

BAB 5

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Material

Pengujian laboratorium terhadap material yang digunakan dalam penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Pengujian mencakup evaluasi sifat fisik dan mekanis dari agregat kasar, agregat halus, serbuk PVC, serta aspal. Data hasil pengujian ini digunakan sebagai dasar dalam analisis performa campuran aspal beton, khususnya dalam menilai pengaruh variasi serbuk PVC terhadap karakteristik campuran AC-WC dengan aspal modifikasi polimer.

5.1.1 Analisis Karakteristik Agregat

Pada penelitian ini, material agregat yang digunakan terdiri atas agregat kasar dan agregat halus. Untuk mengevaluasi kelayakan material tersebut dalam campuran aspal beton, dilakukan serangkaian pengujian karakteristik fisik agregat yang meliputi berat jenis (bulk, SSD, dan apparent), daya serap air (absorpsi), serta tingkat keausan yang diuji menggunakan mesin Los Angeles Abrasion. Hasil dari pengujian ini menjadi acuan penting dalam menentukan kualitas dan kesesuaian agregat terhadap spesifikasi teknis yang dipersyaratkan dalam perkerasan lentur.

5.1.1.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pada penelitian ini agregat kasar yang digunakan adalah split 1-2 (lolos saringan no. $\frac{3}{4}$ tertahan saringan no. $\frac{3}{8}$) dan *screening* (lolos saringan no. $\frac{3}{8}$ tertahan saringan no. 4). Pengujian agregat kasar meliputi berat jenis, penyerapan agregat dan keausan agregat.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar (*Split 1-2*)

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi		Standar Pengujian
			Min.	Maks.	
1.	Berat Jenis <i>Bulk</i> (g/ml)	2,56	2,1	-	SNI 1969:2016
2.	Berat Jenis <i>Apparent</i> (g/ml)	2,61			SNI 1969:2017
3.	Berat Jenis SSD (g/ml)	2,7			SNI 1969:2018
4.	Penyerapan (%)	2	-	3	SNI 1969:2019
5.	Keausan (%)	25,94	-	30	SNI 2417:2008

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar (*Screening*)

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi		Standar Pengujian
			Min.	Maks.	
1.	Berat Jenis <i>Bulk</i> (g/ml)	2,55	2,1	-	SNI 1969:2016
2.	Berat Jenis <i>Apparent</i> (g/ml)	2,60			SNI 1969:2017
3.	Berat Jenis SSD (g/ml)	2,67			SNI 1969:2018
4.	Penyerapan (%)	1,76	-	3	SNI 1969:2019
5.	Keausan (%)	25,94	-	30	SNI 2417:2008

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

a. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar



Gambar 5.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Pengujian berat jenis terhadap agregat kasar dilakukan sebanyak tiga kali pada masing-masing jenis agregat, sesuai dengan ketentuan SNI 1969:2016. Berdasarkan hasil yang ditampilkan pada Tabel 5.1, agregat jenis *split* 1–2 memiliki berat jenis *bulk* sebesar 2,56 g/ml, *apparent* sebesar 2,61 g/ml, dan SSD sebesar 2,70 g/ml. Sementara itu, hasil pada agregat jenis *screening* (Tabel 5.2) menunjukkan berat jenis *bulk* sebesar 2,55 g/ml, *apparent* 2,60 g/ml, dan SSD 2,67 g/ml. Seluruh nilai tersebut telah memenuhi persyaratan minimum berat jenis agregat kasar, yaitu $\geq 2,1$ g/ml, sehingga dapat dinyatakan layak digunakan dalam campuran aspal. Berat jenis agregat yang rendah akan menghasilkan volume agregat yang lebih besar, sehingga memerlukan kadar aspal lebih tinggi. Selain itu, nilai berat jenis yang kecil juga berkontribusi terhadap meningkatnya nilai VIM, akibat bertambahnya rongga udara dalam campuran.

Pengujian penyerapan air pada agregat kasar dilakukan sebanyak tiga kali untuk masing-masing jenis agregat, mengacu pada SNI 1969:2016. Hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat *split* 1–2 memiliki nilai penyerapan sebesar 2%, sedangkan agregat screening sebesar 1,76%. Kedua nilai tersebut berada di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan, yaitu 3%, sehingga agregat dinyatakan memenuhi syarat untuk digunakan dalam campuran aspal. Nilai penyerapan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan aspal terserap secara berlebihan oleh agregat, mengakibatkan lapisan film aspal menjadi tipis dan menurunkan efektivitas pengikatan antarpartikel agregat.

b. Pengujian Keausan Agregat Kasar



Gambar 5.2 Pengujian Keausan Agregat Kasar

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Pengujian terhadap keausan agregat dilakukan sebanyak 3 kali pengujian berdasarkan SNI 2417-2008. Berdasarkan Tabel 5.1 dan 5.2 hasil pengujian keausan agregat rata-rata yaitu 25,94%. Dari hasil pengujian yang dilakukan sudah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2024 yaitu dengan nilai keausan maksimal sebesar 30%.

5.1.1.2 Hasil Pengujian Agregat Halus



Gambar 5.3 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Pada penelitian ini agregat halus yang digunakan adalah agregat yang lolos saringan no. 4. Pengujian agregat halus meliputi pengujian berat jenis agregat dan penyerapan agregat.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi		Standar Pengujian
			Min.	Maks.	
1.	Berat Jenis <i>Bulk</i> (g/ml)	2,66	2,51	-	SNI 1970:2016
2.	Berat Jenis <i>Apparent</i> (g/ml)	2,94			SNI 1970:2017
3.	Berat Jenis SSD (g/ml)	2,75			SNI 1970:2018
4.	Penyerapan (%)	3,64	-	5	SNI 1970:2019

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Pengujian terhadap berat jenis agregat halus dilakukan sebanyak tiga kali sesuai dengan metode SNI 1969:2016. Berdasarkan data pada Tabel 5.3, diperoleh nilai rata-rata berat jenis *bulk* sebesar 2,66 g/ml, *apparent* sebesar 2,94 g/ml, dan SSD sebesar 2,75 g/ml. Seluruh hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat halus memenuhi syarat minimal berat jenis sebesar 2,51 g/ml, sehingga dinyatakan layak untuk digunakan dalam campuran aspal. Agregat halus yang memiliki berat jenis rendah akan menghasilkan volume yang lebih besar, yang secara langsung mempengaruhi kebutuhan aspal dalam campuran. Semakin kecil berat jenisnya, maka rongga antar butiran dalam campuran (VIM) cenderung meningkat, yang dapat mempengaruhi kerapatan dan kekuatan campuran secara keseluruhan.

Pengujian terhadap penyerapan agregat halus dilakukan sebanyak 3 kali pengujian pada masing-masing agregat halus berdasarkan SNI 1969-2016. Diketahui hasil pengujian penyerapan agregat halus rata-rata yaitu sebesar 3,64%, hal tersebut menunjukkan bahwa agregat halus baik digunakan pada campuran aspal karena hasil pengujian telah memenuhi persyaratan yaitu maksimal sebesar 5%. Jika nilai penyerapan terlalu besar maka agregat akan menyerap banyak aspal sehingga film aspal semakin tipis dan berkurang fungsinya untuk meminimalisir potensi pelemahan ikatan antar agregat.

5.1.2 Analisis Karakteristik Serbuk PVC

5.1.2.1 Pengujian Berat Jenis Serbuk PVC

Serbuk PVC yang digunakan pada penelitian ini berasal dari limbah (*waste*) pabrik PT. Asahimas Chemical yang terletak di Cilegon, Banten.



Gambar 5.4 Pengujian Berat Jenis *Filler* Serbuk PVC

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis Serbuk PVC

No.	Keterangan	I	II	Satuan
1.	Berat Piknometer (W1)	72,83	72,76	gram
2.	Berat Piknometer + Air (25°C) (W2)	191,07	182,27	gram
3.	Berat Piknometer + Serbuk PVC (W3)	97,83	110,67	gram
4.	Berat Piknometer + Serbuk PVC + Air (W4)	195	197,85	gram
5.	Berat Jenis Serbuk PVC	1,187	1,698	gram/ml
6.	Rata-rata Berat Jenis Serbuk PVC	1,442		gram/ml

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Pengujian terhadap berat jenis *filler* yaitu serbuk PVC dilakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing *filler* serbuk PVC berdasarkan SNI 1970-2016. Berdasarkan Tabel 5.4 diketahui berat jenis *filler* serbuk PVC rata-rata yaitu sebesar 1,442 g/ml. Penggunaan material *filler* dengan berat jenis rendah cenderung menghasilkan campuran beraspal yang memiliki kandungan aspal efektif lebih sedikit. Kondisi ini berdampak pada meningkatnya nilai rongga dalam campuran (VIM) serta menurunnya nilai rongga yang terisi aspal (VFA). Hal ini menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih berpori dan kurang padat, yang pada akhirnya dapat memengaruhi kinerja perkerasan terhadap lalu lintas dan cuaca (Rohman et al.,

2020). Pada penelitian ini, hasil pengujian berat jenis pada serbuk PVC memiliki nilai yang termasuk kecil jika dibandingkan dengan berat jenis *filler* lainnya seperti abu batu, abu terbang (*fly ash*), abu ampas tebu yang memiliki berat jenis berkisar antara 1,9 – 2,6 gram/ml.

5.1.2.2 Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) Serbuk PVC

Metode *X-Ray Fluorescence* digunakan sebagai teknik analisis elemental non-destruktif untuk mengetahui komposisi kimia dari suatu material tanpa menyebabkan kerusakan pada sampel. Teknik ini bekerja dengan memanfaatkan sinar-X untuk memicu fluoresensi pada atom dalam sampel, sehingga menghasilkan spektrum yang mencerminkan unsur-unsur yang terkandung di dalamnya. Dalam konteks penelitian ini, analisis XRF dimanfaatkan untuk mengevaluasi kandungan unsur dalam serbuk PVC, sebagai bagian dari kajian awal terhadap karakteristik kimia material limbah tersebut. Hasil dari pengujian ini memberikan gambaran tentang jenis dan konsentrasi unsur-unsur yang terdapat dalam PVC, yang selanjutnya dapat digunakan untuk mendukung analisis kelayakan penggunaannya sebagai *filler* dalam campuran aspal (Sa'dillah et al., 2023). Berikut ini adalah unsur yang terdeteksi oleh alat XRF pada biji plastik PVC.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian XRF Serbuk PVC

No.	Senyawa	Konsentrasi (%)
1	8Cl	88,35
2	CaO	6,65
3	TiO ₂	3,22
4	V ₂ O ₅	0,25
5	Fe ₂ O ₃	0,17
6	CuO	0,052
7	Nd ₂ O ₃	0,54
8	PbO	0,77

(Sumber: Sa'dillah et al., 2023)

Berdasarkan hasil pengujian XRF serbuk PVC pada tabel 5.5 menunjukkan bahwa senyawa yang terkandung dalam serbuk PVC diantaranya adalah klorida (Cl) sebesar 88,35%, kalsium oksida (CaO) sebesar 6,65%, titanium oksida (TiO₂) sebesar 3,22%, vanadium oksida (V₂O₅) sebesar 0,25%, besi (Fe₂O₃) sebesar

0,17%, tembaga (CuO) sebesar 0,052%, neodmium (Nd₂O₃) sebesar 0,54%, dan timbal (PbO) sebesar 0,77%.

5.1.3 Analisis Karakteristik Aspal

Pada penelitian ini, jenis aspal yang digunakan adalah aspal modifikasi polimer PG-70 dengan tipe elastomer yang diproduksi oleh PT. Aspal Polimer Emulsindo, Demak, Jawa Tengah. Aspal PG-70 dipilih karena memiliki kinerja yang baik pada suhu tinggi, serta ketahanan terhadap deformasi permanen yang lebih tinggi dibandingkan aspal konvensional. Untuk mengetahui karakteristik fisiknya, dilakukan serangkaian pengujian, yaitu pengujian penetrasi, kehilangan berat minyak, daktilitas, titik lembek, titik nyala dan titik bakar, serta berat jenis.

a. Pengujian Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi dilakukan untuk mengukur kekerasan aspal, yang dinyatakan dalam satuan 0,1 mm. Nilai penetrasi diperoleh dengan menekan jarum standar seberat 100 gram ke permukaan aspal pada suhu 25°C selama 5 detik. Nilai penetrasi yang tinggi menunjukkan bahwa aspal bersifat lunak dan fleksibel, sedangkan nilai yang rendah menunjukkan bahwa aspal lebih keras dan kaku. Pengujian ini penting dalam menentukan kesesuaian jenis aspal terhadap kondisi iklim dan beban lalu lintas yang akan dihadapi oleh perkerasan jalan.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal

Penetrasi Pada Suhu 25 Beban 100 gr selama 5 detik	I	II	III
Pengamatan 1	52,5	44	52,5
Pengamatan 2	60	46	60
Pengamatan 3	57,5	46	57,5
Pengamatan 4	55	48	55
Pengamatan 5	60	49	60
Rata-Rata	57	46,6	57
	53,533		

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Berdasarkan Tabel 5.6 diketahui hasil pengujian penetrasi aspal dengan nilai rata-rata sebesar 53,533 yang mana sudah sesuai dengan nilai yang disyaratkan SNI 2456-2011 yaitu diantara 30-60.



Gambar 5.5 Pengujian Penetrasi Aspal

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Nilai penetrasi dan *Performance Grade* (PG) pada aspal adalah dua cara berbeda untuk mengklasifikasikan aspal, dan keduanya terkait dengan karakteristik kekakuan dan kelembutan aspal, namun pada skala dan pendekatan yang berbeda. Nilai penetrasi mengukur kekakuan aspal pada suhu tertentu (biasanya 25°C) dengan mengukur kedalaman jarum standar yang dapat menembus aspal. Sedangkan PG mengklasifikasikan aspal berdasarkan kinerja pada berbagai suhu ekstrem, baik tinggi maupun rendah, dengan mempertimbangkan kondisi lalu lintas dan lingkungan.

Pada prinsipnya, semakin rendah nilai penetrasi suatu aspal, maka sifatnya akan semakin keras, yang umumnya berkorelasi dengan tingkat performa aspal (*Performance Grade*/PG) yang lebih tinggi. Aspal dengan PG tinggi umumnya lebih mampu mempertahankan kestabilannya pada suhu tinggi dan beban lalu lintas yang berat. Berdasarkan hasil studi oleh (Wibisono & Yuantika, 2024), dilakukan perbandingan antara aspal produksi Pertamina dan aspal modifikasi PG 70. Nilai penetrasi aspal Pertamina tercatat sebesar 61, sedangkan PG 70 menunjukkan nilai penetrasi yang lebih rendah yaitu 48. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa aspal PG 70 memiliki kekakuan lebih tinggi dan lebih tahan deformasi plastis dibandingkan aspal Pertamina yang lebih lentur. Dalam konteks kinerja, aspal PG 70 dinilai lebih stabil dan lebih sesuai digunakan untuk jalan dengan intensitas lalu lintas sedang hingga tinggi.

b. Pengujian Kehilangan Berat Minyak Aspal

Pengujian kehilangan berat aspal (*loss on heating*) dilakukan untuk mengukur sejauh mana aspal mengalami penguapan komponen volatil selama proses

pemanasan pada suhu tertentu. Uji ini bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan termal aspal terhadap degradasi selama proses pencampuran panas di *Asphalt Mixing Plant* (AMP). Nilai kehilangan berat yang signifikan menunjukkan adanya penurunan stabilitas aspal akibat hilangnya fraksi ringan, yang berpotensi memengaruhi sifat adhesi dan fleksibilitas campuran aspal.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Kehilangan Berat Minyak Aspal

Pengujian	I	II	III
Berat cawan + aspal keras (g)	65	65	65
Berat cawan kosong (g)	15	15	15
Berat aspal keras (g)	50	50	50
Berat sebelum pemanasan (g)	65	65	65
Berat sesudah pemanasan (g)	64,5	65	64,8
Berat endapan (g)	0,5	0	0,2
Kehilangan berat aspal (%)	0,77%	0%	0,31%
Rata-Rata	0,36%		

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

Berdasarkan Tabel 5.7 diketahui hasil pengujian kehilangan berat minyak aspal dengan nilai rata-rata sebesar 0,36% yang mana sudah sesuai dengan nilai yang disyaratkan SNI 2440-1991 yaitu maksimal 0,8%.



Gambar 5.6 Pengujian Kehilangan Berat Minyak Aspal

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

c. Pengujian Daktilitas Aspal

Pengujian daktilitas aspal dilakukan untuk mengetahui tingkat kelenturan atau elastisitas aspal terhadap gaya tarik dalam kondisi suhu dan kecepatan tertentu. Daktilitas diartikan sebagai kemampuan aspal untuk mengalami regangan sebelum mengalami kerusakan berupa pemutusan. Prosedur pengujian

dilakukan dengan menarik spesimen aspal yang telah dicetak, kemudian diukur panjang maksimum spesimen tersebut sebelum putus. Nilai daktilitas yang tinggi mengindikasikan bahwa aspal memiliki sifat fleksibilitas yang baik, yang sangat diperlukan dalam menahan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa menimbulkan retak. Oleh karena itu, uji daktilitas merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kinerja aspal sebagai bahan pengikat pada campuran perkerasan lentur.

Tabel 5.8 Pengujian Daktilitas Aspal

Daktilitas Pada 25°C		Panjang Tanpa Putus (cm)
Pengujian	I	147
	II	150
	III	149
Rata-Rata		148,7

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Berdasarkan Tabel 5.8 diketahui hasil pengujian daktilitas aspal dengan nilai rata-rata sebesar 148,7 cm sehingga sudah sesuai dengan nilai yang disyaratkan SNI 2432-2011 yaitu minimal 100 cm.



Gambar 5.7 Pengujian Daktilitas Aspal

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

d. Pengujian Titik Lembek Aspal

Titik lembek aspal merupakan suhu pada saat aspal mulai mengalami perubahan fase dari padat menjadi lunak. Pengujian titik lembek bertujuan untuk menentukan suhu di mana aspal kehilangan kekakuannya dan mulai melunak di bawah kondisi pemanasan terkendali. Metode pengujian umumnya dilakukan dengan menggunakan alat cincin dan bola baja, di mana bola baja dengan massa tertentu diletakkan di atas lapisan aspal yang berada dalam cincin logam.

Spesimen kemudian dipanaskan secara bertahap, dan titik lembek ditentukan ketika bola baja menekan lapisan aspal hingga menyentuh pelat logam yang berada di bawah cincin. Nilai titik lembek ini menjadi indikator penting terhadap ketahanan aspal terhadap suhu tinggi, serta digunakan untuk menilai kestabilan termal aspal dalam aplikasi perkerasan jalan.

Tabel 5.9 Pengujian Titik Lembek Aspal

Keterangan		Suhu (°C)
Pengujian	I	80
	II	84
Rata-Rata		82

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Berdasarkan Tabel 5.9 diketahui hasil pengujian daktilitas aspal dengan nilai rata-rata sebesar 82°C sehingga sudah sesuai dengan nilai yang disyaratkan SNI 2432-2011 yaitu minimal 70°C.



Gambar 5.8 Pengujian Titik Lembek Aspal

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

e. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

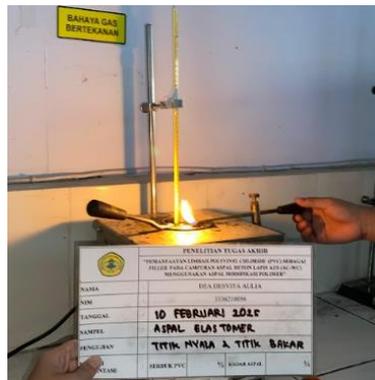
Titik nyala menunjukkan suhu di mana aspal mulai menghasilkan uap yang dapat terbakar ketika didekatkan dengan sumber api. Nyala api yang dihasilkan hanya berlangsung sesaat. Titik bakar menunjukkan suhu di mana aspal terus membakar secara berkelanjutan setelah sumber api dihilangkan. Nyala api harus berlangsung selama minimal 5 detik untuk dianggap sebagai titik bakar. Kedua parameter ini digunakan untuk mengukur bahaya kebakaran aspal dan biasanya diukur menggunakan alat *Cleveland Open Cup*.

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

Pengujian	Suhu (°C)
Titik Nyala	260
Titik Bakar	280

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Berdasarkan Tabel 5.10 diketahui hasil pengujian titik nyala dan titik bakar aspal berturut-turut sebesar 260°C dan 280°C sehingga sudah sesuai dengan nilai yang disyaratkan SNI 2432-2011 yaitu minimal 232°C.



Gambar 5.9 Pengujian Titik Lembek Aspal

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

f. Pengujian Berat Jenis Aspal

Pengujian berat jenis aspal bertujuan untuk menentukan rasio antara massa jenis aspal dalam keadaan padat terhadap massa jenis air suling dengan volume yang sama pada suhu standar, umumnya 25°C. Parameter berat jenis ini merupakan salah satu data penting dalam perencanaan dan pengendalian mutu campuran beraspal, karena digunakan dalam berbagai perhitungan teknis, seperti estimasi volume, proporsi campuran, serta perhitungan kadar aspal dan kerapatan campuran.

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal

Keterangan	Hasil	Satuan
Berat piknometer (W1)	50	gram
Berat piknometer + Air (W2)	146	gram
Berat piknometer + Benda uji (W3)	120	gram
Berat piknometer + benda uji + Air (W4)	149	gram
Berat Jenis Aspal	1,04	gram/ml

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Berdasarkan Tabel 5.11 diketahui hasil pengujian berat jenis aspal sebesar 1,04 sehingga sudah sesuai dengan nilai yang disyaratkan SNI 2441-2011 yaitu minimal 1 gram/ml.



Gambar 5.10 Pengujian Titik Lembek Aspal

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

g. Pengujian Viskositas Aspal

Pengujian viskositas aspal bertujuan untuk menentukan kekentalan aspal guna menentukan kualitas perkerasan jalan. Pengujian ini dapat dilakukan dengan berbagai metode, seperti menggunakan alat *Saybolt Furol* atau *Brookfield Thermosel*, dan biasanya dilakukan pada suhu tertentu seperti 60°C atau 135°C . Penentuan suhu viskositas untuk aspal modifikasi polimer elastomer pengujian yang dilakukan oleh (Alfiyyah, 2021) viskositas pencampuran yaitu $170+20$ cSt dengan perkiraan temperatur aspal yaitu $155+1^{\circ}\text{C}$, dan viskositas pemadatan yaitu $280+30$ cSt dengan perkiraan temperatur aspal yaitu $145+1^{\circ}\text{C}$.



Gambar 5.11 Alat Pengujian Viskositas Aspal

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

h. Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi		Standar Pengujian
		Min.	Maks.	
Penetrasi (0,1 mm)	53,53	30	60	SNI 2456:2011
Kehilangan Berat Minyak (%)	0,36	-	0,8	SNI 06-2440-1991
Daktilitas (cm)	148,7	100	-	SNI 2434:2011
Titik Lembek (°C)	82	70	-	SNI 2432:2011
Titik Nyala	260	232	-	SNI 2434:2011
Titik Bakar (°C)	280	232	-	SNI 2434:2011
Berat Jenis	1,04	1	-	SNI 2441:2011

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Pengujian karakteristik aspal polimer ini juga sebelumnya sudah dilakukan oleh PT. Aspal Polimer Emulsindo. Adapun hasil pengujian di laboratorium sebagai berikut.

Tabel 5.13 Hasil Pengujian Aspal oleh PT. Aspal Polimer Emulsindo

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Satuan	Spesifikasi		Hasil Uji
				Min.	Maks.	
1.	Penetrasi, 25 °C	SNI 2456:2011	0,1 mm	30	60	36
2.	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (70°C)	ASTM D7175	kPa	1	-	1,95
3.	Viskositas kinematis 135 °C dengan alat rotational viscometer	ASTM D2170 - 10	Cp	-		1,759
4.	Titik lembek	ASTM D 36	°C	70	-	83,8
5.	Daktilitas	SNI 2434:2011	cm	50	-	76
6.	Titik nyala	SNI 2434:2011	°C	232	-	324
7.	Kelarutan dalam <i>trichloroethylene</i>	AASHTO T44-14	%	99	-	99,8
8.	Berat jenis	SNI 2441:2011	gram	1,1	-	1,026
9.	Stabilitas penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek	ASTM D5976-00 Part 6.1	°C	-	6,5	1,4
10.	Keelastisan Setelah Pengembalian	ASTM D6084	%	-		76

Penguujian Residu Hasil TFOT (SNI 06-2440-1991) atau RTFOT (SNI 03-6835-2002)						
11.	Berat yang Hilang	ASTM D2872	%	1	-	0,028
12.	Keelastisan Setelah Pengembalian	ASTM D6084	%	45	-	72
13.	Pen TFOT/Pen Original x 100%	SNI 06-2456-2011	%	54	-	88,8
	Penetrasi pada 25°C (% semula)					32
14.	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (70°C)	ASTM D7175	kPa	2,2	-	2,41

(Sumber : PT. Aspal Polimer Emulsindo)

5.2 Rencana Campuran Aspal Beton

Rencana campuran diperlukan untuk menentukan perbandingan antara agregat dan aspal yang akan digunakan dalam campuran aspal beton. Komposisi agregat yang digunakan harus sesuai dengan ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2024.

5.2.1 Proporsi Agregat Campuran Aspal Beton

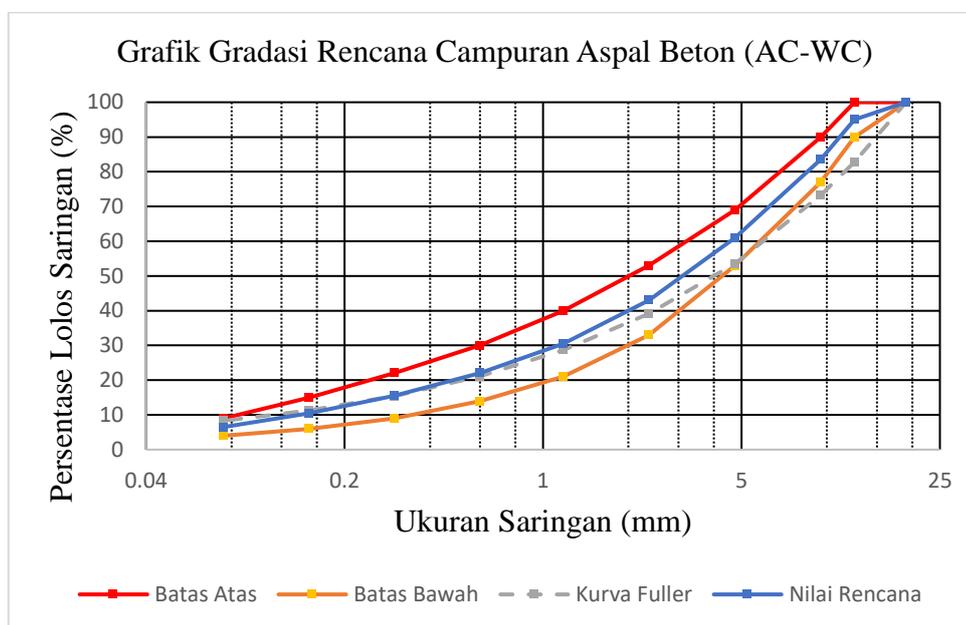
Hasil dari rencana campuran ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.12, yang menunjukkan batas-batas gradasi untuk jenis campuran aspal beton lapis aus (AC-WC). Grafik ini didasarkan pada nilai titik tengah dari spesifikasi yang digunakan untuk memperoleh campuran yang optimal. Gradasi tengah memberikan keseimbangan antara kepadatan, kekakuan, dan fleksibilitas, sehingga menghasilkan campuran dengan performa yang lebih baik (Indira, 2017).

Tabel 5.14 Persentase Gradasi Rencana Campuran Aspal Beton

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat Laston AC-WC			Nilai Tengah Gradasi (Gradasi Rencana)	Persentase Tertahan
ASTM	(mm)	(%)			(%)	(%)
3/4"	19	100	-	100	100	0
1/2"	12,5	90	-	100	95	5
3/8"	9,5	77	-	90	83,5	11,5
No. 4	4,75	53	-	69	61	22,5

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat Laston AC-WC			Nilai Tengah Gradasi (Gradasi Rencana)	Persentase Tertahan
ASTM	(mm)	(%)			(%)	(%)
No. 8	2,36	33	-	53	43	18
No. 16	1,18	21			-	40
No. 30	0,6	14	-	30	22	8,5
No. 50	0,3	9	-	22	15,5	6,5
No. 100	0,15	6	-	15	10,5	5
No. 200	0,075	4	-	9	6,5	4
Pan						6,5

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)



Gambar 5.12 Grafik Gradasi Rencana Campuran Aspal Beton

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

5.2.2 Perkiraan Awal Kadar Aspal Rencana

Perkiraan awal kadar aspal rencana ditentukan dengan menghitung nilai P_b (persentase berat aspal terhadap total campuran), yang selanjutnya dijadikan dasar dalam menyusun lima variasi kadar aspal rencana guna memperoleh kadar aspal optimum. Nilai P_b dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K \\
 &= 0,035 (39) + 0,045 (59,4) + 0,18 (6,5) + 0,5 \\
 &= 5,488\% \approx 5,5\%
 \end{aligned}$$

Tabel 5.15 Perkiraan Nilai Kadar Aspal Rencana

Pb - 1	Pb - 0,5	Pb	Pb + 0,5	Pb + 1
4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

5.2.3 Kebutuhan Berat Agregat Untuk Campuran Beraspal

Berikut adalah contoh perhitungan kebutuhan berat agregat untuk kadar aspal 5,5% dengan kadar serbuk PVC 0%.

$$\begin{aligned}
 \text{Berat total} &= 1200 \text{ gram} \\
 \text{Berat aspal} &= 5,5\% \times 1200 \\
 &= 66 \text{ gram} \\
 \text{Berat total agregat} &= 1200 - 66 \\
 &= 1134 \text{ gram} \\
 \text{Berat agregat kasar} &= 39\% \times 1134 \\
 &= 442,26 \text{ gram} \\
 \text{Berat agregat halus} &= 54,5\% \times 1134 \\
 &= 618,03 \text{ gram} \\
 \text{Berat } \textit{filler} \text{ abu batu} &= 6,5\% \times 1134 \\
 &= 73,71 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

5.2.4 Pembuatan Benda Uji Campuran Beraspal dengan Pengganti *Filler* Serbuk PVC

Setelah ditetapkan komposisi dan kadar aspal dalam campuran aspal beton, tahap berikutnya adalah proses pembuatan benda uji untuk campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) guna menentukan kadar aspal optimum dari tiap variasi penggunaan serbuk PVC. Dalam penelitian ini, sebanyak 60 benda uji dibuat untuk memperoleh kadar aspal optimum, serta 12 benda uji tambahan untuk tiap variasi serbuk PVC pada kadar aspal optimum tersebut. Seluruh proses mengikuti standar SNI 06-2489-1991 mengenai metode pengujian *Marshall*. Pematatan dilakukan menggunakan alat *Marshall Compaction Hammer* dengan 75 tumbukan pada setiap sisi cetakan.

5.2.5 Analisis Sifat Volumetrik Campuran Beraspal

Adapun contoh perhitungan untuk campuran aspal beton pada kadar aspal 5,5% dengan kadar serbuk PVC 0%.

$$\begin{aligned}
\text{Kadar Aspal} &= 5,5\% \\
\text{Persentase Agregat} &= 100\% - 5,5\% \\
&= 94,5\% \\
\text{Bj Bulk Gabungan (Gsb)} &= 2,618 \text{ g/ml} \\
\text{Bj Apparent Gabungan (Gsa)} &= 2,841 \text{ g/ml} \\
\text{Bj Bulk Aspal (Gb)} &= 1,045 \text{ g/ml} \\
\text{Berat Benda Uji Kering} &= 1181,8 \text{ g} \\
\text{Berat Benda Uji SSD} &= 1184 \text{ g} \\
\text{Berat Benda Uji Dalam Air} &= 673 \text{ g}
\end{aligned}$$

a. Menentukan Berat Jenis Efektif Agregat (Gse)

$$\begin{aligned}
\text{Gse} &= \frac{\text{Gsb} + \text{Gsa}}{2} \\
&= \frac{2,618 + 2,841}{2} \\
&= 2,729
\end{aligned}$$

b. Menentukan Berat Jenis Campuran Maksimum (Gmm)

$$\begin{aligned}
\text{Gmm} &= \frac{100}{\frac{\% \text{agregat}}{\text{Gse}} + \frac{\% \text{aspal}}{\text{Gb}}} \\
&= \frac{100}{\frac{94,5}{2,729} + \frac{5,5}{1,045}} \\
&= 2,507
\end{aligned}$$

c. Menghitung Berat Isi Benda Uji

$$\begin{aligned}
\text{Isi Benda Uji} &= \text{Berat Benda Uji SSD} - \text{Berat Benda Uji Dalam Air} \\
&= 1184 - 673 \\
&= 511 \text{ g}
\end{aligned}$$

d. Persentase Rongga dalam Campuran (VIM)

$$\begin{aligned}
\text{VIM} &= 100 \times \frac{\text{Gmm} - \text{Gmb}}{\text{Gmm}} \\
&= 100 \times \frac{2,507 - 2,31}{2,507} \\
&= 7,75\%
\end{aligned}$$

e. Persentase Rongga dalam Agregat (VMA)

$$\begin{aligned} \text{VMA} &= 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \\ &= 100 - \frac{2,31 \times 94,5}{2,618} \\ &= 16,52\% \end{aligned}$$

f. Persentase Rongga Terisi Aspal (VFA)

$$\begin{aligned} \text{VFA} &= 100 \times \frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}} \\ &= 100 \times \frac{16,52 - 7,75}{16,52} \\ &= 53,09\% \end{aligned}$$

g. Menghitung Stabilitas

$$\begin{aligned} \text{Stabilitas} &= \text{Pembacaan Dial} \times \text{Angka Korelasi} \times \text{Kalibrasi Alat} \\ &= 106 \times 1 \times 10,91 \\ &= 1156,46 \text{ kg} \end{aligned}$$

h. Menghitung *Marshall Quotient* (MQ)

$$\begin{aligned} \text{MQ} &= \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} \\ &= \frac{1156,46}{2,93} \\ &= 394,7 \text{ kg/mm} \end{aligned}$$

5.3 Analisis Karakteristik Campuran Beraspal dengan Pengganti *Filler* Serbuk PVC Pada Kadar Aspal Rencana

Analisis karakteristik campuran aspal beton dengan kadar aspal rencana dilakukan melalui data hasil uji *marshall*, yang mencakup analisis pengaruh penambahan kadar aspal dan *filler* serbuk PVC terhadap karakteristik *marshall* pada campuran aspal beton.

5.3.1 Hasil Pengujian Campuran Beraspal dengan Pengganti *Filler* Serbuk PVC pada Kadar Aspal Rencana

Berikut ini adalah rekapitulasi hasil pengujian dengan alat uji *marshall* dengan kadar aspal rencana yang sudah dihitung untuk mendapatkan kadar aspal optimum (KAO) yang akan digunakan untuk tahap selanjutnya pada penelitian ini.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall*

Karakteristik <i>Marshall</i>	Kadar Aspal (%)	Kadar Serbuk PVC				Spesifikasi
		0%	3%	6%	9%	
VIM	4,5	11,30	11,43	11,54	11,66	3 % - 5 %
	5	8,80	9,20	9,26	9,39	
	5,5	7,26	7,44	7,49	7,78	
	6	5,53	4,97	6,24	6,62	
	6,5	4,35	4,92	4,93	4,91	
VMA	4,5	17,66	17,50	17,34	17,22	Min. 15 %
	5	16,42	16,45	16,20	16,03	
	5,5	16,08	15,85	15,54	15,48	
	6	15,59	15,08	15,39	15,37	
	6,5	15,61	15,63	15,20	15,11	
VFA	4,5	36,05	34,79	33,50	32,32	Min. 65 %
	5	46,39	44,12	42,87	41,47	
	5,5	54,87	53,11	51,90	49,79	
	6	64,56	67,05	59,47	56,93	
	6,5	72,17	68,54	67,55	67,46	
Stabilitas	4,5	1058,27	1087,36	1098,27	1074,64	Min. 1000 kg
	5	1094,64	1121,91	1136,46	1100,09	
	5,5	1118,28	1140,10	1161,92	1127,37	
	6	1147,37	1167,37	1183,74	1152,82	
	6,5	1092,82	1121,91	1143,73	1114,64	
<i>Flow</i>	4,5	3,11	2,72	2,62	2,92	2 mm - 4 mm
	5	3,06	2,61	2,47	2,83	
	5,5	3,13	2,75	2,55	2,91	
	6	3,29	2,86	2,67	3,02	
	6,5	3,51	3,00	2,84	3,17	
MQ	4,5	344,24	400,41	419,90	370,23	Min. 250 kg/mm
	5	359,44	429,32	462,11	394,47	
	5,5	359,68	414,47	456,23	389,41	
	6	349,35	409,14	444,46	387,86	
	6,5	310,96	375,59	403,36	352,57	

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

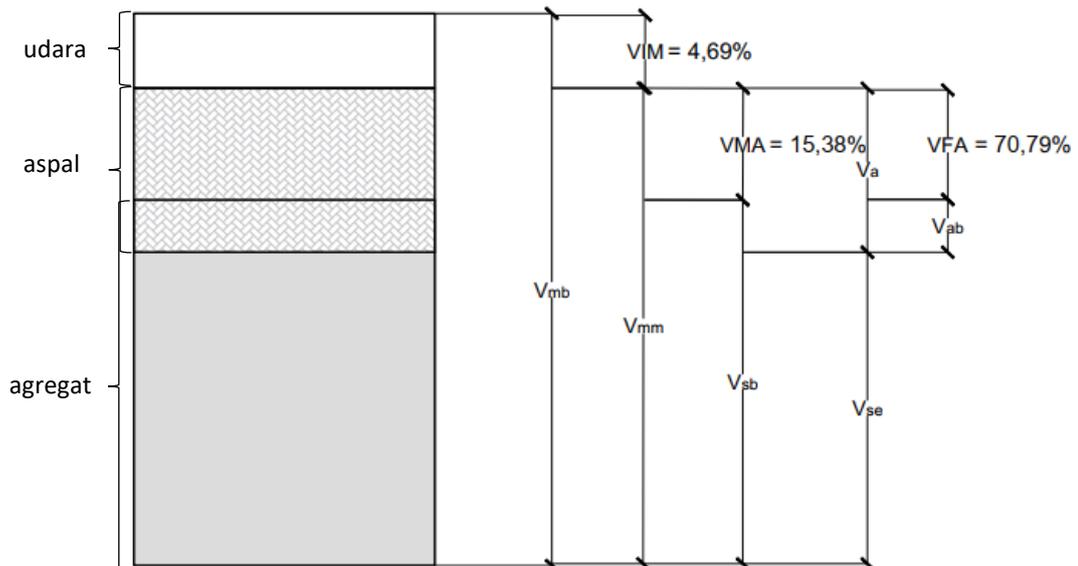


Gambar 5.13 Pengujian dengan Alat *Marshall*

(Sumber: Dokumentasi Penulis, 2025)

5.3.2 Analisis Pengaruh Kadar Aspal dan Serbuk PVC Terhadap Karakteristik *Marshall* Pada Campuran Beraspal

Secara analitis, sifat volumetrik dari aspal beton padat dapat ditentukan dengan beberapa parameter. Parameter yang biasa digunakan yaitu sebagai berikut:



Gambar 5.14 Skematis Rongga Aspal Beton Padat (Sampel PVC 6%)

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

V_{mb} = volume bulk dari campuran aspal beton padat

V_{mm} = volume teoritis tanpa rongga dari aspal beton padat

V_{sb} = volume bulk dari agregat (volume agregat)

V_{se} = volume agregat efektif dari agregat

- Va = volume aspal dalam aspal beton padat termasuk yang meresap ke dalam pori agregat
- Vab = volume pori butir agregat yang mengabsorpsi aspal dalam campuran aspal beton
- VMA = volume rongga antar butir agregat di dalam aspal beton padat
- VIM = volume rongga udara dalam campuran aspal beton padat
- VFA = volume rongga aspal beton padat yang terisi oleh aspal

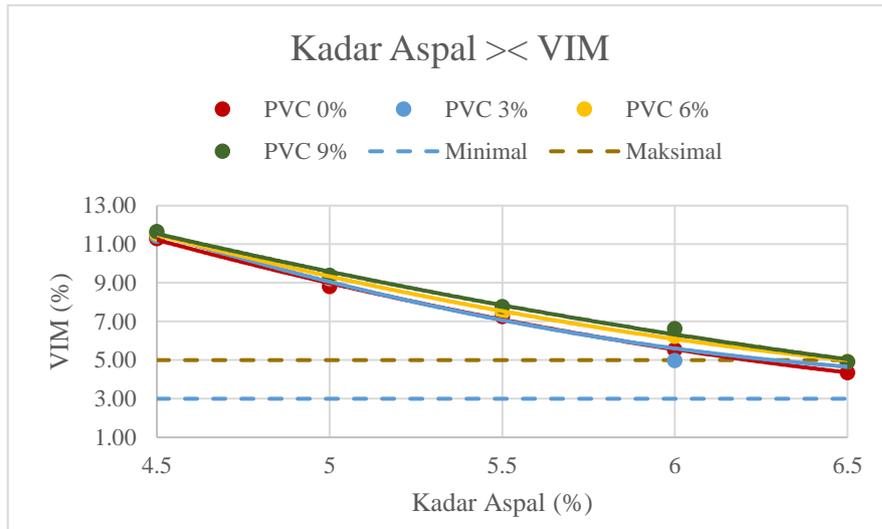
a. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai VIM

Kadar aspal memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai VIM pada campuran aspal beton. Secara umum, peningkatan kadar aspal akan mengisi rongga udara di antara partikel agregat, sehingga menyebabkan nilai VIM menurun. Penambahan aspal meningkatkan kepadatan campuran karena aspal mengisi celah-celah antar agregat, mengurangi volume rongga udara yang tersisa dalam struktur campuran. Namun, apabila kadar aspal melebihi batas optimum, campuran dapat mengalami kelebihan aspal (*bleeding*), yang justru berdampak negatif terhadap stabilitas dan keawetan perkerasan. Sebaliknya, kadar aspal yang terlalu rendah akan menghasilkan nilai VIM yang tinggi, menunjukkan banyaknya rongga dalam campuran, yang dapat membuat lapisan perkerasan menjadi *porous* (berpori) dan rentan terhadap kerusakan akibat air dan oksidasi. Oleh karena itu, penentuan kadar aspal yang tepat sangat penting untuk menjaga keseimbangan antara kepadatan, daya tahan, dan performa lapis perkerasan (Sulandari et al., 2024).

Tabel 5.17 Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai VIM

Kadar Aspal (%)	Kadar Serbuk PVC				Spesifikasi
	0%	3%	6%	9%	
4,5	11,30	11,43	11,54	11,66	3% - 5%
5	8,80	9,20	9,26	9,39	
5,5	7,26	7,44	7,49	7,78	
6	5,53	4,97	6,24	6,62	
6,5	4,35	4,92	4,93	4,91	

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)



Gambar 5.15 Grafik Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai VIM

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Tabel 5.18 Nilai Koefisien Determinasi Terhadap Nilai VIM

No.	Kadar Serbuk PVC	Persamaan Regresi	R ²	Maks. R ²
1.	0%	$y = -3,66899x + 28,142$	0,9978	1
2.	3%	$y = -2,669x + 21,814$	0,9796	1
3.	6%	$y = -2,2539x + 19,451$	0,9986	1
4.	9%	$y = -2,2532x + 19,714$	0,9942	1

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Gambar 5.15 menunjukkan bahwa secara umum nilai VIM menurun pada setiap variasi kadar serbuk PVC seiring dengan peningkatan kadar aspal. Penurunan ini disebabkan oleh bertambahnya volume aspal yang mengisi rongga antar agregat dalam campuran, sehingga mengurangi total rongga udara. Namun, campuran yang mengandung filler serbuk PVC cenderung memiliki nilai VIM lebih tinggi dibandingkan campuran tanpa serbuk PVC. Hal ini dikarenakan sifat fisik serbuk PVC yang halus dan tidak menyerap aspal, sehingga menyebabkan campuran memiliki volume rongga yang relatif lebih besar.

Berdasarkan tabel 5.17 menunjukkan bahwa pada kadar aspal 6% dan 6,5% dengan variasi kadar serbuk PVC 3%, dan kadar aspal 6,5% dengan variasi kadar serbuk PVC 0%, 6% dan 9% nilai VIM sudah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2024 yaitu antara 3% sampai 5%. Berdasarkan Tabel 5.18 nilai determinasi pengaruh serbuk PVC terhadap nilai VIM yang tertinggi

mencapai 99,86% pada kadar serbuk PVC 6% yang berarti bahwa pengaruh serbuk PVC terhadap nilai VIM sangat berpengaruh dikarenakan nilai R^2 sudah mendekati 100% jika dilakukan pendekatan dengan uji koefisien determinasi memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam spesifikasi Umum Bina Marga 2024.

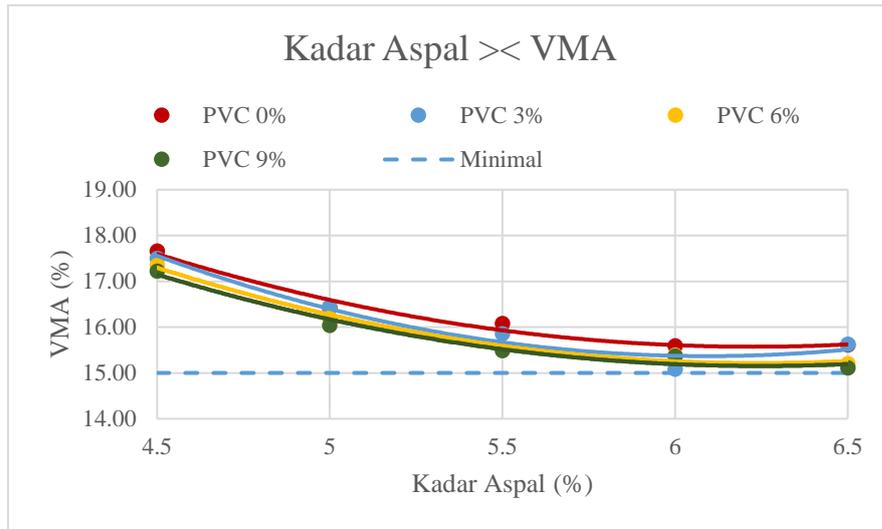
b. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai VMA

Rongga dalam mineral agregat (VMA) merupakan volume rongga yang terdapat di antara partikel agregat dalam campuran aspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif yang tidak terserap oleh agregat. VMA dinyatakan sebagai persentase terhadap total volume campuran padat dan merupakan parameter penting untuk menjamin durabilitas campuran. Nilai VMA dipengaruhi oleh gradasi, bentuk partikel, dan tingkat pemadatan agregat (Hikmayani et al., 2023). Nilai VMA yang terlalu rendah dapat mengurangi durabilitas, sedangkan nilai yang terlalu tinggi dapat menurunkan stabilitas campuran (Sulandari et al., 2024).

Tabel 5.19 Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai VMA

Kadar Aspal (%)	Kadar Serbuk PVC				Spesifikasi
	0%	3%	6%	9%	
4,5	17,66	17,50	17,34	17,22	Min. 15%
5	16,42	16,45	16,20	16,03	
5,5	16,08	15,85	15,54	15,48	
6	15,59	15,08	15,39	15,37	
6,5	15,61	15,63	15,20	15,11	

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)



Gambar 5.16 Grafik Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai VMA

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Tabel 5.20 Nilai Koefisien Determinasi Terhadap Nilai VMA

No.	Kadar Serbuk PVC	Persamaan Regresi	R ²	Maks. R ²
1.	0%	$y = -1,2275x + 23,387$	0,9805	1
2.	3%	$y = -0,3044x + 17,344$	0,9598	1
3.	6%	$y = -0,0894x + 15,652$	0,9894	1
4.	9%	$y = -0,0428x + 15,382$	0,9775	1

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Gambar 5.16 menunjukkan bahwa nilai VMA menurun seiring dengan peningkatan kadar aspal, karena aspal mengisi rongga antar agregat, sehingga volume rongga berkurang. Penurunan VMA ini menunjukkan bahwa campuran telah mencapai tingkat kepadatan yang sesuai. Campuran dengan serbuk PVC cenderung memiliki VMA lebih rendah dibandingkan campuran tanpa PVC, disebabkan oleh tekstur halus serbuk PVC yang mampu mengisi rongga antar agregat dengan lebih efektif (Rohman et al., 2020).

Berdasarkan tabel 5.19 menunjukkan bahwa nilai VMA pada kadar variasi serbuk PVC 0%, 3%, 6%, dan 9% semuanya sudah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2024 yaitu minimal 15%. Berdasarkan Tabel 5.20 nilai determinasi pengaruh serbuk PVC terhadap nilai VMA yang tertinggi mencapai 98,94% pada kadar serbuk PVC 6% yang berarti bahwa pengaruh serbuk PVC terhadap nilai VMA sangat berpengaruh dikarenakan nilai R² sudah mendekati

100% jika dilakukan pendekatan dengan uji koefisien determinasi memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam spesifikasi Umum Bina Marga 2024.

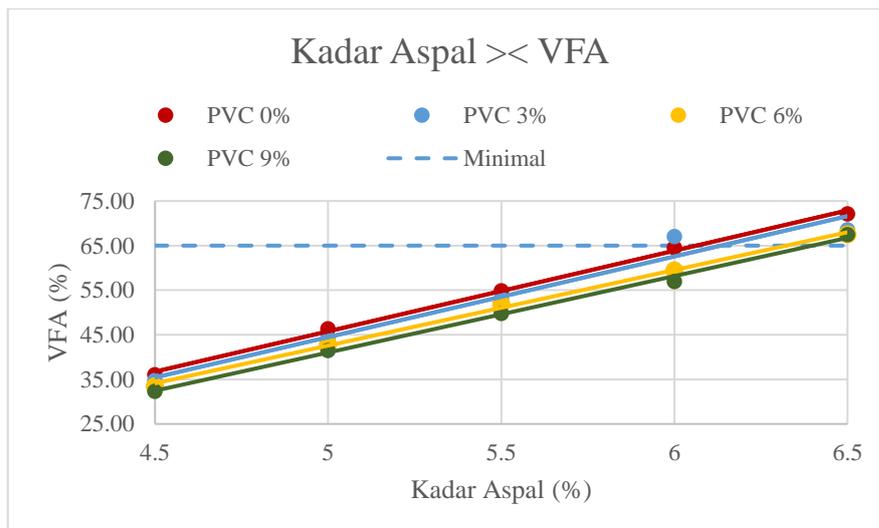
c. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai VFA

Rongga terisi aspal (VFA) adalah persentase rongga dalam campuran aspal yang terisi oleh aspal setelah pemadatan. Nilai VFA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi agregat, suhu, dan jumlah tumbukan. VFA yang tinggi meningkatkan kedekatan terhadap air dan udara, namun jika terlalu tinggi dapat menyebabkan *bleeding*. Sebaliknya, VFA yang terlalu rendah menghasilkan lapisan aspal yang tipis dan rentan terhadap kerusakan akibat beban lalu lintas. Nilai VFA memiliki peranan penting dalam menentukan seberapa tahan campuran aspal terhadap penetrasi air dan udara, serta dalam menentukan elastisitas campuran. (Sulandari et al., 2024).

Tabel 5.21 Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai VFA

Kadar Aspal (%)	Kadar Serbuk PVC				Spesifikasi
	0%	3%	6%	9%	
4,5	36,05	34,79	33,50	32,32	Min. 65%
5	46,39	44,12	42,87	41,47	
5,5	54,87	53,11	51,90	49,79	
6	64,56	67,05	59,47	56,93	
6,5	72,17	68,54	67,55	67,46	

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)



Gambar 5.17 Grafik Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai VFA

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Tabel 5.22 Nilai Koefisien Determinasi Terhadap Nilai VFA

No.	Kadar Serbuk PVC	Persamaan Regresi	R ²	Maks. R ²
1.	0%	$y = 18,526x - 48,241$	0,9977	1
2.	3%	$y = 16,104x - 33,876$	0,9643	1
3.	6%	$y = 14,645x - 27$	0,9981	1
4.	9%	$y = 14,728x - 29,315$	0,9969	1

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Gambar 5.17 menunjukkan bahwa nilai VFA cenderung meningkat pada setiap variasi kadar serbuk PVC seiring bertambahnya kadar aspal. Kenaikan ini disebabkan oleh semakin banyaknya volume aspal yang mengisi rongga di antara butir agregat, sehingga meningkatkan persentase rongga yang terisi. Semakin tinggi nilai VFA, maka semakin tinggi pula tingkat kededapan campuran terhadap air dan udara, yang berdampak positif terhadap durabilitas perkerasan. Namun, nilai VFA tetap harus dijaga dalam batas optimum agar tidak menimbulkan bleeding pada permukaan campuran.

Berdasarkan tabel 5.21 menunjukkan bahwa pada kadar aspal 6% dan 6,5% dengan variasi kadar serbuk PVC 3%, dan kadar aspal 6,5% dengan variasi kadar serbuk PVC 0%, 6% dan 9% nilai VFA sudah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2024 yaitu minimal 65%. Berdasarkan Tabel 5.22 nilai determinasi pengaruh serbuk PVC terhadap nilai VFA yang tertinggi mencapai 99,81% pada kadar serbuk PVC 6% yang berarti bahwa pengaruh serbuk PVC terhadap nilai VIM sangat berpengaruh dikarenakan nilai R² sudah mendekati 100% jika dilakukan pendekatan dengan uji koefisien determinasi memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam spesifikasi Umum Bina Marga 2024.

d. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas

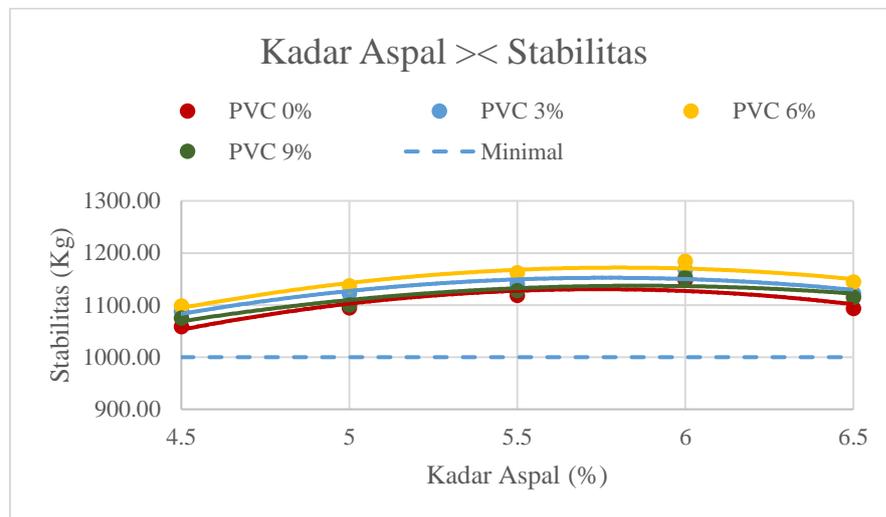
Stabilitas merupakan kemampuan struktural dari lapisan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen, seperti terbentuknya gelombang, alur (*rutting*), atau *bleeding* akibat kelebihan aspal pada permukaan. Deformasi ini terjadi akibat beban berulang yang menyebabkan campuran tidak kembali ke bentuk semula (Widyantara et al., 2018). Faktor-faktor yang memengaruhi stabilitas meliputi kohesi aspal, kadar aspal, gesekan antar partikel, *interlocking* antar agregat, serta bentuk dan tekstur

agregat berdasarkan gradasinya. Penambahan aspal meningkatkan stabilitas hingga titik optimum, namun jika berlebihan justru menurunkan stabilitas karena campuran menjadi terlalu jenuh dan kaku (Putra et al., 2023).

Tabel 5.23 Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas

Kadar Aspal (%)	Kadar Serbuk PVC				Spesifikasi
	0%	3%	6%	9%	
4,5	1058,27	1087,36	1098,27	1074,64	Min. 1000 kg
5	1094,64	1121,91	1136,46	1100,09	
5,5	1118,28	1140,10	1161,92	1127,37	
6	1147,37	1167,37	1183,74	1152,82	
6,5	1092,82	1121,91	1143,73	1114,64	

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)



Gambar 5.18 Grafik Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Tabel 5.24 Nilai Koefisien Determinasi Terhadap Nilai Stabilitas

No.	Kadar Serbuk PVC	Persamaan Regresi	R ²	Maks. R ²
1.	0%	$y = 17,82x + 991,17$	0,8474	1
2.	3%	$y = 26,184x + 957,17$	0,8591	1
3.	6%	$y = 22,547x + 992,81$	0,9244	1
4.	9%	$y = 16,365x + 956,26$	0,8809	1

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Gambar 5.18 menunjukkan bahwa stabilitas meningkat seiring bertambahnya kadar aspal pada setiap variasi serbuk PVC. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan serbuk PVC berkontribusi terhadap peningkatan stabilitas

campuran. Sebagai bahan termoplastik, PVC melunak saat dipanaskan dan mengeras kembali saat dingin, sehingga membantu memperkuat struktur campuran aspal. Saat tercampur dengan aspal panas, PVC dapat menyatu dengan campuran aspal dan memberikan efek penguatan seperti pengisi (*filler*) yang meningkatkan kekakuan campuran. Namun, penggunaannya harus dioptimalkan agar tidak menimbulkan efek negatif terhadap fleksibilitas dan ketahanan retak. Oleh karena itu, pada variasi kadar serbuk PVC 9% nilai stabilitas justru menurun dari kadar sebelumnya yaitu 6%.

Berdasarkan tabel 5.23 menunjukkan bahwa nilai stabilitas pada kadar variasi serbuk PVC 0%, 3%, 6%, dan 9% semuanya sudah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2024 yaitu minimal 1000 kg. Berdasarkan Tabel 5.24 nilai determinasi pengaruh serbuk PVC terhadap nilai stabilitas yang tertinggi mencapai 92,44% pada kadar serbuk PVC 6% yang berarti bahwa pengaruh serbuk PVC terhadap nilai stabilitas sangat berpengaruh dikarenakan nilai R^2 sudah mendekati 100% jika dilakukan pendekatan dengan uji koefisien determinasi memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam spesifikasi Umum Bina Marga 2024.

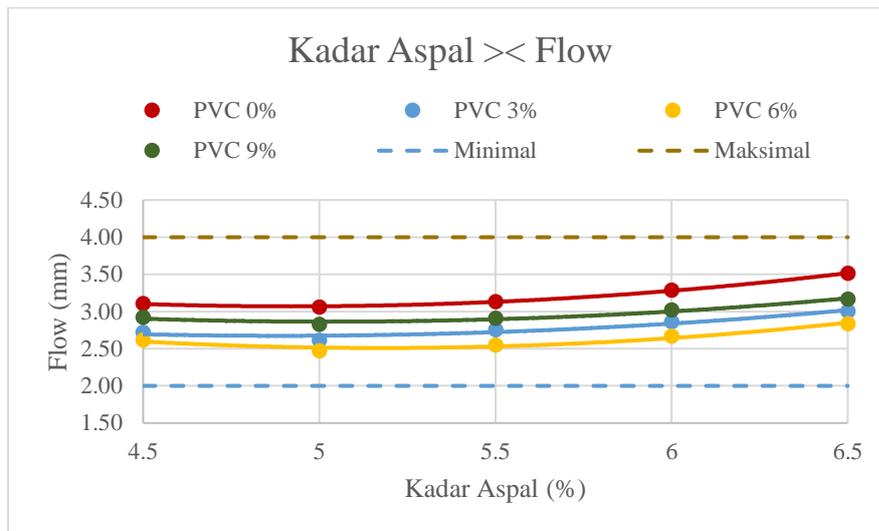
e. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Flow*

Flow merupakan parameter deformasi plastis campuran aspal yang menunjukkan kemampuan campuran untuk mengalami perubahan bentuk sebelum terjadi kerusakan permanen. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi agregat, suhu serta metode pemadatan. *Flow* yang rendah menunjukkan ketahanan deformasi yang baik. Namun, jika nilai *flow* terlalu rendah dengan stabilitas tinggi, campuran cenderung menjadi kaku dan berisiko mengalami retak akibat tegangan berulang. Sebaliknya, *flow* yang terlalu tinggi menandakan fleksibilitas berlebih, yang dapat menyebabkan kegagalan struktural akibat pergeseran agregat. Secara karakteristik, nilai *flow* akan meningkat proporsional terhadap kenaikan kadar aspal, karena lapisan film aspal yang lebih tebal memungkinkan deformasi lebih besar sebelum terjadi kerusakan (Putra et al., 2023).

Tabel 5.25 Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai *Flow*

Kadar Aspal (%)	Kadar Serbuk PVC				Spesifikasi
	0%	3%	6%	9%	
4,5	3,11	2,72	2,62	2,92	2 mm – 4 mm
5	3,06	2,61	2,47	2,83	
5,5	3,13	2,75	2,55	2,91	
6	3,29	2,86	2,67	3,02	
6,5	3,51	3,00	2,84	3,17	

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)



Gambar 5.19 Grafik Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai *Flow*

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Tabel 5.26 Nilai Koefisien Determinasi Terhadap Nilai *Flow*

No.	Kadar Serbuk PVC	Persamaan Regresi	R ²	Maks. R ²
1.	0%	$y = -0,2933x + 4,7907$	0,9983	1
2.	3%	$y = -0,1773x + 3,8973$	0,9299	1
3.	6%	$y = -0,212x + 3,9047$	0,9544	1
4.	9%	$y = -0,1473x + 3,5043$	0,9657	1

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Gambar 5.19 menunjukkan bahwa nilai *flow* meningkat seiring bertambahnya kadar aspal pada setiap variasi serbuk PVC. Namun, campuran dengan *filler* serbuk PVC cenderung menunjukkan nilai *flow* yang lebih rendah dibandingkan campuran tanpa serbuk PVC. Hal ini disebabkan oleh sifat termoplastik dan kekakuan serbuk PVC yang dapat meningkatkan modulus kekakuan campuran.

Campuran yang lebih kaku memiliki deformasi plastis yang lebih kecil di bawah beban, sehingga menghasilkan nilai *flow* yang lebih rendah.

Berdasarkan tabel 5.25 menunjukkan bahwa nilai *flow* pada kadar variasi serbuk PVC 0%, 3%, 6%, dan 9% semuanya sudah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2024 yaitu antara 2 mm sampai dengan 4 mm. Berdasarkan Tabel 5.26 nilai determinasi pengaruh serbuk PVC terhadap nilai *flow* yang tertinggi mencapai 96,57% pada kadar serbuk PVC 9% yang berarti bahwa pengaruh serbuk PVC terhadap nilai *flow* sangat berpengaruh dikarenakan nilai R^2 sudah mendekati 100% jika dilakukan pendekatan dengan uji koefisien determinasi memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam spesifikasi Umum Bina Marga 2024.

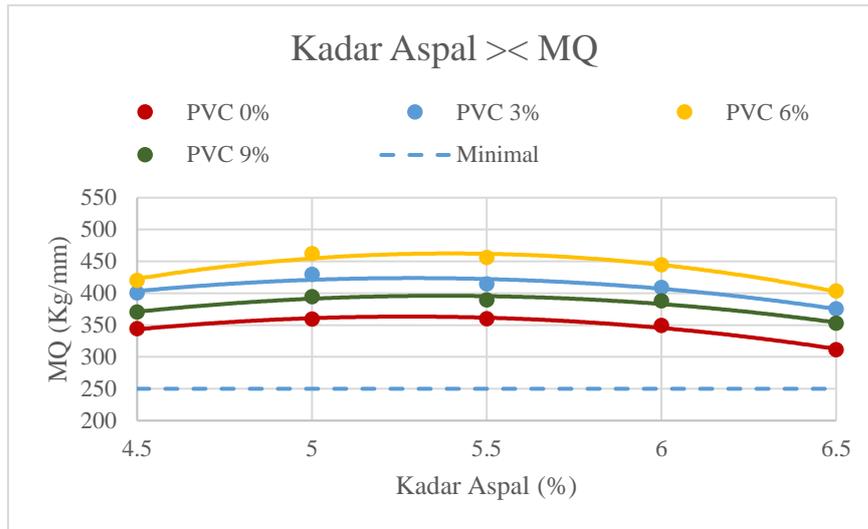
f. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai MQ (*Marshall Quotient*)

Nilai MQ yang tinggi menunjukkan bahwa campuran memiliki stabilitas tinggi dengan deformasi yang relatif kecil, sehingga mengindikasikan campuran yang kaku. Namun, kekakuan yang berlebihan juga dapat meningkatkan potensi retak akibat tegangan berulang. Sebaliknya, nilai MQ yang rendah menunjukkan tingkat kekakuan campuran yang rendah, yang mengindikasikan bahwa campuran bersifat terlalu fleksibel dan cenderung mengalami deformasi plastis permanen seperti *rutting* ketika menerima beban lalu lintas berulang. Oleh karena itu, nilai MQ yang ideal mencerminkan keseimbangan antara ketahanan terhadap deformasi dan kemampuan fleksibilitas campuran dalam melayani beban lalu lintas.

Tabel 5.27 Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai MQ

Kadar Aspal (%)	Kadar Serbuk PVC				Spesifikasi
	0%	3%	6%	9%	
4,5	344,24	400,41	419,90	370,23	Min. 250 kg/mm
5	359,44	429,32	462,11	394,47	
5,5	359,68	414,47	456,23	389,41	
6	349,35	409,14	444,46	387,86	
6,5	310,96	375,59	403,36	352,57	

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)



Gambar 5.20 Grafik Hubungan Kadar Aspal Terhadap Nilai MQ

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Tabel 5.28 Nilai Koefisien Determinasi Terhadap Nilai MQ

No.	Kadar Serbuk PVC	Persamaan Regresi	R ²	Maks. R ²
1.	0%	$y = 38,32x + 135,5$	0,9851	1
2.	3%	$y = 32,623x + 201,93$	0,9099	1
3.	6%	$y = 38,219x + 200,39$	0,9609	1
4.	9%	$y = 26,711x + 242,61$	0,94	1

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Gambar 5.20 menunjukkan bahwa nilai MQ pada setiap variasi kadar serbuk PVC mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kadar aspal dan cenderung menurun ketika sudah mencapai titik optimumnya.

Berdasarkan tabel 5.27 menunjukkan bahwa nilai MQ pada kadar variasi serbuk PVC 0%, 3%, 6%, dan 9% semuanya sudah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2024 yaitu minimal 250 kg/mm. Berdasarkan Tabel 5.28 nilai determinasi pengaruh serbuk PVC terhadap nilai MQ yang tertinggi mencapai 96,52% pada kadar serbuk PVC 9% yang berarti bahwa pengaruh serbuk PVC terhadap nilai MQ sangat berpengaruh dikarenakan nilai R² sudah mendekati 100% jika dilakukan pendekatan dengan uji koefisien determinasi memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam spesifikasi Umum Bina Marga 2024.

g. Analisis Penentuan Kadar Aspal Optimum Dengan Pengganti *Filler* Serbuk PVC Pada Lapis Aus (AC-WC)

Penentuan kadar aspal optimum bertujuan untuk memperoleh kadar aspal yang paling efektif dalam menghasilkan campuran beraspal dengan karakteristik *Marshall* yang memenuhi standar teknis Spesifikasi Umum Bina Marga 2024. Penentuan ini didasarkan pada parameter *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA), stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ), yang harus berada dalam rentang nilai yang ditetapkan untuk menjamin kestabilan, durabilitas, dan kinerja struktural perkerasan.

Tabel 5.29 Penentuan KAO Campuran Beraspal dengan Serbuk PVC 0%

Serbuk PVC 0%	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	4,5	5	5,5	6	6,5	
VIM					↓	3% - 5%
VMA						Min 15%
VFA					↓	Min 65%
Stabilitas						Min 1000 kg
<i>Flow</i>					↓	2 mm – 4 mm

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Tabel 5.30 Penentuan KAO Campuran Beraspal dengan Serbuk PVC 3%

Serbuk PVC 3%	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	4,5	5	5,5	6	6,5	
VIM				↓		3% - 5%
VMA						Min 15%
VFA				↓		Min 65%
Stabilitas						Min 1000 kg
<i>Flow</i>					↓	2 mm – 4 mm

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Tabel 5.31 Penentuan KAO Campuran Beraspal dengan Serbuk PVC 6%

Serbuk PVC 6%	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	4,5	5	5,5	6	6,5	
VIM					↓	3% - 5%
VMA						Min 15%
VFA					↓	Min 65%
Stabilitas						Min 1000 kg
<i>Flow</i>					↓	2 mm – 4 mm

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Tabel 5.32 Penentuan KAO Campuran Beraspal dengan Serbuk PVC 9%

Serbuk PVC 9%	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	4,5	5	5,5	6	6,5	
VIM						3% - 5%
VMA						Min 15%
VFA						Min 65%
Stabilitas						Min 1000 kg
<i>Flow</i>						2 mm – 4 mm

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Kadar aspal optimum merupakan parameter krusial dalam desain campuran aspal beton, yang dipengaruhi oleh gradasi agregat, jenis dan proporsi aspal, serta karakteristik bahan tambah yang digunakan. Berdasarkan hasil penelitian, kadar optimum aspal diperoleh sebesar 6,5% untuk variasi serbuk PVC 0%, menurun menjadi 6,25% pada 3%, dan kembali naik menjadi 6,5% pada kadar 6% dan 9%. Peningkatan kebutuhan kadar aspal pada kadar serbuk PVC yang lebih tinggi disebabkan oleh sifat PVC yang halus dan tidak berpori, sehingga tidak mampu menyerap aspal. Hal ini menyebabkan campuran cenderung menjadi kaku dan membutuhkan penambahan aspal untuk menjaga plastisitas dan kepadatan campuran. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Linggo & Kurniawan, 2015) tentang penggunaan PVC sebagai bahan tambah pada beton aspal menghasilkan kadar aspal optimum (KAO) yang diperoleh pada campuran dengan variasi 5,5% aspal dengan 4% serbuk PVC dan 6% aspal dengan 4% dan 8% serbuk PVC.

5.4 Analisis Karakteristik Campuran Aspal Beton dengan Kadar Aspal Optimum

Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik *Marshall* dengan pengganti *filler* serbuk PVC menggunakan kadar aspal optimum pada Tabel 5.33.

Tabel 5.33 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* Dengan Kadar Aspal Optimum

Karakteristik <i>Marshall</i>	Kadar Serbuk PVC (%)	Kadar Aspal (%)	Hasil	Spesifikasi
VIM (%)	0	6,5	4,85	3 % - 5 %
	3	6,25	4,82	
	6	6,5	4,69	
	9	6,5	4,64	
VMA (%)	0	6,5	15,72	Min 15 %
	3	6,25	15,51	
	6	6,5	15,38	
	9	6,5	15,35	
VFA (%)	0	6,5	68,24	Min 65 %
	3	6,25	70,26	
	6	6,5	70,79	
	9	6,5	72,10	
Stabilitas (Kg)	0	6,5	1165,55	Min 1000 kg
	3	6,25	1176,46	
	6	6,5	1185,55	
	9	6,5	1169,19	
<i>Flow</i> (mm)	0	6,5	2,58	2 mm - 4 mm
	3	6,25	2,52	
	6	6,5	2,44	
	9	6,5	2,42	
MQ (Kg/mm)	0	6,5	451,21	Min 250 kg/mm
	3	6,25	468,35	
	6	6,5	485,34	
	9	6,5	483,21	

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Berdasarkan Tabel 5.33, nilai VIM dan VMA tertinggi diperoleh pada campuran tanpa serbuk PVC (0%) dengan kadar aspal optimum 6,5%. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya partikel halus serbuk PVC yang berfungsi mengisi rongga antar agregat. Penambahan serbuk PVC 3%, 6%, dan 9% menunjukkan penurunan nilai VIM dan VMA secara bertahap akibat sifat serbuk PVC yang halus dan kadar aspal yang tinggi, sehingga rongga antar agregat terisi lebih optimal. Penurunan nilai VIM menunjukkan peningkatan kepadatan pada campuran karena volume rongga udara berkurang (Sulandari et al., 2024).

Nilai VFA tertinggi diperoleh pada campuran dengan kadar serbuk PVC 9% dan kadar aspal optimum 6,5%, yang menunjukkan bahwa volume rongga terisi aspal meningkat seiring dengan tingginya kadar *filler* dan aspal. Nilai VFA yang tinggi meningkatkan adhesi dan ketahanan terhadap penetrasi air, namun nilai VFA yang terlalu tinggi juga dapat membuat campuran menjadi lebih padat yang menyebabkan risiko terjadinya *bleeding* (aspal keluar ke permukaan saat suhu terlalu tinggi) sehingga tidak cocok digunakan pada daerah yang panas atau memiliki beban lalu lintas yang berat (Sulandari et al., 2024).

Nilai stabilitas maksimum diperoleh pada campuran dengan kadar serbuk PVC sebesar 6% dan kadar aspal optimum 6,5%. Kondisi ini menunjukkan adanya titik keseimbangan antara jumlah *filler* dan aspal, sehingga menghasilkan struktur campuran yang padat dan stabil. Penambahan serbuk PVC hingga titik optimum berkontribusi dalam meningkatkan stabilitas melalui pengisian rongga antar agregat. Namun, ketika kadar serbuk PVC melebihi 6%, seperti pada kadar 9%, stabilitas menurun akibat kelebihan *filler* yang mengganggu *interlocking* dan kohesi antar partikel agregat (Linggo & Kurniawan, 2015).

Nilai *flow* pada campuran dengan tambahan serbuk PVC lebih rendah daripada campuran tanpa tambahan serbuk PVC. Hal ini terjadi karena campuran dengan tambahan serbuk PVC cenderung lebih padat dan lebih kaku. Nilai *flow* merupakan indikator seberapa kaku sebuah campuran, semakin kaku campuran maka akan semakin rendah nilai *flow* yang dihasilkan. Nilai *flow* yang terlalu rendah dapat menyebabkan campuran menjadi lebih mudah retak saat menerima beban berat dan mengurangi daya tahan (durabilitas) terhadap getaran atau beban berulang (Sulandari et al., 2024). Pada penelitian ini, nilai *flow* masih memenuhi spesifikasi teknis yaitu 2 mm – 4 mm.

Nilai MQ (*Marshall Quotient*) merupakan rasio stabilitas dengan *flow*, oleh karena itu nilai MQ berbanding lurus dengan nilai stabilitas. Nilai MQ mengalami peningkatan hingga mencapai titik optimum, namun setelah melewati kadar tersebut, nilainya mulai menurun. Hal ini menandakan bahwa penambahan serbuk PVC dapat meningkatkan fleksibilitas campuran ketika digunakan dalam jumlah

yang sesuai. Jika kadar serbuk PVC terlalu banyak, maka campuran menjadi lebih kaku sehingga rentan mengalami retak (Linggo & Kurniawan, 2015).

5.5 Analisis Proporsi Ideal yang Memenuhi Karakteristik Campuran Aspal Beton

Setelah diketahui bahwa nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada kadar aspal 6,5%, maka seluruh variasi kadar serbuk PVC dibandingkan dengan menggunakan kadar aspal tersebut. Tujuan perbandingan ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan serbuk PVC sebagai pengganti *filler* terhadap campuran, dengan tetap mempertahankan kadar aspal yang menghasilkan stabilitas tertinggi.

Tabel 5.34 Hasil Analisis Proporsi Ideal Penambahan Serbuk PVC

Karakteristik <i>Marshall</i>	Kadar Serbuk PVC (%)	Kadar Aspal (%)	Hasil Pengujian (Kg)
Stabilitas (Kg)	0	6,5	1101,91
	3	6,5	1125,55
	6	6,5	1143,73
	9	6,5	1049,18

(Sumber: Analisis Penulis, 2025)

Berdasarkan Tabel 5.34, nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada campuran dengan kadar serbuk PVC 6% dan kadar aspal optimum 6,5%, yaitu sebesar 1143,73 kg. Proporsi ini dianggap ideal karena seluruh parameter *Marshall* memenuhi spesifikasi teknis. Nilai stabilitas merupakan kemampuan campuran dalam menahan beban lalu lintas sebelum terjadi deformasi atau kerusakan (Sulandari et al., 2024).

5.6 Kelebihan dan Kekurangan Serbuk PVC sebagai *Filler* dalam Campuran AC-WC

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil berupa beberapa kelebihan dan kekurangan serbuk PVC yang digunakan sebagai *filler* dalam campuran AC-WC. Pada penelitian ini, pengaruh penambahan serbuk PVC sebagai *filler* diantaranya adalah meningkatkan nilai VIM, menurunkan nilai VMA, menurunkan nilai VFA, meningkatkan nilai stabilitas, menurunkan nilai *flow*, dan meningkatkan nilai MQ.

Tabel 5.35 Kelebihan dan Kekurangan Serbuk PVC sebagai *Filler* dalam Campuran AC-WC

No.	Kelebihan	Kekurangan
1.	Meningkatkan stabilitas campuran aspal, sehingga membuatnya lebih tahan terhadap deformasi akibat beban lalu lintas.	Membuat lapisan aspal menjadi berpori dan rentan terhadap kerusakan akibat air dan oksidasi.
2.	Membuat aspal menjadi lebih tahan terhadap suhu tinggi.	Membuat campuran kaku sehingga cenderung rentan terhadap retak

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)

5.7 Perbandingan Pengaruh Penggunaan *Filler* Serbuk PVC pada Aspal Modifikasi Polimer dan Aspal Penetrasi 60/70

Dalam penelitian ini digunakan variasi penambahan serbuk PVC sebesar 0%, 3%, 6%, dan 9%. Apabila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh (Rasul & Sari, 2022), yang menggunakan variasi serbuk PVC 0%, 2%, 4%, dan 6% pada campuran Laston lapis aus dengan aspal penetrasi 60–70, maka perbandingan hasil karakteristik *Marshall* dari kedua penelitian dapat dirangkum dalam tabel berikut.

Tabel 5.36 Perbandingan Pengaruh Penggunaan *Filler* Serbuk PVC pada Aspal Modifikasi Polimer dan Aspal Penetrasi 60/70

Karakteristik <i>Marshall</i>	Aspal Modifikasi Polimer	Aspal Penetrasi 60-70
VIM	Meningkat	Menurun
VMA	Meningkat	Menurun
VFA	Meningkat	Meningkat
Stabilitas	Meningkat hingga kadar PVC 6%	Meningkat hingga kadar PVC 6%
<i>Flow</i>	Menurun	Menurun
<i>Marshall Quotient</i>	Meningkat	Meningkat

(Sumber: Analisa Penulis, 2025)