

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Material

4.1.1 Kronologi Pengambilan Material

Proses pengambilan sampel material untuk penelitian ini dilakukan pada *quarry* Nunura milik Maliana Brother Unipessoal, Lda yang berlokasi di desa Holsa, kecamatan Maliana kabupaten Bobonaro. Jenis material yang diambil terdiri dari agregat kasar yaitu (batu pecah ¾” dan batu pecah ½”) dan agregat halus yaitu pasir alam dan abu batu. Material tersebut merupakan hasil produksi dari mesin pemecah batu (*stone crusher*) yang berlokasi di *quarry* Nunura.

Proses pengambilan sampel di lapangan menggunakan metode *Systematic Random Sampling* dimana material diambil secara acak pada setiap tumpukan dengan alasan bahwa sampel yang diambil tersebut dapat mewakili seluruh material yang ada di lapangan dan dibawah ke Laboratorium Pengujian Bahan Dinas Kimpraswil Provinsi NTT untuk dilakukan pengujian. Jenis-jenis pengujian yang dilakukan adalah pengujian sifat-sifat fisik agregat yaitu pengujian berat jenis dan penyerapan air, Analisa saringan atau gradasi dan abrasi.

4.2 Persiapan Peralatan dan Material

4.2.1 Persiapan Peralatan

Pekerjaan persiapan peralatan dilakukan sebelum melakukan pengujian material. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Satu Set Saringan
2. Timbangan
3. Mesin *Los Angeles*
4. Cetakan Benda Uji
5. Mesin Penumbuk
6. *Extruder*
7. *Water Bath*

8. Oven

Alat bantu lainnya berupa ember dan kain, setiap alat yang digunakan dalam penelitian ini harus dalam kondisi baik, untuk timbangan sebelum digunakan harus dikalibrasi, sehingga diperoleh hasil yang maksimal.

4.2.2 Persiapan Material

Material yang akan disiapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Agregat kasar berupa batu pecah $\frac{3}{4}$ ".
2. Agregat sedang berupa batu pecah $\frac{1}{2}$ ".
3. Agregat halus berupa abu batu dan pasir alam.
4. *Filler* berupa semen.
5. Bahan pengikat (Aspal Penetrasi 60/70)
6. Bahan *Anti Stripping Agent* berupa *Wetfix-be*

Di laboratorium material diambil dengan menggunakan cara *Quartering*, dimana sebelum dilakukan pengujian masing-masing material dibagi atas empat bagian agar seluruh material yang ada dapat terwakili.

4.3 Pemeriksaan Material

4.3.1 Data

Data berupa pengujian -pengujian yang dilakukan di laboratorium antara lain pengujian berat jenis dan penyerapan air, Analisa saringan atau gradasi, abrasi dan pengujian Marshall. Selain data primer juga digunakan data sekunder yaitu pengujian aspal keras dan *anti stripping agent* yang diperoleh dari Laboratorium Pengujian Bahan Dinas Kimpraswil Provinsi NTT. Aspal keras yaitu berupa aspal pertamina dengan penetrasi 60/70 dan *anti stripping agent* berupa *wetfix-be*.

Data-data yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu data primer dan data sekunder:

1. Data Primer merupakan data-data hasil pengujian. Data-data tersebut berupa data pemeriksaan material serta penganalisaan sifat-sifat dalam campuran lapisan tipis aspal beton HRS-WC dengan menggunakan alat Marshall. Data-data pemeriksaan material meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, analisa saringan atau gradasi dan keausan atau abrasi agregat. Sedangkan data-data dalam penganalisaan sifat-sifat dalam campuran meliputi:

- a. Nilai stabilitas (*stability*)
 - b. Nilai kelelahan (*flow*)
 - c. Nilai rongga dalam aspal panas (*VIM*)
 - d. Nilai rongga dalam agregat (*VMA*)
 - e. Nilai rongga terisi aspal (*VFA*) dan
 - f. Nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*)
2. Data Sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu data aspal produksi Pertamina dengan nilai penetrasi 60/70 dan data persen *anti stripping agent* yang diperoleh dari Laboratorium Pengujian Bahan Dinas Kimpraswil Provinsi NTT.

4.3.2 Analisa Data

4.3.2.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air dilakukan pada agregat kasar dan agregat halus. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis (*Bulk*), berat jenis permukaan jenuh (*SSD*), berat jenis semu (*Apparent*) dan penyerapan air (*Absorption*) dari agregat kasar dan agregat halus.

a) Agregat Kasar dan Agregat Sedang

Agregat yang dipakai dalam pengujian ini adalah agregat dengan ukuran $\frac{3}{4}$ " (19.0 mm) dan $\frac{1}{2}$ " (12.5 mm) atau agregat yang tertahan saringan No. 4 yang berasal dari *quarry* Nunura. Hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dan agregat sedang dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar $\frac{3}{4}$ ".

Uraian		A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh	BJ	3676	3687	Gram	
Berat benda uji di dalam air	BA	2330	2368	Gram	
Berat benda uji kering oven	BK	3598	3602	Gram	
Uraian	A	B	Rata-Rata	Spec	
Berat Jenis (Bulk)	$\frac{BK}{BJ - BA}$	2,673	2,731	2,702	-
Berat Jenis (SSD)	$\frac{BJ}{BJ - BA}$	2,731	2,795	2,763	-

Lanjutan Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar ¾”.

Berat Jenis (Apparent)	$\frac{BK}{BK - BA}$	2,838	2,919	2,878	-
Penyerapan Air	$\frac{BJ - BK}{BK} \times 100$	2,168	2,360	2,264	Max 3

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Sedang ½”.

Uraian		A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh	BJ	3640	3926	Gram	
Berat benda uji di dalam air	BA	2301	2460	Gram	
Berat benda uji kering oven	BK	3555	3828	Gram	
Uraian		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (Bulk)	$\frac{BK}{BJ - BA}$	2,655	2,611	2,633	-
Berat Jenis (SSD)	$\frac{BJ}{BJ - BA}$	2,718	2,678	2,698	-
Berat Jenis (Apparent)	$\frac{BK}{BK - BA}$	2,835	2,798	2,817	-
Penyerapan Air	$\frac{BJ - BK}{BK} \times 100$	2,391	2,560	2,476	Max 3

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dan agregat sedang dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 yaitu maksimum 3% (SNI 03-1969-2008).

b) Agregat Halus dan *Filler*

Agregat halus yang dipakai dalam pengujian ini adalah agregat halus berupa abu batu dan pasir alam yang lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200 yang berasal dari *quarry* Nunura. Hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (Abu Batu).

Uraian		A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)		500	500	gram	
Berat piknometer + air (25°C)	B	687,40	690,00	gram	
Berat piknometer + air + benda uji	BT	993,20	996,00	gram	
Berat benda uji kering oven (BK)	BK	488,00	489,00	gram	
Uraian		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (Bulk)	$\frac{BK}{BJ + 500 - BT}$	2,513	2,521	2,517	-
Berat Jenis (SSD)	$\frac{500}{B + 500 - BT}$	2,575	2,577	2,576	-
Berat Jenis (Apparent)	$\frac{BK}{B + BK - BT}$	2,678	2,672	2,675	-
Penyerapan Air	$\frac{500 - BK}{BK} \times 100$	2,459	2,249	2,354	Max 3

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (Pasir Alam).

Uraian		A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)		500	500	gram	
Berat piknometer + air (25°C)	B	661,10	665,10	gram	
Berat piknometer + air + benda uji	BT	972,80	961,20	gram	
Berat benda uji kering oven (BK)	BK	488,00	486,00	gram	
Uraian		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (Bulk)	$\frac{BK}{B + 500 - BT}$	2,592	2,375	2,483	-
Berat Jenis (SSD)	$\frac{500}{B + 500 - BT}$	2,655	2,444	2,550	-
Berat Jenis (Apparent)	$\frac{BK}{B + BK - BT}$	2,768	2,550	2,659	-
Penyerapan Air	$\frac{500 - BK}{BK} \times 100$	2,459	2,881	2,670	Max 3

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 yaitu maksimum 3% (SNI 03-1969-2008).

4.3.2.2 Pengujian Analisa saringan atau Gradasi (SNI 03-1968-1990)

Tujuan dari pengujian analisa saringan ini adalah untuk menentukan pembagian butiran dari agregat kasar, agregat sedang dan agregat halus dengan menggunakan saringan. Pembagian ukuran butiran dilakukan guna mendapatkan ukuran butiran setiap jenis material sesuai dengan spesifikasi pada saat proporsi agregat gabungan.

a) Agregat Kasar dan Agregat Sedang

Agregat yang digunakan pada pengujian analisa saringan agregat kasar berupa batu pecah $\frac{3}{4}$ " (19.0 mm) dan agregat sedang berupa batu pecah $\frac{1}{2}$ " (12.5 mm) yang berasal dari *quarry* Nunura yang merupakan milik Maliana Brother Unipessoal, Lda.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar $\frac{3}{4}$ ".

Saringan		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 2676		Berat benda uji II (g) = 2945		Rata-Rata
				Persen Tertahan		Persen Lolos		
(ASTM)	(MM)	I	II	I	II	I	II	
$\frac{3}{4}$ "	19,0	0	0	0	0	100	100	100,00
$\frac{1}{2}$ "	12,5	2001	2035	74,78	69,10	25,22	30,90	28,06
$\frac{3}{8}$ "	9,5	2501	2717	93,46	92,26	6,54	7,74	7,14
No.4	4,75	2670	2939	99,78	99,80	0,22	0,20	0,21
No.8	2,36							
No.16	1,18							
No.30	0,600							
No.50	0,300							
No.100	0,150							
No.200	0,075							

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Sedang $\frac{1}{2}$ ".

Saringan		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 3040		Berat benda uji II (g) = 3126		Rata-Rata
				Persen Tertahan		Persen Lolos		
(ASTM)	(MM)	I	II	I	II	I	II	
$\frac{3}{4}$ "	19,0	0	0	0	0	100	100	100,00
$\frac{1}{2}$ "	12,5	0	0	0	0	100	100	100,00
$\frac{3}{8}$ "	9,5	1199	1292	39,441	41,331	60,559	58,669	59,614

Lanjutan Tabel 4.6 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Sedang ½”.

No.4	4,75	2987	3082	98,257	98,592	1,743	1,408	1,575
No.8	2,36	3020	3098	99,342	99,104	0,658	0,896	0,777
No.16	1,18							
No.30	0,600							
No.50	0,300							
No.100	0,150							
No.200	0,075							

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Hasil pengujian gradasi batu pecah ¾” (19.0 mm) dan batu pecah ½” dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 yaitu agregat kasar lolos 100% saringan ¾” dan tertahan pada saringan No.4.

b) Agregat Halus dan *Filler*

Agregat Halus yang digunakan pada pengujian analisa saringan ini adalah abu batu dan pasir, agregat yang lolos saringan No.4 dan tertahan saringan No.200. Sedangkan *filler* (semen Kupang) lolos saringan No.200 dan tertahan pam. Hasil pengujian Analisa saringan agregat halus dan *filler* dapat dilihat pada Tabel 4.7, Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 berikut ini:

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus (Abu Batu).

Saringan		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 1727				Rata-Rata
				Berat benda uji II (g) = 1723				
				Persen Tertahan		Persen Lolos		
(ASTM)	(MM)	I	II	I	II	I	II	
¾”	19,0	0	0	0	0	100	100	100,00
½”	12,5	0	0	0	0	100	100	100,00
⅜”	9,5	0	0	0	0	100	100	100,00
No.4	4,75	0	0	0	0	100	100	100,00
No.8	2,36	123	145	7,122	8,416	92,878	91,584	92,231
No.16	1,18	356	456	20,614	26,465	79,386	73,535	76,460
No.30	0,600	603	610	34,916	35,403	65,084	64,597	64,840
No.50	0,300	1512	1523	87,551	88,392	12,449	11,608	12,028
No.100	0,150	1534	1548	88,825	89,843	11,175	10,157	10,666
No.200	0,075	1580	1591	91,488	92,339	8,512	7,661	8,086

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir Alam).

Saringan		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 1011				Rata-Rata
				Berat benda uji II (g) = 1484				
(ASTM)	(MM)	I	II	Persen Tertahan		Persen Lolos		
				I	II	I	II	
¾"	19,0	0	0	0	0	100	100	100
½"	12,5	0	0	0	0	100	100	100
⅜"	9,5	0	0	0	0	100	100	100
No.4	4,75	0	0	0	0	100	100	100
No.8	2,36	285	416	28,190	28,032	71,810	71,968	71,889
No.16	1,18	499	715	49,357	48,181	50,643	51,819	51,231
No.30	0,600	796	1120	78,734	75,472	21,266	24,528	22,897
No.50	0,300	921	1317	91,098	88,747	8,902	11,253	10,078
No.100	0,150	985	1435	97,428	96,698	2,572	3,302	2,937
No.200	0,075	997	1460	98,615	98,383	1,385	1,617	1,501

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat *Filler* (Semen Kupang).

Saringan		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 500				Rata-Rata
				Berat benda uji II (g) = 500				
(ASTM)	(MM)	I	II	Persen Tertahan		Persen Lolos		
				I	II	I	II	
¾"	19,0	0	0	0	0	100	100	100,00
½"	12,5	0	0	0	0	100	100	100,00
⅜"	9,5	0	0	0	0	100	100	100,00
No.4	4,75	0	0	0	0	100	100	100,00
No.8	2,36	0	0	0	0	100	100	100,00
No.16	1,18	0	0	0	0	100	100	100,00
No.30	0,600	0	0	0	0	100	100	100,00
No.50	0,300	0	0	0	0	100	100	100,00
No.100	0,150	2,0	2,2	0,400	0,440	99,600	99,560	99,580
No.200	0,075	3,0	3,2	0,600	0,640	99,400	99,360	99,380

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Hasil pengujian analisa saringan agregat halus abu batu, pasir dan *Filler* dapat dilihat pada Tabel 4.8, Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu agregat halus lolos saringan No.4 dan tertahan saringan No.200. Sedangkan *filler* (semen Kupang) lolos saringan No.200 dan tertahan pam.

4.3.2.3 Pengujian Abrasi (SNI 03-2417-2008)

Pengujian ini dilakukan pada material agregat kasar $\frac{3}{4}$ " (19.0 mm) dan agregat sedang $\frac{1}{2}$ " (12.5 mm) yang tertahan saringan ukuran $\frac{1}{2}$ " (12.5 mm) dan tertahan saringan ukuran $\frac{3}{8}$ " (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 menentukan keausan agregat kasar dan agregat sedang, hasil pengujian material ini pada umumnya dapat dipergunakan dalam perencanaan dan pelaksanaan bahan perkerasan jalan atau konstruksi beton. Untuk hasil pengujian abrasi dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut ini :

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar dan Agregat Sedang Dengan Mesin *Los Angeles*.

Gradasi Pemeriksaan				Grading (B)	
Ukuran Saringan				I	II
Lolos		Tertahan		Berat (a)	Berat (b)
76,2	(3")	63,5	(2 ½")		
63,5	(2 ½")	50,8	(2")		
50,8	(2")	36,1	(1 ½")		
36,1	(1 ½")	25,4	(1")		
25,4	(1")	19,1	(¾")		
19,1	(¾")	12,7	(½")	2500	2500
12,7	(½")	9,52	(⅜")	2500	2500
9,52	(⅜")	6,35	(¼")		
6,35	(¼")	4,75	(No.4)		
4,75	(No.4)	2,36	(No.8)		
Jumlah Berat (A)				5000	5000
Berat tertahan saringan No.12 sesudah percobaan (B)				3580	3553

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PU NTT, 2023.

Contoh perhitungan keausan agregat kasar dan agregat sedang :

I.				II.			
A	=	5000	gram	A	=	5000	gram
B	=	3580	gram	B	=	3553	gram
A – B	=	1420	gram	A – B	=	1447	gram

$$\text{Keausan - I} = \frac{A - B}{A} \times 100 = 28,80$$

$$\text{Keausan - II} = \frac{A - B}{A} \times 100 = 28,94$$

$$\text{Keausan rata-rata} = 28,67 \quad \text{Spec : Max 40}$$

Hasil pengujian keausan agregat kasar dan agregat dengan mesin *Los Angeles* (Abrasi) yang terdapat pada Tabel 4.5 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 yakni maksimum 40% (SNI 2417-2008). Nilai keausan agregat kasar dan agregat sedang dalam pengujian ini adalah 28,67 %.

4.3.2.4 Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70

Pemeriksaan Aspal penetrasi 60/70 tidak dilakukan dalam penelitian karena data sekunder tetapi ambil data hasil pengujian yang sudah dilakukan oleh teknisi laboratorium. Hasil dari pemeriksaan tersebut terlihat bahwa pengujian aspal 60/70 memenuhi spesifikasi menurut Bina Marga 2010 dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.11 Hasil Pemeriksaan Aspal

No	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Penetrasi 25, 100gr, 5 dtk	66,80	60-70	Memenuhi
2	Berat Jenis	1,030	$\geq 1,0$	Memenuhi
3	Titik lembek	58,00	48 – 58	Memenuhi
4	Duktalitas 25 ⁰ C 5cm/menit	>140	≥ 100	Memenuhi

Sumber : Hasil pengujian Laboratorium

4.3.2.5 Pemeriksaan persen *Anti Stripping Agent* berupa *wetfix-be*

Pemeriksaan zat-zat kimia *anti stripping agent* tidak dilakukan dalam penelitian karena data sekunder tetapi ambil data persen zat hasil pengujian yang sudah dilakukan oleh teknisi laboratorium. Hasil dari pemeriksaan terlihat bahwa kuantitas pemakaian *anti stripping agent wetfix-be* dalam rentang 0,2% - 0,4% terhadap berat aspal spesifikasi menurut Bina Marga 2018.

4.4 Rancangan Komposisi Agregat Gabungan

Untuk membuat komposisi agregat gabungan maka diperlukan data hasil dari fraksi kasar (CA), atau fraksi agregat kasar yang tertahan saringan No. 4, fraksi halus (FA) atau

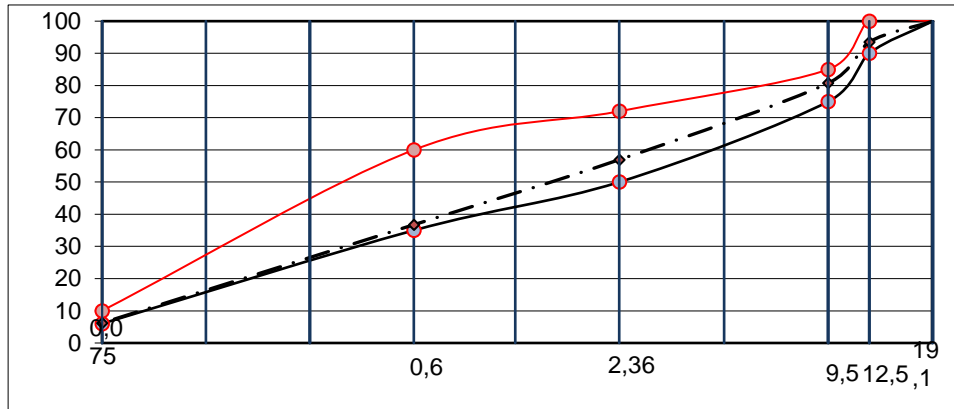
fraksi yang lolos saringan No. 4 tetapi tertahan saringan saringan No. 200, dan bahan pengisi (FF) atau bahan pengisi lolos saringan No. 200. Tujuan dibuat komposisi agregat gabungan yaitu untuk menentukan besarnya persentase dari masing-masing fraksi sehingga hasil persentase tersebut dapat diperoleh kadar aspal perkiraan (Pb) atau biasa disebut dengan kadar aspal tengah. 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 grafik (penggambaran kurva hubungan antara persentase lolos agregat dan ukuran saringan berada didalam kurva batas atas dan batas bawah) Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Perhitungan persentase agregat gabungan dan penggambaran kurva hubungannya dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut ini:

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Gabungan.

Uraian										
Inc	¾"	½"	⅜"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100	No.200
Mm	19,0	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075
Data Gradasi										
Batu Pecah ¾"	100,00	28,062	7,141	0,214	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batu Pecah ½"	100,00	100,00	59,614	1,575	0,777	0,000	0,000	0,000	0,00	0,00
Abu Batu	100,00	100,00	100,00	100,00	92,231	76,460	64,840	12,028	10,666	8,086
Pasir Alam	100,00	100,00	100,00	100,00	71,889	51,231	22,897	10,078	2,937	1,501
Filler (Semen)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,580	99,380
kombinasi Agregat										
Batu Pecah ¾"	9%	9	2,526	0,643	0,019	0,000	0	0	0	0
Batu Pecah ½"	27%	27	27,000	16,096	0,425	0,210	0,000	0,000	0,000	0
Abu Batu	50%	50	50,000	50,000	50,000	46,116	38,230	32,000	6,014	5,333
Pasir Alam	12%	12	12,000	12,000	12,000	8,627	6,148	2,748	1,209	0,352
Filler (Semen)	2%	2	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,992
Total Campuran	100%	100	93,526	82,359	69,240	60,356	48,435	38,350	9,688	7,670
Spec. Gradasi										
Max	100,0	100,0	85,0	-	72,0	-	60,0	-	-	10,0
Min	100,0	90,0	75,0	-	50,0	-	35,0	-	-	6,0

Sumber: Hasil pengujian di laboratorium PU NTT, 2023.

Hasil pengujian gradasi agregat gabungan yang terdapat pada Tabel 4.12 memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 yang disyaratkan. Berdasarkan tabel perhitungan gradasi agregat gabungan tersebut dapat diperoleh grafik gradasi agregat gabungan seperti di bawah ini :



Gambar 4.1 Kurva Gradasi Agregat Gabungan Lataston HRS-WC

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Keterangan :

- = Batas maksimum (%)
- - - - - = Persen lolos tiap saringan (%)
-
 = Batas minimum (%)

Gambar 4.10 diatas menjelaskan bahwa gradasi agregat gabungan (garis persen lolos tiap saringan %) terletak didalam garis batas atas dan garis batas bawah. Hasil ini juga menunjukkan bahwa hasil gradasi agregat gabungan memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 untuk lapis tipis aspal beton (Lataston HRS-WC).

4.5 Rancangan Kadar Aspal Rencana (Pb)

Perhitungan kadar aspal rencana dapat ditentukan setelah diperoleh gradasi agregat gabungan dari masing-masing fraksi agregat yang telah memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Untuk perhitungan kadar aspal rencana atau kadar aspal perkiraan dapat dilihat pada Tabel 4.13 dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

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

Tabel 4.13 Penentuan Kadar Aspal Rencana Atau Kadar Aspal Perkiraan (Pb).

Uraian	Nilai	Satuan
Proporsi Fraksi Kasar (CA)	35,56	%
Proporsi Fraksi Halus (FA)	58,23	%
Proporsi Fraksi Bahan Pengisi (FF)	6,21	%
Nilai Konstanta (K) Ditetapkan	2,00	%
Perkiraan Kadar Aspal (Pb)	6,98	%
	7,00	%

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Contoh perhitungan kadar aspal rencana atau kadar aspal perkiraan (Pb) :

A. Fraksi Agregat Kasar dan Agregat Halus

a. Fraksi agregat kasar (CA)

CA = 100% - % tertahan saringan No.4 pada gradasi agregat gabungan

CA = 100% - 64,445%

CA = 35,56 %

b. Fraksi agregat halus (FA)

FA = % tertahan saringan No.4 pada gradasi agregat gabungan - % lolos saringan No.200 pada gradasi agregat gabungan

FA = 60,356% - 6,211%

FA = 58,23 %

c. Fraksi bahan pengisi (FF)

FF = % lolos saringan No.200 pada gradasi agregat gabungan

FF = 6,21 %

d. Nilai konstanta (K)

K = 2,0 – 3,0 (**diambil 2,0**)

B. Kadar Aspal Rencana (Pb)

Perkiraan awal kadar aspal rencana (Pb)

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

$Pb = 0,035 \times (35,56\%) + 0,045 \times (58,23\%) + 0,18 \times (6,21\%) + 2,0$

Pb = 6,98%

Hasil perhitungan kadar aspal rencana atau kadar aspal perkiraan (Pb) adalah 6,98 % dibulatkan menjadi 7,0%.

4.6 Rancangan Campuran Menggunakan 5 Variasi Kadar Aspal (Pb)

Kadar aspal rencana atau kadar aspal perkiraan (Pb) untuk campuran Lataston (HRS-WC) adalah 7,0%. Berdasarkan kadar aspal rencana yang ada maka ditetapkan 5 variasi kadar aspal 2 dibawah Pb dan 2 di atas Pb dengan selisih. Untuk contoh benda uji yaitu 6,0%, 6,5%, 7,0%, 7,5% dan 8,0%. Hasil perhitungan komposisi rencana campuran beraspal atau aspal beton padat di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15.

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas silinder beton aspal} &= 1200 \text{ gram} \\ \text{Kadar aspal perkiraan} &= 7,0\% \\ &= 7,0\% \times 1200 \\ &= \mathbf{84,00 \text{ gram}} \end{aligned}$$

Tabel 4.14 Komposisi Agregat Campuran.

Komponen	Komposisi Agregat	Kadar Aspal Rencana (%)				
		6,00	6,50	7,00	7,50	8,00
Batu Pecah ¾"	9%	8,46	8,42	8,37	8,33	8,28
Batu Pecah ½"	27%	25,38	25,25	25,11	24,98	24,84
Abu Batu	50%	47,00	46,75	46,50	46,25	46,00
Pasir Alam	12%	11,28	11,22	11,16	11,10	11,04
Filler (Semen)	2%	1,88	1,87	1,86	1,85	1,84
Total Agregat Campuran (%)	100%	94,00	93,50	93,00	92,50	92,00
Total Campuran (%)		100	100	100	100	100

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Contoh perhitungan komposisi agregat campuran :

Misalnya percobaan komposisi persen batu pecah ¾", batu pecah ½", abu batu, pasir alam dan *filler* dengan kadar aspal rencana 6,00%.

- Batu pecah ¾" = Komposisi agregat x (100 – kadar aspal rencana)
 $= 9,00\% \times (100 - 9,00)$
 $= \mathbf{8,46 \text{ \%}}$
- Batu pecah ½" = Komposisi agregat x (100 – kadar aspal rencana)
 $= 27,00\% \times (100 - 6,00)$
 $= \mathbf{25,38 \text{ \%}}$
- Abu batu = Komposisi agregat x (100 – kadar aspal rencana)
 $= 50,00\% \times (100 - 6,00)$
 $= \mathbf{47,00 \text{ \%}}$

- d. Pasir alam = Komposisi agregat x (100 – kadar aspal rencana)
= 12,00% x (100 – 6,00)
= **11,28 %**
- e. *Filler* (semen) = Komposisi agregat x (100 – kadar aspal rencana)
= 2,00% x (100 – 6,00)
= **1,88 %**
- f. Total agregat campuran (%) = 8,64 + 20,68 + 45,12 + 17,86 + 1,88
= **94,00 %**
- g. Total campuran (%) = Total agregat campuran + kadar aspal
= 94,00 + 6,00 = **100%**

Tabel 4.15 Komposisi Campuran Lataston HRS-WC tanpa *Anti Stripping Agent*.

Komposisi Campuran		Berat Timbangan (Gr)				
Kadar Aspal Rencana	%	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00
Batu Pecah ¾"	Gram	101,52	100,98	100,44	99,90	99,36
Batu Pecah ½"	Gram	248,16	246,84	245,52	244,20	242,88
Abu Batu	Gram	541,44	538,56	535,68	532,80	529,92
Pasir Alam	Gram	214,32	213,18	212,04	210,90	209,76
Filler (Semen)	Gram	22,56	22,44	22,32	22,20	22,08
Berat Agregat Campuran (Gr)		1128	1128	1122	1116	1110
Berat Aspal (Gr)		72	72	78	84	90
Berat Rencana Total Campuran (Gr)		1200	1200	1200	1200	1200

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Contoh perhitungan komposisi campuran Lataston HRS-WC :

Berat masing-masing material untuk campuran Lataston HRS-WC dengan contoh kadar aspal rencana adalah 6,00%.

$$\begin{aligned}
 \text{a. Batu pecah } \frac{3}{4}'' &= \frac{(\text{Berat rencana total campuran} \times \text{Berat \% batu pecah } \frac{3}{4}'')}{100} \\
 &= \frac{(1200 \times 8,46)}{100} \\
 &= \mathbf{101,52 \%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. Batu pecah } \frac{1}{2}'' &= \frac{(\text{Berat rencana total campuran} \times \text{Berat \% batu pecah } \frac{1}{2}'')}{100} \\
 &= \frac{(1200 \times 20,68)}{100} \\
 &= \mathbf{248,16\%}
 \end{aligned}$$

$$\text{c. Abu batu} = \frac{(\text{Berat rencana total campuran} \times \text{Berat \% abu batu})}{100}$$

$$= \frac{(1200 \times 45,12)}{100}$$

$$= \mathbf{541,44 \%}$$

$$\text{d. Pasir alam} = \frac{(\text{Berat rencana total campuran} \times \text{Berat \% pasir alam})}{100}$$

$$= \frac{(1200 \times 17,86)}{100}$$

$$= \mathbf{214,32\%}$$

$$\text{e. Filler (semen)} = \frac{(\text{Berat rencana total campuran} \times \text{Berat \% filler})}{100}$$

$$= \frac{(1200 \times 1,88)}{100}$$

$$= \mathbf{22,56 \%}$$

$$\text{f. Berat agregat campuran (Gr)} = 101,52 + 248,16 + 541,44 + 214,32 + 22,56$$

$$= \mathbf{1128 \text{ Gram}}$$

$$\text{g. Berat aspal (Gr)} = \text{Berat rencana total campuran} - \text{Berat agregat campuran}$$

$$= 1200 - 1128$$

$$= \mathbf{72 \text{ Gram}}$$

$$\text{h. Berat rencana total campuran (Gr)} = \text{Berat agregat campuran} + \text{Berat Aspal}$$

$$= 1128 + 72$$

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

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

Tabel 4.16 Komposisi Campuran Lataston HRS-WC dengan *Anti Stripping Agent*.

Komposisi Campuran		Berat Timbangan (Gr)				
Kadar Anti Stripping Agent	%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%
Batu Pecah ¾"	Gram	67,68	67,32	66,96	66,6	66,24
Batu Pecah ½"	Gram	180,48	179,52	178,56	177,6	176,64
Abu Batu	Gram	530,16	527,34	524,52	521,7	518,88
Pasir Alam	Gram	327,12	325,38	323,64	321,9	320,16
Filler (Semen)	Gram	22,56	22,44	22,32	22,2	22,08
Berat Agregat Campuran (Gr)		1128	1122	1116	1110	1104
Berat Aspal (Gr)		72	78	84	90	96
Berat Anti Stripping Agent Gr)		0,21	0,23	0,25	0,27	0,28
Berat Rencana Total Campuran (Gr)		1200	1200	1200	1200	1200

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

4.7 Test Marshall

Hasil pengujian *Marshall* standar (2 x 50) tumbukan dengan menggunakan material dari *quarry* Nunura untuk campuran Lataston HRS-WC. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan Stabilitas (ketahanan) dan *Flow* (kelelehan) dari benda uji. Selain itu, pengujian dengan metode *Marshall* juga menghasilkan parameter-parameter *Marshall* lain seperti *Void In Mix* (VIM), *Void In The Mineral Agregate* (VMA), *Void Filled With Asphalt* (VFA), *Marshall Quotient* (MQ) dan Kepadatan.

Perhitungan dan analisa parameter *Marshall* campuran Lataston (HRS-WC) tanpa *Anti Stripping Agent* dan dengan *Anti Stripping Agent* dapat dilihat pada lampiran, sedangkan rangkuman hasil pengujian *Marshall* campuran Lataston (HRS-WC) tanpa *Anti Stripping Agent* dan dengan *Anti Stripping Agent* berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk masing-masing pengujian disertai dengan standar Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18 di berikut ini :

Tabel 4.17 Rekapitan Hasil Pengujian *Test Marshall* Campuran Lataston (HRS-WC) tanpa *Anti Stripping Agent*.

No	Kadar Aspal (%)	Benda uji <i>Marshall</i>	Parameter-Parameter <i>Marshall</i>						
			Kepadatan (Kg/cm ³)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
			Spesifikasi	-	Min 17	Min 3 - Max 6	Min 68	Min 600	Min 0
1	6,0%	1	2,271	17,92	5,74	66,08	572,74	2,50	229,09
		2	2,264	17,18	6,03	64,90	801,83	2,70	296,97
	Rata-Rata	2,267	17,05	5,88	65,49	687,28	2,60	263,03	
2	6,5%	1	2,272	17,34	5,04	70,95	939,29	2,80	335,46
		2	2,274	17,24	4,92	71,43	1061,95	2,85	372,61
	Rata-Rata	2,273	17,29	4,98	71,19	1000,62	2,83	354,04	
3	7,0%	1	2,278	17,54	4,08	76,72	1065,29	3,15	338,19
		2	2,283	17,37	3,88	77,63	1133,54	3,30	343,50
	Rata-Rata	2,281	17,45	3,98	77,17	1099,41	3,23	340,48	
4	7,5%	1	2,290	17,57	2,93	83,34	1030,92	3,46	297,96
		2	2,286	17,70	3,08	82,62	1050,02	3,41	307,92
	Rata-Rata	2,288	17,63	3,00	82,98	1040,47	3,44	302,94	
5	8,0%	1	2,295	17,84	2,04	88,59	824,74	3,80	217,04
		2	2,295	17,81	2,01	88,72	882,97	3,92	225,25
	Rata-Rata	2,295	17,83	2,02	88,65	853,85	3,86	221,14	

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Tabel 4.18 Rekapitan Hasil Pengujian *Test Marshall* Campuran Lataston (HRS-WC) dengan *Anti Stripping Agent*.

No	Kadar Aspal (%)	Kadar Aditif (%)	Benda uji <i>Marshall</i>	Parameter-Parameter <i>Marshall</i>						
				Kepadatan (Kg/cm ³)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
				-	Min 17	Min 3 - Max 6	Min 68	Min 600	Min 0	Min 250
1	6,0%	0,3%	1	2,271	16,91	5,69	66,38	790,38	2,90	272,54
			2	2,265	17,15	5,96	65,28	630,01	2,85	221,06
	Rata-Rata			2,268	17,03	5,82	65,83	710,19	2,88	246,80
2	6,5%	0,3%	1	2,276	17,16	4,79	72,06	1030,92	3,00	343,64
			2	2,279	17,07	4,69	72,53	1088,20	3,10	351,03
	Rata-Rata			2,278	17,12	4,74	72,30	1059,56	3,05	347,34
3	7,0%	0,3%	1	2,285	17,30	3,77	78,22	1193,20	3,40	350,94
			2	2,278	17,56	4,07	76,83	1168,32	3,50	333,82
	Rata-Rata			2,281	17,43	3,92	77,52	1180,79	3,45	342,38
4	7,5%	0,3%	1	2,288	17,62	2,95	83,28	996,56	3,70	269,34
			2	2,288	17,62	2,94	83,23	1002,29	4,00	250,57
	Rata-Rata			2,288	17,62	2,94	83,30	999,42	3,85	259,96
5	8,0%	0,3%	1	2,295	17,81	1,97	88,97	871,04	4,20	207,39
			2	2,295	17,83	1,99	88,85	906,83	4,50	201,52
	Rata-Rata			2,295	17,82	1,98	88,91	888,93	4,35	204,45

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

4.8 Hubungan Antara Parameter *Marshall* Dengan Kadar Aspal

Campuran Lataston (HRS-WC) untuk lapisan permukaan jalan harus memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Persyaratan tersebut harus memenuhi batas gradasi kurva minimum dan batas gradasi kurva maksimum, persyaratan terhadap pengujian *Marshall* yaitu dengan memenuhi nilai Stabilitas (Ketahanan), Kelelahan (*Flow*), VIM, VMA, VFA, *Marshall Quotient* dan Kepadatan harus sesuai standar Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Hasil pengujian *Marshall* dapat dilihat pada tabel dan grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai-nilai parameter *Marshall* di bawah ini :

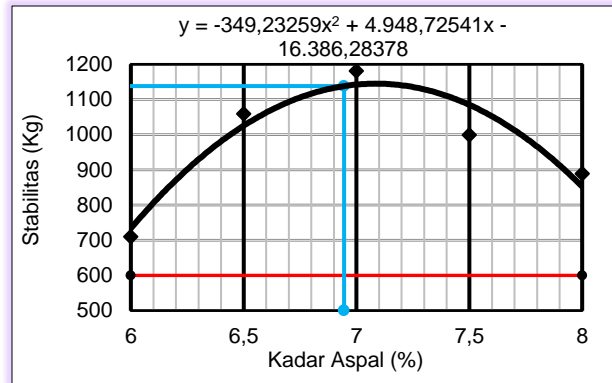
4.8.1 Hubungan Antara Stabilitas dan Kadar Aspal

Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran beraspal atau perkerasan jalan untuk menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap (deformasi) seperti gelombang, alur dan bleeding. Stabilitas ditentukan oleh tahanan gesek atau derajat penguncian yang dapat dikembangkan oleh partikel agregat, dan kohesi yang dapat dikembangkan oleh semen dan aspal. Stabilitas akan maksimal, jika agregat mempunyai permukaan kasar atau tidak beraturan dan volume aspal yang cukup, sehingga adhesi dengan permukaan agregat dapat disebarkan dengan merata (Hary Christady Hardiyanto, 2011 Perencanaan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah). Hubungan antara stabilitas dengan kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.12 berikut ini :

Tabel 4.19 Hubungan Antara Stabilitas Dengan Kadar Aspal.

No	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)
1	6,0	710,19
2	6,5	1059,56
3	7,0	1180,79
4	7,5	999,42
5	8,0	888,93




Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara Stabilitas Dengan Kadar Aspal.

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Keterangan :

-  = Hubungan antara kadar aspal dengan stabilitas
-  = Batas minimum spesifikasi stabilitas (Min. 600 Kg)
-  = Hubungan Antara nilai KAO dengan Stabilitas

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai stabilitas semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dari 6,0% sampai 7,0%. Sedangkan penurunan stabilitas dimulai dari kadar aspal 7,5% sampai 8,0%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai stabilitas sangat bergantung pada banyaknya kadar aspal yang digunakan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pada kondisi kadar aspal yang banyak maupun sedikit, nilai stabilitas yang terjadi adalah rendah karena jika kadar aspal terlalu rendah didalam campuran aspal maka gesekan (*internal friction*), sifat saling mengunci (*interlocking*) dari partikel-partikel agregat akan semakin menurun karena selimut aspal tipis dan jika kadar aspal terlalu banyak maka yang akan terjadi adalah selimut aspal akan tebal dan aspal bersifat licin sehingga gesekan, sifat saling mengunci dari partikel-partikel agregat akan semakin menurun dan saat diberi beban akan mudah bergeser sehingga nilai stabilitasnya menurun.

4.8.2 Hubungan Antara Kelelahan (*Flow*) Dengan Kadar Aspal

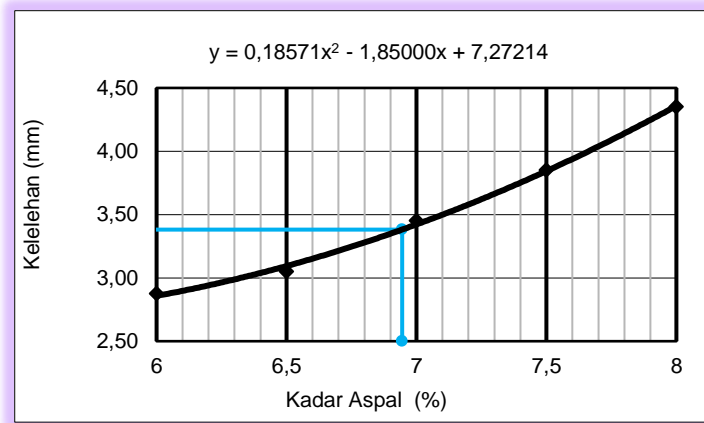
Ketahanan terhadap *flow* adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Nilai *flow* menunjukkan besarnya perubahan bentuk plastis suatu benda uji campuran akibat adanya beban yang bekerja sampai batas

keruntuhan. Hubungan antara *flow* dengan kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.20 dan Gambar 4.12 berikut ini :

Tabel 4.20 Hubungan Antara *Flow* Dengan Kadar Aspal.

No	Kadar Aspal (%)	<i>Flow</i> (mm)
1	6,0	2,88
2	6,5	3,05
3	7,0	3,45
4	7,5	3,85
5	8,0	4,35



Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara *Flow* Dengan Kadar Aspal.

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Keterangan :

-  = Hubungan antara kadar aspal dengan *flow*
-  = Titik pertemuan nilai KAO dengan nilai Kelelahan.

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai *flow* semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dari 6,0% sampai 8,0%. Hal ini disebabkan karena pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan aspal menyelimuti agregat dengan baik sehingga daya ikat aspal akan mudah mengalami perubahan bentuk plastis dibandingkan campuran yang kadar aspal rendah apabila dikenakan beban yang sama.

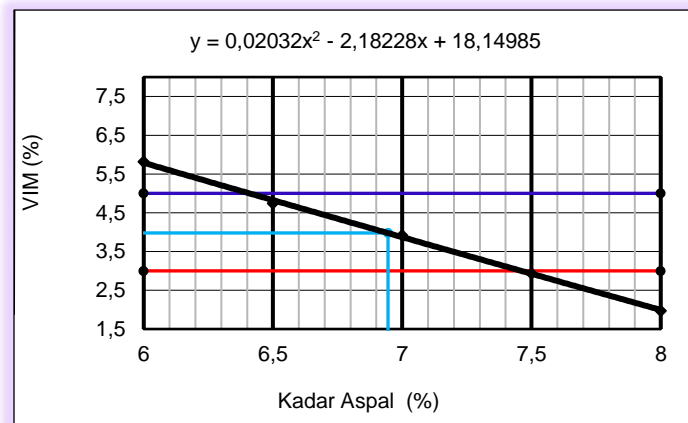
4.8.3 Hubungan Antara Void In Mix (VIM) Dengan Kadar Aspal

VIM (Void In Mix) menyatakan presentasi rongga dalam total campuran. Nilai VIM dapat menunjukkan tingkat kekedapan suatu campuran. Nilai VIM yang tinggi menunjukkan campuran banyak terdapat rongga sehingga campuran kurang kedap terhadap air dan udara, sehingga campuran akan lebih mudah diresapi air dan teroksidasi, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada lapis perkerasan. Nilai VIM yang rendah mengakibatkan nilai kekakuan campuran menjadi tinggi. Besarnya nilai VIM sangat dipengaruhi oleh kadar aspal, cara pemadatan dan gradasi batuan. Hubungan antara *Void In Mix* (VIM) dengan kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.21 dan Gambar 4.13 berikut ini :

Tabel 4.21 Hubungan Antara Void In Mix (VIM) Dengan Kadar Aspal.

No	Kadar Aspal (%)	VIM (%)
1	6,0	5,82
2	6,5	4,74
3	7,0	3,92
4	7,5	2,94
5	8,0	1,98

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Void In Mix (VIM) Dengan Kadar Aspal.

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT.

Keterangan :

- = Batas maksimum spesifikasi VIM (Max. 6 %)
- = Batas minimum spesifikasi VIM (Min. 3 %)
- = Hubungan antara kadar aspal dengan VIM

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai VIM semakin menurun seiring bertambahnya kadar aspal dari 6,0% sampai 8,0%. Semakin tinggi kadar aspal maka rongga udara dalam campuran padat akan semakin kecil, sedangkan semakin kecil kadar aspal maka nilai rongga dalam campuran padat akan semakin besar. VIM yang terlalu besar akan menyebabkan beton aspal padat berkurang kedekatan airnya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang dapat mempercepat penuaran aspal dan menurunkan sifat durabilitas beton aspal, sedangkan apabila VIM kecil dan kadar aspal tinggi akan menyebabkan lapisan aspal meleleh (bleeding) pada saat pemadatan tambahan aktivitas lalu lintas.

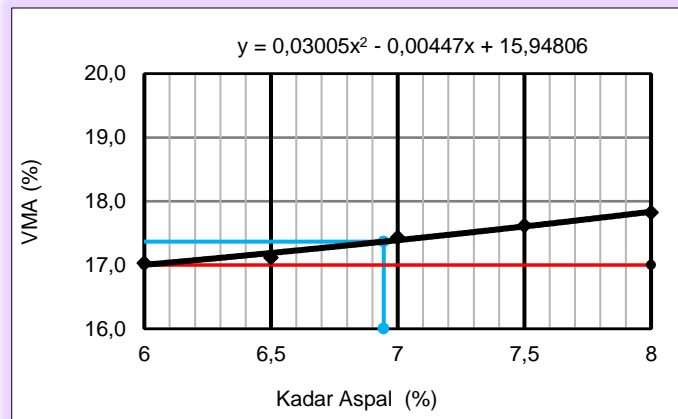
4.8.4 Hubungan Antara *Void In The Mineral Aggregate* (VMA) Dengan Kadar Aspal

VMA adalah volume pori dalam beton aspal padat. *Void In Mineral Aggregates* (VMA) menunjukkan prosentase rongga antar butir agregat, termasuk didalamnya adalah rongga yang terisi udara dan rongga yang terisi aspal efektif. Faktor - faktor yang mempengaruhi VMA antara lain adalah jumlah tumbukan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VMA berpengaruh pada sifat kedekatan dan keawetan campuran terhadap air dan udara bebas serta kekakuan campuran. Semakin tinggi nilai VMA berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara semakin tinggi, namun nilai VMA yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan potensi terjadinya bleeding pada perkerasan lebih tinggi pada saat menerima beban pada temperatur tinggi. Nilai VMA yang terlalu rendah menunjukkan kecilnya jumlah aspal yang mengisi rongga, sehingga akan menyebabkan lapisan kurang dapat mengikat agregat yang berakibat perkerasan mudah terjadi stripping. Hubungan antara *Void In The Mineral Aggregate* (VMA) dengan kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.22 dan Gambar 4.14 berikut ini :

Tabel 4.22 Hubungan Antara *Void In The Mineral Aggregate* (VMA) Dengan Kadar Aspal.

No	Kadar Aspal (%)	VMA (%)
1	6,0	17,03
2	6,5	17,12
3	7,0	17,43
4	7,5	17,63
5	8,0	17,82




Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara *Void In The Mineral Aggregate (VMA)* Dengan Kadar Aspal.

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Keterangan :

-  = Hubungan antara kadar aspal dengan VMA
-  = Batas minimum spesifikasi VMA (Min. 17 %)
-  = Hubungan antara nilai KAO dengan nilai VMA

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai VMA semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dari 6,0% sampai 8,0%. Hal ini menunjukkan, nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, karena penambahan kadar aspal akan menyebabkan penyelimutan rongga dalam campuran dan meningkatkan nilai VMA hingga batas maximum. Penambahan kadar aspal setelah mencapai batas maximum akan meningkatkan nilai VMA yang mengakibatkan penambahan kadar aspal tersebut mengisi rongga antar agregat ditempati oleh agregat sehingga berpengaruh terhadap kepadatan dari campuran aspal. Apabila nilai VMA yang terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas dan jika nilai VMA terlalu besar maka campuran akan memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi.

4.8.5 Hubungan Antara *Void Filled With Asphalt (VFA)* Dengan Kadar Aspal

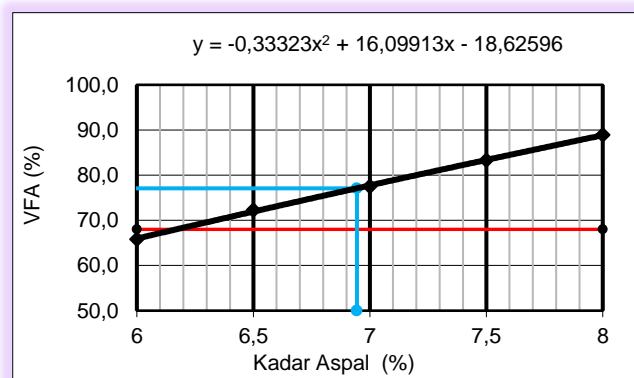
VFA adalah volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal. Nilai VFA menyatakan prosentase rongga yang dapat terisi aspal. Besarnya nilai VFA menentukan tingkat keawetan campuran. Nilai VFA yang besar menunjukkan jumlah aspal yang mengisi rongga besar sehingga

kekedapan campuran akan meningkat. Nilai VFA yang terlalu besar akan mengakibatkan terjadinya bleeding pada saat temperatur tinggi, yang disebabkan VIM yang terlalu kecil, sehingga apabila perkerasan menerima beban, maka aspal akan naik ke permukaan. Sebaliknya, nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan kekedapan campuran perkerasan semakin kecil dan aspal dalam campuran akan teroksidasi dengan udara dan keawetan campuran akan berkurang. Hubungan antara *Void Filled With Asphalt* (VFA) dengan kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.23 dan Gambar 4.15 berikut ini :

Tabel 4.23 Hubungan Antara *Void Filled With Asphalt* (VFA) Dengan Kadar Aspal.

No	Kadar Aspal (%)	VFA (%)
1	6,0	65,83
2	6,5	72,30
3	7,0	77,52
4	7,5	83,30
5	8,0	88,91




Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara *Void Filled With Asphalt* (VFA) Dengan Kadar Aspal.

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Keterangan :

-  = Hubungan antara kadar aspal dengan VFA
-  = Batas minimum spesifikasi VFA (Min. 68 %)
-  = Hubungan antara nilai KAO dengan nilai VFA

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai VFA semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dari 6,0% sampai 8,0%. Hal ini disebabkan karena rongga antara butiran agregat masih cukup besar dan dapat menampung aspal yang masuk, semakin besar presentasi kadar aspal semakin banyak rongga yang terisi aspal sehingga presentasi rongga menjadi naik. Nilai VFA semakin tinggi berarti semakin banyak rongga dalam campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi.

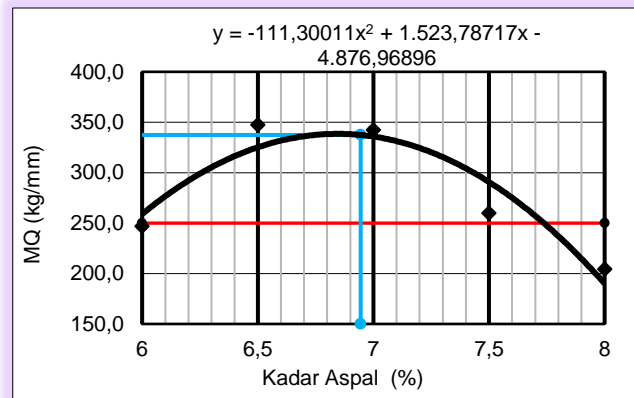
4.8.6 Hubungan Antara *Marshall Quotient* (MQ) Dengan Kadar Aspal

Marshall Quotient merupakan basil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai marshall ini dapat mengindikasikan pendekatan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran. Fleksibilitas yang dimaksudkan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban yang berulang bekerja tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Campuran yang memiliki nilai *marshall quotient* terlalu tinggi berarti campuran kaku dan fleksibilitasnya rendah sehingga campuran akan lebih mudah mengalami retak - retak, sebaliknya campuran yang memiliki nilai marshall quotient yang terlalu rendah campuran akan bersifat fleksibel, lentur dan cenderung menjadi plastis sehingga mudah mengalami deformasi pada saat menerima beban lalu lintas. Besarnya nilai *marshall quotient* tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi *frictional resistance* dan interlocking yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campurannya serta nilai *flow* yang dipengaruhi oleh kadar viskositas aspal, gradasi agregat dan jumlah dari temperatur pemadatan. Hubungan antara *Marshall Quotient* (MQ) dengan kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.24 dan Gambar 4.16 berikut ini :

Tabel 4.24 Hubungan Antara *Marshall Quotient* (MQ) Dengan Kadar Aspal.

No	Kadar Aspal (%)	MQ (Kg/mm)
1	6,0	246,80
2	6,5	347,34
3	7,0	342,38
4	7,5	259,96
5	8,0	204,45




Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Antara Marshall Quotient (MQ) Dengan Kadar Aspal.

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Keterangan :

-  = Hubungan antara kadar aspal dengan MQ
-  = Batas minimum spesifikasi MQ (Min. 250 Kg/mm)
-  = Hubungan antara nilai KAO dengan nilai MQ

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai MQ semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dari 6,0% sampai 8,0%, sehingga penambahan kadar aspal mengakibatkan fleksibilitasnya tinggi. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pada kondisi kadar aspal yang banyak maupun sedikit nilai MQ sangat bergantung pada nilai stabilitas yang ada didalam campuran.

4.8.7 Hubungan Antara Kepadatan Dengan Kadar Aspal

Nilai kepadatan campuran menunjukkan derajat kepadatan suatu campuran setelah dipadatkan. Campuran dengan kepadatan yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan campuran yang memiliki kepadatan yang rendah. Nilai kepadatan dipengaruhi oleh kualitas bahan penyusunnya, pelaksanaan pemadatan, jumlah tumbukan, berat jenis agregat dan kadar aspal.

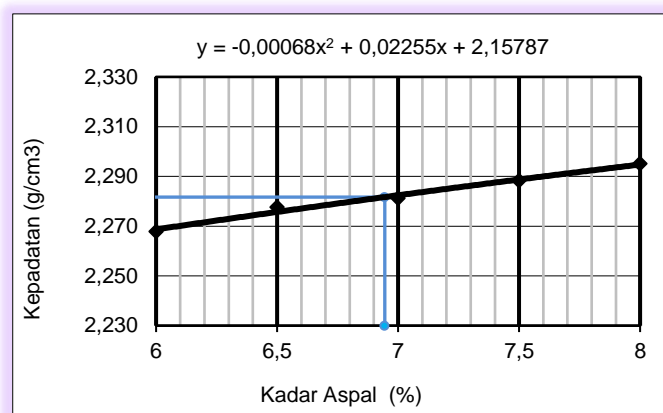
Campuran akan memiliki nilai kepadatan yang tinggi apabila memakai bahan yang memiliki porositas rendah serta campuran dengan rongga antar butir agregat (VMA) yang rendah. Nilai kepadatan juga meningkat jika energi pemadatan tinggi, serta pada suhu pemadatan yang tepat. Meningkatnya prosentase pemakaian kadar aspal juga akan meningkatkan kerapatan campuran,

hal ini disebabkan karena penggunaan kadar aspal yang semakin tinggi akan menyediakan aspal yang lebih banyak untuk mengisi rongga sehingga campuran lebih padat. Hubungan antara kepadatan dengan kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan Gambar 4.17 berikut ini :

Tabel 4.25 Hubungan Antara Kepadatan Dengan Kadar Aspal.

No	Kadar Aspal (%)	Kepadatan (Gram/cm ³)
1	6,0	2,268
2	6,5	2,278
3	7,0	2,281
4	7,5	2,288
5	8,0	2,295



Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Antara Kepadatan Dengan Kadar Aspal.

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

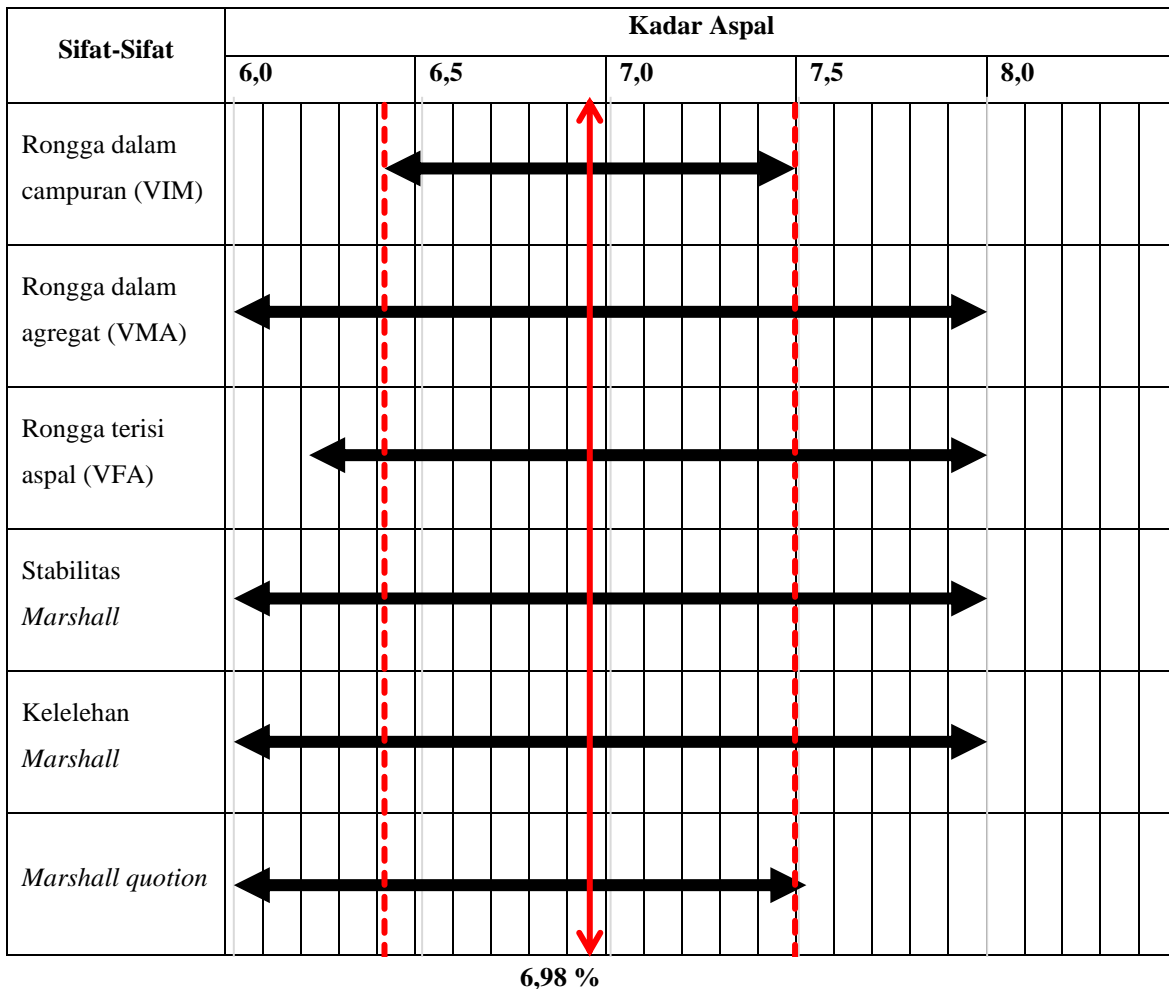
Keterangan :

-  = Hubungan antara kadar aspal dengan kepadatan
-  = Hubungan antara nilai KAO dengan nilai Kepadatan

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa nilai kepadatan semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dari 6,0% sampai 8,0%. Pada umumnya semakin tinggi kadar aspal maka nilai kepadatan suatu campuran akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan dengan penambahan kadar aspal memudahkan agregat yang berukuran kecil mengisi rongga-rongga antar butiran agregat yang ukurannya lebih besar. Peningkatan kadar aspal menyebabkan aspal dalam campuran lebih banyak mengisi rongga dalam campuran sehingga campuran cenderung lebih padat yang berarti nilai kepadatan semakin meningkat.

4.9 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 6,98 % dan memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan oleh Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 yaitu mengacu kepada nilai stabilitas, *flow*, *VIM*, *VMA*, *VFA*, *MQ* dan kepadatan. Kadar aspal optimum dapat ditentukan dengan membuat diagram batang berdasarkan nilai hasil pengujian diatas 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 4.9 berikut ini :



Gambar 4.9 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Keterangan :



= Parameter *Marshall* (yang memenuhi spesifikasi)



= Parameter *Marshall* (yang tidak memenuhi spesifikasi)



= Kadar Aspal Optimum (KAO)



= Batas Bawah dan Batas Atas

Perhitungan Kadar Aspal Optimum (KAO) :

B1 = 6,40% (batas bawah yang memenuhi spesifikasi)

B2 = 7,49% (batas atas yang memenuhi spesifikasi)

$$\begin{aligned} \text{KAO} &= \frac{(\text{Batas bawah} + \text{Batas atas})}{2} \\ &= \frac{(6,40\% + 7,49\%)}{2} \\ &= 6,98\% \end{aligned}$$

4.9.1 Rangkuman Hasil Pengujian Proporsi Campuran Dengan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa Kadar Aspal Optimum untuk campuran Lataston HRS-WC menggunakan material dari *quarry* Nunura dengan komposisi batu pecah ¾" yaitu 6,00 %, batu pecah ½" yaitu 16,00 %, abu batu yaitu 47,00 %, pasir alam yaitu 29,00 %, dan *filler* (semen Kupang) yaitu 2,00 % dengan kadar aspal optimumnya sebesar 6,95 % dari parameter *Marshall* tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.26 dan Tabel 4.27 berikut ini :

Tabel 4.26 Rangkuman Hasil Uji Campuran.

No	Komponen	Satuan	Proporsi	Spesifikasi	Keterangan
1	Batu Pecah ¾"	%	8,375	-	Tidak disyaratkan
2	Batu Pecah ½"	%	25,125	-	Tidak disyaratkan
3	Abu Batu	%	46,528	-	Tidak disyaratkan
4	Pasir Alam	%	11,167	-	Tidak disyaratkan
5	Filler (Semen)	%	1,861	Max 2	Memenuhi

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.

Tabel 4.27 Rangkuman Hasil Uji Campuran Total (Lataston HRS-WC).

No	Sifat-Sifat	Satuan	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Kadar aspal total	%	6,95	-	Tidak disyaratkan
2	Berat jenis maksimum campuran (GMM)	-	2,375	-	Tidak disyaratkan
3	Berat jenis aspal	-	1,030	-	Tidak disyaratkan
4	Berat jenis bulk agregat	-	2,569	-	Tidak disyaratkan
5	Proporsi agregat	%	93,06	-	Tidak disyaratkan
6	Penyerapan aspal	%	0,966	Max. 1,2	Memenuhi
7	Kadar aspal efektif	%	5,979	Min. 5,9	Memenuhi
8	Berat jenis contoh campuran padat (GMB)	-	2,282	-	Tidak disyaratkan
9	Stabilitas <i>Marshall</i>	Kg	1138,070	Min. 600	Memenuhi
10	Kelelahan <i>Marshall</i>	mm	3,381	Min. 3	Memenuhi
11	<i>Marshall quotient</i> (MQ)	kg/mm	337,392	Min. 250	Memenuhi
12	Rongga dalam campuran (VIM)	%	3,978	4,0 - 6,0	Memenuhi
13	Rongga dalam agregat (VMA)	%	17,366	Min. 18	Memenuhi
14	Rongga terisi aspal (VFB)	%	77,086	Min. 68	Memenuhi
15	Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa	%	91,427	Min. 90	Memenuhi

Sumber : Hasil pengujian di laboratorium PUPR NTT, 2023.