Jurnal Teknik
Vol. 01 No.01 Oktober 2021
Page : 01-10

S I L I T E K
ISSN 2808-5825 (Online)

PENGARUH ABU BATU SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC TERHADAP KEKUATAN DAN STABILITAS

Arrahman RA[1], Hamka[2], Misbahuddin[3]
[1] insinyur.act@gmail.com
[2] hamka1974.wakkang@gmail.com
[3] umpar.misbah@gmail.com

ABSTRAK

Abu batu merupakan limbah hasil pemrosesan batu yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (filler) dalam konstruksi perkerasan jalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan abu batu sebagai filler pada campuran aspal AC-WC terhadap karakteristik kekuatan dan stabilitas campuran. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen di laboratorium dengan variasi kadar abu batu sebesar 0%, 5%, dan 10%, serta kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6%. Setiap variasi diuji menggunakan uji Marshall untuk mengukur parameter stabilitas, flow, dan voids in mineral aggregate (VMA). Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan abu batu secara umum meningkatkan nilai stabilitas dan flow campuran aspal. Nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada campuran dengan 10% abu batu dan kadar aspal 5,5%, yaitu sebesar 1903,47 kg, yang memenuhi spesifikasi minimum Bina Marga. Demikian pula, nilai VMA dan flow yang dihasilkan juga berada dalam rentang spesifikasi yang ditetapkan. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa abu batu layak digunakan sebagai filler alternatif dalam campuran aspal AC-WC, dengan komposisi optimal sebesar 10% abu batu dan 5,5% kadar aspal. Temuan ini mendukung penggunaan material lokal yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan dalam pembangunan infrastruktur jalan.

Kata Kunci : abu batu, campuran aspal AC-WC, stabilitas Marshall

@2021 Penerbit : Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai

1 PENDAHULUAN

Penggunaan abu batu sebagai filler dalam campuran aspal kini semakin banyak dibahas dalam dunia penelitian teknik sipil. Abu batu, yang merupakan limbah dari proses pengolahan batu, memiliki potensi untuk meningkatkan kualitas campuran aspal [1]. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa menambahkan abu batu dapat memperbaiki stabilitas dan kekuatan campuran aspal, serta mengurangi kerusakan pada permukaan jalan [2]. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Prasetyo dan Nugroho menunjukkan bahwa variasi kadar abu batu dalam campuran aspal memiliki dampak signifikan terhadap karakteristik mekanik campuran tersebut [3]. menekankan pentingnya pemilihan material filler yang tepat untuk mencapai performa yang diinginkan dalam campuran aspal. Mereka menemukan bahwa penggunaan abu batu dapat mengurangi rongga dalam campuran, sehingga meningkatkan daya tahan terhadap beban lalu lintas dan memperpanjang umur jalan[4]. Dari sudut pandang keberlanjutan, pemanfaatan abu batu sebagai filler juga memberikan keuntungan dari segi ekonomi dan lingkungan. Menggunakan

material lokal seperti abu batu dapat mengurangi biaya transportasi dan dampak lingkungan akibat pengambilan material dari lokasi yang lebih jauh [5]. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Hidayat dan Kurniawan yang menyatakan bahwa penggunaan material lokal dapat meningkatkan efisiensi dalam proyek konstruksi [6]. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menggali lebih dalam pengaruh abu batu sebagai filler dalam campuran aspal terhadap kekuatan dan stabilitas campuran [7]. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material konstruksi yang lebih efisien dan ramah lingkungan, serta memberikan rekoh fmendasi bagi industri konstruksi dalam pemilihan material yang tepat [8]. Selain itu, dalam konteks desain campuran aspal modern, pemilihan filler yang sesuai sangat menentukan kualitas akhir dari perkerasan jalan [9]. Filler berfungsi mengisi rongga antar agregat sehingga mampu meningkatkan kepadatan dan kohesi campuran [10]. penggunaan filler yang berasal dari limbah industri seperti abu batu mampu memberikan nilai tambah pada konstruksi jalan dengan biaya yang lebih rendah dan performa teknis yang setara dengan filler konvensional [11]. Penggunaan abu batu juga dinilai efektif dalam meningkatkan nilai Marshall stability, yang merupakan indikator utama dalam menentukan daya dukung campuran aspal [12]. Sejalan dengan pendekatan ramah lingkungan, pemanfaatan abu batu sebagai material alternatif telah mendapat perhatian lebih dalam pembangunan infrastruktur berkelanjutan [13]. Penggunaan bahan sisa produksi seperti abu batu dapat mengurangi jumlah limbah yang mencemari lingkungan dan sekaligus menghemat penggunaan sumber daya alam non-terbarukan seperti pasir alam [14]. Lebih lanjut, sesuai dengan prinsip circular economy dalam sektor konstruksi, pemanfaatan limbah abu batu sebagai filler mendukung efisiensi material serta mendorong terciptanya inovasi pada teknologi perkerasan jalan [15].

Tujuan Penelitian

1) Untuk mengetahui pengaruh variasi kadar abu batu terhadap kekuatan mekanik dan stabilitas campuran aspal
2) Untuk mengetahui ketahanan abu batu terhadap peningkatan campuran aspal.

2. METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian

Metode yang digunakan yaitu metode experimen, yang merupak penelitian yang dilakukan dengan cara melakukan suatu percobaan untuk memperoleh data atau hasil dilakukan di laboratorium, penelitian ini menggunakan Abu Batu.

Prosedur Penelitian

Persiapan Penelitian,Akan mengidentifikasi masalah dan merumuskan tujuan penelitian. Pengumpulan Data Awal, Sebelum melaksanakan penelitian lapangan, peneliti akan mengumpulkan data awal mengenai lokasi penelitian. Pengumpulan Bahan, Peneliti akan mengumpulkan semua bahan yang diperlukan untuk penelitian, termasuk aspal, agregat kasar, agregat halus, dan abu batu. Pembuatan Sampel di Lokasi Penelitian, Setelah bahan terkumpul, peneliti akan melakukan pencampuran bahan di lokasi penelitian. Sampel yang telah dibuat akan dibawa ke laboratorium untuk dilakukan pengujian. Analisis Data, Setelah pengujian selesai, peneliti akan mengumpulkan dan mengolah data hasil pengujian. Peneliti akan menyusun laporan penelitian yang mencakup metodologi, hasil, analisis, dan kesimpulan. Laporan harus disusun dengan jelas dan sistematis, serta mencakup rekomendasi berdasarkan hasil penelitian. Presentasi Hasil Penelitian, Hasil penelitian akan disampaikan kepada pihak terkait, seperti dosen, rekan peneliti, atau dalam forum akademik. Evaluasi dan Tindak Lanjut, Setelah presentasi, peneliti akan melakukan evaluasi terhadap proses penelitian untuk mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan yang ada.

Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian mengenai pengaruh abu batu sebagai filler dalam campuran aspal, pengumpulan data dilakukan melalui serangkaian langkah dan prosedur yang terstruktur.

Teknik Analisis Data

1) Analisis Deskriptif

Analisis data kuantitatif deskriptif merupakan metode yang membantu menggambarkan, menunjukkan atau meringkas data dengan cara yang konstruktif yang mengacu pada gambaran statistik yang membantu memahami detail data dengan meringkas dan menemukan pola dari sampel data tertentu.

2) Analisis Variant

Analisis variansi atau ANOVA merupakan bagian dari metoda analisis statistika yang tergolong analisis komparatif lebih dari dua rata-rata.

3) Uji tukey (Post Hoc Test)

Jika ANOVA menunjukkan adanya perbedaan signifikan, uji Tukey dapat dilakukan sebagai analisis lanjutan untuk menentukan kelompok mana yang berbeda secara signifikan. Uji ini membantu dalam memahami perbedaan spesifik antara variasi campuran aspal.

3. Hasil dan Pembahasan

Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat pada penelitian ini terdiri dari pengujian berat jenis agregat kasar dan agregat halus.

1) Berat jenis agregat kasar 1-2

Hasil pengujian terhadap agregat kasar 1-2 berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar 1-2
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2025).

No.	Perhitungan	Hasil pemeriksaan	Spek	Satuan	Ket.
1	Berat jenis bulk	2.54			Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2.60	Min 2.5	Gr	Memenuhi
3	Berat jenis semu	2.69			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	2.13	Maks. 3	%	Memenuhi

2) Berat jenis agregat kasar 0,5-1

Hasil pengujian terhadap agregat kasar 0.5-1 berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar 0.5-1
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2025)

No.	Perhitungan	Hasil pemeriksaan	Spek	Satuan	Ket.
1	Berat jenis bulk	2.78			Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2.82	Min 2.5	Gr	Memenuhi
3	Berat jenis semu	2.91			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	1.61	Maks. 3	%	Memenuhi

3) Berat Jenis Agregat Halus (Abu batu)

Hasil pengujian terhadap agregat halus berdasarkan Spesifiasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 3. Berat jenis dan penyerapan agregat halus

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2025).

No.	Perhitungan	Hasil pemeriksaan	Spek	Satuan	Ket.
1	Berat jenis bulk	2.53			Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2.55	Min 2.5	Gr	Memenuhi
3	Berat jenis semu	2.59			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	0.92	Maks. 3	%	Memenuhi

Pemeriksaan keausan agregat kasar (abrasi)

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar (Abrasi) 500 Putaran
(Sumber: Pengujian Laboratorium 2025).

Saringan		Berat		Spek
Lolos	Tertahan	Sebelum (gr)	Sesudah (gr)	
19 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	2500		
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	2500		
Jumlah Berat (gram)		5000		
Berat TertahanBerat Tertahan Saringan No. 12 (gram)		5000	4216.4	
Persen Keausan			15.67%	Maks.30%

Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat

1) Analisa saringan agregat kasar 1-2

Tabel 5. Hasil pengujian analisa saringan agregat 1-2
(Sumber : Pengujian Laboratorium 2025).

	SAMPEL 1				SAMPEL 2				
No. saringan	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	Rata - Rata
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
1/2"	492.20	32.81	32.81	67.19	618.50	41.23	41.23	58.77	62.98
3/8"	416.00	27.73	60.55	39.45	367.40	24.49	65.73	34.27	36.86
4	354.80	23.65	84.20	15.80	344.90	22.99	88.72	11.28	13.54
8	83.80	5.59	89.79	10.21	94.80	6.32	95.04	4.96	7.59
16	8.00	0.53	90.32	9.68	5.00	0.33	95.37	4.63	7.15
30	2.60	0.17	90.49	9.51	0.50	0.03	95.41	4.59	7.05
50	4.30	0.29	90.78	9.22	0.00	0.00	95.41	4.59	6.91
100	2.40	0.16	90.94	9.06	0.00	0.00	95.41	4.59	6.83
200	1.60	0.11	91.05	8.95	1.10	0.07	95.48	4.52	6.74
Pan	134.30	8.95	100.00	0.00	67.80	4.52	100.00	0.00	0.00
Jumlah	1500.00	100.00			1500.00	100.00			

2) Analisa saringan agregat kasar 0,5-1

Tabel 6. Hasil analisa saringan agregat kasar nikel 0,5-1
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2025)

	SAMPEL 1				SAMPEL 2				
No. Saringan	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	Rata - Rata
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
3/8"	219.60	14.64	14.64	85.36	236.40	15.76	15.76	84.24	84.80
4	684.10	45.61	60.25	39.75	708.30	47.22	62.98	37.02	38.39
8	426.90	28.46	88.71	11.29	418.10	27.87	90.85	9.15	10.22
16	103.40	6.89	95.60	4.40	93.20	6.21	97.07	2.93	3.67
30	52.40	3.49	99.09	0.91	30.30	2.02	99.09	0.91	0.91
50	0.70	0.05	99.14	0.86	0.60	0.04	99.13	0.87	0.87
100	0.70	0.05	99.19	0.81	1.80	0.12	99.25	0.75	0.78
200	0.00	0.00	99.19	0.81	2.70	0.18	99.43	0.57	0.69
Pan	12.20	0.81	100.00	0.00	8.60	0.57	100.00	0.00	0.00
Jumlah	1500.00	100.00			1500.00	100.00			

3) Analisa saringan agregat halus (abu batu)

Tabel 7. Hasil analisa saringan agregat halus (abu batu)
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2025)

	SAMPEL 1				SAMPEL 2				
No. Saringan	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	Rata - Rata
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
4	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
8	178.30	11.89	11.89	88.11	155.40	10.36	10.36	89.64	88.88
16	452.90	30.19	42.08	57.92	433.90	28.93	39.29	60.71	59.32
30	334.20	22.28	64.36	35.64	333.80	22.25	61.54	38.46	37.05
50	158.60	10.57	74.93	25.07	169.50	11.30	72.84	27.16	26.11
100	127.40	8.49	83.43	16.57	145.10	9.67	82.51	17.49	17.03
200	63.60	4.24	87.67	12.33	76.30	5.09	87.60	12.40	12.37
Pan	185.00	12.33	100.00	0.00	186.00	12.40	100.00	0.00	0.00
Jumlah	1500.00	100.00			1500.00	100.00			

Hasil Pemeriksaan Sifat-Sifat Aspal

Pengujian sifat aspal terdiri dari pengujian berat jenis aspal, pengujian titik lembek, pengujian kehilangan berat aspal, dan pengujian penetrasi. Pada pemeriksaan aspal merujuk pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Dari hasil pemeriksaan aspal diperoleh data pada tabel berikut

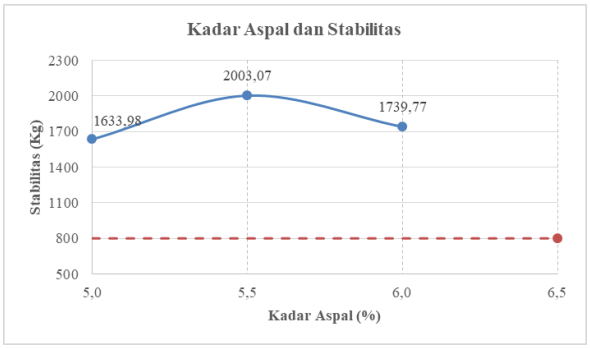
Tabel 8. Hasil pengujian aspal
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2025)

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spek	Satuan	Keterangan
1	Berat jenis aspal	1,01	≥ 1,0	gr/cc	Memenuhi
2	Titik lembek aspal	49	≥ 48	^{0}C	Memenuhi
3	Kehilangan berat aspal	0,4	≤ 0,8	0,1 mm	Memenuhi
4	Penetrasi pada 25^{0}C	68	60-70	%	Memenuhi

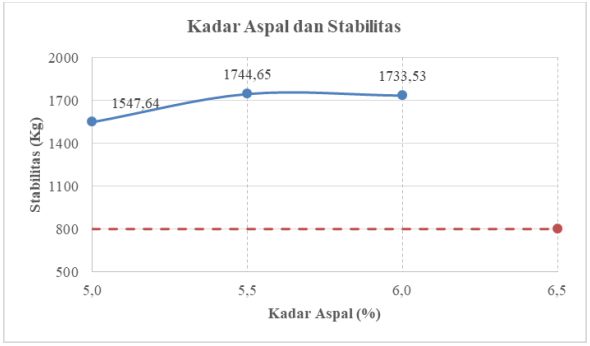
Hasil Pengujian Marshall

1) Stabilitas

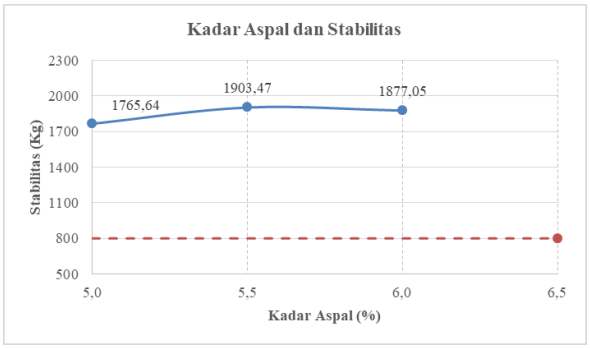
Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik hubungan nilai stabilitas dengan kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% pada campuran filler 0%, 5%, dan 10% dapat dilihat pada gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 dibawah ini.



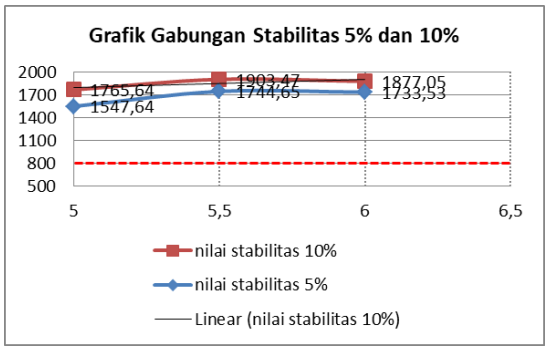
Gambar 1. Grafik hubungan antara kadar aspal dangan stabilitas pada campuran aspal normal 5%, 5,5%, dan 6% (Sumber : Hasil olah data 2025)



Gambar 2. Grafik hubungan antara kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% dengan stabilitas pada campuran abu batu 5%. (Sumber : Hasil olah data 2025)



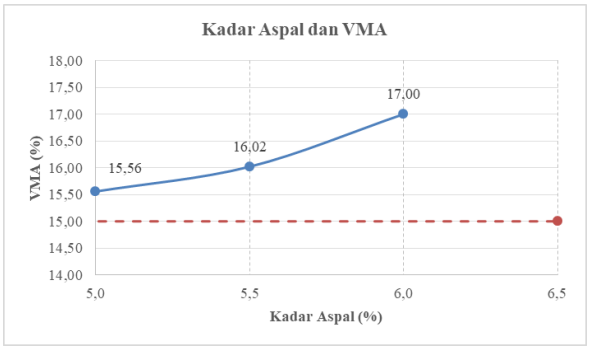
Gambar 3. Grafik hubungan antara kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% dengan stabilitas pada campuran abu batu 10%. (Sumber : Hasil olah data 2025)



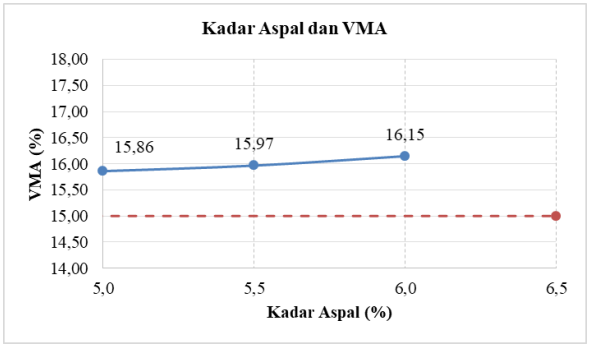
Gambar 4. Grafik Gabungan Stabilitas 5% dan 10% (Sumber Olah Data 2025)

2) Rongga diantara agregat (VMA)

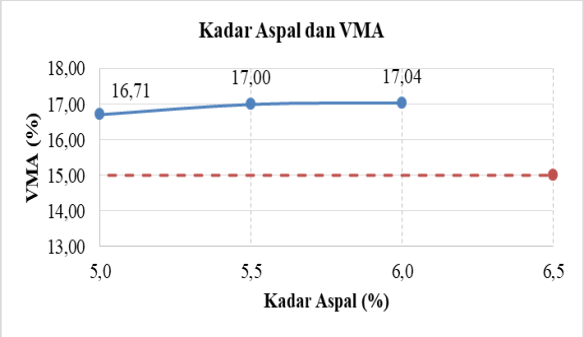
Nilai VMA yang didapat pada kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% dengan campuran abu batu 0%, 5%, dan 10% dapat dilihat pada gambar 4.7- 4.9.



Gambar 5. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan VMA pada campuran aspal normal 5%, 5,5%, dan 6%. (Sumber : Hasil olah data 2025)



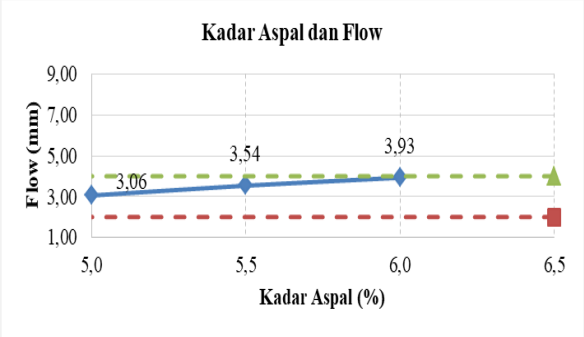
Gambar 6. Grafik hubungan antara kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% dengan VMA pada campuran abu batu 5%. (Sumber : Hasil olah data 2025)



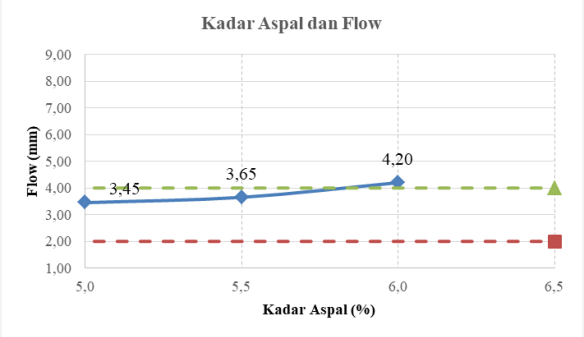
Gambar 7. Grafik hubungan antara kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% dengan VMA pada campuran filler serbuk batu kapur 10%. (Sumber : Hasil olah data 2025)

3) Kelelahan (Flow)

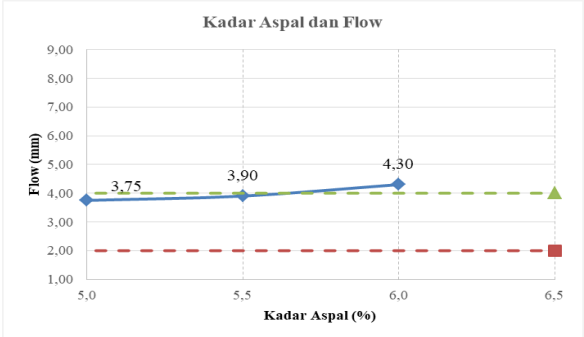
Nilai flow didapat pada aspal normal serta penambahan abu batu dapat dilihat pada gambar 4.10-4.12.



Gambar 8. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan flow pada campuran aspal normal 5%, 5,5%, dan 6%. (Sumber : Hasil olah data 2025)



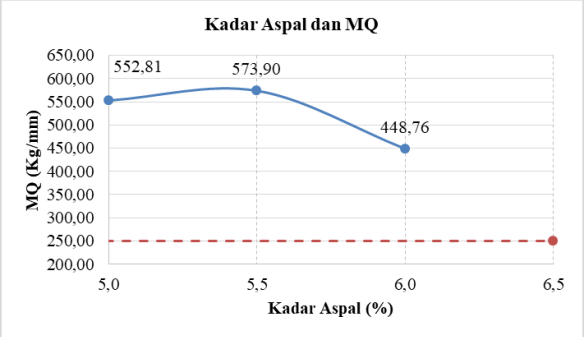
Gambar 9. Grafik hubungan antara kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% dengan flow pada campuran abu batu 5%. (Sumber : Hasil olah data 2025)



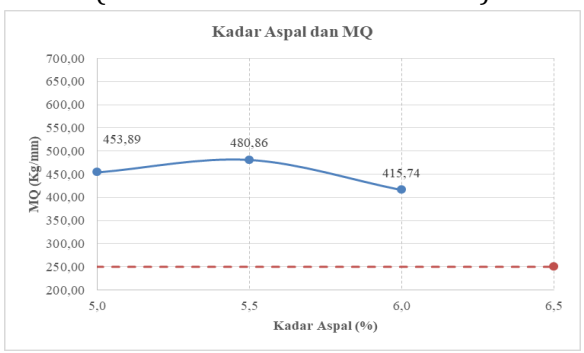
Gambar 10. Grafik hubungan antara kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% dengan flow pada campuran abu batu 10%. (Sumber : Hasil olah data 2025)

4) MQ (Kg/mm)

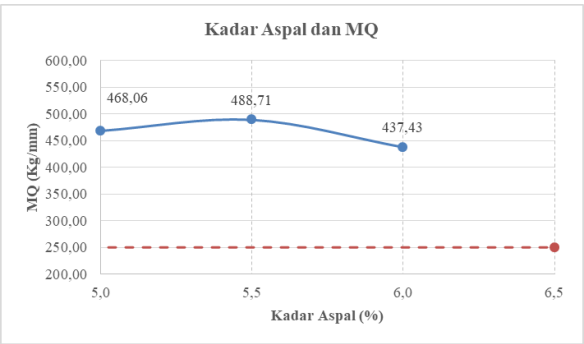
Nilai MQ yang didapat pada campuran aspal normal serta penambahan abu batu dapat dilihat pada gambar 4.13- 4.15



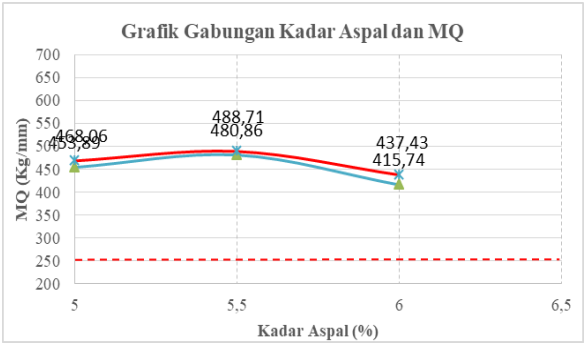
Gambar 11. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan MQ pada campuran aspal normal 5%, 5,5%, dan 6%. (Sumber : Hasil olah data 2025)



Gambar 12. Grafik hubungan antara kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% dengan MQ pada campuran abu batu 5%. (Sumber : Hasil olah data 2025)

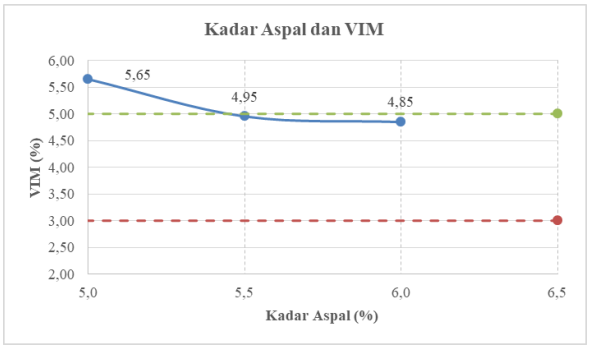


Gambar 13. Grafik hubungan antara kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% dengan MQ pada campuran abu batu10%. (Sumber : Hasil olah data 2025)

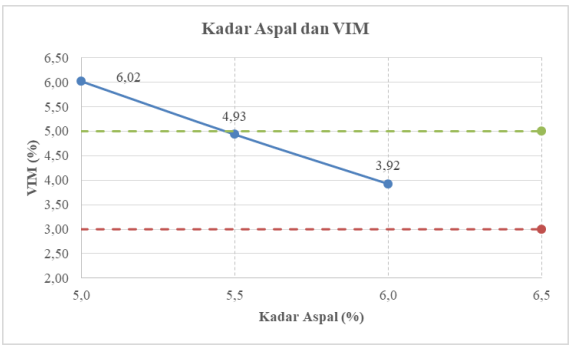


Gambar 14. Grafik gabungan antara kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% dengan MQ pada campuran abu batu 5% dan 10%. (Sumber : Hasil olah data 2025)

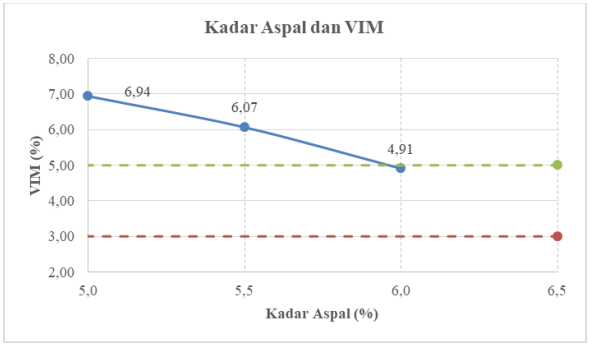
5) Rongga Terhadap Campuran (VIM)



Gambar 15. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan VIM pada campuran aspal normal 5%, 5,5%, dan 6%. (Sumber : Hasil olah data 2025)



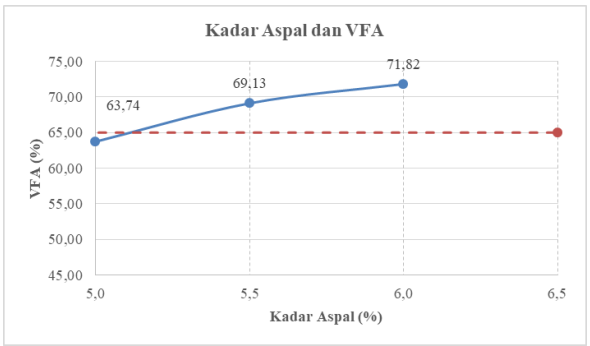
Gambar 16. Grafik hubungan antara kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% dengan VIM pada campuran abu batu 5%. (Sumber : Hasil olah data 2025)



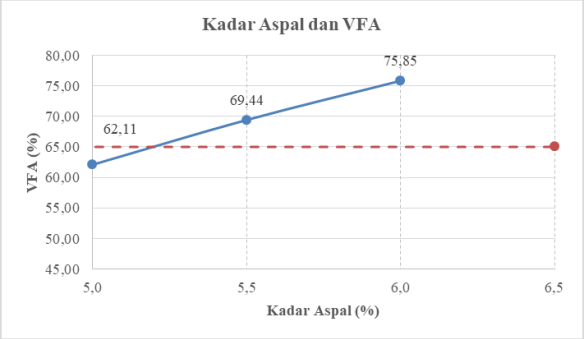
Gambar 17. Grafik hubungan antara kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% dengan VIM pada campuran abu batu 10%. (Sumber : Hasil olah data 2025)

6) Rongga Terisi Aspal (VFA)

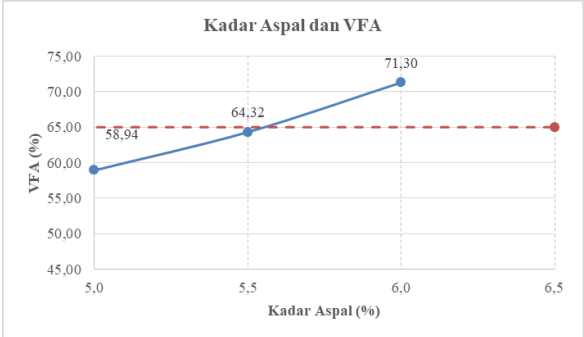
Nilai voids filleds (VFA) didapat pada aspal normal serta penggunaan bahan abu batu dapat dilihat pada gambar 4.19- 4.21.



Gambar 18. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan VFA pada campuran aspal normal 5%, 5,5%, dan 6%. (Sumber : Hasil olah data 2025)



Gambar 19. Grafik hubungan antara kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% dengan VFA pada campuran abu batu 5%. (Sumber : Hasil olah data 2025)



Gambar 20. Grafik hubungan antara kadar aspal 5%, 5,5%, dan 6% dengan VFA pada campuran abu batu 10%. (Sumber : Hasil olah data 2025)

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut :

1) Variasi kadar Aspal pada campuran abu batu 5% menghasilkan stabilitas sebesar 1733,53 kg, yang menunjukkan bahwa penambahan abu batu 5% pada kadar aspal ini sudah mampu memberikan kestabilan yang baik dan melebihi batas minimum spesifikasi Bina Marga (≥800 kg). Variasi kadar aspal pada campuran abu batu 10% memberikan nilai stabilitas sebesar 1765.64 kg, yang jauh di atas batas minimum (800 kg) sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Ini membuktikan bahwa abu batu 10% mampu meningkatkan kekuatan campuran secara signifikan.
2) Berdasarkan hasil pengujian parameter Marshall, nilai Marshall Quotient (MQ) tertinggi diperoleh pada komposisi campuran aspal dengan filler abu batu sebesar 10% dan kadar aspal 5,5%, yaitu MQ 488,71 kg/mm. Nilai ini berada di atas batas minimum spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yang berarti campuran memiliki kekuatan dan kekakuan yang baik dalam menahan beban lalu lintas. Peningkatan nilai MQ pada penambahan abu batu menunjukkan bahwa filler ini efektif meningkatkan rasio antara stabilitas dan flow, sehingga campuran aspal menjadi lebih kaku namun tetap memiliki kelenturan yang memadai. Hal ini berdampak positif terhadap ketahanan perkerasan jalan, terutama dalam menghadapi deformasi plastis akibat beban berulang. Dengan demikian, penggunaan abu batu sebagai filler pada kadar 10% terbukti mampu meningkatkan ketahanan campuran aspal terhadap deformasi dan retak dini, mendukung pemanfaatan material lokal yang ekonomis dan ramah lingkungan, serta memenuhi standar mutu yang berlaku.

Saran

1) Penggunaan Abu Batu 10% Disarankan: Berdasarkan hasil pengujian, kadar abu batu sebesar 10% merupakan pilihan yang paling ideal untuk campuran aspal AC-WC dari segi kekuatan, stabilitas, dan efisiensi material.
2) Perlu dilakukan uji lanjutan dalam skala lapangan: Karena penelitian ini dilakukan di laboratorium, maka perlu pengujian lebih lanjut di kondisi nyata (lapangan) untuk melihat efek variabel lingkungan dan beban lalu lintas sebenarnya.

3) Standardisasi kualitas abu batu: Mengingat kualitas abu batu dapat bervariasi tergantung sumbernya, maka perlu ada proses kontrol mutu secara ketat sebelum digunakan secara massal di proyek jalan raya.
4) Kajian dampak lingkungan dan ekonomi: Penelitian lanjutan dapat memperdalam manfaat ekonomi dan ekologi penggunaan abu batu, terutama sebagai material lokal pengganti filler konvensional.

Daftar Rujukan

[1] Y. Anggraini, "Analisa Kinerja Campuran AC-WC dengan Pemanfaatan Kombinasi Limbah Abu Bata dan Abu Serbuk Kayu Sebagai Filler," vol. 02, 2020.

[2] Y. Pane, D. Sri, and P. Sari, "Analisa Semen Portand Dan Abu Batu Sebagai Filler Dengan Marshall Dan Durabilitas Aspal Hotmix (AC – WC)," vol. 1, no. 2, 2021.

[3] A. Ravi, B. Ses, and E. Polonia, "KAJIAN PARAMETER MARSHALL LIMBAH CANGKANG ALE-ALE DAN ABU BATU SEBAGAI FILLER CAMPURAN LAPIS ASPAL BETON," vol. 7, no. 1, pp. 7–17, 2023.

[4] M. Salim, "VARIASI PERSENTASE ABU BATU TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL DALAM CAMPURAN HRS BASE," 2021.

[5] R. Pradhipta, N. Rahmayanti, A. U. Jamal, and A. Hardawati, "PENGARUH PENGGUNAAN ABU BATU SEBAGAI SUBSTITUSI PARSIAL AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK BETON PADA MUTU 30 MPa," vol. 2, no. 1, 2022.

[6] D. H. Tsabit *et al.*, "PENGGUNAAN BAHAN-BAHAN ALTERNATIF PADA BAHAN KONSTRUKSI BANGUNAN," vol. 05, pp. 211–216, 2023.

[7] D. R. Basri, P. Ningrum, and A. Adi, "Analisis Pengaruh Penggunaan Fly Ash Batu Bara Dan Abu Batu Sebagai Filler Pada Campuran Laston Lapis Aus (Ac-Wc)," vol. 1, 2024.

[8] J. B. Wtp, "Penggunaan Abu Batu Sebagai Pengganti Sebagian Material Pasir," vol. 3, no. 2, pp. 40–43, 2022.

[9] D. A. D. Purnamawanti, "Beton self compacting concrete ramah lingkungan yang berkelanjutan dengan pemanfaatan limbah abu marmer, abu sekam padi dan abu batu," vol. 28, no. 1, pp. 36–45, 2023.

[10] D. Pranata, P. Ambali, and M. L. Paembonan, "Karakterisasi serbuk kaca sebagai substitusi parsial semen terhadap sifat fisis-mekanis campuran beton," no. 2, 2019.

[11] A. Uwwes, A. Qurny, I. H. Puspito, and N. Tinumbia, "PENGARUH PENAMBAHAN BAHAN PENGISI (FILLER) FLY ASH TERHADAP CAMPURAN ASPAL BETON LAPIS AUS (ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE / AC- WC) (THE INFLUENCE ADDITION OF FLY ASH AS FILLER TO THE ASPHALT LAYER MIXTURE (ASPHALT," vol. 2, no. 1, pp. 87–97, 2022.

[12] M. Yacob, "PENGARUH KADAR FILLER ABU BATU KAPUR DAN ABU TEMPURUNG KELAPA TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL BETON AC-BC," vol. 7, no. 1, pp. 213–222, 2021.

[13] J. R. Soeprapto, N. Telp, K. I. Hulu, and R. Indonesia, "Pengaruh Penambahan Abu Batu Terhadap Mix Design Campuran Beton," vol. 1, no. 1, 2023.

[14] K. Samsul, Mustakim, "Pengaruh ukuran butir agregat kasar terhadap kapasitas kuat tekan dan nilai slump beton porous," vol. 3, no. 2, pp. 124–127, 2023.

[15] M. Hutahaean and N. Setiawati, "Pengelolaan Limbah Konstruksi Infrastruktur berbasis Circular Economy di Metropolitan Rebana (Circular Economy-based Infrastructure Construction Waste Management in Rebana Metropol ... Pengelolaan Limbah Konstruksi Infrastruktur berbasis Circular Economy di Metropolitan Rebana (Circular Economy-based Infrastructure Construction Waste Management in Rebana Metropolitan)," no. July, 2024.