

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengambilan Data

4.1.1 Kronologis Pengambilan Data

Pada penelitian ini material yang digunakan berasal dari Kabupaten Sikka yaitu batu pecah $\frac{1}{2}$, batu pecah $\frac{3}{4}$, pasir, abu batu diambil dari quarry Mage Ramut, Desa Mahe Kelan, Kecamatan Waigete. Sedangkan material abu sekam padi berasal dari quarry Bapa Rino Gala, Kecamatan Waigete. Abu sekam padi yang digunakan merupakan jenis abu sekam padi Hidrada. Kedua sampel diuji sesuai dengan tujuan penelitian.

Pada penelitian ini proses pengambilan material diambil dengan metode random sampling (secara acak) pada lokasi quarry sehingga diharapkan dapat mewakili keseluruhan tumpukan material yang ada. Peralatan yang digunakan berupa sekop dan karung.

Pengambilan sampel dilakukan dengan cara menyekop material secara acak dari bagian atas, tengah, bawah, lalu dimasukkan ke dalam karung yang sudah disiapkan. Pengambilan sampel meliputi 5 jenis material yaitu batu pecah $\frac{1}{2}$, batu pecah $\frac{3}{4}$, pasir, abu batu dan abu sekam padi 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

1. Persiapan Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian di laboratorium berupa satu set saringan, mesin *Los Angeles*, timbangan, *Marshall Test*, *Waterbath*, termometer, oven, wajan, kompor gas, dan alat bantu lainnya. Alat yang digunakan harus terkalibrasi sebelumnya serta memastikan alat dalam kondisi baik dan bersih serta bebas dari lempung.

2. Persiapan Material

Material yang digunakan diambil dari tempat penumpukan material *Quarry* Mage Ramut milik PT. Feva berupa Batu Pecah $\frac{3}{4}$, Batu Pecah $\frac{1}{2}$, Abu Batu dan Semen.

4.1.3 Data

Dalam penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data yang masuk dalam data primer adalah pengujian abrasi, berat jenis dan penyerapan air dan gradasi pada fraksi agregat kasar, berat jenis dan penyerapan air dan gradasi pada agregat halus yaitu pasir, abu batu, dan pengujian gradasi dan berat jenis pada *filler* yaitu Semen . dan abu sekam padi. Sedangkan data yang termasuk dalam data sekunder adalah pengujian penetrasi, titik lebek, berat jenis, daktalitas pada aspal dan pengujian kelekatan agregat terhadap aspal. Data sekunder diperoleh dari Laboratorium Pengujian Bina Teknis Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Timur, yaitu menggunakan material aspal penetrasi 60/70 produksi Pertamina.

4.2 Analisis Data dan Pembahasan

4.2.1 Pengujian Terhadap Agregat Kasar

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

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar bertujuan untuk memperoleh angka berat jenis bulk, berat jenis permukaan jenuh dan berat jenis semu serta besarnya angka penyerapan dari agregat kasar. Dalam pengujian ini 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 4.1 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	2666.0	2779.0	gram	
Berat benda uji di dalam air	BA	1625.0	1704.0	gram	
Berat benda uji kering oven	BK	2644.0	2750	gram	
Uraian		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	$\frac{Bk}{Bj - Ba}$	2.540	2.558	2.549	-
Berat Jenis (ssd)	$\frac{Bj}{Bj - Ba}$	2.561	2.585	2.573	-
Berat Jenis (apparent)	$\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2.595	2.629	2.612	-
Penyerapan Air	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	0.832	1.055	0.943	Max 3

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 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	2441	2898	gram	
Berat benda uji di dalam air	BA	1494	1764	gram	
Berat benda uji kering oven	BK	2421	2880	gram	
Uraian		A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	$\frac{Bk}{Bj - Ba}$	2.556	2.540	2.548	-
Berat Jenis (ssd)	$\frac{Bj}{Bj - Ba}$	2.578	2.556	2.567	-
Berat Jenis (apparent)	$\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2.612	2.581	2.596	-
Penyerapan Air	$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$	0.826	0.625	0.726	Max 3

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

Yang dimaksud dengan berat jenis bulk ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat keadaan jenuh pada suhu 25°C, berat jenis permukaan jenuh yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C, berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C dan penyerapan adalah

kemampuan agregat untuk menyerap air dalam kondisi kering sampai dengan kondisi jenuh permukaan kering dinyatakan dalam persen.

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 arkimedes 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, apperent dan penyerapan. Dari hasil perhitungan untuk batu pecah $\frac{3}{4}$, dihasilkan berat jenis bulk 2,549, berat jenis saat SSD 2,573, berat jenis semu 2,612 dan penyerapannya 0,943. Sedangkan hasil perhitungan untuk batu pecah $\frac{1}{2}$, dihasilkan berat jenis bulk 2,548, berat jenis saat SSD 2,567, berat jenis semu 2,596 dan penyerapannya 0,726.

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 Keausan Agregat (Abrasi)

Pengujian keausan agregat menggunakan mesin *Los Angeles* yang bertujuan untuk mengetahui daya tahan agregat terhadap bahan mekanis seperti gaya-gaya yang terjadi selama proses pelaksanaan pekerjaan jalan (penimbunan, penghamparan, pemadatan), pelayanan terhadap baban lalu lintas dan proses kimiawi seperti pengaruh kelembaban, perubahan suhu. Hasil pengujian abrasi terhadap agregat kasar dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Keausan Agregat

Gradasi Pemeriksaan		GRADING (B)	
Ukuran Saringan		I	
Lolos	Tertahan	Berat (a)	
76.2 (3")	63.5 (2 1/2")		
63.5 (2 1/2")	50.8 (2")		
50.8 (2")	36.1 (1 1/2")		
36.1 (1 1/2")	25.4 (1")		
25.4 (1")	19.1 (3/4")		
19.1 (3/4")	12.7 (1/2")	2500	
12.7 (1/2")	9.52 (3/8")	2500	
9.52 (3/8")	6.35 (1/4")		
6.35 (1/4")	4.75 (No.4)		
4.75 (No.4)	2.36 (No.8)		
Jumlah Berat		5000	
Berat tertahan saringan No.12 sesudah percobaan (b)		3710	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

Pengujian ini untuk mengetahui angka keausan agregat kasar yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No.12 (1,7 mm) terhadap berat semula dalam persen, apabila menggunakan saringan diatas No.12 maka nilai abrasi akan cenderung tinggi. Hal ini dikarenakan jumlah agregat yang tertahan menjadi lebih sedikit akibat ukuran bukaan saringan yang terlalu besar, sebaliknya apabila menggunakan saringan dibawah No.12 maka nilai abrasi akan cenderung rendah. Hal ini dikarenakan jumlah agregat yang tertahan menjadi lebih banyak akibat ukuran bukaan saringan yang terlalu kecil.

Agregat pada permukaan perkerasan memerlukan kekerasan dan daya tahan terhadap aus yang lebih besar dibandingkan dengan agregat yang letaknya pada lapisan lebih bawah, karena bagian atas perkerasan menerima beban lebih besar. Proses aus terjadi dari proses

pencampuran, pengangkutan dan penghamparan. Setelah jalan dioperasikan agregat akan mengalami aus lagi oleh roda-roda kendaraan (lalu lintas). Oleh karena itu, agregat harus memiliki daya tahan yang cukup terhadap pemecahan (*crushing*), penurunan mutu (*degradation*) dan penghancuran (*disintegration*).

c. Pengujian Gradasi

Pengujian gradasi atau analisa saringan dilakukan terhadap agregat kasar, yaitu batu pecah $\frac{3}{4}$, dan batu pecah $\frac{1}{2}$ yang dilakukan dengan cara menyaring masing-masing material. Pengujian gradasi dilakukan masing-masing agregat dengan dua contoh benda uji kemudian kedua hasil pengujian dirata-ratakan. Nilai rata-rata inilah yang akan digunakan dalam perhitungan proporsi agregat gabungan. Hasil pengujian gradasi batu pecah $\frac{3}{4}$ dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Gradasi Batu Pecah $\frac{3}{4}$

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 3174				Rata-Rata
				Berat benda uji II (g) = 3323				
(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	1508	2550	47.51	76.74	52.49	23.26	37.88
3/8	9.50	2794	3184	88.03	95.82	11.97	4.18	8.08
No.4	4.75	3162	3307	99.62	99.52	0.38	0.48	0.43
No.8	2.36							
No.16	1.18							
No.30	0.600							
No.50	0.300							
No.100	0.150							
No.200	0.075							

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

Hasil pengujian gradasi batu pecah ½ dapat dilihat pada tabel 4.5 di bawah ini:

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Gradasi Batu Pecah ½

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 3144				Rata-Rata
				Berat benda uji II (g) = 3005				
(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	100.00
3/8	9.50	174	55	5.53	1.83	94.47	98.17	96.32
No.4	4.75	3050	2878	97.01	95.77	2.99	4.23	3.61
No.8	2.36	3137	2995	99.78	99.67	0.22	0.33	0.28
No.16	1.18	3142	2997	99.94	99.73	0.06	0.27	0.16
No.30	0.60							
No.50	0.30							
No.100	0.15							
No.200	0.075							

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

Ukuran maksimum agregat yaitu menunjukkan ukuran saringan terkecil dimana agregat yang lolos saringan tersebut sebanyak 100%. Pengujian analisis saringan agregat kasar batu pecah ¾ menunjukkan bahwa ukuran terkecil dimana agregat lolos 100% adalah saringan ¾ dan untuk batu pecah ½ yang lolos 100% adalah saringan ¾ dan ½ .

Penentuan analisis saringan agregat kasar dilakukan dengan cara menyaring agregat kasar pada satu set saringan, kemudian agregat yang tertahan pada masing-masing saringan ditimbang secara bertahap. Setelah itu, dilakukan perhitungan terhadap persen tertahan dan persen lolos yang akan digunakan dalam perhitungan gradasi agregat gabungan.

4.2.2 Pengujian Terhadap Agregat Halus

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Perhitungan terhadap pengujian berat jenis dan penyerapan air pada material pasir dapat dilihat pada lampiran dan hasil pada tabel 4.6, untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air pada material abu batu dapat dilihat pada lampiran dan hasil pada tabel 4.7.

Tabel 4.6 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	664.0	663.6	gram	
Berat piknometer + air + benda uji Bt	971.0	971.0	gram	
Berat benda uji kering oven (Bk) BK	487.1	488.0	gram	
No. Contoh	A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk) $\frac{Bk}{B + 500 - Bt}$	2.524	2.534	2.529	-
Berat Jenis kering permukaan jenuh $\frac{500}{B + 500 - Bt}$	2.591	2.596	2.593	-
Berat Jenis (apparent) $\frac{Bk}{B + Bk - Bt}$	2.705	2.702	2.703	-
Penyerapan Air $\frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$	2.648	2.459	2.554	Max 3

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Abu Batu

No. Contoh	A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD) 500	500	500	gram	
Berat piknometer + air (25°C) B	659.0	659.3	gram	
Berat piknometer + air + benda uji Bt	967.0	970.0	gram	
Berat benda uji kering oven (Bk) BK	488.0	487.3	gram	
No. Contoh	A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk) $\frac{Bk}{B + 500 - Bt}$	2.542	2.574	2.558	-
Berat Jenis kering permukaan jenuh $\frac{500}{B + 500 - Bt}$	2.604	2.641	2.623	-
Berat Jenis (apparent) $\frac{Bk}{B + Bk - Bt}$	2.711	2.759	2.735	-
Penyerapan Air $\frac{500 - Bk}{Bk} \times 100\%$	2.459	2.606	2.533	Max 3

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

Yang dimaksud dengan berat jenis bulk ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat keadaan jenuh pada suhu 25°C, berat jenis permukaan jenuh yaitu perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu 25°C, berat jenis semu ialah perbandingan antara berat agregat kering dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan kering pada suhu 25°C

dan penyerapan adalah kemampuan agregat untuk menyerap air dalam kondisi kering sampai dengan kondisi jenuh permukaan kering dinyatakan dalam persen.

Untuk menentukan berat jenis bulk, SSD, apparent dan penyerapan maka diperlukan berat SSD, berat benda uji kering, berat piknometer + air dan berat piknometer + air + berat benda uji.

Nilai berat SSD diperoleh dengan cara merendam agregat halus di dalam air 1x24 jam, hal tersebut dilakukan dengan tujuan agar air dapat meresap kedalam pori-pori butiran tersebut. Setelah itu air perendaman dibuang lalu agregat halus diamparkan diatas talam, dikeringkan diudara panas dengan cara membalik balikkannya. Pengeringan dilakukan sampai agregat halus mencapai keadaan kering permukaan jenuh. Setelah itu, agregat halus dimasukkan ke dalam piknometer sebanyak 500 gram kemudian memasukkan air sampai pada batas, lalu dilakukan penimbangan terhadap piknometer untuk mengetahui nilai berat piknometer + air dan berat piknometer + air + benda uji. Agregat dikeluarkan dari piknometer dan dimasukkan ke dalam oven untuk mendapatkan berat kering.

Setelah memperoleh berat kering, berat piknometer + air, berat piknometer + air + contoh dan berat SSD maka dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai berat jenis bulk, SSD, apparent dan penyerapan. Dari hasil perhitungan untuk pasir dihasilkan berat jenis bulk 2,529, berat jenis saat SSD 2,593, berat jenis semu 2,703 dan penyerapannya 2,554. Hasil perhitungan untuk abu batu berat jenis bulk 2,558, berat jenis saat SSD 2,623, berat jenis semu 2,735 dan penyerapannya 2,533.

Dalam pengujian ini berat jenis agregat halus merupakan perbandingan antara berat dan volume dimana berat yang dimaksud adalah berat kering agregat dan volume diperoleh dari berat piknometer + air ditambah dengan berat SSD dikurangi dengan berat piknometer + air + contoh yang menunjukkan besaran pori yang dapat menyerap air. Sedangkan penyerapan berarti tingkat atau kemampuan suatu bahan untuk menyerap air. Nilai penyerapan adalah perubahan berat agregat karena penyerapan air oleh pori-pori dengan agregat pada kondisi kering.

Berat agregat halus pada kondisi SSD mengalami penyusutan setelah agregat halus dikeringkan dalam oven. Hal ini disebabkan adanya penurunan kadar air secara sempurna sehingga tidak ada penyerapan air yang mana sangat berpengaruh, dimana berat agregat

halus mengalami penurunan akibat dari penyusutan kadar air yang terkandung dalam agregat halus.

Dengan demikian berat jenis agregat halus pada saat kering oven lebih kecil dari berat jenis benda uji pada saat SSD. Lain halnya dengan perubahan berat agregat halus saat diuji dalam pignometer dengan penambahan air, hal ini justru menjadikan berat agregat halus bertambah karena adanya penyerapan air oleh agregat halus sehingga kadar air meningkat. Dari hal tersebut menyebabkan berat jenis agregat halus pada saat keadaan tersebut lebih besar dari berat jenis agregat halus pada saat keadaan SSD.

b. Pengujian Gradasi

Pengujian gradasi atau analisa saringan dilakukan terhadap agregat halus, yaitu pasir dan abu batu. Hasil pengujian gradasi atau analisa saringan material pasir dan abu batu dapat dilihat pada tabel 4.8, dan 4.9 di bawah ini:

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Gradasi Pasir

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 2178				Rata-Rata
				Berat benda uji II (g) = 1909				
(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	100	100	100.00
No.8	2.36	158	139	7.25	7.28	92.75	92.72	92.73
No.16	1.18	820	724	37.65	37.93	62.35	62.07	62.21
No.30	0.60	1580	1377	72.54	72.13	27.46	27.87	27.66
No.50	0.30	1894	1661	86.96	87.01	13.04	12.99	13.02
No.100	0.15	2068	1813	94.95	94.97	5.05	5.03	5.04
No.200	0.075	2109	1844	96.83	96.60	3.17	3.40	3.29

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Gradasi Abu Batu

SARINGAN		Jumlah Tertahan		Berat benda uji I (g) = 3120				Rata-Rata
				Berat benda uji II (g) = 2901				
(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	100	100	100.00
No.8	2.36	737	540	23.62	18.61	76.38	81.39	78.88
No.16	1.18	1995	1682	63.94	57.98	36.06	42.02	39.04
No.30	0.60	2522	2191	80.83	75.53	19.17	24.47	21.82
No.50	0.30	2690	2491	86.22	85.87	13.78	14.13	13.96
No.100	0.150	2827	2620	90.61	90.31	9.39	9.69	9.54
No.200	0.075	2963	2754	94.97	94.93	5.03	5.07	5.05

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

Ukuran maksimum agregat yaitu menunjukkan ukuran saringan terkecil dimana agregat yang lolos saringan tersebut sebanyak 100%. Penentuan analisis saringan agregat halus dilakukan dengan cara menyaring agregat halus pada satu set saringan, kemudian agregat yang tertahan pada masing-masing saringan ditimbang secara bertahap, setelah itu dilakukan perhitungan terhadap persen tertahan dan persen lolos yang akan digunakan dalam perhitungan gradasi agregat gabungan.

4.2.3 Pengujian Terhadap Bahan Pengisi (*Filler* Semen)

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air

Perhitungan terhadap pengujian berat jenis dan penyerapan air pada filler semen dan abu sekam padi dapat dilihat pada lampiran dan hasil pada tabel 4.10 dan 4.11.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Filler Semen

No. Contoh			A	B	Satuan	
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500		500	500	gram	
Berat piknometer + air (25°C)	B		654.20	657.20	gram	
Berat piknometer + air + benda uji	Bt		998.90	999.80	gram	
Berat benda uji kering oven (Bk)	BK		492.30	492.40	gram	
			A	B	Rata-Rata	Spec
Berat Jenis (bulk)	Bk		3.170	3.128	3.149	-
	B + 500 - Bt					
Berat Jenis kering permukaan jenuh	500		3.220	3.177	3.199	-
	B + 500 - Bt					
Berat Jenis (apparent)	Bk		3.335	3.287	3.311	-
	B + Bk - Bt					
Penyerapan Air	500 - Bk	x 100	1.564	1.543	1.554	Max 3
	Bk					

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Filler Abu Sekam Padi

PENGUJIAN BERAT JENIS ABU SEKAM PADI			
SNI. M-04-1989-F			
No Contoh	Satuan	I	II
No. Piknometer		a	b
Berat Piknometer + Contoh (W2)	Gram	68,05	49,62
Berat Piknometer (W1)	Gram	57,977	39,593
Berat Sekam (Wt= W2-W1)	Gram	10,038	10,028
Temperatur	C	25,00	25,00
Berat Piknometer + Air + Contoh (W3)	Gram	161,823	143,114
Berat Piknometer + Air (W4)	Gram	157,844	139,182
W5 = W2 - W1 + W4	Gram	167,880	149,20
Isi Abu Sekam (W5 - W3)	Gram	6,06	6,09
Berat Jenis Wt/ (W5 - W3)	%	1,66	1,65
Berat Jenis Rata-Rata		1,652	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

b. Pengujian Gradasi

Pengujian gradasi atau analisa saringan dilakukan terhadap semen kupang yang akan digunakan sebagai pengisi (filler). Hasil pengujian gradasi bahan pengisi (*filler*) dan abu sekam padi dapat dilihat pada tabel 4.12 dan 4.13 di bawah ini:

Tabel 4.12 Pengujian Analisa Saringan Filler Semen

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	
3/4	19,0	0	0	0	0	100	100	100
1/2	12,5	0	0	0	0	100	100	100
3/8	9,5	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	0,6	0	0	0	0	100	100	100
No.50	0,3	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, 2023

Tabel 4.13 Pengujian Analisa Saringan Filler Abu Sekam Padi

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	
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	100.00	100.00	100.00
No.16	1.18	0	0	0	0	100.00	100.00	100.00
No.30	0.600	0	0	0	0	100.00	100.00	100.00
No.50	0.300	2	3	0.40	0.60	99.60	99.40	99.50
No.100	0.150	9	11	1.80	2.20	98.2	97.80	98.00
No.200	0.075	28	32	5.60	6.40	94.4	93.60	94.00

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

4.2.4 Pengujian Aspal

Dalam penelitian ini, pengujian aspal merupakan salah satu data sekunder yang diambil 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 4.13 dibawah ini:

Tabel 4.14 Persyaratan Aspal Keras Pen 60

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 hasil pengujian aspal oleh laboratorium Pengujian Bina Teknis Dinas
Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Timur.

4.3 Rancangan Proporsi Agregat Gabungan

Gradasi agregat gabungan untuk campuran AC-WC adalah gradasi gabungan antara beberapa agregat dengan presentase tertentu untuk mendapatkan agregat dengan gradasi yang sesuai dengan spesifikasi, yang mempunyai gradasi menerus ditunjukkan dalam persen berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan harus berada di dalam daerah batas spesifikasi.

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

Komposisi agregat gabungan dapat diketahui dengan cara grafis penggambaran kurva hubungan antara presentase lolos agregat dan ukuran saringan berada di dalam kurva batas atas dan batas bawah (Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2). Perhitungan presentase agregat gabungan dan penggambaran kurva hubungannya dapat dilihat pada tabel 4.14 dibawah ini:

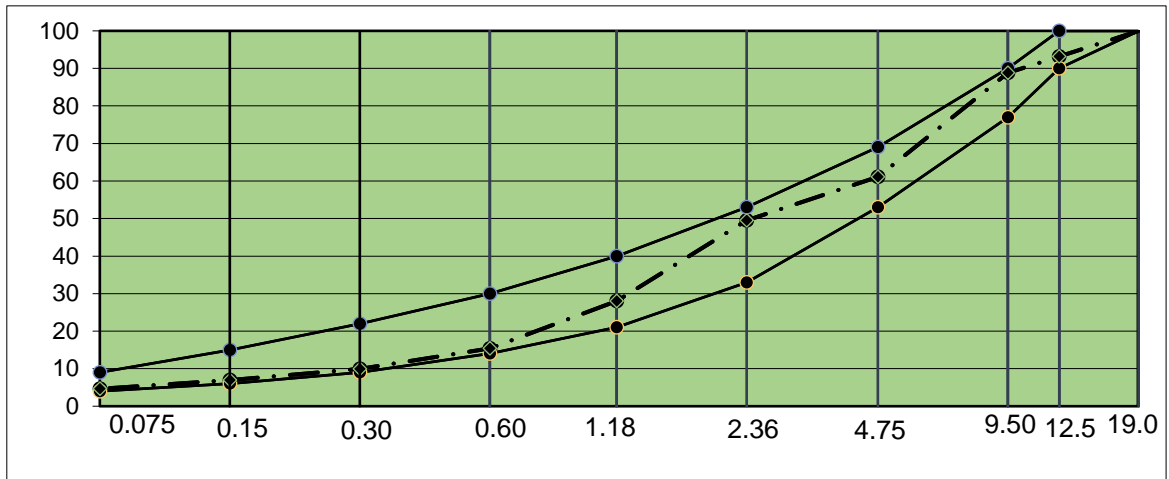
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Gradasi Agregat Gabungan

Uraian		3/4 "	1/2 "	3/8 "	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
Inc		19.1	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
mm											
Data Gradasi											
Batu Pecah 3/4" Ex. Mage Ramut		100.00	37.88	8.08	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Batu Pecah 1/2" Ex. Mage Ramut		100.00	100.00	96.32	3.61	0.28	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00
Abu Batu Ex. Mage Ramut		100.00	100.00	100.00	100.00	78.88	39.04	21.82	13.96	9.54	5.05
Pasir Alam Ex. Mage Ramut		100.00	100.00	100.00	100.00	92.73	62.21	27.66	13.02	5.04	3.29
Filler (Semen Kupang) Ex. Kupang		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.60	97.90	95.60
Combinasi Agregat											
Batu Pecah 3/4" Ex. Mage Ramut	11%	11.00	4.17	0.89	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Batu Pecah 1/2" Ex. Mage Ramut	29%	29.00	29.00	27.93	1.05	0.08	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
Abu Batu Ex. Mage Ramut	46%	46.00	46.00	46.00	46.00	36.29	17.96	10.04	6.42	4.39	2.32
Pasir Alam Ex. Mage Ramut	12%	12.00	12.00	12.00	12.00	11.13	7.47	3.32	1.56	0.60	0.39
Filler (Semen Kupang) Ex. Kupang	2%	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.99	1.96	1.91
Total Campuran	100%	100.00	93.17	88.82	61.09	49.49	28.00	15.36	9.97	6.95	4.63
Spec. gradasi											
Max		100.0	100.0	90.0	69.0	53.0	40.0	30.0	22.0	15.0	9.0
Min		100.0	90.0	77.0	53.0	33.0	21.0	14.0	9.0	6.0	4.0

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

Hasil pangujian gradasi agregat yang terdapat pada tabel 4.14 memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2 yang disyaratkan yakni:

- a. Agregat kasar batu pecah $\frac{3}{4}$ 100% lolos saringan ukuran $\frac{3}{4}$ dan tertahan pada saringan No.4
- b. Agregat sedang batu pecah $\frac{1}{2}$ 100% lolos saringan ukuran $\frac{1}{2}$ dan tertahan pada saringan No.4
- c. Agregat halus abu batu 100% lolos saringan No.4 dan tertahan pada saringan No.200
- d. Filler lolos saringan No.200 minimum 75%
- e. Jumlah total presentase lolos setiap ukuran saringan berada diantara batas minimum dan maksimum spesifikasi.



Ukuran saringan (mm)

Gambar 4.1 Kurva gradasi agregat gabungan laston AC-WC

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium

4.3.1 Penentuan Kadar Aspal Rencana (Pb)

a. Fraksi Agregat

1) Fraksi agregat kasar (CA)

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

= 100% - 61,09%

= 38,91%

2) Fraksi agregat halus (FA)

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

= 61,09% - 4,63%

= 56,46%

3) Bahan pengisi (FF)

= % lolos saringan No.200 pada gradasi agregat gabungan

= 4,63%

4) Konstanta (k)

= 0,5 sampai 1 diambil 1

b. Kadar aspal rencana

Perkiraan awal kadar aspal rencana (Pb)

$$\begin{aligned}Pb &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta} \\ &= 0,035 (38,91) + 0,045 (54,46) + 0,18 (4,63) + 1 \\ &= 5,65 = 6\%\end{aligned}$$

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

Kadar aspal perkiraan untuk campuran Laston adalah 6%. Berdasarkan kadar aspal perkiraan diatas maka ditetapkan 6 variasi kadar aspal 2 dibawah Pb dan 3 diatas Pb dengan selisih 0,5%. Untuk contoh benda uji yaitu 5%; 5,5%; 6%; 6,5%; 7%; 7,5%. Perhitungan komposisi rencana campuran beraspal atau mold di laboratorium:

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

Misalnya percobaan komposisi persen batu pecah $\frac{3}{4}$ adalah 15% dengan kadar aspal perkiraan 6%

$$\text{Batu pecah } \frac{3}{4} = 15\% \times (100 - 6) = 14,1$$

Berat masing-masing material untuk campuran AC-WC pada contoh kadar aspal 6%.

$$\text{Batu pecah } \frac{3}{4} = (14,1/100) \times 1.200 \text{ gram} = 169,2 \text{ gram}$$

Rangkuman hasil perhitungan berat tiap-tiap campuran pada kadar aspal rencana (5%; 5,5%; 6%; 6,5%; 7%; 7,5%) dapat dilihat pada tabel 4.16

Tabel 4.16 Formula campuran agregat

KOMPONEN	KOMPOSISI AGREGAT	KADAR ASPAL RENCANA (%)					
		5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
(a) BATU PECAH 3/4	11.00%	10.45	10.40	10.34	10.29	10.23	10.18
(b) BATU PECAH 1/2	29.00%	27.55	27.41	27.26	27.12	26.97	26.83
(c) ABU BATU	46.00%	43.70	43.47	43.24	43.01	42.78	42.55
(d) PASIR ALAM	12.00%	11.40	11.34	11.28	11.22	11.16	11.10
(e) FILLER (Semen)	2.00%	1.90	1.89	1.88	1.87	1.86	1.85
TOTAL AGG CAMPURAN (%)	100%	95.00	94.50	94.00	93.50	93.00	92.50
KADAR BAHAN PENGELUPASAN (%)		0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
TOTAL CAMPURAN (%)		100	100	100	100	100	100
KOMPOSISI CAMPURAN		BERAT TIMBANGAN (Gr)					
KADAR ASPAL RENCANA	%	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
(a) BATU PECAH 3/4	Gram	125.4	124.7	124.1	123.4	122.8	122.1
(b) BATU PECAH 1/2	Gram	330.6	328.9	327.1	325.4	323.6	321.9
(c) ABU BATU	Gram	524.4	521.6	518.9	516.1	513.4	510.6
(d) PASIR ALAM	Gram	136.8	136.1	135.4	134.6	133.9	133.2
(e) FILLER (Semen)		22.8	22.7	22.6	22.4	22.3	22.2
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)		1,140	1,134	1,128	1,122	1,116	1,110
BERAT ASPAL (Gr)		60.0	66.0	72.0	78.0	84.0	90.0
BERAT BAHAN ANTI PENGELUPASAN (Gr)		0.12	0.13	0.14	0.16	0.17	0.18
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)		1,200	1,200	1,200	1,200	1,200	1,200

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

Pada penelitian ini menggunakan cara analitis (*trial and error*) dalam menentukan proporsi agregatnya. Penelitian ini menggunakan beberapa fraksi agregat diantaranya adalah fraksi agregat kasar, agregat medium, abu batu dan *filler*. Dari fraksi tersebut digabungkan menjadi satu campuran dimana gradasi presentase lolos saringan yang diperoleh dengan cara mengambil nilai diantara batas bawah dan batas atas presentase lolos saringan yang ditetapkan dalam satu spesifikasi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat rangkuman hasil perhitungan berat tiap-tiap campuran pada tabel 4.16 diatas dan contoh perhitungan komposisi dibawah ini.

Contoh Perhitungan Komposisi Agregat Kadar Aspal Rencana :

Perhitungan komposisi untuk kadar aspal rencana 5.0% dengan kadar aspal perkiraan 6,0%:

$$\begin{aligned}
 1 \text{ Batu Pecah } 3/4 &= \text{Komposisi Agregat} \times (100 - \text{Kadar Aspal}) \\
 &= 11.00\% \times (100 - 5.0) \\
 &= 10,45 \\
 \text{Batu Pecah } 1/2 &= \text{Komposisi Agregat} \times (100 - \text{Kadar Aspal}) \\
 &= 29.00\% \times (100 - 5.0) \\
 &= 27,55 \\
 \text{Abu Batu} &= \text{Komposisi Agregat} \times (100 - \text{Kadar Aspal}) \\
 &= 46.00\% \times (100 - 5.0)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 43,70 \\
\text{Pasir Alam} &= \text{Komposisi Agregat} \times (100 - \text{Kadar Aspal}) \\
&= 12.00\% \times (100 - 5.0) \\
&= 11,40 \\
\text{Filler (Semen)} &= \text{Komposisi Agregat} \times (100 - \text{Kadar Aspal}) \\
&= 2\% \times (100 - 5.0) \\
&= 1,90\% \\
2 \text{ Total Agregat Campuran} &= \text{Berat batu pecah } 3/4 + \text{ batu pecah } 1/2 + \text{ abu batu} + \text{ pasir alam} + \text{ filler} \\
&= 10.45 + 27.55 + 43.70 + 11.40 + 1.90 \\
&= 95,00\% \\
3 \text{ Kadar Bahan Pengelupasan} &= 0,2\% \\
4 \text{ Total Campuran} &= \text{Total agregat campuran} + \text{Kadar Aspal} \\
&= 95,0\% + 5,0\% \\
&= 100\%
\end{aligned}$$

Diatas ini merupakan contoh perhitungan untuk komposisi agregat kadar aspal rencana pada kadar aspal 5,0%, untuk kadar aspal 5,5% sampai 7,5% menggunakan perhitungan yang sama seperti dengan contoh pada 5,0%. Setelah didapat komposisi agregat, dilanjutkan dengan komposisi campuran untuk berat timbangan. Berikut contoh perhitungan pada kadar aspal rencana 5,0%:

Contoh Perhitungan Komposisi Campuran Berat Timbangan:

$$\begin{aligned}
1 \text{ Batu Pecah } 3/4 &= \text{Berat rencana total campuran} \times (\text{Berat \% agregat} / 100) \\
&= 1,200 \times (10,45\% / 100) \\
&= 125.4 \\
\text{Batu Pecah } 1/2 &= \text{Berat rencana total campuran} \times (\text{Berat \% agregat} / 100) \\
&= 1,200 \times (27,55\% / 100) \\
&= 330.6 \\
\text{Abu Batu} &= \text{Berat rencana total campuran} \times (\text{Berat \% agregat} / 100) \\
&= 1,200 \times (43,70\% / 100) \\
&= 524.4 \\
\text{Pasir Alam} &= \text{Berat rencana total campuran} \times (\text{Berat \% agregat} / 100) \\
&= 1,200 \times (11,40\% / 100) \\
&= 136.8 \\
\text{Filler (Semen)} &= \text{Berat rencana total campuran} \times (\text{Berat \% agregat} / 100) \\
&= 1,200 \times (1,90\% / 100) \\
&= 22.8 \\
2 \text{ Berat Agregat Campuran} &= \text{Berat batu pecah } 3/4 + \text{ batu pecah } 1/2 + \text{ abu batu} + \text{ pasir alam} + \text{ filler} \\
&= 125,4 + 330,6 + 524,4 + 136,8 + 22,8 \\
&= 1.140 \\
3 \text{ Berat Aspal} &= \text{Berat rencana total campuran} \times (\text{kadar aspal} / 100) \\
&= 1200 \times (5,0 / 100) \\
&= 60 \\
\text{Berat Rencana Total} & \\
4 \text{ Campuran} &= \text{Berat Agregat Campuran} + \text{Berat Aspal} \\
&= 1140 + 60 \\
&= 1200 \text{ gram}
\end{aligned}$$

Setelah didapat komposisi agregat kemudian setiap variasi kadar aspal dibuat 2 (dua) contoh benda uji sehingga jumlah benda uji kadar aspal perkiraan dalam penelitian ini berjumlah 12 (dua belas) benda uji. Untuk variasi filler semen dan abu sekam padi akan digunakan setelah mendapat nilai kadar aspal optimum yang sudah didapat dari hasil pengujian Marshall.

4.3.3 Marshall Test

Hasil pengujian Marshall standar (2x75) tumbukan dengan menggunakan material dari quarry Mage Ramut untuk campuran Laston AC-WC dapat dilihat pada Tabel 4.17 rangkuman dibawah ini, sedangkan hasil perhitungan secara detail dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.17 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	-
5.0%	1	6.79	17.14	60.36	904.92	1.20	0.97	2.233
	2	6.49	16.87	61.50	916.380	1.10	0.97	2.240
Rata-Rata		6.64	17.00	60.93	910.65	1.15	0.97	2.237
5.5%	1	5.42	16.94	68.01	1088.2	2.00	0.88	2.250
	2	5.32	16.85	68.44	1030.92	2.10	0.88	2.253
Rata-Rata		5.37	16.89	68.22	1059.56	2.05	0.88	2.252
6%	1	4.11	16.81	75.57	1431.84	2.50	0.80	2.266
	2	4.21	18.89	75.09	1260.02	3.10	0.80	2.263
Rata-Rata		4.16	16.85	75.33	1345.93	2.80	0.80	2.265
6.5%	1	3.72	17.48	78.74	1260.02	3.60	0.74	2.260
	2	3.42	17.22	80.15	1145.47	3.70	0.74	2.267
Rata-Rata		3.57	17.35	79.44	1202.75	3.65	0.74	2.263
7.0%	1	2.25	17.24	86.95	1073.88	3.80	0.68	2.278
	2	2.35	17.32	86.44	1097.74	4.00	0.68	2.276
Rata-Rata		2.30	17.28	86.70	1085.81	3.90	0.68	2.277
7.5%	1	1.48	17.59	91.59	954.560	4.20	0.64	2.281
	2	1.47	17.59	91.62	1038.084	4.50	0.64	2.281
Rata-Rata		1.48	17.59	91.60	996.322	4.35	0.64	2.281

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

4.4 Pembahasan Data

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

2018. Hasil pengujian *Marshall* yang dilakukan dapat dilihat pada tabel dan grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai-nilai parameter *Marshall* dibawah ini.

4.4.1 Hubungan Parameter *Marshall* dan Kadar Aspal Perkiraan

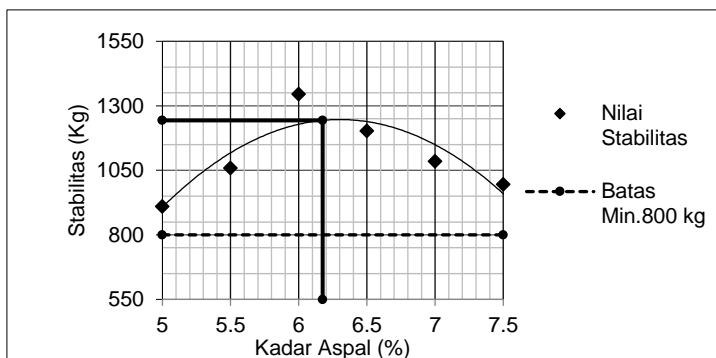
1. Hubungan Antara Stabilitas dan Kadar Aspal

Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi alir (*flow*) yang dinyatakan dalam kilogram. Alir (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban, dinyatakan dalam mm. hubungan antara stabilitas dan kadar aspal optimum dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.18 berikut ini:

Tabel 4.18 Hubungan Antara Stabilitas dan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)
5.0	910.65
5.5	1059.56
6.0	1345.93
6.5	1202.75
7.0	1085.81
7.5	996.322

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 4.2 Grafik hubungan stabilitas dengan kadar aspal

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium

. Tabel 4.18 dapat dilihat penambahan kadar aspal menaikkan nilai stabilitas pada 5.0% sampai pada 7.0% dan mengalami penurunan pada 7.5%. Ini menunjukkan bahwa dengan bertambahnya aspal menyebabkan penguncian antar partikel agregat dan daya ikat aspal terhadap agregat menjadi lebih kuat, juga daya adhesi dan kohesi dari aspal menjadi lebih baik.

Penggunaan aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran tersebut. Seiring dengan penambahan aspal, nilai stabilitas akan meningkat hingga batas

maksimum. Penambahan aspla diatas batas justru akan menurunkan stabilitas campuran itu sendiri sehingga lapis perkerasan menjadi kaku dan bersifat getas. Nilai stabilitas juga berpengaruh pada fleksibilitas lapis perkerasan yang dihasilkan.

Penambahan kadar aspal yang terus menerus tidaklah menyebabkan nilai stabilitas semakin tinggi, karena sudah tidak efektif lagi. Kadar aspal yang terlalu tinggi menyebabkan aspal tidak dapat menyelimuti agregat dengan baik. Aspal yang berlebihan tidak mampu lagi diserap oleh rongga dalam campuran, apabila ada beban lalu lintas yang menambah pemadatan lapisan mengakibatkan aspal meleleh keluar, yang disebut *bleeding*. Spesifikasi Bina Marga 2018 memberikan batasan stabilitas minimum 800 kg. Dari grafik dapat dilihat pada kadar aspal 6% stabilitas mencapai nilai tertinggi. Penambahan kadar aspal yang melampaui 6% sudah menunjukkan penurunan nilai stabilitas. Stabilitas yang terlalu tinggi menyebabkan perkerasan mudah retak dan bila terlalu rendah mudah terjadi deformasi. Namun demikian kadar aspal 5% sampai 7,5% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu minimum 800 kg.

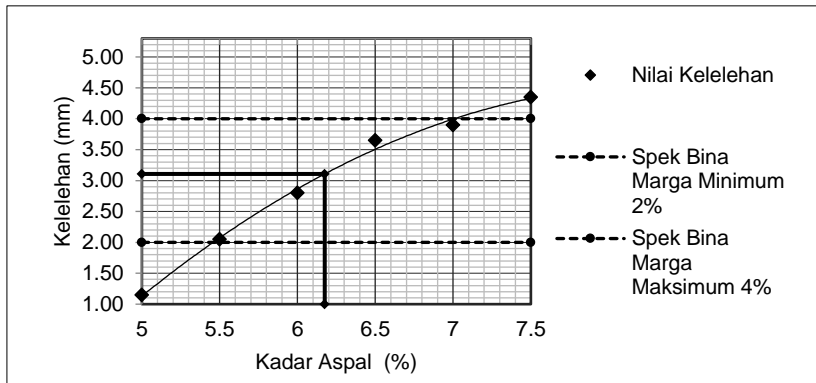
2. Hubungan Antara Kelelahan Flow dan Kadar Aspal

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

Tabel 4.19 Hubungan Antara Kelelahan (Flow) dan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	Flow (mm)
5.0	1.15
5.5	2.05
6.0	2.80
6.5	3.65
7.0	3.90
7.5	4.35

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 4.3 Grafik hubungan flow dengan kadar aspal

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium

Nilai *flow* menunjukkan tingkat kekakuan suatu perkerasan, nilai yang kecil cenderung menghasilkan perkerasan yang kaku dan getas. Hal ini akan mengakibatkan perkerasan akan mudah retak. Sebaliknya nilai *flow* yang tinggi akan membuat perkerasan bersifat plastis, hal ini akan mengakibatkan perkerasan akan mudah berubah bentuk apabila dibebani.

Campuran yang memiliki angka kelelahan rendah dengan stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku dan getas. Sedangkan campuran yang memiliki angka kelelahan tinggi dan stabilitas rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas. Kerapatan campuran yang baik, kadar aspal yang cukup dan stabilitas yang baik memberikan pengaruh terhadap campuran beraspal.

Hasil tabel 4.19 dan gambar 4.3 menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal mengakibatkan bertambahnya nilai kelelahan plastis (*flow*). Hal ini disebabkan karena bertambahnya kadar aspal yang mengisi rongga sehingga volume rongga semakin kecil. Rongga terisi aspal yang semakin membesar membuat rentang kelelahan aspal makin besar, sehingga benda uji lebih mampu mengikuti perubahan bentuk sampai benda uji tersebut hancur karena pembebanan.

Dalam grafik diperlihatkan, semakin kecil kadar aspal semakin kecil pula nilai *flow*, yang berarti perkerasan mudah retak. Tetapi besarnya *flow* juga dibatasi untuk mencegah terjadi gelombang dan alur pada perkerasan, sehingga perkerasan memberikan kenyamanan dan keamanan berlalu lintas. Gambar 4.3 menunjukkan bahwa hasil pengujian kelelahan (*flow*) dalam campuran Laston, pada kadar aspal 5% sampai 7,5%

memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 (min. 2 –maks. 4 mm).

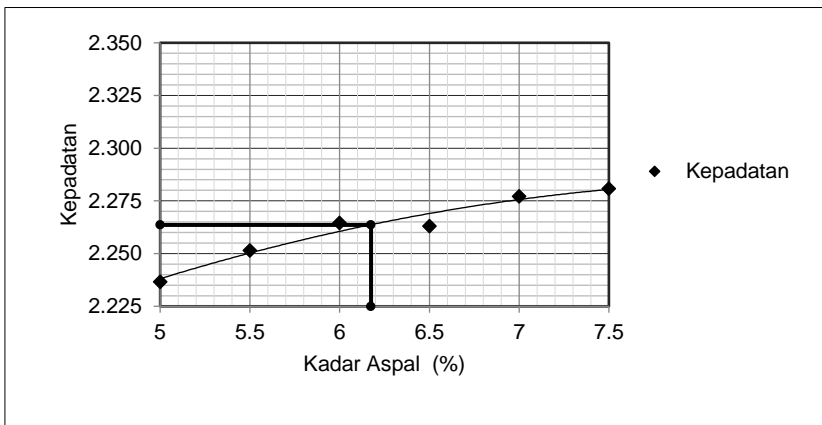
3. Hubungan Antara Kepadatan dan Kadar Aspal

Density atau kepadatan adalah rasio antara berat benda uji kering dengan volume benda uji yang dipengaruhi oleh temperatur, komposisi, kadar bahantambah, pemadatan, dan kadar aspal. Hubungan antara kepadatan dan kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Hubungan Antara Kepadatan dan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	Kepadatan
5.0	2.237
5.5	2.252
6.0	2.265
6.5	2.263
7.0	2.277
7.5	2.281

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 4.4 Grafik hubungan kepadatan dengan kadar aspal

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium

Kepadatan (*density*) adalah berat campuran yang dikur tiap satuan volume untuk menunjukkan kepadatan dari campuran aspal beton. Campuran dengan kepadatan tinggi memiliki kekuatan menahan beban yang tinggi, karena agregat mempunyai bidang kontak yang besar juga. Selain itu, kepadatan juga mempengaruhi kekedapan. Seiring dengan penambahan kadar aspal, nilai kepadatan campuran akan meningkat hingga batas maksimum. Pengurangan kadar aspal melebihi batas minimum atau penambahan kadar aspal melebihi batas maksimum akan menurunkan nilai kepadatan campuran panas aspal agregat.

Dari tabel 4.20 dan gambar 4.4 menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai kepadatan suatu campuran akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan

dengan penambahan kadar aspal memudahkan agregat yang berukuran kecil mengisi rongga-rongga antar butiran agregat yang ukurannya lebih besar. Peningkatan kadar aspal menyebabkan aspal dalam campuran lebih banyak mengisi rongga dalam campuran sehingga cenderung lebih padat yang berarti nilai kepadatan semakin meningkat.

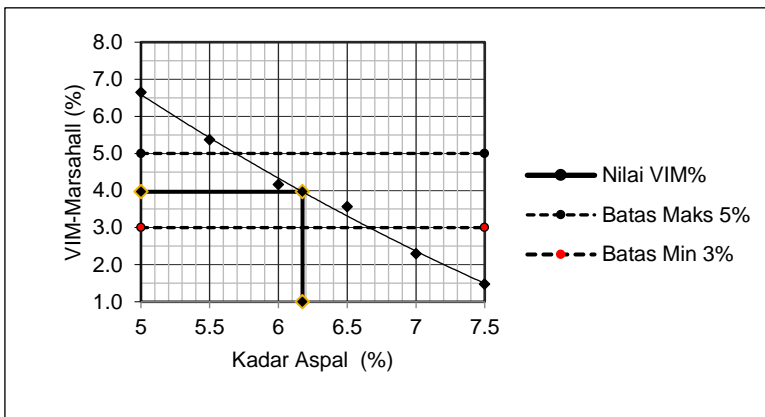
4. Hubungan Antara *Void in Mix* (VIM) dan Kadar Aspal

Void In Mixture (VIM) adalah parameter yang menunjukkan volume rongga yang berisi udara dalam campuran aspal yang dinyatakan dalam % volume. Hubungan antar VIM dan kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21 Hubungan Antara *Void in Mix* (VIM) dan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	VIM (%)
5.0	6.64
5.5	5.37
6.0	4.16
6.5	3.57
7.0	2.30
7.5	1.48

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 4.5 Grafik hubungan *VIM* dengan kadar aspal

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium

Void In Mixture (VIM) merupakan presentase rongga terhadap dalam total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah

teroksidasi sehingga menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang sehingga terjadi pengelupasan butiran pada lapis perkerasan.

Dari Tabel 4.21 dan Gambar 4.5 dapat dilihat Nilai VIM semakin menurun seiring dengan penambahan kadar aspal. Dengan semakin rendahnya nilai VIM maka semakin kecil pula rongga dalam campuran yang artinya campuran semakin baik begitu juga sebaliknya semakin tinggi nilai VIM pada campuran aspal maka rongga dalam campuran semakin besar sehingga lebih cepat mengalami penuaan dan menyebabkan timbulnya retak pada lapisan perkerasan.

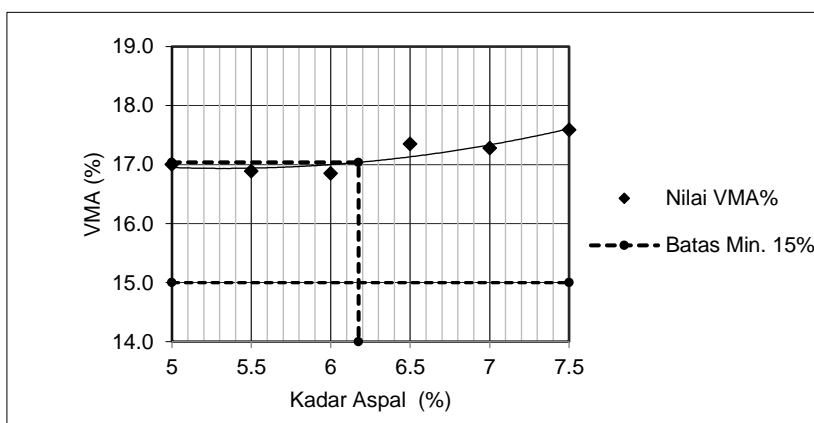
5. Hubungan Antara *Void in the Mineral Aggregate* (VMA) dan Kadar Aspal

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah volume rongga yang terdapat diantara butir-butir agregat dari suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, termasuk didalamnya rongga udara dan rongga yang berisi aspal efektif, dinyatakan dalam % volume, berikut grafik VMA

Tabel 4.22 Hubungan Antara *Void in the Mineral Aggregate*(VMA) dan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	VMA (%)
5.0	17.00
5.5	16.89
6.0	16.85
6.5	17.35
7.0	17.28
7.5	17.59

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 4.6 Grafik hubungan VMA dengan kadar aspal

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Kuantitas rongga udara pengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas. Nilai VMA ini berpengaruh pada sifat kedekatan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran.

Nilai VMA semakin meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Hal ini disebabkan karena dengan semakin bertambahnya kadar aspal maka semakin banyak aspal yang akan mengisi rongga-rongga di antara agregat sehingga dengan sendirinya VMA akan semakin kecil.

Dari Gambar 4.6 terlihat bahwa nilai VMA semakin meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan nilai VMA pada kadar aspal 5,0% sampai 7,5% mengindikasikan rongga diantara partikel agregat dapat menampung jumlah kadar aspal yang besar, sehingga kerapatan diantara butiran agregat lebih bagus dan memenuhi standar yang ditentukan spesifikasi.

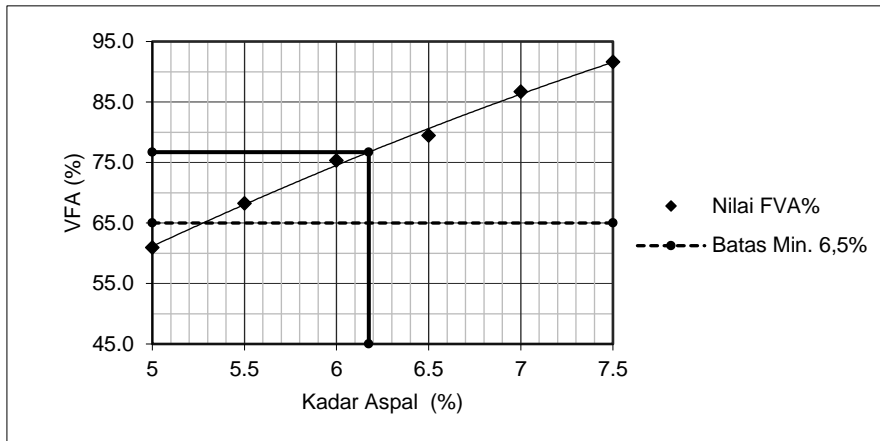
6. Hubungan Antara *Void Filled with Aspal (VFA)* dan Kadar Aspal

Void Filled with Asphalt (VFA) adalah bagian volume rongga dalam agregat yang terisi aspal yang dinyatakan dalam % terhadap rongga antar butiran agregat (VMA). Berikut grafik VFA hubungan kadar aspal dan VFA dalam campuran aspal beton.

Tabel 4.23 Hubungan Antara *Void Filled with Aspal (VFA)* dan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	VFA (%)
5.0	60.93
5.5	68.22
6.0	75.33
6.5	79.44
7.0	86.70
7.5	91.60

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 4.7 Grafik hubungan VFA dengan kadar aspal

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium

Void Filled with Asphalt (VFA) merupakan presentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kedap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Dengan kata lain VFA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Semakin tinggi nilai VFA berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedap air dan udara juga semakin tinggi, tetapi nilai VFA yang terlalu tinggi mengakibatkan bleeding. Nilai VFA terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap air dan udara karena lapisan film aspal akan menipis dan mudah retak.

Dari Gambar 4.7 terlihat bahwa nilai VFA semakin meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Hal ini disebabkan karena rongga antar butiran agregat masih cukup besar dan dapat menampung aspal yang masuk, semakin besar presentase kadar aspal semakin banyak rongga yang terisi oleh aspal sehingga presentase aspal dalam rongga menjadi naik. Pada kadar aspal 5,0% tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yakni minimum 65% sedangkan pada kadar aspal 5,5% sampai 7,5% memenuhi syarat spesifikasi.

7. Hubungan Antara Perbandingan Rasio dan Kadar Aspal

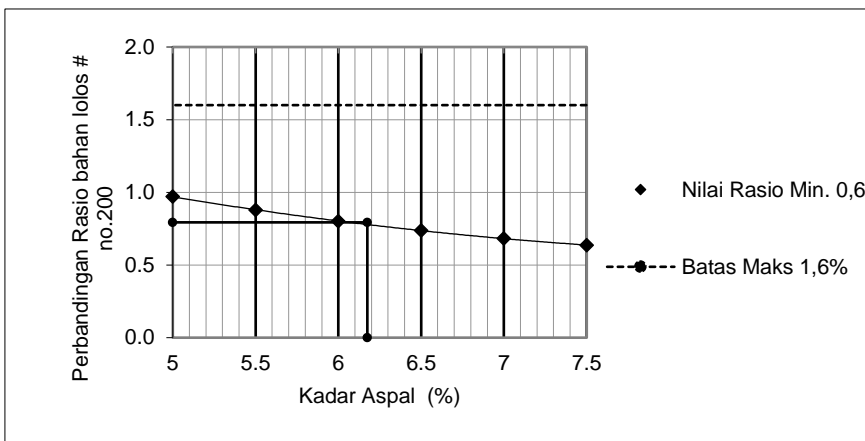
Rasio partikel bahan lolos No. 200 adalah perbandingan antara nilai stabilitas dengan kadar aspal. Tujuannya adalah untuk mendapatkan tingkat *fleksibilitas* dari satu campuran. *Fleksibilitas* yang dimaksudkan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban yang bekerja tanpa timbulnya retak dan

perubahan volume. Hubungan rasio partikel bahan lolos No. 200 dan kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.24 dan Gambar 4.8.

Tabel 4.24 Hubungan Antara Perbandingan Rasio dan Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	Rasio Partikel
5.0	0.97
5.5	0.88
6.0	0.80
6.5	0.74
7.0	0.68
7.5	0.64

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 4.8 Grafik hubungan perbandingan rasio dengan kadar aspal

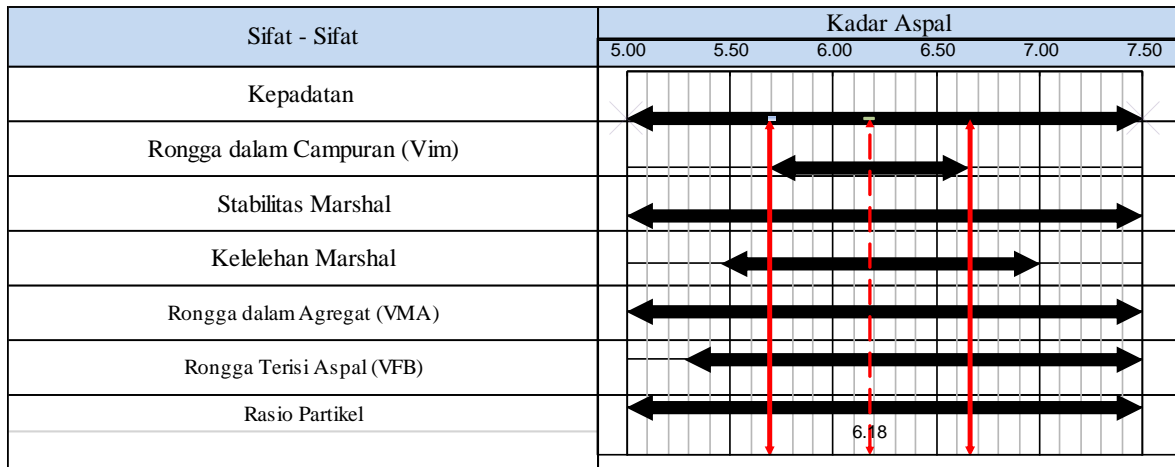
Sumber : Hasil perhitungan laboratorium

Dari Gambar 4.19 menunjukkan bahwa nilai Rasio Partikel untuk kadar aspal 5% sampai 7,5% pada Laston AC-WC memenuhi spesifikasi. Berdasarkan rekapan pada Tabel 4.30 dapat dilihat bahwa nilai rasio partikel bahan lolos no.200 semakin menurun jika persentase kadar aspal bertambah mulai dari 5% sampai 7,5%. Hal ini mengindikasikan jika jumlah kadar aspal kurang maka partikel lolos saringan no. 200 lebih mendominasi untuk mengisi rongga diantara agregat. Sebaliknya, jika jumlah kadar aspal semakin tinggi maka pengaruh dari partikel lolos saringan no. 200 akan berkurang sebab rongga diantara agregat telah terisi oleh aspal.

4.4.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi campuran. Kadar aspal optimum yang dicapai sebesar 6,18% dan

memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan oleh Spesifikasi Bina Marga yaitu menyangkut stabilitas, kepadatan, rasio, *flow*, VIM, VMA, VFB. Kadar aspal optimum dapat ditentukan dengan membuat diagram batang berdasarkan nilai hasil pengujian di atas terhadap seluruh parameter *Marshall*, dengan menentukan bahwa kadar aspal optimum berada pada titik tengah dari rentang kadar aspal optimum yang memenuhi persyaratan dan spesifikasi, untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.9 di bawah ini.



Gambar 4.9 Diagram batang dengan kadar aspal optimum

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium

- ←—————→ = Rentang kadar aspal yang memenuhi spesifikasi
- ←—————→ = Batas minimum dan batas maksimum
- ←-----→ = Kadar Aspal Optimum.

Pada gambar diatas nilai kadar aspal minimum adalah 5,69% sedangkan nilai kadar aspal maksimum sebesar 6,66% sehingga diperoleh nilai tengah dari kedua kadar aspal tersebut dengan menggunakan persamaan matematika dengan rumus:

$$\frac{a+b}{2} = \frac{5,69+6,66}{2} = 6,18 \text{ (KAO)}$$

Keterangan:

A= nilai kadar aspal minimum

B= kadar aspal maksimum

4.4.2.1 Rangkuman Hasil Pengujian Proporsi Campuran dengan KAO

Tabel 4.25 Rangkuman hasil uji campuran

Komponen	Komposisi Agregat (%)	Kadar Aspal Optimum (KAO)
		6.18
Batu Pecah 3/4	11%	10.32
Batu Pecah 1/2	29%	27.21
Abu Batu	46%	43.16
Pasir Alam	12%	11.26
Semen	2%	1.88
Total Agregat Campuran (%)	100%	93.82
Kadar Bahan Pengelupasan (%)		0.20
Total Campuran (%)		100

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

Dari tabel 4.25 terlihat bahwa kadar aspal optimum untuk campuran Laston AC-WC menggunakan material Quarry Mage Ramut dengan komposisi batu pecah $\frac{3}{4}$ sebesar 10,32%, batu pecah $\frac{1}{2}$ sebesar 27,21%, abu batu sebesar 43,16%, pasir sebesar 11,26%, filler sebesar 1,88% dan kadar aspal adalah 6,18% dari parameter Marshall.

Tabel 4.26 Rangkuman hasil uji campuran total

NO	SIFAT-SIFAT	SATUAN	HASIL	SPESIFIKASI	KETERANGAN
1	Kadar Aspal Total	%	6.18	-	Tidak disyaratkan
2	Bahan Anti Pengelupasan	%	0.20	0,2 - 0,4	Memenuhi
3	Berat Jenis Maksimum Campuran (Gmm)	-	2.372	-	Tidak disyaratkan
4	Berat Jenis Aspal	-	1.030	-	Tidak disyaratkan
5	Berat Jenis Bulk Agregat	-	2.560	-	Tidak disyaratkan
6	Proporsi Agregat	%	93.83	-	Tidak disyaratkan
7	Rasio Partikel Lolos no. 200 Dengan Kadar Aspal Efektif	%	0.78	0,6 - 1,6	Memenuhi
8	Penyerapan Aspal	%	0.242	-	Memenuhi
9	Kadar Aspal Efektif	%	5.933	-	Memenuhi
10	Berat Jenis Contoh Camp. Padat (Gmb)	-	2.264	-	Tidak disyaratkan
11	Stabilitas Marshall	Kg	1,243.59	Min 800	Memenuhi
12	Kelelahan Marshall	mm	3.107	2,0 - 4,0	Memenuhi
13	Rongga dalam campuran (VIM)	%	3.97	3,0 - 5,0	Memenuhi
14	Rongga dalam agregat (VMA)	%	17.04	Min 15	Memenuhi
15	Rongga terisi aspal (VFB)	%	76.71	Min 65	Memenuhi
16	Rongga pada Kepadatan Mutlak	%	2.558	Min 2,0	Memenuhi
17	Stabilitas Marshall Sisa	%	91.44	Min 90	Memenuhi

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

4.4.3 Rancangan Campuran pada KAO Menggunakan Variasi Filler Semen dan Abu Sekam Padi

Kadar aspal untuk campuran Laston adalah 6,18%. Berdasarkan kadar aspal optimum diatas maka dilanjutkan dengan variasi filler abu sekam padi. Untuk variasi filler abu sekam padi yaitu 20%, 40% dan 60%. Perhitungan komposisi campuran beraspal dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.27 Komposisi Campuran Laston AC-WC Variasi Abu Sekam Padi 20%

Komposisi Campuran	Berat Timbangan	
	%	
Kadar Aspal Optimum		6,18
Batu Pecah 3/4	Gram	124,1
Batu Pecah 1/2	Gram	451,2
Abu Batu	Gram	970,1
Pasir Alam	Gram	1105,4
Semen	Gram	1123,5
Abu Sekam Padi	Gram	1128,0
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)		1126
BERAT ASPAL (Gr)		74,2
BERAT BAHAN ANTI PENGELUPASAN (Gr)		0,15
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)		1200

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

Tabel 4.28 Komposisi Campuran Laston AC-WC Abu Sekam Padi 40%

Komposisi Campuran	Berat Timbangan	
	%	
Kadar Aspal Optimum		6,18
Batu Pecah 3/4	Gram	123,842
Batu Pecah 1/2	Gram	450,336
Abu Batu	Gram	968,222
Pasir Alam	Gram	1103,323
Semen	Gram	1116,833
Abu Sekam Padi	Gram	1125,840
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)		1126
BERAT ASPAL (Gr)		74,2
BERAT BAHAN ANTI PENGELUPASAN (Gr)		0,15
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)		1200

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

Tabel 4.29 Komposisi Campuran Laston AC-WC Variasi Abu Sekam Padi 60%

Komposisi Campuran	Berat Timbangan	
	%	
Kadar Aspal Optimum		6,18
Batu Pecah 3/4	Gram	123,842
Batu Pecah 1/2	Gram	450,3
Abu Batu	Gram	968,2
Pasir Alam	Gram	1103,3
Semen	Gram	1112,33
Abu Sekam Padi	Gram	1125,84
BERAT AGREGAT CAMPURAN (Gr)		1126
BERAT ASPAL (Gr)		74,2
BERAT BAHAN ANTI PENGELUPASAN (Gr)		0,15
BERAT RENCANA TOTAL CAMPURAN (Gr)		1200

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

4.4.4 Marshall Test

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan *Stabilitas* (ketahanan) dan Kelelehan (*flow*) dari benda uji yang menggunakan material dengan variasi abu sekam padi 20%, 40%, 60% dari *Quarry Mage Ramut Maumere*. Selain itu, pengujian Marshall juga menghasilkan parameter-parameter Marshall lain seperti *Void In Mix* (VIM), *Void Filled Bitumen* (VFB), *Void In Mineral Aggregate* (VMA).

Perhitungan dan analisa parameter Marshall campuran Laston AC-WC dapat dilihat pada lampiran, sedangkan rangkuman hasil pengujian Marshall campuran Laston AC-WC berdasarkan hasil pengujian laboratorium untuk masing-masing pengujian yang disertai dengan standar Spesifikasi Bina Marga 2018 pada tabel berikut.

Tabel 4.30 Rekapitan Hasil Pengujian Marshall Variasi Filler Abu Sekam Padi

Variasi Abu Sekam Padi (%)	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	-
20%	1	3.95	17.03	76.78	1217.1	3.20	0.78	2.264
	2	3.67	16.78	78.13	1252.9	3.25	0.78	2.271
Rata-Rata		3.81	16.91	77.45	1235.0	3.23	0.78	2.267
40%	1	3.89	16.98	77.07	1193.2	3.50	0.78	2.265
	2	3.53	16.66	78.83	1205.1	3.65	0.78	2.274
Rata-Rata		3.71	16.82	77.95	1199.2	3.58	0.78	2.270
60%	1	3.49	16.63	78.99	1169.3	3.80	0.78	2.275
	2	3.70	16.81	77.97	1145.5	4.00	0.78	2.270
Rata-Rata		3.60	16.72	78.50	1157.4	3.90	0.78	2.272

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023

4.4.4.1 Hubungan Antara Parameter Marshall Dengan Abu Sekam Padi

Campuran Laston AC-WC untuk lapisan permukaan jalan harus memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Persyaratan tersebut harus memenuhi batas gradasi kurva minimum dan kurva maksimum, persyaratan terhadap pengujian Marshall yaitu dengan memenuhi nilai kepadatan (*density*), *stabilitas* (ketahanan), *flow* (kelelehan), VIM, VMA, VFA, perbandingan rasio partikel bahan Lolos No.200 dengan kadar aspal efektif harus sesuai standar spesifikasi Bina Marga 2018. Hasil pengujian Marshall yang dilakukan dapat dilihat pada tabel dan grafik hubungan antara abu sekam padi dengan nilai-nilai parameter Marshall dibawah ini.

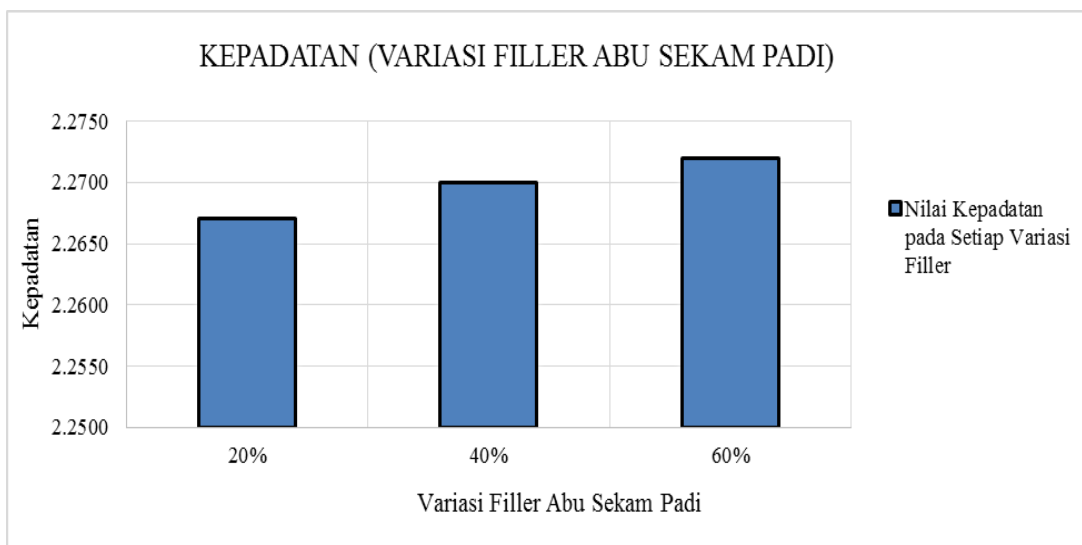
1. Hubungan Antara Kepadatan Dan Abu Sekam Padi

Density atau kepadatan adalah rasio antara berat benda uji kering dengan volume benda uji yang dipengaruhi oleh temperatur, komposisi, kadar bahan tambah, pemadatan, dan kadar aspal. Hubungan antara kepadatan dan abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel 4.31 dan Gambar 4.10

Tabel 4.31 Hubungan Antara Kepadatan Dan Abu Sekam Padi

Variasi Abu Sekam Padi	20%	40%	60%
Kepadatan	2.267	2.270	2.272

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 4.10 Grafik hubungan antara kepadatan dengan filler abu sekam padi

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium

Berdasarkan Tabel 4.31 dan Grafik 4.10 menunjukkan bahwa seiring bertambahnya abu sekam padi maka semakin besar nilai kepadatan ditinjau dari kadar abu sekam padi 20% hingga 60%. Campuran dengan kepadatan tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan campuran campuran yang memiliki kepadatan yang rendah. Nilai *density* dipengaruhi oleh kualitas bahan penyusunnya, pelaksanaan pemadatan, temperature pemadatan, jumlah tumbukannya, berat jenis agregat dan kadar aspal. Hal ini disebabkan karena penggunaan kadar aspal yang semakin tinggi akan menyediakan aspal yang lebih banyak untuk mengisi rongga sehingga campuran lebih padat.

Selain itu, nilai kepadatan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya abu sekam padi pada kadar aspal optimum, hal ini disebabkan karena dari hasil pengujian berat

jenis filler abu sekam padi dan berat jenis semen, hal ini akan menyebabkan secara volumetrik abu sekam padi lebih banyak dari pada semen pada jumlah berat yang sama. Semakin bertambahnya volume partikel abu sekam padi dalam campuran akibat perubahan nilai berat jenis sehingga rongga antar agregat semakin banyak terisi oleh partikel abu sekam padi. Semakin kecil nilai berat jenis suatu material maka volumenya akan semakin bertambah. Adapun nilai kepadatan yang diperoleh pada campuran AC-WC yang menggunakan abu sekam padi 20% sebanyak 2.267 gr/cm³, abu sekam 40% sebesar 2.270 gr/cm³, dan pada variasi 60% diperoleh nilai kepadatan sebesar 2.272 gr/cm³.

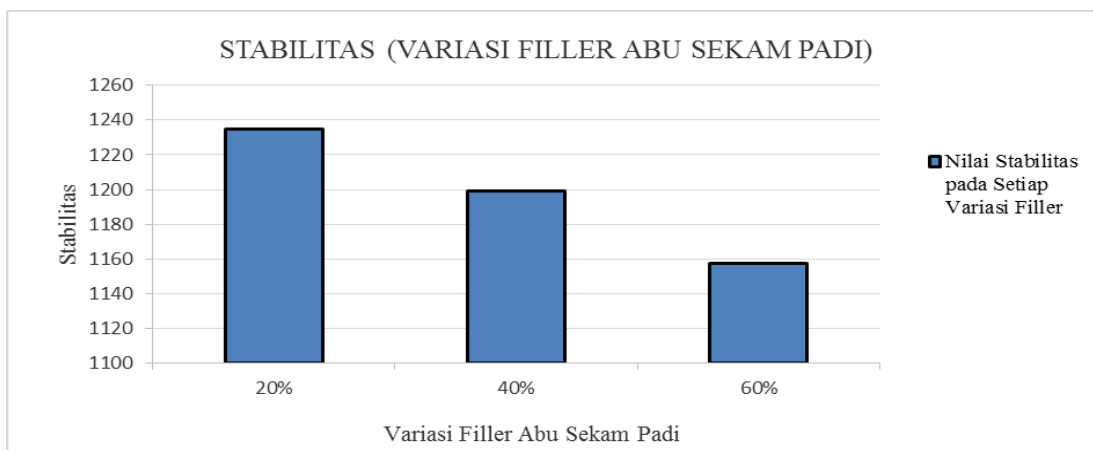
2. Hubungan Antara Stabilitas Dan Filler Abu Sekam Padi

Stabilitas adalah kemampuan lapis keras dalam menahan beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang permanen seperti gelombang, alur dan *bleeding*, dinyatakan dalam kg. Stabilitas yang terjadi adalah akibat adanya pembebanan yang menyebabkan terjadinya pergeseran antar butiran, sifat saling mengunci serta dayaikat campuran aspal-agregat. Hubungan antara stabilitas dan filler abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel 4.32 dan Gambar 4.11.

Tabel 4.32 Hubungan Antara Stabilitas Dan Filler Abu Sekam Padi

Variasi Abu Sekam Padi	20%	40%	60%
Stabilitas	1235.0	1199.2	1157.4

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 4.11 Grafik hubungan antara stabilitas dengan filler abu sekam padi

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium

Hubungan filler abu sekam padi dengan stabilitas pada Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas menurun seiring dengan penambahan abu sekam padi. Untuk variasi abu sekam padi 20%-60% nilai stabilitas masih memenuhi spesifikasi yaitu minimum 800 kg. Hal ini disebabkan karena aspal yang awalnya berfungsi sebagai pengikat agregat berubah fungsinya menjadi pelicin setelah melewati nilai optimum yang dibutuhkan sehingga mengakibatkan turunnya lekatan dan gesekan antar agregat dan berakibat pada turunnya nilai stabilitas campuran. Dengan menggunakan kadar aspal yang ada, maka tidak terjadi penambahan aspal pada setiap penambahan variasi campuran sehingga aspal yang menyelimuti butiran pada setiap penambahan jumlah volume butiran menjadi lebih sedikit. Hal ini mengakibatkan lekatan atau kestabilan campuran yang ditunjukkan oleh penurunan stabilitas. Adapun nilai stabilitas yang diperoleh pada campuran AC-WC yang menggunakan abu sekam padi 20% sebesar 1.235 kg, abu sekam padi 40% sebesar 1.199,2 kg dan untuk variasi 60% sebanyak 1.157,4 kg.

3. Hubungan Antara Flow dan Filler Abu Sekam Padi

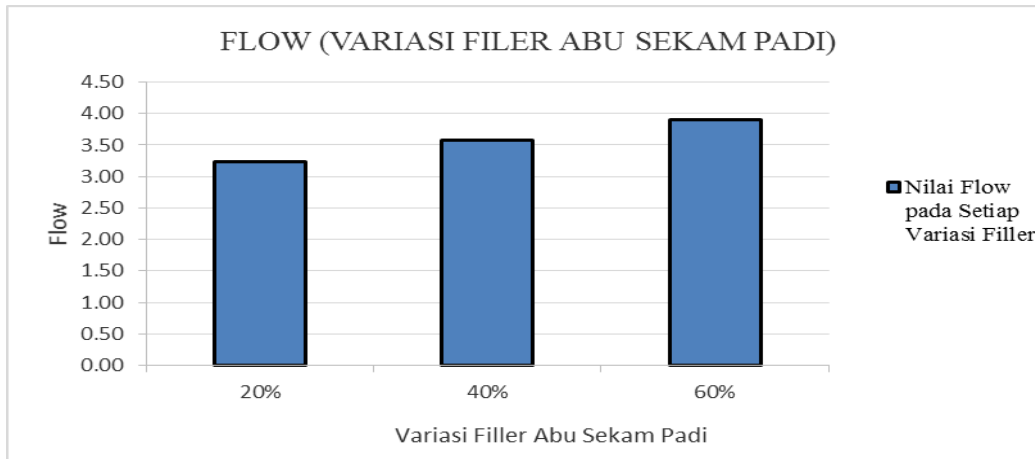
Nilai flow menyatakan besarnya deformasi yang terjadi pada suatu lapis perkerasan akibat beban lalu lintas. Suatu campuran dengan nilai *flow* tinggi akan cenderung lembek, sehingga mudah berubah bentuk jika menerima beban. Sebaliknya jika *flow* rendah maka

campuran menjadi kaku dan mudah retak jika menerima beban yang melampaui daya dukungnya. Hubungan antara *flow* dan agregat batu kapur dapat dilihat pada Tabel 4.33 dan Gambar 4.12.

Tabel 4.33 Hubungan Antara Flow Dan Filler Abu Sekam Padi

Variasi Abu Sekam Padi	20%	40%	60%
Flow	3.23	3.58	3.90

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 4.12 Grafik hubungan antara flow dengan filler abu sekam padi

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium

Hasil gambar 4.12 menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi kedalam campuran dengan variasi menyebabkan nilai *flow* mengalami kenaikan seiring dengan penambahan abu sekam padi. Hal ini disebabkan karena pada saat pencampuran terjadi perubahan jumlah volume butiran filler semen dan abu sekam padi tetapi terjadi perubahan jumlah berat. Dengan bertambahnya jumlah volume butiran ini, menunjukkan semakin sedikit butiran yang digunakan, maka semakin sedikit pula luas permukaan butiran yang akan diselimuti aspal. Dengan menggunakan kadar aspal yang tetap, maka tidak terjadi penambahan aspal pada setiap variasi sehingga membuat aspal yang menyelimuti butiran semakin sedikit. Hal ini menyebabkan penambahan abu sekam padi yang mengisi rongga, maka volume rongga semakin kecil yang menyebabkan aspal tidak lagi menyelimuti agregat dengan baik dan daya ikat aspal semakin berkurang. Adapun nilai flow yang diperoleh pada campuran AC-WC yang menggunakan abu sekam padi 20% sebesar 3,23 mm, abu sekam padi 40% sebesar 3,58 dan abu sekam padi pada 60% sebanyak 3,90 mm.

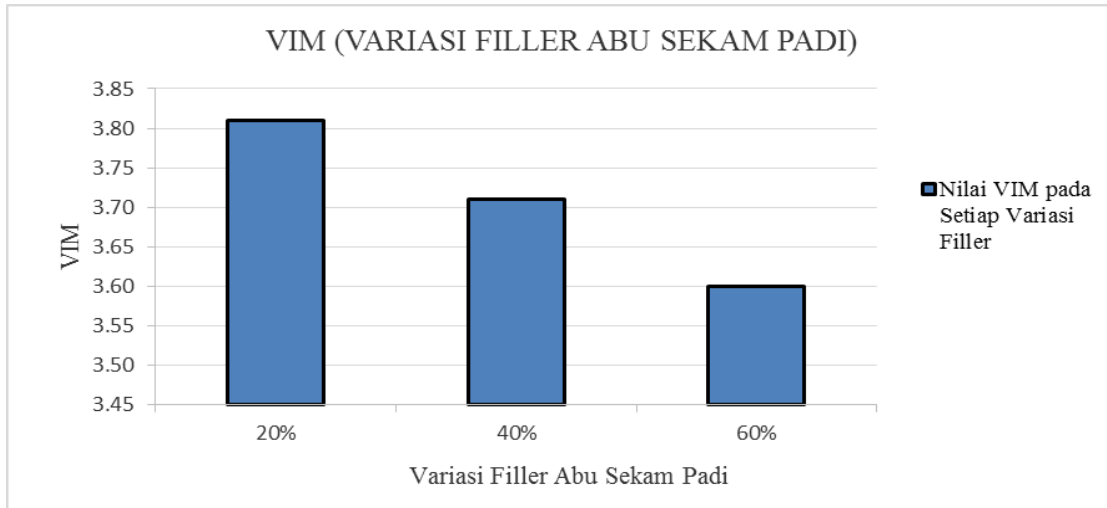
4. Hubungan Antara Void in Mix (VIM) dan Filler Abu Sekam Padi

Void In Mixture (VIM) adalah parameter yang menunjukkan volume rongga yang berisi udara dalam campuran aspal yang dinyatakan dalam % volume. VIM atau rongga dalam campuran merupakan parameter yang biasanya berkaitan dengan durabilitas dan kekuatan dari campuran. Semakin kecil nilai VIM, maka akan bersifat kedap air. Namun nilai VIM yang terlalu kecil dapat mengakibatkan keluarnya aspal ke permukaan. Hubungan antar VIM dan abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel 4.34.

Tabel 4.34 Hubungan Antara VIM Dan Filler Abu Sekam Padi

Variasi Abu Sekam Padi	20%	40%	60%
VIM	3.81	3.71	3.60

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 4.13 Grafik hubungan antara VIM dengan filler abu sekam padi

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium

Dari Tabel 4.34 dan Gambar 4.13 dapat dilihat Nilai VIM semakin menurun seiring dengan penambahan abu sekam padi. Hal ini disebabkan karena dari hasil pengujian berat jenis filler abu sekam padi dan berat jenis semen, menunjukkan bahwa abu sekam padi memiliki nilai berat jenis lebih rendah dari semen, hal ini akan menyebabkan secara volumetrik abu sekam padi lebih banyak dari pada semen pada jumlah berat yang sama. Perubahan nilai berat jenis membuat rongga yang berisi abu sekam padi lebih banyak. Dengan semakin rendahnya nilai VIM maka semakin kecil pula rongga dalam campuran yang artinya campuran semakin baik begitu juga sebaliknya semakin tinggi nilai VIM pada campuran aspal maka rongga dalam campuran semakin besar sehingga lebih cepat mengalami penuaan dan menyebabkan timbulnya retak pada lapisan perkerasan. Namun begitu, variasi filler abu sekam padi 20% sebesar 3,81%, abu sekam padi 40% sebesar 3,71% dan abu sekam padi 60% sebanyak 3,60% dan semua variasi memenuhi spesifikasi yang ada.

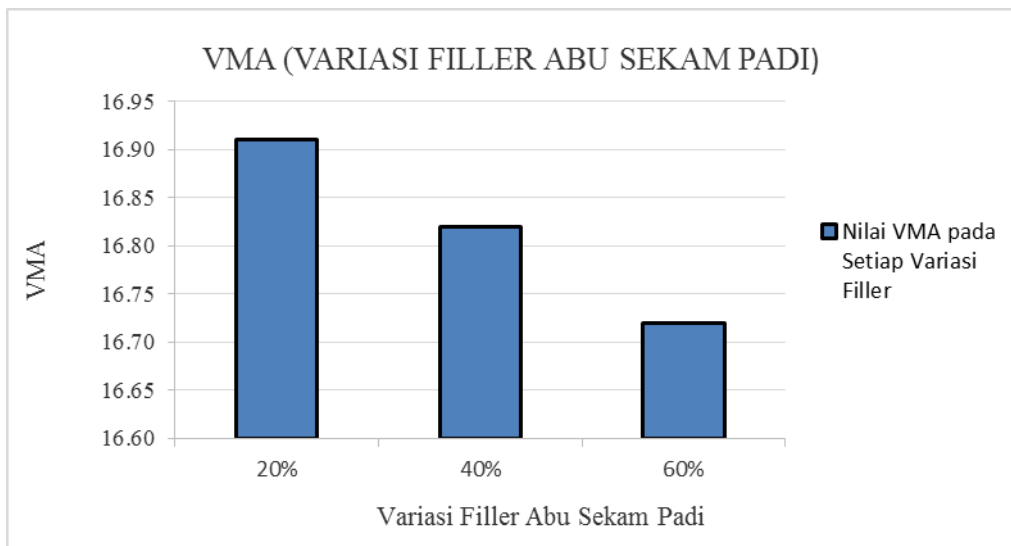
5. Hubungan Antara Void In the Mineral Aggregate (VMA) dan Filler Abu Sekam Padi

Voids in Mineral Aggregates (VMA) adalah volume rongga yang terdapat diantara butir-butir agregat dari suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, termasuk didalamnya rongga udara dan rongga yang berisi aspal efektif, dinyatakan dalam % volume, berikut grafik VMA akibat adanya penggunaan filler abu sekam padi dengan variasi 20% sampai 60%.

Tabel 4.35 Hubungan Antara VMA Dan Filler Abu Sekam Padi

Variasi Abu Sekam Padi	20%	40%	60%
VMA	16.91	16.82	16.72

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 4.14 Grafik hubungan antara VIM dengan filler abu sekam padi

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium

VMA merupakan presentase rongga antar butir agregat, termasuk di dalamnya adalah rongga yang terisi udara dan rongga terisi aspal efektif. Nilai VMA terlalu kecil dapat menyebabkan campuran beraspal yang menyelimuti agregat menjadi tipis dan mudah teroksidasi, akan tetapi bila kadar aspalnya terlalu banyak akan menyebabkan permukaan beton aspal menjadi tidak rata. Nilai minimum rongga dalam agregat adalah untuk menghindari banyaknya rongga udara yang menyebabkan material menjadi berpori. Rongga pori dalam agregat tergantung pada ukuran butir, susunan, bentuk dan metode pemadatan.

Nilai VMA semakin menurun seiring dengan penambahan abu sekam padi. Semakin besar penambahan abu sekam padi menyebabkan rongga antar agregat semakin kecil pada campuran. Nilai VMA turun semakin kecil, hal ini disebabkan karena semakin bertambahnya abu sekam padi maka semakin banyak aspal yang akan mengisi rongga-rongga di antara agregat sehingga dengan sendirinya nilai VMA akan semakin kecil. VMA yang kecil menyebabkan aspal menyelimuti agregat terbatas sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan. Nilai VMA akan meningkat seiring bertambahnya selimut aspal. Adapun nilai VMA yang diperoleh pada campuran AC-WC yang menggunakan variasi abu sekam padi 20% sebesar 16,91%, abu sekam padi 40% sebesar 16,82% dan pada variasi abu sekam padi 60% sebesar 16,72%. Meskipun demikian hasil tersebut masih memenuhi persyaratan Bina Marga untuk campuran AC-WC yaitu minimum 15%.

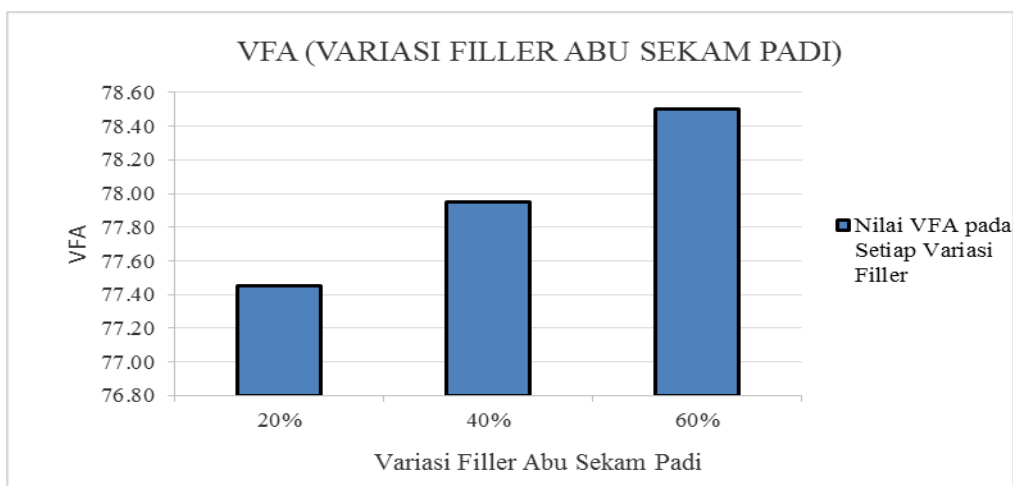
6. Hubungan Antara Void Filled With Asphalt (VFA) dan Filler Abu Sekam Padi

Void Filled with Asphalt (VFA) adalah bagian volume rongga dalam agregat yang terisi aspal yang dinyatakan dalam % terhadap rongga antar butiran agregat (VMA).. Berikut grafik VFA akibat adanya penggunaan abu sekam padi dalam campuran aspal beton.

Tabel 4.36 Hubungan Antara VFA Dan Filler Abu Sekam Padi

Variasi Abu Sekam Padi	20%	40%	60%
VFA	77.45	77.95	78.50

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium, 2023



Gambar 4.15 Grafik hubungan antara VFA dengan filler abu sekam padi

Sumber : Hasil perhitungan laboratorium

VFA merupakan volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal. Nilai VFA memperlihatkan presentase rongga terisi aspal. Apabila VFA besar maka rongga yang terisi aspal mengalami kekedapan campuran terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi. Hal ini disebabkan aspal yang berjumlah besar apabila menerima beban dan panas akan mencari rongga yang kosong. Jika rongga yang tersedia sedikit dan semua telah terisi, aspal akan naik kepermukaan yang kemudian terjadi bleeding.

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

Dari Gambar 4.15 terlihat bahwa nilai VFA semakin meningkat seiring dengan penambahan abu sekam padi. Dengan meningkatnya penambahan abu sekam padi maka menyebabkan semakin meningkat pula rongga yang terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap air dan udara akan semakin tinggi. VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan mudah mengalami bleeding, sebaliknya jika nilai VFA terlalu kecil akan menyebabkan kekedapan campuran terhadap air berkurang karena sedikit rongga yang terisi aspal. Adapun nilai VFA yang diperoleh pada campuran AC-WC yang menggunakan variasi abu sekam padi 20% sebesar 77,45%, abu sekam padi 40% sebesar 77,95% dan pada variasi abu sekam padi 60% sebesar 78,50%. Meskipun demikian hasil tersebut masih memenuhi persyaratan Bina Marga untuk campuran AC-WC yaitu minimum 15%.

