

Penggunaan Serbuk Batu Bata Merah Sebagai Filler Campuran Aspal AC-WC, Pengganti Semen dan Abu Batu dengan *Marshall Test*

F. Eddy Poerwodihardjo⁽¹⁾, Citra Pradipta Hudoyo⁽²⁾

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Wijayakusuma Purwokerto,
Jl. Raya Beji Karangsalam No.25, Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia

Email: ¹ferdinandeseddy@gmail.com, ²citrapradiptahudoyo@gmail.com

Tersedia Online di

<http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>

Sejarah Artikel

Diterima 26 April 2024

Direvisi 2 Mei 2024

Disetujui 10 Mei 2024

Dipublikasikan 30 Mei 2024

Keywords:

AC-WC; Cement; Red brick powder; marshall test; stone ash

Kata Kunci:

Serbuk bata merah; semen; abu batu; AC-WC; marshall test

Corresponding Author:

Name:

F. Eddy Poerwodihardjo

Email:

ferdinandeseddy@gmail.com

Abstract: Asphalt concrete as a material for road construction has long been known and widely used in road construction. This study aims to determine the effect of using red brick powder as a filler in the AC-WC asphalt mixture compared to cement and stone ash using the Marshall test with filler variations of 1%, 2%, 3%, and 4%. The determination of the optimum asphalt content was done with trial mixes of 60/70 penetration asphalt starting at asphalt contents of 5.5%, 6%, 6.5%, 7%, and 7.5%. From the initial asphalt mixture tests, an Optimum Asphalt Content (OAC) of 7% was obtained, which meets the Bina Marga 2018 specifications. The results of the Marshall tests on variations of red brick powder, cement, and stone ash fillers at 1% and 2% filler content did not meet the Bina Marga 2018 specifications. However, at 3% and 4% filler content, all Marshall test results met the Bina Marga 2018 specifications. The optimum value of the AC-WC asphalt mixture obtained from the Marshall test was with 4% cement filler, yielding a VIM of 4.239%, VMA of 17.305%, VFA of 79.880%, Marshall stability of 1551 kg, flow of 3.23 mm, and MQ of 480 kg/mm. The use of red brick powder as a filler at 4% filler content was better than stone ash and can be used as it approaches the optimum value, with a VIM of 4.267%, VMA of 17.226%, VFA of 79.637%, Marshall stability of 1529 kg, flow of 3.20 mm, and MQ of 478 kg/mm.

Abstrak: Aspal beton sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggunaan serbuk batu bata merah, sebagai filler pada campuran aspal AC-WC dibandingkan dengan semen dan abu batu dengan Marshall test dengan variasi filler 1%, 2%, 3%, dan 4%. Penentuan kadar aspal optimum dengan trial campuran aspal penetrasi 60/70 mulai kadar aspal 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5%. Dari hasil pengujian awal campuran aspal diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) 7% yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Hasil pengujian Marshall pada variasi filler serbuk batu bata merah, semen dan abu batu, pada kadar filler 1% dan 2% tidak

memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018, namun pada kadar filler 3% dan 4% semua hasil pengujian Marshall memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018. Nilai optimum campuran aspal AC-WC yang didapatkan pada Marshall test yaitu pada kadar filler semen 4% dengan nilai VIM 4,239%, VMA 17,305%, VFA 79,880%, Stabilitas Marshall 1551 kg, Kelelahan (flow) 3,23 mm, dan MQ 480 kg/mm. Penggunaan serbuk batu bata merah sebagai bahan pengisi (*filler*) pada kadar filler 4% lebih baik dari abu batu dan dapat dipakai karena mendekati nilai optimum, dengan nilai VIM 4,267%, VMA 17,226%, VFA 79,637%, stabilitas Marshall 1529 kg, kelelahan (flow) 3,20 mm, dan MQ 478 kg/mm.

PENDAHULUAN

Penggunaan aspal beton sebagai bahan konstruksi jalan telah menjadi praktik umum yang dikenal dan diterapkan secara luas selama bertahun-tahun. Di Indonesia, penggunaannya terus meningkat dari tahun ke tahun. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh beberapa keunggulan yang dimiliki aspal beton, antara lain harganya yang relatif lebih terjangkau dibandingkan dengan beton, kemampuannya mendukung beban berat kendaraan, produksinya menggunakan bahan-bahan lokal yang tersedia, dan daya tahan yang baik terhadap cuaca.

Aspal beton terkenal dengan tiga jenis campuran utamanya, yaitu AC-WC, AC-BC, dan AC-Base. Keterampilan menggabungkan berbagai jenis campuran ini memungkinkan penyesuaian dengan berbagai kondisi dan kebutuhan konstruksi jalan. Dengan demikian, aspal beton tetap menjadi pilihan yang efektif dan efisien dalam membangun infrastruktur jalan yang berkualitas.

Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) adalah lapisan perkerasan yang berada di bagian paling atas dan berperan sebagai lapis aus. Meskipun bersifat non-struktural, AC-WC memiliki kemampuan untuk meningkatkan daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu, sehingga secara keseluruhan memperpanjang masa layan konstruksi perkerasan. Banyak usaha telah dilakukan untuk mengatasi kerusakan pada lapis perkerasan AC-WC, termasuk modifikasi sifat fisik dan kimia campuran aspal dengan berbagai bahan tambah. Tujuan dari langkah-langkah ini adalah untuk meningkatkan kinerja dan umur pakai AC-WC, serta mengoptimalkan daya tahan terhadap kondisi lingkungan dan beban lalu lintas (Sarwono et al., 2017).

Penting untuk memperhatikan beberapa faktor kunci dalam campuran aspal. Hal-hal ini meliputi kemampuan campuran aspal untuk menahan beban tanpa mengalami kerusakan (stabilitas), kemampuannya untuk bertahan tanpa mengalami kehancuran seiring berjalannya waktu (durabilitas), tingkat kelenturan atau fleksibilitasnya, ketahanannya terhadap kelelahan akibat beban berulang (fatigue resistance), kemampuan untuk menahan geser atau kegeseran (ketahanan geser), kedap air, dan kemudahan dalam proses pengerjaannya (*workability*). Semua faktor ini memainkan peran penting dalam menentukan kualitas dan kinerja campuran aspal dalam berbagai kondisi penggunaan (Sukirman, 2016).

Penggunaan material pengisi, yang umumnya dimasukkan dalam campuran beraspal, sering melibatkan abu batu. Abu batu ini adalah hasil alami dari proses pemecahan batu dengan menggunakan alat stone crusher, dan jumlahnya terbatas. Sebagai opsi alternatif untuk menggantikan abu batu sebagai material pengisi, filler semen dapat digunakan. Namun, di beberapa wilayah, mendapatkan filler semen bisa menjadi sulit dan harganya relatif tinggi. Dalam konteks ini, beberapa perusahaan konstruksi yang berfokus pada pembangunan jalan umumnya mencari bahan filler yang mudah diperoleh, ekonomis, dan merupakan sumber daya lokal yang dapat diandalkan (Adibroto, 2014).

Terdapat beberapa penelitian terdahulu dilakukan, yaitu untuk mengetahui dampak abu batu bata sebagai filler pada *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) diuji dengan alat Marshall menggunakan material lokal dari Sulawesi Barat. Penambahan abu batu bata 1%-5% menghasilkan kadar aspal optimum 6,15% setelah perendaman 30 menit. Hasil menunjukkan bahwa variasi 3% abu batu bata memberikan stabilitas dan *flow* yang tinggi (Saudi et al., 2023).

Penelitian selanjutnya membandingkan penggunaan filler semen Portland, fly ash, dan serbuk batu bata dalam campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC). Variasi filler adalah 100% fly ash, 100% serbuk batu bata, dan 50% fly ash: 50% serbuk batu bata. Kadar aspal optimum 5,5% ditentukan, dan uji Marshall dilakukan. Hasil menunjukkan filler semen Portland 100% memberikan stabilitas tertinggi 112.19 kg, sementara fly ash 100% terendah tetapi masih memenuhi spesifikasi Bina Marga. Filler serbuk batu bata 100% memiliki nilai MQ 213, di bawah spesifikasi (Kartikasari & Hartantyo, 2017).

Dalam penelitian ini peneliti bertujuan mengeksplorasi penggunaan serbuk batu bata merah sebagai alternatif filler dalam campuran aspal *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC), menggantikan penggunaan semen dan abu batu. Pemilihan limbah batu bata merah sebagai

bahan filler ini didasarkan pada keinginan untuk memanfaatkan limbah tersebut dari sisa proyek bangunan atau bekas bongkaran bangunan yang tidak terpakai. Selain itu, penelitian ini diinisiasi untuk mengatasi beberapa permasalahan, antara lain penumpukan limbah batu bata merah yang belum dimanfaatkan, peningkatan volume transportasi yang berdampak pada kualitas rendah campuran perkerasan jalan, serta meningkatkan akses masyarakat terhadap sarana dan prasarana transportasi yang memadai.

Identifikasi masalah-masalah tersebut mendorong perlunya mencari solusi yang berkelanjutan, dan penggunaan serbuk batu bata merah sebagai pengganti filler menjadi opsi yang menarik. Pengolahan limbah ini merupakan langkah penting dalam mendukung konsep daur ulang dan pemanfaatan kembali bahan-bahan yang ada untuk menciptakan produk dengan nilai ekonomis, terutama dalam konstruksi perkerasan. Dengan latar belakang ini, penelitian akan difokuskan pada implementasi *Marshall test* untuk menguji efektivitas penggunaan serbuk batu bata merah sebagai filler dalam campuran aspal AC-WC, menggantikan peran semen dan abu batu.

METODE

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur untuk mengidentifikasi referensi terkait dengan penelitian yang relevan. Sebelum merencanakan dan membuat benda uji, dilakukan pengujian bahan, termasuk aspal penetrasi 60/70 (meliputi uji penetrasi, titik lembek, titik nyala, titik bakar, berat jenis, daktilitas, dan viskositas) serta agregat kasar dan halus (melibatkan uji gradasi dan berat jenis).

Setelah selesai pengujian bahan, dilanjutkan dengan perencanaan dan pembuatan campuran laston *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) untuk pengujian Karakteristik *Asphalt Overlay* (KAO). Proses ini mencakup pembuatan benda uji dengan variasi bahan pengisi (filler) aspal beton AC-WC dan pengujian menggunakan *Marshall test*. Hasil dari pengujian kemudian dianalisis untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang kinerja campuran AC-WC dan efek dari variasi bahan pengisi. Langkah-langkah ini menciptakan dasar metodologis yang kuat untuk penelitian ini, memastikan bahwa setiap tahap dijalankan dengan cermat dan akurat, dan hasilnya dianalisis secara menyeluruh untuk mendapatkan wawasan yang berharga.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Marshall Untuk Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar Aspal Optimum (KAO) diperoleh dengan menggunakan parameter dari hasil pengujian Marshall yaitu nilai-nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ), rongga dalam campuran (VIM), dan rongga terisi aspal (VFB) yang memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018.

Tabel 1. Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)
(Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min.		0,6	
	Maks.		1,2	
Rongga dalam campuran (%)	Min.		3,0	
	Maks.		5,0	
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas Aspal (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3

Sifat-sifat Campuran	Laston		
	Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
	Maks.	4	6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90	
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min.	2	

Perkiraan awal perhitungan kadar aspal rencana (menggunakan filler serbuk batu bata merah) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Pb = 0,035(100-CA) + 0,045(100-FA) + 0,18(FF) + \text{Konstanta}$$

$$Pb = 0,035 (100-54,44) + 0,045 (100-38,23) + 0,18 (7,33) + 1$$

$$Pb = 1,60 + 2,78 + 1,32 + 1$$

$$Pb = 6,70 \%$$

Perkiraan awal perhitungan kadar aspal rencana (menggunakan filler abu batu) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Pb = 0,035(100-CA) + 0,045(100-FA) + 0,18(FF) + \text{Konstanta}$$

$$Pb = 0,035 (100-54,44) + 0,045 (100-38,48) + 0,18 (7,08) + 1$$

$$Pb = 1,60 + 2,77 + 1,27 + 1$$

$$Pb = 6,64 \%$$

Perkiraan awal perhitungan kadar aspal rencana (menggunakan filler semen) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Pb = 0,035(100-CA) + 0,045(100-FA) + 0,18(FF) + \text{Konstanta}$$

$$Pb = 0,035 (100-54,44) + 0,045 (100-37,76) + 0,18 (7,80) + 1$$

$$Pb = 1,60 + 2,80 + 1,40 + 1$$

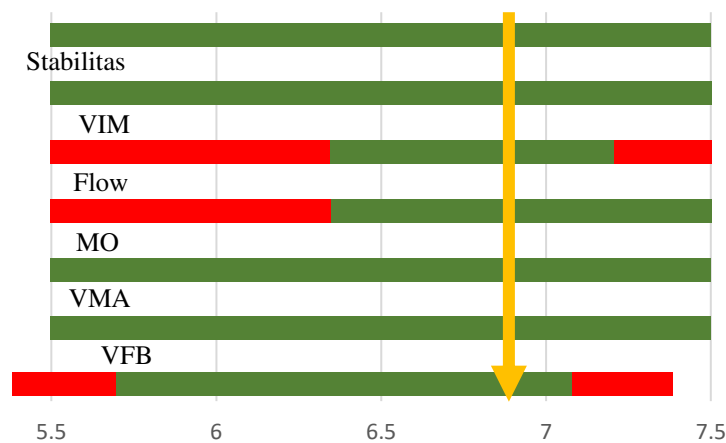
$$Pb = 6,80 \%$$

Kemudian dilakukan pembuatan sampel untuk penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) sesuai dengan variasi kadar aspal yang sudah ditentukan yaitu 5,5%; 6%; 6,5%; 7; dan 7,5%. Dari hasil penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) menggunakan *filler* serbuk batu bata merah yang telah diuji Marshall nilai yang memenuhi persyaratan spesifikasi umum Bina Marga 2018 diperoleh kadar aspal 7% seperti terlihat pada gambar 1. Di dalam rancangan campuran (*mix design*) lebih lanjut digunakan kadar aspal optimum 7%.

Tabel 2. Hasil Pengujian Marshall untuk Penentuan KAO (*Filler* Serbuk Batu Bata Merah)

Kadar Aspal (%)	Kepadatan (gr/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
5,5	2,308	9,512	21,546	56,42	1465	2,5	586
6	2,449	6,78	17,22	67,75	1592	2,52	633
6,5	2,605	5,1	16,86	75,35	1580	2,40	658
7	2,584	4,26	17,25	79,76	1727	3,27	529
7,5	2,327	9,210	22,58	64,760	1401	3,43	408
Spesifikasi	Min. 2	3-5%	Min. 15	Min. 65	Min. 800	Min. 3	Min. 250

BJ Bulk

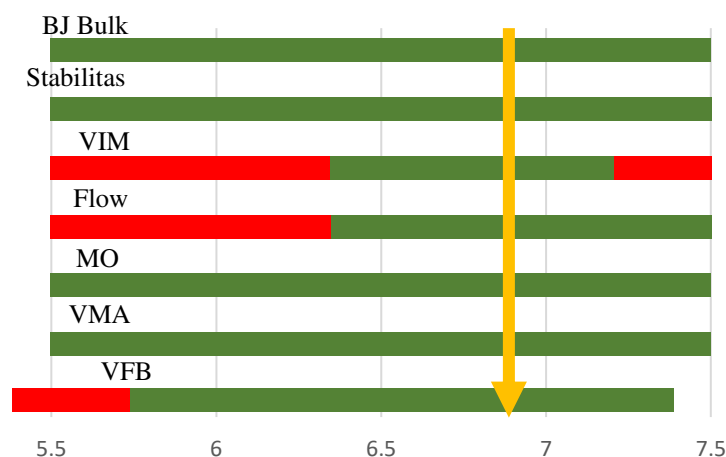


Gambar 1. Grafik Penentuan KAO (*Filler Serbuk Batu Bata Merah*)

Dari hasil penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) menggunakan *filler* abu batu yang telah diuji Marshall nilai yang memenuhi persyaratan spesifikasi umum Bina Marga 2018 diperoleh kadar aspal 7% seperti terlihat pada gambar 2. Di dalam rancangan campuran (*mix design*) lebih lanjut digunakan kadar aspal optimum 7%.

Tabel 3. Hasil Pengujian Marshall untuk Penentuan KAO (*Filler Abu Batu*)

Kadar Aspal (%)	Kepadatan (gr/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
5,5	2,304	9,684	22,228	55,913	1831	2,37	774
6	2,466	6,700	17,211	68,168	1544	2,70	572
6,5	2,526	3,624	15,937	81,464	1604	2,75	583
7	2,487	4,31	17,368	79,667	1182	3,17	373
7,5	2,304	9,684	22,228	55,913	1831	2,37	774
Spesifikasi	Min. 2	3-5%	Min. 15	Min. 65	Min. 800	Min. 3	Min. 250



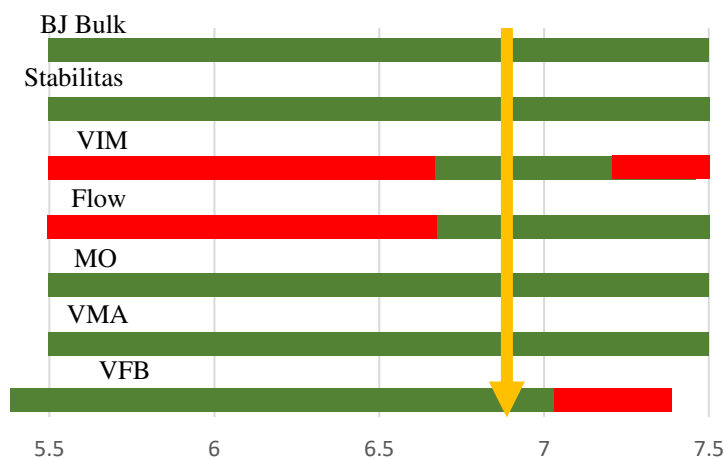
Gambar 2. Grafik Penentuan KAO (*Filler Abu Batu*)

Dari hasil penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) menggunakan filler Semen yang telah diuji Marshall nilai yang memenuhi persyaratan spesifikasi umum Bina Marga 2018

diperoleh kadar aspal 7% seperti terlihat pada gambar 3. Di dalam rancangan campuran (*mix design*) lebih lanjut digunakan kadar aspal optimum 7%.

Tabel 4. Hasil Pengujian Marshall untuk Penentuan KAO (*Filler Semen*)

Kadar Aspal (%)	Kepadatan (gr/cm ³)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
5,5	2,385	6,488	19,303	66,232	1938	1,38	1401
6	2,443	7,361	17,778	65,891	1429	2,0	714
6,5	2,470	5,572	17,321	73,650	1282	2,23	574
7	2,466	4,973	17,92	77,098	1222	3,23	378
7,5	2,338	9,170	22,59	64,980	1198	3,33	359
Spesifikasi	Min. 2	3-5%	Min. 15	Min. 65	Min. 800	Min. 3	Min. 250



Gambar 3. Grafik Penentuan KAO (*Filler Semen*)

Bagian ini menyajikan hasil-hasil analisis data dan hasil pengujian hipotesis yang bertujuan di antaranya: (a) menjawab masalah penelitian atau menunjukkan bagaimana tujuan itu dicapai, (b) menafsirkan temuan-temuan. Dianjurkan untuk memberi sub – sub judul untuk masing-masing temuan penelitian. Agar menghindari penggunaan tabel dan lebih mengutamakan penulisan dalam bentuk deskriptif.

Pada bagian pembahasan ini hasil penelitian yang diperoleh diintegrasikan ke dalam kumpulan pengetahuan dan teori yang telah mapan, dan menyusun teori baru atau memodifikasi teori yang ada. Kutipan ahli diperlukan dalam bab ini. Dianjurkan untuk memberi sub – sub judul untuk masing-masing temuan penelitian. Agar tidak menggunakan tabel dan lebih mengutamakan penulisan dalam bentuk deskriptif.

Sampel Variasi Bahan Pengisi (*Filler*)

Pembuatan sampel variasi bahan pengisi (*filler*) dilakukan menggunakan nilai kadar aspal yang sudah diuji terlebih dahulu. Sesuai dengan hasil pengujian kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan filler serbuk batu bata merah 7%, filler semen 7%, dan filler abu batu 7% dengan variasi persentase 1%, 2%, 3%, dan 4%.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Komposisi Kadar Aspal 7% (*Filler* Serbuk Batu Merah, Abu Batu, dan Semen)

Uraian	Presentase (%)	Berat Agregat Gabungan (gram)	Berat Bahan (gram)
Aspal	7	1200	84
Abu Batu	42,78	1200	513,36
Agregat 0,5-1	37,20	1200	446,40
Agregat 1-2	12,09	1200	145,08
Filler 1%	0,93	1200	11,16
Jumlah			1200
Aspal	7	1200	84
Abu Batu	42,78	1200	513,36
Agregat 0,5-1	36,27	1200	435,24
Agregat 1-2	12,09	1200	145,08
Filler 2%	1,86	1200	22,32
Jumlah			1200
Aspal	7	1200	84
Abu Batu	41,85	1200	502,20
Agregat 0,5-1	36,27	1200	435,24
Agregat 1-2	12,09	1200	145,08
Filler 3%	2,79	1200	33,48
Jumlah			1200
Aspal	7	1200	84
Abu Batu	40,92	1200	491,04
Agregat 0,5-1	37,27	1200	435,24
Agregat 1-2	12,09	1200	145,08
Filler 4%	3,72	1200	44,64
Jumlah			1200

Hasil Pengujian Marshall

Marshall test dilakukan pada Kadar Aspal Optimum (KAO) 7%. Data perhitungan dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Pengujian Marshall dengan Variasi Bahan Pengisi (*Filler*)

Parameter Marshall	Spesifikasi	Kadar <i>Filler</i>	Variasi <i>Filler</i>		
			Serbuk Batu Bata Merah	Abu Batu	Semen
VIM (%)	3-5%	1%	6,023	5,114	5,984
		2%	4,983	4,981	4,979
		3%	4,469	4,678	4,601
		4%	4,267	4,623	4,239
VMA (%)	Min.15	1%	19,860	19,360	20,013
		2%	17,873	17,947	17,922
		3%	17,415	17,709	17,607
		4%	17,226	17,684	17,305
VFA (%)	Min.65	1%	72,991	76,266	73,129
		2%	76,988	77,101	77,074
		3%	78,897	78,237	78,485
		4%	79,637	78,446	79,880
	Min.800	1%	1388	1254	1373

Stabilitas Marshall (kg)		2%	1477	1410	1384
		3%	1436	1302	1443
		4%	1529	1466	1551
Kelelehan (flow) (mm)	Min.3	1%	3,00	2,80	2,93
		2%	3,10	2,97	3,03
		3%	3,17	3,10	3,13
		4%	3,20	3,17	3,23
MQ (Marshall Quotient) (kg/mm)	Min.250	1%	463	448	468
		2%	476	475	456
		3%	453	420	461
		4%	478	463	480

Dari tabel 6 dapat diketahui bahwa hasil pengujian Marshall pada variasi filler serbuk batu bata merah, semen dan abu batu, pada kadar filler 1% dan 2% tidak memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018. Pada kadar filler 3% dan 4% semua hasil pengujian Marshall memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018. Nilai optimum yang didapatkan pada Marshall test yaitu pada kadar filler semen 4% dengan nilai VIM 4,239%, VMA 17,305%, VFA 79,880%, Stabilitas Marshall 1551 kg, Kelelehan (flow) 3,23 mm, dan MQ 480 kg/mm.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan pada penggunaan serbuk batu bata merah, semen dan abu batu sebagai *filler* pada campuran aspal AC-WC, maka didapat kesimpulan sebagai berikut: Pengujian awal campuran dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 untuk filler serbuk batu bata merah, semen dan abu batu, yaitu pada kadar aspal 7%. Hasil pengujian Marshall pada variasi filler serbuk batu bata merah, semen dan abu batu, pada kadar filler 1% dan 2% tidak memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018. Pada kadar filler 3% dan 4% semua hasil pengujian Marshall memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018. Nilai optimum yang didapatkan pada Marshall test yaitu pada kadar filler semen 4% dengan nilai VIM 4,239%, VMA 17,305%, VFA 79,880%, Stabilitas Marshall 1551 kg, Kelelehan (flow) 3,23 mm, dan MQ 480 kg/mm. Penggunaan serbuk batu bata merah sebagai bahan pengisi (filler) pada kadar filler 4% lebih baik daripada abu batu dan sangat dapat dipakai karena mendekati nilai optimum, dengan nilai VIM 4,267%, VMA 17,226%, VFA 79,637%, Stabilitas Marshall 1529 kg, Kelelehan (flow) 3,20 mm, dan MQ 478 kg/mm.

Beberapa saran yang perlu diperhatikan sehubungan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut: Penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji menggunakan variasi perbandingan persentase filler yang lebih bervariasi untuk menentukan campuran yang paling optimal. Selain itu, jenis aspal dengan penetrasi yang berbeda juga perlu diuji untuk melihat pengaruhnya terhadap performa campuran. Ketelitian dan kecermatan selama pelaksanaan penelitian sangat penting, terutama saat penimbangan dan pembacaan dial pada uji Marshall, agar hasil yang diperoleh akurat. Alat laboratorium harus selalu dirawat dan dibersihkan setelah selesai digunakan serta dilakukan kalibrasi secara berkala untuk memastikan keandalannya.

DAFTAR RUJUKAN

- Adibroto, F. (2014). Studi Pemanfaatan Abu Tanah Liat Bakar Asal Gunung Sarik Padang Sebagai Filler Pada Campuran Hot Rolled Sheet (HRS) – WC. *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*, 9(2), Article 2. <https://doi.org/10.30630/jipr.9.2.62>
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *SPEKIFIKASI UMUM 2018 UNTUK PEKERJAAN KONSTRUKSI JALAN DAN JEMBATAN (REVISI 1)*. Direktorat Jenderal Bina Marga.

- Kartikasari, D., & Hartantyo, S. D. (2017). PENGANTIAN FILLER DENGAN FLY ASH DAN SERBUK BATU BATA PADA CAMPURAN ASPAL (AC-WC) FILLER REPLACEMENT WITH FLY ASH AND BRICK POWDER IN MIX OF ASPHALT (AC-WC). *UKaRsT*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.30737/ukarst.v1i1.259>
- Sarwono, D., Pramesti, F. P., & Nugroho, F. M. (2017). STUDI KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE DENGAN ASBUTON EMULSI SEBAGAI BAHAN PENGIKAT. *Matriks Teknik Sipil*, 5(4), Article 4. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v5i4.36916>
- Saudi, A. I., Okviani, N., & Nurfaizah, N. (2023). The Effect of Strength of Asphalt Mixes with The Addition of Brick Ash as a Replacement of Filler in AC-WC Mixture. *Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP)*, 4(2), 247–259.
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas* (3rd ed.). Institut Teknologi Nasional.
- Tim Standar Nasional Indonesia. (1991). *SK SNI M-20-1990-F. Metode Pengujian Titik Lembek Aspal Dan Ter*. Putran-Balitbang PU.
- Tim Standar Nasional Indonesia. (2003). *RSNI M-01-2003. Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas Dengan Alat Marshall*. Pustran-Balitbang PU.
- Tim Standar Nasional Indonesia. (2003). *RSNI S-01-2003. Spesifikasi Aspal Keras Berdasarkan Penetrasi*. Pustran-Balitbang PU.
- Tim Standar Nasional Indonesia. (2008). *SNI 1970:2008. Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Tim Standar Nasional Indonesia. (2011a). *SNI 2433:2011. Cara Uji Titik Nyala Dan Titik Bakar Aspal Dengan Alat Cleveland Open Cup*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Tim Standar Nasional Indonesia. (2011b). *SNI 2441:2011. Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras*. Badan Standarisasi Nasional (BSN).