

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Pengambilan Material dan Persiapan Peralatan

1. Pengambilan Material

Pengujian sampel pada penelitian ini diperoleh dengan cara observasi; yaitu peneliti mengumpulkan agregat kasar (batu pecah dan pecah) dan agregat halus (abu batu) langsung dari Tambang Pariti milik PT. Cahaya Intan Jaya Abadi. Dibutuhkan tiga buah karung dengan kapasitas ± 50 kg, sekop, dan spidol untuk pengumpulan material. Metode Pengambilan Sampel Acak Sistematis (SNI 03-6889-2002) digunakan untuk mengambil sampel agregat kasar dan halus guna menjamin sampel yang diambil dapat mewakili seluruh sampel yang ada di Tambang Pariti milik PT. Cahaya Berlian Jaya Abadi. Cara pengambilannya dengan menyekop material diambil pada bagian bawah, tengah dan, atas secara acak dari setiap tumpukan material yang berbentuk kerucut, kemudian agregat dimasukan dalam karung dan diberi penamaan pada masing-masing karung. Material yang diambil yaitu batu pecah $\frac{3}{4}$ sebanyak 25 kg, batu pecah $\frac{1}{2}$ sebanyak 25 kg, dan abu batu sebanyak 25 kg. Selanjutnya, setelah seluruh sampel material disiapkan kemudian dibawa menuju Laboratoium Pengujian Dinas Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Provinsi NTT untuk dilakukan pengujian.

2. Persiapan Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian di laboratorium berupa satu set saringan, timbangan, wajan, mesin *los angeles*, *vacum stand*, *specific gravity and absorbrition coarse agg*, penumbuk marshall manual, *marshall test*, *waterbath*, termometer, oven, kompor gas, dan alat bantu lainnya. Alat yang digunakan harus terkalibrasi sebelumnya serta memastikan alat dalam kondisi baik dan bersih serta bebas dari lempung.

4.1.2 Data-Data

Data-data yang dibutuhkan dalam pengujian ini adalah:

1. Data Primer

Data primer yang dibutuhkan dari hasil pengujian berupa berat jenis dan penyerapan, gradasi, abrasi, dan pengujian *marshall*.

2. Data Sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah aspal produksi pertamina penetrasi 60/70 yang diperoleh dari Laboratorium Pengujian PUPR Provinsi NTT.

4.1.3 Pemeriksaan Material

Pemeriksaan terhadap material yang diambil dari *Quarry* Pariti dilakukan pada agregat kasar dan agregat halus dengan pengujian sebagai berikut:

1. Agregat Kasar

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu, dan daya serap air agregat sesuai SNI 1969:2016, dilakukan uji berat jenis dan serapan pada agregat kasar. Agregat kasar berukuran $\frac{3}{4}$ dan $\frac{1}{2}$ atau agregat yang lolos saringan no 4 hasil Stone Crusher PT merupakan agregat yang digunakan dalam pengujian ini. Jaya Intan Cahaya Abadi. Tabel 4.1 dan 4.2 menunjukkan hasil perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar (batu pecah $\frac{3}{4}$). Selain itu, Tabel 4.3 dan 4.4 menyajikan temuan berat jenis dan daya serap air agregat kasar (batu pecah $\frac{1}{2}$).

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar (Batu Pecah $\frac{3}{4}$)

Uraian	A	B	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh (BJ)	2.605	2.389	Gram
Berat benda uji dalam air (BA)	1.630	1.500	Gram
Berat benda uji kering oven (BK)	2.595	2.379	Gram

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Penyerapan Air oleh Agregat Kasar (Batu Pecah $\frac{3}{4}$)

Uraian	A	B	Rata-Rata
Berat jenis (<i>Bulk</i>) $\frac{BK}{BJ-BA}$	2,662	2,678	2,669

Uraian	A	B	Rata-Rata
Berat jenis (<i>SSD</i>) $\frac{BJ}{BJ-BA}$	2,672	2,687	2,680
Berat jenis (<i>Apparent</i>) $\frac{BK}{BK-BA}$	2,689	2,706	2,698
Penyerapan Air $\frac{BJ-BK}{BK} \times 100\%$	0,385	0,420	0,403

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar (Batu Pecah ½)

Uraian	A	B	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh (BJ)	2.718	2.424	Gram
Berat benda uji dalam air (BA)	1.777	1.520	Gram
Berat benda uji kering oven (BK)	2.690	2.413	Gram

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Penyerapan Air oleh Agregat Kasar (Batu Pecah ½)

Uraian	A	B	Rata-Rata
Berat jenis (<i>Bulk</i>) $\frac{BK}{BJ-BA}$	2,859	2,669	2,764
Berat jenis (<i>SSD</i>) $\frac{BJ}{BJ-BA}$	2,888	2,681	2,785
Berat jenis (<i>Apparent</i>) $\frac{BK}{BK-BA}$	2,946	2,702	2,824
Penyerapan Air $\frac{BJ-BK}{BK} \times 100\%$	1,041	0,456	0,748

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Dari hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air oleh agregat kasar batu pecah ¾ dan batu pecah ½ dapat disimpulkan bahwa agregat-agregat ini dapat digunakan dalam pengerjaan konstruksi jalan. Hasil pengujian penyerapan air oleh agregat pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.4 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yakni nilai maksimum adalah 3% (Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2).

b. Pengujian Keausan (Abrasi)

Kemampuan suatu agregat untuk menahan penurunan kualitas sebagai akibat dari proses mekanis (gaya pengisian, penyebaran, dan pemadatan), pelayanan terhadap beban lalu lintas, dan proses kimia (variasi air, panas, dan suhu sepanjang hari) dikenal sebagai

daya tahan agregat. . Batu pecah ukuran 3/4" yang lolos saringan 3/4" dan tertangkap dengan saringan 1/2", dan batu pecah ukuran 1/2" yang lolos saringan 1/2" dan ditangkap dengan saringan 3/8 Bahan yang digunakan dalam pengujian ini adalah ayakan. Dengan menghitung perbandingan berat bahan aus yang melewati filter No. 12 dengan berat aslinya, pengujian berupaya memperkirakan laju keausan (maksimum 40% setelah 500 putaran) (SNI 2417:2008).

Tabel 4.5 Pengujian Keausan (Abrasi) Menggunakan Mesin *Los Angeles*

Gradasi Pemeriksaan		Grading	
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")	2.500	2.500
12,7 (½")	9,52 (⅜")	2.500	2.500
9,52 (⅜")	6,35 (¼")	-	-
6,35 (¼")	4,75 (No.4)	-	-
4,75 (No.4)	2,36 (No.8)	-	-
Jumlah Berat		5.000	5.000
Berat tertahan saringan No. 12		3.717	3.813

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Contoh perhitungan keausan agregat (Abrasi):

Berat I

Jumlah Berat I = 5000 gr

Berat Tertahan Saringan No.12 = 3717 gr

Jumlah Berat I – Berat Tertahan Saringan No. 12 (5000 gr - 3717 gr) = 1283 gr

Berat II

Jumlah Berat II = 5000 gr

Berat Tertahan Saringan No.12 = 3686 gr

Jumlah Berat II – Berat Tertahan Saringan No. 12 (5000 gr – 3813 gr) = 1314 gr

$$\text{Keausan I} = \frac{\text{Jumlah Berat I} - \text{Berat Tertahan Saringan No. 12}}{\text{Jumlah Berat I}} \times 100$$

$$= \frac{5000-3717}{5000} \times 100$$

$$= 25,66\%$$

$$\text{Keausan II} = \frac{\text{Jumlah Berat II} - \text{Berat Tertahan Saringan No. 12}}{\text{Jumlah Berat II}} \times 100$$

$$= \frac{5000-3685}{5000} \times 100$$

$$= 26,28\%$$

Keausan rata-rata = 25,97%

Dari hasil pengujian keausan agregat kasar (batu pecah $\frac{3}{4}$ dan batu pecah $\frac{1}{2}$) Tabel 4.5 diperoleh nilai keausan rata-rata sebesar 25,97% dimana angka keausan memenuhi standar pengujian yang disyaratkan yaitu maksimum 40% (Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2).

c. Pemeriksaan Gradasi

Pemeriksaan gradasi atau pemisahan ukuran butir agregat bertujuan untuk mendapat ukuran butir dari setiap jenis material sesuai dengan spesifikasi pada saat proporsi agregat gabungan (SNI-ASTM C136:2012). Besar kecilnya rongga dalam campuran dipengaruhi oleh gradasi agregat, yang juga mengontrol stabilitas campuran dan kemampuan kerja (kemudahan pengerjaan). Persentase kelulusan atau retensi, yang ditentukan dengan menjumlahkan seluruh berat agregat, digunakan untuk menggambarkan gradasi agregat. Untuk agregat kasar (batu pecah $\frac{3}{4}$ dan batu pecah $\frac{1}{2}$), dilakukan pemeriksaan gradasi. Tabel 4.6 dan 4.7 menampilkan hasil gradasi agregat kasar (batu pecah $\frac{3}{4}$ dan batu pecah $\frac{1}{2}$).

Tabel 4.6 Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat Kasar Batu Pecah $\frac{3}{4}$

Saringan		Jumlah Tertahan		Berat Benda Uji I (gr) = 2.597				Rata-Rata
				Berat Benda Uji II (gr) = 2.381				
(ASTM)	(mm)			Persen Tertahan		Persen Lolos		
		I	II	I	II	I	II	
3/4"	19,0	0	0	0	0	100	100	100
1/2"	12,5	1.584	1.396	60,99	58,63	39,01	41,37	40,19
3/8"	9,50	2.442	2.111	94,03	88,66	5,97	11,34	8,65
No. 4	4,75	2.595	2.379	99,92	99,92	0,08	0,08	0,08
No. 8	2,36							
No. 16	1,18							
No. 30	0,600							
No. 50	0300							
No. 100	0,150							
No. 200	0,075							

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Contoh perhitungan analisa saringan yang mewakili keseluruhan saringan untuk agregat kasar (batu pecah $\frac{3}{4}$) pada saringan No. 4 (Tabel 4.6):

1. Benda Uji I

Berat benda uji = 2597 gr

Jumlah berat tertahan = 2595 gr

% Tertahan = $\frac{(\text{Jumlah Berat Tertahan})}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100$

$$= \frac{2595}{2597} \times 100$$

$$= 99,92\%$$

% Lolos = 100 - % Tertahan

$$= 100 - 99,92$$

$$= 0,08\%$$

2. Benda Uji II

Berat Benda Uji = 2381 gr

Jumlah Berat Tertahan = 2379 gr

$$\% \text{ Tertahan} = \frac{(\text{Jumlah Berat Tertahan})}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100$$

$$= \frac{2379}{2381} \times 100$$

$$= 99,92\%$$

$$\% \text{ Lolos} = 100 - \% \text{ Tertahan}$$

$$= 100 - 99,92$$

$$= 0,08\%$$

$$3. \text{ Nilai Rata-Rata \% Lolos} = \frac{0,08 + 0,08}{2} = 0,08\%$$

Tabel 4.7 Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat Kasar Batu Pecah ½

Saringan		Jumlah Tertahan		Berat Benda Uji I (gr) = 2.710				Rata-Rata
				Berat Benda Uji II (gr) = 2.418				
(ASTM)	(mm)			Persen Tertahan		Persen Lolos		
		I	II	I	II	I	II	
3/4"	19,0	0	0	0	0	100	100	100
1/2"	12,5	0	0	0	0	100	100	100
3/8"	9,50	578	589	21,33	24,36	78,67	11,34	77,156
No. 4	4,75	2.533	2.289	93,47	94,67	6,53	5,33	5,933
No. 8	2,36	2.705	2.410	99,82	99,67	0,18	0,33	0,258
No. 16	1,18							
No. 30	0,600							
No. 50	0,300							
No. 100	0,150							
No. 200	0,075							

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Contoh perhitungan analisa saringan yang mewakili keseluruhan saringan untuk agregat kasar (batu pecah ½) pada saringan No. 8 (Tabel 4.7)

1. Benda Uji I

$$\text{Berat Benda Uji} = 2710 \text{ gr}$$

$$\text{Jumlah Berat Tertahan} = 2705 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Tertahan} &= \frac{(\text{Jumlah Berat Tertahan})}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100 \\
 &= \frac{2705}{2710} \times 100 \\
 &= 99,82\% \\
 \% \text{ Lolos} &= 100 - \% \text{ Tertahan} \\
 &= 100 - 99,82\% \\
 &= 0,18\%
 \end{aligned}$$

2. Benda Uji II

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Benda Uji} &= 2418 \text{ gr} \\
 \text{Jumlah Berat Tertahan} &= 2410 \text{ gr} \\
 \% \text{ Tertahan} &= \frac{(\text{Jumlah Berat Tertahan})}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100 \\
 &= \frac{2410}{2418} \times 100 \\
 &= 99,67\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Lolos} &= 100 - \% \text{ Tertahan} \\
 &= 100 - 99,67 \\
 &= 0,33\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ Nilai Rata-Rata } \% \text{ Lolos} &= \frac{0,18 + 0,33}{2} \\
 &= 0,255\%
 \end{aligned}$$

2. Agregat Halus

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Selain agregat kasar, abu batu atau material yang lolos saringan No. 4 dari Tambang Pariti digunakan sebagai agregat halus dalam penelitian ini. Dengan berpedoman pada SNI 1970:2016, tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui berat jenis agregat halus, berat jenis semu, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), dan daya serap air. Tabel 4.8 dan 4.9 menunjukkan hasil perhitungan berat jenis dan serapan air agregat halus.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus (Abu Batu)

Uraian	A	B	Satuan
Berat benda uji kering permukaan jenuh	500	500	Gram
Berat piknometer + air (25°C) (B)	684,90	678,40	Gram
Berat piknometer + air + benda uji (BT)	991,90	984,10	Gram
Berat benda uji kering oven (BK)	487,00	486,60	Gram

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Penyerapan Air oleh Agregat Halus (Abu Batu)

Uraian	A	B	Rata-Rata
Berat jenis (<i>Bulk</i>) $\frac{BK}{B + 500 - BT}$	2,523	2,504	2,514
Berat jenis (<i>SSD</i>) $\frac{500}{B + 500 - BT}$	2,591	2,573	2,582
Berat jenis (<i>Apparent</i>) $\frac{BK}{B + BK - BT}$	2,706	2,690	2,698
Penyerapan Air $\frac{500 - BK}{BK} \times 100\%$	2,669	2,754	2,712

Ditetapkan bahwa agregat halus (abu batu) dari Tambang Pariti yang diolah oleh PT Cahaya Berlian Jaya Abadi dapat dimanfaatkan untuk proyek pembangunan jalan berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap berat jenis dan serapannya. Hasil pengujian penentuan nilai maksimum 3% (Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2) penyerapan air oleh agregat halus (abu batu) pada Tabel 4.9 memenuhi standar pengujian yang diperlukan.

b. Pemeriksaan Gradasi

Untuk menentukan ukuran butir setiap bahan sesuai dengan persyaratan proporsi agregat gabungan, maka perlu dilakukan pemeriksaan gradasi atau pemisahan ukuran butir agregat (SNI-ASTM C136:2012). Besar kecilnya rongga dalam campuran dipengaruhi oleh gradasi agregat, yang juga mengontrol stabilitas campuran dan kemampuan kerja (kemudahan pengerjaan). Proporsi yang lolos atau tertahan, yang ditentukan dengan menjumlahkan seluruh berat agregat, itulah yang menyatakan gradasi agregat. Pemeriksaan gradasi agregat halus ini dilakukan dengan menggunakan bahan pengisi dan abu batu. Hasil gradasi materi ditampilkan pada Tabel 4.10 dan 4.11.

Tabel 4.10 Hasil Gradasi Agregat Halus (Abu Batu)

Saringan		Jumlah Tertahan		Berat Benda Uji I (gr) = 3.176				Rata-Rata
				Berat Benda Uji II (gr) = 3.322				
(ASTM)	(mm)			Persen Tertahan		Persen Lolos		
		I	II	I	II	I	II	
3/4"	19,0	0	0	0	0	100	100	100
1/2"	12,5	0	0	0	0	100	100	100
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	941	951	29,63	28,63	70,37	71,37	70,87
No. 16	1,18	1.914	1.983	60,26	59,69	39,74	40,31	40,02
No. 30	0,600	2.137	2.298	67,29	69,18	32,71	30,52	31,76
No. 50	0300	2.718	2.816	85,58	84,77	14,42	15,23	14,82
No. 100	0,150	2.898	3.050	91,25	91,81	8,75	8,19	8,470
No. 200	0,075	3.027	3.274	95,31	98,56	4,69	1,44	3,068

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Contoh perhitungan analisa saringan yang mewakili keseluruhan saringan untuk agregat halus (abu batu) pada saringan No. 200 pada Tabel 4.7:

1. Benda Uji I

Berat Benda Uji = 3176 gr

Jumlah Berat Tertahan = 3027 gr

% Tertahan = $\frac{(\text{Jumlah Berat Tertahan})}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100$

$$= \frac{3027}{3175} \times 100$$

$$= 95,31 \%$$

% Lolos = 100 - % Tertahan

$$= 100 - 95,31 \%$$

$$= 4,69 \%$$

2. Benda Uji II

Berat Benda Uji = 3322 gr

Jumlah Berat Tertahan = 3274 gr

% Tertahan = $\frac{(\text{Jumlah Berat Tertahan})}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100$

$$= \frac{3274}{3322} \times 100$$

$$= 98,56 \%$$

% Lolos

$$= 100 - \% \text{ Tertahan}$$

$$= 100 - 98,56$$

$$= 1,44 \%$$

3. Nilai Rata-Rata % Lolos

$$= \frac{4,69 + 1,44}{2}$$

$$= 3,07 \%$$

Tabel 4.11 Hasil Gradasi Filler (Semen)

Saringan		Jumlah Tertahan		Berat Benda Uji I (gr) = 500				Rata-Rata
				Berat Benda Uji II (gr) = 500				
(ASTM)	(mm)			Persen Tertahan		Persen Lolos		
		I	II	I	II	I	II	
3/4"	19,0	0	0	0	0	100	100	100
1/2"	12,5	0	0	0	0	100	100	100
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	0,600	0	0	0	0	100	100	100
No. 50	0300	2	3	0	1	100	99	100
No. 100	0,150	9,0	11,0	1,80	2,20	98,20	97,80	98,00
No. 200	0,075	26,0	30,0	5,20	6,00	94,80	94,00	94,40

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Contoh perhitungan analisa saringan yang mewakili keseluruhan saringan untuk agregat halus (*filler*-semen) pada saringan No. 200 pada Tabel 4.8.

1. Benda Uji I

Berat Benda Uji = 500 gr

Jumlah Berat Tertahan = 26 gr

% Tertahan = $\frac{(\text{Jumlah Berat Tertahan})}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100$

$$= \frac{26}{500} \times 100$$

$$= 5,2 \%$$

$$\% \text{ Lolos} = 100 - \% \text{ Tertahan}$$

$$= 100 - 5,2$$

$$= 94,8 \%$$

2. Benda Uji II

$$\text{Berat Benda Uji} = 500 \text{ gr}$$

$$\text{Jumlah Berat Tertahan} = 30 \text{ gr}$$

$$\% \text{ Tertahan} = \frac{(\text{Jumlah Berat Tertahan})}{\text{Berat Benda Uji}} \times 100$$

$$= \frac{30}{500} \times 100$$

$$= 6,0 \%$$

$$\% \text{ Lolos} = 100 - \% \text{ Tertahan}$$

$$= 100 - 6,0$$

$$= 94,0 \%$$

$$3. \text{ Nilai Rata-Rata } \% \text{ Lolos} = \frac{94,8 + 94,0}{2}$$

$$= 94,4 \%$$

4.1.4 Komposisi Gradasi Agregat Gabungan

Dari hasil pengujian gradasi, material dari *Quarry* Pariti dapat digunakan sebagai bahan campuran aspal panas *Hot Rolled Sheet (HRS)* atau biasa disebut Lataston yang merupakan jenis aspal beton campuran panas yang memiliki gradasi senjang. Gradasi senjang adalah gradasi agregat dimana terdapat beberapa ukuran fraksi agregat tidak ada atau tidak lengkap. Hal ini menyebabkan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi karena ada beberapa rongga yang tidak bisa diisi oleh agregat.

Karena dari hasil gradasi material memenuhi spesifikasi pengujian yang ditetapkan untuk Lataston, kemudian dibuat komposisi gradasi agregat gabungan. Untuk menghitung hasil persentase sebagai taksiran kadar aspal (Pb) yang disebut juga kadar aspal tengah, dikembangkan komposisi gradasi gabungan dengan tujuan untuk mengetahui persentase setiap fraksi. Komposisi gradasi agregat gabungan dapat direpresentasikan secara visual dengan membuat kurva yang menunjukkan hubungan antara persentase agregat yang lolos saringan dan ukuran saringan, yang terletak pada kurva antara batas atas dan bawah. .
Tabel 4.12 menunjukkan hasil komposisi gradasi agregat gabungan.

Tabel 4.12 Hasil Komposisi Gradasi Agregat Gabungan

Uraian		Nomor Saringan									
Inc		3/4	1/2	3/8	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
mm		19,1	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,600	0,300	0,150	0,075
Data Gradasi											
Batu Pecah 3/4"		100	40,19	8,65	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batu Pecah 1/2"		100	100	77,16	5,93	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Abu Batu		100	100	100	100	70,87	40,02	31,77	14,83	8,47	3,07
Filler (Semen)		100	100	100	100	100	100	100	100	98,00	94,40
Kombinasi Agregat											
Batu Pecah 3/4"	15%	15,00	6,03	1,30	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Batu Pecah 1/2"	35%	35,00	35,00	27,00	2,08	6,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Abu Batu	48%	48,00	48,00	48,00	48,00	34,02	19,21	15,25	7,12	4,07	1,47
Filler (Semen)	2%	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,96	1,89
Total Campuran	100%	100	91,03	78,30	52,09	42,82	21,21	17,25	9,12	6,03	3,36
Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2											
Maks.		100,0	100,0	90,0	-	55,0	-	35,0	-	-	9,0
Min.		100,0	90,0	65,0	-	35,0	-	15,0	-	-	2,0

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Contoh perhitungan hasil gradasi agregat gabungan pada Tabel 4.12:

$$\begin{aligned} \text{Batu Pecah 3/4} &= (\text{Rata-rata analisa saringan } \frac{1}{2}) \times (\text{Komposisi Agregat}) \\ &= 40,19 \times 15\% \end{aligned}$$

$$= 6,03\%$$

$$\begin{aligned}\text{Batu Pecah } \frac{1}{2} &= (\text{Rata-rata analisa saringan No. } \frac{1}{2}\text{'}) \times (\text{Komposisi Agregat}) \\ &= 100 \times 35\% \\ &= 35\%\end{aligned}$$

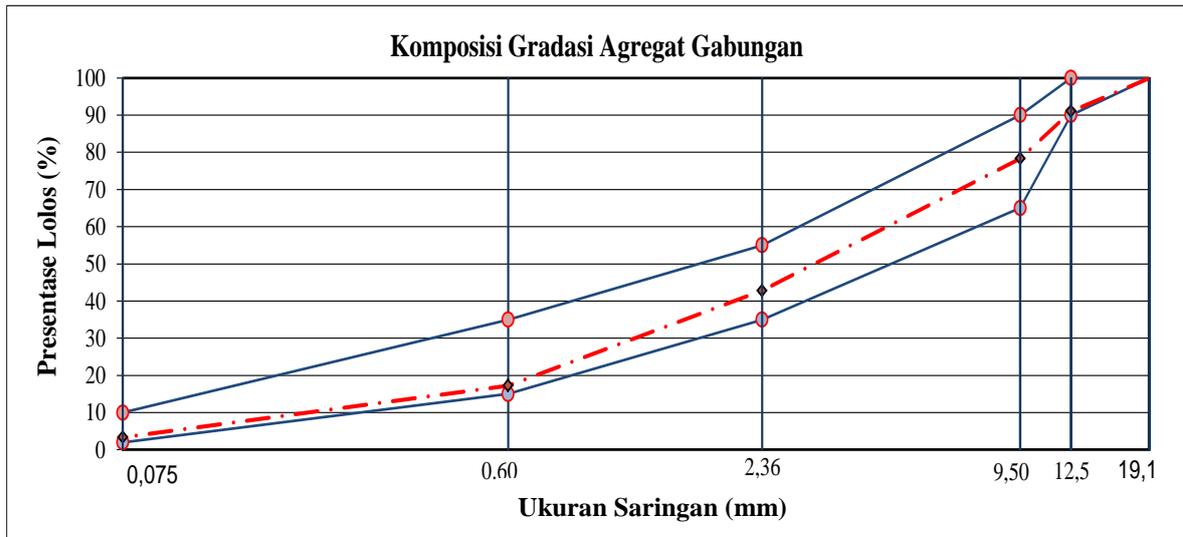
$$\begin{aligned}\text{Abu Batu} &= (\text{Rata-rata analisa saringan No. } \frac{1}{2}\text{'}) \times (\text{Komposisi Agregat}) \\ &= 100 \times 48\% \\ &= 48\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Filler (Semen)} &= (\text{Rata-rata analisa saringan No. } \frac{1}{2}\text{'}) \times (\text{Komposisi Agregat}) \\ &= 100 \times 2\% \\ &= 2\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total Campuran} &= 6,03 + 35 + 48 + 2 \\ &= 91.03\% (\text{Spesifikasi gradasi minimum } 90,0 \text{ dan maksimum } 100)\end{aligned}$$

Dengan menggunakan metode trial and error, komposisi agregat dengan nilai 15%, 35%, 48%, dan 2% dibuat dengan melakukan percobaan dengan proporsi masing-masing fraksi agregat sedemikian rupa sehingga gradasi campuran sesuai dengan rentang gradasi yang diperlukan. Mengingat banyaknya kemungkinan jawaban, maka metode ini diterapkan berkali-kali terhadap proporsi agregat dari masing-masing jenis fraksi sehingga menghasilkan campuran bergradasi yang berada dalam rentang dan mendekati gradasi yang direncanakan sesuai dengan Spesifikasi Umum Jalan Raya 2018 Revisi 2 untuk gradasi agregat gabungan.

Gambar 4.1 memberikan grafik yang menunjukkan bahwa komposisi gradasi gabungan yang dipilih dari Quarry Pariti memenuhi persyaratan yang diperlukan. Hal ini menunjukkan bahwa gabungan gradasi (persentase setiap saringan yang lolos) terletak tepat di tengah atau pada garis batas atas dan bawah. Hal ini menunjukkan bahwa untuk Lataston (HRS-Base), hasil gradasi agregat kumulatifnya memenuhi Spesifikasi Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018. Gambar 4.1 menunjukkan gabungan komposisi gradasi agregat untuk campuran Lataston (HRS-Base).



Gambar 4.1 Kurva Komposisi Gradasi Agregat Gabungan *HRS-Base*
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

4.1.5 Memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2

Dari hasil pengujian pada agregat kasar (batu pecah $\frac{3}{4}$ dan batu pecah $\frac{1}{2}$) dan agregat halus (abu batu) yang diambil dari *Quarry* Pariti dengan beberapa pengujian standar yang telah dilakukan yaitu, pengujian berat jenis dan penyerapan, abrasi, dan gradasi. Diperoleh bahwa hasil dari beberapa pengujian standar ini telah memenuhi ketentuan- ketentuan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Dan hasil presentase lolos dari gradasi agregat gabungan, berada pada *range* batas atas dan batas bawah kurva gradasi gabungan untuk campuran Lataston (*HRS-Base*) yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.

Untuk pengujian lainnya pada agregat kasar seperti pengujian kekekalan bentuk agregat terhadap larutan, kekekalan bentuk agregat terhadap aspal, butir pecah pada agregat kasar, partikel pipih dan lonjong; dan pengujian lainnya pada agregat halus seperti pengujian nilai setara pasir dan uji kadar rongga tanpa pemadatan, tidak dilakukan pengujian lagi di Laboratorium Dinas PUPR Provinsi Nusa Tenggara Timur dikarenakan keterbatasan alat, menghemat waktu penelitian, dan dianggap beberapa pengujian yang telah dilakukan di atas sudah dapat menentukan kelayakan dari material yang akan dipakai walaupun tidak dilakukan pengujian lainnya pada spesifikasi. Namun perlu juga ditambahkan data sekunder pengujian pada agregat kasar dan agregat halus dalam penelitian ini yang mana data-datanya diperoleh dari Balai Pelaksanaan Jalan Nasional, NTT. Data yang diperoleh untuk agregat kasar yaitu, pengujian kekekalan bentuk agregat

terhadap aspal, butir pecah pada agregat kasar, partikel pipih dan lonjong; dan data yang diperoleh untuk agregat halus yaitu, pengujian nilai setara pasir dan uji kadar rongga tanpa pemadatan. Untuk data sekunder yang belum diperoleh seperti pengujian kekekalan bentuk agregat terhadap larutan pada agregat kasar dan pengujian gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat pada agregat halus, dapat dijadikan saran pada penelitian ini untuk nantinya penelitian selanjutnya bisa mencari data atau referensi pengujian pada agregat yang karakteristik materialnya hampir sama dengan material dari *Quarry* Pariti ini.

Berikut ini dapat dilihat pada Tabel 4.13, hasil pengujian pada agregat kasar dan agregat halus dari *Quarry* Pariti.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus

No	Jenis Material	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1.	Agregat Kasar Batu Pecah 3/4"	Berat jenis (<i>Bulk</i>)	2,699%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Berat jenis kering permukaan (<i>SSD</i>)	2,680%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Berat jenis semu (<i>Apparent</i>)	2,698%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Penyerapan air	0,403%	Maks. 3%	Memenuhi
		Material lolos ayakan No. 200	Maks. 1%	0,08%	Memenuhi
2.	Agregat Kasar Batu Pecah 1/2"	Berat jenis (<i>Bulk</i>)	2,76%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Berat jenis kering permukaan (<i>SSD</i>)	2,785%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Berat jenis semu (<i>Apparent</i>)	2,824%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Penyerapan air	0,748%	Maks. 3%	Memenuhi
		Material lolos ayakan No. 200	Maks. 1%	0,26%	Memenuhi
3.	Agregat Kasar Batu Pecah 3/4" dan 1/2"	Abrasi	25,97%	Maks. 40%	Memenuhi
		Gradasi Agregat Gabungan	Tabel 4.9 Gradasi Agregat Gabungan	Tabel 6.3.2.3 Amplop Gradasi Agregat Gabungan	Memenuhi
		Kekekalan bentuk	95%	Min. 95	Memenuhi

No	Jenis Material	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
		agregat terhadap aspal			
		Butir pecah pada agregat kasar	98,07/93,07	Min. 95/90*	Memenuhi
		Partikel pipih dan lonjong	5,5% dan 9,6%	Maks. 10%	Memenuhi
4.	Agregat Halus Abu Batu	Berat jenis (<i>Bulk</i>)	2,514%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Berat jenis kering permukaan (<i>SSD</i>)	2,582%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Berat jenis semu (<i>Apparent</i>)	2,608%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Penyerapan air	2,71%	Maks. 3%	Memenuhi
		Material lolos ayakan No. 200	3,07%	Maks. 10%	
		Gradasi Agregat Gabungan	Tabel 4.9 Gradasi Agregat Gabungan	Tabel 6.3.2.3 Amplop Gradasi Agregat Gabungan	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

4.1.6 Menentukan Kadar Aspal Rencana

Dari hasil gradasi agregat material *Quarry* Pariti diperoleh proporsi untuk masing-masing campuran agregat dengan setiap fraksi agregat yang memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Berikut ini adalah perhitungan Kadar Aspal Rencana (Pb):

1. Fraksi Agregat

$$\begin{aligned}
 \text{a. Fraksi Agregat Kasar (CA)} &= 100 - \% \text{ Lolos saringan No.4} \\
 &= 100 - 52,09\% \\
 &= 47,91\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. Fraksi Agregat Halus (FA)} &= \% \text{ Lolos saringan No. 4} - \% \text{ Lolos saringan} \\
 &\quad \text{No. 200} \\
 &= 52,09\% - 3,36\% \\
 &= 48,73\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Fraksi Bahan Pengisi (FF)} &= \% \text{ Lolos saringan No. 200} \\
 &= 3,36\%
 \end{aligned}$$

$$d. \text{ Konstanta (K)} = 2$$

2. Kadar Aspal Rencana

Setelah memperoleh hasil proporsi agregat gabungan, langkah selanjutnya menentukan kadar aspal rencana.

Tabel 4.14 Rekapitulasi Perkiraan Awal Kadar Aspal Rencana

Uraian	Nilai	Satuan
Proporsi Fraksi Kasar (CA)	47,91	%
Proporsi Fraksi Halus (FA)	48,73	%
Proporsi Fraksi Bahan Pengisi (FF)	3,36	%
Nilai Konstanta (K)	2,00	%
Perkiraan Kadar Aspal	6,47	%

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Perkiraan awal kadar aspal rencana:

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + K \\
 &= 0,035 (47,91\%) + 0,045 (48,73\%) + 0,18 (3,36\%) + 2 \\
 &= 1,68 + 2,19 + 0,60 + 2 \\
 &= 6,47\% \approx 6,5\%
 \end{aligned}$$

4.1.7 Rancangan Benda Uji dengan Menggunakan Kadar Aspal Perkiraan (Pb) : (-1,0%; -0,5%; Pb; +0,5%; +1,0%)

Setelah kadar aspal rencana didapat 6,5%, kemudian dibuat rancangan campuran dengan menggunakan 5 kadar aspal yaitu: 5,5%, 6,0%, 6,5%, 7,0%, dan 7,5%. Dari rancangan campuran menggunakan 5 kadar aspal didapat berat rencana total campuran sebesar 1200 gr. Hasil perhitungan berat tiap campuran pada kadar aspal 5,5%, 6,0%, 6,5%, 7,0%, dan 7,5% dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Formula Campuran Rencana

Komponen	Komposisi Agregat	Kadar Aspal Rencana (%)				
		5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
Batu Pecah 3/4"	15%	14,18	14,10	14,03	13,95	13,88
Batu Pecah 1/2"	35%	33,08	32,90	32,73	32,55	32,38

Abu Batu	48%	45,36	45,12	44,88	44,64	44,40
<i>Filler</i> (Semen)	2%	1,89	1,88	1,87	1,86	1,85
Total Agregat Campuran (%)	100%	94,50	94,00	93,50	93,00	92,50
Total Campuran (%)		100	100	100	100	100
Komposisi Campuran		Berat Timbangan (gr)				
Kadar Aspal Rencana	%	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
Batu Pecah 3/4"	Gram	170,10	169,20	168,30	167,40	166,60
Batu Pecah 1/2"	Gram	396,90	394,80	392,70	390,60	388,50
Abu Batu	Gram	544,32	541,44	538,56	535,68	532,80
<i>Filler</i> (Semen)	Gram	22,68	22,56	22,44	22,32	22,20
Berat Agregat Campuran (gr)		1134,00	1128,00	1122,00	1116,00	1110,00
Berat Aspal (gr)		66,00	72,00	78,00	84,00	90,00
Berat Rencana Total Campuran (gr)		1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Contoh perhitungan komposisi campuran rencana pada Tabel 4.15:

Misalnya komposisi campuran batu pecah $\frac{3}{4}$ untuk kadar aspal rencana 6,5% sebesar 14.03% :

$$\begin{aligned} \text{Batu Pecah } \frac{3}{4} &= 15\% \times (100-6,5) \\ &= 14,03\% \end{aligned}$$

Berat masing-masing material untuk campuran *HRS-Base* terdapat pada contoh kadar aspal 6,5%.

$$\begin{aligned} \text{Batu Pecah } \frac{3}{4} &= 12 \times 14,03 \\ &= 168,30 \text{ gr} \end{aligned}$$

4.1.8 Pemadatan Benda Uji dengan *Manual Marshall Compactor*

Setelah membuat komposisi campuran rencana sebanyak 2 benda uji pada setiap kadar aspal kemudian melakukan pemanasan campuran beraspal sesuai dengan berat timbangan yang didapat pada suhu berkisar antara 145°C hingga 155°C. Selanjutnya melakukan pemadatan menggunakan *Manual Marshall Compactor* sebanyak 2 x 50 tumbukan dan dipadatkan pada suhu pemadatan normal 145°C.

4.1.9 Pengujian *Marshall* untuk Mengetahui Parameter *Marshall*

Pengujian *Marshall* ini bertujuan untuk mengetahui kinerja beton aspal padat pada 5 kadar aspal dengan menggunakan Parameter *Marshall* antara lain Stabilitas, Kelelehan (*Flow*), *Marshall Quotient (MQ)*, *VMA*, *VIM*, *VFA*, dan Kepadatan (*Density*). Prosedur pengujian dengan menggunakan Alat *Marshall* (SNI 06-2489- 1991). Dari hasil pengujian *Marshall* pada Tabel 4.16, dilihat bahwa benda uji yang dipadatkan dengan suhu normal 145°C pada kadar aspal 6,5% seluruh Parameter *Marshall* memenuhi spesifikasi (Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2). Pada kadar aspal 5,5% nilai *VIM* melewati batas maksimum dan nilai *VFA* kurang dari batas minimum. Pada kadar aspal 6,0% nilai *VIM* melewati batas maksimum. Kadar aspal 7,0% dan 7,5% nilai *VIM* kurang dari batas minimum. Hasil pengujian *marshall* dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Tabel Rangkuman Hasil Pengujian *Marshall*

Kadar Aspal (%)	Benda Uji	Stabilitas	<i>Flow</i>	<i>MQ</i>	<i>VMA</i>	<i>VIM</i>	<i>VFA</i>	Kepadatan
		(kg)	(mm)	(kg/mm)	(%)	(%)	(%)	(gr/cm ³)
		Min. 600	-	Min. 250	Min. 17	Min. 3-5	Min.68	-
5,5	A	778,91	3,10	251,26	18,34	6,50	64,53	2,27
	B	801,82	3,00	267,27	18,34	6,50	64,54	2,27
	Rata-Rata	790,36	3,05	259,27	18,34	6,50	64,54	2,27
6,0	A	930,68	3,20	290,84	18,19	5,15	71,68	2,290
	B	859,09	3,30	260,33	18,10	5,06	72,08	2,292
	Rata-Rata	894,89	3,25	275,58	18,14	5,10	71,88	2,291
6,5	A	1014,20	3,60	281,72	18,22	4,00	78,02	2,301
	B	1026,13	3,40	301,80	18,25	4,04	77,88	2,300
	Rata-Rata	1020,17	3,50	291,76	18,23	4,02	77,95	2,301
7,0	A	906,82	3,50	259,09	18,30	2,89	84,18	2,311
	B	894,89	3,80	235,50	18,25	2,84	84,46	2,313
	Rata-Rata	900,85	3,65	247,29	18,27	2,87	84,32	2,312
7,5	A	775,57	3,10	250,18	18,44	1,85	89,96	2,320
	B	751,50	4,50	167,05	18,48	1,90	89,72	2,318
	Rata-Rata	763,64	3,80	208,61	18,46	1,88	89,84	2,319

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023

Setelah diketahui nilai hasil pengujian *marshall*, selanjutnya membuat grafik hubungan kadar aspal dengan parameter-parameter *marshall* untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO).

1. Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

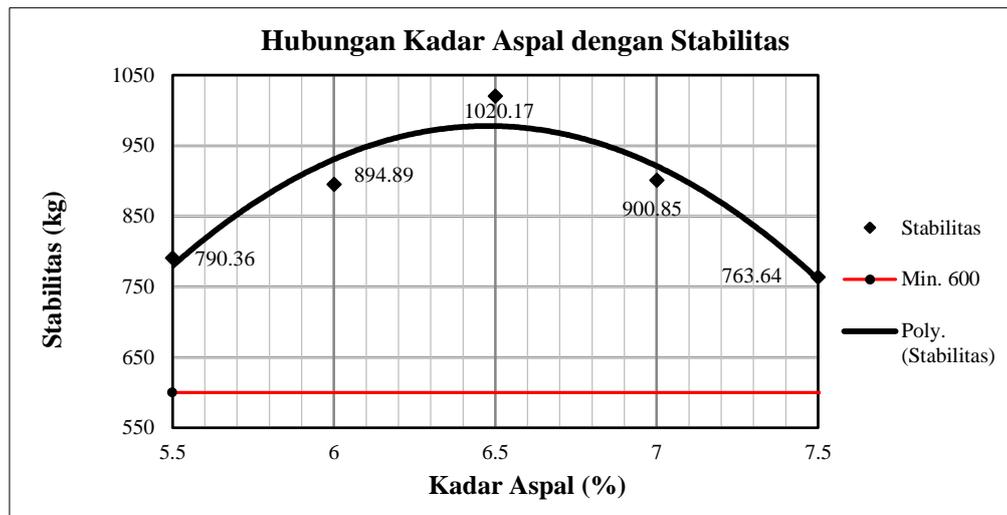
Hubungan kadar aspal dengan stabilitas dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Sifat-Sifat	Kadar Aspal (%)				
	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%	7,5%
Stabilitas (kg)	790,36	894,89	1020,17	900,85	763,64

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Berdasarkan Tabel 4.17, diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan kadar aspal dengan stabilitas yang dapat dilihat Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian Kadar Aspal dengan Stabilitas

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Menurut Teori pada Bab 2, II-24, stabilitas adalah kemampuan lapisan keras untuk mentolerir deformasi yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang bekerja padanya tanpa mengalami perubahan morfologi jangka panjang seperti gelombang (*was boarding*) dan alur (*ruting*).

Nilai kestabilannya semakin meningkat seiring bertambahnya kadar aspal, terlihat dari hasil pengujian pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.2. Dimulai pada kadar aspal 5,5%

dengan nilai kestabilan 790,36 kg, kadar aspal 6,0% dengan nilai kestabilan 894,89 kg, dan diakhiri pada kadar aspal 6,5% dengan nilai kestabilan 1020,17 kg. Selanjutnya nilai kestabilannya kembali turun, kali ini dari kadar aspal 7,0% (900,85 kg) menjadi kadar aspal 7,5% (763,64 kg). Hal ini menunjukkan bagaimana kuantitas aspal yang digunakan mempengaruhi nilai stabilitas. Alasan peningkatan nilai stabilitas adalah semakin banyak aspal yang menutupi agregat, sehingga meningkatkan kohesi campuran (kekuatan pengikatan aspal), kepadatan, dan interlocking antar agregat, yang semuanya berkontribusi pada peningkatan nilai stabilitas campuran (Teori dalam Bab 2, II-24). Aspal yang semula berfungsi sebagai pengikat agregat, setelah mencapai batas optimum berubah fungsinya menjadi pelumas (bleeding), sehingga menurunkan nilai kestabilan campuran (Teori pada Bab 2, II-24).

2. Hubungan Kadar Aspal dengan Kelelehan (*Flow*)

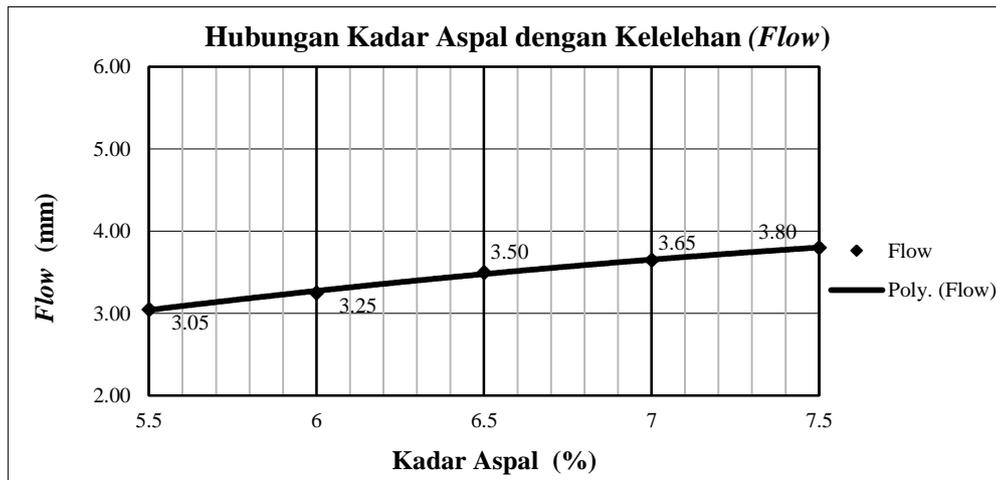
Hubungan kadar aspal dengan kelelehan (*flow*) dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Hubungan Kadar Aspal dengan Kelelehan (*Flow*)

Sifat-Sifat	Kadar Aspal (%)				
	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%	7,5%
<i>Flow</i> (mm)	3,05	3,25	3,50	3,65	3,80

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Berdasarkan Tabel 4.18, diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan kadar aspal dengan *flow* yang dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Kadar Aspal dengan Flow

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Untuk menunjukkan besarnya deformasi yang diakibatkan lapisan perkerasan akibat memikul beban yang diterimanya, maka luluh (aliran) adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga menyebabkan berkurangnya ketahanan (Teori dalam Bab 2, II-25).

Terlihat dari hasil pengujian pada Tabel 4.18 dan Gambar 4.3 bahwa nilai aliran meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi aspal. Pada besarnya kadar aspal 5,5%, 6,0%, 3,5%, 7,0%, 3,65, dan 3,80 mm, maka nilai aliran kadar aspal berturut-turut adalah 3,05, 3,25, 3,50, dan 3,80 mm. Hal ini menciptakan lapisan perkerasan plastis dengan meningkatkan nilai aliran dan jumlah aspal dalam campuran, sehingga memudahkan perkerasan mengalami perubahan bentuk seperti rutting dan washbording. Sebaliknya, nilai aliran yang rendah akan membuat campuran menjadi kaku sehingga membuat lapisan perkerasan lebih rentan retak (Teori pada Bab 2, II-25).

3. Hubungan Kadar Aspal dengan Marshall Quotient (MQ)

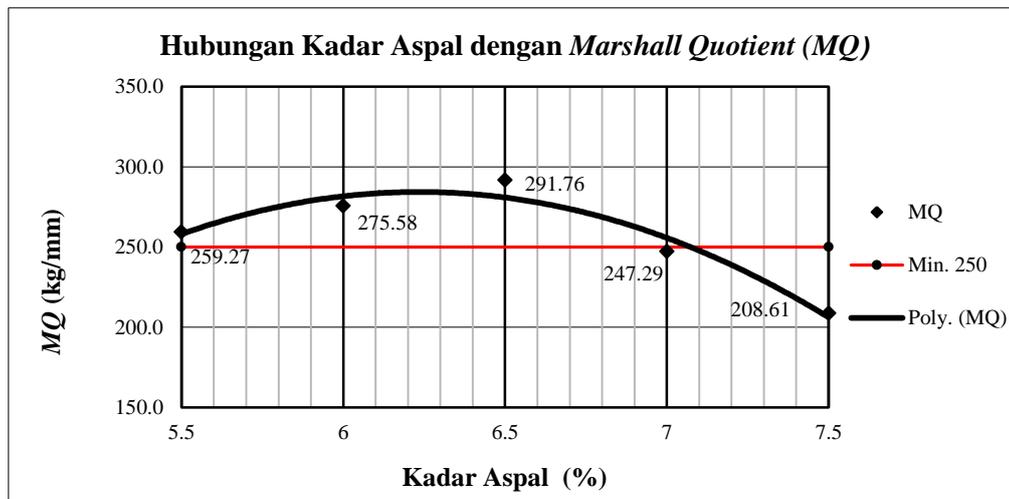
Hubungan kadar aspal dengan Marshall Quotient (MQ) dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hubungan Kadar Aspal dengan MQ

Sifat-Sifat	Kadar Aspal (%)				
	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%	7,5%
MQ (kg/mm)	259,27	275,58	291,76	247,29	208,61

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Berdasarkan Tabel 4.19, diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan kadar aspal dengan MQ yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian Kadar Aspal dengan MQ

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Secara umum apabila kadar aspal bertambah akan mempengaruhi fleksibilitas dan kelenturan campuran. Nilai *Marshall Quotient* berbanding lurus dengan nilai stabilitas namun berbanding terbalik dengan nilai *flow*, apabila nilai stabilitas tinggi tapi nilai *flow* rendah maka akan menyebabkan nilai MQ semakin tinggi, namun apabila nilai stabilitas rendah dan nilai *flow* tinggi maka akan menyebabkan nilai MQ menjadi semakin rendah (*Teori pada Bab 2, II-25*).

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.19 dan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa pada kadar aspal 5,5% dengan nilai MQ = **259,27 kg/mm**, kadar aspal 6,0% dengan nilai MQ = **275,58 kg/mm**, dan pada kadar aspal 6,5% dengan nilai MQ = **291,76 kg/mm**, nilai MQ mengalami kenaikan. Tingginya nilai MQ menunjukkan suatu campuran memiliki kekuatan yang tinggi namun berpotensi terjadinya retak dikarenakan stabilitas yang tinggi

namun nilai *flow* rendah. Dan pada kadar aspal 7,0% dengan nilai $MQ = 247,29 \text{ kg/mm}$ sampai kadar aspal 7,5% dengan nilai $MQ = 208,61 \text{ kg/mm}$, nilai MQ mengalami penurunan. Sebaliknya, nilai MQ yang rendah dipengaruhi oleh nilai stabilitas yang rendah dan *flow* tinggi mengakibatkan suatu campuran rentan terhadap perubahan bentuk atau deformasi permanen (*Teori pada Bab 2, II-25*). Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai MQ pada kadar aspal 5,5% sampai 6,5% memenuhi spesifikasi yang mensyaratkan nilai minimum yaitu 250 kg/mm.

4. Hubungan Kadar Aspal dengan Void in Mineral Aggregate (VMA)

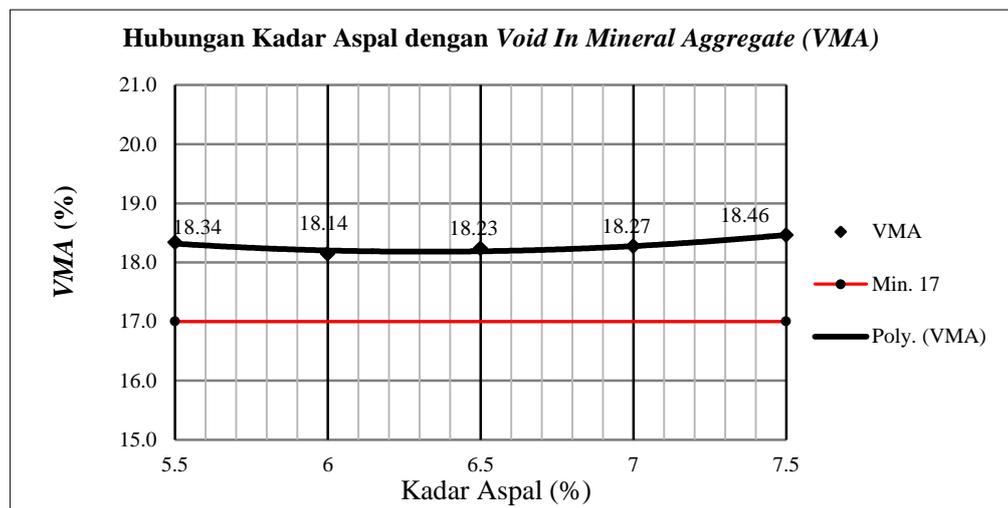
Hubungan kadar aspal dengan VMA dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Hubungan Kadar Aspal dengan VMA

Sifat-Sifat	Kadar Aspal (%)				
	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%	7,5%
VMA (%)	18,34	18,14	18,23	18,27	18,46

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Berdasarkan Tabel 4.20, diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan kadar aspal dengan VMA yang dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian Kadar Aspal dengan VMA

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Ruang udara di antara butiran agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kandungan aspal efektif yang dinyatakan dalam persentase terhadap volume total, dikenal sebagai rongga dalam Mineral Agregat (VMA) (Teori pada Bab 2, II-25).

Terlihat dari hasil pengujian pada Tabel 4.20 dan Gambar 4.5 nilai kadar aspal mengalami penurunan dari kadar aspal 5,5% dengan nilai VMA = 18,34% menjadi kadar aspal 6,0% dengan nilai VMA = 18,14%. Semakin banyak jumlah aspal dalam agregat maka semakin banyak aspal yang mengisi celah-celah dalam agregat sehingga menyebabkan nilai VMA otomatis turun. Selanjutnya nilai VMA akan meningkat apabila melebihi batas kadar aspal optimal. Hal ini disebabkan karena adanya jarak antar agregat yang semakin besar akibat lapisan aspal yang menutupinya semakin tebal. Lapisan perkerasan dapat menjadi fleksibel akibat tingkat VMA yang terlalu tinggi dan kandungan aspal yang tinggi (Teori pada Bab 2, II-25). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai VMA meningkat seiring dengan meningkatnya kadar aspal: 6,5% dengan nilai VMA 18,23%, 7,0% dengan nilai VMA 18,27%, dan 7,5% dengan nilai VMA 18,46%.

5. Hubungan Kadar Aspal dengan *Void in Mix (VIM)*

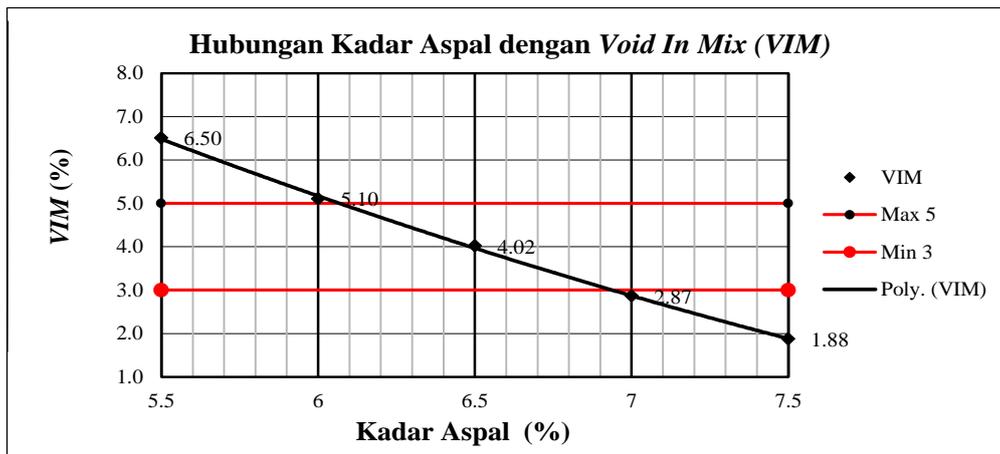
Hubungan kadar aspal dengan *Void in Mix (VIM)* dapat dilihat pada Tabel 4.21:

Tabel 4.21 Hubungan Kadar Aspal dengan *VIM*

Sifat-Sifat	Kadar Aspal (%)				
	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%	7,5%
<i>VIM</i> (%)	6,50	5,10	4,02	2,87	1,88

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Berdasarkan Tabel 4.21, diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan kadar aspal dengan *VIM* yang dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengujian Kadar Aspal dengan VIM

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Persentase rongga pada keseluruhan campuran disebut dengan Void in Mix (VIM). Banyaknya aspal pada campuran aspal panas mempengaruhi nilai rongga pada campuran (Teori pada Bab 2, II-26).

Hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 4.21 dan Gambar 4.6 menunjukkan adanya kecenderungan hubungan berbanding terbalik antara kadar aspal dengan VIM. Bila jumlah kadar aspal 5,5% maka nilai VIM sebesar 6,50%; bila 6,0% maka nilai VIMnya 5,10%; bila 6,5 maka nilai VIMnya 4,02%; bila 7,0% maka nilai VIM sebesar 2,87%; dan bila 7,5% maka nilai VIMnya sebesar 1,88%. Terlihat jelas bahwa jumlah aspal yang mengisi ruang antar butiran agregat meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah aspal, sehingga mengakibatkan penurunan volume rongga udara dalam campuran. Meskipun demikian, ruang udara campuran meningkat seiring dengan menurunnya kandungan aspal. Pencairan yang lebih cepat akan terjadi dengan VIM yang tinggi dan persentase aspal yang rendah (Teori pada Bab 2, II-26). Kadar aspal VIM yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 adalah 6,5% (minimal 3%, maksimal 5%).

6. Hubungan Kadar Aspal dengan Void Filled with Asphalt (VFA)

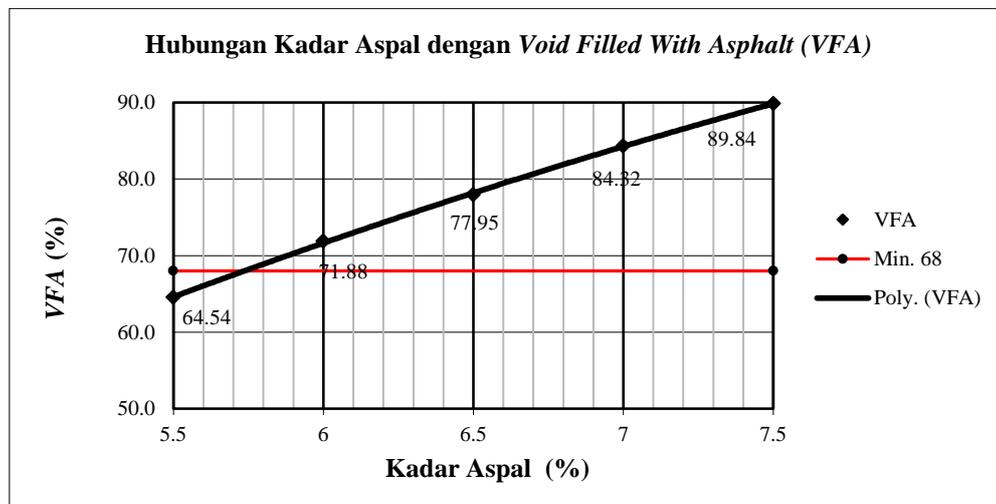
Hubungan kadar aspal dengan VFA dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Hubungan Kadar Aspal dengan VFA

Sifat-Sifat	Kadar Aspal (%)				
	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%	7,5%
VFA (%)	64,54	71,88	77,95	84,32	89,84

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023

Berdasarkan Tabel 4.22, diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan kadar aspal dengan VFA yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengujian Kadar Aspal dengan VFA

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

VFA (Void Filled with Asphalt) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan (Teori pada Bab 2, II-26).

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.22 dan Gambar 4.7 terlihat nilai VFA meningkat dengan penambahan kadar aspal 5,5% hingga 7,5%. Pada kadar aspal 5,5% nilai VFA = 64,54%, kadar aspal 6,0% nilai VFA = 71,88%, kadar aspal 6,5% nilai VFA = 77,95, kadar aspal 7,0% nilai VFA = 84,32%, kadar aspal 7,5% nilai VFA = 89,94% . Karena jarak antar butiran agregat masih sangat besar dan dapat menerima aspal yang masuk, maka nilai VFA semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Jumlah aspal dalam rongga meningkat seiring dengan meningkatnya persentase kandungan aspal, sehingga mengisi lebih banyak ruang udara (Teori dalam Bab 2, II-26). Kadar aspal sebesar 5,5% belum cukup untuk memenuhi persyaratan yang dipersyaratkan yaitu nilai

VFA minimal sebesar 68. Sedangkan Spesifikasi Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 telah terpenuhi dengan komposisi aspal sebesar 6,0% hingga 7,5%.

7. Hubungan Kadar Aspal dengan Kepadatan (*Density*)

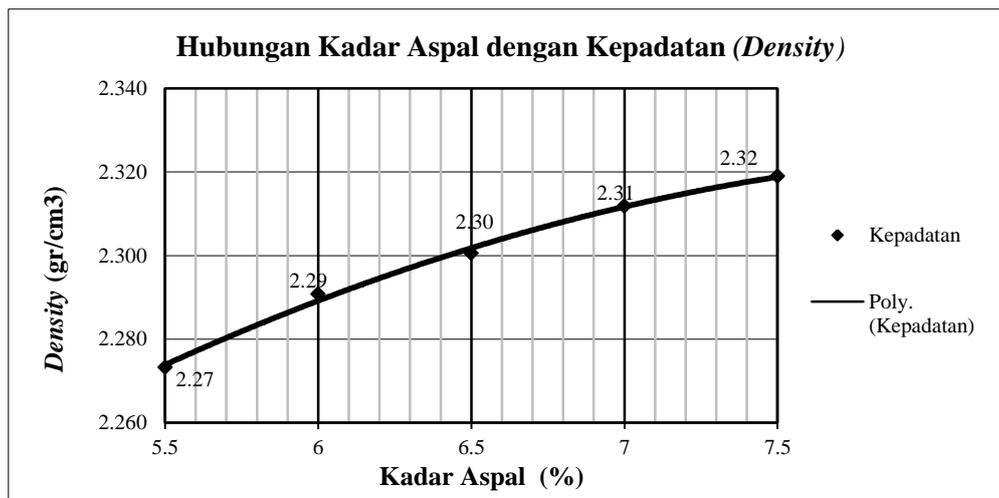
Hubungan Kadar Aspal dengan Kepadatan dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23 Hubungan Kadar Aspal dengan Kepadatan (*Density*)

Sifat-Sifat	Kadar Aspal (%)				
	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%	7,5%
Kepadatan (gr/cm ³)	2,27	2,29	2,30	2,31	2,32

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Berdasarkan Tabel 4.23, diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan kadar aspal dengan kepadatan yang dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Hasil Pengujian Kadar Aspal dengan Kepadatan

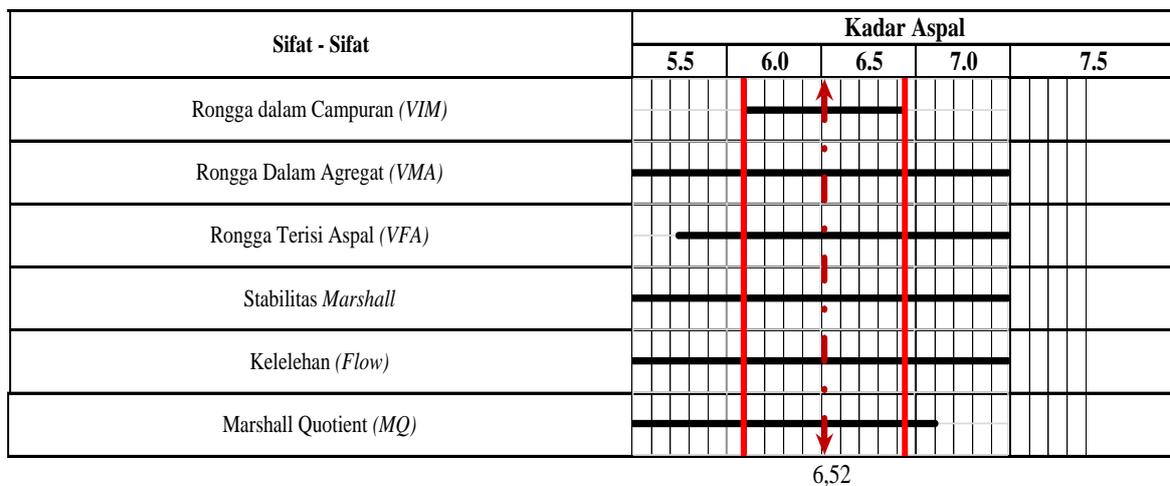
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023

Kepadatan adalah tingkat kepadatan campuran setelah pemadatan. Dari segi kadar aspal 5,5% hingga 7,5%, temuan pengujian pada Tabel 4.23 dan Gambar 4.8 menunjukkan bahwa nilai kepadatan meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal. Bila jumlah aspal 5,5% maka nilai massa jenisnya 2,27 gram per sentimeter; bila besarnya 6,0 maka nilai massa jenisnya adalah 2,29 gram per sentimeter; bila besarnya 6,5% maka nilai massa jenisnya adalah 2,30 gram per sentimeter; bila besarnya 7,0% maka nilai massa

jenisnya adalah 2,31 gram per sentimeter; dan bila besarnya 7,5% maka nilai massa jenisnya adalah 2,32 gram per sentimeter. Massa jenis campuran semakin baik maka nilai massa jenisnya semakin besar (Teori pada Bab 2, II-26). Akan tetapi, kelebihan jumlah komponen aspal yang ditentukan akan membuat kombinasi menjadi plastis dan fleksibel, menyebabkannya cepat berubah bentuk dan menyebabkan pendarahan (Teori dalam Bab 2, II-26).

4.1.10 Menentukan Kadar Aspal Optimum

Banyaknya aspal dalam campuran yang akan menghasilkan karakteristik perkerasan yang baik disebut dengan kadar aspal optimum. Dengan membuat diagram batang berdasarkan hasil pengujian dan grafik di atas untuk setiap Parameter Marshall, maka dapat diketahui kadar aspal yang ideal. Hal ini dapat menunjukkan bahwa kadar aspal yang ideal terletak pada pertengahan kisaran persyaratan dan spesifikasi. Lihat Gambar 4.9 untuk informasi lebih lanjut,



Gambar 4.9 Diagram Batang Kadar Aspal Optimum

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Keterangan:

- = Rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi.
- = Batas minimum dan batas maksimum
- - - - - = Kadar aspal optimum

Pada diagram di atas nilai kadar aspal minimum sebesar **6,09%** (a), sedangkan nilai kadar aspal maksimum sebesar **6,95%** (b). Perhitungan grafik menggunakan perhitungan

otomatis Microsoft Excell sehingga langsung didapat angka pada rentang batas bawah dan batas atas setiap Parameter *Marshall*. Maka, diperoleh nilai tengah dari kedua rentang kadar aspal tersebut dengan menggunakan persamaan matematika dengan rumus:

$$KAO = \frac{a + b}{2} = \frac{6,09 + 6,95}{2} = 6,52 \%$$

4.1.11 Pembuatan Rancangan Benda Uji dengan Menggunakan Kadar Aspal Optimum

Menyusul tercapainya komposisi aspal ideal (6,52%) dari temuan pemadatan pertama. Kombinasi benda uji yang selanjutnya akan terkena pemadatan yang bervariasi kemudian dibuat dengan menggunakan kadar aspal yang ideal. Ada dua objek uji untuk masing-masing dari empat skenario berikut: dua tabrakan 40, dua tabrakan 50, dua tabrakan 60, dan dua tabrakan 70. Tabel 4.24 menunjukkan komposisi campuran menggunakan jumlah aspal yang ideal.

Tabel 4.24 Komposisi Campuran Lataston (*HRS-Base*)

Komponen	Komposisi Agregat (%)	Kadar Aspal Optimum (6,52)	Berat Timbangan
		(%)	(gr)
Batu Pecah 3/4"	15%	14,02	168,26
Batu Pecah 1/2"	35%	32,72	392,62
Abu Batu	48%	44,87	538,44
<i>Filler</i> (Semen)	2%	1,87	22,44
Total Agregat Campuran	100%	93,48	1121,76
Berat Aspal		6,52	78,24
Total Campuran		100	1200,00

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

4.1.12 Pemadatan Benda Uji Menggunakan *Manual Marshall Compactor* dengan Variasi Tumbukan 2 x 40, 2 x 50, 2 x 60, dan 2 x 70 Tumbukan.

Setelah pembuatan benda uji, selanjutnya dilakukan pemadatan dengan alat *Manual Marshall Compactor* dengan variasi pemadatan yaitu 2 x 40, 2 x 50, 2 x 60, dan 2 x 70 tumbukan, sebanyak 8 benda uji dengan masing-masing tumbukan sebanyak 2 benda uji.

4.1.13 Pengujian *Marshall* untuk Mengetahui Parameter *Marshall*

Hasil pengujian *marshall* dengan variasi jumlah tumbukan dapat dilihat pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Nilai-Nilai Parameter *Marshall* Hasil Uji Variasi Jumlah Tumbukan

Jumlah Tumbukan	Benda Uji	Stabilitas	<i>Flow</i>	<i>MQ</i>	<i>VMA</i>	<i>VIM</i>	<i>VFA</i>	Kepadatan
		(kg)	(mm)	(kg/mm)	(%)	(%)	(%)	(gr/cm ³)
		Min. 600	-	Min. 250	Min. 17	Min. 3-5	Min.68	-
2 x 40 Tumbukan	A	847,16	3,50	242,05	19,26	5,18	73,11	2,27
	B	835,23	3,40	245,65	19,34	5,26	72,77	2,27
	Rata-Rata	841,19	3,45	243,85	19,30	5,22	72,94	2,271
2 x 50 Tumbukan	A	962,18	3,32	289,81	18,24	3,97	78,21	2,27
	B	985,09	3,40	289,73	18,35	4,10	77,64	2,27
	Rata-Rata	973,63	3,36	289,77	18,29	4,04	77,92	2,30
2 x 60 Tumbukan	A	1092,00	3,30	330,91	17,46	3,06	82,48	2,32
	B	1116,82	3,40	343,64	17,30	2,88	83,37	2,33
	Rata-Rata	1104,41	3,28	337,21	17,38	2,97	82,93	2,325
2 x 70 Tumbukan	A	1133,52	3,20	354,24	16,72	2,19	86,90	2,34
	B	1169,32	3,15	371,21	17,31	2,89	83,31	2,33
	Rata-Rata	1151,42	3,18	362,72	17,02	2,54	85,10	2,335

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Dari hasil pengujian *marshall* setelah dilakukan variasi tumbukan pada tabel 4.25, dilihat bahwa pada jumlah tumbukan 2 x 50 seluruh Parameter *marshall* memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Pada jumlah 2 x 40 tumbukan, nilai *MQ* kurang dari standar serta nilai *VIM* melebihi batas maksimum. Dan pada jumlah tumbukan 2 x 60 dan 2 x 70 tumbukan, nilai *VIM* kurang dari batas minimum.

4.2 Pembahasan

Hasil pengujian karakteristik fisik material *Quarry* Pariti diperoleh nilai-nilai yang memenuhi ketentuan-ketentuan yang disyaratkan pada Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 dapat dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26 Karakteristik Fisik Material *Quarry* Pariti

No	Jenis Material	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1.	Agregat Kasar Batu Pecah 3/4"	Berat jenis (<i>Bulk</i>)	2,699%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Berat jenis kering permukaan (<i>SSD</i>)	2,680%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Berat jenis semu (<i>Apparent</i>)	2,698%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Penyerapan air	0,403%	Maks. 3%	Memenuhi
		Material lolos ayakan No. 200	Maks. 1%	0,08%	Memenuhi
2.	Agregat Kasar Batu Pecah 1/2"	Berat jenis (<i>Bulk</i>)	2,76%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Berat jenis kering permukaan (<i>SSD</i>)	2,785%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Berat jenis semu (<i>Apparent</i>)	2,824%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Penyerapan air	0,748%	Maks. 3%	Memenuhi
		Material lolos ayakan No. 200	Maks. 1%	0,26%	Memenuhi
3.	Agregat Kasar Batu Pecah 3/4" dan 1/2"	Abrasi	25,97%	Maks. 40%	Memenuhi
		Gradasi Agregat Gabungan	Tabel 4.9 Gradasi Agregat Gabungan	Tabel 6.3.2.3 Amplop Gradasi Agregat Gabungan	Memenuhi
		Kekekalan bentuk agregat terhadap aspal	95%	Min. 95%	Memenuhi
		Butir pecah pada agregat kasar	98,07/93,07	Min. 95/90*	Memenuhi
		Partikel pipih dan lonjong	5,5% dan 9,6%	Maks. 10%	Memenuhi
4.	Agregat Halus	Berat jenis (<i>Bulk</i>)	2,514%	Tidak	Tidak disyaratkan

No	Jenis Material	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
	Abu Batu			disyaratkan	
		Berat jenis kering permukaan (<i>SSD</i>)	2,582%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Berat jenis semu (<i>Apparent</i>)	2,608%	Tidak disyaratkan	Tidak disyaratkan
		Penyerapan air	2,71%	Maks. 3%	Memenuhi
		Material lolos ayakan No. 200	3,07%	Maks. 10%	
		Gradasi Agregat Gabungan	Tabel 4.9 Gradasi Agregat Gabungan	Tabel 6.3.2.3 Amplop Gradasi Agregat Gabungan	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Seluruh hasil pengujian memenuhi standar, berdasarkan temuan pengujian yang dilakukan terhadap agregat kasar batu pecah berukuran $\frac{3}{4}$ " dan $\frac{1}{2}$ ", serta agregat halus abu batu yang dikumpulkan dari Tambang Pariti. Selain itu, ditemukan bahwa nilai yang diperoleh dari pengujian gradasi agregat kasar dan agregat halus berada di antara batas atas dan batas bawah selubung gradasi agregat gabungan. Dengan demikian, dari hasil pengujian terhadap karakteristik fisik material dari *Quarry* Pariti yang diolah oleh PT. Cahaya Berlian Jaya Abadi dapat digunakan sebagai bahan penyusun campuran Lataston (*HRS-Base*) karena telah memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.

Selanjutnya, nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh dengan menggunakan material dari *Quarry* Pariti telah ditunjukkan pada diagram batang Kadar Aspal Optimum (KAO) di atas, dimana nilai kadar aspal minimum sebesar **6,09%** (a), sedangkan nilai kadar aspal maksimum sebesar **6,95%** (b). Maka, diperoleh nilai tengah dari kedua rentang kadar aspal tersebut dengan menggunakan persamaan matematika dengan rumus:

$$KAO = \frac{a + b}{2} = \frac{6,09 + 6,95}{2} = 6,52\%$$

Dengan demikian, nilai kadar aspal optimum pada campuran Lataston (*HRS-Base*) dengan menggunakan material dari *Quarry* Pariti adalah 6,52%.

Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) digunakan dalam pengujian variasi tumbukan (2x40, 2x50, 2x60, 2x70) terhadap *briket* aspal, diperoleh hasil pengujian dan hubungan variasi tumbukan terhadap parameter-parameter *marshall*.

1. Hubungan Variasi Tumbukan dengan Stabilitas

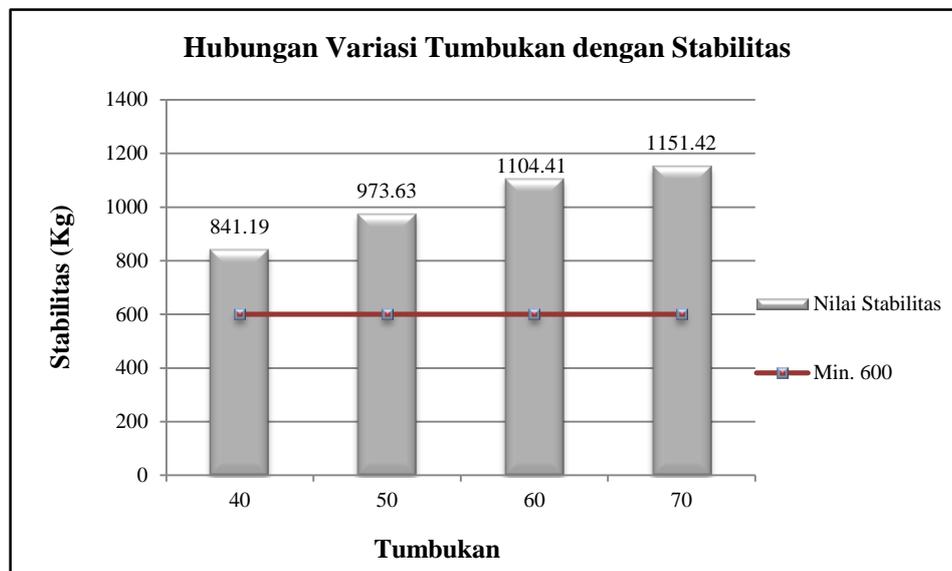
Hubungan variasi tumbukan dengan stabilitas dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Hubungan Variasi Tumbukan dengan Stabilitas

Sifat-Sifat	Tumbukan			
	2 x 40	2 x 50	2 x 60	2 x 70
Stabilitas (kg)	841,19	973,63	1104,41	1151,42

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Berdasarkan Tabel 4.27, diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan variasi tumbukan dengan stabilitas dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan Stabilitas

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Menurut Teori pada Bab 2, II-28, stabilitas adalah kapasitas lapisan keras untuk mentolerir deformasi yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang beroperasi di atasnya tanpa mengalami perubahan morfologi jangka panjang seperti gelombang (*was boarding*) dan alur (*ruting*).

Dari hasil pengujian pada Tabel 4.27 dan Gambar 4.10 terlihat bahwa nilai kestabilan meningkat seiring bertambahnya tumbukan dan menurun seiring berkurangnya tumbukan. Dengan persentase perbandingan sebesar 15,74%, nilai kestabilan pada variasi tumbukan $2 \times 50 = 973,63$ kg mengalami penurunan seiring dengan berkurangnya jumlah tumbukan $2 \times 40 = 841,19$ kg. Nilai stabilitas yang rendah menunjukkan kerapatan campuran berkurang sehingga bidang kontak antar agregat rendah dan agregat tidak saling mengunci dengan baik (*interlocking*) antar butir agregat berkurang sehingga dapat mengakibatkan gelombang dan alur (*Teori pada Bab 2, II-28*). Nilai stabilitas mengalami peningkatan pada saat bertambahnya jumlah tumbukan $2 \times 60 = \mathbf{1104,41}$ kg dengan presentase perbandingan 13,43% dan pada saat tumbukan $2 \times 70 = \mathbf{1151,42}$ kg dengan presentase perbandingan 4,26%, sehingga kerapatan campuran semakin lebih baik dan agregat dalam campuran saling mengunci dengan baik (*Teori pada Bab 2, II-28*). Nilai stabilitas dari keempat variasi tumbukan tersebut memenuhi nilai stabilitas yang disyaratkan pada Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yakni nilai minimum adalah 600 kg.

2. Hubungan Variasi Tumbukan dengan Kelelehan (*Flow*)

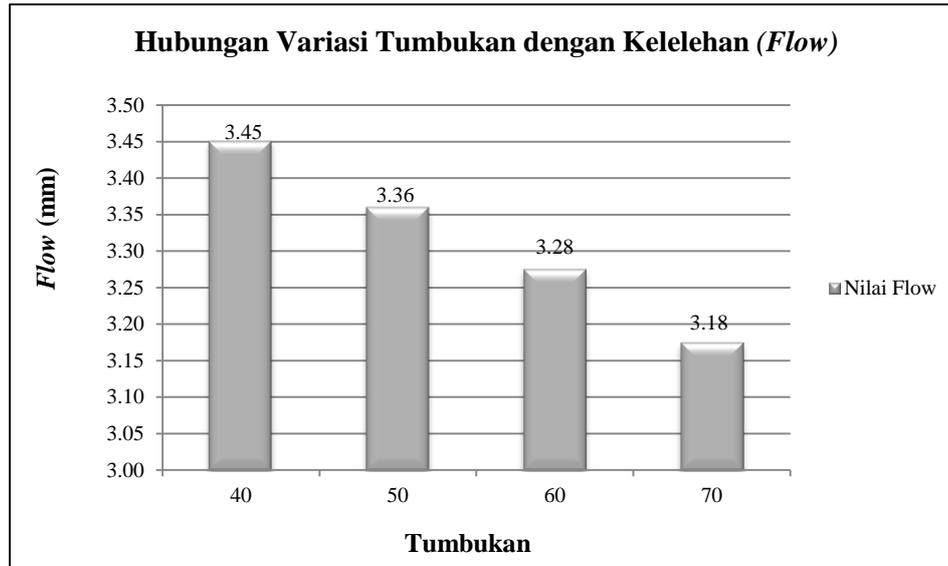
Hubungan variasi tumbukan dengan kelelehan (*flow*) dapat dilihat pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Hubungan Variasi Tumbukan dengan Kelelehan (*Flow*)

Sifat-Sifat	Tumbukan			
	2 x 40	2 x 50	2 x 60	2 x 70
<i>Flow</i> (mm)	3,45	3,36	3,28	3,18

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Berdasarkan Tabel 4.28, maka diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan variasi tumbukan dengan *flow* yang dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan Flow

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Untuk menunjukkan besarnya deformasi yang diakibatkan lapisan perkerasan akibat memikul beban yang diterimanya, maka luluh (aliran) adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi sejak awal pembebanan hingga ketahanannya berkurang (Teori pada Bab 2 ,II-28).

Dari temuan pengujian pada Tabel 4.28 dan Gambar 4.11 terlihat jelas bahwa nilai aliran meningkat dengan menurunnya frekuensi tumbukan dan menurun dengan meningkatnya frekuensi tumbukan. Nilai alirannya tinggi, 3,45 mm, bila jumlah tumbukan 2 x 40, berdasarkan temuan perhitungan laboratorium. Ringkasnya, suatu campuran dengan nilai alir yang tinggi akan mempunyai massa jenis yang lebih rendah dan rongga yang lebih banyak sehingga lebih rentan terhadap perubahan bentuk seperti gelombang (washbording) yang dapat terjadi akibat beban yang merusak bentuk campuran tersebut (Teori pada Bab 2, II -28). Lalu pada saat jumlah tumbukan 2 x 50 nilai *flow* = **3,36 mm** dengan presentase perbandingan 2,68% , pada tumbukan 2 x 60 nilai *flow* = **3,28 mm** dengan presentase perbandingan 2,44%, dan pada tumbukan 2 x 70 nilai *flow*= **3,18 mm** dengan presentase perbandingan 3,14%. Jelas terlihat bahwa nilai aliran menurun seiring dengan meningkatnya jumlah tumbukan. Kombinasi dengan nilai aliran yang rendah akan menjadi kaku sehingga lebih rentan terjadinya keretakan pada lapisan perkerasan (Teori pada Bab 2, II-28).

3. Hubungan Variasi Tumbukan dengan *Marshall Quotient (MQ)*

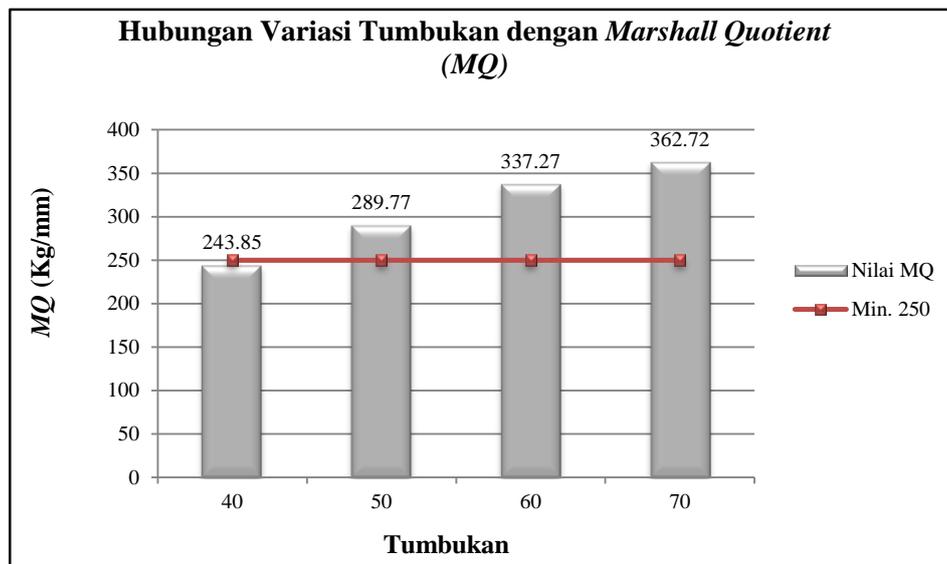
Hubungan variasi tumbukan dengan *Marshall Quotient (MQ)* dapat dilihat pada Tabel 4.29.

Tabel 4.29 Hubungan Variasi Tumbukan dengan *MQ*

Sifat-Sifat	Tumbukan			
	2 x 40	2 x 50	2 x 60	2 x 70
<i>MQ</i> (kg/mm)	243,85	289,77	337,27	362,72

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Berdasarkan Tabel 4.29, diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan variasi tumbukan dengan *MQ* yang dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan *MQ*

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* berbanding lurus dengan nilai stabilitas namun berbanding terbalik dengan nilai *flow*, apabila nilai stabilitas tinggi tapi nilai *flow* rendah maka akan menyebabkan nilai *MQ* semakin tinggi, namun apabila nilai stabilitas rendah dan nilai *flow* tinggi maka akan menyebabkan nilai *MQ* menjadi semakin rendah (*Teori pada Bab 2, II-29*).

Hasil pengujian pada Tabel 4.29 dan Gambar 4.12 menunjukkan bahwa nilai MQ meningkat dengan meningkatnya tumbukan dan berkurang dengan berkurangnya tumbukan. Berdasarkan hasil laboratorium dapat disimpulkan bahwa nilai $MQ = 243,85$ (kg/mm) mengalami penurunan bahkan turun dibawah nilai batas yang dipersyaratkan pada saat jumlah tanaman diturunkan menjadi 2 x 40 tumbukan. Apabila terkena beban lalu lintas yang berat, nilai MQ yang rendah menunjukkan bahwa campuran aspal panas akan lebih lentur, cenderung menjadi plastis dan mudah dibentuk serta cepat berubah bentuk (Teori pada Bab 2, II-30). Pada saat jumlah tumbukan 2 x 50 nilai $MQ = 289,77$ (kg/mm) dengan presentase perbandingan 18,83%, pada tumbukan 2 x 60 nilai $MQ = 337,27$ (kg/mm) dengan presentase perbandingan 16,39%, dan pada jumlah tumbukan 2 x 70 nilai $MQ = 362,72$ (kg/mm) dengan presentase perbandinan 7,55%. Dapat disimpulkan bahwa seiring bertambahnya tumbukan maka nilai MQ menjadi semakin tinggi. Semakin tinggi nilai MQ mengakibatkan campuran menjadi kaku dan mudah retak (Teori pada Bab 2, II-29).

4. Hubungan Variasi Tumbukan dengan *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

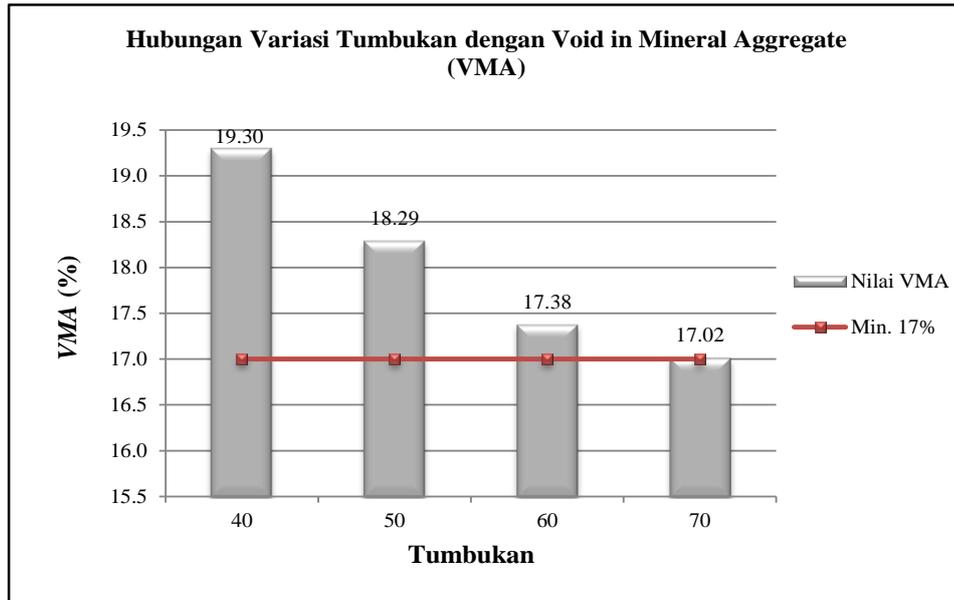
Hubungan variasi tumbukan dengan VMA dapat dilihat pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Hubungan Variasi Tumbukan Pematatan dengan VMA

Sifat-Sifat	Tumbukan			
	2 x 40	2 x 50	2 x 60	2 x 70
VMA (%)	19,30	18,29	17,38	17,02

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Berdasarkan Tabel 4.30, diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan variasi tumbukan pematatan dengan VMA yang dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan VMA

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Ruang udara di antara butiran agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kandungan aspal efektif yang dinyatakan dalam persentase terhadap volume total, dikenal sebagai rongga dalam Mineral Agregat (VMA) (Teori pada Bab 2, II-29).

Terlihat dari hasil pengujian pada Tabel 4.30 dan Gambar 4.13 bahwa VMA meningkat ketika jumlah tumbukan dikurangi menjadi 2 x 40 tumbukan, dengan nilai VMA sebesar 19,30%. Nilai VMA tinggi disebabkan banyak rongga udara antar butir agregat yang masih terbentuk ketika campuran dipadatkan sehingga campuran tidak dapat mengikat dengan baik. Pada saat jumlah tumbukan ditambah menjadi 2 x 50 tumbukan nilai VMA = **18,29%** dengan presentase perbandingan 5,52%, pada tumbukan 2 x 60 nilai VMA = **17,38%** dengan presentase perbandingan 5,24%, dan pada saat tumbukan 2 x 70 nilai VMA = **17,02%** dengan presentase perbandingan 2,12%. Dapat disimpulkan bahwa seiring bertambahnya tumbukan maka nilai VMA menjadi kecil. Hal ini dikarenakan campuran menjadi lebih rapat atau rongga udara antar butir agregat menjadi makin kecil dan makin sedikit sebab aspal mampu mengisi lebih banyak rongga-rongga yang ada (Teori pada Bab 2, II-29). Dari grafik diagram batang diatas dapat dilihat bahwa keempat variasi jumlah tumbukan memenuhi syarat minimum untuk nilai VMA yaitu 17% sesuai yang disyaratkan pada Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2.

5. Hubungan Variasi Tumbukan dengan *Void in Mix (VIM)*

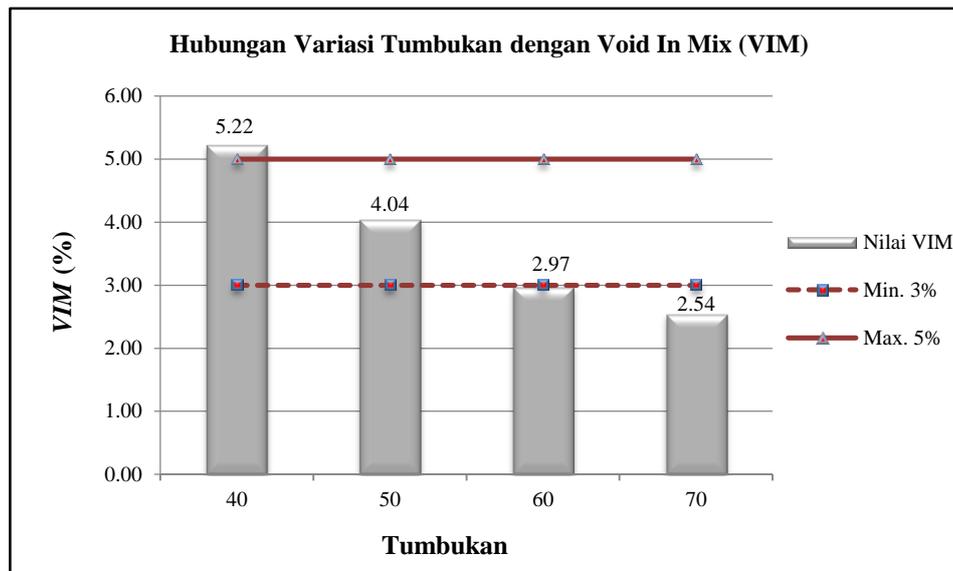
Hubungan variasi tumbukan dengan *Void in Mix (VIM)* dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31 Hubungan Variasi Tumbukan Pemadatan dengan *VIM*

Sifat-Sifat	Tumbukan			
	2 x 40	2 x 50	2 x 60	2 x 70
<i>VIM</i> (%)	5,22	4,04	2,97	2,54

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Berdasarkan Tabel 4.31, diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan variasi tumbukan pemadatan dengan *VIM* yang dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan *VIM*

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023

Void in Mix (VIM) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran (*Teori pada Bab 2, II-30*).

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.31 dan Gambar 4.14 dilihat bahwa nilai *VIM* akan mengalami penurunan pada saat jumlah tumbukan ditambah dan akan bertambah jika jumlah tumbukan dikurangi. Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa pada saat 2 x 40 tumbukan nilai *VIM* tinggi yaitu = **5,22%**, hasil ini menunjukkan bahwa masih banyak rongga yang terbentuk dalam campuran sehingga kerapatan campuran berkurang. Pada saat

jumlah tumbukan 2 x 50 nilai $VIM = 4,04\%$ dengan presentase perbandingan 29,21%, pada jumlah tumbukan 2 x 60 nilai $VIM = 2,97\%$ dengan jumlah presentase kehadiran 36,03%, dan pada saat jumlah 2 x 70 tumbukan nilai $VIM = 2,54\%$ dengan presentase perbandingan 16,93%. Dapat dilihat bahwa saat jumlah tumbuhkan ditambah maka nilai VIM menjadi lebih rendah. Nilai VIM yang rendah membuat campuran mampu melekat dengan rapat dan dengan sendirinya rongga dalam campuran berkurang dan kerapatan campuran bertambah (*Teori pada Bab 2, II-30*). Dari grafik diagram batang diatas, jumlah tumbukan yang nilai VIM -nya masuk dalam rentang batas bawah dan rentang batas atas yang diisyatkan pada Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu pada tumbukan 2 x 50.

6. Hubungan Variasi Tumbukan dengan Void Filled with Asphalt (VFA)

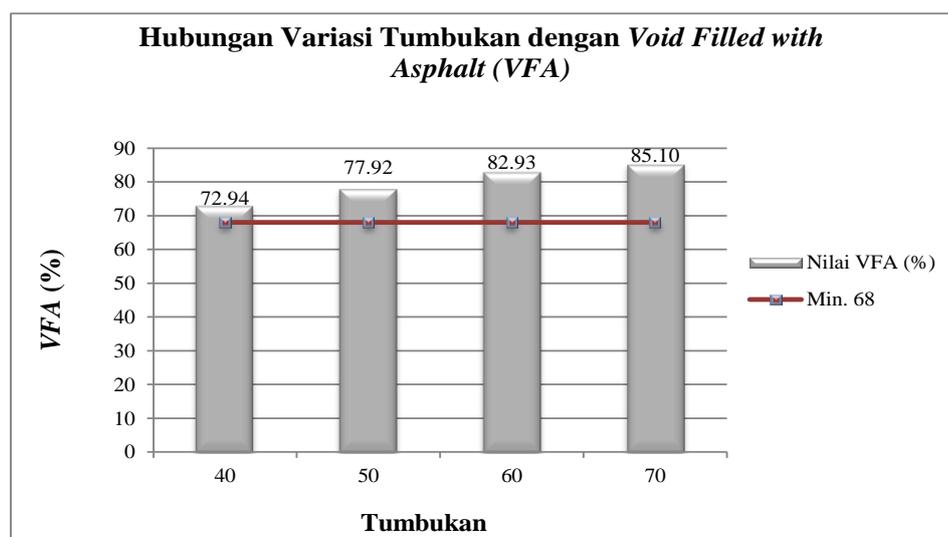
Hubungan variasi tumbukan dengan VFA dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32 Hubungan Variasi Tumbukan dengan VFA

Sifat-Sifat	Tumbukan			
	2 x 40	2 x 50	2 x 60	2 x 70
VFA (%)	72,94	77,92	82,93	85,10

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Berdasarkan Tabel 4.32, diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan variasi tumbukan pemadatan dengan VFA yang dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Grafik Hubungan Variasi Tumbukan dengan VFA

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023.

Proporsi rongga dalam campuran yang terisi aspal setelah pemadatan dikenal dengan istilah VFA (Void Filled with Asphalt) (Teori pada Bab 2, II-30).

Temuan pengujian yang disajikan pada Tabel 4.32 dan Gambar 4.15 menunjukkan bahwa jumlah tumbukan mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap besar kecilnya skor VFA. Berdasarkan grafik di atas, nilai VFA menjadi 72,94% lebih kecil jika jumlah tumbukan lebih sedikit—dua kali lebih banyak dibandingkan jika jumlah tumbukan lebih banyak—dengan nilai VFA sebesar 77,92% dan persentase perbandingannya menjadi 6,83% untuk jumlah tumbukan dua kali lebih banyak. , 82,93% dan 6,43% untuk dua kali lebih banyak tumbukan, dan 85,10% dan 77,92%, masing-masing, untuk dua kali lebih banyak tumbukan. Karena ruang antar butiran agregat terlebih dahulu terisi udara dan selanjutnya terisi aspal pada saat proses pemadatan, maka nilai VFA yang tinggi menunjukkan semakin banyak rongga pada campuran yang diisi aspal. Ketahanan campuran terhadap udara dan air juga besar bila nilai VFA tinggi. Namun angka VFA yang terlalu tinggi dapat menyebabkan perdarahan. Karena lapisan aspal yang tipis dan mudah retak, nilai VFA yang rendah membuat campuran menjadi kurang kedap terhadap udara dan air (Teori pada Bab 2, II-30). Terlihat juga dari diagram batang di atas bahwa keempat varian tumbukan berada dalam batas yang diperbolehkan dan memenuhi nilai batas minimum VFA.

7. Hubungan Variasi Tumbukan dengan Kepadatan (*Density*)

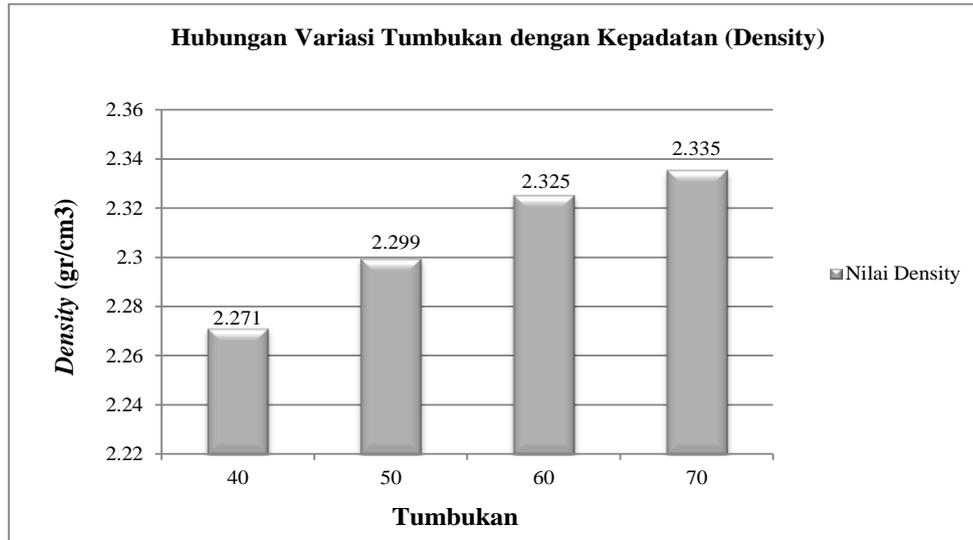
Hubungan Variasi Tumbukan dengan Kepadatan dapat dilihat pada Tabel 4.33.

Tabel 4.33 Hubungan Variasi Tumbukan dengan Kepadatan

Sifat-Sifat	Tumbukan			
	2 x 40	2 x 50	2 x 60	2 x 70
Kepadatan (gr/cm ³)	2,271	2,299	2,325	2,335

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Berdasarkan Tabel 4.33, diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan variasi tumbukan dengan kepadatan yang dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Grafik Hubungan Variasi Tumbukan Pemadatan dengan Kepadatan

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium PUPR Prov. NTT, November 2023.

Kepadatan (*density*) merupakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik (*Teori pada Bab 2, II-30*).

Berdasarkan hasil pengujian, pada Tabel 4.33 dan Gambar 4.16 terlihat bahwa pada saat jumlah tumbukan 2 x 40 nilai kepadatan kecil yaitu **2,271 gr/cm³** dibandingkan pada saat jumlah tumbukan ditambah menjadi 2 x 50 tumbukan nilai kepadatan = **2,299 gr/cm³** dengan presentase perbandingan 1,23%, pada saat 2 x 60 tumbukan nilai kepadatan = **2,325 gr/cm³** dengan presentase perbandingan 1,13%, dan pada saat 2 x 70 tumbukan nilai kepadatan = **2,335 gr/cm³** dengan presentase perbandingan 0,43%. Karena butiran agregat mempunyai bidang kontak yang luas dan semakin banyak pula gesekan yang dihasilkan dari gesekan tersebut, maka semakin banyak tumbukan maka campuran aspal akan semakin padat dan kemampuannya menahan beban yang lebih berat dibandingkan dengan campuran yang mempunyai kepadatan rendah. kombinasinya, semakin sedikit udara dan air yang dapat dilewatinya. Demikian pula kepadatan campuran aspal akan berkurang jika benturannya sedikit. Hal ini akan menghasilkan lebih banyak ruang udara terbuka pada campuran aspal sehingga memungkinkan terbentuknya alur (*Teori pada Bab 2, II-30*).