

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengambilan Data

4.1.1. Kronologis Pengambilan Data

Pada penelitian ini proses pengambilan material berupa agregat kasar (batu pecah $\frac{1}{2}$ dan batu pecah $\frac{3}{4}$), dan agregat halus (abu batu dan pasir) yang diambil dari *quarry* Naru, Bajawa, Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur.

Proses pengambilan material digunakan dengan cara *random sampling* (acak) pada lokasi dengan menggunakan peralatan berupa sekop dan karung. Pengambilan material dilakukan dengan cara menyekop secara acak dari bagian atas, tengah, bawah, kemudian di masukan dalam karung yang sudah disiapkan. Jenis material yang diambil yaitu berupa batu pecah $\frac{1}{2}$, batu pecah $\frac{3}{4}$, pasir, dan abu batu yang masing-masing material di ambil sebanyak 40 kg dengan tujuan agar dapat memenuhi kebutuhan pengujian. Material kemudian dibawa ke Laboratorium Pengujian Teknik Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Provinsi Nusa Tenggara Timur untuk dilakukan pengujian.

4.1.2. Persiapan Peralatan Material

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian di labolatorium berupa satu set saringan, mesin *Los Angeles*, timbangan, *Marshall Test*, *Waterbath*, termometer, oven, wajan, kompor gas, dan alat bantu lainnya. Sebelum alat digunakan harus terkalibrasi dan memastikan alat dalam keadaan baik dan bersih. Sedangkan untuk material yang digunakan yaitu diambil dari material *quarry* Naru milik PT. Indoraya Jaya Perkasa dengan sampel berupa Batu Pecah $\frac{3}{4}$, Batu Pecah $\frac{1}{2}$, Abu Batu dan Pasir.

4.1.3. Data

Dalam penelitian ini, terdapat dua jenis data yang digunakan, yaitu data primer dan data sekunder. Berikut adalah jenis data yang termasuk dalam kategori data primer:

1. Pengujian abrasi: Data mengenai tingkat keausan agregat yang diuji menggunakan mesin Los Angeles.

2. Berat jenis dan penyerapan air agregat kasar: Data yang menunjukkan berat jenis dan kemampuan penyerapan air oleh agregat kasar, yang diperoleh dari pengujian sesuai standar.
3. Gradasi pada fraksi agregat kasar: Data mengenai distribusi ukuran partikel agregat kasar yang diperoleh dari pengujian gradasi.
4. Berat jenis dan penyerapan air agregat halus: Data mengenai berat jenis dan kemampuan penyerapan air oleh agregat halus, seperti pasir dan abu batu, yang diperoleh dari pengujian sesuai standar.
5. Gradasi pada agregat halus: Data mengenai distribusi ukuran partikel agregat halus (pasir, abu batu) yang diperoleh dari pengujian gradasi.
6. Pengujian gradasi dan berat jenis pada filler (semen Kupang): Data mengenai distribusi ukuran partikel dan berat jenis filler, yang diperoleh dari pengujian laboratorium.

Sedangkan untuk data sekunder, dapat mencakup informasi dari sumber-sumber seperti literatur, database, dan studi-studi sebelumnya yang relevan dengan topik penelitian ini.

4.2. Analisis Data dan Pembahasan

4.2.1. Pengujian Terhadap Agregat Kasar

Berikut merupakan hasil pengujian agregat kasar yang berasal dari quarry PT Indoraya Jaya Perkasa. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah batu pecah $\frac{1}{2}$ dan batu pecah $\frac{3}{4}$. Perhitungan terhadap pengujian agregat kasar adalah sebagai berikut.

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Agregat kasar yang dipakai terdiri dari batu pecah $\frac{1}{2}$ dan batu pecah $\frac{3}{4}$ yang merupakan hasil dalam mesin pemecah batu (*stone crusher*). Perhitungan terhadap pengujian berat jenis dan penyerapan air pada material batu pecah $\frac{3}{4}$ dapat dilihat pada lampiran dan hasil pada table 4.1 sedangkan pengujian berat jenis dan penyerapan air pada material batu pecah $\frac{1}{2}$ dapat dilihat pada lampiran dan hasil pada tabel 4.2 di bawah ini :

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Batu Pecah ¾

Uraian		A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh	BJ	3990	3734	gram	
Berat benda uji di dalam air	BA	2495	2284	gram	
Berat benda uji kering oven	BK	3911	3663	gram	
Uraian		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	Bk	2.616	2.526	2.571	-
	$Bj - Ba$				
Berat Jenis (ssd)	Bj	2.669	2.575	2.622	-
	$Bj - Ba$				
Berat Jenis (apparent)	Bk	2.762	2.656	2.709	-
	$Bk - Ba$				
Penyerapan Air	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	2.020	1.938	1.979	Max 3

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Batu Pecah ½

Uraian		A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh	BJ	2939	3151	gram	
Berat benda uji di dalam air	BA	1806	1939	gram	
Berat benda uji kering oven	BK	2868	3073	gram	
Uraian		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	Bk	2.531	2.535	2.533	-
	$Bj - Ba$				
Berat Jenis (ssd)	Bj	2.594	2.600	2.597	-
	$Bj - Ba$				
Berat Jenis (apparent)	Bk	2.701	2.710	2.705	-
	$Bk - Ba$				
Penyerapan Air	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	2.476	2.538	2.507	Max 3

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Yang dimaksud dengan berat jenis bulk ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang memiliki volume yang sama dengan agregat yang jenuh pada suhu 25°C. Ini memberikan gambaran tentang berat keseluruhan agregat dalam keadaan jenuh. Berat jenis

permukaan jenuh yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang memiliki volume yang sama dengan agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C. Ini menunjukkan berat agregat di permukaan yang sudah jenuh dengan air. Berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang memiliki volume yang sama dengan agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C. Ini memberikan gambaran tentang berat keseluruhan agregat dalam keadaan kering. Penyerapan adalah kemampuan agregat untuk menyerap air dari kondisi kering hingga kondisi jenuh, dinyatakan dalam persentase. Ini mengindikasikan seberapa banyak air yang dapat diserap oleh agregat.

Untuk menentukan berat jenis bulk, SSD, apparent dan penyerapan maka perlu diperlukan nilai SSD, berat benda uji kering dan berat dalam air. Nilai berat ssd diperoleh dengan cara merendam batu pecah di dalam air selama 1 x 24 jam. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan agar air dapat meresap kedalam pori-pori batu tersebut. Setelah itu, batu pecah dikeluarkan dan dilap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan batu pecah hilang, lalu batu pecah ditimbang untuk mendapatkan berat ssd.

Nilai berat kering diperoleh dengan cara mencuci batu pecah tersebut kemudian dikeringkan didalam oven selama 1 x 24 jam. Setelah itu batu pecah dikeluarkan dari oven lalu didinginkan selama 1-3 jam dan ditimbang untuk mendapatkan berat kering. Berat agregat kasar pada kondisi SSD mengalami penyusutan setelah agregat kasar dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C. Hal ini disebabkan adanya penurunan kadar air secara sempurna sehingga tidak ada penyerapan air yang mana sangat berpengaruh pada berat agregat kasar dimana berat agregat kasar mengalami penurunan akibat dari penyusutan kadar air yang terkandung dalam agregat kasar.

Nilai berat dalam air diperoleh dengan menimbang batu pecah menggunakan timbangan yang dilengkapi dengan alat penggantung keranjang. Pada saat ditimbang archimedes yaitu berat di dalam air akan berkurang sebanyak berat zat cair yang dipindahkan. Dengan mengasumsikan berat jenis dan berat volume air adalah selalu sama dengan satu, maka volume agregat sama dengan berat zat cair yang dipindahkan.

Setelah memperoleh berat kering, berat dalam air dan berat SSD maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai berat jenis bulk, SSD, apparent dan penyerapan. Dari hasil perhitungan untuk batu pecah $\frac{3}{4}$, dihasilkan berat jenis bulk 2,571, berat jenis saat SSD 2,622, berat jenis semu 2,709 dan penyerapannya 1,979%. Sedangkan hasil perhitungan untuk batu pecah

½, dihasilkan berat jenis bulk 2,535, berat jenis saat SSD 2,597, berat jenis semu 2,705 dan penyerapannya 2.507%.

Dalam pengujian ini berat jenis agregat merupakan perbandingan antara berat dan volume dimana berat yang dimaksud adalah berat kering agregat dan volume diperoleh dari berat SSD dikurangi dengan berat dalam air yang menunjukkan besaran pori yang dapat menyerap air. Nilai penyerapan adalah perubahan berat agregat karena penyerapan air oleh pori-pori dengan agregat pada kondisi kering.

b. Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar

Pengujian gradasi atau analisis saringan dilakukan untuk mengevaluasi distribusi ukuran partikel dalam agregat kasar, seperti batu pecah ¾" (19 mm) dan batu pecah ½" (12,5 mm), yang diperoleh dari Quarry Naru. Proses pengujian gradasi dilakukan dengan menyaring masing-masing material menggunakan serangkaian saringan dengan ukuran lubang yang bervariasi.

Pada pengujian ini, setiap agregat diuji dengan dua contoh benda uji, dan hasil pengujian dari kedua contoh tersebut kemudian dirata-ratakan. Nilai rata-rata dari hasil pengujian inilah yang digunakan untuk menentukan distribusi ukuran partikel agregat tersebut.

Dengan mengetahui distribusi ukuran partikel dari masing-masing agregat, dapat ditentukan proporsi yang tepat untuk menciptakan campuran agregat gabungan yang memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Hal ini penting dalam proses perancangan campuran untuk memastikan campuran memiliki sifat-sifat yang sesuai dengan kebutuhan konstruksi jalan yang akan dibuat.

Tujuan dari pengujian analisis saringan adalah untuk menentukan distribusi ukuran partikel dalam agregat kasar dan agregat halus dengan menggunakan serangkaian saringan berbeda. Dengan melakukan pengujian ini, kita dapat mengetahui persentase berat dari setiap fraksi butiran yang melewati setiap saringan, sehingga memungkinkan kita untuk mengevaluasi gradasi atau distribusi ukuran agregat tersebut.

Hasil dari pengujian ini memberikan informasi penting tentang distribusi ukuran partikel agregat, yang selanjutnya digunakan dalam perancangan campuran untuk memastikan campuran memiliki proporsi yang sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Ini membantu memastikan kualitas dan kinerja yang optimal dari campuran yang digunakan dalam konstruksi jalan.

Pengujian analisa saringan agregat kasar ½" (12,5 mm) dan analisa saringan agregat kasar ¾" (19 mm) pada tabel 4.3 dan tabel 4.4 memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2

yaitu agregat kasar tertahan pada saringan no.4. Hasil Pengujian gradasi batu pecah 3/4”(19 mm) dapat dilihat pada tabel 4.3 dan 1/2 (12,5 mm) dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut:

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Batu pecah 3/4

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) =		2,604		Rata- Rata
				Berat benda uji II (g) =		2,511		
(ASTM)	(mm)	I	II	Persen Tertahan		Persen Lolos		
				I	II	I	II	
3/4	19.0	-	-	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1/2	12.5	1,735	1,257	66.63	50.06	33.37	49.94	41.66
3/8	9.50	2,392	2,154	91.86	85.78	8.14	14.22	11.18
No.4	4.75	2,598	2,505	99.77	99.76	0.23	0.24	0.23
No.8	2.36							
No.16	1.18							
No.30	0.600							
No.50	0.300			0	0	0	0	0
No.100	0.150			0	0	0	0	0
No.200	0.075			0	0	0	0	0

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Analisa Saringan Batu Pecah 1/2

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) =		3,126		Rata- Rata
				Berat benda uji II (g) =		2,614		
(ASTM)	(mm)	I	II	Persen Tertahan		Persen Lolos		
				I	II	I	II	
3/4	19.0	0	0	0	0	100	100	100
1/2	12.5	0	0	0	0	100	100	100
3/8	9.50	400	84	12.80	3.21	87.20	96.79	92.00
No.4	4.75	2,972	2,419	95.07	92.54	4.93	7.46	6.19
No.8	2.36	3,118	2,605	99.74	99.66	0.26	0.34	0.30
No.16	1.18	3,121	2,607	99.84	99.73	0.16	0.27	0.21
No.30	0.60							
No.50	0.30							
No.100	0.15							
No.200	0.075							

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Contoh A perhitungan analisis saringan Agregat Kasar ^{3/4}

$$\begin{aligned} 1. \text{ Persen Tertahan} &= \frac{\text{Jumlah berat tertahan}}{\text{Berat benda uji}} \times 100 \\ &= \frac{1735}{2604} \times 100 \\ &= 66,63\% \\ 2. \text{ Persen Lolos} &= 100 - \text{persen tertahan} \\ &= 100 - 66,63 \\ &= 33,37\% \\ 3. \text{ Rata-rata Persen lolos} &= \frac{\text{Persen Lolos I} + \text{Persen Lolos II}}{2} \\ &= \frac{33,37 + 49,94}{2} \\ &= 41,66\% \end{aligned}$$

Prosedur standar dalam analisis saringan agregat kasar di tentukan melalui langkah-langkah berikut:

1. Penyaringan Agregat: Agregat kasar disaring melalui satu set saringan dengan ukuran lubang yang berbeda. Setiap saringan memiliki ukuran lubang yang berbeda untuk menyaring agregat sesuai dengan fraksi butiran yang diinginkan.
2. Pengukuran Tertahan: Agregat yang tertahan pada setiap saringan ditimbang secara bertahap. Berat agregat yang tertahan pada masing-masing saringan dicatat.
3. Perhitungan Persentase Tertahan dan Persentase Lolos: Persentase tertahan dihitung dengan membagi berat agregat yang tertahan pada suatu saringan dengan berat total agregat awal, lalu dikalikan 100. Persentase lolos kemudian dihitung dengan mengurangi persentase tertahan dari 100.
4. Analisis dan Penggunaan Data: Hasil perhitungan persentase tertahan dan persentase lolos digunakan untuk menganalisis gradasi atau distribusi ukuran agregat. Data ini penting dalam perancangan campuran untuk memastikan proporsi yang sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

Langkah-langkah ini membantu dalam memahami karakteristik ukuran partikel agregat kasar dan memastikan bahwa campuran memiliki distribusi butiran yang sesuai dengan persyaratan teknis yang dibutuhkan dalam konstruksi jalan atau proyek konstruksi lainnya.

c. Pengujian Keausan Gregat Kasar (Abrasi)

Pengujian keausan agregat (abrasi) pada Quarry Naru yang terdiri dari 2 jenis, yaitu batu pecah 3/4” dan batu pecah 1/2”. Pengujian keausan agregat, juga dikenal sebagai pengujian abrasi, dilakukan untuk mengevaluasi daya tahan agregat terhadap keausan atau erosi yang disebabkan oleh berbagai gaya mekanis dan pengaruh lingkungan selama proses konstruksi dan pelayanan jalan. Pengujian ini biasanya dilakukan dengan menggunakan mesin Los Angeles. Hasil pengujian abrasi terhadap agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Keausan Agregat (Abrasi)

PENGUJIAN KEAUSAN AGREGAT DENGAN MESIN LOS ANGELES					
Nama Contoh : Batu Pecah 3/4 dan 1/2					
Saringan				GRADASI PEMERIKSAAN	
Bukaan Saringan	Lolos	Bukaan Saringan	Tertahan	Berat (a)	
(mm)	ASTM	(mm)	ASTM	gram	
19.1	(3/4")	12.7	(1/2")	2500	
12.7	(1/2")	9.52	(3/8")	2500	
Jumlah Berat			(a)	5000	
Berat tertahan saringan No. 12 sesudah percobaan			(b)	3051	
Keausan (%)			(c)	38.98	
Keausan Rata - rata =				38.98	
Ket : Keausan (c) = ((a-b)/a) x 100%					
I.	a. =	5000.0	gram		
	b. =	3051.0	gram		
	a - b =	1949.0	gram		
Keausan -I	=	$\frac{a - b}{a}$	x 100	=	38.98
					Spec : Max 40

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Hasil pengujian keausan agregat kasar dengan menggunakan mesin Los Angeles, sebagaimana tercantum dalam Tabel 4.5, menunjukkan bahwa nilai keausan agregat kasar adalah sebesar 38,98%. Hal ini menandakan bahwa agregat tersebut memenuhi standar pengujian yang disyaratkan dalam spesifikasi Bina Marga, di mana nilai maksimum yang diperbolehkan adalah 40% (sesuai dengan SNI 2417-2008). Dengan demikian, agregat kasar yang diuji dalam pengujian ini dapat dianggap memenuhi persyaratan keausan yang diperlukan untuk digunakan dalam konstruksi jalan sesuai dengan standar yang berlaku. Ini menandakan bahwa agregat tersebut

memiliki daya tahan yang baik terhadap keausan, yang penting untuk memastikan kualitas dan ketahanan jalan yang dibangun.

4.2.2. Pengujian Terhadap Agregat Halus

Pada pengujian ini, material yang digunakan adalah abu batu dan pasir. Kedua material tersebut telah lolos saringan no. 4 dan tertahan pada saringan no. 200, sesuai dengan persyaratan yang disebutkan dalam spesifikasi Bina Marga. Hal ini menunjukkan bahwa abu batu dan pasir yang digunakan telah memenuhi standar ukuran yang ditetapkan dalam spesifikasi tersebut. Dengan demikian, material tersebut sesuai untuk digunakan dalam konstruksi jalan yang mematuhi persyaratan Bina Marga.

a. Pengujian berat jenis dan Penyerapan Air

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

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Abu Batu

No. Contoh		A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500	500	500	gram	
Berat piknometer + air (25°C)	B	679.0	671.9	gram	
Berat piknometer + air + benda uji	Bt	986.0	979.8	gram	
Berat benda uji kering oven (Bk)	BK	487.2	486.4	gram	
		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	Bk	2.524	2.532	2.528	-
	$B + 500 - Bt$				
Berat Jenis kering permukaan jenuh	500	2.591	2.603	2.597	-
	$B + 500 - Bt$				
Berat Jenis (apparent)	Bk	2.704	2.725	2.714	-
	$B + Bk - Bt$				
Penyerapan Air	$\frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$	2.627	2.796	2.712	Max 3

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

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

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pasir

No. Contoh		A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500	500	500	gram	
Berat piknometer + air (25°C)	B	675.2	674.5	gram	
Berat piknometer + air + benda uji	Bt	982.9	985.2	gram	
Berat benda uji kering oven (Bk)	BK	486.0	485.9	gram	
		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	Bk	2.527	2.567	2.547	-
	B + 500 - Bt				
Berat Jenis kering permukaan jenuh	500	2.600	2.641	2.621	-
	B + 500 - Bt				
Berat Jenis (apparent)	Bk	2.726	2.773	2.750	-
	B + Bk - Bt				
Penyerapan Air	$\frac{500 - Bk}{Bk}$	2.881	2.902	2.891	Max 3
	x 100%				

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air untuk material agregat halus, yang meliputi abu batu dan pasir, dapat disimpulkan bahwa nilai penyerapan air memenuhi standar spesifikasi Bina Marga, yaitu maksimum 3% seperti yang diatur dalam SNI 03-1969-2008. Hal ini menunjukkan bahwa agregat halus yang digunakan memiliki kemampuan penyerapan air yang sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan, sehingga cocok untuk digunakan dalam konstruksi jalan sesuai standar yang berlaku.

b. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus dan *Filler*

Pengujian Analisis Saringan dilakukan terhadap agregat halus, seperti abu batu dan pasir, yang berasal dari Quarry Naru. Pengujian tersebut dilakukan dengan menyaring masing-masing agregat menggunakan dua contoh benda uji. Hasil pengujian dari kedua benda uji tersebut kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai rata-rata yang akan digunakan dalam perhitungan proporsi agregat gabungan. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa hasil pengujian mencerminkan kualitas agregat secara keseluruhan dan digunakan sebagai dasar untuk perhitungan proporsi campuran yang optimal. Hasil pengujian analisa saringan atau analisa saringan material pasir dapat dilihat pada Tabel 4.8 di bawah ini.

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 1924				Rata-Rata
				Berat benda uji II (g) = 1573				
(ASTM)	(mm)	I	II	Persen Tertahan		Persen Lolos		
				I	II	I	II	
3/4	19.0	0	0	0	0	100	100	100
1/2	12.5	0	0	0	0	100	100	100
3/8	9.50	0	0	0	0	100	100	100
No.4	4.75	0	0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
No.8	2.36	277	297	14.40	18.88	85.60	81.12	83.36
No.16	1.18	701	669	36.43	42.53	63.57	57.47	60.52
No.30	0.60	1004	916	52.18	58.23	47.82	41.77	44.79
No.50	0.30	1312	1138	68.19	72.35	31.81	27.65	29.73
No.100	0.150	1528	1286	79.42	81.75	20.58	18.25	19.41
No.200	0.075	1685	1404	87.58	89.26	12.42	10.74	11.58

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

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

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Pasir

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 1802				Rata-Rata
				Berat benda uji II (g) = 1453				
(ASTM)	(mm)	I	II	Persen Tertahan		Persen Lolos		
				I	II	I	II	
3/4	19.0	0	0	0	0	100	100	100.00
1/2	12.5	0	0	0	0	100	100	100.00
3/8	9.50	0	0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
No.4	4.75	0	0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
No.8	2.36	185	240	10.27	16.52	89.73	83.48	86.61
No.16	1.18	522	559	28.97	38.47	71.03	61.53	66.28
No.30	0.60	836	816	46.39	56.16	53.61	43.84	48.72
No.50	0.30	1215	1062	67.43	73.09	32.57	26.91	29.74
No.100	0.15	1425	1204	79.08	82.86	20.92	17.14	19.03
No.200	0.075	1638	1332	90.90	91.67	9.10	8.33	8.71

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Contoh Perhitungan Analisa saringan agregat Halus abu batu;

$$\begin{aligned}
 \text{a. Persen Tertahan} &= \frac{\text{Jumlah berat Tertahan}}{\text{Benda Uji}} \times 100 \\
 &= \frac{277}{1924} \times 100 \\
 &= 14,40\% \\
 \text{b. Persen lolos} &= 100 - \text{Persen Tertahan} \\
 &= 100 - 14,40 \\
 &= 85,60 \% \\
 \text{c. Rata-Rata persen lolos} &= \frac{\text{Persen lolos 1} + \text{Persen lolos 2}}{2} \\
 &= \frac{85,60 + 81,12}{2} \\
 &= 83,36\%
 \end{aligned}$$

Pengujian analisis saringan untuk agregat halus (abu batu) dan agregat halus (pasir), seperti yang tercantum dalam Tabel 4.8 dan Tabel 4.9, memenuhi standar spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga. Kedua jenis agregat halus tersebut lolos 100% saringan No. 4 dan tertahan pada saringan No. 200 sesuai dengan persyaratan spesifikasi yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan bahwa kedua jenis agregat halus tersebut memiliki distribusi ukuran butiran yang sesuai dengan kebutuhan dalam campuran beton atau aspal, sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

Pengujian analisis saringan untuk semen yang akan digunakan sebagai bahan pengisi (filler) dilakukan dengan dua contoh benda uji, dan hasil pengujian dari kedua contoh tersebut kemudian dirata-ratakan. Nilai rata-rata ini kemudian digunakan dalam perhitungan proporsi agregat gabungan atau campuran beton/aspal secara keseluruhan. Proses ini memastikan konsistensi dalam ukuran partikel dan distribusi butiran semen yang akan digunakan dalam pembuatan campuran, sehingga memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan dalam spesifikasi teknis. Hasil pengujian analisa saringan filler semen dapat dilihat pada Tabel 4.10 di bawah ini :

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Filler

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	
1	25	0	0	0	0	100	100	100
3/4	19.0	0	0	0	0	100	100	100
1/2	12.5	0	0	0	0	100	100	100
3/8	9.50	0	0	0	0	100	100	100
No.4	4.75	0	0	0	0	100	100	100
No.8	2.36	0	0	0	0	100	100	100
No.16	1.18	0	0	0	0	100	100	100
No.30	0.60	0	0	0	0	100	100	100
No.50	0.30	3	4	0.6	0.8	99.4	99.2	99.30
No.100	0.15	11	10	2.2	2.0	97.8	98.0	97.90
No.200	0.075	22	22	4.4	4.4	95.6	95.6	95.60

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

4.2.3. Penentuan Gradasi Agregat Gabungan

Setelah mendapatkan hasil analisis saringan untuk setiap jenis agregat, yaitu agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (filler), langkah selanjutnya adalah menentukan gradasi agregat gabungan. Penentuan gradasi ini bertujuan untuk mengatur persentase dari masing-masing agregat dalam campuran, seperti batu pecah $\frac{3}{4}$ ", batu pecah $\frac{1}{2}$ ", pasir, dan filler, sehingga memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.

Dengan menyesuaikan persentase dari masing-masing agregat, termasuk filler, sesuai dengan persyaratan spesifikasi yang telah ditetapkan, maka dapat diperoleh gradasi agregat yang sesuai untuk campuran laston. Gradasi agregat ini kemudian digunakan untuk menghitung perkiraan kadar aspal rencana, yang merupakan perkiraan jumlah aspal yang diperlukan untuk mencapai campuran laston yang sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Perhitungan ini memperhitungkan komposisi agregat secara proporsional sehingga menghasilkan campuran laston yang memenuhi standar kualitas yang diinginkan. Hasil pengujian dari perhitungan gradasi agregat gabungan dengan menggunakan filler semen kupang dapat dilihat dalam Tabel 4.11 di bawah ini :

Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Gabungan

Uraian										
Inc mm	3/4 "	1/2 "	3/8 "	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
	19.1	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
Data Gradasi										
Batu Pecah 3/4" Ex. Naru	100.00	41.66	11.18	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Batu Pecah 1/2" Ex. Naru	100.00	100.00	92.00	6.19	0.30	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00
Abu Batu Ex. Naru	100.00	100.00	100.00	100.00	83.36	60.52	44.79	29.73	19.41	11.58
Pasir Alam Ex. Naru	100.00	100.00	100.00	100.00	86.61	66.28	48.72	29.74	19.03	8.71
Filler (Semen) Ex. Kupang	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.30	97.90	95.60
Combinasi Agregat										
Batu Pecah 3/4" Ex. Naru	10.00%	10.00	4.17	1.12	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Batu Pecah 1/2" Ex. Naru	36.00%	36.00	36.00	33.12	2.23	0.11	0.08	0.00	0.00	0.00
Abu Batu Ex. Naru	39.00%	39.00	39.00	39.00	39.00	32.51	23.60	17.47	11.60	7.57
Pasir Alam Ex. Naru	14.00%	14.00	14.00	14.00	14.00	12.13	9.28	6.82	4.16	2.66
Filler (Semen) Ex. Kupang	1.00%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98
Total Campuran	100.0%	100.00	94.17	88.24	56.25	45.74	33.96	25.29	16.75	11.21
Spec. gradasi										
max		100.0	100.0	90.0	69.0	53.0	40.0	30.0	22.0	15.0
min		100.0	90.0	77.0	53.0	33.0	21.0	14.0	9.0	6.0

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Untuk mendapat persentase dari proporsi agregat setiap fraksi untuk membuat campuran agregat dilakukan dengan menggunakan metode *trial and error* metode ini dengan cara coba-coba agar gradasi campuran sesuai dengan *range* dari gradasi yang disyaratkan.

Contoh hasil perhitungan Gradasi Agregat gabungan Untuk saringan $\frac{1}{2}$ untuk Persen batu pecah $\frac{3}{4}$:

$$=10\% \times \text{Persen lolos rata-rata batu pecah } \frac{1}{2}$$

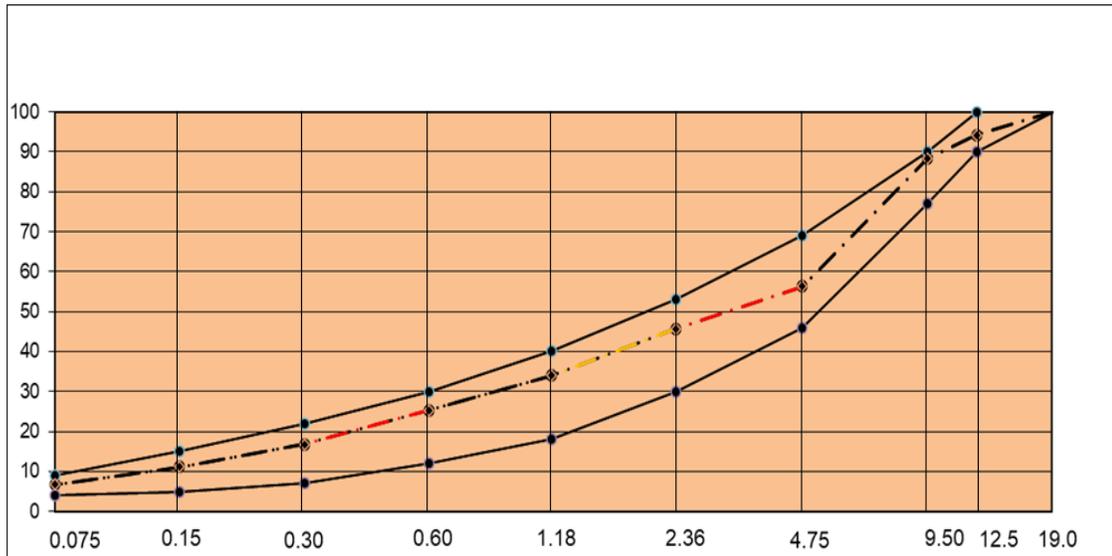
$$=10\% \times 41,66$$

$$=4,17$$

Dengan memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2, hasil pengujian gradasi agregat dapat dianggap sesuai. Berikut adalah ringkasan hasil pengujian yang memenuhi persyaratan:

- Agregat kasar batu pecah $\frac{3}{4}$: 100% lolos saringan ukuran $\frac{3}{4}$ dan tertahan pada saringan No.4
- Agregat sedang batu pecah $\frac{1}{2}$: 100% lolos saringan ukuran $\frac{1}{2}$ dan tertahan pada saringan No.4 Agregat halus abu batu: 100% lolos saringan No.4 dan tertahan pada saringan No.200
- Filler lolos saringan No.200 minimum 75%

- d. Jumlah total presentase lolos setiap ukuran saringan berada diantara batas minimum dan maksimum spesifikasi.



Gambar 4. 1 Kurva Gradasi Agregat Gabungan Laston AC-WC
Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Dari Grafik di atas, diketahui bahwa gradasi agregat gabungan menghasilkan hasil yang memenuhi syarat (berada di antara range dari spesifikasi). Untuk Batas atas dan batas bawah gradasi gabungan di dapat dari spesifiksi Bina Marga 2018 yang sudah ditetapkan.

Grafik 4.1 menunjukkan bahwa gradasi agregat gabungan berada di antara garis batas atas dan garis batas bawah, yang menunjukkan bahwa komposisi agregat memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga tahun 2018 untuk lapis aspal beton (Laston). Dengan demikian, hasil tersebut memenuhi standar kualitas yang diinginkan untuk campuran laston, yang penting untuk kekuatan dan ketahanan jalan yang dibangun.

4.2.4. Aspal

Dalam penelitian ini, pengujian aspal merupakan data dari Laboratorium Pengujian Bina Teknis Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan penetrasi 60/70 produksi Pertamina yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 revisi 2. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.1 dibawah ini:

Tabel 4. 12 Persyaratan Aspal Keras Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Satuan
1.	Penetrasi pada 25°C, 100 gram, 5 detik	66,8	60-70	Mm
2.	Berat jenis pada 25°C	1,03	≥1,0	Gr/cm
3.	Titik lembek	56,7	≥48	°C
4.	Daktalitas 25°C, 5 cm/menit	>140	≥100	Cm

Sumber : Data Sekunder

4.2.5. Formula Campuran Rencana Pb

Setelah diperoleh gradasi agregat gabungan yang memenuhi spesifikasi, perhitungan kadar aspal rencana dapat dilakukan menggunakan rumus yang telah disediakan sebelumnya. Rumus tersebut biasanya mengambil persentase dari masing-masing agregat yang terdiri dari batu pecah, pasir, dan filler, serta konstanta yang telah ditetapkan. Dengan demikian, kadar aspal rencana dapat dihitung dengan akurat berdasarkan proporsi agregat yang optimal untuk mencapai kualitas campuran laston yang diinginkan.

Untuk perhitungan kadar aspal rencana dipergunakan rumus:

1) Fraksi agregat

a) Fraksi agregat kasar (CA)

$$= 100\% - \% \text{ lolos saringan No.4 pada gradasi agregat gabungan}$$

$$= 100 - 56,25$$

$$= 43,75\%$$

b) Fraksi Agregat Halus (FA)

$$= \% \text{ lolos saringan No.4 pada gradasi agregat gabungan} - \% \text{ lolos saringan No.200}$$

$$= 56,25 - 6,69$$

$$= 49,56 \%$$

c) Bahan Pengisi (FF)

$$= \% \text{ lolos saringan No.200 pada gradasi agregat Gabungan}$$

$$= 6,69\%$$

d) Konstanta (K)

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

2) Kadar Aspal Rencana

Perkiraan awal kadar aspal rencana;

$$\begin{aligned}
Pb &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta} \\
&= 0,035 (43,75) + 0,045 (49,56) + 0,18 (6,69) + 1 \\
&= 5,97 \\
&= 6\%
\end{aligned}$$

4.2.7. Rancangan Benda Uji Marshall AC-WC dengan Kadar Aspal Rencana (Pb)

Dengan Pb (kadar aspal perkiraan) untuk campuran Laston sebesar 6,0%, ditetapkan lima variasi kadar aspal dengan selisih 0,5% dari Pb. Berikut adalah contoh benda uji dengan kadar aspal yang telah ditentukan yaitu 5,0%, 5.5%, 6,0%, 6.5%, 7,0%. Perhitungan komposisi rencana campuran beraspal atau beton aspal padat di laboratorium :

$$\begin{aligned}
\text{Kapasitas mold} &= 1.200 \text{ Gram} \\
\text{Kadar aspal perkiraan} &= 6\% \\
&= 6\% \times 1.200 \\
&= 72 \text{ Gram}
\end{aligned}$$

Misalkan percobaan komposisi persen batu pecah $\frac{3}{4}$ adalah 10 % dengan kadar aspal perkiraan 6,0 %:

1. Batu pecah $\frac{3}{4}$ = Komposisi agregat x (100 – Kadar Aspal)
$$\begin{aligned}
&= 10\% \times (100 - 6,0) \\
&= 9,40 \%
\end{aligned}$$
2. Tota; Agregat Campuran = 9,40 + 33,84 + 36,66 + 13,16 + 0,94
$$\begin{aligned}
&= 94,0 \%
\end{aligned}$$
3. Total Campuran % = Total agregat Campuran + Kadar aspal
$$\begin{aligned}
&= 94,0 + 6,0 \\
&= 100 \%
\end{aligned}$$

Tabel 4. 13 Formula Campuran Agregat

KOMPONEN	KOMPOSISI AGREGAT	KADAR ASPAL RENCANA (%)				
		5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
(a) BATU PECAH 3/4	10.00%	9.50	9.45	9.40	9.35	9.30
(b) BATU PECAH 1/2	36.00%	34.20	34.02	33.84	33.66	33.48
(c) ABU BATU	39.00%	37.05	36.86	36.66	36.47	36.27
(d) PASIR ALAM	14.00%	13.30	13.23	13.16	13.09	13.02
(e) FILLER (Semen)	1.00%	0.95	0.95	0.94	0.94	0.93
TOTAL AGG CAMPURAN (%)	100%	95.0	94.5	94.0	93.5	93.0
TOTAL CAMPURAN (%)		100	100	100	100	100
KOMPOSISI CAMPURAN		BERAT TIMBANGAN (Gr)				
KADAR ASPAL RENCANA	%	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
(a) BATU PECAH 3/4	Gram	114.0	113.4	112.8	112.2	111.6
(b) BATU PECAH 1/2	Gram	410.4	408.2	406.1	403.9	401.8
(c) ABU BATU	Gram	444.6	442.3	439.9	437.6	435.2
(d) PASIR ALAM	Gram	159.6	158.8	157.9	157.1	156.2
(e) FILLER (Semen)	Gram	11.4	11.3	11.3	11.2	11.2
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)		1,140	1,134	1,128	1,122	1,116
BERAT ASPAL (Gr)		60.0	66.0	72.0	78.0	84.0
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)		1,200	1,200	1,200	1,200	1,200

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Contoh perhitungan komposisi campuran Laston (AC WC):

1. Batu Pecah $\frac{3}{4}$ = Berat rencana total campuran x (Berat % agregat / 100)
 = 1200 x (9,50/100)
 = 114,0 Gram
2. Berat agregat Campuran = 114,0 + 410,4 + 444,6 + 159,6 + 11,4
 = 1140 Gram
3. Berat Aspal = Bera Rencana total campuran x (kadar aspal / 100)
 = 1200 x (5,0 /100)
 = 60 gram
4. Berat rencana total campuran = Berat agregat campuran + Berat Aspal
 = 1140 + 60
 = 1200 Gram.

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.

4.3. Tes Marshall

Hasil pengujian Marshall standar (2x75) tumbukan dengan menggunakan material dari quarry Nuru untuk campuran Laston AC-WC dapat dilihat pada Tabel 4.14 rangkuman dibawah ini, sedangkan hasil perhitungan secara detail dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4. 14 Rangkuman Hasil Pengujian Marshall

Kadar Aspal %	Benda Uji Marshall	VIM (%)	VMA	VFA (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	Rasio Partikel	Kepadatan
Spesifikasi		Min.3 - Max. 5	MIN. 15	MIN. 65	Min.800	Min. 2 - Max. 4	Min .0.6 - Max. 1.6	-
5%	1	5.77	16.09	64.13	687.3	1.90	1.41	2,245
	2	5.83	16.14	63.88	744.6	1.80	1.41	2,244
Rata - Rata		5.80	16.11	64.00	715.9	1.85	1.41	2,245
5.50%	1	4.95	16.38	69.77	801.8	2.20	1.28	2,249
	2	5.05	16.47	69.33	824.7	2.10	1.28	2,247
Rata - Rata		5.00	16.42	69.55	813.3	2.15	1.28	2,248
6%	1	3.66	16.27	77.51	835.2	3.10	1.17	2,264
	2	4.09	16.64	75.40	916.4	3.30	1.17	2,254
Rata - Rata		3.88	16.45	76.46	875.8	3.20	1.17	2,259
6.50%	1	2.57	16.34	84.25	930.7	3.60	1.07	2,274
	2	3.08	16.78	81.62	859.1	3.50	1.07	2,262
Rata - Rata		2.83	16.56	82.93	894.9	3.55	1.07	2,268
7%	1	2.98	17.69	83.17	801.8	4.10	0.99	2,250
	2	2.56	17.34	85.23	572.7	4.00	0.99	2,259
Rata - Rata		2.77	17.52	84.20	687.3	4.05	0.99	2,255

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

4.3.1. Hubungan Antara Parameter Marshall dengan Kadar Aspal

Campuran Laston AC-WC untuk lapisan permukaan jalan harus memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Persyaratan tersebut harus memenuhi batas gradasi kurva atas dan kurva bawah, persyaratan terhadap pengujian Marshall yaitu dengan memenuhi nilai stabilitas, flow, MQ, VIM, VMA dan VFA harus sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Kecenderungan bentuk lengkung hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall adalah :

- a. Stabilitas akan meningkat jika kadar aspal bertambah, sampai mencapai nilai maksimum, dan setelah itu stabilitas akan menurun. Stabilitas campuran aspal meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal hingga mencapai nilai maksimum. Namun, setelah mencapai titik maksimum tersebut, stabilitas akan mulai menurun seiring dengan peningkatan kadar aspal

lebih lanjut. Hal ini mencerminkan hubungan yang umum terlihat dalam pengujian Marshall.

Hasil pengujian Marshall dapat dilihat pada tabel dan Grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai-nilai parameter Marshall di bawah ini:

a. Hubungan Antara Stabilitas dengan Kadar Aspal

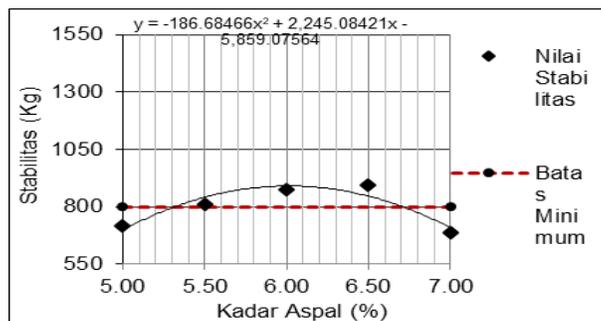
Stabilitas dalam konteks campuran aspal mengacu pada kemampuannya untuk menahan beban tanpa mengalami deformasi berlebihan atau aliran yang tidak diinginkan. Ini biasanya diukur dalam kilogram (kg) dan merupakan indikasi kekuatan campuran. Aliran (*flow*) adalah perubahan bentuk dari campuran aspal yang terjadi ketika diberi beban, diukur dalam milimeter (mm), dan mencerminkan kemampuan campuran untuk menyesuaikan diri dengan tekanan yang diberikan tanpa mengalami deformasi yang permanen.

Hubungan antara stabilitas dan kadar aspal optimum dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.15 berikut ini;

Tabel 4. 15 Hubungan Kadar Aspal Dengan Stabilitas

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)
5,0	715,9
5,5	813,3
6,0	875,8
6,5	894,9
7,0	687,3

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023



Gambar 4. 2 Hubungan Antara Kadar Aspal dan Stabilitas

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Dari hasil rekapan pada Tabel 4.16 dan visualisasi dalam Gambar 4.2, terlihat bahwa nilai stabilitas cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal. Namun, pada titik tertentu, nilai

stabilitas akan mencapai puncaknya dan mulai menurun ketika kadar aspal terlalu tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa ada nilai optimal untuk kadar aspal yang memberikan stabilitas maksimum. Jika kadar aspal terlalu rendah atau terlalu tinggi, stabilitas campuran akan menurun. Oleh karena itu, penting untuk memilih kadar aspal yang tepat agar stabilitas campuran dapat dipertahankan pada tingkat yang optimal.

Berdasarkan grafik, dapat disimpulkan bahwa kadar aspal yang terlalu rendah atau terlalu tinggi akan menghasilkan stabilitas yang rendah pada campuran aspal. Ketika kadar aspal rendah, selimut aspal menjadi tipis, menyebabkan ikatan antara agregat kurang kuat, yang dapat mengakibatkan lepasnya agregat saat terkena beban. Sebaliknya, jika kadar aspal terlalu tinggi, selimut aspal menjadi tebal dan rentan terhadap bleeding, serta mudah hancur saat dikenai beban. Dalam pengujian stabilitas campuran filler semen, hasil menunjukkan bahwa kadar aspal antara 5,5% hingga 6,5% memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2018 dengan nilai stabilitas minimum 800. Namun, pada kadar aspal 5,0% dan 7,0%, stabilitas campuran tidak memenuhi spesifikasi tersebut. Oleh karena itu, kadar aspal optimum untuk campuran tersebut berada di rentang antara 5,5% hingga 6,5%.

c. Hubungan Antara Kelelahan (Flow) dan Kadar Aspal

Kelelahan, atau flow, dalam konteks campuran aspal, merujuk pada kemampuan campuran untuk mengalami perubahan bentuk akibat beban yang diberikan selama pengujian. Nilainya diukur dalam satuan milimeter (mm) dan menunjukkan seberapa besar perubahan bentuk yang terjadi sebelum mencapai batas keruntuhan.

Ketika kadar aspal dalam campuran rendah, film aspal yang membungkus agregat menjadi tipis, sehingga campuran cenderung menjadi lebih kaku. Oleh karena itu, nilai kelelahan akan cenderung kecil. Sebaliknya, jika kadar aspal dalam campuran tinggi, film aspal akan menjadi lebih tebal, sehingga campuran menjadi lebih fleksibel dan memiliki nilai kelelahan yang lebih besar.

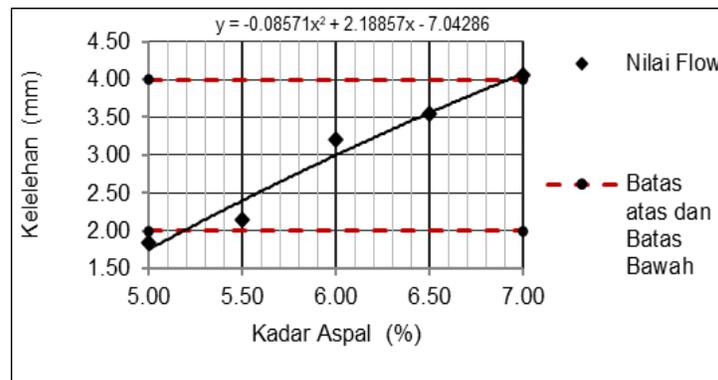
Dengan demikian, kadar aspal yang tepat akan mempengaruhi nilai kelelahan campuran aspal, di mana kadar aspal yang rendah cenderung menghasilkan nilai kelelahan yang rendah, sementara kadar aspal yang tinggi cenderung menghasilkan nilai kelelahan yang tinggi. Oleh karena itu, pemilihan kadar aspal yang optimal perlu diperhatikan untuk mencapai kinerja campuran aspal

yang diinginkan. Hasil penelitian hubungan kadar aspal dengan kelelehan (flow) pada campuran filler semen dapat dilihat pada Tabel 4.16 di bawah ini

Tabel 4. 16 Hubungan Antara Kelelehan (Flow) dan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	Kelelehan (Flow) (mm)
5,0	1,85
5,5	2,15
6,0	3,20
6,5	3,55
7,0	4.05

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023



Gambar 4. 3 Hubungan Antara Kadar Aspal dan Kelelehan

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Grafik 4.3 menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal, maka nilai flow juga cenderung meningkat. Hal ini terjadi karena penggunaan aspal yang berlebihan dapat mengakibatkan kurangnya penyelubungan agregat oleh aspal, sehingga daya ikat antara agregat dan aspal berkurang. Pada kadar aspal yang tinggi, campuran aspal akan lebih mudah mengalami perubahan bentuk plastis dibandingkan dengan campuran yang memiliki kadar aspal rendah, jika dikenai beban yang sama.

Berdasarkan grafik, dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian flow pada campuran filler semen, dengan kadar aspal antara 5,5% hingga 6,5%, memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga 2018, yang mensyaratkan nilai flow minimal 2 mm dan maksimal 4 mm. Namun, pada kadar aspal 5,0% dan 7,0%, hasil pengujian tidak memenuhi persyaratan yang disyaratkan. Ini

menunjukkan bahwa pemilihan kadar aspal yang tepat sangat penting untuk memastikan campuran aspal memenuhi standar kualitas yang ditetapkan.

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

Grafik yang menunjukkan hubungan antara kadar aspal dengan VIM mengindikasikan adanya hubungan yang berbanding terbalik di antara keduanya. Ini berarti bahwa semakin tinggi kadar aspal, maka nilai VIM cenderung akan menurun, dan sebaliknya, semakin rendah kadar aspal, maka nilai VIM akan cenderung meningkat.

Penurunan nilai VIM dengan peningkatan kadar aspal terjadi karena dengan adanya lebih banyak aspal, rongga-rongga di antara agregat akan lebih banyak terisi. Hal ini menyebabkan volume udara dalam campuran aspal menjadi lebih sedikit, sehingga nilai VIM menjadi lebih kecil.

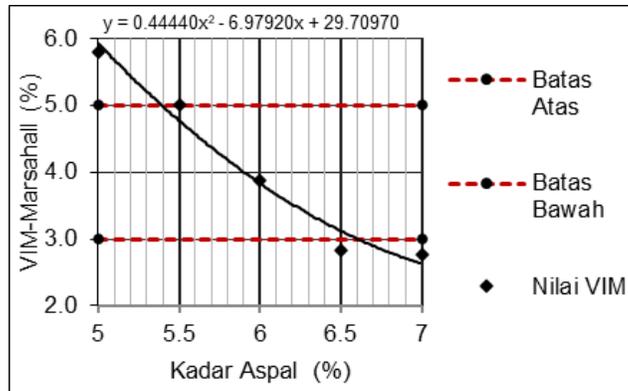
VIM memiliki dampak yang signifikan terhadap kualitas campuran aspal. Ketika nilai VIM tinggi dan kadar aspal rendah dalam campuran, maka akan ada banyak rongga yang tersisa di campuran, yang dapat mengakibatkan penurunan yang lebih cepat, seperti rutting dan retak, karena campuran tidak mampu menahan beban berulang. Di sisi lain, jika nilai VIM terlalu rendah dan kadar aspal tinggi, akan terjadi kelebihan aspal karena rongga-rongga sudah terisi, yang pada gilirannya dapat menyebabkan bleeding saat campuran dipadatkan lebih lanjut karena beban lalu lintas. Dengan demikian, pengaturan nilai VIM dengan tepat melalui pengendalian kadar aspal sangat penting untuk memastikan kualitas campuran aspal yang optimal. (Sukirman S, 2003).

Hasil pengujian kadar aspal dengan Vim:

Tabel 4. 17 Hubungan Antara Void in Mix (VIM) dan Kadar Aspal.

Kadar Aspal (%)	VIM (%)
5,0	5,80
5,5	5,00
6,0	3,88
6,5	2,83
7,0	2,77

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023



Gambar 4. 4 Hubungan Antara Kadar Aspal dan VIM
Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Grafik 4.4 menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal, semakin kecil pula volume rongga udara dalam campuran padat, dan sebaliknya, semakin rendah kadar aspal, semakin besar volume rongga udara tersebut.

Volume udara yang berlebihan dalam campuran padat dapat mengakibatkan berkurangnya kedap airnya, yang pada gilirannya dapat meningkatkan proses oksidasi aspal dan mengurangi sifat durabilitas beton aspal. Di sisi lain, jika volume udara terlalu sedikit dan kadar aspal terlalu tinggi, dapat menyebabkan lapisan aspal meleleh saat pemadatan tambahan karena beban lalu lintas.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran filler semen pada kadar aspal 5,5% hingga 6,5% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 (dengan rentang volume rongga udara antara minimum 3% dan maksimum 5%), sementara pada kadar aspal 5,0% dan 7,0%, campuran tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Oleh karena itu, pengendalian kadar aspal pada campuran filler semen sangat penting untuk memastikan kualitas dan keberlanjutan lapisan aspal yang dihasilkan.

e. Hubungan Antara Void in the Mineral Aggregate (VMA) dan KadarAspal.

Nilai VMA (Voids in the Mineral Aggregate) merupakan ukuran dari banyaknya pori yang berada di antara butiran-butiran agregat dalam campuran beton aspal padat, termasuk pori yang terisi oleh aspal. Nilai VMA ini dinyatakan dalam persentase. Kecenderungan VMA memang berbanding terbalik dengan kadar aspal, yang berarti nilai VMA akan cenderung menurun seiring dengan peningkatan kadar aspal. Hal ini terjadi karena semakin banyak aspal yang digunakan, semakin banyak pula rongga-rongga di antara agregat yang akan terisi oleh aspal, sehingga nilai

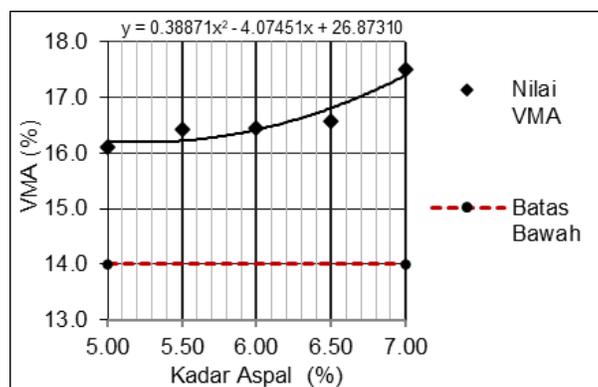
VMA akan semakin kecil. Namun, setelah mencapai nilai minimum, penambahan kadar aspal akan mengakibatkan peningkatan nilai VMA kembali.

VMA yang optimal penting untuk memastikan kualitas dan kinerja campuran beton aspal. Oleh karena itu, pemantauan dan pengendalian terhadap kadar aspal dalam campuran sangat penting untuk memastikan nilai VMA yang sesuai dengan standar yang ditetapkan.

Tabel 4. 18 Hubungan Antara Void in the Mineral Aggregate (VMA) dan Kadar Aspal.

Kadar Aspal (%)	VMA(%)
5,0	16,11
5,5	16,42
6,0	16,46
6,5	16,56
7,0	17,52

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023



Gambar 4. 5 Hubungan Antara Kadar Aspal dan VMA

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Dari Grafik 4.5 dapat dilihat bahwa dari kadar aspal 5,0% sampai dengan 7,0 %, semuanya memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Spesifikasi ini menetapkan batas minimum untuk nilai VMA adalah 15 %.

f. Hubungan Antara Void Filledwith Asphalt (VFA) dan Kadar Aspal.

VFA (Voids Filled with Asphalt) atau volume pori antara butiran agregat yang terisi oleh aspal merupakan persentase dari volume total beton aspal padat yang terdiri dari film atau selimut aspal.

Nilai VFA ini mencerminkan seberapa baik aspal menyelimuti butiran agregat dalam campuran beton aspal padat.

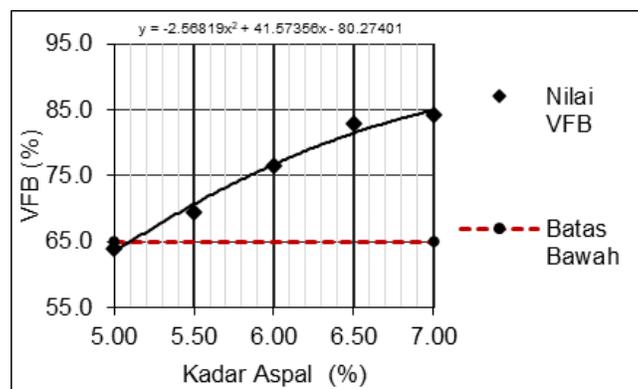
Nilai VFA cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin banyak aspal yang digunakan dalam campuran, semakin banyak pula rongga-rongga di antara agregat yang akan terisi oleh aspal, sehingga proporsi volume beton aspal padat yang ditutupi oleh film aspal (VFA) akan meningkat. Kecenderungan ini menunjukkan pentingnya pemantauan dan pengendalian terhadap kadar aspal dalam campuran untuk memastikan bahwa nilai VFA memenuhi standar yang ditetapkan dan bahwa campuran memiliki kualitas yang baik serta kinerja yang optimal.

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

Tabel 4. 19 Hubungan Void Filledwith Asphalt (VFA) dan Kadar Aspal.

Kadar Aspal (%)	VFA \(%
5,0	64,00
5,5	69,55
6,0	76,46
6,5	82,93
7,0	84,20

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023



Gambar 4. 6 Hubungan Antara Kadar Aspal dan VFA

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Dari Grafik 4.5 terlihat bahwa nilai VFA (Voids Filled with Asphalt) meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal dalam campuran. Ini menunjukkan bahwa semakin banyak aspal yang digunakan, semakin banyak pula pori-pori antara butiran agregat yang terisi oleh aspal. Namun,

penting untuk dicatat bahwa nilai VFA harus memenuhi standar spesifikasi yang ditetapkan. Dalam hal ini, pada kadar aspal 5,0%, nilai VFA tidak memenuhi persyaratan minimum yang ditetapkan oleh Spesifikasi Bina Marga 2018, sementara pada kadar aspal 5,5%, 6,0%, 6,5%, dan 7,0%, nilai VFA memenuhi persyaratan tersebut. Ini menunjukkan bahwa dalam proses pencampuran aspal, penting untuk mempertimbangkan kadar aspal yang tepat untuk mencapai nilai VFA yang memenuhi standar spesifikasi yang ditetapkan, yang pada gilirannya akan memastikan kualitas dan kinerja optimal dari campuran aspal tersebut.

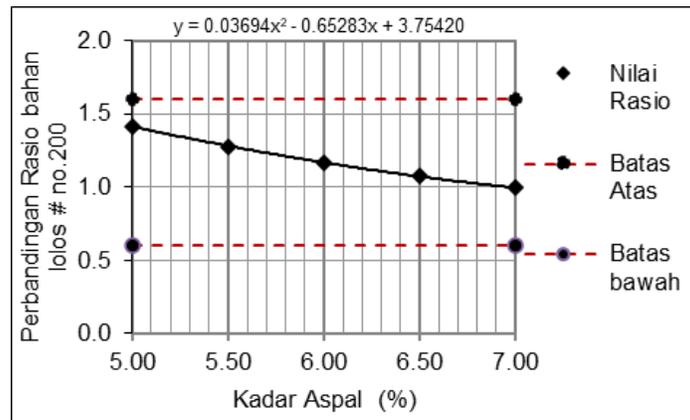
h. Hubungan Rasio partikel Bahan Lolos No.200 dan KadarAspal.

Rasio partikel bahan lolos No. 200 merupakan perbandingan antara berat bahan lolos saringan No. 200 (biasanya dalam gram) dengan kadar aspal efektif (biasanya dalam persen). Kadar aspal efektif adalah jumlah total aspal yang efektif tersedia untuk mengikat agregat dalam campuran aspal.

Tabel 4. 20 Hubungan Antara Rasio partikel Bahan Lolos No.200 dan Kadar Aspal.

Kadar Aspal (%)	Rasio Partikel Bahan Lolos No 200 Dengan Kadar Aspal (%)
5,0	1,41
5,5	1,28
6,0	1,17
6,5	1,07
7,0	0,99

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023



Gambar 4. 7 Hubungan Antara Kadar Aspal dan Rasio Partikel

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Grafik 4.7 menunjukkan bahwa pada kisaran kadar aspal 5,0% hingga 7,0%, rasio partikel bahan lolos No. 200 memenuhi persyaratan spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga 2018, yaitu memiliki nilai minimum 0,6 dan maksimum 1,6. Ini menunjukkan bahwa proporsi bahan halus dalam campuran aspal relatif terhadap kadar aspal efektif berada dalam rentang yang diizinkan oleh spesifikasi tersebut. Dengan demikian, campuran aspal tersebut memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan untuk penggunaannya dalam proyek-proyek jalan yang sesuai dengan standar Bina Marga 2018.

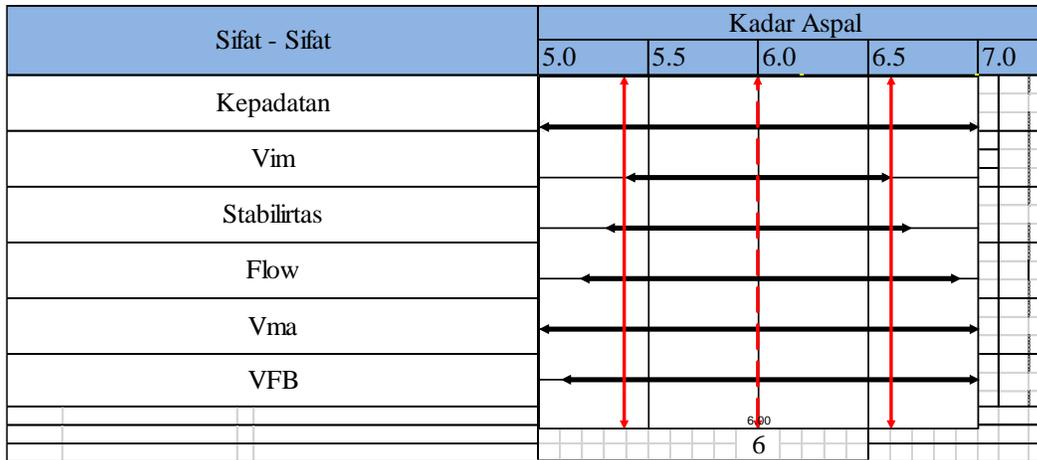
4.3.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum dapat ditentukan dengan mengambil nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua persyaratan dan spesifikasi campuran. Dalam kasus ini, nilai kadar aspal optimum sebesar 6,0% telah ditemukan dengan mempertimbangkan stabilitas, flow, VIM, VMA, VFB, dan rasio partikel bahan lolos #200 dengan kadar aspal efektif. Kemudian, dengan membuat diagram batang berdasarkan nilai hasil pengujian terhadap seluruh parameter Marshall, dapat diidentifikasi bahwa kadar aspal optimum berada pada titik tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan dan spesifikasi. Dengan demikian, nilai 6,0% dapat dianggap sebagai kadar aspal optimum yang memberikan keseimbangan terbaik antara semua parameter yang diukur. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.

Tabel 4. 21 Rekapitan Hasil KAO

Nilai parameter Marshall yang memenuhi		
	5	7
Kepadatan		
Vim	5.39	6.60
Stabilitas	5.3	6,8
Flow	5.18	6.92
VMA	5.00	7.00
VFB	5.10	7.00

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023



Gambar 4. 8 Penentuan Kadar Optimum
Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

4.3.3. Rangkuman Hasil Pengujian Proporsi Campuran dengan KAO

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa Kadar Aspal Optimum untuk campuran Laston AC-WC menggunakan material Quarry Naru Sebagai Berikut.

Tabel 4. 22 Rekapitan Hasil Komposisi Uji Campuran

NO	KOMPONEN	SATUAN	PROPORS	SPESIFIKAS	KETERANGAN
1	Batu Pecah 3/4"	%	9.40	-	Tidak disyaratkan
2	Batu Pecah 1/2"	%	33.84	-	Tidak disyaratkan
3	Abu Batu	%	36.66	-	Tidak disyaratkan
4	Pasir Alam	%	13.16	max 15	Memenuhi
5	Filler (SEMEN)	%	0.94	maks. 2.0	Memenuhi
6	Kadar Aspal Optimum	%	6,00	-	Tidak disyaratkan

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium PU NTT 2023

Hasil tes Marshall menunjukkan bahwa semua parameter Marshall memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 3, termasuk stabilitas, kelelahan (flow), VIM, VMA, VFA, dan rasio partikel lolos saringan no 200 dengan kadar aspal efektif.

Dari analisis, dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar aspal, nilai stabilitas dan kepadatan akan meningkat hingga mencapai batas tertentu. Namun, setelah melewati batas tersebut, nilai stabilitas dan kepadatan akan mulai menurun. Selain itu, semakin tinggi kadar aspal, nilai kelelahan (flow) juga akan meningkat. Kemudian, nilai VMA dan VFA juga akan meningkat

seiring dengan peningkatan kadar aspal, karena rongga-rongga di antara agregat akan terisi oleh aspal. Namun, sebaliknya, nilai VIM dan rasio partikel bahan lolos saringan no 200 akan semakin rendah karena rongga-rongga tersebut sudah terisi oleh aspal.