

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Material

Pengujian material dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kelayakan material yang akan dicampurkan ke dalam campuran Laston AC-WC. Adapun beberapa pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

4.1.1 Agregat Kasar

a. Berat Jenis dan Penyerapan

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dilakukan pada agregat dengan beberapa ukuran serta mendapatkan hasil sebagai berikut:

1. Agregat Kasar 3/4

Berikut adalah hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar 3/4:

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar 3/4

Pengujian	A	B	Rata-Rata
Berat benda uji kering oven (BK)	982,4	980,2	981,3
Berat benda uji kering permukaan jenuh (BJ)	1000	1000	1000
Berat benda uji dalam air (BA)	665	615	640
Berat jenis (Bulk) $\frac{BK}{(BJ-BA)}$	2,933	2,546	2,726
Berat jenis permukaan jenuh (SSD) $\frac{BJ}{(BJ-BA)}$	2,985	2,597	2,778
Berat jenis semu (<i>Apparent</i>) $\frac{BK}{(BK-BA)}$	3,095	2,684	2,875
Penyerapan (<i>Absorbition</i>) $\frac{(BJ-BK)}{BK} \times 100\%$	1,792%	2,020%	1,906%

Berdasarkan tabel diatas, didapat nilai berat jenis agregat kasar 3/4 sebesar 2,726 gr/cc, berat jenis permukaan jenuh 2,778 gr/cc, berat jenis semu 2,875 gr/cc yang sesuai dengan SNI 03-1979-1990 yakni $\geq 2,5$ gr/cc. Selain itu, didapat nilai penyerapan air terhadap agregat kasar 3/4 sebesar 1,906% yang memenuhi spesifikasi SNI 1969-1660 dengan nilai $\leq 3\%$.

2. Agregat Kasar ½

Berikut adalah hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar 1/2:

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar 1/2

Pengujian	A	B	Rata-Rata
Berat benda uji kering oven (BK)	976,9	977,2	977,05
Berat benda uji kering permukaan jenuh (BJ)	1000	1000	1000
Berat benda uji dalam air (BA)	605	620	612,5
Berat jenis (Bulk) $\frac{BK}{(BJ-BA)}$	2,473	2,572	2,521
Berat jenis permukaan jenuh (SSD) $\frac{BJ}{(BJ-BA)}$	2,532	2,632	2,581
Berat jenis semu (<i>Apparent</i>) $\frac{BK}{(BK-BA)}$	2,627	2,736	2,680
Penyerapan (<i>Absorbition</i>) $\frac{(BJ-BK)}{BK} \times 100\%$	2,365%	2,333%	2,349%

Berdasarkan tabel diatas, didapat nilai berat jenis agregat kasar 1/2 sebesar 2,521 *gr/cc*, berat jenis permukaan jenuh 2,581 *gr/cc*, dan berat jenis semu 2,680 *gr/cc* yang sesuai dengan SNI 03-1979-1990 yakni sebesar $\geq 2,5$ *gr/cc*, serta nilai penyerapan air terhadap agregat kasar 1/2 sebesar 1,906% yang memenuhi spesifikasi SNI 1969-1660 dengan nilai $\leq 3\%$.

b. *Loss Angeles Abration*

Adapun hasil dari pengujian *Loss Angeles Abration* adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian *Loss Angeles Abration*

Pengujian	1	2
Berat semula (A)	5000	5000
Berat tertahan saringan No. 12 (B)	3360	3785
Kausan $\frac{(A-B)}{A} \times 100\%$	32,8	24,3
Rata-Rata	28,55%	

Tabel di atas menunjukkan bahwa didapat nilai hasil pengujian *Loss Angeles Abrasion* sebesar 28,55% yang memenuhi spesifikasi SNI 2417:2008 dengan nilai maksimum keausan slag dan agregat sebesar 40%.

c. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Uji kelekatan agregat terhadap aspal memenuhi spesifikasi SNI 2439:2011 yakni 99% dari nilai minimum kelekatan sebesar 95% dan diuji secara visual.

d. Analisis Saringan

1. Agregat Kasar 3/4

Berikut adalah hasil dari pengujian analisis saringan agregat kasar 3/4:

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar 3/4

Nomor Saringan	Berat Tertahan	Kumulatif	% Tertahan	% Lolos
3/4"	0	0	0,00	100,00
1/2"	1665	1665	33,31	66,69
3/8"	950	2615	52,32	47,68
#4	1200	3815	76,33	23,67
#8	1145	4960	99,24	0,76
#16	15,64	4975,64	99,55	0,45
#30	5,61	4981,25	99,66	0,34
#50	1,56	4982,81	99,70	0,30
#100	2,32	4985,13	99,74	0,26
#200	3,21	4988,34	99,81	0,19
Pan	9,66	4998	100	0,00
Total	4998			

Tabel tersebut menunjukkan bahwa agregat kasar 3/4 dengan berat awal sebesar 5000 gram, menghasilkan berat akhir sebesar 4998 gram setelah dilakukan pengujian analisis saringan. Selain itu, didapat juga hasil analisis saringan dengan total berat yang hilang sebanyak 0,04%.

2. Agregat Kasar 1/2

Berikut adalah hasil dari pengujian analisis saringan agregat kasar 1/2:

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar 1/2

Nomor Saringan	Berat Tertahan	Kumulatif	% Tertahan	% Lolos
3/4"	0	0	0,00	100,00
1/2"	0	0	0,00	100,00
3/8"	945	945	18,91	62,18
#4	1245	2190	43,82	12,36
#8	280	2470	49,42	1,15
#16	1,66	2471,66	49,45	1,08
#30	2,68	2474,34	49,51	0,98
#50	1,49	2475,83	49,54	0,92
#100	2,51	2478,34	49,59	0,82
#200	4,28	2482,62	49,67	0,65
Pan	16,12	2498,74	49,99	0,00
Total	2498,74			

Tabel tersebut menunjukkan bahwa agregat kasar 1/2 dengan berat awal sebesar 2500 gram, menghasilkan berat akhir sebesar 2498,74 gram setelah dilakukan pengujian analisis saringan. Selain itu, didapat juga hasil analisis saringan dengan total berat yang hilang sebanyak 0,05%.

4.1.2 Agregat Halus

a. Berat Jenis dan Penyerapan

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dilakukan pada material pasir dan abu batu. Adapun hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pasir

Berikut merupakan hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan pasir:

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Pasir

Pengujian	A	B	Rata-Rata
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500	500	500
Berat benda uji kering oven (BK)	483,4	489,5	486,5
Berat picnometer diisi air 25°C (B)	665	665,2	660,1
Berat picnometer + benda uji SSD + air 25°C (Bt)	962,8	974,1	968,5
Berat jenis (Bulk) $\frac{BK}{(BJ-BA)}$	2,515	2,561	2,538
Berat jenis permukaan jenuh (SSD) $\frac{BJ}{(BJ-BA)}$	2,601	2,616	2,609
Berat jenis semu (<i>Apparent</i>) $\frac{BK}{(BK-BA)}$	2,753	2,710	2,731
Penyerapan (<i>Absorbtion</i>) $\frac{(BJ-BK)}{BK} \times 100\%$	3,434%	2,145%	2,785%

Berdasarkan tabel diatas, didapat nilai berat jenis bulk sebesar 2,538 *gr/cc*, berat jenis permukaan jenuh 2,609 *gr/cc*, dan berat jenis semu 2,731 *gr/cc* yang memenuhi SNI 03-1970-1990. Selain itu, didapat nilai penyerapan air terhadap pasir pasir sebesar 2,785% yang memenuhi spesifikasi SNI 1969-1660 dengan nilai maksimum penyerapan air terhadap agregat $\leq 3\%$.

2. Abu Batu

Berikut merupakan hasil dari pengujian berat jenis dan penyerapan abu batu:

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Abu Batu

Pengujian	A	B	Rata-Rata
Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)	500	500	500
Berat benda uji kering oven (BK)	485,2	487,5	486,4
Berat picnometer diisi air 25°C (B)	666	663	659,5
Berat picnometer + benda uji SSD + air 25°C (Bt)	969,4	965,2	967,3
Berat jenis (Bulk) $\frac{BK}{(BJ-BA)}$	2,600	2,465	2,530
Berat jenis permukaan jenuh (SSD) $\frac{BJ}{(BJ-BA)}$	2,680	2,528	2,601
Berat jenis semu (<i>Apparent</i>) $\frac{BK}{(BK-BA)}$	2,824	2,631	2,724

Penyerapan (<i>Absorbition</i>)	$\frac{(BJ-BK)}{BK} \times 100\%$	3,048%	2,564%	2,806%
-----------------------------------	-----------------------------------	--------	--------	--------

Berdasarkan tabel diatas, didapat nilai berat jenis bulk sebesar 2,538 *gr/cc*, berat jenis permukaan jenuh 2,609 *gr/cc*, dan berat jenis semu 2,731 *gr/cc* yang memenuhi SNI 03-1970-1990. Selain itu, didapat nilai penyerapan air terhadap pasir pasir sebesar 2,785% yang memenuhi spesifikasi SNI 1969-1660 dengan nilai maksimum penyerapan air terhadap agregat $\leq 3\%$.

b. Analisis Saringan

1. Pasir

Berikut adalah hasil dari pengujian analisis saringan pasir:

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Analisis Saringan Pasir

Nomor Saringan	Berat Tertahan	Kumulatif	% Tertahan	% Lolos
3/4"	0	0	0,00	100,00
1/2"	0	0	0,00	100,00
3/8"	0	0	0,00	100,00
#4	0	0	0,00	100,00
#8	46,4	46,4	0,93	90,70
#16	108	154,4	3,09	69,04
#30	68,8	223,2	4,47	55,24
#50	99	322,2	6,45	35,39
#100	64,6	386,8	7,74	22,44
#200	57,7	444,5	8,89	10,87
Pan	54,2	498,7	9,98	0,00
Total	498,7			

Tabel tersebut menunjukkan bahwa pasir dengan berat awal sebesar 500 gram, menghasilkan berat akhir sebesar 498,7 gram setelah dilakukan pengujian analisis saringan. Selain itu, didapat juga hasil analisis saringan dengan total berat yang hilang sebanyak 0,26%.

2. Abu Batu

Berikut adalah hasil dari pengujian analisis saringan abu batu:

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Analisis Saringan Abu Batu

Nomor Saringan	Berat Tertahan	Kumulatif	% Tertahan	% Lolos
3/4"	0	0	0,00	100,00
1/2"	0	0	0,00	100,00
3/8"	0	0	0,00	100,00
#4	0	0	0,00	100,00
#8	94	94	1,88	81,14
#16	101,7	195,7	3,92	60,74
#30	59,9	255,6	5,11	48,73
#50	84,8	340,4	6,81	31,72
#100	53,4	393,8	7,88	21,00
#200	40,7	434,5	8,69	12,84
Pan	64	498,5	9,97	0,00
Total	498,5			

Tabel tersebut menunjukkan abu batu dengan berat awal sebesar 500 gram, menghasilkan berat akhir sebesar 498,5gram setelah dilakukan pengujian analisis saringan. Selain itu, didapat juga hasil analisis saringan dengan total berat yang hilang sebanyak 0,3%.

c. Kadar Lumpur

1. Pasir

Berikut adalah hasil dari pengujian kadar lumpur pasir:

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Pasir

Pengujian	Nilai
Tinggi pasir + lumpur	128
Tinggi pasir	116

Tinggi lumpur	12
Hasil	90,63%

Tabel di atas menunjukkan nilai setara pasir sebesar 90,63% yang memenuhi SNI 03-4428-1997 dengan nilai setara pasir minimal 60% dan kadar lumpur maksimal sebesar 40%.

2. Abu Batu

Berikut adalah hasil dari pengujian kadar lumpur abu batu:

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Kadar Lumpur Abu Batu

Pengujian	Nilai
Tinggi abu batu + lumpur	116
Tinggi abu batu	108
Tinggi lumpur	8
Hasil	93,10%

Berdasarkan tabel di atas didapat nilai setara pasir sebesar 93,10% yang memenuhi SNI 03-4428-1997 dengan nilai setara pasir minimal 60% dan kadar lumpur maksimal sebesar 40%.

4.1.3 Added Filler

a. Berat Jenis *Added Filler*

1. Semen

Berikut adalah hasil dari pengujian berat jenis semen:

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Berat Jenis Semen

Pengujian	A	B	Rata-Rata
Berat picnometer (A)	37,3	37,3	37,3
Berat picnometer + air (B)	119,7	113,6	116,65
Berat picnometer + filler (C)	89,8	83,5	86,65
Berat picnometer +air + filler	151	141,8	146,4
Berat jenis $\frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)}$	2,476	2,567	2,518

Adapun berat jenis semen sebagai *added filler* yang didapat berdasarkan tabel di atas adalah sebesar 2,518 gram/cc.

2. Abu Sekam Padi

Berikut adalah hasil dari pengujian berat jenis Abu Sekam Padi:

Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Berat Jenis Abu Sekam Padi

Pengujian	A	B	Rata-Rata
Berat picnometer (A)	37	49,9	43,45
Berat picnometer + air (B)	109,7	123,1	116,4
Berat picnometer + filler (C)	62,5	74,4	68,45
Berat picnometer +air + filler	126,2	135,4	130,8
Berat jenis $\frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)}$	2,833	2,008	2,358

Berdasarkan tabel diatas, didapat hasil pengujian berat jenis abu sekam padi sebesar 2,358 gram/cc.

b. Analisis Saringan

Berikut adalah hasil dari analisis saringan *added filler*:

Tabel 4. 14 Hasil Dari Pengujian Analisis Saringan *Added Filler*

Nomor Saringan	Berat Tertahan	Kumulatif	% Tertahan	% Lolos
3/4''	0	0	0,00	100,00
1/2''	0	0	0,00	100,00
3/8''	0	0	0,00	100,00
#4	0	0	0,00	100,00
#8	0	0	0,00	100,00
#16	0	0	0,00	100,00
#30	0	0	0,00	100,00
#50	0	0	0,00	100,00
#100	8,5	8,5	0,17	98,30

#200	15,6	24,1	0,48	95,17
Pan	475	499,1	9,99	0,00
Total	499,1			

Tabel tersebut menunjukkan bahwa *added filler* dengan bisa digunakan karena memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 dengan nilai presentase lolos pada saringan #30 sebesar 100%; #50 sebesar 100%; dan #200 sebesar 95,17%.

4.1.4 Aspal

a. Penetrasi

Adapun hasil yang didapat dari pengujian penetrasi aspal adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal

Penetrasi Pada 25°C, 100 gr, 5 detik	1	2
Pengamatan 1	62	70
Pengamatan 2	76	66
Pengamatan 3	74	60
Pengamatan 4	68	68
Pengamatan 5	60	70
Rata-Rata	68	66,8
Nilai Penetrasi	67,4	

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa aspal yang akan digunakan memiliki nilai penetrasi sebesar 67,4. Hal ini menunjukkan bahwa aspal tersebut dapat digunakan pada campuran Laston AC-WC karena memenuhi spesifikasi SNI 2456:2011 dengan syarat nilai penetrasi sebesar 60-70.

b. Titik Lembek

Berikut merupakan hasil dari pengujian titik lembek aspal :

Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal

No	Suhu Yang Diamati (°C)	Waktu (menit)	Keterangan	
			I	II
1	5	04:23		
2	10	06:29		
3	15	10:44		
4	20	13:58		
5	25	17:52		
6	30	22:16		
7	35	26:57		
8	40	30:46		
9	45	33:18		
10	49,8	36:09	Benda Uji Jatuh	
11	50	36:10		
12	50,1	36":15		Benda Uji Jatuh

Dari tabel diatas, didapat nilai rata-rata nilai titik lembek aspal yang akan digunakan adalah pada suhu 49,95°C dan memenuhi spesifikasi SNI 2434:2011 dengan nilai minimum titik lembek aspal berada pada suhu 48°C.

c. Daktilitas

Berikut merupakan hasil dari pengujian daktilitas aspal:

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Daktilitas Aspal

Pengujian	Pembacaan Pengukuran Pada Alat (cm)
1	150
2	150
Rata-Rata	150

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat pada nilai daktilitas pada aspal yang digunakan sebesar 150 cm dan memenuhi SNI 2434:2011 dengan nilai daktilitas ≥ 100 cm.

d. Berat Jenis

Berikut merupakan hasil dari pengujian berat jenis aspal:

Tabel 4. 18 Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal

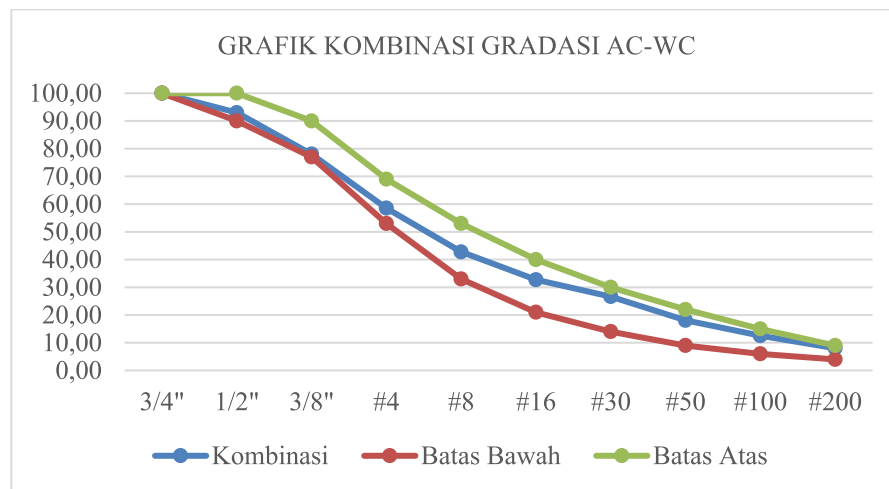
Pengujian	1	2
Berat picnometer kosong (A)	43	43
Berat picnometer + Air (B)	65,5	65,5
Berat picnometer + Aspal (C)	60,1	58,8
Berat picnometer + Air + Aspal (D)	65,6	66,2
Berat aspal (C-A)	17,1	15,8
Isi aspal (B-A)-(D-C)	17	15,1
Berat jenis aspal (C-A)/(B-A)-(D-C)	1,006	1,046
Rata-Rata $((1+2)/2)$	1,03	

Tabel diatas menunjukkan bahwa nilai berat jenis aspal yang didapat pada pengujian ini sebesar 1,03 kg/m³ yang memenuhi SNI 2441:2011.

4.2 Kadar Aspal Optimum

4.2.1 Job Mix Design

Job Mix Design merupakan nilai optimal agregat yang akan digunakan. Adapun *job mix design* yang digunakan harus berada diantara ambang atas dan bawah kombinasi yang sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (revisi 2), seperti pada tabel berikut:



Gambar 4. 1 Grafik Kombinasi Gradasi

Grafik diatas menunjukkan bahwa kombinasi gradasi agregat untuk campuran AC-WC telah memenuhi standar yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018. Selanjutnya dapat dilanjutkan dengan penentuan persentase penggunaan material yang akan digunakan dan ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 4. 19 Presentase Kombinasi Agregat

	100%				2%			
	50%		48%					
	21%	29%	14%	34%				
Nomor Saringan	Agregat Kasar		Agregat Halus		Filler	Kombinasi	Spesifikasi	
	Agregat ¾"	Agregat ½"	Pasir	Abu Batu			Bawah	Atas
3/4	100	100	100	100	100	100	100	100
1/2	66,69	100	100	100	100	93	90	100
3/8	47,68	62,18	100	100	100	78,05	77	90
#4	23,67	12,36	100	100	100	58,55	53	69
#8	0,76	1,15	90,70	81,14	100	42,78	33	53
#16	0,45	1,08	69,04	60,74	100	32,73	21	40

#30	0,34	0,98	55,24	48,73	100	26,65	14	30
#50	0,30	0,92	35,39	31,72	100	18,07	9	22
#100	0,26	0,82	22,44	21	98,30	12,54	6	15
#200	0,19	0,65	10,84	12,84	95,17	8,02	4	9

Dari tabel tersebut, dapat diketahui bahwa didapatkan persentase penggunaan material sebesar 21% agregat kasar 3/4, 29% agregat kasar 1/2, 14% pasir, 34% abu batu, dan 2% *added filler*. Dari persentase penggunaan masing-masing material tersebut, didapat berat masing-masing material yang dibutuhkan pada setiap kadar aspal seperti tabel di bawah ini.

Tabel 4. 20 Material Agregat Aspal

Material	Jumlah Benda Uji	Kadar Aspal						Berat Total (gr)
		4	4,5	5	5,5	6	6,5	
Agregat ¾"	3	241,9	240,7	239,4	238,1	236,9	235,6	4297,9
Agregat ½"	3	334,1	332,3	330,6	328,9	327,1	325,4	5935,1
Abu Batu	3	391,7	389,6	387,6	385,6	383,5	381,5	6958,4
Pasir	3	161,3	160,4	159,6	158,8	157,9	157,1	2865,2
Filler	3	23	22,9	22,8	22,7	22,6	22,4	409,3
Aspal	3	48	54	60	66	72	78	1134

Tabel di atas tidak hanya menunjukkan berat masing-masing material yang dibutuhkan pada setiap persentase kadar aspal, namun juga berat total kebutuhan material untuk seluruh kadar aspal. Adapun berat total kebutuhan material yang akan digunakan yakni 4297,9 gram agregat kasar 3/4; 5935,1 gram agregat kasar 1/2; 6958,4 gram abu batu; 2865,2 gram pasir; 409,3 gram *added filler*; dan 11344 gram aspal.

4.2.2 Hasil Pengujian Marshall

1. Kadar Aspal

Kadar aspal merupakan persentase penggunaan aspal yang digunakan pada setiap sampel. Setelah melalui proses pengujian menggunakan *set marshall test*, berikut hasil pengujian pada setiap kadar aspal.

a. 4%

Tabel 4. 21 Hasil Pengujian Marshall Kadar Aspal 4%

Sampel	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	2,266	9,16	15,27	49,10	2053,71	4,5	447,43
2	2,224	10,85	16,85	44,40	1525,59	1,1	1359,71
3	2,160	13,41	19,23	38,57	1498,35	1,8	816,10
Rata-Rata	2,216	11,14	17,12	44,02	1692,55	2,5	874,41

b. 4,5%

Tabel 4. 22 Hasil Pengujian Marshall Kadar Aspal 4,5%

Sampel	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	2,10	15	21,72	38,09	1358,73	2,4	555,04
2	2,20	11,05	18,08	46,63	1443,87	1,8	786,42
3	2,17	12,33	19,25	43,57	1307,65	3	427,34
Rata-Rata	2,159	12,79	19,68	42,76	1370,08	2,4	589,60

c. 5%

Tabel 4. 23 Hasil Pengujian Marshall Kadar Aspal 5%

Sampel	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	2,20	9,70	17,87	52,72	1333,66	3	435,84
2	2,21	10,02	18,17	51,82	1201,25	1,75	672,97
3	2,24	8,78	17,03	55,46	1566,46	1,75	877,57
Rata-Rata	2,22	9,50	17,69	53,33	1367,12	2,17	662,12

d. 5,5%

Tabel 4. 24 Hasil Pengujian Marshall Kadar Aspal 5,5%

Sampel	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	2,26	7,20	16,65	62,78	1689,05	2,7	613,31
2	2,23	8,80	18,10	57,54	1294,03	2,05	618,86
3	2,27	7,17	16,64	62,85	1157,82	1,7	667,72

Rata-Rata	2,25	7,72	17,13	61,06	1380,30	2,15	633,29
-----------	------	------	-------	-------	---------	------	--------

e. 6%

Tabel 4. 25 Hasil Pengujian Marshall Kadar Aspal 6%

Sampel	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	2,28	5,95	16,59	69,12	1157,82	1,3	873,17
2	2,31	4,66	15,45	74,35	1277,40	1,25	1001,88
3	2,34	3,39	14,32	80,15	1493,61	2	732,16
Rata-Rata	2,31	4,67	15,45	74,54	1309,61	1,52	869,07

f. 6,5%

Tabel 4. 26 Hasil Pengujian Marshall Kadar Aspal 6,5%

Sampel	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	2,32	3,65	15,62	80,09	1217,96	1,75	682,33
2	3,30	4,57	16,42	76,10	1174,98	2	575,97
3	2,31	3,94	15,87	78,80	1471,11	2,3	622,07
Rata-Rata	2,31	4,05	15,97	78,33	1288,02	2,02	628,46

g. Rekapitulasi

Tabel 4. 27 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall

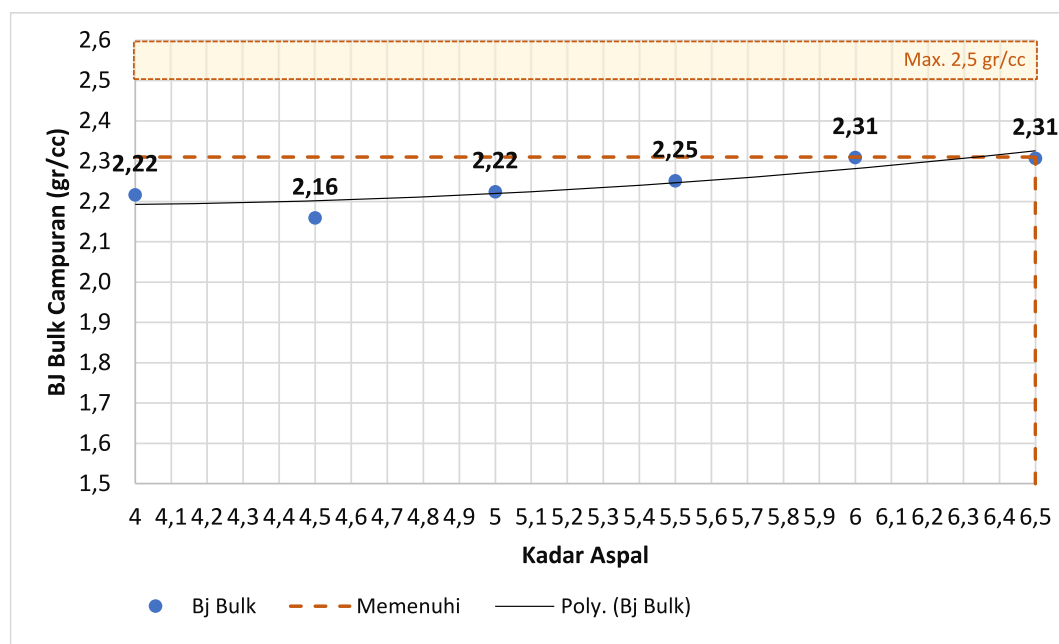
% Kadar Aspal	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
4	2,216	11,14	17,12	44,02	1692,55	2,5	874,41

4,5	2,159	12,79	19,68	42,76	1370,08	2,4	589,60
5	2,22	9,50	17,69	53,33	1367,12	2,17	662,12
5,5	2,25	7,72	17,13	61,06	1380,30	2,15	633,29
6	2,31	4,67	15,45	74,54	1309,61	1,52	869,07
6,5	2,31	4,05	15,97	78,33	1288,02	2,02	628,46

2. Perbandingan Nilai Kualitas Pengujian

a. Berat Jenis Bulk Campuran

Berikut merupakan grafik hasil pengujian marshall pada nilai berat jenis bulk campuran pada setiap kadar aspal.

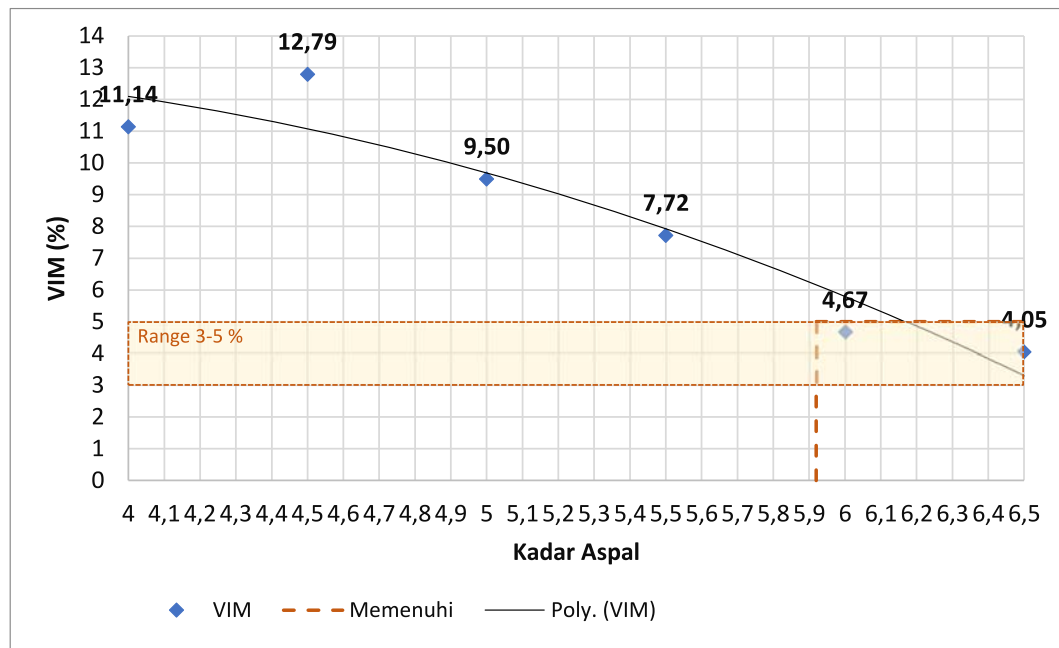


Gambar 4. 2 Grafik BJ Bulk Campuran Konvensional

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa hasil pengujian marshall pada nilai berat jenis bulk campuran untuk semua kadar berada pada nilai 2,16 – 2,31 gr/cc. Nilai tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 dengan nilai maksimal berat jenis bulk campuran sebesar 2,5 gr/cc.

b. Rongga Udara (VIM)

Nilai rongga udara (VIM) merupakan nilai dalam persentase yang digunakan untuk mengetahui jumlah rongga udara pada suatu campuran aspal. Berikut ini merupakan grafik nilai rongga udara (VIM) pada sampel dengan masing-masing kadar aspal.

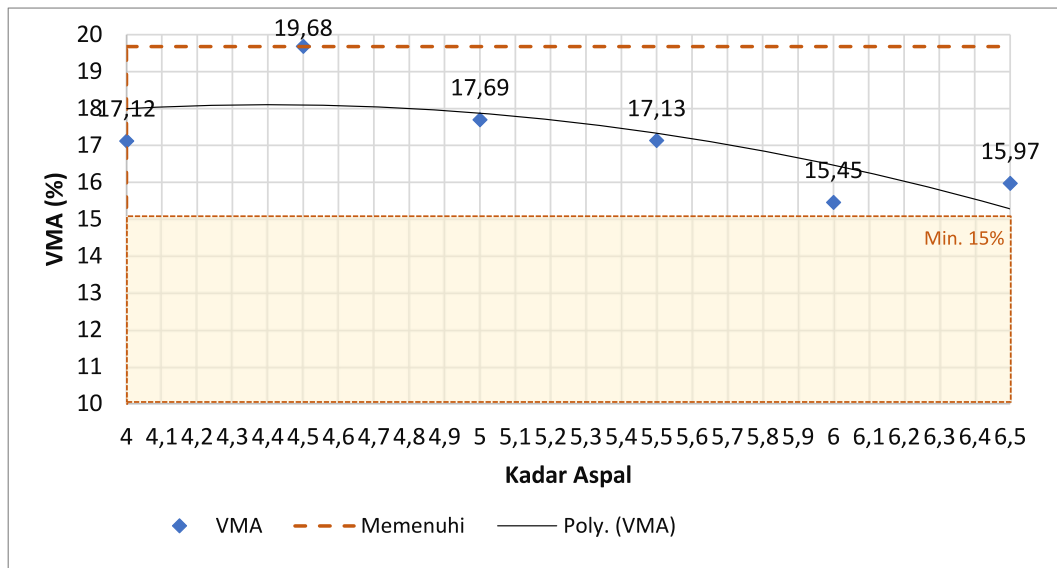


Gambar 4. 3 Grafik VIM Konvensional

Grafik diatas menunjukkan nilai VIM untuk semua kadar aspal berkisar pada 4,05% – 12,79%. Akan tetapi, kadar aspal yang memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Tahun 2018 dengan nilai VIM berada diantara 3% – 5% hanya pada kadar aspal sekitar 5,92% - 6,5%.

c. Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)

Nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) merupakan persentase nilai rongga dalam mineral agregat yang dinyatakan dalam persentase.

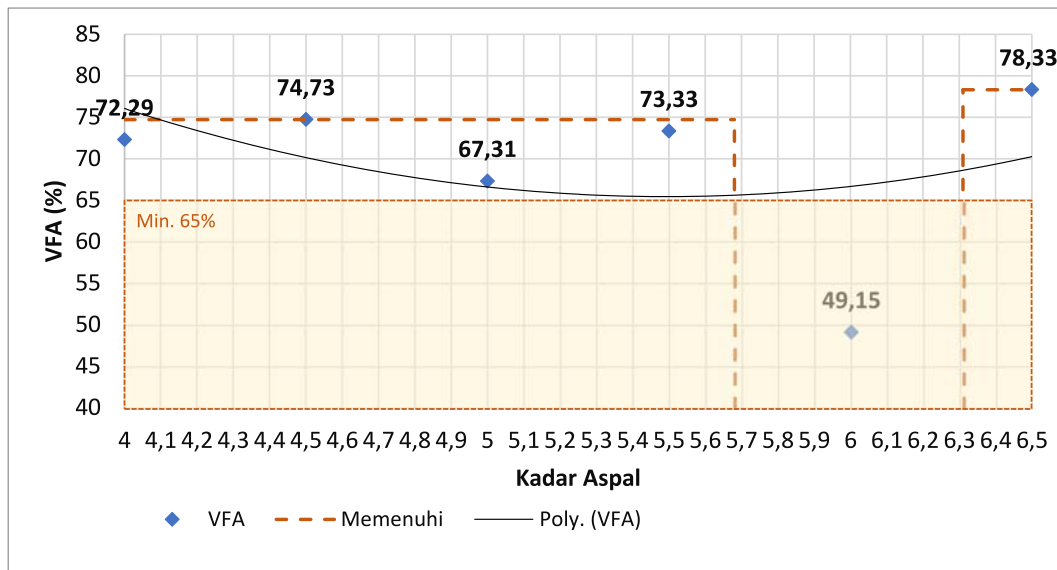


Gambar 4. 4 Grafik VMA Konvensional

Berdasarkan grafik diatas, didapat nilai VMA berkisar pada 15,45% – 19,68% yang memenuhi standar persyaratan nilai VMA campuran aspal Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 dengan nilai minimum sebesar 15%.

d. Rongga Terisi Aspal (VFA)

Rongga terisi aspal (VFA) adalah nilai yang menunjukkan persentase jumlah rongga dalam campuran yang terisi aspal dengan fungsi sebagai selimut agar campuran menjadi padat. Adapun berikut merupakan grafik hasil pengujian pada nilai VFA masing-masing kadar aspal.

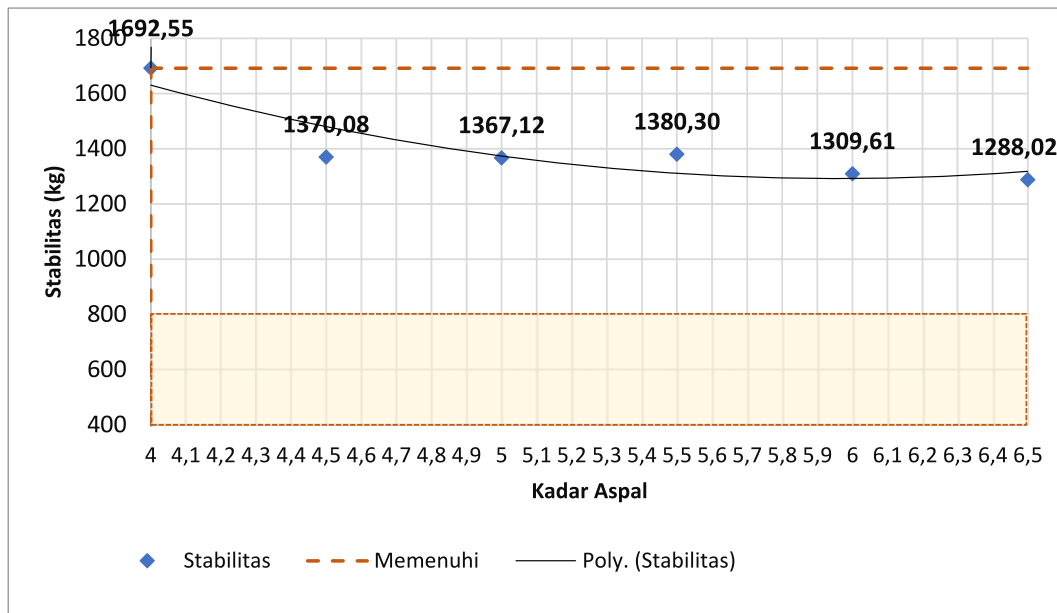


Gambar 4. 5 Grafik VFA Konvensional

Grafik di atas menunjukkan nilai VFA hasil pengujian sampel pada setiap kadar berkisar antara 49,15% – 78,33% dengan standar minimum yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 sebesar 65%. Maka dari itu, didapat nilai kadar aspal yang memenuhi spesifikasi adalah pada kadar 4% – 5,68% dan 6,31% – 6,5%.

e. Stabilitas

Stabilitas merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan campuran laston tidak mengalami perubahan bentuk ketika menerima beban lalu lintas. Adapun untuk nilai stabilitas pada laston dinyatakan dengan satuan kilogram. Berikut hasil pengujian marshall pada nilai stabilitas untuk setiap penggunaan kadar aspal.

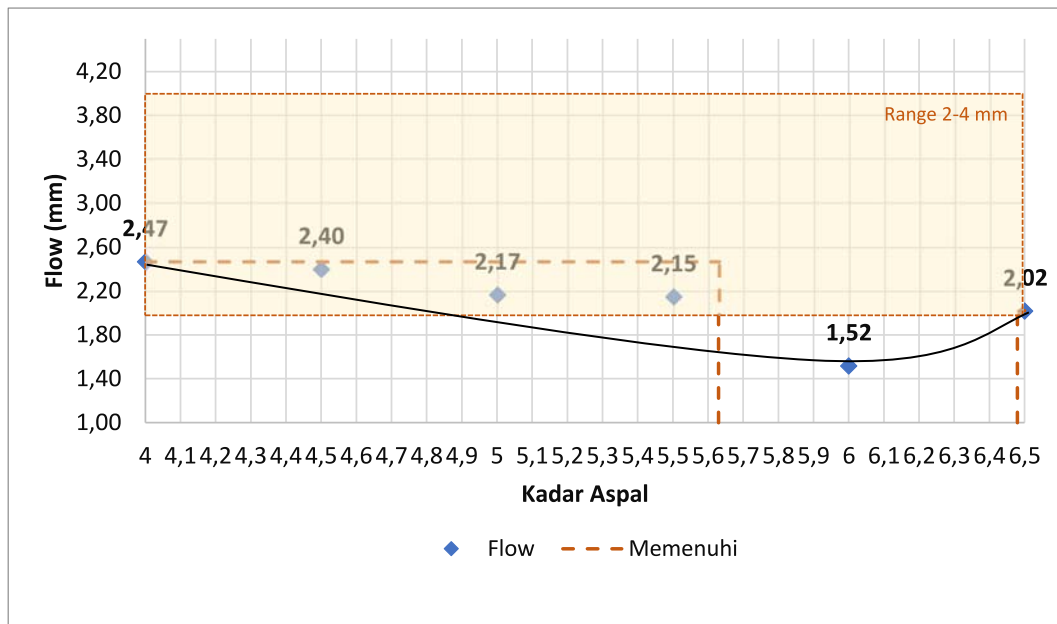


Gambar 4. 6 Grafik Stabilitas Konvensional

Nilai stabilitas hasil pengujian marshall pada setiap penggunaan kadar aspal dapat dilihat pada grafik diatas. Grafik tersebut menunjukkan besarnya nilai stabilitas pada setiap kadar aspal berkisar antara 1288,02 kg – 1692,55 kg yang memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 dengan nilai minimum sebesar 800 kg.

f. Flow

Nilai *flow* pada campuran laston merupakan nilai yang menyatakan kelelehan campuran akibat pembebanan pada suhu tertentu. Adapun berikut merupakan nilai *flow* hasil pengujian marshall pada sampel setiap penggunaan kadar aspal.

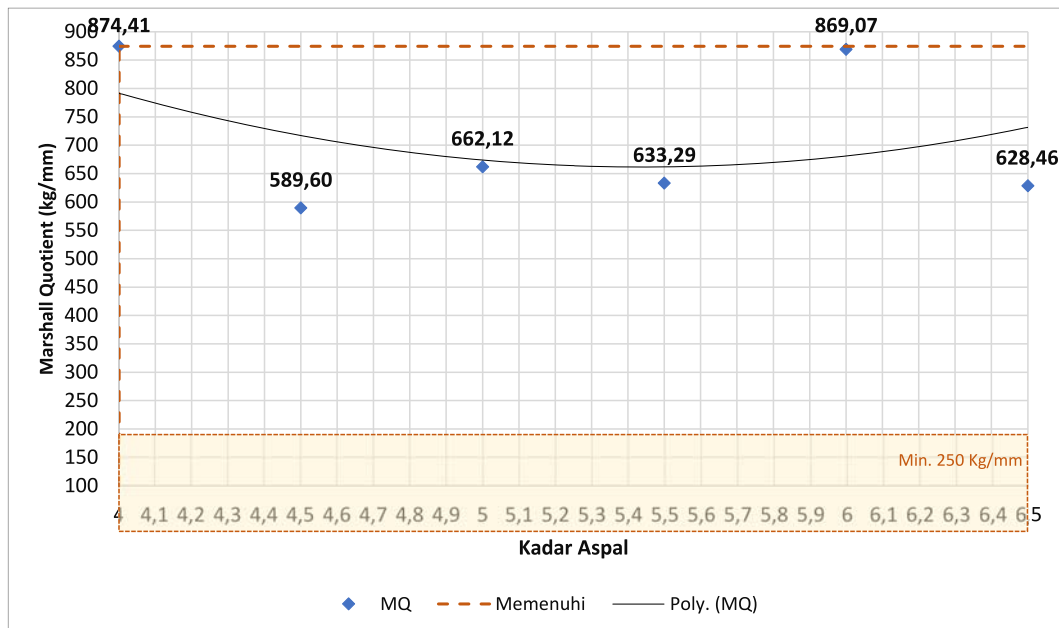


Gambar 4. 7 Grafik *Flow* Konvensional

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa hasil pengujian marshall pada nilai *flow* setiap penggunaan kadar aspal berkisar antara 1,52 – 2,47 mm dengan standar Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 sebesar 2 – 4 mm. Maka dari itu, kadar aspal yang memenuhi standar tersebut yakni kadar aspal 4 – 5,63% dan kadar aspal 6,48 – 6,5%.

g. *Marshall Quotient* (MQ)

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) merupakan nilai yang menyatakan kekakuan campuran laston. Berikut merupakan grafik hasil pengujian marshall pada nilai MQ pada setiap penggunaan kadar aspal.

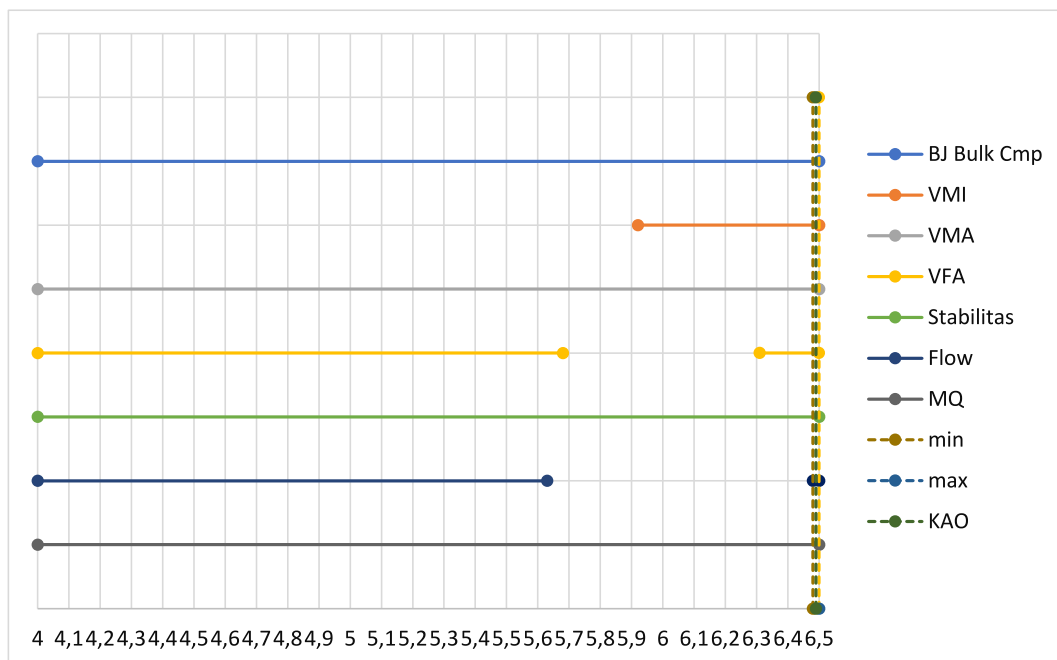


Gambar 4. 8 Grafik MQ Konvensional

Adapun grafik diatas menunjukkan nilai MQ setiap penggunaan kadar aspal berkisar antara 589,60 – 874,41 kg/mm yang memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 dengan nilai minimum MQ sebesar 250 kg/mm.

4.2.3 Hasil Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum merupakan persentase kadar aspal yang memenuhi semua aspek persyaratan pengujian dan optimum jika digunakan pada campuran laston. Adapun rekapitulasi hasil pada seluruh aspek pengujian pada setiap penggunaan kadar aspal adalah sebagai berikut.



Gambar 4. 9 Grafik KAO

Berdasarkan grafik diatas, dapat diketahui bahwa hasil dari pengujian marshall penggunaan setiap kadar aspal yang memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 setiap aspek yakni pada penggunaan kadar aspal antara 6,48 – 6,5%. Maka dari itu, digunakan kadar aspal optimum 6,49% sebagai hasil dari rata-rata nilai minimum dan maksimum kadar aspal yang memenuhi standar.

4.3 Inovasi

Inovasi merupakan ide dan implementasinya untuk menciptakan sesuatu yang baru. Begitu juga dengan penelitian ini, inovasi terjadi dengan melakukan penggunaan abu sekam padi sebagai *added filler* dan lateks sebagai bahan pengganti untuk sebagian penggunaan aspal.

4.3.1 Job Mix Design

Sebelum dilakukan pembuatan sampel dan pengujian pada campuran Laston AC-WC, terlebih dahulu dilakukan perhitungan penggunaan persentase kadar serta jumlah material yang dibutuhkan untuk setiap material yang akan digunakan

atau biasa disebut dengan *Job Mix Design* (JMD). Berikut merupakan hasil dari perhitungan JMD yang akan digunakan.

Tabel 4. 28 *Job Mix Design* Inovasi

Material	Jumlah Benda Uji	Filler								Berat Total (gr)
		Semen				Sekam Padi				
		Persentase Lateks								
		0%	3%	6%	9%	0%	3%	6%	9%	
Agregat 3/4	3	235,7	235,7	235,7	235,7	235,7	235,7	235,7	235,7	5656,8
Agregat 1/2	3	325,4	325,4	325,4	325,4	325,4	325,4	325,4	325,4	7809,6
Abu Batu	3	381,5	381,5	381,5	381,5	381,5	381,5	381,5	381,5	9156
Pasir	3	157,1	157,1	157,1	157,1	157,1	157,1	157,1	157,1	3770,4
Semen	3	22,4	22,4	22,4	22,4	0	0	0	0	268,8
Abu Sekam Padi	3	0	0	0	0	22,4	22,4	22,4	22,4	268,8
Lateks	3	0	3,9	7,8	11,7	0	3,9	7,8	11,7	140,4
Kadar Aspal	3	77,9	74	70,1	66,2	77,9	74	70,1	66,2	1729,2

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui persentase material inovasi yang digunakan yakni sebesar 2% sekam padi sebagai substitusi penuh penggunaan *added filler* sebelumnya (semen) dan 0%, 3%, 6%, 9% penggunaan lateks sebagai substitusi aspal. Digunakannya kadar lateks tersebut yakni untuk mengetahui titik optimal penggunaan lateks sekaligus penurunan penggunaan kadar berlebih yang mengacu pada nilai optimum penelitian sebelumnya (Asri J et al, 2022; AT Yanti et al, 2024; Farisqi et al, 2025).

Selain itu, dapat diketahui juga berat total penggunaan pada setiap material, antara lain 5656,8 gram agregat 3/4; 7809,6 gram agregat 1/2; 9156 gram abu batu; 3770,4 gram pasir; 268,8 gram semen; 268,8 abu sekam padi; 140,4 gram lateks; dan 1729,2 aspal.

4.3.2 Hasil Pengujian Marshall

4.3.2.1 Semen dan Lateks

1. Kadar Material Inovasi

Kadar material inovasi merupakan persentase banyaknya kadar penggunaan semen sebagai *added filler* dan material inovasi berupa lateks sebagai substitusi aspal pada campuran laston. Adapun berikut merupakan hasil pengujian marshall penggunaan material inovasi lateks dengan *added filler* semen berkode SM dan lateks berkode L yang diikuti dengan nilai persentase penggunaan lateks pada campuran.

a. SML0 (Semen dan Lateks 0%)

Tabel 4. 29 Hasil Marshall Kadar SML0

Sampel	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	2,30	4,23	16,11	77,48	1294,03	2	634,33
2	2,30	4,54	16,38	76,18	1634,57	2,2	728,42
Rata-Rata	2,30	4,39	16,24	76,83	1464,30	2,10	681,37

b. SML3 (Semen dan Lateks 3%)

Tabel 4. 30 Hasil Marshall Kadar SML3

Sampel	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	2,25	6,32	17,93	69,28	1770,78	2,05	846,86
2	2,24	7,03	18,56	66,78	1362,14	2,9	460,49
3	2,25	6,66	18,23	68,06	1634,57	3,95	405,70
Rata-Rata	2,25	6,67	18,24	68,04	1589,16	2,97	571,02

c. SML6 (Semen dan Lateks 6%)

Tabel 4. 31 Hasil Marshall Kadar SML6

Sampel	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	2,25	6,50	18,09	68,63	1634,57	3,05	525,42
2	2,28	5,10	16,86	73,91	1475,25	3,6	401,76
3	2,28	5,36	17,09	72,89	1702,67	0,7	2384,70
Rata-Rata	2,27	5,65	17,35	71,81	1604,16	2,45	1103,96

d. SML9 (Semen dan Lateks 9%)

Tabel 4. 32 Hasil Marshall Kadar SML9

Sampel	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	2,26	5,86	17,53	70,98	1270,15	2,15	579,18
2	2,23	7,49	18,95	65,28	1553,58	2,15	708,43
3	2,27	5,84	17,51	71,06	1668,40	2,75	594,79
Rata-Rata	2,25	6,39	18	69,10	1497,38	2,35	627,47

e. Rekapitulasi

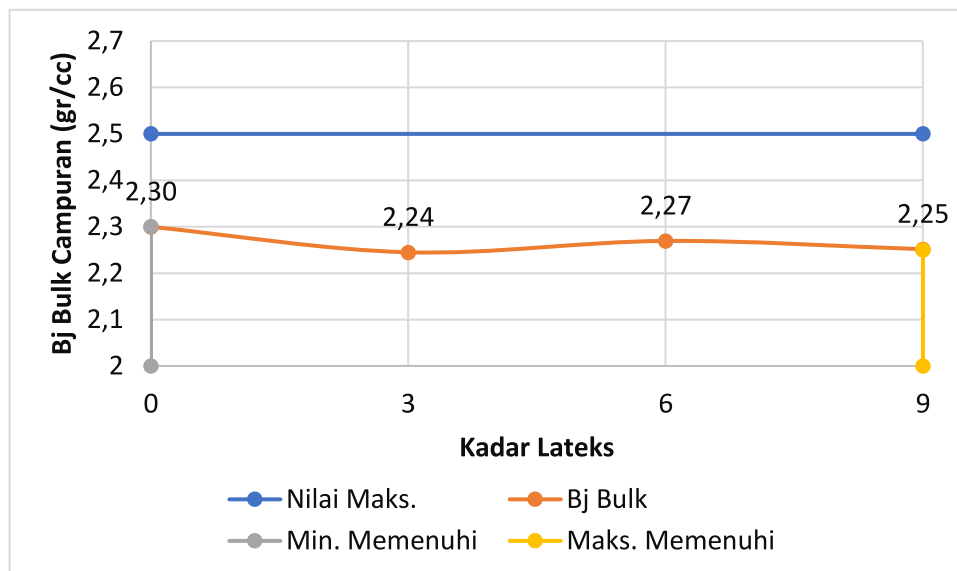
Tabel 4. 33 Rekapitulasi Hasil Marshall Semen dan Lateks

Inovasi	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
SML0	2,30	4,39	16,24	76,83	1464,30	2,10	681,37
SML3	2,25	6,67	18,24	68,04	1589,16	2,97	571,02
SML6	2,27	5,65	17,35	71,81	1604,16	2,45	1103,96
SML9	2,25	6,39	18	69,10	1497,38	2,35	627,47

2. Perbandingan Nilai Kualitas Pengujian

a. Berat Jenis Bulk Campuran

Berikut merupakan grafik hasil pengujian marshall pada nilai berat jenis bulk campuran pada setiap kadar aspal.



Gambar 4. 10 Grafik BJ Bulk Campuran Semen dan Lateks

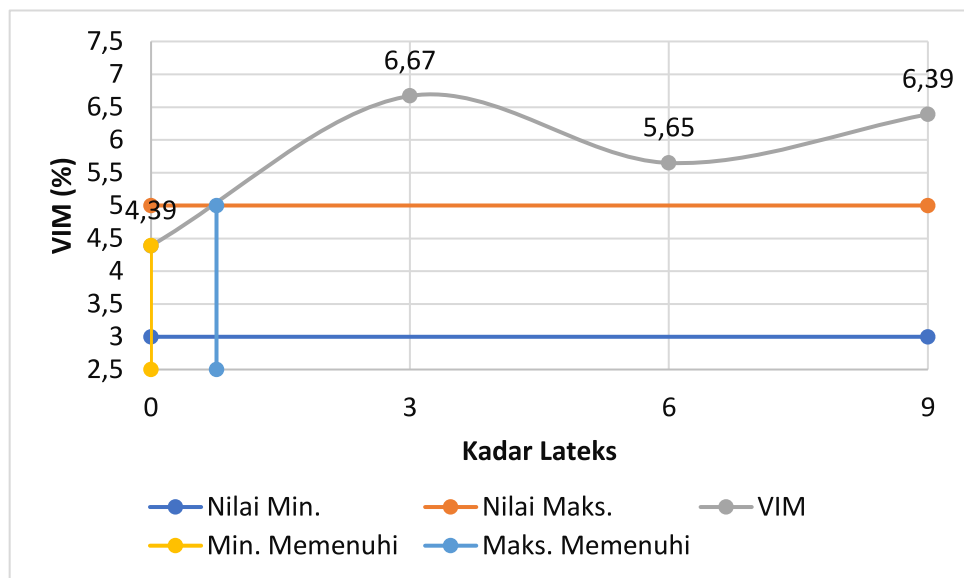
Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa hasil pengujian marshall pada nilai berat jenis bulk campuran untuk semua kadar berada pada nilai 2,16 – 2,31 gr/cc. Nilai tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 dengan nilai maksimal berat jenis bulk campuran sebesar 2,5 gr/cc.

Selain itu, grafik tersebut juga menunjukkan bahwa penggunaan lateks sebagai substitusi aspal dengan semen sebagai *added filler* cenderung mengalami penurunan sebesar 2,6% untuk penggunaan kadar lateks 3%. Hal ini mungkin terjadi sebagai akibat dari proses *mixing* antara aspal dengan lateks yang kurang maksimal atau cepat sehingga mengakibatkan campuran menjadi kurang homogen karena adanya penggumpalan atau rongga yang terbentuk sehingga menyebabkan kepadatan atau nilai BJ bulk campuran menjadi turun. Pernyataan tersebut sesuai jika disandingkan pada pernyataan bahwa adanya kandungan air di dalam lateks ketika dilakukan pencampuran dengan suhu tinggi akan menyebabkan penguapan dan jika tidak dilakukan pencampuran dengan baik akan memunculkan rongga (Tuntiworawit et al,2005; Al-Sabaei et al, 2019; Suaryana N et al,2019). Jika

banyak rongga yang terbentuk, maka bj bulk campuran akan semakin ringan karena kurang padat.

b. Rongga Udara (VIM)

Nilai rongga udara (VIM) merupakan nilai dalam persentase yang digunakan untuk mengetahui jumlah rongga udara pada suatu campuran aspal. Berikut ini merupakan grafik nilai rongga udara (VIM) pada sampel dengan masing-masing kadar aspal.



Gambar 4. 11 Grafik VIM Semen dan Lateks

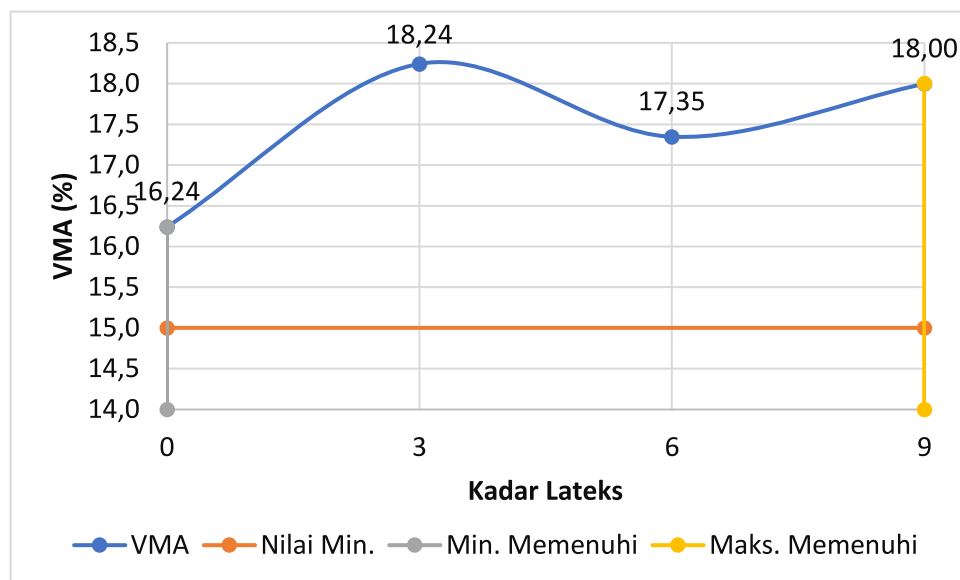
Grafik diatas menunjukkan nilai VIM untuk semua kadar aspal berkisar pada 4,05% – 12,79%. Akan tetapi, kadar aspal yang memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Tahun 2018 dengan nilai VIM berada diantara 3% – 5% hanya pada kadar aspal sekitar 5,92% - 6,5%.

Disamping itu, grafik diatas juga menunjukkan pengaruh penggunaan lateks sebagai substitusi aspal akan menyebabkan kenaikan nilai VIM sebesar 51,9% pada penggunaan 3% lateks. Hal ini mungkin terjadi karena proses percampuran lateks dengan aspal dan agregat yang kurang cepat atau maksimal sehingga menyebabkan munculnya rongga atau gumpalan. Pernyataan tersebut sesuai jika disandingkan pada pernyataan bahwa adanya kandungan air di dalam lateks ketika

dilakukan pencampuran dengan suhu tinggi akan menyebabkan penguapan dan jika tidak dilakukan pencampuran dengan baik akan memunculkan rongga (Tuntiworawit et al,2005; Al-Sabaei et al, 2019; Suaryana N et al,2019). Akibat dari proses tersebutlah dimungkinkan rongga yang terbentuk menaikkan nilai VIM pada campuran.

c. Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)

Nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) merupakan persentase nilai rongga dalam mineral agregat yang dinyatakan dalam persentase.



Gambar 4. 12 Grafik VMA Semen dan Lateks

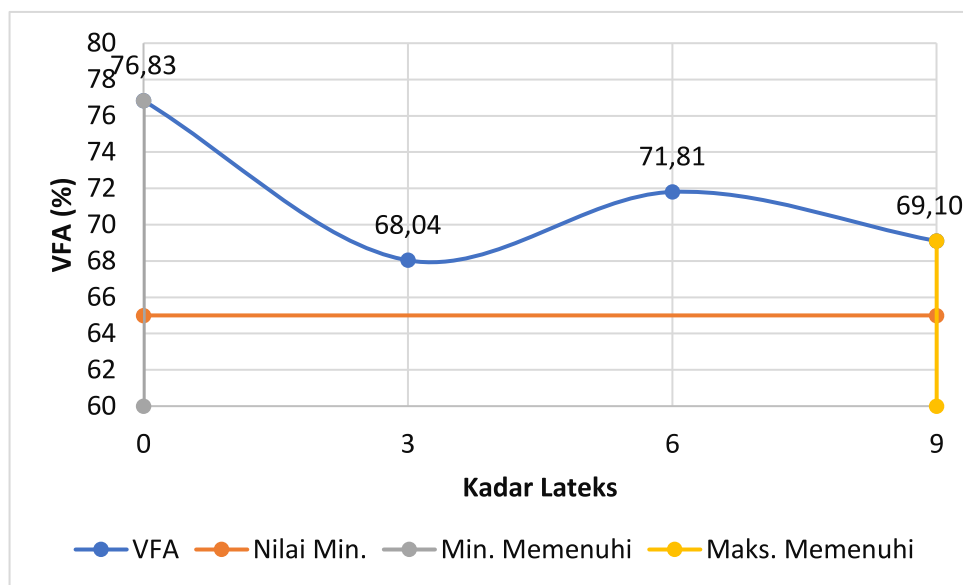
Berdasarkan grafik diatas, didapat nilai VMA berkisar pada 15,45% – 19,68% yang memenuhi standar persyaratan nilai VMA campuran aspal Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 dengan nilai minimum sebesar 15%.

Grafik diatas juga menunjukkan pengaruh penggunaan lateks sebagai substitusi aspal dapat menyebabkan kenaikan nilai VMA sebesar 12,3% pada penggunaan 3% lateks. Hal ini mungkin terjadi karena proses percampuran lateks dengan aspal dan agregat yang kurang cepat atau maksimal sehingga menyebabkan munculnya rongga atau gumpalan baik pada mineral agregat ataupun campuran. Pernyataan tersebut sesuai jika disandingkan pada pernyataan bahwa adanya kandungan air di

dalam lateks ketika dilakukan pencampuran dengan suhu tinggi akan menyebabkan penguapan dan jika tidak dilakukan pencampuran dengan baik akan memunculkan rongga (Tuntiworawit et al,2005; Al-Sabaei et al, 2019; Suaryana N et al,2019). Akibat dari proses tersebutlah dimungkinkan terbentuk rongga dalam mineral agregat yang menaikkan nilai VMA pada campuran.

d. Rongga Terisi Aspal (VFA)

Rongga terisi aspal (VFA) adalah nilai yang menunjukkan persentase jumlah rongga dalam campuran yang terisi aspal dengan fungsi sebagai selimut agar campuran menjadi padat. Adapun berikut merupakan grafik hasil pengujian pada nilai VFA masing-masing kadar aspal.



Gambar 4. 13 Grafik VFA Semen dan Lateks

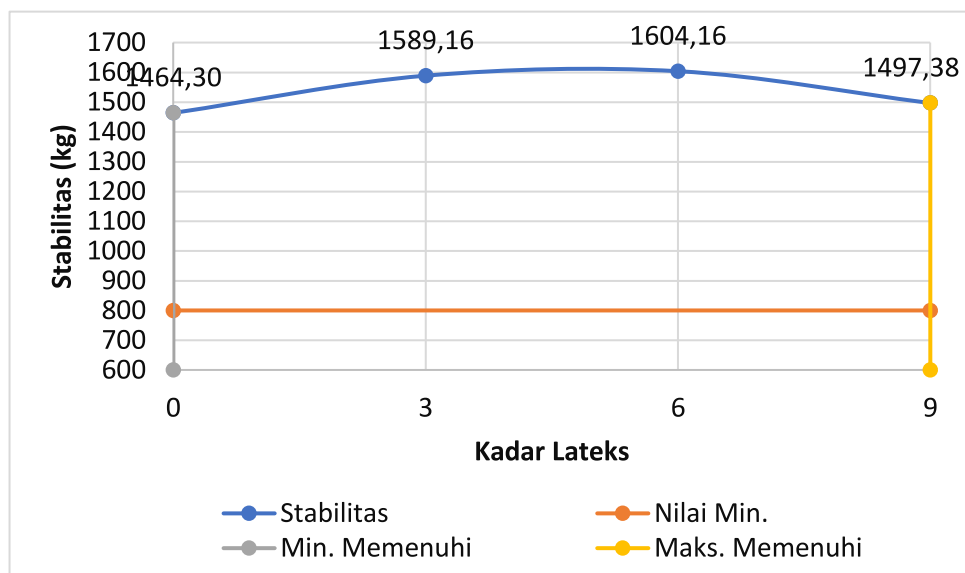
Grafik di atas menunjukkan nilai VFA hasil pengujian sampel pada setiap kadar berkisar antara 49,15% – 78,33% dengan standar minimum yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 sebesar 65%. Maka dari itu, didapat nilai kadar aspal yang memenuhi spesifikasi adalah pada kadar 4% – 5,68% dan 6,31% – 6,5%.

Selain itu, berdasarkan grafik diatas juga didapatkan analisis bahwa penggunaan lateks pada campuran mengakibatkan nilai VFA cenderung

mengalami penurunan. Presentase penurunan pada nilai VFA tersebut yakni sebesar 11,4% penggunaan 3% lateks. Hal ini terjadi karena adanya peningkatan nilai VMI dan VMA yang berarti banyak aspal tidak dapat mengisi rongga pada campuran.

e. Stabilitas

Stabilitas merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan campuran laston tidak mengalami perubahan bentuk ketika menerima beban lalu lintas. Adapun untuk nilai stabilitas pada laston dinyatakan dengan satuan kilogram. Berikut hasil pengujian marshall pada nilai stabilitas untuk setiap penggunaan kadar aspal.



Gambar 4. 14 Grafik Stabilitas Semen dan Lateks

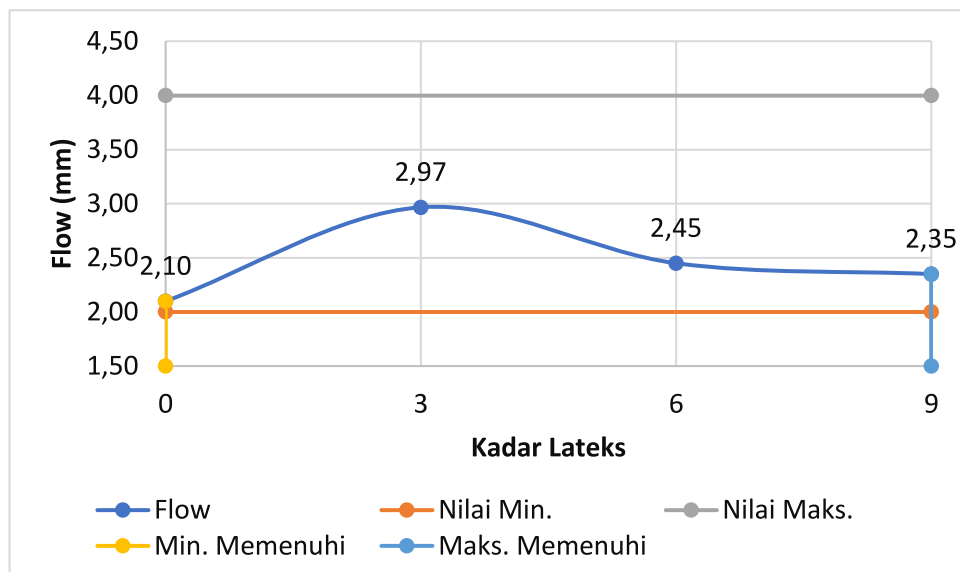
Nilai stabilitas hasil pengujian marshall pada setiap penggunaan kadar aspal dapat dilihat pada grafik diatas. Grafik tersebut menunjukkan besarnya nilai stabilitas pada setiap kadar aspal berkisar antara 1288,02 kg – 1692,55 kg yang memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 dengan nilai minimum sebesar 800 kg.

Grafik diatas juga menunjukkan bahwa penggunaan lateks sebagai substitusi aspal pada campuran laston dapat menaikkan stabilitas hingga kadar penggunaan 6%. Adapun presentase perbedaan penggunaan lateks dengan tanpa lateks yang dapat meningkatkan nilai stabilitas yakni sebesar 8,5% penggunaan 3% lateks dan 9,6% penggunaan 6% lateks. Hal ini mungkin terjadi karena lateks bersifat elastis

dan pegas menyebabkan campuran yang jika dikenai beban akan melendut dan kembali ke bentuk semula. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian yang menyatakan bahwa sifat lateks yang lengket, elastis, dan pegas akan melendut jika dikenai beban namun dapat kembali ke posisi semula jika beban diangkat (Ansari A et al, 2021). Selain itu, penelitian lain menyatakan bahwa peningkatan stabilitas karena penggunaan lateks pada campuran laston disebabkan oleh peningkatan viskositas pada campuran yang menyebabkan kuatnya gaya tarik antar material karena mengembangkannya molekul-molekul lateks pada saat proses *mixing* (Prastanto H et al, 2019).

f. *Flow*

Nilai *flow* pada campuran laston merupakan nilai yang menyatakan kelelahan campuran akibat pembebanan pada suhu tertentu. Adapun berikut merupakan nilai *flow* hasil pengujian marshall pada sampel setiap penggunaan kadar aspal.



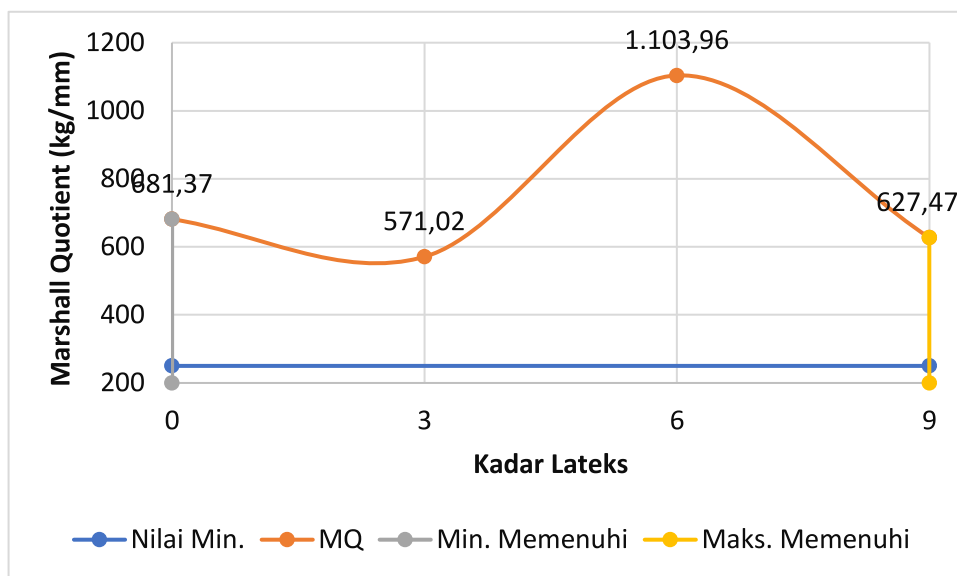
Gambar 4. 15 Grafik *Flow* Semen dan Lateks

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa hasil pengujian marshall pada nilai *flow* setiap penggunaan kadar aspal berkisar antara 1,52 – 2,47 mm dengan standar Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 sebesar 2 – 4 mm. Maka dari itu, kadar aspal yang memenuhi standar tersebut yakni kadar aspal 4 – 5,63% dan kadar aspal 6,48 – 6,5%.

Grafik diatas juga menunjukkan bahwa penggunaan lateks pada campuran akan meningkatkan nilai *flow* sebesar 41,4% sampai pada penggunaan 3% lateks dan menurunkan nilai *flow* pada penggunaan 6% serta 9% lateks. Hal ini mungkin terjadi karena adanya semen sebagai *added filler* dapat menyerap aspal yang bercampur 3% lateks dengan baik dan menyebabkan campuran menjadi plastis sehingga dapat meningkatkan nilai *flow*. Namun, penggunaan lateks berlebih akan meningkatkan elastisitas aspal karena sifatnya yang elastis. Hal ini didukung oleh pernyataan penelitian yang menyatakan bahwa penggunaan lateks pada campuran akan meningkatkan nilai elastisitas aspal dan menyebabkan berkurangnya deformasi plastis sehingga dapat menurunkan nilai *flow* (Elsevier, 2020; Helal et al, 2022; Rahmiati et al, 2022).

g. *Marshall Quotient* (MQ)

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) merupakan nilai yang menyatakan kekakuan campuran laston. Berikut merupakan grafik hasil pengujian marshall pada nilai MQ pada setiap penggunaan kadar aspal.



Gambar 4. 16 Grafik MQ Semen dan Lateks

Adapun grafik diatas menunjukkan nilai MQ setiap penggunaan kadar aspal berkisar antara 589,60 – 874,41 kg/mm yang memenuhi standar Spesifikasi

Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 dengan nilai minimum MQ sebesar 250 kg/mm.

Disamping itu, grafik diatas juga menunjukkan bahwa penggunaan lateks cenderung menurunkan nilai MQ sebesar 16,2% untuk penggunaan 3% lateks. Hal ini terjadi karena peningkatan stabilitas diikuti dengan peningkatan nilai *flow* pada penggunaan 3% kadar lateks. MQ merupakan nilai kekakuan dengan perhitungan yakni membagi antara stabilitas dengan *flow*. Dalam hal tersebut, MQ berbanding terbalik dengan nilai *flow*. Sehingga, jika terjadi kenaikan *flow* berlebih akan menyebabkan campuran menjadi kurang kaku.

4.3.2.2 Abu Sekam Padi dan Lateks

1. Kadar Material Inovasi

Kadar material inovasi merupakan persentase banyaknya kadar penggunaan material inovasi abu sekam padi sebagai *added filler* dan lateks sebagai substitusi aspal pada campuran laston. Adapun berikut merupakan hasil pengujian marshall penggunaan material inovasi abu sekam padi sebagai *added filler* berkode SP dan lateks berkode L yang diikuti dengan nilai persentase penggunaan lateks pada campuran.

a. SPL0 (Abu Sekam Padi dan Lateks 0%)

Tabel 4. 34 Hasil Marshall Kadar SPL0

Sampel	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	2,31	3,68	15,61	79,91	1675,43	2,65	619,84
2	2,27	5,51	17,21	72,28	1430,24	2,8	500,79
3	2,31	3,80	15,71	79,37	1565,57	3,9	393,56
Rata-Rata	2,30	4,33	16,17	77,19	1557,08	3,12	504,73

b. SPL3 (Abu Sekam Padi dan Lateks 3%)

Tabel 4. 35 Hasil Marshall Kadar SPL3

Sampel	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	2,10	12,73	23,53	51,02	1552,84	3,2	475,75
2	2,21	8,20	19,57	62,97	1770,78	2,6	667,72
3	2,18	9,38	20,60	59,48	1498,35	2,8	524,63
Rata-Rata	2,16	10,10	21,23	57,83	1607,32	2,87	556,03

c. SPL6 (Abu Sekam Padi dan Lateks 6%)

Tabel 4. 36 Hasil Marshall Kadar SPL6

Sampel	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	2,13	11,26	22,25	54,49	1770,78	2	868,03
2	2,13	11,32	22,30	54,35	1975,10	2	968,19
3	2,13	11,30	22,28	54,39	1853,85	3,05	595,90
Rata-Rata	2,13	11,29	22,28	54,41	1866,58	2,35	810,71

d. SPL9 (Abu Sekam Padi dan Lateks 9%)

Tabel 4. 37 Hasil Marshall Kadar SPL9

Sampel	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
1	2,12	11,60	22,55	53,65	1770,78	3,75	462,95
2	2,14	11,07	22,08	54,97	1634,57	3,65	439,05
3	2,17	9,78	20,95	58,356	1634,57	2,45	654,09

Rata-Rata	2,14	10,82	21,86	55,66	1679,97	3,28	518,69
-----------	------	-------	-------	-------	---------	------	--------

e. Rekapitulasi

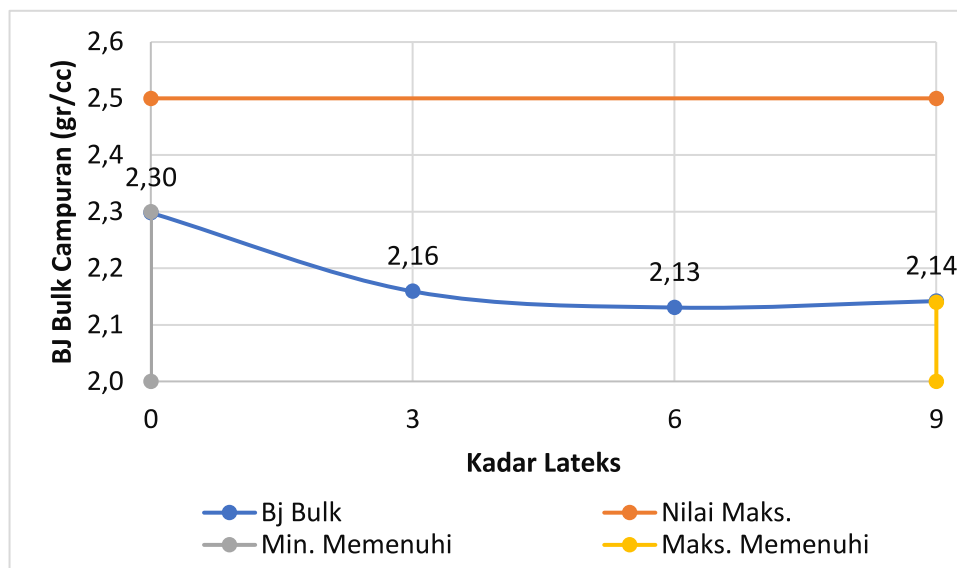
Tabel 4. 38 Rekapitulasi Hasil Marshall Abu Sekam Padi dan Lateks

Inovasi	BJ Bulk Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
SPL0	2,30	4,33	16,17	77,19	1557,08	3,12	504,73
SPL3	2,16	10,10	21,23	57,83	1607,32	2,87	556,03
SPL6	2,13	11,29	22,28	54,41	1866,58	2,35	810,71
SPL9	2,14	10,82	21,86	55,66	1679,97	3,28	518,69

2. Perbandingan Nilai Kualitas Pengujian

a. BJ Bulk Campuran

Berikut merupakan grafik hasil pengujian marshall pada nilai berat jenis bulk campuran setiap persentase penggunaan material inovasi.



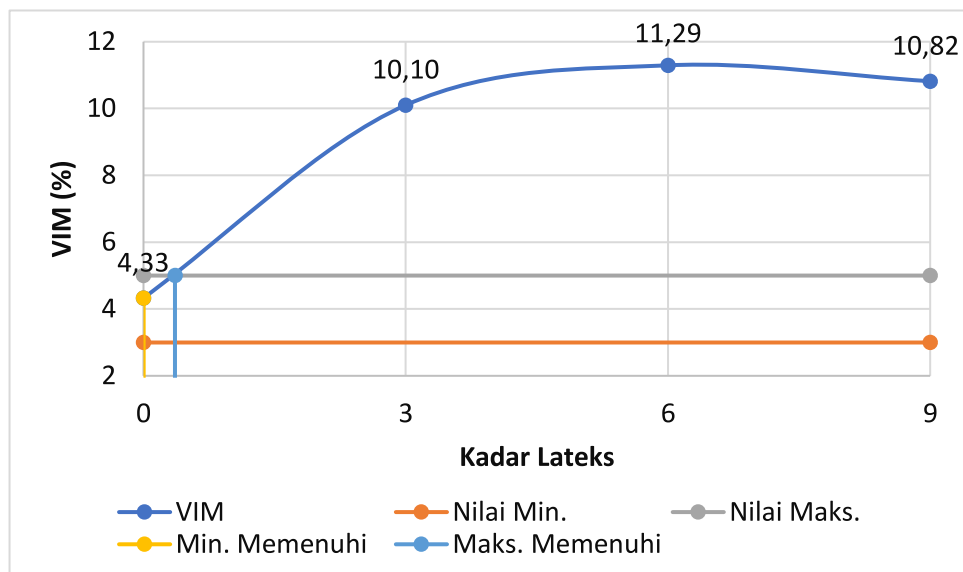
Gambar 4. 17 Grafik BJ Bulk Campuran Abu Sekam Padi dan Lateks

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa hasil pengujian marshall pada nilai berat jenis bulk campuran untuk setiap persentase penggunaan material inovasi berada pada nilai 2,13 – 2,30 gr/cc. Nilai tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 dengan nilai maksimal berat jenis bulk campuran sebesar 2,5 gr/cc.

Grafik diatas juga menunjukkan bahwa penggunaan abu sekam padi sebagai *added filler* dengan lateks sebagai substitusi aspal dapat menurunkan nilai bj bulk campuran jika dibandingkan dengan campuran tanpa penggunaan lateks sebesar 6,1% untuk penggunaan 3% lateks dan 7,4% untuk penggunaan 6% lateks. Hal ini mungkin terjadi karena kurangnya kecepatan atau suhu tinggi dalam proses *mixing* aspal dengan lateks sehingga menyebabkan gumpalan atau rongga dan menjadikan campuran lebih ringan yang kemudian menurunkan bj bulk campuran. Pernyataan tersebut sesuai jika disandingkan pada pernyataan bahwa adanya kandungan air di dalam lateks ketika dilakukan pencampuran dengan suhu tinggi akan menyebabkan penguapan dan jika tidak dilakukan pencampuran dengan baik akan memunculkan rongga (Tuntiworawit et al,2005; Al-Sabaei et al, 2019; Suaryana N et al,2019). Jika banyak rongga yang terbentuk, maka bj bulk campuran akan semakin ringan karena kurang padat.

b. Rongga Udara (VIM)

Nilai rongga udara (VIM) merupakan nilai dalam persentase yang digunakan untuk mengetahui jumlah rongga udara pada suatu campuran aspal. Berikut ini merupakan grafik nilai rongga udara (VIM) pada sampel dengan masing-masing persentase penggunaan material inovasi.



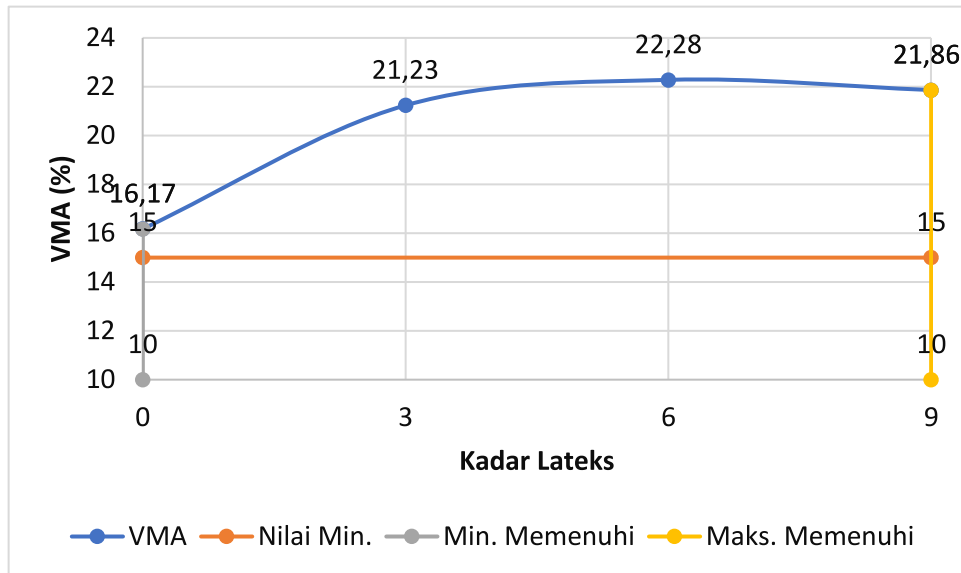
Gambar 4. 18 Grafik VIM Abu Sekam Padi dan Lateks

Grafik diatas menunjukkan nilai VIM untuk semua persentase penggunaan material inovasi berkisar pada 4,33% – 11,29%. Akan tetapi, kadar aspal yang memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Tahun 2018 dengan nilai VIM berada diantara 3% – 5% hanya pada persentase penggunaan material inovasi lateks sekitar 0 – 0,36%.

Disamping itu, grafik diatas juga menunjukkan pengaruh penggunaan lateks sebagai substitusi aspal akan menyebabkan kenaikan nilai VIM sebesar 133,3% pada penggunan 3% lateks dan 160,7% pada penggunaan 6% lateks jika dibandingkan dengan campuran tanpa lateks. Hal ini mungkin terjadi karena proses percampuran lateks dengan aspal dan agregat yang kurang cepat atau maksimal sehingga menyebabkan munculnya rongga atau gumpalan. Pernyataan tersebut sesuai jika disandingkan pada pernyataan bahwa adanya kandungan air di dalam lateks ketika dilakukan pencampuran dengan suhu tinggi akan menyebabkan penguapan dan jika tidak dilakukan pencampuran dengan baik akan memunculkan rongga (Tuntiworawit et al,2005; Al-Sabaei et al, 2019; Suaryana N et al,2019). Akibat dari proses tersebutlah dimungkinkan rongga yang terbentuk menaikkan nilai VIM pada campuran.

c. Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)

Nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) merupakan nilai rongga dalam mineral agregat yang dinyatakan dalam persentase.



Gambar 4. 19 Grafik VMA Abu Sekam Padi dan Lateks

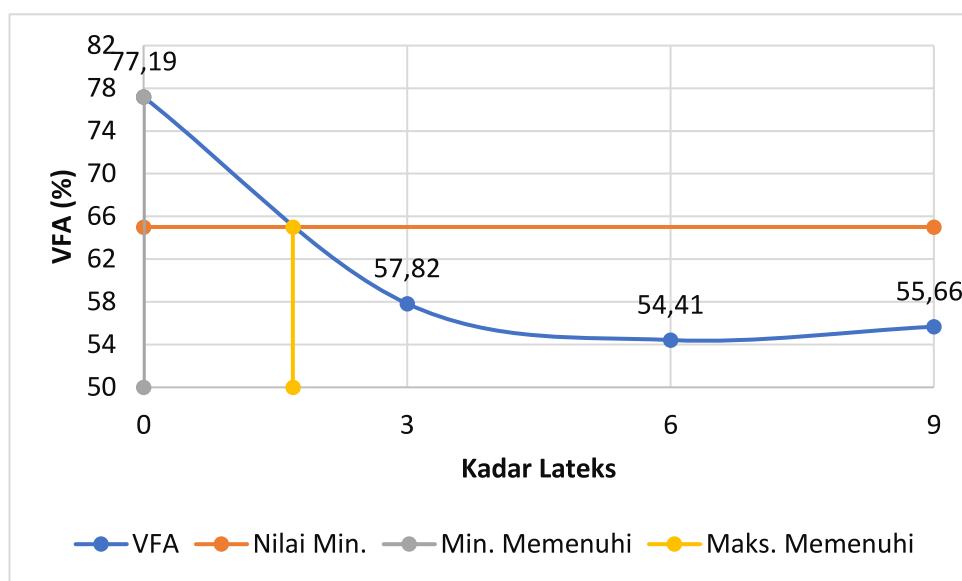
Berdasarkan grafik diatas, didapat nilai VMA berkisar pada 16,17% – 22,28% yang memenuhi standar persyaratan nilai VMA campuran aspal Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 dengan nilai minimum sebesar 15%.

Grafik tersebut juga menunjukkan pengaruh penggunaan lateks sebagai substitusi aspal dapat menyebabkan kenaikan nilai VMA sebesar 31,2% pada penggunaan 3% lateks dan 37,8% pada penggunaan 6% lateks jika dibandingkan dengan campuran tanpa lateks. Hal ini mungkin terjadi karena proses pencampuran lateks dengan aspal dan agregat yang kurang cepat atau maksimal sehingga menyebabkan munculnya rongga atau gumpalan baik pada mineral agregat ataupun campuran. Pernyataan tersebut sesuai jika disandingkan pada pernyataan bahwa adanya kandungan air di dalam lateks ketika dilakukan pencampuran dengan suhu tinggi akan menyebabkan penguapan dan jika tidak dilakukan pencampuran dengan baik akan memunculkan rongga (Tuntiworawit et al,2005; Al-Sabaei et al, 2019; Suaryana N et al,2019). Akibat dari proses

tersebutlah dimungkinkan terbentuk rongga dalam mineral agregat yang menaikkan nilai VMA pada campuran.

d. Rongga Terisi Aspal (VFA)

Rongga terisi aspal (VFA) adalah nilai yang menunjukkan persentase jumlah rongga dalam campuran yang terisi aspal dengan fungsi sebagai selimut agar campuran menjadi padat. Adapun berikut merupakan grafik hasil pengujian pada nilai VFA masing-masing persentase penggunaan material inovasi.



Gambar 4. 20 Grafik VFA Abu Sekam Padi dan Lateks

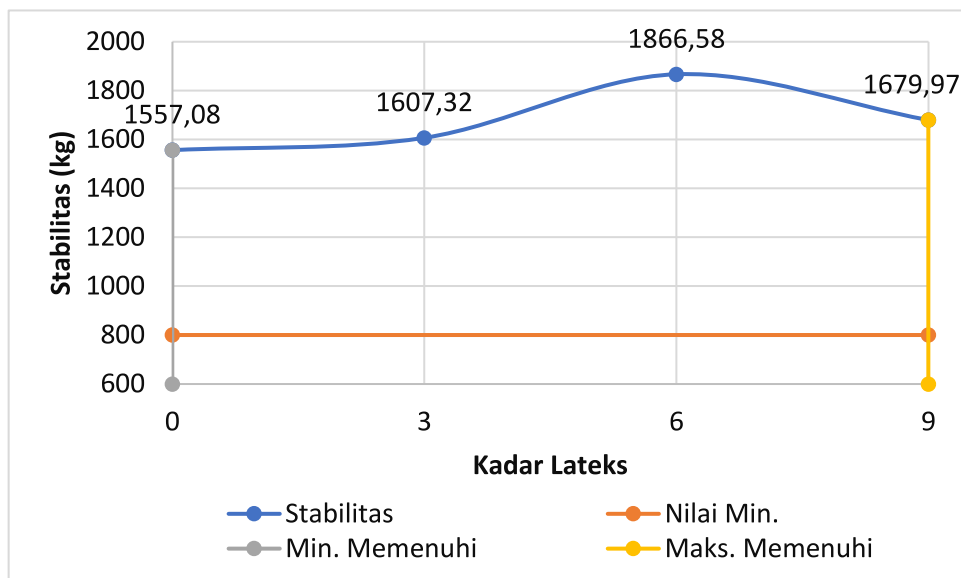
Grafik di atas menunjukkan nilai VFA hasil pengujian sampel pada setiap persentase penggunaan material inovasi berkisar antara 54,15% – 77,19% dengan standar minimum yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 sebesar 65%. Maka dari itu, didapat nilai persentase penggunaan material inovasi lateks yang memenuhi spesifikasi adalah pada persentase penggunaan sekitar 0% – 1,71%.

Selain itu, berdasarkan grafik diatas juga didapatkan analisis bahwa penggunaan lateks pada campuran mengakibatkan nilai VFA cenderung mengalami penurunan jika dibandingkan dengan campuran tanpa lateks. Presentase penurunan pada nilai VFA tersebut yakni sebesar 25,1% penggunaan 3% lateks dan 29,5% penggunaan 6% lateks. Hal ini terjadi karena adanya

peningkatan nilai VMI dan VMA yang berarti banyak aspal tidak dapat mengisi rongga pada campuran.

e. Stabilitas

Stabilitas merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan campuran laston tidak mengalami perubahan bentuk ketika menerima beban lalu lintas. Adapun untuk nilai stabilitas pada laston dinyatakan dengan satuan kilogram. Berikut hasil pengujian marshall pada nilai stabilitas untuk setiap presentase penggunaan material inovasi.



Gambar 4. 21 Grafik Stabilitas Abu Sekam Padi dan Lateks

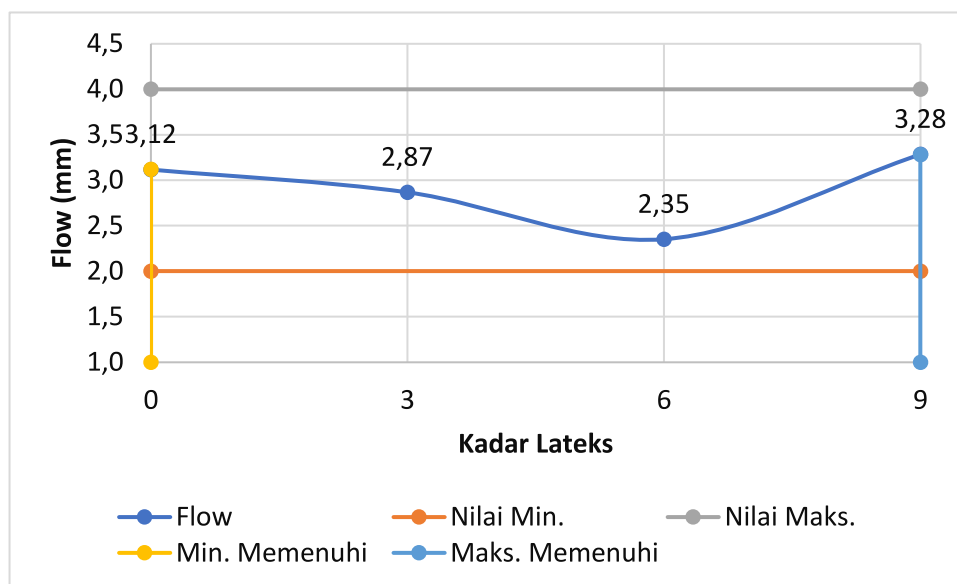
Nilai stabilitas hasil pengujian marshall pada setiap presentase penggunaan material inovasi dapat dilihat pada grafik diatas. Grafik tersebut menunjukkan besarnya nilai stabilitas pada setiap kadar aspal berkisar antara 1557,08 kg – 1866,58 kg yang memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 dengan nilai minimum sebesar 800 kg.

Grafik diatas juga menunjukkan bahwa penggunaan lateks sebagai substitusi aspal pada campuran laston dapat menaikkan stabilitas hingga kadar penggunaan 6%. Adapun presentase perbedaan penggunaan lateks dengan tanpa lateks yang dapat meningkatkan nilai stabilitas yakni sebesar 3,2% penggunaan 3% lateks dan 19,9% penggunaan 6% lateks. Hal ini mungkin terjadi karena lateks bersifat

elastis dan pegas menyebabkan campuran yang jika dikenai beban akan melendut dan kembali ke bentuk semula. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian yang menyatakan bahwa sifat lateks yang lengket, elastis, dan pegas akan melendut jika dikenai beban namun dapat kembali ke posisi semula jika beban diangkat (Ansari A et al, 2021). Selain itu, penelitian lain menyatakan bahwa peningkatan stabilitas karena penggunaan lateks pada campuran laston disebabkan oleh peningkatan viskositas pada campuran yang menyebabkan kuatnya gaya tarik antar material karena mengembangkannya molekul-molekul lateks pada saat proses *mixing* (Prastanto H et al, 2019).

f. *Flow*

Nilai *flow* pada campuran laston merupakan nilai yang menyatakan kelelehan campuran akibat pembebanan pada suhu tertentu. Adapun berikut merupakan nilai *flow* hasil pengujian marshall pada sampel setiap presentase penggunaan material inovasi.



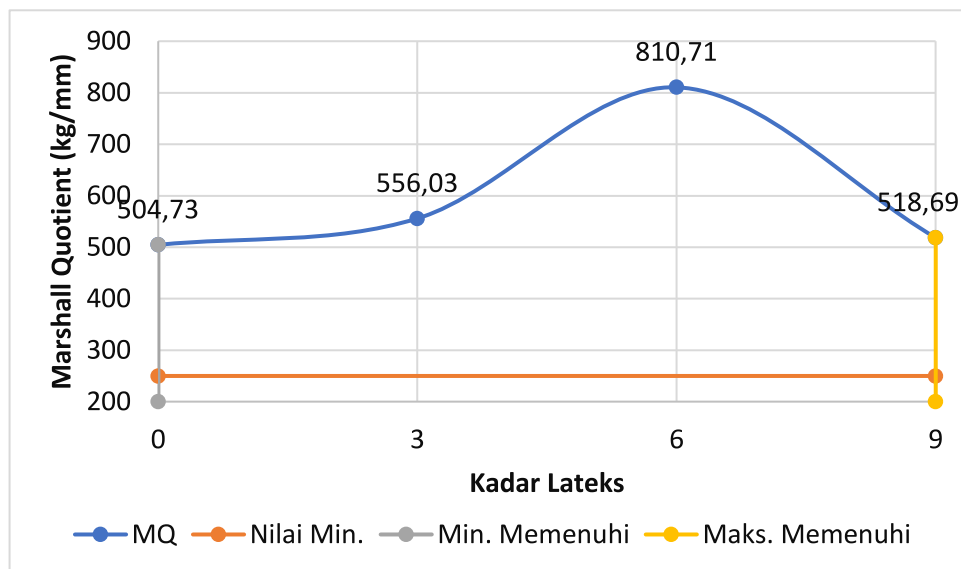
Gambar 4. 22 Grafik *Flow* Abu Sekam Padi dan Lateks

Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa hasil pengujian marshall pada nilai *flow* setiap presentase penggunaan material inovasi berkisar antara 2,35 – 3,28 mm yang memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 sebesar 2 – 4 mm.

Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa penggunaan lateks pada campuran akan menurunkan nilai *flow* sebesar 8% untuk penggunaan 3% lateks dan 24,7% untuk penggunaan 6% lateks jika dibandingkan dengan campuran tanpa lateks. Hal ini mungkin terjadi karena penggunaan lateks dapat meningkatkan elastisitas aspal karena sifatnya yang elastis namun menurunkan keplastisannya. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian yang menyatakan bahwa penggunaan lateks pada campuran akan meningkatkan nilai elastisitas aspal dan menyebabkan berkurangnya deformasi plastis sehingga dapat menurunkan nilai *flow* (Elsevier, 2020; Helal et al, 2022; Rahmiati et al, 2022).

g. *Marshall Quotient* (MQ)

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) merupakan nilai yang menyatakan kekakuan campuran laston. Berikut merupakan grafik hasil pengujian marshall pada nilai MQ pada setiap presentase penggunaan material inovasi.



Gambar 4. 23 Grafik MQ Abu Sekam Padi dan Lateks

Adapun grafik diatas menunjukkan nilai MQ setiap presentase penggunaan material inovasi berkisar antara 504,73 – 810,71 kg/mm yang memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 dengan nilai minimum MQ sebesar 250 kg/mm.

Selain itu, grafik tersebut juga menunjukkan bahwa penggunaan lateks dapat menaikkan nilai MQ sebesar 10,2% penggunaan 3% lateks dan 60,6%

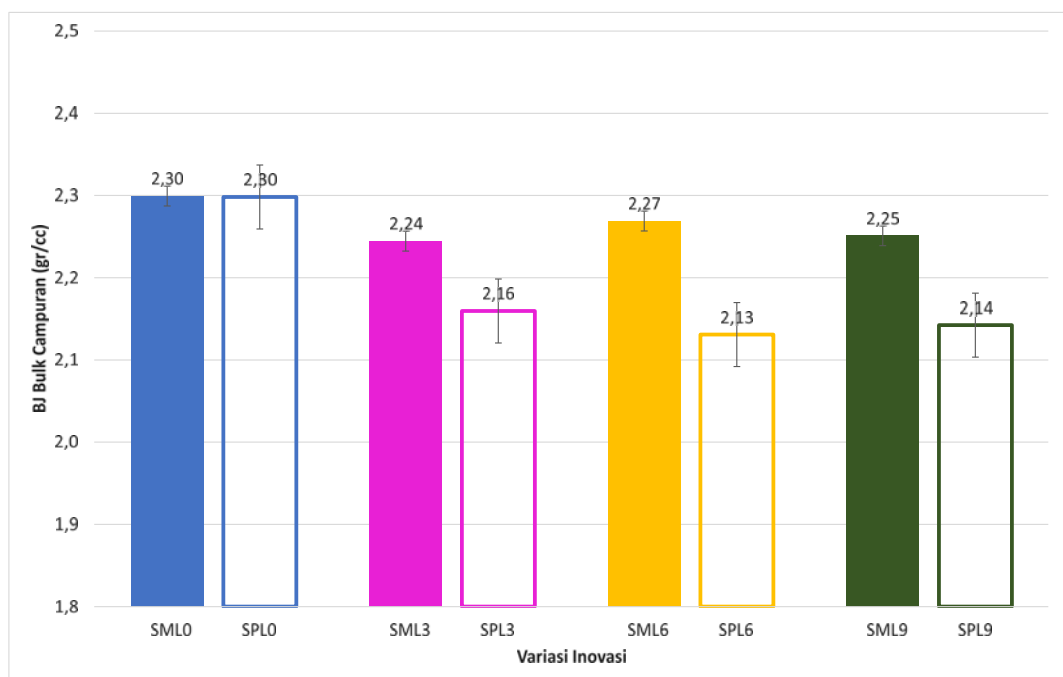
penggunaan 6% lateks jika dibandingkan dengan campuran tanpa lateks. Hal ini terjadi karena kenaikan stabilitas yang tinggi diikuti dengan penurunan nilai *flow* pada campuran. MQ merupakan nilai kekakuan dengan perhitungan yakni membagi antara stabilitas dengan *flow*. Dalam hal tersebut, MQ berbanding terbalik dengan nilai *flow*. Sehingga, jika terjadi kenaikan nilai stabilitas dan penurunan nilai *flow* akan menyebabkan campuran menjadi kaku.

4.4 Pembahasan Hasil Pengujian

Adapun pembahasan hasil pengujian ini meliputi perbandingan hasil penggunaan abu sekam padi sebagai substitusi semen, penggunaan lateks sebagai substitusi aspal, dan penggunaan kedua bahan jika dibandingkan dengan aspal konvensional. Pembahasan yang diberikan adalah sebagai berikut.

4.4.1 Perbandingan Hasil Substitusi Semen dengan Abu Sekam Padi

a. BJ Bulk Campuran

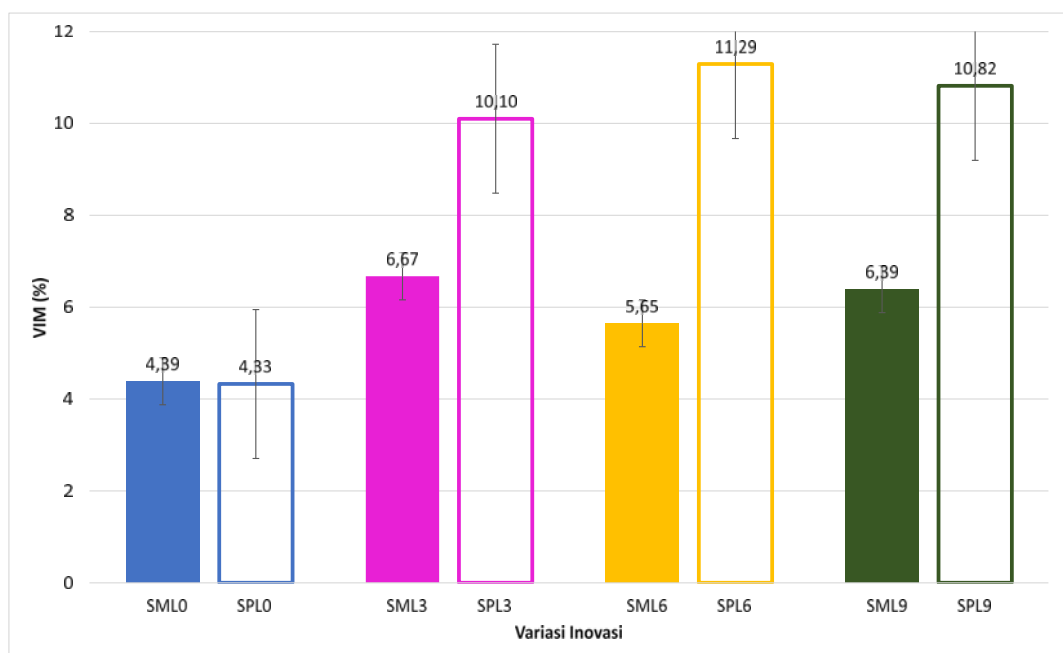


Gambar 4. 24 Grafik Perbandingan BJ Bulk Inovasi

Berdasarkan grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai berat jenis bulk campuran yang menggunakan *added filler* semen dan sekam padi tanpa lateks sama, yakni dengan nilai sebesar 2,30 gr/cc. Hal tersebut mungkin saja terjadi

karena bentuk dari kedua bahan, baik semen ataupun abu sekam padi halus serta kecil sehingga dapat mengisi rongga pada campuran dan membuat campuran memiliki berat jenis bulk campuran atau kepadatan yang sama. Pernyataan terkait bentuk abu sekam padi tersebut didukung oleh penelitian yang menyatakan bahwa abu sekam padi berbentuk halus serta kecil sehingga memudahkannya terdistribusi secara merata (Pramesti et al, 2019). Begitu juga dengan semen, berbentuk butiran halus yang kecil dan dapat mengisi rongga pada campuran (Rahmawati E, 20204).

b. VIM

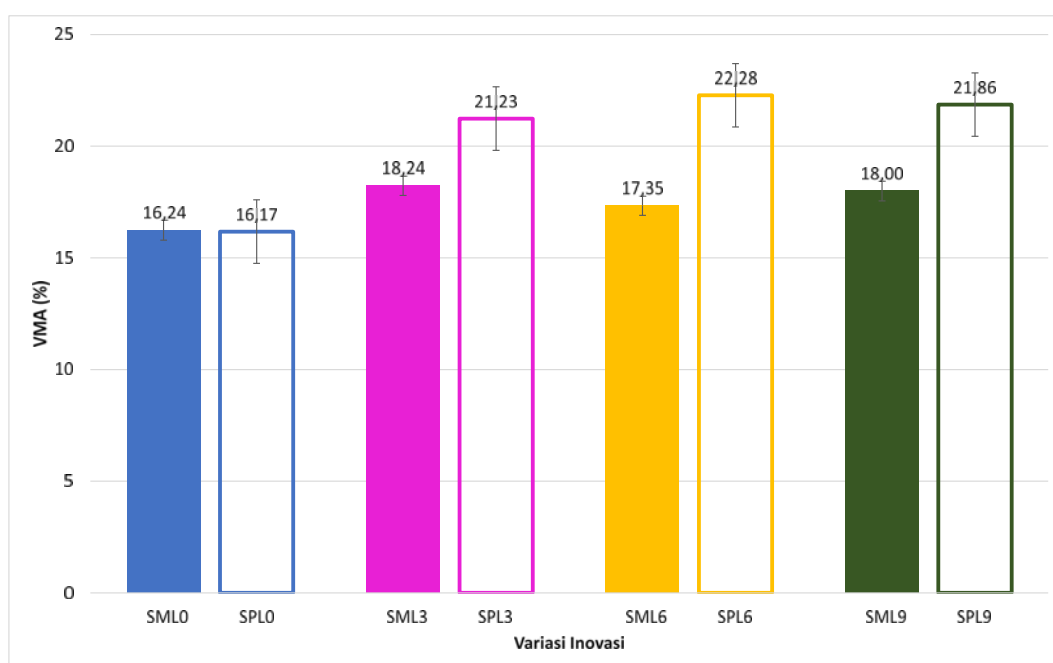


Gambar 4. 25 Grafik Perbandingan VIM Inovasi

Grafik di atas menunjukkan bahwa campuran yang menggunakan *added filler* abu sekam padi tanpa lateks memiliki nilai VIM lebih rendah jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *added filler* semen sebesar 1,4%. Hal ini mungkin terjadi sebagai akibat dari ukuran abu sekam padi yang lebih halus memudahkan untuk mengisi rongga – rongga dalam campuran. Dalam sebuah penelitian disebutkan bahwa abu sekam padi yang bersifat porus menjadikannya cepat menyerap aspal dan ukurannya yang halus serta kecil memudahkannya terdistribusi secara merata (Pramesti et al, 2019). Hal tersebutlah yang

menyebabkan ikatan antar agregat semakin kuat dan nilai VIM pada campuran dengan penggunaan abu sekam padi lebih rendah jika dibandingkan dengan penggunaan semen. Dalam penelitian lain disebutkan bahwa penggunaan abu sekam padi sebanyak 4% sebagai *added filler* memiliki nilai VIM yang lebih rendah sebesar 1,1% jika dibandingkan dengan penggunaan *dust* (Akbar et al, 2012).

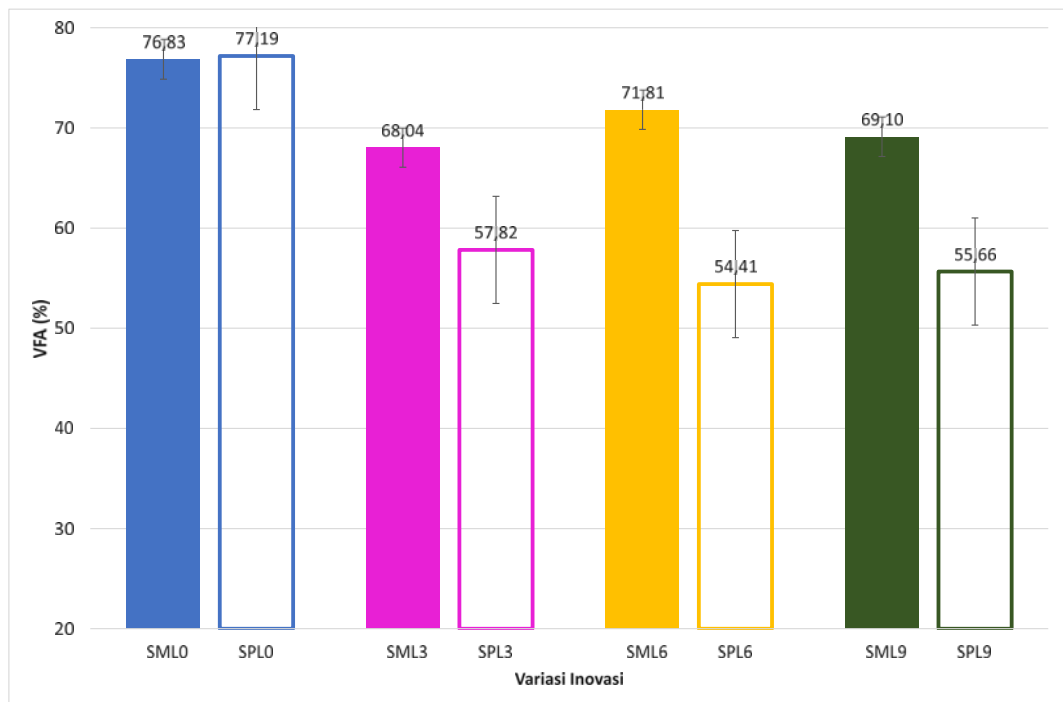
c. VMA



Gambar 4. 26 Grafik Perbandingan VMA Inovasi

Pada grafik di atas, dapat diketahui bahwa penggunaan abu sekam padi sebagai *added filler* tanpa lateks akan menurunkan nilai VMA sebesar 0,4%. Hal tersebut dimungkinkan terjadi karena ukuran agregat yang kecil dan ringan dapat mengisi rongga pada agregat. Pada penelitian terdahulu dituliskan bahwa ukuran abu sekam padi yang sangat halus dan memiliki sifat porus dapat menyerap aspal dengan cepat dapat mengisi rongga pada agregat dan mengurangi nilai VMA (Sukarman et al, 2020; Sunarjono et al, 2023). Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan penggunaan abu sekam padi sebanyak 4% dapat menurunkan nilai VMA sebesar 1,4% jika dibandingkan dengan penggunaan *dust* dengan presentase sama (Akbar et al, 2012).

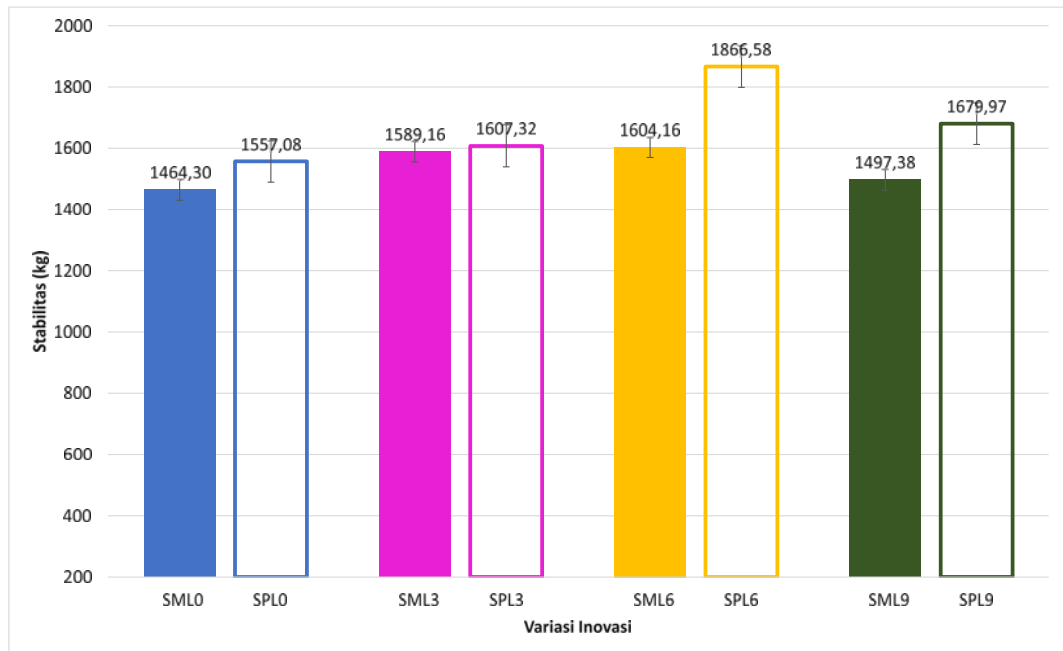
d. VFA



Gambar 4. 27 Grafik Perbandingan VFA Inovasi

Berdasarkan grafik di atas, didapat nilai VFA campuran yang menggunakan abu sekam padi sebagai *added filler* tanpa lateks lebih tinggi 0,5% dibandingkan dengan campuran yang menggunakan semen. Hal tersebut mungkin terjadi karena bentuk abu sekam padi yang halus, ringan, berpori, memiliki sifat pozzolan yang dapat menyerap aspal serta kemudian mendistribusikannya secara *fleksibel* dan merata untuk mengisi rongga antar agregat. Pernyataan tersebut didukung oleh jurnal yang menuliskan bahwa partikel abu sekam padi yang halus sangat efisien jika digunakan untuk mengisi rongga – rongga mikro (Zinnurain et al, 2025). Penelitian lain juga mengatakan bahwa penggunaan abu sekam padi yang memiliki sifat *pozzolan* mampu meningkatkan daya ikat antar agregat dengan aspal, sehingga aspal mampu mengisi rongga pada agregat, menyebabkan kekakuan dan peningkatan stabilitas (Simun M et al, 2023). Hal ini selaras dengan penelitian yang menunjukkan hasil berupa penambahan abu sekam padi pada campuran sebanyak 11% jika dibandingkan dengan campuran tanpa abu sekam padi (Amiwarti et al, 2024).

e. Stabilitas



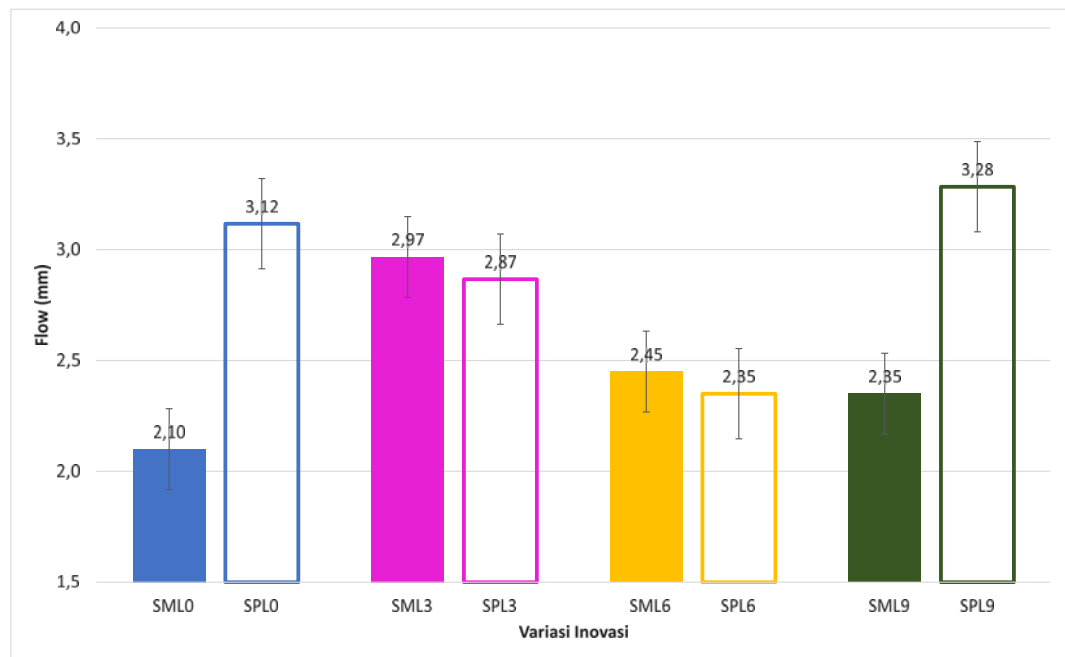
Gambar 4. 28 Grafik Perbandingan Stabilitas Inovasi

Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa penggunaan *added filler* abu sekam padi tanpa lateks dapat meningkatkan nilai stabilitas sebesar 6,3% dibandingkan menggunakan *added filler* semen.

Hal ini terjadi karena berat jenis *added filler* pada abu sekam padi lebih kecil jika dibandingkan dengan semen, sehingga volume yang digunakan abu sekam padi untuk memenuhi suatu campuran semakin banyak dan menyebabkan abu sekam padi mengisi pori-pori pada campuran laston sehingga dapat meningkatkan nilai stabilitas campuran (N.K. Krishna et al, 2016). Disamping itu, pori-pori abu sekam padi yang lebih kecil dengan permukaan lebih besar dan kandungan SiO₂ pada abu sekam padi yang lebih banyak dibandingkan dengan semen meningkatkan sifat pozzolan. Banyaknya nilai pozzolan ini menjadi sebab besarnya penyerapan sehingga gaya tarik antar material semakin kuat serta saling mengunci (E. Mohseni et al, 2016; Endale S et al, 2022). Selain itu, hal ini juga selaras dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Nugraha D, et al pada tahun 2024 yakni penggunaan abu sekam padi menaikkan nilai stabilitas sebesar 5,5% jika dibandingkan dengan penggunaan semen sebagai *added filler*. Dalam

penelitian lain juga dinyatakan bahwa penggunaan abu sekam padi akan meningkatkan nilai stabilitas sebesar 0,5% jika dibandingkan dengan penggunaan semen (Sunarjono S et al, 2022).

f. Flow

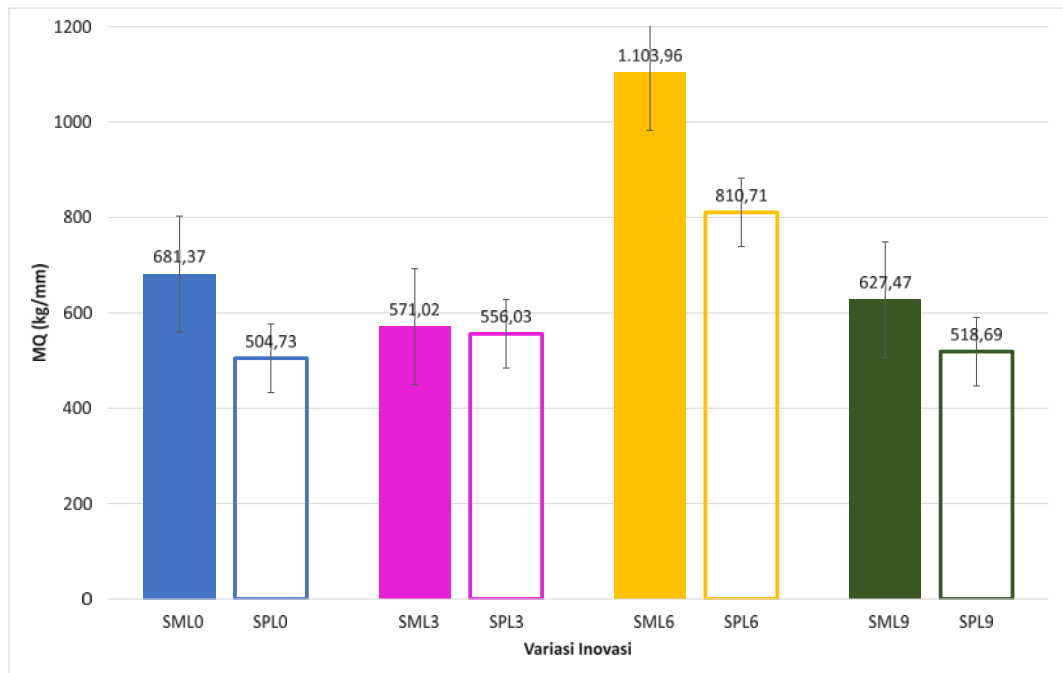


Gambar 4. 29 Grafik Perbandingan *Flow* Inovasi

Perbandingan nilai *flow* yang didapat berdasarkan grafik diatas yakni campuran yang menggunakan abu sekam padi sebagai *added filler* tanpa lateks memiliki nilai *flow* lebih tinggi sebesar 48,6% jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan semen sebagai *added filler*. Hal ini mungkin disebabkan oleh abu sekam padi yang berpori dan ringan sehingga campuran tidak begitu padat seperti pada campuran laston dengan semen sebagai *added filler*. Dalam penelitian sebelumnya dinyatakan bahwa penggunaan filler ringan dapat meningkatkan deformabilitas pada campuran sehingga agregat tidak terkunci terlalu kuat seperti pada penggunaan *added filler* semen (Simun M et al, 2023). Selain itu, meningkatnya *flow* juga disebabkan oleh abu sekam padi yang berpori sehingga dapat menyerap aspal dengan baik dan menjadikan campuran lebih plastis (Nindiya P, 2017). Hal tersebut juga selaras dengan hasil penelitian yang menyatakan bahwa penggunaan abu sekam padi pada campuran dapat

meningkatkan presentase nilai *flow* sebesar 2,8% jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* abu batu (Saepudin U, 2021).

g. *Marshall Quotient* (MQ)



Gambar 4. 30 Grafik Perbandingan MQ Inovasi

Dari grafik diatas, didapat nilai MQ campuran laston AC – WC yang menggunakan *added filler* berupa abu sekam padi tanpa lateks lebih rendah jika dibandingkan dengan penggunaan semen sebesar 25,9%.

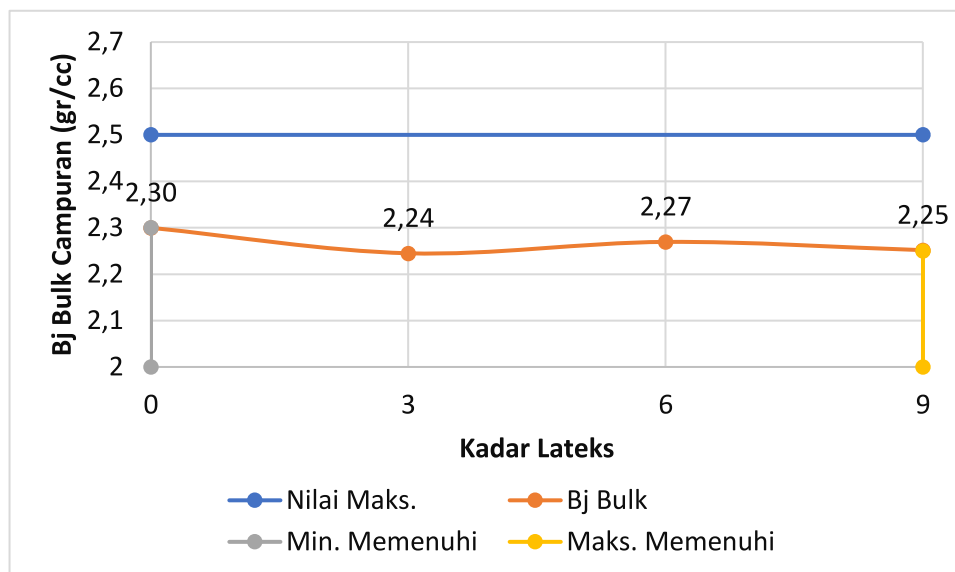
Nilai MQ yang lebih rendah pada penggunaan material abu sekam padi dengan atau tanpa lateks mungkin terjadi disebabkan oleh abu sekam padi yang ringan dan berpori sehingga menyebabkan ikatan antar material tidak sekuat pada campuran dengan penggunaan abu sekam padi memiliki nilai MQ lebih rendah karena bentuknya yang halus, berpori, dan banyak menyerap aspal menyebabkan peningkatan nilai plastis pada campuran sehingga ikatan antar material menjadi tidak sekuat penggunaan *added filler* semen (Tjaronge et al, 2018; Simun M et al, 2023). Hasil penelitian sebelumnya juga menunjukkan hasil yang selaras yakni penggunaan abu sekam padi pada campuran akan menurunkan nilai MQ sebesar

6% jika dibandingkan dengan penggunaan abu batu sebagai *added filler* (Saepudin U, 2021).

4.4.2 Perbandingan Hasil Subtitusi Aspal dengan Lateks

a. BJ Bulk Campuran

Berikut merupakan grafik hasil pengujian marshall jika sebagian aspal disubtitusikan dengan lateks pada nilai berat jenis bulk campuran.



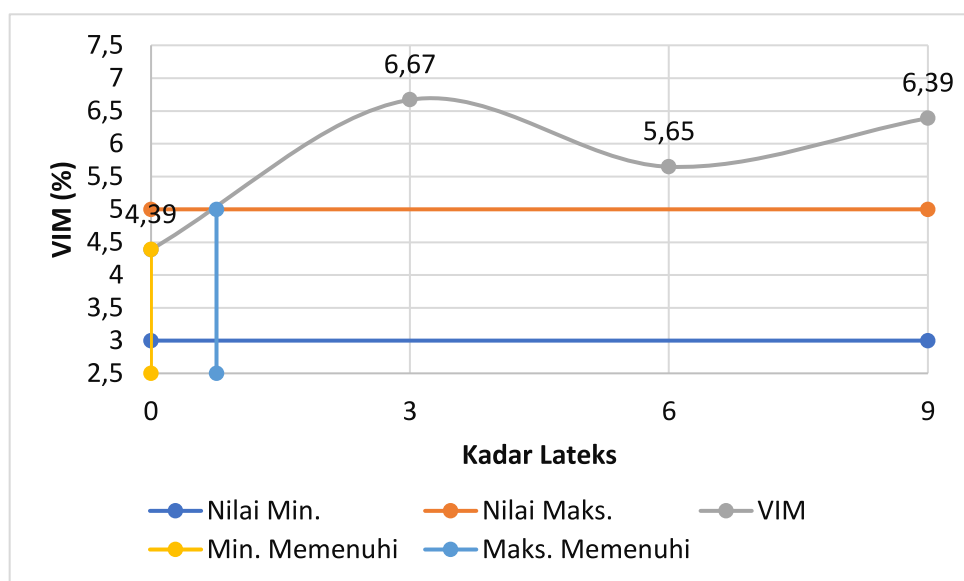
Gambar 4. 31 Grafik BJ Bulk Campuran Semen dan Lateks

Grafik tersebut menunjukkan bahwa penggunaan lateks sebagai substitusi aspal dengan semen sebagai *added filler* cenderung mengalami penurunan sebesar 2,6% untuk penggunaan kadar lateks 3%. Hal ini mungkin terjadi sebagai akibat dari proses *mixing* antara aspal dengan lateks yang kurang maksimal atau cepat sehingga mengakibatkan campuran menjadi kurang homogen karena adanya penggumpalan atau rongga yang terbentuk sehingga menyebabkan kepadatan atau nilai BJ bulk campuran menjadi turun. Pernyataan tersebut sesuai jika disandingkan pada pernyataan bahwa adanya kandungan air di dalam lateks ketika dilakukan pencampuran dengan suhu tinggi akan menyebabkan penguapan dan jika tidak dilakukan pencampuran dengan baik akan memunculkan rongga (Tuntiworawit et al,2005; Al-Sabaei et al, 2019; Suaryana N et al,2019). Jika

banyak rongga yang terbentuk, maka bj bulk campuran akan semakin ringan karena kurang padat.

b. Rongga Udara (VIM)

Nilai rongga udara (VIM) merupakan nilai dalam persentase yang digunakan untuk mengetahui jumlah rongga udara pada suatu campuran aspal. Berikut ini merupakan grafik nilai rongga udara (VIM) pada sampel dengan penggunaan lateks mensubtitusikan sebagian aspal.



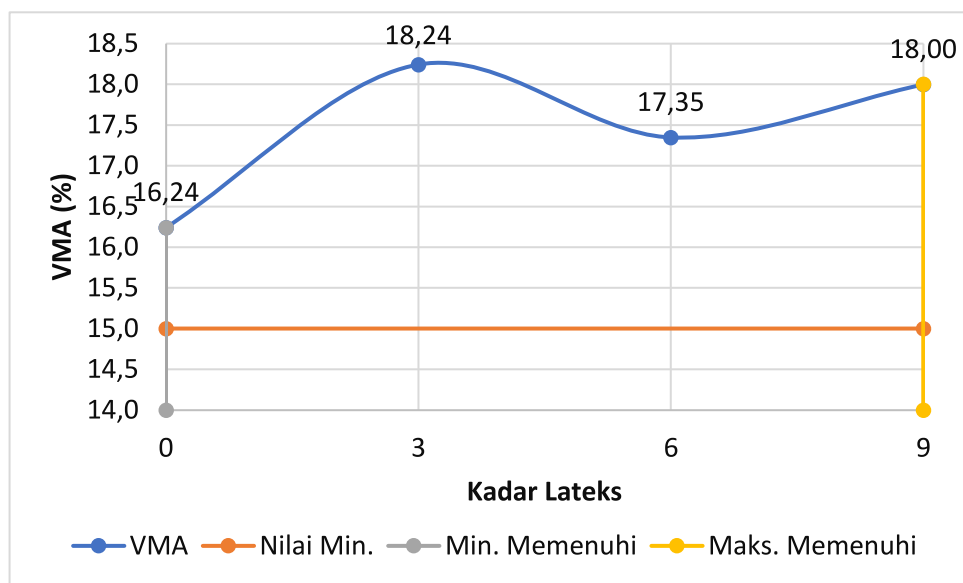
Gambar 4. 32 Grafik VIM Semen dan Lateks

Grafik diatas menunjukkan pengaruh penggunaan lateks sebagai substitusi aspal akan menyebabkan kenaikan nilai VIM sebesar 51,9% pada penggunaan 3% lateks. Hal ini mungkin terjadi karena proses pencampuran lateks dengan aspal dan agregat yang kurang cepat atau maksimal sehingga menyebabkan munculnya rongga atau gumpalan. Pernyataan tersebut sesuai jika disandingkan pada pernyataan bahwa adanya kandungan air di dalam lateks ketika dilakukan pencampuran dengan suhu tinggi akan menyebabkan penguapan dan jika tidak dilakukan pencampuran dengan baik akan memunculkan rongga (Tuntiworawit et al,2005; Al-Sabaei et al, 2019; Suaryana N et al,2019). Akibat dari proses tersebutlah dimungkinkan rongga yang terbentuk menaikkan nilai VIM pada campuran. Hal tersebut juga sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan dan

didapat perbedaan presentase VIM sebesar 35,6 % pada penggunaan 4% lateks (Mahmuda et al, 2022).

c. Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)

Nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) merupakan persentase nilai rongga dalam mineral agregat yang dinyatakan dalam persentase. Berikut merupakan grafik hasil pengujian pengaruh penggunaan lateks yang menggantikan sebagian aspal.



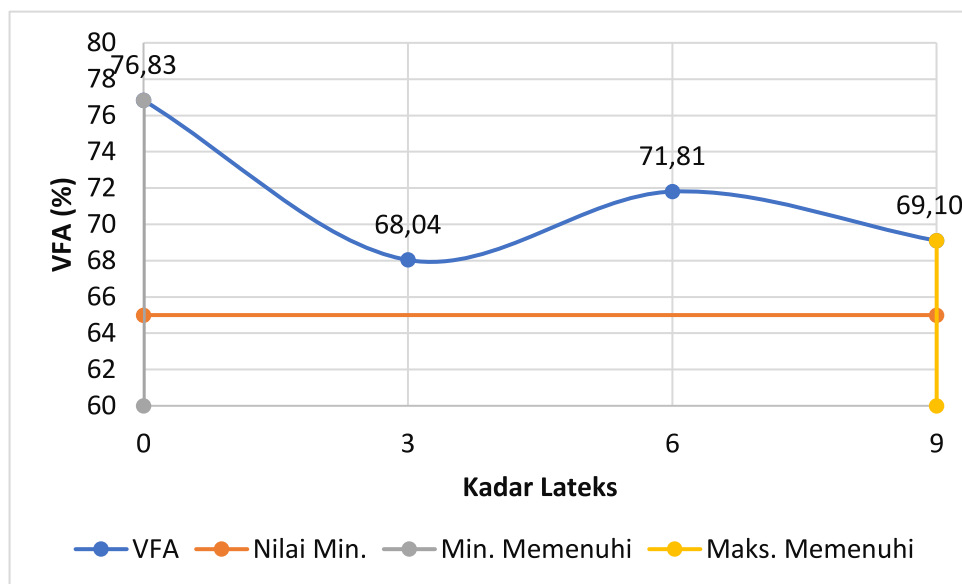
Gambar 4. 33 Grafik VMA Semen dan Lateks

Grafik diatas menunjukkan pengaruh penggunaan lateks sebagai substitusi aspal dapat menyebabkan kenaikan nilai VMA sebesar 12,3% pada penggunaan 3% lateks. Hal ini mungkin terjadi karena proses pencampuran lateks dengan aspal dan agregat yang kurang cepat atau maksimal sehingga menyebabkan munculnya rongga atau gumpalan baik pada mineral agregat ataupun campuran. Pernyataan tersebut sesuai jika disandingkan pada pernyataan bahwa adanya kandungan air di dalam lateks ketika dilakukan pencampuran dengan suhu tinggi akan menyebabkan penguapan dan jika tidak dilakukan pencampuran dengan baik akan memunculkan rongga (Tuntiworawit et al,2005; Al-Sabaei et al, 2019; Suaryana N et al,2019). Akibat dari proses tersebutlah dimungkinkan terbentuk rongga dalam mineral agregat yang menaikkan nilai VMA pada campuran. Terdapat

penelitian yang sejalan dengan pernyataan tersebut menyatakan bahwa penggunaan lateks sebanyak 3% pada campuran dapat meningkatkan presentase nilai VMA sebesar 29,2% jika dibandingkan dengan campuran tanpa lateks (Asri J et al, 2022).

d. Rongga Terisi Aspal (VFA)

Rongga terisi aspal (VFA) adalah nilai yang menunjukkan persentase jumlah rongga dalam campuran yang terisi aspal dengan fungsi sebagai selimut agar campuran menjadi padat. Adapun berikut merupakan grafik hasil pengujian nilai VFA untuk penggunaan lateks sebagai pengganti aspal sebagian.

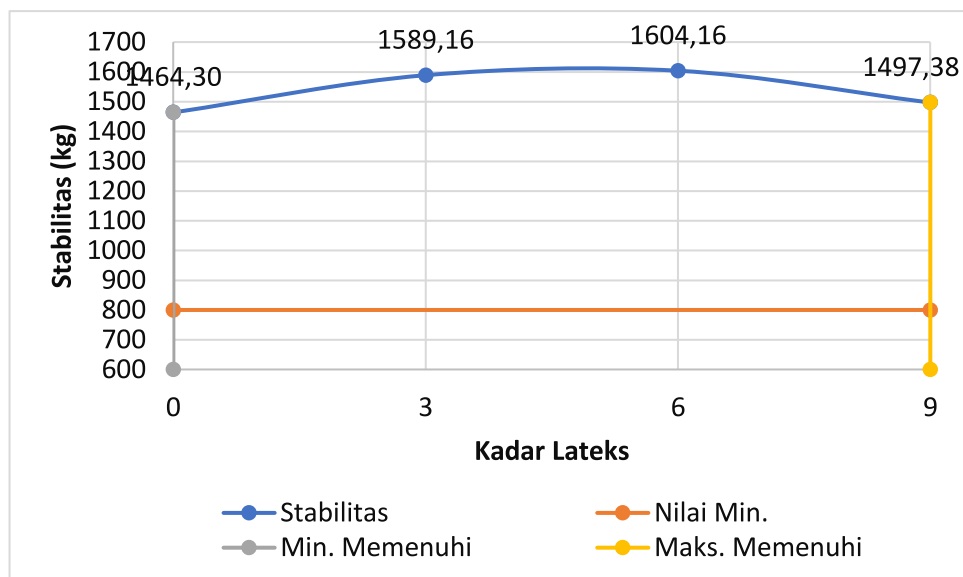


Gambar 4. 34 Grafik VFA Semen dan Lateks

Berdasarkan grafik diatas juga didapatkan analisis bahwa penggunaan lateks pada campuran mengakibatkan nilai VFA cenderung mengalami penurunan. Presentase penurunan pada nilai VFA tersebut yakni sebesar 11,4% penggunaan 3% lateks. Hal ini terjadi karena adanya peningkatan nilai VIM dan VMA yang berarti banyak aspal tidak dapat mengisi rongga pada campuran. Selain itu, terdapat penelitian yang selaras dengan pernyataan bahwa penambahan lateks dapat menurunkan nilai VFA. Adapun presentase nilai penurunan VFA tersebut sebesar 16,7% dengan penggunaan lateks sebesar 3,5% (Farisqi et al,2025).

e. Stabilitas

Stabilitas merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan campuran laston tidak mengalami perubahan bentuk ketika menerima beban lalu lintas. Adapun untuk nilai stabilitas pada laston dinyatakan dengan satuan kilogram. Berikut hasil pengujian marshall pada nilai stabilitas untuk penggunaan lateks sebagai pengganti sebagian aspal.



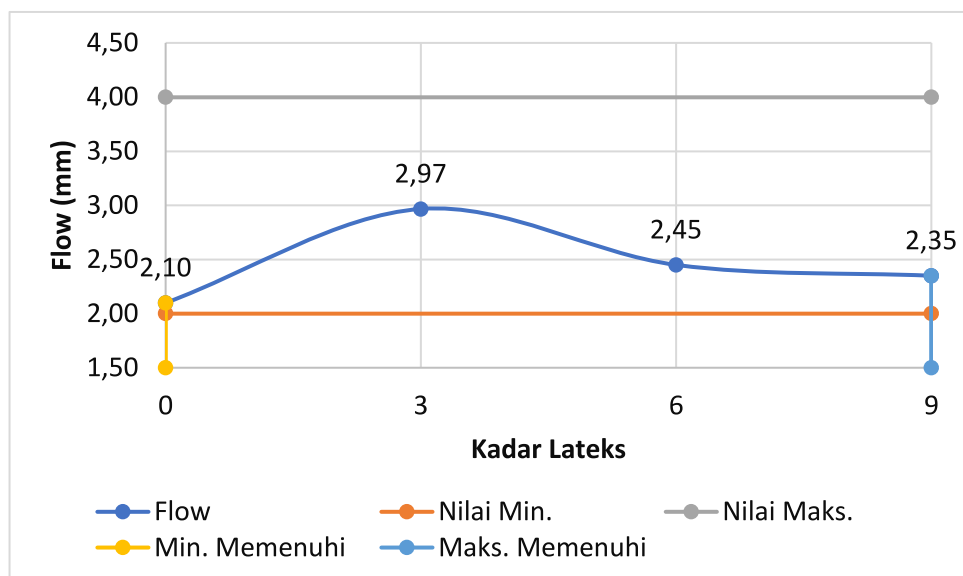
Gambar 4. 35 Grafik Stabilitas Semen dan Lateks

Grafik diatas menunjukkan bahwa penggunaan lateks sebagai subtitusi aspal pada campuran laston dapat menaikkan stabilitas hingga kadar penggunaan 6%. Adapun presentase perbedaan penggunaan lateks dengan tanpa lateks yang dapat meningkatkan nilai stabilitas yakni sebesar 8,5% penggunaan 3% lateks dan 9,6% penggunaan 6% lateks. Hal ini mungkin terjadi karena lateks bersifat elastis dan pegas menyebabkan campuran yang jika dikenai beban akan melendut dan kembali ke bentuk semula. Pernyataan tersebut didukung oleh penelitian yang menyatakan bahwa sifat lateks yang lengket, elastis, dan pegas akan melenduk jika dikenai beban namun dapat kembali ke posisi semula jika beban diangkat (Ansari A et al, 2021). Selain itu, penelitian lain menyatakan bahwa peningkatan stabilitas karena penggunaan lateks pada campuran laston disebabkan oleh peningkatan viskositas pada campuran yang menyebabkan kuatnya gaya tarik antar material karena mengembangkannya molekul-molekul lateks pada saat proses

mixing (Prastanto H et al,2019). Kenaikan nilai stabilitas karena penggunaan lateks ini juga sejajar dengan penelitian Putra A et al, 2023 dengan hasil kenaikan nilai stabilitas sebesar 43,2% dengan kadar penggunaan lateks 10%. Selain itu, penelitian lain juga mendapatkan hasil yang sama terkait kenaikan nilai stabilitas akibat dari penggunaan lateks 8% didapat nilai stabilitas sebesar 22,9% (Thanaya I et al, 2016).

f. Flow

Nilai *flow* pada campuran laston merupakan nilai yang menyatakan kelelehan campuran akibat pembebanan pada suhu tertentu. Adapun berikut merupakan nilai *flow* hasil pengujian marshall pada sampel campuran dengan lateks sebagai pengganti sebagian aspal.



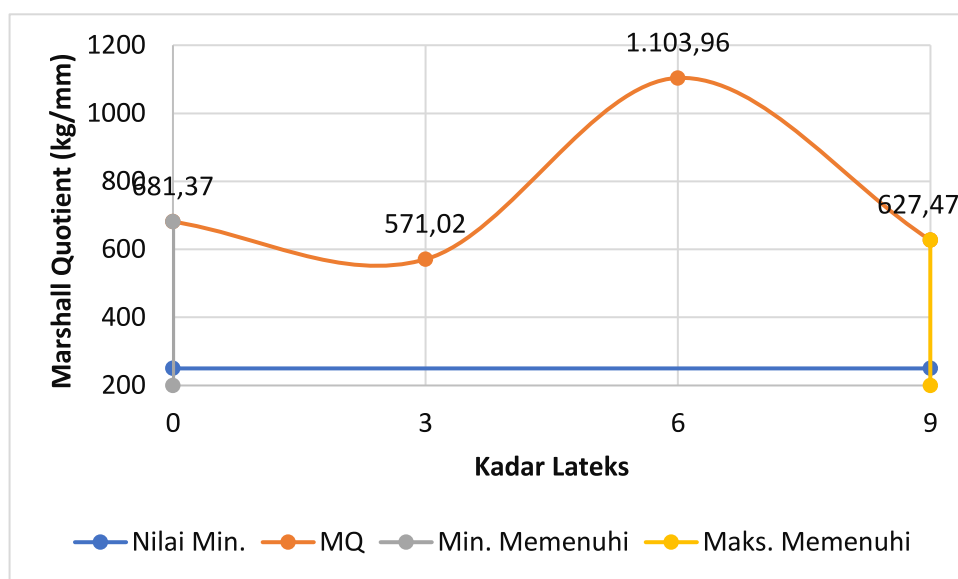
Gambar 4. 36 Grafik *Flow* Semen dan Lateks

Grafik diatas menunjukkan bahwa penggunaan lateks pada campuran akan meningkatkan nilai *flow* sebesar 41,4% sampai pada penggunaan 3% lateks dan menurunkan nilai *flow* pada penggunaan 6% serta 9% lateks. Hal ini mungkin terjadi karena adanya semen sebagai *added filler* dapat menyerap aspal yang bercampur 3% lateks dengan baik dan menyebabkan campuran menjadi plastis sehingga dapat meningkatkan nilai *flow*. Namun, penggunaan lateks berlebih akan meningkatkan elastisitas aspal karena sifatnya yang elastis. Hal ini didukung oleh pernyataan penelitian yang menyatakan bahwa penggunaan lateks pada campuran

akan meningkatkan nilai elastisitas aspal dan menyebabkan berkurangnya deformasi plastis sehingga dapat menurunkan nilai *flow* (Elsevier, 2020; Helal et al, 2022; Rahmiati et al, 2022).

g. *Marshall Quotient* (MQ)

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) merupakan nilai yang menyatakan kekakuan campuran laston. Berikut merupakan grafik hasil pengujian marshall pada nilai MQ pada campuran yang menggunakan lateks sebagai pengganti aspal.

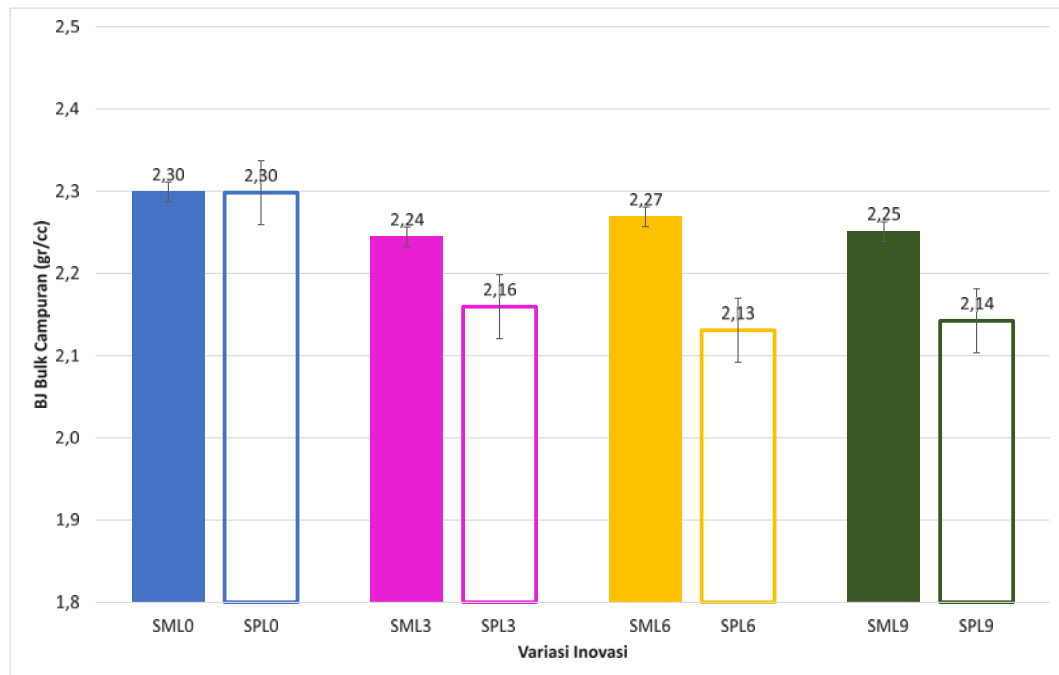


Gambar 4. 37 Grafik MQ Semen dan Lateks

Grafik diatas menunjukkan bahwa penggunaan lateks cenderung menurunkan nilai MQ sebesar 16,2% untuk penggunaan 3% lateks. Hal ini terjadi karena peningkatan stabilitas diikuti dengan peningkatan nilai *flow* pada penggunaan 3% kadar lateks. MQ merupakan nilai kekakuan dengan perhitungan yakni membagi antara stabilitas dengan *flow*. Dalam hal tersebut, MQ berbanding terbalik dengan nilai *flow*. Sehingga, jika terjadi kenaikan *flow* berlebih akan menyebabkan campuran menjadi kurang kaku.

4.4.3 Perbandingan Hasil Penggunaan Abu Sekam Padi dan Lateks Pada Campuran

a. BJ Bulk Campuran

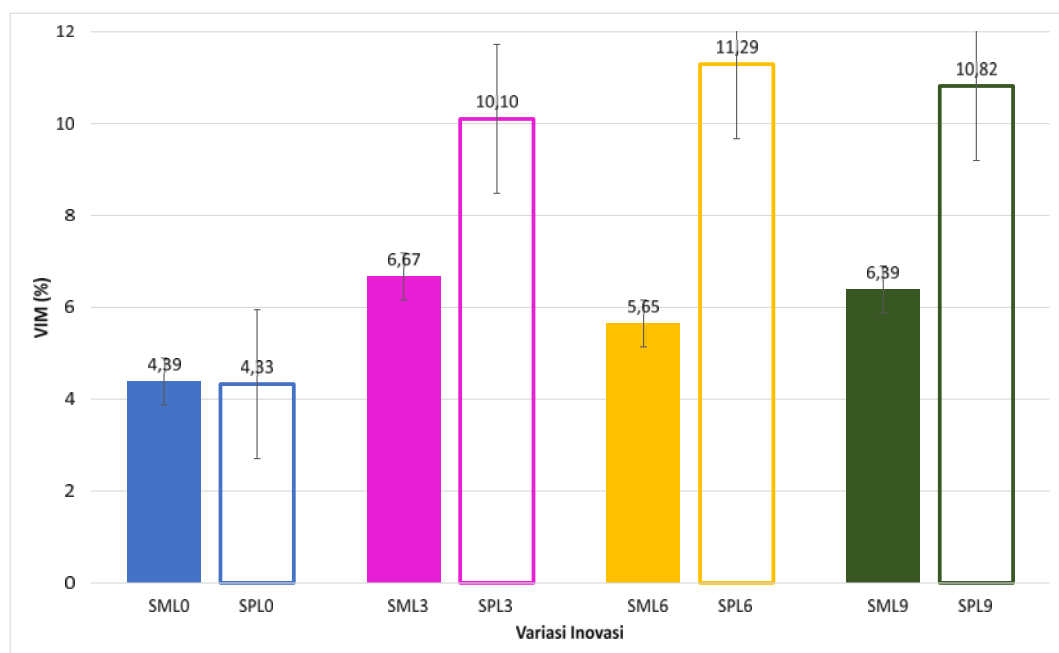


Gambar 4. 38 Grafik Perbandingan BJ Bulk Campuran Inovasi

Berdasarkan grafik di atas, penggunaan *added filler* abu sekam padi memiliki nilai berat jenis bulk campuran yang lebih rendah dibandingkan penggunaan semen jika dicampur dengan lateks, yakni sebesar 3,6% untuk penggunaan 3% lateks; 6,2% untuk penggunaan 6% lateks; dan 4,9% penggunaan 9% lateks. Hal ini mungkin terjadi karena partikel abu sekam padi yang berpori dan ringan jika dicampur dengan lateks menimbulkan rongga yang lebih banyak daripada penggunaan semen sehingga menyebabkan nilai berat jenis bulk campuran lebih kecil. Reaksi tersebut didukung penelitian yang menyebutkan bahwa abu sekam padi dengan bentuknya yang berpori lebih banyak menyerap aspal. Sehingga, menyebabkan rongga pada campuran akibat banyaknya aspal yang terserap abu sekam padi, namun tidak terserap oleh material lain dan/atau mengisi rongga (Sadeeq J et al, 2014). Selain itu, lateks yang mengandung air ketika dilakukan proses pencampuran pada suhu tinggi akan menyebabkan penguapan dan jika

tidak dilakukan pencampuran dengan baik akan menimbulkan rongga (Tuntiworawit et al, 2005; Al-Sabacei et al, 2019; Suaryana N et al, 2019). Berdasarkan hal-hal tersebut, penggunaan kedua bahan akan menyebabkan banyaknya rongga pada campuran yang dapat menurunkan nilai berat jenis bulk campuran dan/atau kepadatan. Penurunan berat jenis bulk campuran tersebut juga sejalan dengan penelitian Nugraha D et al pada tahun 2024 yang menyatakan bahwa penggunaan abu sekam padi sebagai *added filler* menurunkan nilai berat jenis bulk campuran sebesar 4,9% jika dibandingkan dengan penggunaan *added filler* semen. Selain itu, hasil penelitian lain juga menunjukkan bahwa penggunaan lateks pada campuran Laston AC – WC sebanyak 3% akan menyebabkan penurunan berat jenis bulk campuran sebesar 0,4%.

b. Rongga Udara (VIM)

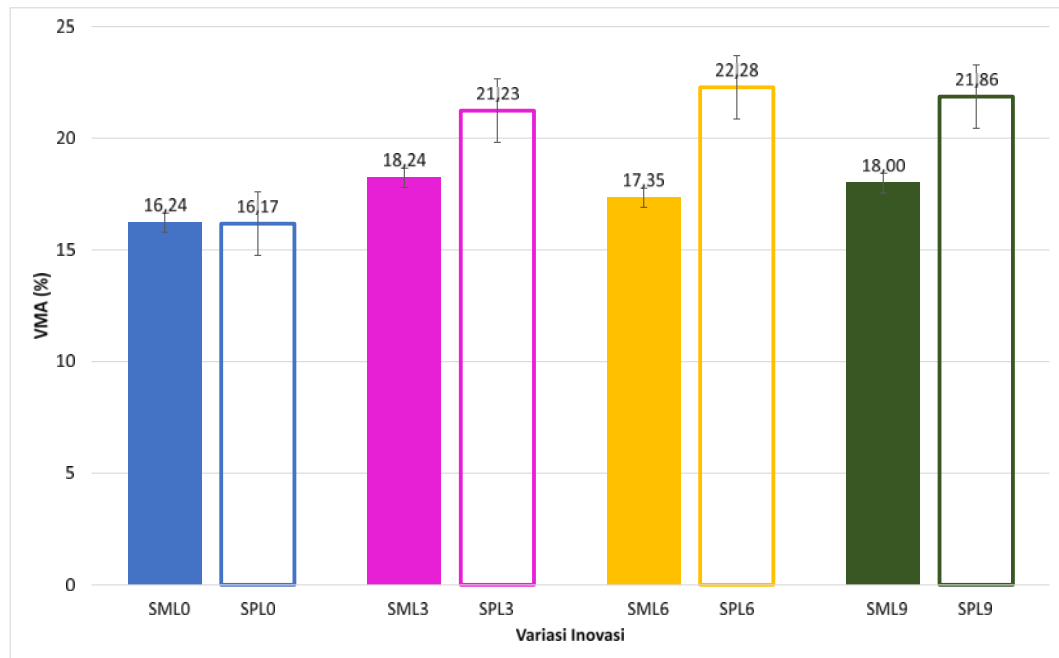


Gambar 4. 39 Grafik Perbandingan VIM Inovasi

Grafik di atas menunjukkan bahwa penggunaan lateks pada campuran yang menggunakan *added filler* abu sekam padi cenderung memiliki nilai VIM lebih tinggi dibandingkan dengan campuran yang menggunakan semen yakni sebesar 51,4% untuk penggunaan 3% lateks; 99,8% penggunaan 6% lateks; dan 69,3%

penggunaan 9% lateks. Hal ini mungkin terjadi karena faktor kecepatan dan/atau suhu pada saat pencampuran, sehingga menyebabkan lateks menjadi tidak menyatu atau homogen dengan material lain yang kemudian menyebabkan adanya rongga. Beberapa penelitian menyatakan bahwa pengaturan suhu dan kecepatan pengadukan campuran sangat berpengaruh pada nilai VIM. Sebab, jika dipanaskan pada suhu terlalu tinggi, lateks yang mengandung air akan menguap lebih cepat sehingga membentuk gelembung yang jika tidak diaduk dan suhu turun menyebabkan adanya rongga (Shafii et al 2017; Suaryana N et al, 2019)). Jika suhu dan kecepatan pengadukan terlalu rendah menyebabkan material tidak bercampur dengan baik (homogen) akibat dari besarnya ukuran partikel yang tidak dapat bersatu dengan partikel lain sehingga menyebabkan rongga (Shaffie E et al, 2018; Chen X et al, 2022; Gungat et al, 2024). Hal tersebut juga sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan dan didapat presentase VIM sebesar 35,6 % pada penggunaan 4% lateks (Mahmuda et al, 2022). Disamping itu, peningkatan nilai VIM tersebut juga sejalan dengan hasil pengujian berat jenis bulk campuran yang menurun disebabkan oleh banyaknya rongga udara pada campuran dan membuatnya menjadi kurang padat. Hal ini sejalan dengan hipotesis bahwa penggunaan abu sekam padi dapat menurunkan nilai VIM, namun ketika digunakan lateks dapat meningkatkan nilai VIM.

c. Rongga Dalam Agregat (VMA)

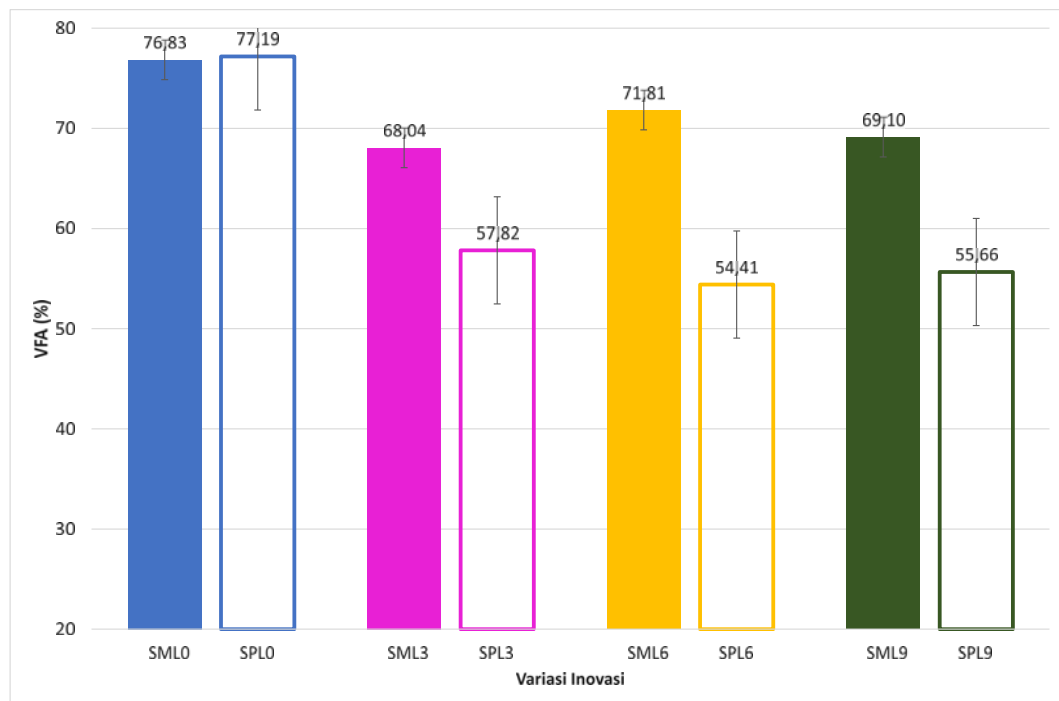


Gambar 4. 40 Grafik Perbandingan VMA Inovasi

Pada grafik di atas, dapat diketahui bahwa penggunaan lateks dan abu sekam padi memiliki nilai VMA lebih besar dibandingkan dengan campuran yang menggunakan semen dengan presentase perbedaan sebesar 16,4% penggunaan 3% lateks; 28,4% penggunaan 6% lateks; dan 21,4% penggunaan 9% lateks. Hal ini mungkin disebabkan oleh adanya proses penguapan oleh air yang terkandung didalam lateks dan menciptakan gelembung serta membentuk rongga dalam campuran tersebut. Dalam beberapa penelitian juga dikatakan bahwa pada saat proses pencampuran lateks dengan aspal, jika suhu tidak terkontrol dapat menyebabkan penguapan yang terjadi cepat, kemudian membentuk gelembung dan akan membentuk rongga sebagai akibat dari gelembung yang tertinggal (Suaryana N et al, 2019). Reaksi tersebutlah yang menyebabkan nilai VMA pada campuran dengan penggunaan lateks lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran tanpa penggunaan lateks. Terdapat penelitian yang sejalan dengan pernyataan tersebut menyatakan bahwa penggunaan lateks sebanyak 3% pada campuran dapat meningkatkan presentase nilai VMA sebesar 29,2% jika dibandingkan dengan campuran tanpa lateks (Asri J et al, 2022). Disamping itu,

meningkatnya nilai VMA pada campuran ini sesuai dengan hasil pengujian berupa penurunan berat jenis bulk campuran, yang berarti adanya rongga dalam mineral agregat menjadi salah satu faktor penyebabnya menurunnya nilai berat jenis bulk campuran dikarenakan campuran yang kurang padat. Hal ini juga sejalan dengan studi literatur yang telah dilakukan bahwa penggunaan abu sekam padi dapat menurunkan nilai VMA, namun jika digunakan lateks dapat meningkatkan nilai VMA.

d. Rongga Terisi Aspal (VFA)

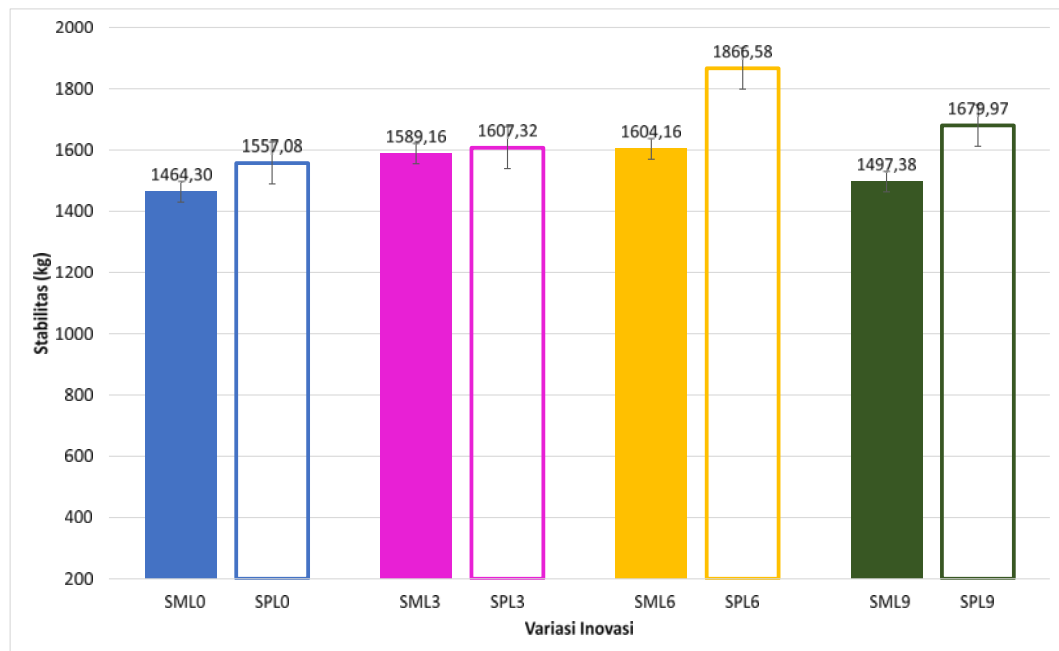


Gambar 4. 41 Grafik Perbandingan VFA Inovasi

Berdasarkan grafik di atas, campuran dengan penggunaan lateks dan abu sekam padi memiliki nilai VFA yang lebih rendah sebesar 15 % penggunaan 3% lateks; 24,2% penggunaan 6% lateks; dan 19,5% penggunaan 9% lateks jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan semen sebagai *added filler*. Hal ini mungkin disebabkan karena proses mixing lateks dengan aspal yang menimbulkan gelembung sehingga membentuk rongga. Rongga tersebut terbentuk sebagai akibat dari lateks yang memadat dan menahan aspal. Adapun penelitian yang mendukung hal tersebut menyatakan bahwa lateks yang dicampur dengan

aspal akan mengalami interaksi polimer – binder dan menghasilkan film yang menyelimuti agregat. Namun karena memiliki sifat elastis, film tersebut tidak dapat memenuhi rongga mikro secara maksimal sedangkan aspal terlebih dahulu terserap dengan cepat oleh *added filler* ringan dan berpori. Sehingga, aspal terjebak dan/atau terikat dalam *added filler*, kemudian terselimuti oleh film lateks dan menyebabkan nilai VFA turun (Elseveir, 2020; Rohayzi et al, 2023). Selain itu, terdapat penelitian yang selaras dengan pernyataan bahwa penambahan lateks dapat menurunkan nilai VFA. Adapun presentase nilai penurunan VFA tersebut sebesar 16,7% dengan penggunaan lateks sebesar 3,5% (Farisqi et al, 2025). Disamping itu, penurunan nilai VFA ini juga dipengaruhi oleh adanya peningkatan nilai VMI dan VMA karena adanya indikasi peningkatan rongga tersebut, disebabkan oleh aspal yang tidak dapat mengisi rongga udara pada campuran dan/atau tidak mengisi serta menyelimuti agregat dengan baik. Hal ini sejalan dengan studi literatur yang telah dilakukan bahwa penggunaan abu sekam padi tanpa lateks dapat meningkatkan nilai VFA.

e. Stabilitas



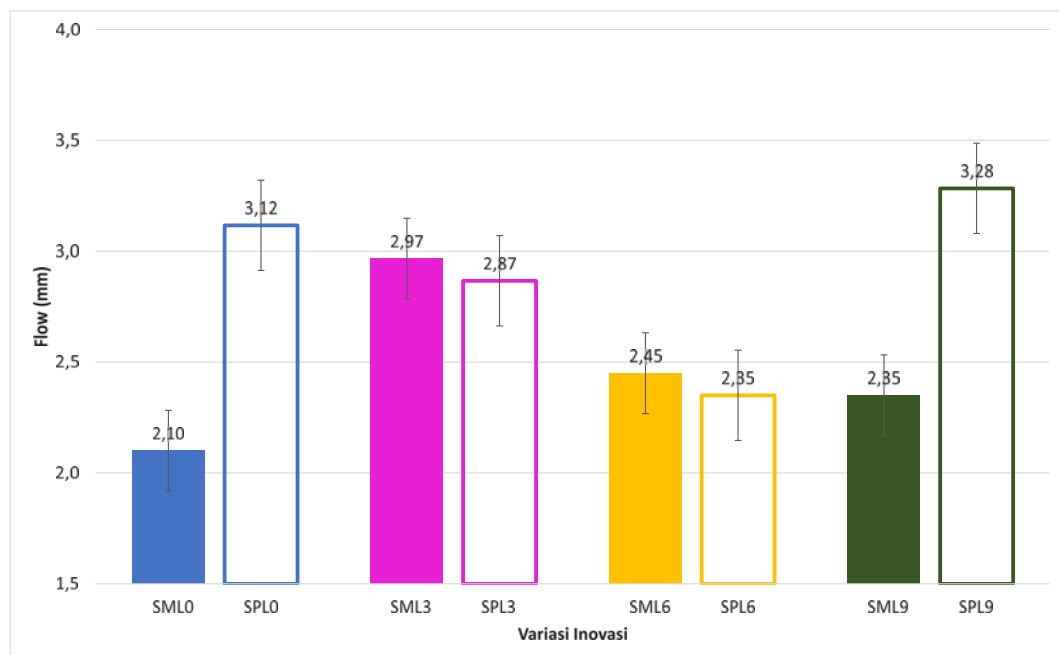
Gambar 4. 42 Grafik Perbandingan Stabilitas Inovasi

Stabilitas adalah kemampuan laston dalam menahan beban lalu lintas tanpa merubah bentuk laston itu sendiri (Lebang N et al, 2021). Berdasarkan tabel diatas dapat dilihat bahwa penggunaan *added filler* abu sekam padi tanpa lateks dapat meningkatkan nilai stabilitas sebesar 6,3% dibandingkan menggunakan *added filler* semen. Begitu pula dengan penggunaan *added filler* abu sekam padi dan lateks sebagai substitusi aspal dapat menaikkan nilai stabilitas sebesar 1,1% jika digunakan 3% lateks; 16,4% penggunaan 6% lateks, namun mengalami penurunan sebesar 12,2% pada penggunaan 9% lateks. Hal ini terjadi karena berat jenis *added filler* pada abu sekam padi lebih kecil jika dibandingkan dengan semen, sehingga volume yang digunakan abu sekam padi untuk memenuhi suatu campuran semakin banyak dan menyebabkan abu sekam padi mengisi pori-pori pada campuran laston sehingga dapat meningkatkan nilai stabilitas campuran (N.K. Krishna et al, 2016). Disamping itu, pori-pori abu sekam padi yang lebih kecil dengan permukaan lebih besar dan kandungan SiO₂ pada abu sekam padi yang lebih banyak dibandingkan dengan semen meningkatkan sifat pozzolan. Banyaknya nilai pozzolan ini menjadi sebab besarnya penyerapan sehingga gaya tarik antar material semakin kuat serta saling mengunci (E. Mohseni et al, 2016; Endale S et al, 2022). Selain itu, hal ini juga selaras dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Nugraha D, et al pada tahun 2024 yakni penggunaan abu sekam padi menaikkan nilai stabilitas sebesar 5,5% jika dibandingkan dengan penggunaan semen sebagai *added filler*. Dalam penelitian lain juga dinyatakan bahwa penggunaan abu sekam padi akan meningkatkan nilai stabilitas sebesar 0,5% jika dibandingkan dengan penggunaan semen (Sunarjono S et al, 2022).

Selain akibat dari penggunaan abu sekam padi, peningkatan nilai stabilitas juga disebabkan karena adanya substitusi aspal oleh lateks. Hal ini dapat terjadi karena lateks merupakan material dengan struktur kimia polimer yang bersifat elastis, lengket, dan pegas (Mahmuda et al, 2022). Berdasarkan sifat tersebutlah lateks yang dikenai beban akan melendut dan kembali ke posisi semula ketika beban diangkat (Ansari A et al, 2021). Selain itu, pada saat proses *mixing*, molekul-molekul pada lateks akan mengembang dan meningkatkan viskositas

pada campuran yang menyebabkan kuatnya gaya tarik antar material (Prastanto H et al, 2019). Hal tersebut menyebabkan lateks yang dicampur pada campuran laston akan meningkatkan nilai stabilitas campuran tersebut. Kenaikan nilai stabilitas karena penggunaan lateks ini juga sejajar dengan penelitian Putra A et al, 2023 dengan hasil kenaikan nilai stabilitas sebesar 43,2% dengan kadar penggunaan lateks 10%. Selain itu, penelitian lain juga mendapatkan hasil yang sama terkait kenaikan nilai stabilitas akibat dari penggunaan lateks 8% didapat nilai stabilitas sebesar 22,9% (Thanaya I et al, 2016). Selain itu, setelah dilakukan beberapa pengujian didapatkan fakta menarik bahwa nilai stabilitas penggunaan *added filler* abu sekam padi dan lateks sebagai substitusi aspal tetap meningkat meskipun sejajar dengan peningkatan nilai rongga. Hal ini menunjukkan bahwa nilai rongga pada campuran ini tidak berpengaruh pada nilai stabilitasnya. Hal ini sesuai hipotesis yang telah dilakukan bahwa penggunaan abu sekam padi tanpa lateks dapat meningkatkan nilai stabilitas, namun tidak signifikan. Sedangkan jika digunakan lateks sekaligus, dapat meningkatkan nilai stabilitas secara signifikan.

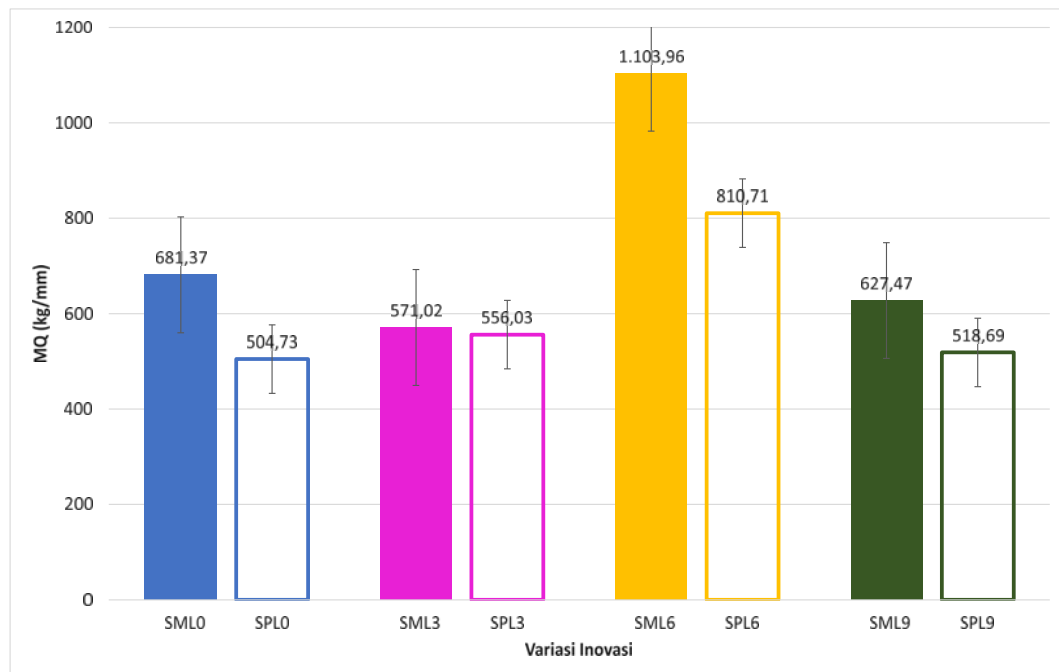
f. Flow



Gambar 4. 43 Grafik Perbandingan *Flow* Inovasi

Berdasarkan grafik di atas, campuran yang menggunakan lateks dan abu sekam padi memiliki nilai *flow* lebih kecil sebesar 3,4% untuk penggunaan lateks 3% dan 4,1% untuk penggunaan lateks 6%. Namun, pada penggunaan lateks sebanyak 9% memiliki nilai *flow* yang lebih tinggi sebesar 39,6% jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan semen sebagai *added filler* dan lateks sebagai material substitusi aspal. Hal tersebut mungkin terjadi karena sifat lateks yang elastis mengurangi nilai plastis (kelelehan) pada campuran. Pernyataan tersebut juga didukung oleh beberapa penelitian yang menyatakan bahwa penggunaan lateks pada campuran akan meningkatkan elastisitas pada aspal dan menyebabkan berkurangnya deformasi plastis (Elsevier 2020; Helal et al, 2022; Rahmiati et al, 2022). Hasil penelitian sebelumnya hal yang selaras yakni penggunaan lateks akan menurunkan nilai *flow* sebesar 16,5% dengan penggunaan lateks sebesar 3,5% (Farisqi et al, 2025). Disamping itu, hasil nilai *flow* pada campuran abu sekam padi dan lateks yang lebih kecil jika dibandingkan dengan penggunaan semen sebagai *added filler* ini sesuai dengan adanya peningkatan nilai stabilitas pada campuran tersebut. Hal ini sesuai dengan studi literatur yang telah dilakukan bahwa penggunaan abu sekam padi tanpa lateks dapat meningkatkan nilai *flow*, namun ketika digunakan lateks dapat menurunkan nilai *flow*.

g. *Marshall Quotient* (MQ)



Gambar 4. 44 Grafik Perbandingan MQ Inovasi

Dari grafik diatas, didapat nilai MQ campuran laston AC – WC yang menggunakan *added filler* berupa abu sekam padi tanpa lateks lebih rendah jika dibandingkan dengan penggunaan semen sebesar 25,9%. Begitu pula dengan campuran lain yang menggunakan lateks dan abu sekam padi di dalamnya memiliki nilai MQ yang lebih rendah sebesar 2,6% penggunaan 3% lateks; 26,6% penggunaan 6% lateks; dan 17,3% penggunaan 9% lateks. Penggunaan lateks sebesar 6% merupakan titik tertinggi nilai MQ, baik pada penggunaan campuran lateks dengan abu sekam padi maupun campuran lateks dengan semen.

Nilai MQ yang lebih rendah pada penggunaan material abu sekam padi dengan atau tanpa lateks mungkin terjadi disebabkan oleh abu sekam padi yang ringan dan berpori sehingga menyebabkan ikatan antar material tidak sekuat pada campuran dengan penggunaan semen. Hal tersebut didukung oleh penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa campuran dengan penggunaan abu sekam padi memiliki nilai MQ lebih rendah karena bentuknya yang halus, berpori, dan banyak menyerap aspal menyebabkan peningkatan nilai plastis pada campuran sehingga ikatan antar material menjadi tidak sekuat penggunaan *added filler*

semen (Tjaronge et al, 2018; Simun M et al, 2023). Hasil penelitian sebelumnya juga menunjukkan hasil yang selaras yakni penggunaan abu sekam padi pada campuran akan menurunkan nilai MQ sebesar 6% jika dibandingkan dengan penggunaan abu batu sebagai *added filler* (Saepudin U, 2021). Disamping itu, nilai MQ campuran menggunakan abu sekam padi dengan atau tanpa lateks yang lebih kecil jika dibandingkan dengan penggunaan semen ini, juga dipengaruhi oleh meningkatnya nilai VIM dan VMA pada campuran tersebut. Hal ini sesuai dengan studi literatur yang telah dilakukan bahwa penggunaan abu sekam padi tanpa lateks dapat menurunkan nilai MQ.

4.5 Analisis Harga

Analisis harga merupakan proses perhitungan harga pada produk. Tujuan dari analisis harga ini adalah untuk mengetahui harga bahan dan pemasangan pada setiap variasi pengujian campuran Laston AC – WC serta mendapatkan harga paling optimum. Adapun harga bahan dan pemasangan dari masing-masing variasi pengujian campuran Laston AC – WC.

4.5.1 Bahan

Pada saat melakukan analisis harga bahan untuk kebutuhan campuran Laston AC – WC, diasumsikan bahwa jalan yang akan digunakan merupakan jalan kelas II dengan panjang 1 km, tebal 4 cm, dan 2 jalur (lebar masing-masing jalur 3,5 m). Hal tersebut sesuai dengan spesifikasi teknis jalan oleh Bina Marga dan Permen PU No.19/2011 tentang Persyaratan Teknis Jalan untuk jalan kelas II. Pada pembahasan mengenai analisis harga bahan ini dilakukan analisis pada harga masing-masing bahan setiap variasi campuran dan analisis perbandingan harga penggunaan bahan seperti berikut.

a. Analisis Harga Setiap Bahan

Analisis harga setiap penggunaan bahan dilakukan pada setiap variasi campuran baik penggunaan semen maupun abu sekam padi sebagai *added filler* dengan lateks sebagai material substitusi aspal seperti berikut.

1. Semen dan Lateks

Adapun analisis harga penggunaan setiap bahan pada variasi campuran yang menggunakan semen sebagai *added filler* dan lateks sebagai material substitusi aspal adalah sebagai berikut.

a) SML0

Tabel 4. 39 Hasil Analisis Harga SML0

Material	% Gradasi	Volume	Satuan	HSD	Harga
Agregat $\frac{3}{4}$	21	54,984	M3	Rp336.850,00	Rp18.521.319,98
Agregat $\frac{1}{2}$	29	75,930	M3	Rp360.197,00	Rp27.349.801,43
Abu Batu	34	89,022	M3	Rp363.457,00	Rp32.355.494,59
Pasir	14	36,656	M3	Rp334.500,00	Rp12.261.405,24
Semen	2	12044,088	Kg	Rp1.410,00	Rp16.982.164,08
Aspal	6,49	41795,600	Kg	Rp16.129,00	Rp674.121.232,40
Volume Total (Kg)		644000	Total Harga		Rp781.591.417,73

b) SML3

Tabel 4. 40 Hasil Analisis Harga SML3

Material	% Gradasi	Volume	Satuan	HSD	Harga
Agregat $\frac{3}{4}$	21	54,984	M3	Rp336.850,00	Rp18.521.319,98
Agregat $\frac{1}{2}$	29	75,930	M3	Rp360.197,00	Rp27.349.801,43
Abu Batu	34	89,022	M3	Rp363.457,00	Rp32.355.494,59
Pasir	14	36,656	M3	Rp334.500,00	Rp12.261.405,24
Semen	2	11729,894	Kg	Rp1.410,00	Rp16.539.151,10
Aspal	6,295	38670,016	Kg	Rp16.129,00	Rp623.708.688,06
Lateks	0,195	2035,264	Ltr	Rp45.234,33	Rp92.063.810,20
Volume Total (Kg)		627200	Total Harga		Rp781.591.417,73

c) SML6

Tabel 4. 41 Hasil Analisis Harga SML6

Material	% Gradasi	Volume	Satuan	HSD	Harga
Agregat $\frac{3}{4}$	21	54,984	M3	Rp336.850,00	Rp18.521.319,98
Agregat $\frac{1}{2}$	29	75,930	M3	Rp360.197,00	Rp27.349.801,43
Abu Batu	34	89,022	M3	Rp363.457,00	Rp32.355.494,59
Pasir	14	36,656	M3	Rp334.500,00	Rp12.261.405,24
Semen	2	11886,991	Kg	Rp1.410,00	Rp16.760.657,59
Aspal	6,101	37125,396	Kg	Rp16.129,00	Rp598.795.512,08
Lateks	0,389	4125,044	Ltr	Rp45.234,33	Rp186.593.615,31
Volume Total (sKg)		635600	Total Harga		Rp781.591.417,73

d) SML9

Tabel 4. 42 Hasil Analisis Harga SML9

Material	% Gradasi	Volume	Satuan	HSD	Harga
Agregat $\frac{3}{4}$	21	54,984	M3	Rp336.850,00	Rp18.521.319,98
Agregat $\frac{1}{2}$	29	75,930	M3	Rp360.197,00	Rp27.349.801,43
Abu Batu	34	89,022	M3	Rp363.457,00	Rp32.355.494,59
Pasir	14	36,656	M3	Rp334.500,00	Rp12.261.405,24
Semen	2	11782,260	Kg	Rp1.410,00	Rp16.612.986,60
Aspal	5,906	34753,950	Kg	Rp16.129,00	Rp560.546.459,55
Lateks	0,584	6133,050	Ltr	Rp45.234,33	Rp277.424.428,05
Volume Total (sKg)		635600	Total Harga		Rp781.591.417,73

2. Abu Sekam Padi dan Lateks

Adapun analisis harga penggunaan setiap bahan pada variasi campuran yang menggunakan abu sekam padi sebagai *added filler* dan lateks sebagai material substitusi aspal adalah sebagai berikut.

a) SPL0

Tabel 4. 43 Hasil Analisis Harga Bahan SPL0

Material	% Gradasi	Volume	Satuan	HSD	Harga
Agregat $\frac{3}{4}$	21	54,984	M3	Rp336.850,00	Rp18.521.319,98
Agregat $\frac{1}{2}$	29	75,930	M3	Rp360.197,00	Rp27.349.801,43
Abu Batu	34	89,022	M3	Rp363.457,00	Rp32.355.494,59
Pasir	14	36,656	M3	Rp334.500,00	Rp12.261.405,24
Abu Sekam Padi	2	12044,088	Kg	Rp1.000,00	Rp12.044.088,00
Aspal	6,49	41795,600	Kg	Rp16.129,00	Rp674.121.232,40
Volume Total (Kg)		644000	Total Harga		Rp776.653.341,65

b) SPL3

Tabel 4. 44 Hasil Analisis Harga Bahan SPL3

Material	% Gradasi	Volume	Satuan	HSD	Harga
Agregat $\frac{3}{4}$	21	54,984	M3	Rp336.850,00	Rp18.521.319,98
Agregat $\frac{1}{2}$	29	75,930	M3	Rp360.197,00	Rp27.349.801,43
Abu Batu	34	89,022	M3	Rp363.457,00	Rp32.355.494,59
Pasir	14	36,656	M3	Rp334.500,00	Rp12.261.405,24
Abu Sekam Padi	2	11310,970	Kg	Rp1.000,00	Rp11.310.969,60
Aspal	6,295	37288,944	Kg	Rp16.129,00	Rp601.433.377,78
Lateks	0,195	1962,576	Ltr	Rp45.234,33	Rp88.775.816,98
Volume Total (Kg)		604800	Total Harga		Rp776.653.341,65

c) SPL6

Tabel 4. 45 Hasil Analisis Harga Bahan SPL6

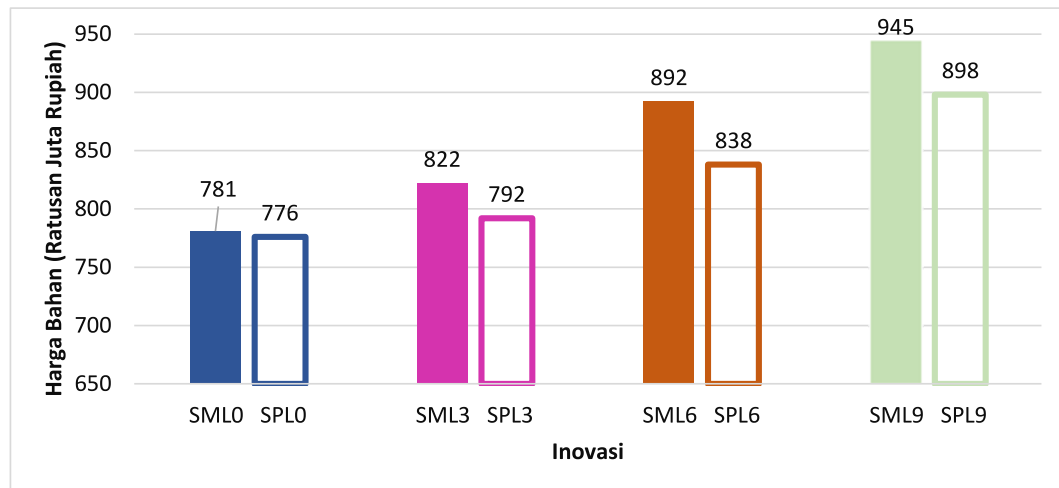
Material	% Gradasi	Volume	Satuan	HSD	Harga
Agregat $\frac{3}{4}$	21	54,984	M3	Rp336.850,00	Rp18.521.319,98
Agregat $\frac{1}{2}$	29	75,930	M3	Rp360.197,00	Rp27.349.801,43
Abu Batu	34	89,022	M3	Rp363.457,00	Rp32.355.494,59
Pasir	14	36,656	M3	Rp334.500,00	Rp12.261.405,24
Abu Sekam Padi	2	11153,873	Kg	Rp1.000,00	Rp11.153.872,80
Aspal	6,101	34835,724	Kg	Rp16.129,00	Rp561.865.392,40
Lateks	0,389	3870,636	Ltr	Rp45.234,33	Rp175.085.639,04
Volume Total (Kg)		596400	Total Harga		Rp776.653.341,65

d) SPL9

Tabel 4. 46 Hasil Analisis Harga Bahan SPL9

Material	% Gradasi	Volume	Satuan	HSD	Harga
Agregat $\frac{3}{4}$	21	54,984	M3	Rp336.850,00	Rp18.521.319,98
Agregat $\frac{1}{2}$	29	75,930	M3	Rp360.197,00	Rp27.349.801,43
Abu Batu	34	89,022	M3	Rp363.457,00	Rp32.355.494,59
Pasir	14	36,656	M3	Rp334.500,00	Rp12.261.405,24
Abu Sekam Padi	2	11206,238	Kg	Rp1.000,00	Rp11.206.238,40
Aspal	5,906	33054,868	Kg	Rp16.129,00	Rp533.141.965,97
Lateks	0,584	5833,212	Ltr	Rp45.234,33	Rp263.861.456,01
Volume Total (Kg)		599200	Total Harga		Rp898.697.681,63

b. Analisis Perbandingan Harga Bahan



Gambar 4. 45 Grafik Analisis Perbandingan Harga Bahan

Berdasarkan grafik diatas, dapat diketahui bahwa penggunaan penggunaan semen sebagai *added filler* lebih mahal jika dibandingkan dengan penggunaan abu sekam padi sebagai *added filler*. Begitu pula dengan penggunaan lateks sebagai material substitusi aspal cenderung meningkatkan harga total penggunaan bahan pada setiap variasi campuran. Adapun besar perbedaan antar variasi yakni Rp.4.938.076 atau 0,632% (SML0 dengan SPL0); Rp.30.791.485 atau 3,742% (SML3 dengan SPL3); Rp.54.044.880,75 atau 6,055% (SML6 dan SPL6); dan Rp.46.374.213 atau 4.907% (SML9 dengan SPL9).

4.5.2 Pelaksanaan

a. Harga Satuan Dasar (HSD)

Harga satuan dasar merupakan suatu harga komponen dari mata pembayaran dengan satuan tertentu. Adapun HSD berisi harga tenaga, bahan, dan alat yang berbeda di setiap daerah. Berikut merupakan HSD wilayah kota Semarang, Jawa Tengah yang tercantum dalam “Mas Petruk” dan dibuat oleh DPU Bina Marga Cipta Karya Provinsi Jawa Tengah Tahun 2024.

1. Tenaga

Adapun HSD terkait harga tenaga yang dibutuhkan untuk pekerjaan penghamparan lapisan perkerasan AC – WC pada wilayah kota Semarang pada tahun 2024 adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 47 HSD Tenaga

No	Nama	Satuan	Harga
1.	Pekerja	Jam	Rp. 16.219
2.	Mandor	Jam	Rp. 19.375

2. Bahan

Adapun HSD terkait harga bahan yang dibutuhkan untuk pekerjaan penghamparan lapisan perkerasan AC – WC ini sesuai dengan HSD wilayah kota Semarang pada tahun 2024 adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 48 HSD Bahan

No	Nama	Satuan	Harga
1.	Agr Pch Mesin 5 – 10 & 10 – 15	M3	Rp. 338.250
2.	Agr Pch Mesin 0 – 5	M3	Rp. 334.500
3.	Semen	Kg	Rp. 1.410
4.	Abu Sekam Padi	Kg	Rp. 1000
5.	Aspal	Kg	Rp. 16.129
6.	Lateks	Ltr	Rp. 35.848

3. Alat

Adapun HSD terkait harga alat yang dibutuhkan untuk pekerjaan penghamparan lapisan perkerasan AC – WC pada wilayah kota Semarang pada tahun 2024 adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 49 HSD Alat

No	Nama	Satuan	Harga
----	------	--------	-------

1.	Wheel Loader	Jam	Rp. 300.000
2.	AMP	Jam	Rp. 5.500.000
3.	Genset	Jam	Rp. 336.000
4.	Dump Truck	Jam	Rp. 280.000
5.	Asp. Finisher	Jam	Rp. 350.000
6.	Tandem Roller	Jam	Rp. 350.000
7.	P. Tyre Roller	Jam	Rp. 489.172,15

a. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP)

AHSP merupakan suatu analisis untuk mendapatkan harga satuan atau satu jenis pekerjaan tertentu dengan melakukan perhitungan kebutuhan biaya tenaga kerja, baha, dan alat. Adapun perhitungan AHSP pemasangan Laston AC – WC pada setiap variasi yang dilakukan mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 28/PRT/M/2016 serta dihitung pada setiap variasi seperti berikut.

1. Semen dan Lateks

Adapun analisis harga satuan pekerjaan pada variasi campuran yang menggunakan semen sebagai *added filler* dan lateks sebagai material substitusi aspal adalah sebagai berikut.

a) SML0

Tabel 4. 50 AHSP SML0

No	Komponen	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	Tenaga				
1.	Pekerja	Jam	0,2008	Rp. 16.219	Rp. 3.256,83
2.	Mandor	Jam	0,0201	Rp. 19.375	Rp. 389,06
Jumlah Harga Tenaga					Rp. 3.645,88
B.	Bahan				
1.	Agr Pch Mesin 5 – 10	M3	0,3719	Rp. 338.250	Rp. 125.800,17

	& 10 – 15				
2.	Agr Pch Mesin 0 – 5	M3	0,3570	Rp. 334.500	Rp. 119.429,27
3.	Semen	Kg	19,2631	Rp. 1.410	Rp. 27.160,91
4.	Aspal	Kg	66,8470	Rp. 16.129	Rp. 1.078.175,26
Jumlah Harga Bahan					Rp. 1.350.565,62
C	Peralatan				
1.	Wheel Loader	Jam	0,0054	Rp. 300.000	Rp. 1.610,72
2.	AMP	Jam	0,0201	Rp. 5.500.000	Rp. 110.441,77
3.	Genset	Jam	0,0201	Rp. 336.000	Rp. 6.746,99
4.	Dump Truck	Jam	0,0491	Rp. 280.000	Rp. 13.753,16
5.	Asp. Finisher	Jam	0,0125	Rp. 350.000	Rp. 4.384,35
6.	Tandem Roller	Jam	0,0128	Rp. 350.000	Rp. 4.464,67
7.	P. Tyre Roller	Jam	0,0084	Rp. 489.172,15	Rp. 4.113,13
8.	Alat Bantu	Ls	1	Rp. 0,-	Rp. 0,-
Jumlah Harga Peralatan					Rp. 145.514,78
D.	Jumlah Harga Tenaga, Bahan, dan Peralatan (A + B + C)				Rp. 1.499.762,28
E.	Overhead & Profit (10% x D)				Rp. 149.972,63
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)				Rp. 1.649.698,91

b) SML3

Tabel 4. 51 AHSP SML3

No	Komponen	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	Tenaga				
1.	Pekerja	Jam	0,2008	Rp. 16.219	Rp. 3.256,83
2.	Mandor	Jam	0,0201	Rp. 19.375	Rp. 389,06
Jumlah Harga Tenaga					Rp. 3.645,88
B.	Bahan				

1.	Agr Pch Mesin 5 – 10 & 10 – 15	M3	0,3719	Rp. 338.250	Rp. 125.800,17
2.	Agr Pch Mesin 0 – 5	M3	0,3570	Rp. 334.500	Rp. 119.429,27
3.	Semen	Kg	19,2631	Rp. 1.410	Rp. 27.160,91
4.	Aspal	Kg	65,0445	Rp. 16.129	Rp. 1.049.102,74
5.	Lateks	Ltr	1,8025	Rp. 35.848	Rp. 64.616,02
Jumlah Harga Bahan					Rp. 1.386.109,12
C	Peralatan				
1.	Wheel Loader	Jam	0,0054	Rp. 300.000	Rp. 1.610,72
2.	AMP	Jam	0,0201	Rp. 5.500.000	Rp. 110.441,77
3.	Genset	Jam	0,0201	Rp. 336.000	Rp. 6.746,99
4.	Dump Truck	Jam	0,0491	Rp. 280.000	Rp. 13.753,16
5.	Asp. Finisher	Jam	0,0125	Rp. 350.000	Rp. 4.384,35
6.	Tandem Roller	Jam	0,0128	Rp. 350.000	Rp. 4.464,67
7.	P. Tyre Roller	Jam	0,0084	Rp. 489.172,15	Rp. 4.113,13
8.	Alat Bantu	Ls	1	Rp. 0,-	Rp. 0,-
Jumlah Harga Peralatan					Rp. 145.514,78
D.	Jumlah Harga Tenaga, Bahan, dan Peralatan (A + B + C)				Rp. 1.535.269,78
E.	Overhead & Profit (10% x D)				Rp. 153.526,98
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)				Rp. 1.688.796,76

c) SML6

Tabel 4. 52 AHSP SML6

No	Komponen	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	Tenaga				
1.	Pekerja	Jam	0,2008	Rp. 16.219	Rp. 3.256,83
2.	Mandor	Jam	0,0201	Rp. 19.375	Rp. 389,06

Jumlah Harga Tenaga					Rp. 3.645,88
B.	Bahan				
1.	Agr Pch Mesin 5 – 10 & 10 – 15	M3	0,3719	Rp. 338.250	Rp. 125.800,17
2.	Agr Pch Mesin 0 – 5	M3	0,3570	Rp. 334.500	Rp. 119.429,27
3.	Semen	Kg	19,2631	Rp. 1.410	Rp. 27.160,91
4.	Aspal	Kg	63,2420	Rp. 16.129	Rp. 1.020.030,22
5.	Lateks	Ltr	3,6050	Rp. 35.848	Rp. 129.232,04
Jumlah Harga Bahan					Rp. 1.421.652,62
C	Peralatan				
1.	Wheel Loader	Jam	0,0054	Rp. 300.000	Rp. 1.610,72
2.	AMP	Jam	0,0201	Rp. 5.500.000	Rp. 110.441,77
3.	Genset	Jam	0,0201	Rp. 336.000	Rp. 6.746,99
4.	Dump Truck	Jam	0,0491	Rp. 280.000	Rp. 13.753,16
5.	Asp. Finisher	Jam	0,0125	Rp. 350.000	Rp. 4.384,35
6.	Tandem Roller	Jam	0,0128	Rp. 350.000	Rp. 4.464,67
7.	P. Tyre Roller	Jam	0,0084	Rp. 489.172,15	Rp. 4.113,13
8.	Alat Bantu	Ls	1	Rp. 0,-	Rp. 0,-
Jumlah Harga Peralatan					Rp. 145.514,78
D.	Jumlah Harga Tenaga, Bahan, dan Peralatan (A + B + C)				Rp. 1.570.813,28
E.	Overhead & Profit (10% x D)				Rp. 157.081,33
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)				Rp. 1.727.894,60

d) SML9

Tabel 4. 53 AHSP SML9

No	Komponen	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	Tenaga				

1.	Pekerja	Jam	0,2008	Rp. 16.219	Rp. 3.256,83
2.	Mandor	Jam	0,0201	Rp. 19.375	Rp. 389,06
Jumlah Harga Tenaga					Rp. 3.645,88
B.	Bahan				
1.	Agr Pch Mesin 5 – 10 & 10 – 15	M3	0,3719	Rp. 338.250	Rp. 125.800,17
2.	Agr Pch Mesin 0 – 5	M3	0,3570	Rp. 334.500	Rp. 119.429,27
3.	Semen	Kg	19,2631	Rp. 1.410	Rp. 27.160,91
4.	Aspal	Kg	61,4395	Rp. 16.129	Rp. 990.957,70
5.	Lateks	Ltr	5,4075	Rp. 35.848	Rp. 193.848,06
Jumlah Harga Bahan					Rp. 1.457.196,11
C	Peralatan				
1.	Wheel Loader	Jam	0,0054	Rp. 300.000	Rp. 1.610,72
2.	AMP	Jam	0,0201	Rp. 5.500.000	Rp. 110.441,77
3.	Genset	Jam	0,0201	Rp. 336.000	Rp. 6.746,99
4.	Dump Truck	Jam	0,0491	Rp. 280.000	Rp. 13.753,16
5.	Asp. Finisher	Jam	0,0125	Rp. 350.000	Rp. 4.384,35
6.	Tandem Roller	Jam	0,0128	Rp. 350.000	Rp. 4.464,67
7.	P. Tyre Roller	Jam	0,0084	Rp. 489.172,15	Rp. 4.113,13
8.	Alat Bantu	Ls	1	Rp. 0,-	Rp. 0,-
Jumlah Harga Peralatan					Rp. 145.514,78
D.	Jumlah Harga Tenaga, Bahan, dan Peralatan (A + B + C)				Rp. 1.606.356,77
E.	Overhead & Profit (10% x D)				Rp. 160.635,68
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)				Rp. 1.766.992,45

2. Abu Sekam Padi dan Lateks

Adapun analisis harga satuan pekerjaan pada variasi campuran yang menggunakan abu sekam padi sebagai *added filler* dan lateks sebagai material substitusi aspal adalah sebagai berikut.

a) SPL 0

Tabel 4. 54 AHSP SPL0

No	Komponen	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	Tenaga				
1.	Pekerja	Jam	0,2008	Rp. 16.219	Rp. 3.256,83
2.	Mandor	Jam	0,0201	Rp. 19.375	Rp. 389,06
Jumlah Harga Tenaga					Rp. 3.645,88
B.	Bahan				
1.	Agr Pch Mesin 5 – 10 & 10 – 15	M3	0,3719	Rp. 338.250	Rp. 125.800,17
2.	Agr Pch Mesin 0 – 5	M3	0,3570	Rp. 334.500	Rp. 119.429,27
3.	Abu Sekam Padi	Kg	19,2631	Rp. 1.000	Rp. 19.263,06
4.	Aspal	Kg	66,8470	Rp. 16.129	Rp. 1.078.175,26
Jumlah Harga Bahan					Rp. 1.342.667,77
C	Peralatan				
1.	Wheel Loader	Jam	0,0054	Rp. 300.000	Rp. 1.610,72
2.	AMP	Jam	0,0201	Rp. 5.500.000	Rp. 110.441,77
3.	Genset	Jam	0,0201	Rp. 336.000	Rp. 6.746,99
4.	Dump Truck	Jam	0,0491	Rp. 280.000	Rp. 13.753,16
5.	Asp. Finisher	Jam	0,0125	Rp. 350.000	Rp. 4.384,35
6.	Tandem Roller	Jam	0,0128	Rp. 350.000	Rp. 4.464,67
7.	P. Tyre Roller	Jam	0,0084	Rp. 489.172,15	Rp. 4.113,13
8.	Alat Bantu	Ls	1	Rp. 0,-	Rp. 0,-
Jumlah Harga Peralatan					Rp. 145.514,78

D.	Jumlah Harga Tenaga, Bahan, dan Peralatan (A + B + C)	Rp. 1.491.828,43
E.	Overhead & Profit (10% x D)	Rp. 149.182,84
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)	Rp. 1.641.011,27

b) SPL 3

Tabel 4. 55 AHSP SPL3

No	Komponen	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	Tenaga				
1.	Pekerja	Jam	0,2008	Rp. 16.219	Rp. 3.256,83
2.	Mandor	Jam	0,0201	Rp. 19.375	Rp. 389,06
Jumlah Harga Tenaga					Rp. 3.645,88
B.	Bahan				
1.	Agr Pch Mesin 5 – 10 & 10 – 15	M3	0,3719	Rp. 338.250	Rp. 125.800,17
2.	Agr Pch Mesin 0 – 5	M3	0,3570	Rp. 334.500	Rp. 119.429,27
3.	Abu Sekam Padi	Kg	19,2631	Rp. 1.000	Rp. 19.263
4.	Aspal	Kg	65,0445	Rp. 16.129	Rp. 1.049.102,74
5.	Lateks	Ltr	1,8025	Rp. 35.848	Rp. 64.616,02
Jumlah Harga Bahan					Rp. 1.378.211,26
C	Peralatan				
1.	Wheel Loader	Jam	0,0054	Rp. 300.000	Rp. 1.610,72
2.	AMP	Jam	0,0201	Rp. 5.500.000	Rp. 110.441,77
3.	Genset	Jam	0,0201	Rp. 336.000	Rp. 6.746,99
4.	Dump Truck	Jam	0,0491	Rp. 280.000	Rp. 13.753,16
5.	Asp. Finisher	Jam	0,0125	Rp. 350.000	Rp. 4.384,35
6.	Tandem Roller	Jam	0,0128	Rp. 350.000	Rp. 4.464,67
7.	P. Tyre Roller	Jam	0,0084	Rp. 489.172,15	Rp. 4.113,13

8.	Alat Bantu	Ls	1	Rp. 0,-	Rp. 0,-
Jumlah Harga Peralatan					Rp. 145.514,78
D.	Jumlah Harga Tenaga, Bahan, dan Peralatan (A + B + C)				Rp. 1.527.371,92
E.	Overhead & Profit (10% x D)				Rp. 152.737,19
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)				Rp. 1.680.109,12

c) SPL 6

Tabel 4. 56 AHSP SPL6

No	Komponen	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	Tenaga				
1.	Pekerja	Jam	0,2008	Rp. 16.219	Rp. 3.256,83
2.	Mandor	Jam	0,0201	Rp. 19.375	Rp. 389,06
Jumlah Harga Tenaga					Rp. 3.645,88
B.	Bahan				
1.	Agr Pch Mesin 5 – 10 & 10 – 15	M3	0,3719	Rp. 338.250	Rp. 125.800,17
2.	Agr Pch Mesin 0 – 5	M3	0,3570	Rp. 334.500	Rp. 119.429,27
3.	Abu Sekam Padi	Kg	19,2631	Rp. 1.000	Rp. 19.263
4.	Aspal	Kg	63,2420	Rp. 16.129	Rp. 1.020.030,22
5.	Lateks	Ltr	3,6050	Rp. 35.848	Rp. 129.232,04
Jumlah Harga Bahan					Rp. 1.413,754,76
C	Peralatan				
1.	Wheel Loader	Jam	0,0054	Rp. 300.000	Rp. 1.610,72
2.	AMP	Jam	0,0201	Rp. 5.500.000	Rp. 110.441,77
3.	Genset	Jam	0,0201	Rp. 336.000	Rp. 6.746,99
4.	Dump Truck	Jam	0,0491	Rp. 280.000	Rp. 13.753,16
5.	Asp. Finisher	Jam	0,0125	Rp. 350.000	Rp. 4.384,35

6.	Tandem Roller	Jam	0,0128	Rp. 350.000	Rp. 4.464,67
7.	P. Tyre Roller	Jam	0,0084	Rp. 489.172,15	Rp. 4.113,13
8.	Alat Bantu	Ls	1	Rp. 0,-	Rp. 0,-
Jumlah Harga Peralatan					Rp. 145.514,78
D.	Jumlah Harga Tenaga, Bahan, dan Peralatan (A + B + C)				Rp. 1.562.915,42
E.	Overhead & Profit (10% x D)				Rp. 156.291,54
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)				Rp. 1.719.206,96

d) SPL 9

Tabel 4. 57 AHSP SPL9

No	Komponen	Satuan	Perkiraan Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	Tenaga				
1.	Pekerja	Jam	0,2008	Rp. 16.219	Rp. 3.256,83
2.	Mandor	Jam	0,0201	Rp. 19.375	Rp. 389,06
Jumlah Harga Tenaga					Rp. 3.645,88
B.	Bahan				
1.	Agr Pch Mesin 5 – 10 & 10 – 15	M3	0,3719	Rp. 338.250	Rp. 125.800,17
2.	Agr Pch Mesin 0 – 5	M3	0,3570	Rp. 334.500	Rp. 119.429,27
3.	Abu Sekam Padi	Kg	19,2631	Rp. 1.000	Rp. 19.263
4.	Aspal	Kg	61,4395	Rp. 16.129	Rp. 990.957,70
5.	Lateks	Ltr	5,4075	Rp. 35.848	Rp. 193.848,06
Jumlah Harga Bahan					Rp. 1.449.298,26
C	Peralatan				
1.	Wheel Loader	Jam	0,0054	Rp. 300.000	Rp. 1.610,72
2.	AMP	Jam	0,0201	Rp. 5.500.000	Rp. 110.441,77
3.	Genset	Jam	0,0201	Rp. 336.000	Rp. 6.746,99

4.	Dump Truck	Jam	0,0491	Rp. 280.000	Rp. 13.753,16
5.	Asp. Finisher	Jam	0,0125	Rp. 350.000	Rp. 4.384,35
6.	Tandem Roller	Jam	0,0128	Rp. 350.000	Rp. 4.464,67
7.	P. Tyre Roller	Jam	0,0084	Rp. 489.172,15	Rp. 4.113,13
8.	Alat Bantu	Ls	1	Rp. 0,-	Rp. 0,-
Jumlah Harga Peralatan					Rp. 145.514,78
D.	Jumlah Harga Tenaga, Bahan, dan Peralatan (A + B + C)				Rp. 1.598.458,92
E.	Overhead & Profit (10% x D)				Rp. 159.845,89
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D + E)				Rp. 1.758.304,81

b. Rancangan Anggaran Biaya

Rancangan anggaran biaya digunakan untuk mengetahui perkiraan biaya yang dibutuhkan untuk melakukan suatu pekerjaan. Dalam hal ini, rancangan anggaran biaya yang dibuat mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 terkait mata pembayaran Laston AC – WC nomor 6.3.(5a) dengan satuan pengukuran berupa ton dan asumsi jalan yang akan dilakukan pekerjaan merupakan jalan kelas II sepanjang 1 km serta lebar 7 m.

1. Semen dan Lateks

Adapun rancangan anggaran biaya pada variasi campuran yang menggunakan semen sebagai *added filler* dan lateks sebagai material substitusi aspal adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 58 RAB Semen dan Lateks

No	Inovasi	Satuan	Volume	HSP	PPN 11%	Jumlah Harga
1.	SML0	Ton	643,88	Rp. 1.649.698,91	Rp. 116.843.067,09	Rp. 1.179.052.767,96
2.	SML3	Ton	628,50	Rp. 1.688.796,76	Rp. 116.754.483,99	Rp. 1.178.158.883,94
3.	SML6	Ton	635,38	Rp. 1.727.894,60	Rp. 120.764.810,57	Rp. 1.218.626.724,86
4.	SML9	Ton	630,38	Rp. 1.766.992,45	Rp. 122.527.089,75	Rp. 1.236.409.723,87

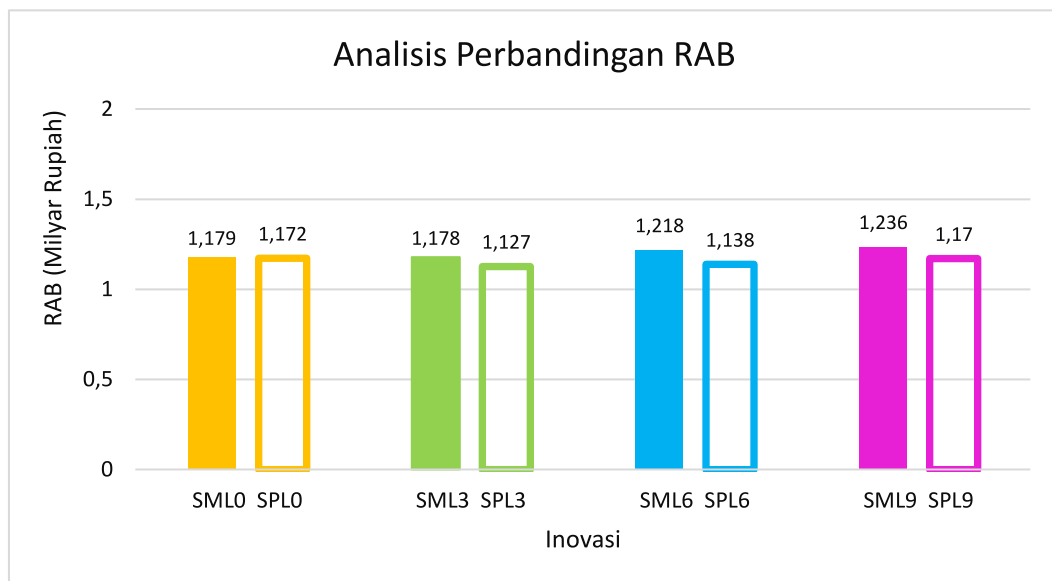
2. Abu Sekam Padi dan Lateks

Adapun rancangan anggaran biaya pada variasi campuran yang menggunakan semen sebagai *added filler* dan lateks sebagai material substitusi aspal adalah sebagai berikut.

Tabel 4. 59 RAB Abu Sekam Padi dan Lateks

No	Inovasi	Satuan	Volume	HSP	PPN 11%	Jumlah Harga
1.	SPL0	Ton	643,50	Rp. 1.649.698,91	Rp. 116.159.884,30	Rp. 1.172.158.832,45
2.	SPL3	Ton	604,66	Rp. 1.680.109,12	Rp. 111.748.833,63	Rp. 1.127.647.321,21
3.	SPL6	Ton	596,65	Rp. 1.719.206,96	Rp. 112.834.755,32	Rp. 1.138.605.258,18
4.	SPL9	Ton	599,86	Rp. 1.758.304,81	Rp. 116.020.324,80	Rp. 1.170.750.550,25

c. Analisis Perbandingan RAB Pelaksanaan



Gambar 4. 46 Grafik Analisis Perbandingan RAB

Grafik di atas menunjukkan bahwa RAB pada campuran yang menggunakan semen sebagai *added filler* lebih mahal jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan abu sekam padi sebagai *added filler* untuk seluruh variasi. Pada campuran yang menggunakan lateks sebagai material substitusi aspal memiliki RAB cenderung lebih murah jika dibandingkan campuran tanpa lateks, namun

mengalami kenaikan seiring bertambahnya penggunaan kadar lateks. Adapun besar perbandingan RAB antar variasi yakni Rp.6.893.935 atau 0,585% (SML0 dengan SPL0); Rp.50.511.562 atau 4,287% (SML3 dengan SPL3); Rp.80.021.466 atau 6,567% (SML6 dengan SPL6); dan Rp.65.659.173 atau 5,310% (SML9 dengan SPL9).

4.6 Rekapitulasi Hasil

Tabel 4. 60 Rekapitulasi Hasil

No	Variasi	Density (gr/cc)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	Harga Bahan	RAB
1.	SML0	2,30	4,39	16,24	76,83	1464,30	2,10	681,37	Rp781.591.417	Rp1.179.052.767
2.	SML3	2,24	6,67	18,24	68,04	1589,16	2,97	571,02	Rp822.799.670	Rp1.178.158.883
3.	SML6	2,27	5,65	17,35	71,81	1604,16	2,45	1103,96	Rp892.637.806	Rp1.218.626.724
4.	SML9	2,25	6,39	18	69,10	1497,38	2,35	627,47	Rp945.071.895	Rp1.236.409.723
5.	SPL0	2,30	4,33	16,17	77,19	1557,08	3,12	504,73	Rp776.653.341	Rp1.172.158.832
6.	SPL3	2,16	10,10	21,23	57,82	1607,32	2,87	556,03	Rp792.008.185	Rp1.127.647.321
7.	SPL6	2,13	11,29	22,28	54,41	1866,58	2,35	810,71	Rp838.592.925	Rp1.138.605.258
8.	SPL9	2,14	10,82	21,86	55,66	1679,97	3,28	518,69	Rp898.697.681	Rp1.170.750.550

Keterangan:

 = Nilai terbaik

Tabel di atas menunjukkan rekapitulasi hasil pengujian beserta analisis harga bahan dan RAB dengan nilai terbaik ditunjukkan pada tabel berwarna kuning. Nilai terbaik dari hasil pengujian maupun harga pada pengujian ini diantaranya didapat density sebesar 2,30 gr/cc oleh SML0 dan SPL0; 4,33% pada nilai VIM oleh SPL0; 16,17% pada nilai VMA oleh SPL0; 77,19% pada nilai VFA oleh SPL0; 1866,58 kg pada nilai stabilitas oleh SPL6; 2,10 mm pada nilai *flow* oleh SML0; 1103,96 kg/mm pada nilai MQ oleh SML6; Rp.776.653.341 untuk harga bahan oleh SPL 0; dan Rp.1.127.647.321 untuk RAB oleh SPL3. Nilai terbaik yang didapat oleh beberapa variasi tersebut menjadi bukti bahwa penggunaan abu sekam padi sebagai *added filler* dan lateks sebagai material

substitusi aspal berpengaruh pada setiap hasil pengujian yakni mulai dari density, VIM, VMA, VFA, stabilitas, *flow*, MQ. Selain berpengaruh pada setiap hasil pengujian, penggunaan material inovasi tersebut juga berpengaruh pada harga bahan maupun RAB. Sehingga dalam perealisasiannya perlu diperhatikan presentase penggunaan kadar material inovasi. Disamping itu, dari tabel di atas juga didapat nilai optimum variasi terbaik campuran, yakni dengan variasi SPL 6. Hal ini dikarenakan variasi SPL 6 memiliki beberapa hasil pengujian yang baik, terutama pada nilai stabilitas, namun memiliki harga yang relatif cukup murah.