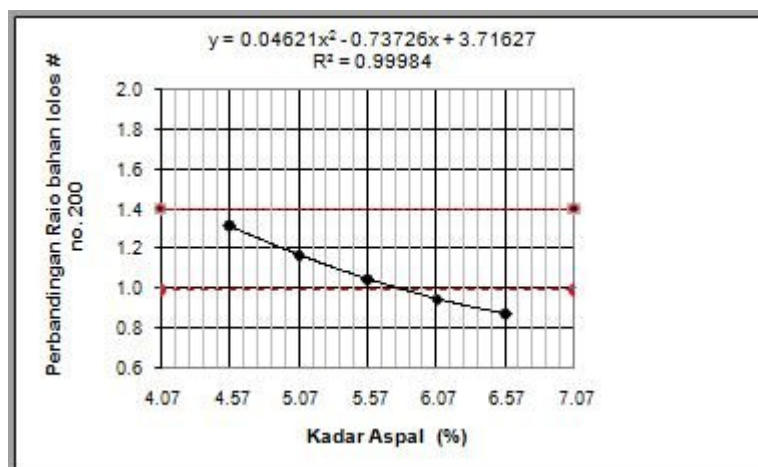
6. Hubungan Rasio partikel Bahan Lolos No.200 dan Kadar Aspal.

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

Tabel 4.21 Hubungan Antara Rasio partikel Bahan Lolos No. 200 dan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	Rasio Partikel bahan lolos No 200 dengan kadar aspal (%)
4.57	1.31
5.07	1.16
5.57	1.04
6.07	0.95
6.57	0.87

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019



Gambar 4.7 Hubungan Antara Rasio Partikel dan Kadar Aspal.

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019

Dari gambar grafik 4.7 bahwa Pada kadar aspal 4.57% sampai 5.57% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yang disyaratkan yakni minimum 1 maksimum 1,4 sedangkan pada kadar aspal 6.07% sampai 6.57% tidak memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yang disyaratkan yakni minimum 1 maksimum 1,4.

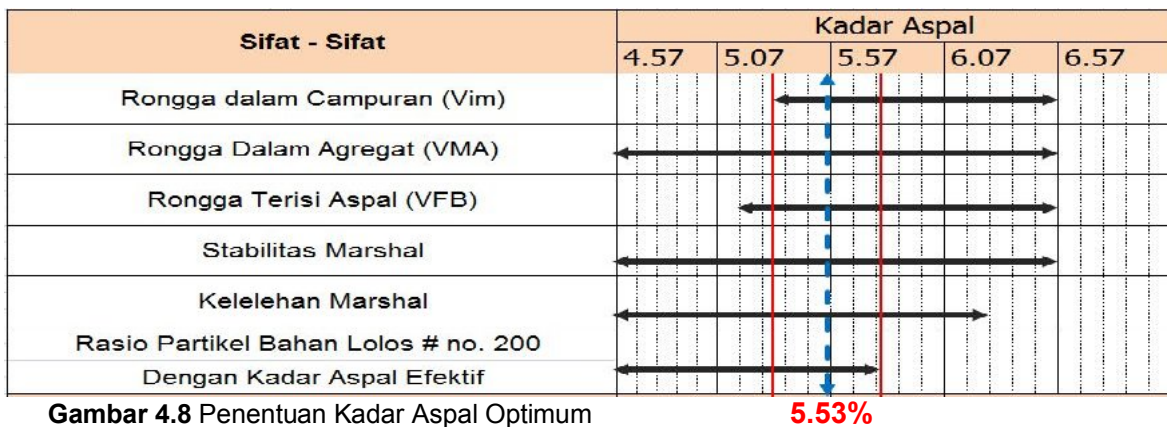
4.8 Penentuan KadarAspal Optimum(KAO)

Kadar aspal optimum berada pada interval yang memenuhi syarat-syarat yang ditetapkan Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 menyangkut nilai stabilitas, *Flow*, VMA, VIM, VFA dan Rasio partikel bahan lolos saringan No 200. Kadar aspal optimum dapat ditentukan dengan membuat diagram batang berdasarkan nilai hasil pengujian di atas terhadap seluruh parameter Marshall. Dari diagram tersebut, dapat diketahui nilai kadar aspal minimum dan maksimum yang memenuhi spesifikasi. Nilai tengah dari rentang kadar aspal tersebut merupakan kadar aspal optimum.

Tabel 4.22 Rekapitan hasil Perhitungan Nilai KAO

Nilai Parameter Marshall yang Memenuhi		
<i>Rongga Dalam Campuran (VIM)</i>	5.29	6.57
<i>Rongga Dalam Agregat (VMA)</i>	4.57	6.57
<i>Rongga Terisi Aspal (VFA)</i>	5.13	6.57
<i>Stabilitas Marshall</i>	4.57	6.57
<i>Kelelahan Marshall</i>	4.57	6.25
<i>Rasio Partikel Bahan Lolos no. 200 Dengan Kadar Aspal Efektif</i>	4.57	5.77
Total	Max (5.29)	Min (5.77)




Sumber:HasilPengujianLaboratorium PU Provinsi NTT 2019



Gambar 4.8 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Sumber:Hasil perhitungan laboratorium PU Provinsi NTT 2019

Keterangan :

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

Pada diagram di atas nilai kadar aspal minimum yang memenuhi spesifikasi adalah 5.29%, sedangkan nilai kadar aspal maksimumnya adalah 5.77%. Sehingga diperoleh nilai tengah dari kedua kadar aspal tersebut dengan rumus : $\frac{5.29\% + 5.77\%}{2} = 5.53\%$, yang merupakan kadar aspal optimum.

4.8.1 Rangkuman Hasil Pengujian Proporsi Campuran dengan KAO

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa Kadar Aspal Optimum untuk campuran Laston AC-BC menggunakan material Quarry Mandokidengan komposisi batu pecah 1” 20,00 %, batu pecah ½” 20.00 %, abu batu 46.00 %, pasir 12.00 %, dan Semen Tonasa 2.00% Kadar Aspal Perkiraan adalah 5.57 %. Jadi, Kadar Aspal Optimum sebesar 5.53%.

Tabel 4.23 Rekapitan Hasil Komposisi Uji Campuran

No.	Komponen	Satuan	Proporsi	Spesifikasi	Keterangan
1	Batu Pecah 1”	%	20.00	-	Memenuhi Gradasi
2	Batu Pecah ½”	%	20.00	-	Memenuhi Gradasi
3	Abu Batu	%	46.00	-	Memenuhi Gradasi
4	Pasir	%	12.00	Max 15%	Memenuhi
5	Semen Tonasa	%	2.00	Max 2%	Memenuhi
5	Kadar Aspal Perkiraan	%	5.57	-	Memenuhi Gradasi
6	Kadar Aspal Optimum	%	5.53	-	Memenuhi Gradasi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019

4.9 Analisis dan Pembahasan

Hasil Test *Marshall* menunjukkan bahwa nilai Parameter *Marshall* yang dihasilkan memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 yang disyaratkan yaitu pada Stabilitas, kelelahan (Flow), *VIM*, *VMA*, *VFA*, dan Rasio Partikel lolos saringan no 200 dengan kadar aspal efektif.

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

4.10 Rancangan Campuran (LASTON AC-BC)

1. Batu Pecah 1”
 - = Komposisi Agregat Kasar 1” x (100 – KAO)
 - = 20% x (100 – 5.53)
 - = **18.894%**
2. Batu Pecah ½”
 - = Komposisi Agregat Kasar ½” x (100 – KAO)
 - = 20 x (100 – 5.53)
 - = **18.894%**
3. Abu Batu
 - = Komposisi Abu Batu x (100 – KAO)
 - = 46% x (100 – 5.53)
 - = **43.456%**
4. Pasir Alam
 - = Komposisi Pasir Alam x (100 – KAO)
 - = 12% x (100 – 5.53)
 - = **11.336%**
5. Semen Tonasa
 - = Komposisi Semen Tonasa x (100 – KAO)
 - = 2.00% x (100 – 5.53)
 - = **1.889%**

Tabel 4.24 Rekapitan Rancangan Campuran (LASTON AC-BC)

No	Komponen	Proporsi	Satuan
1	Batu Pecah 1”	18.894	%
2	Batu Pecah ½”	18.894	%
3	Abu Batu	43.456	%
4	Pasir Alam	11.336	%
5	Semen Tonasa	1.889	%
6	Kadar Aspal Optimum (KAO)	5.53	%

Sumber:HasilPengujianLaboratorium PUProvinsi NTT 2019

Dari hasil rekapitan rancangan campuran (Laston AC-BC) bahwa komposisi agregat tersebut siap digunakan untuk pekerjaan lapis aspal beton dilapangan. Dari hasil pengujian material tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010.

Tabel 4.27 Rekapitan Hasil Uji Campuran Total

SIFAT-SIFAT	SATUAN	HASIL	SPESIFIKASI
Kadar Aspal Total	%	5.53	-
Berat Jenis Maksimum campuran (GMM)	-	2.397	-
Berat Jenis Aspal	-	1.030	-
Berat Jenis Bulk Agregat	-	2.555	-
Proporsi Agregat	%	94.469	-
Rasio Partikel Lolos no. 200 Dengan Kadar Aspal Efektif	%	1.052	1.0 - 1.4
Penyerapan Aspal	%	0.710	Max 1.2
Kadar Aspal Efektif	%	4.821	Min 4.3
Berat Jenis Contoh Camp. Padat (Gmb)	-	2.290	-
Stabilitas Marshall	Kg	1,402.57	Min 800
Kelelahan Marshall	Mm	3.382	2.0 - 4.0
Rongga dalam campuran (VIM)	%	4.520	3.0 - 5.0
Rongga dalam agregat (VMA)	%	15.326	Min 14
Rongga terisi aspal (VFB)	%	70.646	Min 65

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU Provinsi NTT 2019