

Analisa Campuran CPHMA terhadap Penambahan Variasi Aspal Penetrasi 60/70 pada Karakteristik Marshall

(Analysis of CPHMA Mixture for the Addition of 60/70 Penetration Asphalt Variations on Marshall Characteristics)

Herlina Suciati^{1*}, Afri Wijaya Simamora², Panusunan Panusunan³, Fauzan Fauzan⁴

Universitas Batam, Batam, Indonesia^{1,2,3,4}

herlinasuciati@univbatam.ac.id^{1,2,3,4}



Riwayat Artikel

Diterima pada 25 Juni 2023

Revisi 1 pada 30 Juni 2023

Revisi 2 pada 10 Juli 2023

Revisi 3 pada 20 Juli 2023

Disetujui pada 25 Juli 2023

Abstract

Purpose: Highways are one of the main infrastructures in the country's development. On remote and outermost islands there are access barriers to asphalt pavement units (amps). The application of CPHMA (Cold Paving Hot Mix Asbuton) technology is one of the main options to overcome this problem.

Methodology: The test showed that asphalt content from 0.5% to 2.0% improved stability and met flow requirements, while 2.5% exceeded flow limits and reduced stability.

Result: The test results for other Marshall characteristics namely MQ, VFB, VIM, and VMA meet the specifications used. At the addition of asphalt content of 0.5% - 2.5%, the values of MQ, VFB, and VMA increased along with the increase in the addition of asphalt content. On the other hand, the VIM value decreased with increasing asphalt content. From the test results, it is known that the optimum penetration value of asphalt 60/70 is 1.25%.

Conclusion: Adding 60/70 penetration asphalt at 0.5%–2.0% improves Marshall characteristics, with an optimal content of 1.25%.

Limitation: Tests were limited to laboratory conditions and did not reflect actual traffic performance.

Contribution: This study provides practical recommendations for enhancing CPHMA performance using 60/70 asphalt.

Keywords: *Asphalt, Asphalt penetration 60/70, CPHMA, Marshall Characteristics.*

How to cite: Suciati, H., Simamora, A, W., Panusunan, P., Fauzan, F. (2023). Analisa Campuran CPHMA terhadap Penambahan Variasi Aspal Penetrasi 60/70 pada Karakteristik Marshall. *Jurnal Teknologi Riset Terapan*, 1(2), 69-80.

1. Pendahuluan

Indonesia pada saat ini sedang melakukan pembangunan nasional yang sedemikian pesat di berbagai bidang yang berakibat pada peningkatan volume dan beban lalu lintas. Jalan raya merupakan salah satu infrastruktur kunci dalam pembangunan nasional (Nurhidayati, Arifiya, Setiawan, Larasakti, & Heriansyah, 2022). Penggunaan campuran aspal sebagai salah satu jenis lapisan perkerasan menjadi sangat penting dalam mendukung pembangunan infrastruktur nasional (Masbullah & Bahri, 2021). Aspal adalah salah satu elemen penting pada campuran aspal panas ataupun dalam campuran aspal dingin. Pada perkembangannya campuran aspal panas dengan menggunakan asbuton masih dijumpai beberapa kasus kekurangpahaman penggunaan asbuton terhadap teknologi yang akan diterapkan (Dharma, Agustina, & Windah, 2021). Selain itu, control terhadap kualitas belum diterapkan dengan optimal hingga asbuton diperkirakan sebagai sumber kerusakan pada lapisan yang menggunakan aspal. Permasalahan penting dalam pemanfaatan asbuton adalah karena asbuton merupakan bahan tambang dengan karakteristik deposit yang bervariasi, maka penjaminan mutu-mutu produk asbuton harus dijaga

sesuai dengan spesifikasi (Suaryana, 2016). Homogenitas dan sifat asbuton merupakan hal yang banyak menentukan keberhasilan pemanfaatan asbuton, baik sebagai bahan tambah dalam rangka meningkatkan kinerja perkerasan aspal, maupun sebagai bahan untuk mensubstitusi aspal (Putri, Wulan, Fihartini, Ambarwati, & Pandjaitan, 2022). Pada pembangunan daerah yang terpencil dan pulau terluar permasalahan lain yang timbul adalah keterbatasan akses pada unit pencampuran aspal (*asphalt mixing plant*). Beberapa alternatif yang telah dilakukan oleh pemerintah agar pembangunan jalan merata di Indonesia adalah melalui penerapan teknologi CPHMA (*Cold Paving Hot Mix Asbuton*) (Riski & Widiana, 2020). CPHMA merupakan campuran aspal hamparan dingin yang dapat digunakan untuk lapisan permukaan ataupun lapis perata jalan. Penggunaan Aspal CPHMA sendiri juga tidak terlepas dari beberapa masalah seperti rapuh dan gampang buyar (*disperse*), hal ini mempengaruhi kinerja campuran di lapangan (Sutrisna, 2021).

2. Tinjauan pustaka

2.1 Aspal

Aspal merupakan material perekat, pengisi dan pengikat agregat pada perkerasan jalan. Aspal digunakan pada konstruksi jalan karena karakteristiknya yang bersifat viskoelastis yaitu mampu mencair pada suhu tinggi dan memadat pada suhu rendah (Hernawan & Srimulyani, 2022). Selain itu aspal juga memiliki sifat pekat (*consistency*), tahan terhadap pelapukan akibat cuaca dan tahan air. Sebagai bahan pengikat, aspal mampu memberikan ikatan yang kuat baik antara aspal dan agregat maupun antara sesama aspal. Sebagai bahan pengisi, aspal berfungsi mengisi rongga antar agregat dan pori - pori yang ada pada agregat (Widojoko, 2020). Aspal sebagai bahan utama perkerasan jalan terdiri dari beberapa jenis aspal, yaitu aspal alam, aspal keras, aspal cair, dan aspal modifikasi. Aspal memiliki sifat viskoelastis yaitu sifat untuk mencair pada suhu tinggi dan memadat pada suhu rendah. Sifat viskoelastis tersebut yang menjadikan aspal sebagai bahan utama dalam perkerasan jalan dikarenakan sifat tersebut membuat aspal dapat mengikat bahan-bahan pencampur perkerasan jalan (Mardiono, Nanra, & Rican, 2023).

Aspal keras (Asphalt Cement, AC) merupakan jenis aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas. Aspal ini berbentuk padat dalam keadaan penyimpanan 25°-30° (temperatur ruang). Pengelompokan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasi pada temperature 25°C di Indonesia (Yando, Panusunan, & Fauzan, 2023). Aspal semen biasanya dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya yaitu : AC pen 40/50, 60/70, 82/100, 120/150, dan 200/300. Aspal semen dengan penetrasi rendah digunakan di daerah ber cuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal semen dengan penetrasi tinggi digunakan di daerah ber cuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah (Masbullah & Bahri, 2021). Pada perencanaan jalan di Indonesia pada umumnya menggunakan aspal semen dengan penetrasi 60/70 dan 80/90 (Asidin, 2019). Penggunaan aspal sebagai campuran perkerasan jalan harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan yang ada (Bina Marga, 2018). Spesifikasi untuk aspal keras penetrasi 60/70 dapat dilihat pada 1.

2.2 CPHMA

CPHMA adalah campuran asbuton yang berupa campuran asbuton butir, agregat, bahan peremaja dan bahan tambahan lain yang dicampurkan panas lalu dihampar dingin. Percampuran CPHMA dilakukan secara panas menggunakan unit pencampuran aspal (*asphalt mixing plant*-AMP) dan dapat dihampar dan dipadatkan pada temperatur dingin sehingga cocok digunakan pada daerah yang jauh dari lokasi AMP (Thanaya, Suweda, & Sparsa, 2017). Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga (2018), secara visual CPHMA harus homogen, tidak mengalami segregasi dan penyelimutan permukaan agregat oleh aspal lebih dari 90%. Dengan abrasi maksimum nilai abrasi 40% dan ukuran batu maksimum agregat 12,5 mm. Terdapat tujuh karakteristik yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton, yaitu: stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, kekesatan, kedap air, ketahanan leleh dan workabilitas (Chania, Sara, & Sadalia, 2022). Kadar dan sifat yang harus dipenuhi pada campuran CPHMA dapat dilihat pada tabel 2. Syarat Gradasi campuran CPHMA dapat dilihat pada Tabel 3., sedangkan ketentuan sifat campuran CPHMA ada pada tabel 4.

2.3 Marshall Test

Terdapat tujuh karakteristik yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton, yaitu: stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, kekesatan, kedap air, ketahanan leleh dan workabilitas. Marshall test merupakan pengujian yang umum dilakukan untuk menentukan kinerja suatu perkerasan terhadap nilai stabilitas dan flow campuran aspal (Utomo, Azizah, & Pangestu, 2022). Parameter lainnya pada karakteristik campuran aspal beton dapat diukur melalui penimbangan benda uji dan perhitungan. Sukirman S, (2016) secara garis besar pengujian Marshall meliputi: pembuatan benda uji, pengujian berat jenis bulk benda uji, pengujian nilai stabilitas dan flow serta perhitungan sifat volumetrik benda uji (Oktaviani & Sembiring, 2022).

2.4 Ekstraksi Aspal

Ekstraksi merupakan suatu proses yang bertujuan untuk memisahkan dua atau lebih campuran melalui proses kimiawi berupa kondensasi (Lydia, Suria, & Fahmi, 2017). Ekstraksi dilakukan dengan menambahkan zat pelarut yang berfungsi untuk melarutkan bahan di dalam suatu campuran. Ada dua metode ekstraksi yang sering dilakukan, yaitu ekstraksi sentrifugal dan ekstraksi refluk (Dalena, Ali, & Ediwarman, 2022). Metode ekstraksi sentrifugal memisahkan agregat dan aspal dengan mekanisme putaran. Pada metode ini kecepatan putaran dapat diatur untuk menambah tingkat keefektifan adukan pelarut di dalam alat. Metode ekstraksi sentrifugal adalah metode proses ekstraksinya lebih cepat dan memiliki tingkat paparan pelarut yang paling rendah (Karisma, 2014). Metode pengujian refluk memisahkan campuran aspal melalui penguapan menggunakan tabung gelas yaitu dengan menguapkan pelarut secara sirkulasi untuk melarutkan aspal dalam campuran menjadi cairan, metode ini membutuhkan waktu yang lebih lama dari metode ekstraksi sentrifugal (HOT, 2014).

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Aspal Pen.60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode Penelitian	Tipe I Aspal Pen. 60/70	Tipe II Aspal yang Dimodifikasi	
				A	B
				Asbuton yang diproses	Elastomer Sintesis
1.	Penetrasi 25°C, 100gr, 5detik, 0,1mm	SNI 06-2456-1991	Min. 50	Min. 50	Min. 40
2.	Titik Lembek, (°C)	SNI 06-2434-1991	Min. 50	240-360	320-480
3.	Titik Nyala, (°C)	SNI 06-2433-1991	≥ 232	385-2000	≥ 300
4.	Daktalitas, 25°C, cm	SNI 06-2432-1991	≥ 100	≥ 100	≥ 100
5.	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	≥ 1,0	≥ 1,0	≥ 1,0
6.	Kelarutan dalam Trichlor Ethylen, % berat	AASHTO T44-03	≥ 99	≥ 90 ⁽¹⁾	≥ 99
7.	Penurunan Berat (dengan TFOT), % berat	SNI 06-2440-1991	≥ 0,8	≥ 0,8	≥ 0,8
8.	Penetrasi setelah kehilangan berat, % asli	SNI 06-2456-1991	≥ 54	≥ 54	≥ 54
9.	Daktalitas setelah TFOT, cm	SNI 06-2432-1991	≥ 100	≥ 100	≥ 100
10	Mineral lolos Saringan No. 100. %*	SNI 03-1968-1990	-	Min. 95	-

Sumber: Bina Marga, 2018

Tabel 2. Kadar dan Sifat Aspal Hasil Ekstrasi CPHMA

Sifat Aspal Dalam Campuran	Metode Pengujian	Persyaratan
Penetrasi aspal pada <i>temperature</i> 25°C, 100 g, 5 detik; dmm	SNI 2456: 2011	Min. 100
Titik Lembek; °C	SNI 2434: 2011	Min. 40
<i>Daktalitas</i> pada 25°C, 5 cm/menit; cm	SNI 2434: 2011	Min. 100
Kadar Aspal	SNI 03 – 3640 - 1994	6 - 8

Sumber: Bina Marga, 2018

Tabel 3. Syarat Gradasi Campuran CPHMA

Ukuran Ayakan		% Berat yang lolos Total Agregat
ASTM	(mm)	
¾"	19	100
½"	12,5	90 - 100
3/8"	9,5	---
No. 4	4,76	45 – 70
No. 8	2,36	25 – 55
No. 50	0,3	5 – 20
No. 200	0,075	2 – 9

Sumber: Bina Marga, 2018

Tabel 4. Sifat-sifat Campuran CPHMA

Sifat – Sifat Campuran CPHMA	CPHMA Padat	
Jumlah tumbukan per bidang	75	
Rongga dalam campuran (%)	Min	4
	Maks	10
Rongga Dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	16
Rongga Terisi Aspal %	Min.	60
Stabilitas Marshall (%), Temperatur Udara	Min.	500
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, temperature udara	Min.	60

Sumber: Bina Marga, 2018

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk penggunaan aspal CPHMA. Firstyan, dkk. (2015) melakukan Penelitian mengenai pengaruh suhu pemadatan terhadap kinerja Marshall pada campuran CPHMA menggunakan LGA dan aspal minyak penetrasi 60/70 dilakukan oleh Firstyan, dkk (2015). Menggunakan bahan asbuton LGA, agregat, aspal minyak pen 60/70 dan modifier dicobakan dua perlakuan yaitu terhadap suhu pemadatan 25°C, 37,5°C, 50°C, 67,5°C dan penambahan aspal minyak sebesar 5%, 10%, 15%, 20% terhadap kadar aspal campuran. Hasil analisis terhadap percobaan tersebut menunjukkan bahwa suhu pemadatan optimum diperoleh sebesar 90°C. Berdasarkan nilai suhu optimum dan penambahan aspal minyak optimum diatas diperoleh nilai stabilitas 1468,77 kg, flow 3,875 mm, VIM 15,834%, VMA 26,399 %, VFB 41,61%. Dalam penelitian disarankan perlunya

dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai beberapa variasi aspal, dikarenakan penambahan aspal optimum yang diperoleh dari proses iterasi melebihi batas yang diteliti. Penelitian lain oleh Akbariawan, Fadiansyah, Djakfar, and Bowoputro (2015) menggunakan material dari Madura bertujuan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja campuran CPHMA. Penelitian bertujuan mengetahui pengaruh penggunaan material Madura dan suhu pemadatan terhadap kinerja CPHMA. Penelitian menggunakan asbuton Lawele Granular Asbuton (LGA), agregat dan modifier.

Ada dua perlakuan aspal pada penelitian ini, yaitu prosentase penggunaan agregat Madura terhadap agregat lokal sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dan suhu pemadatan 25°C, 37,5°C, 50°C, 67,5°C. Diperoleh hasil percobaan bahwa suhu pemadatan optimum sebesar 81,748°C. Dari proporsi agregat Madura dan suhu pemadatan optimum diperoleh nilai flow 3,943 mm, stabilitas 1038,19 kg, VMA 29,031 %, VIM 19,22%, VFB 33,311% di mana nilai VFB dan VIM yang diperoleh tidak memenuhi standar spesifikasi. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk menentukan suhu pemadatan optimum, hal ini dikarenakan suhu pemadatan optimum atau ideal yang diperoleh dari proses iterasi melebihi batas suhu pemadatan yang diteliti. Penelitian oleh Syukur (2016) berupa percobaan laboratorium terhadap kuat tarik belah campuran asbuton campur panas hampar dingin. Campuran CPHMA menggunakan LGA sebagai bahan pengikat dan ditambahkan dengan peremaja dingin (Melvi, Ulvan, Sidiq, & Batubara, 2023). Hasil menunjukkan bahwa CPHMA memiliki rata-rata nilai kuat tekan yang cenderung stabil pada umur penyimpanan 4 jam, 3 hari, dan 7 hari yakni sebesar 1.686 Mpa, 1.513 Mpa, 1.633 Mpa. Sedangkan nilai kuat tarik untuk umur penyimpanan 4 jam, 3 hari, dan 7 hari sebesar 0,845 MPa, 0,815 MPa, dan 0,322 Mpa. Penelitian juga membandingkan capaian modulus toughness campuran pada umur penyimpanan 4 jam, 3 hari dan 7 hari sebesar 20446,67 J/m³, 20308,44 J/m³, 7620,67 J/m³.

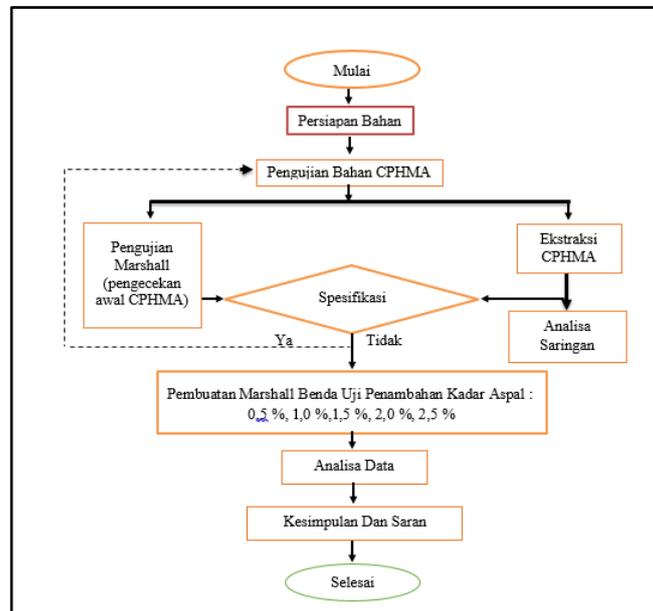
Dari hasil pengujian CPHMA tersebut diperoleh umur penyimpanan efektif hingga 3 hari sebelum dipadatkan. Penelitian tentang perbandingan karakteristik campuran CPMHA yang dipadatkan secara dingin dan panas juga dilakukan oleh (Thanaya et al., 2017). Bertujuan untuk memperoleh temperatur pemadatan ideal, kadar aspal residu optimum, dan perbandingan karakteristik CPHMA yang dipadatkan secara panas dan panas. Dilakukan emadatan pada suhu 30°C, 60°C, 90°C, 120°C, dan 150°C. Hasil menunjukkan suhu pemadatan ideal 90°C dan kadar aspal residu optimum 7 %. Pada pemadatan di bawah suhu 90°C terjadi nilai porositas yang lebih tinggi yaitu antara 4,86% - 5,53% namun masih memenuhi nilai spesifikasi 4%-10%. Pemadatan di atas suhu 90°C diperoleh nilai porositas antara 2.04% -3.0%, lebih rendah dari nilai spesifikasi (Suyudi, Sudadio, & Suherman, 2022). CPHMA yang dipadatkan pada suhu ideal 90°C memberikan nilai kekakuan (*stiffness*), rangkakan (*creep*), karakteristik Marshall, *cantabro*, dan kelelahan (*fatigue*) lebih baik dibandingkan dengan CPHMA yang dipadatkan dingin. Meskipun pemadatan pada suhu ruang 30°C memberi hasil uji yang memenuhi spesifikasi, namun agar memperoleh hasil yang lebih optimal maka disarankan CPHMA dipadatkan pada temperatur ideal 90 °C. Agar dapat mencapai hal tersebut maka penyiapan campuran dan mobilisasi ke lapangan perlu dipersiapkan dengan baik. Penelitian-penelitian tersebut di atas diatas dilakukan khususnya temperatur pemadatan yang baik dan hasil uji diperoleh dari hasil analisis dan iterasi (Novianti, Akhyari, Hakim, & Saputra, 2021). Penelitian dengan pengujian langsung karakteristik CPHMA dengan penambahan variasi aspal penetrasi aspal 60/70 perlu dilakukan untuk hasilnya dikaji lebih lanjut.

3. Metode penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian dengan uji laboratorium menggunakan benda uji CPHMA, dengan melakukan pengujian terhadap sifat mekanik campuran aspal dan ekstraksi campuran CPHMA. Diagram alir penelitian terlihat pada Gambar 1. Pengujian dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Pemeriksaan karakteristik dari agregat berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI). Pemeriksaan yang dilakukan adalah: ekstraksi (SNI 06-2489-1991); analisa saringan (SNI 03-1968-1990); uji marshall (SNI 06-2489-1991)
2. Benda uji dibuat dengan penambahan Kadar Aspal Penetrasi 60/70, dengan variasi aspal yang berbeda yaitu 0.5%; 1%; 1.5%; 2%, 2.5% lalu dilakukan pengujian terhadap karakteristik *marshall*.
3. Campuran dengan nilai stabilitas dan kelelahan yang paling tinggi akan digunakan sebagai acuan perbaikan.

4. Dengan variasi kadar aspal maka dibuatlah benda uji marshallnya.
5. Dilakukan pengujian Marshall Pada benda uji yang telah dibuat, untuk mendapatkan karakteristik Marshall yang terdiri dari: stabilitas; *flow* / kelelahan plastis; *void in the mix* (VIM); *void filled by asphalt* (VFB); *void in mineral aggregate* (VMA) dan *marshall quotient* (MQ), lalu hasil yang didapat dianalisis lebih lanjut untuk memperoleh hasil data dan kesimpulan.



Gambar 1. Diagram alir penelitian
Sumber: hasil olah data

Untuk mengetahui karakteristik dari benda uji CPHMA yang telah diproduksi maka dilakukan pengujian Marshall terhadap benda uji dengan menggunakan standar Spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 3 dengan syarat parameter yang harus dipenuhi sebagai berikut:

1. Kadar aspal 6% - 8%
2. Stabilitas, min 600 Kg
3. Rongga terisi aspal (VFB), min 60%
4. Rongga dalam campuran (VIM), 4% -10%
5. Rongga dalam agregat (VMA) min 16%
6. Kelelahan (*flow*), 3mm - 6mm
7. *Marshall quotient* (MQ)

4. Hasil dan pembahasan

Hasil ekstraksi terhadap benda uji CPHMA yang digunakan menunjukkan bahwa kadar aspal yang terkandung sejumlah 5,72% di mana kadar aspal ini kurang dari yang disyaratkan yaitu 6% - 8%. Demikian juga nilai kelelahan (*flow*) yang 2,8 mm sedangkan yang diisyaratkan 3 mm – 6 mm (tabel 5). Sedangkan uji analisa saringan terhadap agregat hasil ekstraksi dengan menggunakan ukuran saringan berdasarkan SNI 03-1968-1990 dapat dilihat pada tabel 6 dan kurva gradasi agregat gabungan dapat dilihat pada gambar 2.

Tabel 5. Hasil pengujian karakteristik Marshall terhadap benda uji CPHMA

No	Jenis Pengujian	Satuan	Syarat	Hasil Uji	Keterangan	Standar pengujian
1.	Kadar Aspal	%	Min.6 – Maks.8	5,72	Tidak Memenuhi	SNI 03 – 3640 – 1994 (<i>Ekstraksi</i>)
2.	Rongga Dalam Campuran (VIM)	%	Min.4	5,87	Memenuhi	SNI 06-2484-1991(Marshall)

			- Maks.10			
3.	Rongga Dalam Agregat (VMA)	%	Min. 16	17,46	Memenuhi	SNI 06-2484-1991(Marshall)
4.	Rongga Terisi Aspal (VFB)	%	Min. 60	66,37	Memenuhi	SNI 06-2484-1991(Marshall)
5.	Stabilitas Marshall	Kg	Min. 600	622	Memenuhi	SNI 06-2484-1991(Marshall)
6.	Kelelahan (<i>Flow</i>)	mm	Min.3 - Maks.6	2,80	Tidak Memenuhi	SNI 06-2484-1991(Marshall)
7.	<i>Marshall Quotient</i> (MQ)	Mm/kg	-	222	-	SNI 06-2484-1991(Marshall)

Sumber: hasil olah data

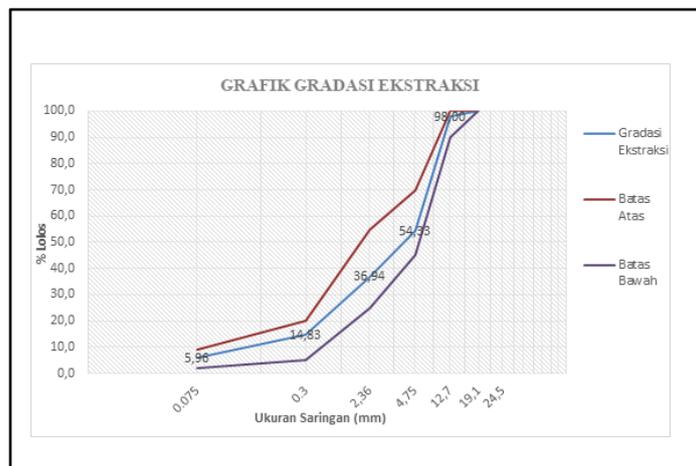
Tabel 6. Hasil pengujian gradasi agregat CPHMA

Ukuran Saringan		% Lolos Saringan		
Inchi	Mm	Berat Tertahan Individu	Berat Tertahan Kumulatif	Lolos Kumulatif
1	25.4	0	0	100
$\frac{3}{4}$	19.1	0	0	100
$\frac{1}{2}$	12.7	18,8	18,8	98,20
4	4.75	411,8	430,6	54,33
8	2.36	163,9	594,5	36,94
50	0.3	208,5	803	14,83
200	0.075	83,6	886,6	5,96

Sumber: hasil olah data

Analisa rancangan penambahan aspal penetrasi 60/70 mengacu pada syarat yang dilampirkan oleh Bina Marga 2018 yaitu antara 6-8%. Dari hasil uji awal terhadap benda uji CPMHA diperoleh kandungan aspal sebesar 5.72% sehingga untuk memperoleh kadar aspal optimum dilakukan penambahan aspal penetrasi 60/70 diberikan sebesar 0.5% - 2.5%, dengan tingkat kenaikan kadar aspal sebesar 0.5%. Penambahan kadar aspal optimum dilakukan agar diperoleh kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi dari parameter-parameter yang ditentukan dengan menggunakan standar Bina Marga 2018, yaitu: stabilitas, kelelahan (*Flow*), *marshall quotient* (MQ), rongga terisi aspal (VFA), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA).

Dengan menggunakan kapasitas *mould* 1200 gr maka berat campuran CPHMA untuk rancangan campuran agregat dan aspal penetrasi 60/70 dengan penambahan kadar aspal sebesar 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dan 2,5% dapat dilihat pada tabel 7.



Gambar 2. Kurva gradasi agregat CPHMA
Sumber: hasil olah data

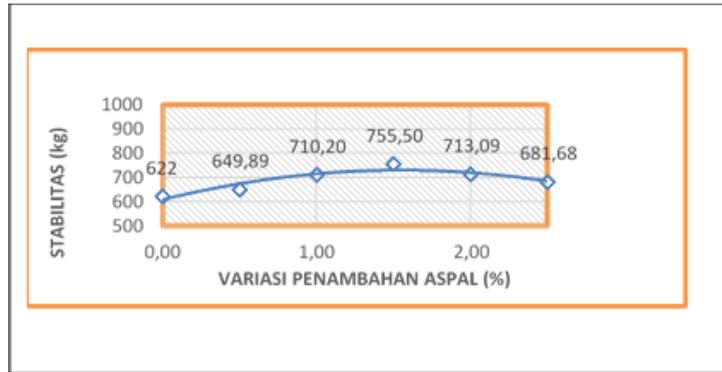
Tabel 7. Berat aspal dan agregat CPHMA

Penambahan kadar aspal (%)	Total kadar aspal (%)	Berat Aspal Terhadap Campuran (gr)	Berat Agregat Terhadap Campuran (gr)
0,5	6,22	74,64	1125,36
1,0	6,72	80,64	1119,36
1,5	7,22	86,64	1113,36
2,0	7,72	92,64	1107,36
2,5	8,22	98,64	1101,36

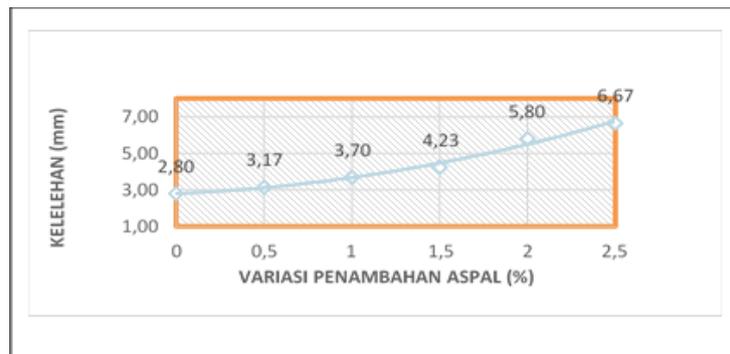
Sumber: hasil olah data

Hasil pengujian karakteristik Marshall untuk tingkat stabilitas (gambar 3) pada benda uji CPHMA dengan penambahan kadar aspal penetrasi 60/70 sebesar 0,5% - 2,5% menunjukkan pada penambahan kadar aspal 0,5% sampai 1,50 % nilai stabilitas naik dari 622,00 kg hingga 755,50 kg. Nilai stabilitas kemudian menurun pada penambahan kadar aspal 2% dan 2,5%, yaitu dari 755,50 kg menurun menjadi 713,09 dan 681,68 kg. Penurunan nilai stabilitas pada penambahan kadar aspal yang lebih tinggi disebabkan karena film aspal terlalu tebal menyelimuti agregat. Keseluruhan nilai stabilitas pada penambahan kadar aspal penetrasi 60/70 di atas memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu minimal 600 kg. Pengujian karakteristik Marshall untuk kelelahan (*flow*) terhadap penambahan kadar aspal penetrasi 60/70 sebesar 0,5% - 2,5% diperoleh bahwa nilai kelelahan (*flow*) meningkat seiring dengan meningkatnya persentase penambahan kadar aspal yaitu 3,17 mm – 6,67 mm (gambar 4). Nilai kelelahan (*flow*) yang diperoleh penambahan kadar aspal 0,5% - 2,0% memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu 3 mm – 6 mm, sedangkan pada penambahan kadar aspal 2,5% nilai kelelahan (*flow*) 6,67mm sehingga melebihi syarat maksimum yang diijinkan. Demikian juga nilai kelelahan (*flow*) benda uji CPHMA asli sebelum penambahan kadar aspal berjumlah 2,8 mm dan tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.

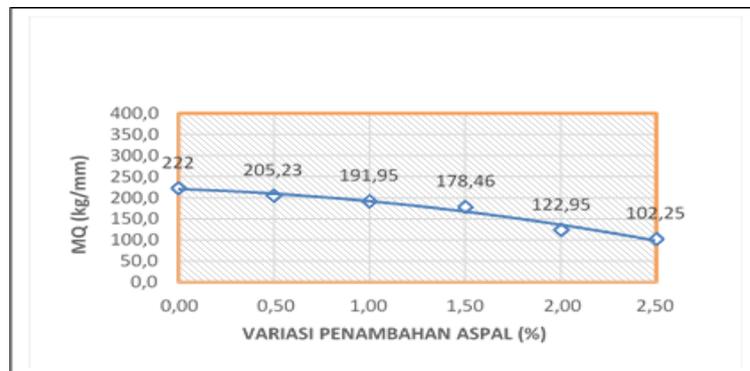
Dari nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*) dihitung nilai *Marshall Quotient* (MQ) yang merupakan nilai perbandingan antara stabilitas dan kelelahan (*flow*) (Asidin, 2019). Nilai MQ mengindikasikan pendekatan kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran aspal. Semakin besar nilai MQ berarti campuran semakin kaku sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur. Pada penambahan kadar aspal penetrasi 60/70 dengan variasi penambahan 0,5% - 2,5% menunjukkan semakin tinggi tingkat persentase penambahan aspal maka nilai MQ semakin mengecil (gambar 5).



Gambar 3. Grafik hubungan penambahan kadar aspal dan stabilitas
Sumber: hasil olah data

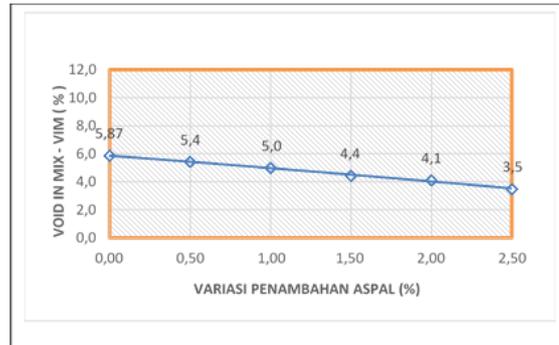


Gambar 4. Grafik hubungan penambahan kadar aspal dan kelelehan (flow)
Sumber: hasil olah data



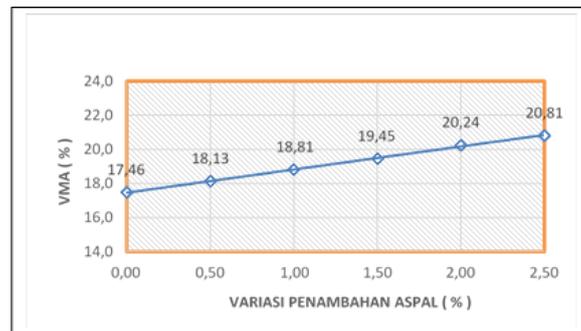
Gambar 5. Grafik hubungan penambahan kadar aspal terhadap nilai MQ
Sumber: hasil olah data

Hasil pengujian karakteristik Marshall terhadap nilai rongga dalam campuran (*void in mix*, VIM) terlihat pada gambar 6. Nilai VIM menyatakan banyaknya persentase rongga udara dalam campuran aspal. Kekuatan campuran dipengaruhi oleh nilai VIM, pada nilai VIM yang terlalu kecil campuran akan rentan mengalami *bleeding*, hal ini disebabkan saat temperatur aspal melebihi titik lelehnya maka aspal akan mudah keluar ke permukaan (Djakfar, Wiyanta, Bowoputro, & Baisa, 2018). Terlihat bahwa nilai VIM semakin kecil dengan penambahan kadar aspal. Hasil pengujian menunjukkan nilai VIM menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal penetrasi 60/70, hal ini disebabkan karena jumlah aspal yang mengisi rongga antar butiran agregat semakin bertambah, sehingga volume rongga dalam campuran menurun.



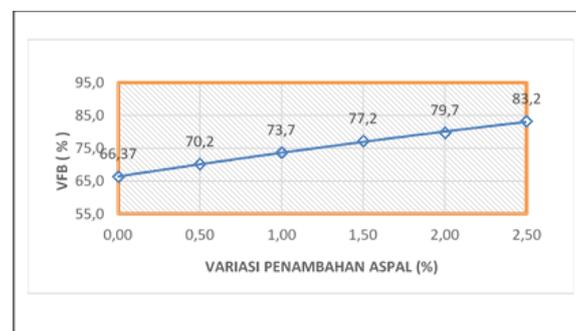
Gambar 6. Grafik hubungan penambahan kadar aspal terhadap nilai VIM
 Sumber: hasil olah data

Pada pemeriksaan karakteristik void *in mineral aggregate* (VMA) terlihat bahwa nilai VMA bertambah seiring dengan penambahan variasi penetrasi aspal 60/70 (gambar 7). VMA adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat. Nilai VMA mempengaruhi kinerja campuran aspal, di mana nilai VMA yang terlalu kecil menyebabkan campuran aspal akan mengalami masalah durabilitas sedangkan nilai VMA yang terlalu besar akan menimbulkan masalah pada stabilitas. Hasil uji coba menunjukkan nilai VMA memenuhi syarat yang ditentukan yaitu minimal 16%



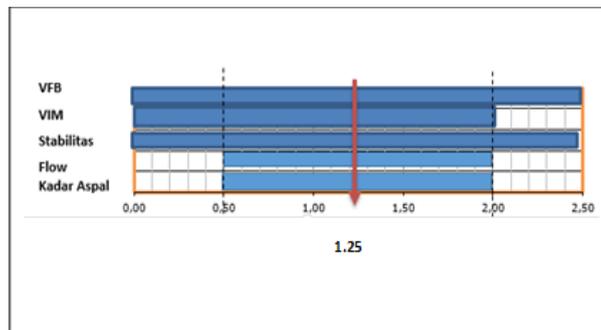
Gambar 7. Grafik hubungan penambahan kadar aspal terhadap nilai VMA
 Sumber: hasil olah data

Hasil uji karakteristik *void filled by asplath/bitumen* (VFB) pada gambar 8 menunjukkan persentase besarnya rongga yang dapat terisi bitumen/aspal. Nilai VFB akan meningkat dengan penambahan persentase kadar aspal. Semakin banyak kadar aspal maka campuran semakin awet dan semakin sedikit kadar aspal maka agregat yang terselimuti aspal semakin tipis yang menyebabkan campuran tidak awet. Nilai VFB berpengaruh pada sifat kedekatan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Hasil uji pada keseluruhan benda uji menunjukkan nilai VFB yang memenuhi syarat yang ditentukan yaitu minimal 60%



Gambar 8. Grafik hubungan penambahan kadar aspal terhadap nilai VFB
 Sumber: hasil olah data

Dari perbandingan keseluruhan hasil uji karakteristik Marshall untuk penambahan kadar aspal penetrasi 60/70 terlihat hasil yang layak yang layak digunakan adalah penambahan 0,5% - 2 %. Sedangkan pada penambahan 2,5% nilai kelelahan (*flow*) melebihi ambang batas yang diijinkan serta menunjukkan nilai VIM yang semakin mengecil. Penambahan kadar aspal penetrasi 60/70 optimum dengan hasil memenuhi standar parameter yang ditentukan adalah 1,25% (gambar 9). Ini berarti penggunaan aspal penetrasi 60/70 dalam campuran CPHMA yang diproduksi yang disarankan sebesar 6,97 % dari berat total campuran.



Gambar 9. Penambahan kadar aspal penetrasi 60/70 optimum
Sumber: hasil olah data

5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Penambahan kadar aspal penetrasi 60/70 terhadap benda uji awal adalah sebesar 0,5 % sampai dengan 2,5 % dengan tingkat kenaikan penambahan kadar aspal 0,5 %, dan dilakukan pengujian terhadap karakteristik *marshall*
2. Hasil uji terhadap karakteristik marshall harus memenuhi Standar Bina Marga 2018 revisi 3 pada 6 parameter, yaitu: stabilitas, kelelahan (*flow*), *marshall quotient* (MQ), rongga terisi aspal (VFB), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA). Nilai penambahan kadar aspal penetrasi 60/70 yang memenuhi standar tersebut adalah pada penambahan sebesar 0,5%; 1,0%; 1,5% dan 2.0 %.
3. Penambahan kadar aspal penetrasi 60/70 optimum dengan hasil memenuhi standar parameter Bina Marga adalah 1,25%. sehingga penggunaan aspal penetrasi 60/70 dalam campuran CPHMA yang diproduksi yang disarankan di lapangan disarankan sebesar 6,97 % dari berat total campuran.

Referensi

- Akbariawan, R., Fadiansyah, R., Djakfar, L., & Bowoputro, H. (2015). *Penggunaan Material Lokal Madura Terhadap Kinerja Campuran CPHMA (Cold Paving Hot Mix Asbuton)*. Brawijaya University.
- Asidin, A. (2019). Pengaruh Gradasi Agregat Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran CPHMA (Cold Paving Hot Mix Asbuton). *Jurnal MEDIA INOVASI Teknik Sipil Unidayan*, 8(1).
- Chania, M. F., Sara, O., & Sadalia, I. (2022). Analisis Risk dan Return Investasi pada Ethereum dan Saham LQ45. *Studi Ilmu Manajemen dan Organisasi*, 2(2), 139-150. doi:[10.35912/simo.v2i2.669](https://doi.org/10.35912/simo.v2i2.669)
- Dalena, M. N. R., Ali, S., & Ediwarman, E. (2022). Pengaruh Lingkungan Kerja dan Beban Kerja terhadap Kepuasan Kerja Karyawan Wisma Sehati BSD Tangerang Selatan. *Studi Ilmu Manajemen dan Organisasi*, 1(2), 115-136. doi:[10.35912/simo.v1i2.712](https://doi.org/10.35912/simo.v1i2.712)
- Dharma, F., Agustina, Y., & Windah, A. (2021). Penerapan Manajemen Keuangan dan Digital Marketing pada Pelaku Usaha Rengginang di Desa Kunjir. doi:<https://doi.org/10.35912/jnm.v1i1.620>
- Djakfar, L., Wiyanta, Y. K., Bowoputro, H., & Baisa, H. L. (2018). Pengaruh Kadar Kapur Padam Sebagai Bahan Pengisi Campuran Cold Paving Hot Mix Asbuton. *Jurnal Transportasi*, 18(1), 21-28.

- Hernawan, B. D., & Srimulyani, V. A. (2022). Dampak Kompensasi terhadap Retensi Karyawan dengan Kepuasan Kerja sebagai Pemediator. *Reviu Akuntansi, Manajemen, dan Bisnis*, 1(2), 115-125. doi:[10.35912/rambis.v1i2.888](https://doi.org/10.35912/rambis.v1i2.888)
- HOT, P. O. W. C. O. (2014). PENGARUH PENGKONDISIAN BENDA UJI TERHADAP SIFAT VOLUMETRIK CAMPURAN BERASPAL PANAS LAPIS AUS (THE CONDITIONING EFFECT OF SPECIMENS ON VOLUMETRIC PROPERTIES OF WEARING COURSE OF HOT MIX ASPHALT). *Jurnal Jalan-Jembatan*, 31(1), 1-11.
- Karisma, C. (2014). Evaluasi Hasil Pengujian Ekstraksi Menggunakan Metode Sentrifugal Dan Refluk Pada Campuran AC-WC.
- Lydia, E. N., Suria, A., & Fahmi, F. (2017). Perbandingan Kadar Aspal Hasil Ekstraksi Dengan Campuran Pertamina. *JURUTERA-Jurnal Umum Teknik Terapan*, 4(01), 6-12.
- Mardiono, D. A., Nanra, S., & Rican, D. (2023). Rancang Bangun Pengaman Pintu Menggunakan RFID Dengan Mikrokontroler Atmega 328. doi:<https://doi.org/10.35912/jatra.v1i1.1872>
- Masbullah, M., & Bahri, S. Y. (2021). Manajemen pendataan aset sekretariat daerah kabupaten Lombok Timur. *Studi Ilmu Manajemen dan Organisasi*, 2(1), 1-9. doi:[10.35912/simo.v2i1.289](https://doi.org/10.35912/simo.v2i1.289)
- Melvi, M., Ulvan, A., Sidiq, M. R., & Batubara, M. A. M. (2023). Rancang Bangun Sistem Monitoring Ketinggian Muka Air Laut Menggunakan Arduino Pro Mini dan NodeMCU ESP8266. doi:<https://doi.org/10.35912/jatra.v1i1.1794>
- Novianti, A., Akhyari, M. R., Hakim, S. N., & Saputra, N. (2021). Meneropong Dampak Stress, Social Skills dan Internet Addiction pada Office Workers semasa Covid-19. *Reviu Akuntansi, Manajemen, dan Bisnis*, 1(1), 39-60. doi:[10.35912/rambis.v1i1.501](https://doi.org/10.35912/rambis.v1i1.501)
- Nurhidayati, R., Arifiya, N., Setiawan, A., Larasakti, R., & Heriansyah, H. (2022). Strategi Pemasaran dengan Teori Permainan pada Usaha Minuman Street Boba dan Kamsia Boba. *Studi Ilmu Manajemen dan Organisasi*, 3(2), 303-314. doi:[10.35912/simo.v3i2.1388](https://doi.org/10.35912/simo.v3i2.1388)
- Oktaviani, E., & Sembiring, F. M. (2022). Pengaruh Likuiditas, Leverage, Profitabilitas dan Ukuran Perusahaan terhadap Financial Distress: Studi Pada Perusahaan Sub Sektor Wholesale di BEI Periode. *Reviu Akuntansi, Manajemen, dan Bisnis*, 1(2), 127-144. doi:[10.35912/rambis.v1i2.944](https://doi.org/10.35912/rambis.v1i2.944)
- Putri, L. A., Wulan, M. N., Fihartini, Y., Ambarwati, D. A. S., & Pandjaitan, D. R. (2022). Pendampingan Pengembangan Pemasaran Digital Pada BUMDes Artha Jaya, Desa Yogyakarta Selatan. doi:<https://doi.org/10.35912/jnm.v2i1.1442>
- Riski, S., & Widiani, M. E. (2020). Pengaruh iklim komunikasi dan promosi jabatan terhadap kinerja dan motivasi dengan disiplin dan kepuasan kerja sebagai variabel intervening. *Studi Ilmu Manajemen dan Organisasi*, 1(1), 33-55. doi:[10.35912/simo.v1i1.61](https://doi.org/10.35912/simo.v1i1.61)
- Suaryana, N. (2016). Performance evaluation of stone matrix asphalt using Indonesian natural rock asphalt as stabilizer. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 9(5), 387-392.
- Sutrisna, I. G. U. H. (2021). Evaluasi Material Lokal Campuran Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) Stabilitas Marshall Sebagai Parameter Ketahanan Terhadap Deformasi. *JURNAL SANGKAREANG MATARAM*, 8(3), 14-17.
- Suyudi, I., Sudadio, S., & Suherman, S. (2022). Pengenalan Bahasa Isyarat Indonesia menggunakan Mediapipe dengan Model Random Forest dan Multinomial Logistic Regression. doi:<https://doi.org/10.35912/jisted.v1i1.1899>
- Thanaya, I. N. A., Suweda, I. W., & Sparsa, A. (2017). Perbandingan karakteristik campuran cold paving hot mix asbuton (CPHMA) yang dipadatkan secara dingin dan panas. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 24(3), 247-256.
- Utomo, K. B., Azizah, A., & Pangestu, M. A. (2022). Peran Computer Assited Test dalam Implementasi Penilaian di SD Negeri 005 Palaran. doi:<https://doi.org/10.35912/jisted.v1i1.1529>
- Widjoko, L. (2020). Pengujian Pemasatan Campuran Beton Aspal. *Jurnal Teknik Sipil Bandar Lampung*, 7(2), 211701.
- Yando, J. R., Panusunan, P., & Fauzan, F. (2023). Penggunaan Filler Tanah (Silt) sebagai Perencanaan Campuran Aspal Beton AC-WC. doi:<https://doi.org/10.35912/jatra.v1i1.1873>