TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 1, June 2026, page 737-747
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i1.9552

Transformasi Limbah Vulkanik Gunung Lewotobi menjadi Filler Alternatif pada Beton Aspal Lapis Permukaan: Studi Eksperimen dengan Metode Marshall

Dewi Anastasia Ipah Wuwur*, Vinsensius Budiman Pantas

Program Studi Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Kupang, Kupang, Indonesia
Email: [1,*]dewi.atw@gmail.com, [2]v.budiman.pantas@gmail.com
Email Penulis Korespondensi: dewi.atw@gmail.com

Abstrak–Aktivitas vulkanik Gunung Lewotobi menghasilkan abu vulkanik dalam jumlah besar yang hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal dan cenderung menjadi limbah lingkungan. Di sisi lain, kebutuhan filler dalam campuran beton aspal lapis permukaan (AC-WC) terus meningkat seiring dengan perkembangan infrastruktur jalan, sementara ketersediaan filler konvensional terbatas dan bergantung pada material tertentu. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan filler alternatif berbasis material lokal yang berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi abu vulkanik Gunung Lewotobi sebagai filler alternatif dalam campuran beton aspal lapis permukaan (AC-WC). Penelitian difokuskan pada evaluasi karakteristik fisik abu vulkanik serta pengaruh penggunaannya terhadap parameter Marshall campuran AC-WC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu vulkanik Gunung Lewotobi memiliki tingkat kehalusan yang memenuhi persyaratan sebagai filler. Penggunaan abu vulkanik sebagai filler alternatif menghasilkan nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, dan VFB yang berada dalam batas spesifikasi. Pada kadar filler tertentu, abu vulkanik mampu meningkatkan stabilitas dan kepadatan campuran tanpa mengurangi fleksibilitas secara signifikan. Luaran dari penelitian ini berupa rekomendasi teknis penggunaan abu vulkanik Gunung Lewotobi sebagai filler alternatif dalam campuran AC-WC, yang diharapkan dapat mendukung pemanfaatan material lokal, efisiensi sumber daya, serta penerapan konstruksi perkerasan jalan yang berkelanjutan, khususnya di wilayah Nusa Tenggara Timur..

Kata Kunci: Abu Vulkanik; Filler Alternatif; Beton Aspal; AC-WC; Marshall

Abstract–Volcanic activity at Mount Lewotobi produces large quantities of volcanic ash which, to date, has not been utilised to its full potential and tends to end up as environmental waste. On the other hand, the demand for fillers in asphalt concrete surface course (AC-WC) mixtures continues to rise in line with the development of road infrastructure, whilst the availability of conventional fillers is limited and dependent on specific materials. These circumstances highlight the need to develop sustainable alternative fillers based on local materials. This study aims to analyse the potential of volcanic ash from Mount Lewotobi as an alternative filler in surface-treated asphalt concrete (AC-WC) mixtures. The research focused on evaluating the physical characteristics of volcanic ash and the effect of its use on the Marshall parameters of the AC-WC mixture. The results of the study indicate that volcanic ash from Mount Lewotobi has a fineness that meets the requirements for use as a filler. The use of volcanic ash as an alternative filler produced stability, flow, VIM, VMA and VFB values that fell within the specification limits. At certain filler contents, volcanic ash was able to improve the stability and density of the mixture without significantly reducing its flexibility. The findings of this study take the form of technical recommendations for the use of volcanic ash from Mount Lewotobi as an alternative filler in AC-WC mixtures, which are expected to support the utilisation of local materials, resource efficiency and the implementation of sustainable road pavement construction, particularly in the East Nusa Tenggara region.

Keywords: Volcanic Ash; Alternative Filler; Asphalt Concrete; AC-WC; Marshall

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan tingkat aktivitas vulkanik yang tinggi, salah satunya adalah Gunung Lewotobi di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Letusan gunung berapi menghasilkan abu vulkanik dalam jumlah besar yang hingga saat ini pemanfaatannya masih terbatas dan cenderung menjadi limbah lingkungan (Rafi et al., 2025). Di sisi lain, pembangunan infrastruktur terus mengalami peningkatan, khususnya pada konstruksi dan pemeliharaan perkerasan jalan beraspal yang membutuhkan material filler dalam jumlah signifikan. Filler merupakan komponen penting dalam campuran beton aspal, khususnya pada lapis permukaan (AC-WC), karena berpengaruh terhadap kepadatan, stabilitas, dan durabilitas campuran. Filler yang umum digunakan antara lain abu batu atau semen, yang ketersediaannya terbatas pada lokasi tertentu serta memerlukan biaya distribusi yang relatif tinggi, terutama di wilayah kepulauan seperti Nusa Tenggara Timur. Kondisi tersebut mendorong perlunya pengembangan filler alternatif berbasis material lokal yang berpotensi menggantikan filler konvensional (Omranian et al., 2020). Abu vulkanik dari Gunung Lewotobi memiliki karakteristik partikel halus yang secara teoritis memenuhi syarat sebagai filler dalam campuran beton aspal. Namun demikian, pemanfaatan abu vulkanik Gunung Lewotobi sebagai filler alternatif dalam campuran AC-WC masih memerlukan kajian ilmiah yang komprehensif, khususnya terkait karakteristik material dan kinerja campuran berdasarkan parameter Marshall (Banggur et al., 2024). Pendekatan pemecahan masalah dalam penelitian ini dilakukan melalui metode eksperimen di laboratorium. Tahapan penelitian meliputi pengujian karakteristik fisik abu vulkanik Gunung Lewotobi, perancangan campuran beton aspal lapis permukaan (AC-WC), serta pengujian Marshall dengan variasi kadar filler abu vulkanik. Parameter Marshall yang dianalisis meliputi stabilitas, flow, Void in Mix (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), dan *Void Filled with Bitumen* (VFB). Seluruh pengujian dan evaluasi mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Pendekatan ini digunakan untuk memverifikasi secara analitis dan eksperimental fungsi serta karakteristik abu vulkanik sebagai filler alternatif. Penelitian mengenai pemanfaatan abu vulkanik sebagai material campuran aspal telah dilakukan di berbagai wilayah dengan karakteristik material yang berbeda-beda (Rahayu

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 1, June 2026, page 737-747
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i1.9552

& Lizar, 2025). Sebagian besar penelitian sebelumnya menggunakan abu vulkanik dari gunung tertentu atau fly ash sebagai pengganti filler konvensional. Namun, kajian yang secara khusus meneliti pemanfaatan abu vulkanik Gunung Lewotobi sebagai filler alternatif dalam campuran AC-WC masih sangat terbatas, terutama yang dianalisis berdasarkan parameter Marshall dan mengacu langsung pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Oleh karena itu, kebaruan penelitian ini terletak pada: Penggunaan abu vulkanik Gunung Lewotobi sebagai objek utama penelitian, Evaluasi karakteristik dan kinerja campuran AC-WC berbasis material lokal dari Nusa Tenggara Timur, Kontribusi terhadap pengembangan ilmu material perkerasan jalan berbasis sumber daya lokal (Berliana et al., 2026).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa beberapa material lokal memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan alternatif dalam campuran aspal, baik sebagai agregat maupun filler. Melalui penelitian ini, capaian penelitian sebelumnya dikembangkan lebih lanjut dengan memfokuskan pada abu vulkanik Gunung Lewotobi dan perannya sebagai filler alternatif dalam campuran AC-WC. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkuat dasar ilmiah dalam pemanfaatan material vulkanik lokal di bidang teknik sipil, khususnya pada perkerasan jalan.Penelitian oleh Sitohang dan Sinuhaji menguji kelayakan abu vulkanik dari Gunung Sinabung sebagai pengganti filler konvensional dalam aspal panas (Munir et al., 2025). Hasil penelitian menunjukkan bahwa abu vulkanik mampu mengisi rongga dalam campuran, memengaruhi parameter uji Marshall, dan dinilai layak sebagai pengganti filler standar pada kondisi tertentu (Fayissa et al., 2022). Pengujian praktikum mahasiswa di Universitas Gadjah Mada membandingkan abu vulkanik Gunung Kelud, semen, dan kapur sebagai filler dalam campuran aspal. Dalam penelitian yang dipublikasikan pada *Journal of Engineering and Technology*, abu vulkanik halus diuji sebagai pengganti filler basalt dalam aspal panas. Hasilnya menunjukkan bahwa abu vulkanik dapat menggantikan hingga sekitar 30% filler basalt dengan tetap memenuhi beberapa parameter Marshall ASTM, yang menunjukkan potensi umum abu vulkanik sebagai filler alternatif. Rangkaian penelitian direncanakan secara bertahap dan berkesinambungan untuk menghasilkan kajian yang komprehensif. Pada tahun 2025, penelitian difokuskan pada analisis karakteristik fisik serta gradasi abu vulkanik Gunung Lewotobi guna menilai potensinya sebagai filler alternatif. Tahap berikutnya pada tahun 2026 mengarah pada evaluasi kinerja Marshall campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) dengan memanfaatkan abu vulkanik tersebut sebagai bahan pengisi. Selanjutnya, pada tahun 2027 dilakukan pengujian lanjutan yang menitikberatkan pada ketahanan terhadap air melalui uji Indirect Tensile Strength (ITS) serta analisis durabilitas campuran. Pada tahun 2028, penelitian berkembang ke arah studi komparatif antara abu vulkanik dan filler konvensional seperti abu batu atau semen untuk mengidentifikasi keunggulan relatif masing-masing material. Akhirnya, pada periode 2029 hingga 2030, penelitian diarahkan pada penyusunan rekomendasi teknis serta eksplorasi potensi implementasi dalam skala lapangan, khususnya di wilayah Nusa Tenggara Timur.

2. METODELOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk mengevaluasi potensi abu vulkanik Gunung Lewotobi sebagai filler alternatif pada campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). Seluruh rangkaian pengujian dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya dan Bahan, Program Studi Perancangan Jalan dan Jembatan, Politeknik Negeri Kupang, dengan mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

Gambar 1. Diagram Alir

Copyright © 2026 the author, Page 738
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 1, June 2026, page 737-747
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i1.9552

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis mulai dari persiapan material, karakterisasi bahan, perancangan campuran, pengujian Marshall, hingga analisis data untuk memperoleh kesimpulan mengenai kelayakan abu vulkanik sebagai filler alternatif. Tahapan penelitian yang digunakan dalam studi ini disajikan pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan alur penelitian yang dimulai dari studi literatur, persiapan material, karakterisasi abu vulkanik, perancangan campuran AC-WC, pengujian Marshall, hingga analisis data dan penyusunan kesimpulan.

2.1 Tahap Persiapan

Tahap awal diawali dengan studi literatur untuk mengkaji teori mengenai filler pada campuran beton aspal, karakteristik abu vulkanik, serta penelitian terdahulu yang relevan. Selanjutnya dipersiapkan seluruh material penelitian yang terdiri atas aspal penetrasi 60/70, agregat kasar, agregat halus, filler konvensional, dan abu vulkanik Gunung Lewotobi. Seluruh prosedur penelitian disusun berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 agar metode dan parameter pengujian sesuai dengan ketentuan teknis yang berlaku.

2.2 Pengambilan dan Persiapan Abu Vulkanik

Abu vulkanik diambil dari kawasan sekitar Gunung Lewotobi yang terdampak erupsi. Material kemudian dibersihkan dari kotoran organik dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105 ± 5°C selama 24 jam hingga mencapai berat konstan. Setelah proses pengeringan, abu vulkanik diayak menggunakan saringan No. 200 (0,075 mm) sehingga diperoleh material yang memenuhi persyaratan sebagai filler dalam campuran AC-WC.

2.3 Pengujian Karakteristik Material

Karakterisasi dilakukan terhadap agregat, aspal, dan abu vulkanik sebelum digunakan dalam campuran. Pengujian agregat meliputi analisis saringan berdasarkan SNI ASTM C136, berat jenis dan penyerapan air mengacu pada SNI 1969:2016, sedangkan pengujian aspal meliputi penetrasi berdasarkan SNI 2456:2011, titik lembek berdasarkan SNI 2434:2011, dan berat jenis berdasarkan SNI 2441:2011. Analisis kehalusan filler dilakukan melalui pengujian distribusi ukuran butir menggunakan saringan No. 200 sesuai ketentuan Bina Marga 2018. Material yang memenuhi seluruh persyaratan selanjutnya digunakan dalam proses perancangan campuran.

2.4 Perancangan Campuran Beton Aspal (AC-WC)

Perancangan campuran dilakukan dengan menentukan proporsi agregat kasar, agregat halus, aspal, dan filler sesuai gradasi AC-WC pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Abu vulkanik digunakan sebagai pengganti filler dengan variasi kadar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap total kebutuhan filler untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik Marshall campuran. Seluruh komposisi campuran disiapkan dengan kadar aspal optimum hasil desain campuran sehingga pengaruh variasi filler dapat diamati secara objektif.

2.5 Pengujian Marshall

Setiap variasi kadar filler dibuat sebanyak tiga benda uji (briket) sehingga total benda uji yang digunakan dalam penelitian adalah 15 briket. Pembuatan benda uji dan pengujian Marshall dilakukan sesuai prosedur SNI 06-2489-1991 dan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Parameter yang diukur meliputi stabilitas, flow, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), Void Filled with Bitumen (VFB), serta densitas campuran. Seluruh hasil pengujian dibandingkan dengan batas spesifikasi AC-WC untuk menilai kelayakan campuran.

2.6 Analisis Data dan Evaluasi Hasil

Data hasil pengujian dianalisis menggunakan analisis deskriptif kuantitatif melalui penyajian tabel dan grafik hubungan antara variasi kadar filler dengan setiap parameter Marshall. Nilai rata-rata masing-masing parameter dibandingkan dengan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 untuk menentukan pengaruh penggunaan abu vulkanik terhadap kinerja campuran. Evaluasi dilakukan untuk mengidentifikasi kecenderungan perubahan karakteristik Marshall serta menentukan variasi kadar filler yang memberikan performa terbaik.

2.7 Penyusunan Kesimpulan dan Rekomendasi

Tahap akhir penelitian berupa penyusunan kesimpulan berdasarkan hasil analisis laboratorium dan evaluasi seluruh parameter Marshall. Selanjutnya disusun rekomendasi mengenai kelayakan pemanfaatan abu vulkanik Gunung Lewotobi sebagai filler alternatif pada campuran AC-WC serta saran untuk penelitian lanjutan dan implementasi pada skala lapangan:

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik awal material penyusun campuran dievaluasi melalui pengujian analisis saringan. Hasil analisis gradasi untuk masing-masing material disajikan pada Tabel 1 hingga Tabel 6. Tabel 1 menyajikan hasil analisis saringan pasir, Tabel 2 hasil analisis saringan abu batu, Tabel 3 hasil analisis saringan batu pecah 3/4, Tabel 4 hasil analisis saringan batu pecah 1/2, Tabel 5 hasil analisis saringan semen sebagai filler, dan Tabel 6 hasil analisis saringan pasir laut:

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 1, June 2026, page 737-747
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i1.9552

Tabel 1. Analisa Saringan Pasir

Material 1					Rata - rata	Material 2				
Ukuran Saringan		Komulatif				Ukuran Saringan		Komulatif		
Inci	Mm	Brt. Tertahan (Gr)	% Tertahan	% Lolos		Inci	Mm	Brt. Tertahan (Gr)	% Tertahan	% Lolos
1 1/2	37,5	0,0	0,0	100,0	100,0	1 1/2	37,5	0,0	0,0	100,0
1	25,4	0,0	0,0	100,0	100,0	1	25,4	0,0	0,0	100,0
3/4'	19	0,0	0,0	100,0	100,0	3/4'	19	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,7	0,0	0,0	100,0	100,0	1/2"	12,7	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,8	0,0	0,0	100,0	100,0	3/8"	9,8	0,0	0,0	100,0
4	4,75	2,8	0,5	99,5	99,6	4	4,75	1,7	0,3	99,7
8	2,35	67,1	11,1	88,9	88,6	8	2,35	60,2	11,6	88,4
16	1,18	238,7	39,6	60,4	60,9	16	1,18	199,9	38,7	61,3
30	0,6	384,7	63,9	36,1	36,3	30	0,6	328,4	63,5	36,5
50	0,3	502,4	83,4	16,6	16,8	50	0,3	428,9	82,9	17,1
100	0,15	592,2	98,3	1,7	2,0	100	0,15	505,8	97,8	2,2
200	0,075	601,7	99,9	0,1	0,3	200	0,075	515,2	99,6	0,4
Berat Contoh			602,5			Berat Contoh			517,2	

Tabel 2. Analisa Saringan Abu Batu

Material 1					Rata - rata	Material 2				
Ukuran Saringan		Komulatif				Ukuran Saringan		Komulatif		
Inci	Mm	Brt. Tertahan (Gr)	% Tertahan	% Lolos		Inci	Mm	Brt. Tertahan (Gr)	% Tertahan	% Lolos
1 1/2	37,5	0	0	100	100	1 1/2	37,5	0	0	100
1	25,4	0	0	100	100	1	25,4	0	0	100
3/4'	19	0	0	100	100	3/4'	19	0	0	100
1/2"	12,7	0	0	100	100	1/2"	12,7	0	0	100
3/8"	9,8	0	0	100	100	3/8"	9,8	0	0	100
4	4,75	0	0	100	100	4	4,75	0	0	100
8	2,35	71,2	10,8	89,2	88	8	2,35	95,4	13,3	86,7
16	1,18	282,4	42,8	57,2	57,8	16	1,18	298,9	41,5	58,5
30	0,6	412	62,4	37,6	40,1	30	0,6	413,5	57,5	42,5
50	0,3	484,3	73,3	26,7	29,7	50	0,3	484,1	67,3	32,7
100	0,15	540,4	81,8	18,2	20,4	100	0,15	556,7	77,4	22,6
200	0,075	561,1	85	15	16,4	200	0,075	590,9	82,1	17,9
Berat Contoh			660,4			Berat Contoh			719,4	

Tabel 3. Analisa Saringan Batu Pecah ¾

Material 1					rata - rata	Material 2				
Ukuran Saringan		Komulatif				Ukuran Saringan		Komulatif		
Inci	Mm	Brt. Tertahan (Gr)	% Tertahan	% Lolos		Inci	Mm	Brt. Tertahan (Gr)	% Tertahan	% Lolos
1 1/2	37,5	0	0	100	100	1 1/2	37,5	0	0	100
1	25,4	0	0	100	100	1	25,4	0	0	100
3/4'	19	0	0	100	100	3/4'	19	0	0	100
1/2"	12,7	4411	81,8	18,2	19,3	1/2"	12,7	4533,7	79,7	20,3
3/8"	9,8	5193,5	96,3	3,7	3,7	3/8"	9,8	5484,3	96,4	3,6
4	4,75	5379,3	99,7	0,3	0,3	4	4,75	5673,3	99,7	0,3
8	2,35	5381,4	99,8	0,2	0,3	8	2,35	5674,5	99,7	0,3
16	1,18	5381,7	99,8	0,2	0,2	16	1,18	5675,1	99,7	0,3
30	0,6	5382,1	99,8	0,2	0,2	30	0,6	5676,2	99,8	0,2
50	0,3	5382,7	99,8	0,2	0,2	50	0,3	5676,9	99,8	0,2
100	0,15	5384,2	99,8	0,2	0,2	100	0,15	5679	99,8	0,2
200	0,075	5388,2	99,9	0,1	0,1	200	0,075	5681,7	99,9	0,1
Berat Contoh			5394,7			Berat Contoh			5689,8	

Copyright © 2026 the author, Page 740
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 1, June 2026, page 737-747
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i1.9552

Tabel 4. Analisa Saringan Batu Pecah 1/2

Material 1					Rata - rata	Material 2				
Ukuran Saringan		Komulatif				Ukuran Saringan		Komulatif		
Inci	Mm	Brt. Tertahan (Gr)	% Tertahan	% Lolos		Inci	Mm	Brt. Tertahan (Gr)	% Tertahan	% Lolos
1 1/2	37,5	0,0	0,0	100,0	100,0	1 1/2	37,5	0,0	0,0	100,0
1	25,4	0,0	0,0	100,0	100,0	1	25,4	0,0	0,0	100,0
3/4'	19	0,0	0,0	100,0	100,0	3/4'	19	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,7	0,0	0,0	100,0	100,0	1/2"	12,7	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,8	29,8	1,4	98,6	97,5	3/8"	9,8	85,2	3,7	96,3
4	4,75	1276,4	59,3	40,7	34,4	4	4,75	1652,2	71,9	28,1
8	2,35	2087,8	97,0	3,0	3,1	8	2,35	2226,0	96,8	3,2
16	1,18	2121,4	98,6	1,4	1,3	16	1,18	2269,3	98,7	1,3
30	0,6	2124,0	98,7	1,3	1,2	30	0,6	2270,5	98,8	1,2
50	0,3	2125,5	98,8	1,2	1,2	50	0,3	2271,1	98,8	1,2
100	0,15	2129,0	99,0	1,0	1,0	100	0,15	2274,9	99,0	1,0
200	0,075	2133,4	99,2	0,8	0,7	200	0,075	2285,7	99,4	0,6
Berat Contoh		2151,4				Berat Contoh		2298,4		

Tabel 5. Analisa Saringan Semen

Material 1					Rata - rata	Material 2				
Ukuran Saringan		Komulatif				Ukuran Saringan		Komulatif		
Inci	Mm	Brt. Tertahan (Gr)	% Tertahan	% Lolos		Inci	Mm	Brt. Tertahan (Gr)	% Tertahan	% Lolos
1 1/2	37,5	0,0	0,0	100,0	100,0	1 1/2	37,5	0,0	0,0	100,0
1	25,4	0,0	0,0	100,0	100,0	1	25,4	0,0	0,0	100,0
3/4'	19	0,0	0,0	100,0	100,0	3/4'	19	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,7	0,0	0,0	100,0	100,0	1/2"	12,7	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,8	0,0	0,0	100,0	100,0	3/8"	9,8	0,0	0,0	100,0
4	4,75	0,0	0,0	100,0	100,0	4	4,75	0,0	0,0	100,0
8	2,35	0,0	0,0	100,0	100,0	8	2,35	0,0	0,0	100,0
16	1,18	0,0	0,0	100,0	100,0	16	1,18	0,0	0,0	100,0
30	0,6	0,0	0,0	100,0	100,0	30	0,6	0,0	0,0	100,0
50	0,3	0,0	0,0	100,0	100,0	50	0,3	0,0	0,0	100,0
100	0,15	0,0	0,0	100,0	100,0	100	0,15	0,0	0,0	100,0
200	0,075	12,0	0,6	99,4	99,5	200	0,075	12,0	0,5	99,5
Berat Contoh		500				Berat Contoh		500		

Tabel 6. Analisa Saringan Pasir Laut

Material 1					Rata - rata	Material 2				
Ukuran Saringan		Komulatif				Ukuran Saringan		Komulatif		
Inci	Mm	Brt. Tertahan (Gr)	% Tertahan	% Lolos		Inci	Mm	Brt. Tertahan (Gr)	% Tertahan	% Lolos
1 1/2	37,5	0,0	0,0	100,0	100,0	1 1/2	37,5	0,0	0,0	100,0
1	25,4	0,0	0,0	100,0	100,0	1	25,4	0,0	0,0	100,0
3/4'	19	0,0	0,0	100,0	100,0	3/4'	19	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,7	0,0	0,0	100,0	100,0	1/2"	12,7	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,8	0,0	0,0	100,0	100,0	3/8"	9,8	0,0	0,0	100,0
4	4,75	0,5	0,1	99,9	99,8	4	4,75	1,0	0,2	99,8
8	2,35	0,9	0,2	99,8	99,7	8	2,35	1,8	0,4	99,6
16	1,18	15,2	3,2	96,8	96,7	16	1,18	17,1	3,4	96,6
30	0,6	118,4	25,3	74,7	75,9	30	0,6	114,2	23,0	77,0
50	0,3	249,8	53,3	46,7	47,0	50	0,3	261,6	52,7	47,3
100	0,15	453,4	96,7	3,3	5,0	100	0,15	463,2	93,2	6,8
200	0,075	468,1	99,9	0,1	0,1	200	0,075	496,4	99,9	0,1
Berat Contoh		468,7				Berat Contoh		496,8		

Copyright © 2026 the author, Page 741
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 1, June 2026, page 737-747
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i1.9552

3.1 Pengujian Analisis Saringan Pasir (Agregat Halus)

Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan pada material pasir, berat benda uji sebesar 602,5 gram untuk pengujian I dan 517,2 gram untuk pengujian II. Hasil pengujian menunjukkan bahwa material pasir tidak tertahan pada saringan berukuran besar (1", ¾", ½", dan ⅜"), yang mengindikasikan bahwa material tersebut merupakan agregat halus. Persentase lolos saringan mulai signifikan pada saringan No. 8 (2,36 mm) dengan nilai rata-rata sebesar 88,61%, dan terus menurun secara bertahap hingga saringan No. 200 (0,075 mm) dengan nilai rata-rata sebesar 0,26%. Pola distribusi butiran menunjukkan gradasi pasir yang relatif seragam dan berada dalam rentang gradasi agregat halus yang umum digunakan dalam campuran aspal. Dengan demikian, pasir tersebut memenuhi karakteristik sebagai agregat halus pendukung dalam campuran aspal.

3.2 Pengujian Analisis Saringan Semen (Filler)

Pengujian semen sebagai filler dilakukan menggunakan benda uji masing-masing sebesar 500 gram untuk pengujian I dan II. Hasil analisis saringan menunjukkan bahwa hampir seluruh material lolos pada semua ukuran saringan hingga saringan No. 100, dengan persentase lolos mencapai 100%. Pada saringan No. 200 (0,075 mm), persentase lolos rata-rata tercatat sebesar 97,60%, yang menunjukkan bahwa material semen memiliki tingkat kehalusan yang sangat tinggi. Hal ini memenuhi persyaratan sebagai filler dalam campuran aspal, di mana filler berfungsi untuk mengisi rongga antar agregat serta meningkatkan stabilitas dan durabilitas campuran aspal.

3.3 Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar ¾"

Hasil analisis saringan pada agregat kasar ¾" menunjukkan berat benda uji sebesar 5394,7 gram untuk pengujian I dan 5689,8 gram untuk pengujian II. Material menunjukkan distribusi gradasi yang baik, dengan persentase lolos rata-rata sebesar 100% pada saringan 1" dan ¾". Pada saringan ½", persentase lolos rata-rata tercatat sebesar 19,28%, dan menurun hingga 0,13% pada saringan No. 200. Hal ini menunjukkan bahwa agregat kasar memiliki ukuran dominan sesuai spesifikasi serta hanya mengandung sedikit material halus, sehingga layak digunakan sebagai agregat kasar utama dalam campuran aspal.

3.4 Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar ½"

Pengujian pada agregat kasar ½" dilakukan dengan berat benda uji masing-masing sebesar 2151,4 gram dan 2298,4 gram. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh material lolos pada saringan 1", ¾", dan ½", sementara distribusi butiran mulai stabil pada saringan ⅜" dan No. 4. Persentase lolos rata-rata pada saringan No. 8 (2,36 mm) sebesar 3,05% dan menurun hingga 0,69% pada saringan No. 200. Distribusi ini menunjukkan bahwa agregat memiliki gradasi yang sesuai sebagai agregat kasar menengah, yang berfungsi mengisi transisi ukuran antara agregat kasar besar dan agregat halus.

3.5 Pengujian Analisis Saringan Abu Batu

Pengujian abu batu dilakukan dengan berat benda uji sebesar 660,4 gram dan 719,4 gram. Hasil analisis menunjukkan bahwa material mulai tertahan pada saringan No. 8 dengan persentase lolos rata-rata sebesar 87,77%, kemudian menurun hingga 16,45% pada saringan No. 200. Karakteristik ini menunjukkan bahwa abu batu berfungsi sebagai agregat halus, yang sangat baik dalam meningkatkan kepadatan campuran serta mengurangi rongga udara dalam campuran aspal. Berdasarkan hasil analisis saringan masing-masing material, dilakukan penyusunan gradasi gabungan campuran. Hasil perhitungan gradasi gabungan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Analisa Gabungan

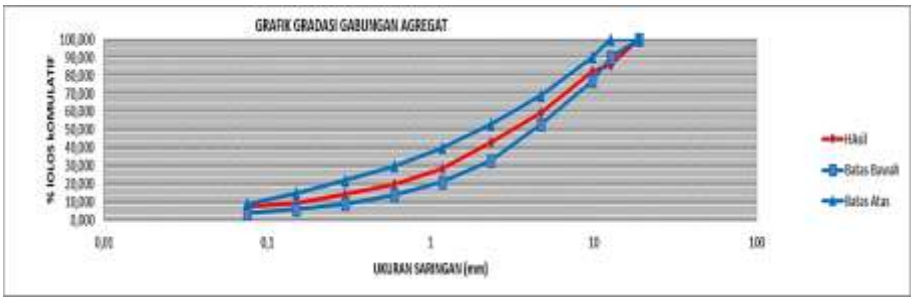
Ukuran Saringan		Batu 3/4 (%)		Batu 1/2 (%)		Abu Batu (%)		Pasir (%)		Filer (%)		Hasil	Spesifikasi		
Inci	Mm	100 %	17,62	100	35,12	100	39,30	100	6,96	100	1				
1 1/2	37,5	100,0	17,617	100,0	35,118	100,0	39,303	100,0	6,962	100	1	100,000		-	
1	25,4	100,0	17,617	100,0	35,118	100,0	39,303	100,0	6,962	100	1	100,000		-	
3/4'	19	100,0	17,617	100,0	35,118	100,0	39,303	100,0	6,962	100	1	100,000	100	-	100
1/2"	12,7	19,3	3,396	100,0	35,118	100,0	39,303	100,0	6,962	100	1	85,779	90	-	100
3/8"	9,8	3,7	0,647	97,5	34,224	100,0	39,303	100,0	6,962	100	1	82,136	77	-	90
4	4,75	0,3	0,051	34,4	12,078	100,0	39,303	99,6	6,934	100	1	59,366	53	-	69
8	2,35	0,3	0,045	3,1	1,072	88,0	34,579	88,6	6,169	100	1	42,865	33	-	53

Copyright © 2026 the author, Page 742
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 1, June 2026, page 737-747
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i1.9552

Ukuran Saringan		Batu 3/4 (%)		Batu 1/2 (%)		Abu Batu (%)		Pasir (%)		Filer (%)		Hasil	Spesifikasi
Inci	Mm	100 %	17,62	100	35,12	100	39,30	100	6,96	100	1		
16	1,18	0,2	0,044	1,3	0,467	57,8	22,735	60,9	4,237	100	1	28,483	21 - 40
30	0,6	0,2	0,042	1,2	0,437	40,1	15,748	36,3	2,529	100	1	19,755	14 - 30
50	0,3	0,2	0,040	1,2	0,420	29,7	11,668	16,8	1,173	100	1	14,300	9 - 22
100	0,15	0,2	0,034	1,0	0,362	20,4	8,015	2,0	0,136	100	1	9,548	6 - 15
200	0,075	0,1	0,023	0,7	0,244	16,4	6,465	0,3	0,018	99,46006067	0,994600607	7,745	4 - 9

Kurva hasil gradasi gabungan untuk seluruh material penyusun campuran ditampilkan pada Gambar 2. Grafik ini digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian distribusi ukuran butir terhadap batas spesifikasi gradasi AC-WC.



Gambar 2. Grafik Analisa Gradasi Gabungan

3.6 Gradasi Agregat Gabungan

Berdasarkan perhitungan gradasi gabungan antara agregat kasar, agregat halus, dan filler, diperoleh komposisi campuran dengan fraksi agregat kasar sebesar 57,22%, agregat halus sebesar 35,05%, dan filler sebesar 7,73%. Kadar aspal rencana (Pb) diperoleh sebesar 5,97%, dengan nilai densitas dan indeks stabilitas yang telah memenuhi kriteria campuran aspal. Kurva gradasi gabungan menunjukkan pola yang berada dalam batas spesifikasi gradasi yang ditetapkan, sehingga mengindikasikan bahwa campuran agregat memiliki distribusi ukuran butir yang baik dan seimbang. Dengan demikian, material agregat yang diuji dinyatakan layak untuk digunakan sebagai campuran aspal pada konstruksi perkerasan jalan.

Pengujian berat jenis agregat kasar dilakukan pada batu pecah berukuran ¾” dan ½” untuk mengetahui karakteristik fisik agregat yang memengaruhi kepadatan dan kekuatan campuran aspal. Berdasarkan hasil pengujian, batu pecah ukuran ¾” memiliki berat jenis bulk rata-rata sebesar 2,653, berat jenis SSD (Saturated Surface Dry) sebesar 2,676, serta berat jenis semu (apparent) sebesar 2,716, dengan nilai penyerapan air rata-rata sebesar 0,863%. Nilai penyerapan air yang rendah, yaitu kurang dari 3%, menunjukkan bahwa agregat memiliki tingkat porositas yang rendah serta kualitas batuan yang baik, sehingga tidak mudah menyerap air maupun aspal secara berlebihan dan mampu membentuk ikatan yang stabil dalam campuran aspal panas.

Sementara itu, batu pecah ukuran ½” menunjukkan berat jenis bulk rata-rata sebesar 2,625, berat jenis SSD sebesar 2,646, dan berat jenis semu sebesar 2,681, dengan penyerapan air rata-rata sebesar 0,786%. Rendahnya nilai penyerapan air ini mengindikasikan bahwa agregat memiliki kepadatan yang baik serta ketahanan terhadap penetrasi air, sehingga secara keseluruhan memenuhi persyaratan sebagai agregat kasar dan berperan sebagai agregat transisi dalam mendukung struktur gradasi campuran.

Pengujian Berat Jenis Maksimum Teoritis (Gmm) dilakukan untuk menentukan densitas maksimum campuran tanpa adanya rongga udara. Hasil pengujian terhadap dua benda uji menunjukkan nilai Gmm masing-masing sebesar 2,405 dan 2,393, dengan nilai rata-rata sebesar 2,399. Konsistensi nilai tersebut menunjukkan bahwa komposisi agregat dan kadar aspal dalam campuran telah dirancang secara stabil, sehingga dapat digunakan sebagai parameter utama dalam perhitungan rongga udara (VIM) serta parameter volumetrik Marshall lainnya.

Berdasarkan analisis gradasi gabungan, komposisi campuran aspal ditentukan dengan proporsi fraksi agregat kasar (CA) sebesar 57,22%, agregat halus (FA) sebesar 35,05%, dan filler (FF) sebesar 7,73%. Komposisi ini diperoleh dari distribusi agregat yang tertahan dan lolos pada saringan kunci, yaitu saringan No. 8 dan No. 200, sehingga menghasilkan susunan agregat yang seimbang antara komponen kasar, halus, dan filler dalam campuran.

Penentuan kadar aspal optimum dilakukan dengan pendekatan empiris berdasarkan proporsi agregat, menggunakan persamaan berikut:

$$Pb = 0{,}035(CA) + 0{,}045(MA) + 0{,}18(FF) + K$$

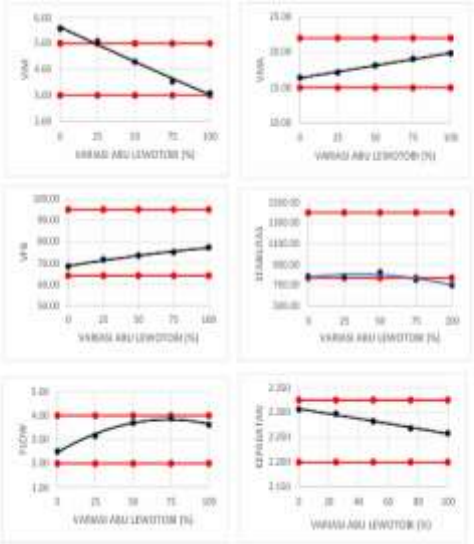
Copyright © 2026 the author, Page 743
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 1, June 2026, page 737-747
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i1.9552

Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh kadar aspal rencana sebesar 5,97%, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam penentuan variasi kadar aspal pada pengujian Marshall. Nilai ini mencerminkan keseimbangan antara kebutuhan aspal untuk melapisi agregat dan mengisi rongga, tanpa menyebabkan kelebihan aspal yang dapat menurunkan stabilitas campuran. Berdasarkan kadar aspal rencana, disusun komposisi campuran dengan variasi kadar aspal berkisar antara 5,0% hingga 7,5%. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa proporsi agregat disesuaikan secara bertahap seiring dengan peningkatan kadar aspal, sementara berat total campuran dijaga tetap konstan. Komposisi campuran ini digunakan sebagai dasar dalam pembuatan benda uji Marshall untuk mengevaluasi pengaruh kadar aspal terhadap karakteristik mekanis dan volumetrik campuran. Nilai VIM (*Void in Mix*) menunjukkan tren menurun seiring dengan meningkatnya kadar aspal. Pada kadar aspal yang rendah, rongga udara relatif besar karena aspal belum mampu mengisi ruang antar agregat secara optimal. Seiring bertambahnya kadar aspal, rongga udara semakin terisi sehingga nilai VIM menurun dan tetap berada dalam batas spesifikasi yang dipersyaratkan. Hal ini menunjukkan bahwa kadar aspal berperan langsung dalam meningkatkan kepadatan dan durabilitas campuran. Nilai VMA (*Void in Mineral Aggregate*) menunjukkan tren meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Peningkatan ini disebabkan oleh bertambahnya volume lapisan aspal yang melapisi agregat sehingga memperbesar ruang antar agregat. Nilai VMA yang diperoleh tetap berada dalam batas spesifikasi, yang menunjukkan bahwa ruang dalam agregat cukup untuk menampung aspal dan rongga udara secara seimbang. Nilai VFB (*Void Filled with Bitumen*) meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini menunjukkan bahwa persentase rongga agregat yang terisi oleh aspal semakin besar. Nilai VFB yang berada dalam batas spesifikasi menunjukkan bahwa tingkat kejenuhan aspal dalam campuran sudah memadai tanpa menyebabkan kelebihan aspal.

Hal ini menunjukkan bahwa pada kadar aspal optimum terjadi keseimbangan antara gesekan antar agregat dan kemampuan pengikatan oleh aspal. Penurunan stabilitas pada kadar aspal tinggi disebabkan oleh lapisan aspal yang terlalu tebal sehingga mengurangi kontak langsung antar agregat. Nilai flow menunjukkan kecenderungan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih plastis dan fleksibel. Seluruh nilai flow masih berada dalam rentang spesifikasi yang dipersyaratkan, sehingga deformasi campuran masih dapat diterima dan tidak berpotensi mengalami aliran plastis berlebih. Densitas campuran menunjukkan kecenderungan meningkat hingga mencapai kadar aspal tertentu, kemudian menurun pada kadar aspal yang lebih tinggi. Densitas maksimum dicapai pada kadar aspal yang mendekati 6,0%, yang menunjukkan kondisi pemadatan yang optimal. Berdasarkan hasil uji Marshall pada variasi kadar aspal sebesar 5,0% hingga 7,5%, seluruh parameter Marshall menunjukkan nilai yang memenuhi persyaratan spesifikasi. Nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada kadar aspal 6,0%, sedangkan nilai flow, VIM, VMA, dan VFB berada dalam rentang yang dipersyaratkan.

Konsistensi nilai antar benda uji menunjukkan bahwa proses pencampuran dan pemadatan dilakukan secara seragam, sehingga memberikan tingkat keandalan yang tinggi terhadap data pengujian. Hasil uji Marshall menunjukkan hubungan yang kuat dengan karakteristik fisik material penyusun campuran. Agregat dengan berat jenis tinggi dan penyerapan air rendah berkontribusi terhadap pencapaian nilai stabilitas yang baik. Nilai berat jenis maksimum teoritis (Gmm) campuran yang stabil menunjukkan bahwa komposisi agregat dan kadar aspal berada dalam kondisi yang konsisten dan seimbang. Berdasarkan seluruh hasil pengujian dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa: Variasi kadar aspal berpengaruh signifikan terhadap parameter Marshall campuran aspal. Penggunaan abu Lewotobi sebagai filler berperan dalam meningkatkan pengisian rongga dan kepadatan campuran. Kadar aspal optimum dicapai pada nilai 6,0%, yang memberikan kinerja Marshall paling seimbang. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tujuan penelitian telah tercapai sesuai dengan tahapan yang direncanakan dalam penelitian. Hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall dianalisis untuk menentukan kadar aspal optimum. Hasil hubungan tersebut disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara parameter Marshall dan kadar aspal

Copyright © 2026 the author, Page 744
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 1, June 2026, page 737-747
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i1.9552

Berdasarkan grafik hubungan antara parameter Marshall dan kadar aspal, nilai *Void in Mix* (VIM) menunjukkan tren penurunan seiring dengan meningkatnya kadar aspal, yang disebabkan oleh semakin terisinya rongga udara oleh aspal. Nilai Void in Mineral Aggregate (VMA) dan Void Filled with Bitumen (VFB) cenderung meningkat, yang menunjukkan adanya ruang antar agregat yang cukup untuk menampung aspal serta meningkatnya persentase rongga yang terisi oleh aspal. Seluruh nilai parameter volumetrik tersebut berada dalam batas spesifikasi yang dipersyaratkan. Nilai stabilitas Marshall meningkat hingga mencapai nilai maksimum pada kadar aspal sekitar 6,0%, kemudian menurun pada kadar aspal yang lebih tinggi akibat berkurangnya gesekan antar agregat yang disebabkan oleh lapisan aspal yang terlalu tebal. Nilai flow menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya kadar aspal, yang mengindikasikan meningkatnya plastisitas campuran, namun masih berada dalam batas yang diizinkan. Nilai densitas campuran mencapai kondisi optimum pada kadar aspal yang mendekati 6,0%.

Berdasarkan analisis variasi abu Lewotobi, peningkatan kadar abu Lewotobi memengaruhi karakteristik Marshall campuran. Nilai VIM cenderung menurun dan nilai VFB meningkat, yang menunjukkan bahwa abu Lewotobi berfungsi secara efektif sebagai filler dalam mengisi rongga campuran. Nilai stabilitas Marshall meningkat hingga variasi kadar abu tertentu, kemudian menurun pada kadar abu yang terlalu tinggi akibat dominasi material halus yang berlebihan. Nilai flow meningkat secara bertahap, sedangkan densitas cenderung menurun pada kadar abu yang tinggi, meskipun masih berada dalam batas yang dapat diterima. Berdasarkan evaluasi seluruh parameter Marshall melalui pendekatan grafik dan tabel, diperoleh kadar aspal optimum (Optimum Asphalt Content/OAC) sebesar 6,0%. Pada kadar aspal tersebut, seluruh parameter Marshall (VIM, VMA, VFB, stabilitas, dan flow) memenuhi persyaratan spesifikasi serta menunjukkan keseimbangan terbaik antara stabilitas, kepadatan, dan fleksibilitas campuran. Hasil analisis ini merupakan keluaran utama penelitian yang mendukung tujuan pemanfaatan abu Lewotobi sebagai filler alternatif dalam campuran aspal panas dengan kinerja Marshall yang memenuhi persyaratan teknis. Pembahasan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perilaku parameter Marshall sangat dipengaruhi oleh variasi kadar aspal dan proporsi filler abu vulkanik Lewotobi dalam campuran AC-WC. Secara umum, hubungan antara kadar aspal dan parameter volumetrik memperlihatkan kecenderungan yang konsisten dengan teori campuran beraspal panas, di mana peningkatan kadar aspal menyebabkan berkurangnya rongga udara dalam campuran (VIM). Fenomena ini terjadi karena aspal berfungsi sebagai bahan pengikat yang secara progresif mengisi ruang kosong di antara agregat, sehingga struktur campuran menjadi lebih rapat. Penurunan VIM yang masih berada dalam batas spesifikasi menunjukkan bahwa campuran tidak mengalami kondisi overfilled yang dapat memicu bleeding. Di sisi lain, peningkatan nilai VMA dan VFB mengindikasikan bahwa struktur agregat mampu menyediakan ruang yang cukup untuk menampung aspal secara optimal .(Rocha et al., 2023) Nilai VMA yang memadai mencerminkan adanya susunan agregat yang tidak terlalu rapat, sehingga memungkinkan distribusi aspal yang efektif (Pradita et al., 2025). Sementara itu, kenaikan VFB menunjukkan bahwa proporsi rongga yang terisi aspal semakin besar, yang berkontribusi terhadap peningkatan durabilitas campuran karena berkurangnya potensi infiltrasi air dan udara (Jamilah et al., 2025).

Karakteristik mekanis campuran yang ditunjukkan melalui nilai stabilitas dan flow juga memperlihatkan hubungan yang erat dengan kadar aspal (M Zain et al., 2023). Peningkatan stabilitas hingga titik maksimum pada kadar aspal sekitar 6,0% menunjukkan bahwa pada kondisi tersebut terjadi interlocking agregat yang optimal dengan dukungan ikatan aspal yang cukup. Namun, pada kadar aspal yang lebih tinggi, penurunan stabilitas mengindikasikan bahwa lapisan aspal yang terlalu tebal justru mengurangi gesekan antar agregat, sehingga struktur campuran menjadi lebih mudah mengalami deformasi (Sumiati et al., 2026). Hal ini sejalan dengan prinsip bahwa stabilitas tidak hanya ditentukan oleh jumlah aspal, tetapi juga oleh keseimbangan antara kohesi dan friksi internal (Sitohang & Sinuhaji, 2018). Nilai flow yang meningkat seiring bertambahnya kadar aspal mencerminkan peningkatan sifat plastis campuran. Kondisi ini masih dapat diterima selama berada dalam batas spesifikasi, karena fleksibilitas yang cukup diperlukan untuk mengakomodasi beban lalu lintas tanpa menyebabkan retak (Kumar & Kumar, 2024). Namun demikian, nilai flow yang terlalu tinggi berpotensi menimbulkan deformasi permanen, sehingga kontrol terhadap kadar aspal menjadi krusial (Xi et al., 2021). Pengaruh penambahan abu Lewotobi sebagai filler menunjukkan peran signifikan dalam memperbaiki karakteristik campuran. Penurunan VIM dan peningkatan VFB pada variasi kadar abu tertentu menunjukkan bahwa material ini efektif dalam mengisi rongga mikro, sehingga meningkatkan kepadatan dan homogenitas campuran (Mojapelo et al., 2025). Hal ini mengindikasikan bahwa abu Lewotobi memiliki ukuran partikel halus dan sifat fisik yang sesuai sebagai filler alternatif (Ogunbode et al., 2023).

Namun, pada kadar abu yang terlalu tinggi, terjadi penurunan stabilitas dan densitas (Hu et al., 2020). Kondisi ini disebabkan oleh dominasi partikel halus yang berlebihan, yang dapat mengganggu struktur skeleton agregat dan mengurangi kemampuan campuran dalam menahan beban (Cruz et al., 2023). Selain itu, peningkatan nilai flow pada kadar abu tinggi menunjukkan kecenderungan campuran menjadi lebih lunak, yang dapat berdampak pada ketahanan deformasi (Puri et al., 2024). Penentuan kadar aspal optimum sebesar 6,0% merupakan hasil dari evaluasi komprehensif terhadap seluruh parameter Marshall. Pada titik ini, tercapai keseimbangan antara stabilitas, fleksibilitas, dan kepadatan, yang merupakan indikator utama kinerja campuran beraspal. Nilai-nilai parameter yang memenuhi spesifikasi menunjukkan bahwa campuran memiliki potensi performa yang baik dalam kondisi operasional. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa abu vulkanik Lewotobi dapat dimanfaatkan sebagai filler alternatif yang efektif dalam campuran aspal panas. Pemanfaatan material lokal ini tidak hanya mendukung aspek teknis melalui peningkatan karakteristik Marshall, tetapi juga memberikan nilai tambah dari sisi keberlanjutan dan efisiensi material.

Copyright © 2026 the author, Page 745
This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 1, June 2026, page 737-747
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i1.9552

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, analisis data, serta pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa abu vulkanik Gunung Lewotobi memenuhi persyaratan sebagai filler dalam campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). Hal ini ditunjukkan oleh hasil analisis gradasi dan sifat fisik material yang memperlihatkan tingkat kehalusan yang memadai, mampu lolos saringan No. 200 sesuai standar, serta efektif dalam mengisi rongga antar agregat sehingga berkontribusi terhadap peningkatan kepadatan dan kohesi campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu vulkanik Gunung Lewotobi memengaruhi karakteristik Marshall campuran AC-WC. Peningkatan kadar abu vulkanik cenderung menurunkan nilai Void in Mix (VIM) dan meningkatkan Void Filled with Bitumen (VFB), sedangkan nilai stabilitas Marshall meningkat hingga mencapai kondisi optimum sebelum menurun pada kadar abu yang lebih tinggi akibat dominasi partikel halus. Kinerja optimum campuran diperoleh pada kadar aspal optimum (Optimum Asphalt Content/OAC) sebesar 6,0%, di mana seluruh parameter Marshall memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dengan keseimbangan yang baik antara stabilitas, kepadatan, dan fleksibilitas. Dengan demikian, abu vulkanik Gunung Lewotobi layak dimanfaatkan sebagai filler alternatif pada campuran AC-WC dengan pengendalian kadar penggunaan yang tepat. Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang diperoleh, maka dapat disampaikan beberapa rekomendasi sebagai berikut: Penggunaan abu vulkanik Gunung Lewotobi sebagai filler dalam campuran AC-WC direkomendasikan dengan pengendalian proporsi yang tepat guna menghindari penurunan stabilitas campuran akibat kelebihan material halus. Hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi awal dalam pemanfaatan material lokal, khususnya abu vulkanik, sebagai bahan filler alternatif dalam campuran aspal panas guna mendukung efisiensi material serta keberlanjutan pembangunan konstruksi jalan.

REFERENCES

Banggur, W. F. S., Nareswari, R. B., Saina, N., Astyka Pamumpuni, Mirzam Abdurrachman, Estu Kriswati, Liswanto, Mukdas Sofian, Yadi Yuliandi, Kristianto, Sofyan Primulyana, & Idham Kurniawan. (2024). Erupsi Semeru 1 Desember 2020: Kronologi Kejadian Aliran Piroklastik, Kondisi Pre-Eruptif, dan Laju Ekstrusi Material Volkanik. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, *25*(3), 181–191. https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v25i3.796

Berliana, A., Oktavia, S. D., & Sulistyo, J. A. (2026). Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Kayu Bangkirai dan Pasir Karjon terhadap Karakteristik Marshall Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, *5*(1), 3208–3217. https://doi.org/10.31004/riggs.v5i1.6655

Cruz, N., Avellan, A., Ruivo, L., Silva, F. C., Römkens, P. F. A. M., Tarelho, L. A. C., & Rodrigues, S. M. (2023). Biomass ash-based soil improvers: Impact of formulation and stabilization conditions on materials' properties. *Journal of Cleaner Production*, *391*, 136049. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136049

Fayissa, B., Kebede, A., & Fufa, F. (2022). Potential Use of Volcanic Ash as Filler Material in Hot Mix Asphalt. *Advances in Civil Engineering*, *2022*(1). https://doi.org/10.1155/2022/8486774

Hu, S., Li, J., Yang, X., Chen, Y., Li, F., Wang, J., Wu, C., Weng, L., & Liu, K. (2020). Improvement on slurry ability and combustion dynamics of low quality coals with ultra-high ash content. *Chemical Engineering Research and Design*, *156*, 391–401. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2020.02.011

Jamilah, W., Sabrina, B., Destania, H. R., & Aprianto, R. (2025). Studi Karakteristik VIM, VMA, dan VFA Campuran Aspal Beton. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, *10*(2), 251–257. https://doi.org/10.24967/teksis.v10i2.4638

Kumar, B., & Kumar, N. (2024). Enhancing asphalt mixture performance through waste plastic modification: a comprehensive analysis of optimal compositions and volumetric properties. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, *9*(2). https://doi.org/10.1080/24705314.2024.2376804

M Zain, T., Agung, P., & Kiki, L. (2023). Analisis Karakteristik Campuran Aspal Ditinjau Dari Aspek Properties Marshall. *Jurnal Teknik Sipil Pertahanan*, *10*(2), 138–152. https://doi.org/10.63824/jptsp.v10i2.102

Mojapelo, K. S., Kupolati, W. K., Burger, E. A., Ndambuki, J. M., Snyman, J., Achi, C. G., & Quadri, A. I. (2025). Performance Evaluation and Future Prospects of the Wastewater Sludge Ash as a Filler Material in Asphalt Mixture. *Materials Circular Economy*, *7*(1), 16. https://doi.org/10.1007/s42824-025-00177-6

Munir, I., Sazuatmo, S., & Hariza, E. R. (2025). Analisis Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi Sebagai Bahan Pengganti Filler Terhadap Campuran Aspal. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, *4*(4), 1286–1292. https://doi.org/10.31004/riggs.v4i4.3424

Ogunbode, E. B., Nyakuma, B. B., Jimoh, R. A., Lawal, T. A., & Nmadu, H. G. (2023). Mechanical and microstructure properties of cassava peel ash–based kenaf bio-fibrous concrete composites. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *13*(8), 6515–6525. https://doi.org/10.1007/s13399-021-01588-6

Omranian, S. R., Hamzah, M. O., Pipintakos, G., Van den bergh, W., Vuye, C., & Hasan, M. R. M. (2020). Effects of Short-Term Aging on the Compactibility and Volumetric Properties of Asphalt Mixtures Using the Response Surface Method. *Sustainability*, *12*(15), 6181. https://doi.org/10.3390/su12156181

Pradita, S. N., Siti, F., & Rachmat, M. (2025). Analisis Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Modifikasi Dengan Penambahan Wood Ash Dan Styrofoam Expanded Polystyrene (EPS) Untuk Perkerasan Jalan. *Journal of Engineering and Applied Technology*, *1*(2), 410–422. https://doi.org/10.65310/a7qp5y50

Puri, L., Hu, Y., & Naterer, G. (2024). Critical review of the role of ash content and composition in biomass pyrolysis. *Frontiers in Fuels*, *2*. https://doi.org/10.3389/ffuel.2024.1378361

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

TIN: Terapan Informatika Nusantara
Vol 7, No 1, June 2026, page 737-747
ISSN 2722-7987 (Media Online)
Website https://ejurnal.seminar-id.com/index.php/tin
DOI 10.47065/tin.v7i1.9552

Rafi, R., Azzura Maldina, R., Habibi Al-Ghifari, M., Zakir, A., Mulya, A., Studi Meteorologi, P., Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, S., & Meteorologi No, J. (2025). Gunung Lewotobi Laki-Laki Menggunakan Metode Rgb Himawari-9 Dan Model Hysplit (Studi Kasus: 15 Oktober 2025). *Jurnal Ilmiah Teknosains*, *1*(1). https://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php.

Rahayu, S., & Lizar. (2025). Pengaruh Genangan Air Terhadap Kerusakan Jalan Aspal (AC-WC). *KERN : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, *11*(2), 51–63. https://doi.org/10.33005/kern.v11i2.61

Rocha, M. L., Aragão, F. T. S., Nascimento, L. A. H. do, & Underwood, B. S. (2023). Balanced Mixture Design Framework for Asphalt Mixtures Based on Index- and Performance-Volumetrics Relationships. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2677*(10), 233–245. https://doi.org/10.1177/03611981231161063

Sitohang, O., & Sinuhaji, S. (2018). Penggunaan Abu Vulkanik Sinabung Terhadap Stabilitas Campuran Aspal Beton (Hot Mix). *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 78–94. https://doi.org/10.54367/jrkms.v1i2.283

Sumiati, S., Situmeang, S. Y., & Aszharri, A. (2026). Kinerja Campuran Aspal Beton Porus Terhadap Parameter Marshall Menggunakan Aspal Karet Alam Padat. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, *16*(1), 182–194. https://doi.org/10.29103/tj.v16i1.1337

Xi, L., Luo, R., & Liu, H. (2021). Evaluating the influence of humidity on asphalt mixture performance by the flow number test. *Construction and Building Materials*, *284*, 122754. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122754

This Journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License