

Pengaruh Pemadatan Berulang Terhadap Sifat Campuran Aspal CPHMA

Nurul Fadhilah Salsabila, Abdul Rahim Nurdin, Tamrin Mallawangeng

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Bosowa

E-mail: dsalsa112@gmail.com

Artikel info

Artikel history:

Diterima: 06-01-2025

Direvisi: 02-05-2025

Disetujui: 30-09-2025

Abstract. Indonesia is one of the countries that have natural wealth on Buton Island, commonly known as Buton Asphalt. One of the products is Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA). CPHMA is a natural asphalt mixture consisting of aggregates, buton grains, juvenile substances and other added substances, which are hotly mixed and ready for cold use. CPHMA is widely used on low-traffic roadways. The purpose of this study was to determine the effect of repeated solidification on the properties of near-cold hot mixed smutons (Cold Paving Hot Mix Asbuton) by testing Marshall's method. This study used repeated solidification methods on the 7th, 14th and 21st days. The test items were made of 18 briquettes consisting of 6 characteristic briquettes and 12 variational briquettes. This study refers to the 2018 Bina Marga Specification. Results from this study show that the influence of repeated solidification on CPHMA asphalt mixtures causes density, stability, MQ and VFB to decrease further. The flow, VMA, and VIM values are increasing.

Abstrak. Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki kekayaan alam yang terdapat di Pulau Buton yang biasa disebut Aspal Buton. Salah satu dari produk Asbuton ialah Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA). CPHMA ialah campuran aspal alam yaitu asbuton yang terdiri dari agregat, asbuton butir, bahan peremaja dan bahan tambah lain jika diperlukan, yang dicampur secara panas dan siap untuk digunakan dingin. CPHMA banyak digunakan pada perkerasan jalan yang bervolume lalu lintas rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pemadatan berulang terhadap sifat asbuton campuran panas hampir dingin (Cold Paving Hot Mix Asbuton) dengan pengujian metode Marshall. Penelitian ini menggunakan metode pemadatan berulang pada hari ke-7, hari ke-14 dan hari ke-21. Benda uji dibuat sebanyak 18 briket terdiri dari 6 briket karakteristik dan 12 briket variasi. Penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh pemadatan berulang pada campuran aspal CPHMA menyebabkan nilai kepadatan, stabilitas, MQ dan VFB semakin menurun. Sedangkan pada nilai flow, VMA, dan VIM semakin meningkat.

Keywords:

CPHMA, Pemadatan Berulang
Aspal

Coresponden author:

Email: dsalsa112@gmail.com



artikel dengan akses terbuka dibawah lisensi CC BY -4.0

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan pembangunan infrastruktur jalan di Indonesia menunjukkan momentum yang signifikan dan mendorong meningkatnya kebutuhan akan kualitas lapis permukaan perkerasan yang tahan lama dan memberikan rasa nyaman bagi pengguna. Aspal, sebagai bahan pengikat utama dalam perkerasan, memiliki sifat viskoelastis—leres pada suhu tinggi dan mengeras pada suhu rendah—yang menjadikannya ideal untuk mempertahankan struktur campuran jalan meskipun dipengaruhi oleh beban dan perubahan iklim. Di tengah ketergantungan pada aspal berbasis minyak, pemanfaatan asbuton (aspal alam dari Pulau Buton, Sulawesi Tenggara) menjadi alternatif strategis dan berkelanjutan. Deposito asbuton yang melimpah diperkirakan mencapai sekitar 677 juta ton dan dapat dimanfaatkan sebagai substitusi aspal minyak impor (Putra et al., 2021).

Salah satu produk inovatif berbasis asbuton adalah Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA), yakni campuran aspal yang diproduksi dengan pencampuran panas namun diterapkan dalam kondisi dingin, sehingga mengurangi konsumsi energi saat pelaksanaan di lapangan (Ministry of PUPR, 2013). Keberhasilan penerapan CPHMA sangat bergantung pada parameter teknis seperti teknik pemadatan. Pemadatan berulang dapat secara signifikan memengaruhi karakteristik volumetrik seperti densitas, stabilitas Marshall, serta ketahanan terhadap deformasi plastis dan keausan (Hassan et al., 2022). Temuan dari penelitian terkait menunjukkan bahwa pemadatan multi-step dapat meningkatkan densifikasi material dan distribusi agregat yang lebih merata, sehingga mengoptimalkan kekuatan Marcual dan modulus kaku campuran (Nguyen et al., 2020).

Aspal merupakan bahan utama dalam perkerasan jalan. Aspal memiliki beberapa jenis, 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 yang dimiliki aspal tersebut merupakan hal utama yang menjadikan aspal sebagai bahan utama dalam perkerasan jalan karena dapat mengikat bahan-bahan pencampur perkerasan

jalan.

Pembangunan jalan di Indonesia telah mengalami perkembangan, hal ini mengakibatkan kebutuhan akan aspal yang merupakan salah satu bahan ikat yang digunakan dalam campuran perkerasan juga ikut meningkat. Salah satu alternatif untuk mengurangi kebutuhan aspal minyak yang masih impor adalah dengan menggunakan asbuton yang merupakan aspal alam. Indonesia adalah negara yang kaya akan sumber daya alam. Salah satu kekayaan alam asli Indonesia adalah aspal alam yang biasa disebut asbuton dan terdapat di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton adalah campuran bitumen dengan mineral lainnya yang dapat digunakan sebagai pengganti aspal minyak. Deposit aspal alam yang tersimpan di Pulau Buton diperkirakan berjumlah 677.247.000 ton (Balitbang PU, 2016).

Upaya untuk meningkatkan pemanfaatan asbuton sebagai bahan pengikat pada perkerasan jalan beraspal telah dilakukan. Saat ini telah beredar dipasaran beberapa produk asbuton antara lain campuran panas hampir dingin (Cold Paving Hot Mix Asbuton) atau yang lebih dikenal dengan CPHMA merupakan salah satu produk dari asbuton. Menurut Ditjen Bina Marga (2013) CPHMA adalah campuran aspal yang terdiri dari agregat, asbuton butir, bahan peremaja dan bahan tambah lain bila diperlukan, yang sesuai dengan ketentuan spesifikasi, yang dihampar dan dipadatkan pada temperatur udara. Pencampuran panas dilakukan secara fabrikasi kemudian dipasarkan dalam bentuk kemasan. Sedangkan penghamparan dan pemadatan dilakukan secara dingin (temperatur udara).

Dengan demikian, penelitian ini diarahkan untuk menilai secara eksperimental bagaimana variabel pemadatan berulang memengaruhi sifat Marshall CPHMA, dengan tujuan mendukung pemanfaatan asbuton secara optimal dan mengurangi ketergantungan pada aspal minyak. Penerapan CPHMA dengan teknik pemadatan yang tepat akan memungkinkan konstruksi perkerasan yang lebih efisien, tahan lama, dan berdaya kompetitif dalam konteks lingkungan tropis Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Prosedur Penelitian Dengan Alat Marshall

Metodologi pengujian dalam penelitian ini diawali dengan proses pemadatan benda uji yang telah disiapkan, kemudian didinginkan pada suhu ruang hingga mencapai kondisi stabil. Setelah pendinginan, benda uji ditimbang untuk memperoleh berat kering di udara. Tahap selanjutnya adalah perendaman benda uji dalam air bersuhu kamar selama 24 jam guna mencapai kondisi Saturated Surface Dry (SSD). Setelah 24 jam, benda uji kembali ditimbang untuk menentukan berat SSD dan berat dalam air. Data ini digunakan untuk menghitung densitas dan porositas benda uji. Proses dilanjutkan dengan perendaman benda uji dalam air bersuhu 60°C selama 30 menit menggunakan water bath, yang dimaksudkan untuk mensimulasikan kondisi lingkungan tropis di lapangan. Setelah proses perendaman termal, benda uji segera dikeluarkan, dikeringkan secara cepat di permukaannya, lalu diuji menggunakan alat Marshall guna menentukan nilai stability dan flow. Nilai-nilai tersebut menjadi indikator utama untuk mengevaluasi performa struktural dan karakteristik mekanis campuran CPHMA yang digunakan. Pemilihan metode Marshall dalam studi ini didasarkan pada keandalannya dalam menilai kekuatan dan ketahanan deformasi campuran aspal, terutama dalam konteks evaluasi terhadap pengaruh pemadatan berulang pada material beraspal seperti asbuton (Chen et al., 2021; Kaloush et al., 2020). Rencana campuran yang diuji adalah Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA), yang mengandalkan pemanfaatan aspal alam Pulau Buton, dengan pencampuran panas namun dilakukan penghamparan dan pemadatan pada suhu lingkungan, sehingga menekankan efisiensi energi dan kemudahan pelaksanaan konstruksi.

2.2. Prosedur Penelitian Dengan Pemadatan Berulang

Prosedur pengetesan adalah benda uji yang telah dipadatkan dan didinginkan diambil 3 sampel ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji diudara, berat benda uji dalam air dan berat benda uji SSD. Kemudian diadakan pengetesan dengan alat marshall untuk benda uji tanpa perendaman. Benda uji yang lainnya yang berjumlah 9 sampel direndam selama 1 hari lalu dikeluarkan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji diudara, berat benda uji dalam air dan berat benda uji SSD. Pada hari ke – 7, seluruh benda uji dipadatkan kembali sebanyak 2 kali 75 tumbukan lalu benda uji sebanyak 3 sampel kemudian di tes dengan alat marshall.

Selanjutnya untuk benda uji berikutnya dibiarkan dalam keadaan kering. Kemudian dilakukan pemadatan kembali sebanyak 2 kali 75 lalu pada hari ke-14, diambil 3 sampel untuk diuji pada alat marshall. Kemudian pada hari ke – 21 sisa sampel dipadatkan lagi lalu di tes dengan alat marshall . Dari pengetesan benda uji akan diperoleh data stabilitas dan Flow sebagai dasar untuk menentukan sifat-sifat campuran. Rancangan campuran yang digunakan dalam penelitian ini yaitu CPHMA.

2.3. Rancangan Benda Uji

Rancangan benda uji dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1. Tabel Rancangan Benda Uji

Sumber : Hasil Penelitian

Uraian kegiatan pengujian				
1. Pemadatan Normal				
Kadar Aspal (%)	Jumlah Pemadatan		Waktu Perendaman (Menit/jam)	Jumlah
Optimum	2 x 75		30 jam	3
Optimum	2 x 75		2 x 24 jam	3
2. Pemadatan Berulang				
Kadar Aspal (%)	Jumlah Pemadatan		Hari	Jumlah
Optimum	2 x 75		Tanpa Perendaman	3
Optimum	2 x 75		Hari Ke - 7	3
Optimum	2 x 75		Hari Ke - 14	3
Optimum	2 x 75		Hari Ke - 21	3
Total Benda Uji				18

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rincian. Tujuan utama dari pengujian Marshall dalam penelitian ini adalah untuk mengevaluasi karakteristik teknis dari campuran Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) pada berbagai kadar aspal, khususnya setelah proses perendaman dalam air bersuhu 60°C selama durasi 30 menit. Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dua parameter utama, yaitu stabilitas (stability) dan kelelahan plastis (flow) dari campuran aspal. Stabilitas merupakan indikator kemampuan campuran untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi struktural yang signifikan, sedangkan flow menggambarkan tingkat deformasi plastis yang terjadi sebelum terjadinya kegagalan struktural pada campuran tersebut.

Dengan kata lain, pengujian ini berfungsi untuk mengetahui sejauh mana campuran CPHMA dapat mempertahankan integritas mekanisnya dalam kondisi termal dan pembebanan tertentu, yang disimulasikan melalui prosedur Marshall. Pemilihan waktu perendaman selama 30 menit bertujuan untuk merepresentasikan pengaruh suhu tinggi lingkungan tropis terhadap kinerja aspal, yang umum dijumpai pada permukaan perkerasan jalan di Indonesia. Hasil pengujian ini disajikan dalam bentuk data kuantitatif yang mencerminkan hubungan antara kadar aspal dan nilai stabilitas serta flow, sebagaimana ditunjukkan dalam tabel hasil pengujian berikutnya. Analisis terhadap nilai-nilai tersebut sangat penting dalam menentukan komposisi campuran optimum yang memenuhi persyaratan kinerja berdasarkan spesifikasi teknis dan kondisi lalu lintas aktual.

Tabel 2. Resume Hasil Uji Karakteristik Campuran CPHMA Marshall Sisa dengan Perendaman Waterbath Selama 30 Menit dan 2x24 Jam

NO	PEMERIKSAAN	Pemadatan Berulang					Spesifikasi 2018	
		Kadar Aspal 7,04%						
		2 X 75 Tumbukan						
NO	PEMERIKSAAN	NORMAL	TANPA PERENDAMAN	HARI KE - 7	HARI KE - 14	HARI KE - 21	Spesifikasi 2018	
1	Kepadatan	2.306	2.324	2.322	2.313	2.296	-	
2	Stabilitas (Kg)	1240.15	1361.73	987.26	821.90	758.68	Min 500	
3	FLOW (mm)	3.63	3.55	3.87	4.77	5.22	3 - 5	
4	VMA (%)	16.44	15.79	15.86	16.17	16.79	Min 16	
5	VIM (%)	5.79	5.05	5.13	5.48	6.18	4 - 10	
6	VFB (%)	64.84	68.03	67.68	66.26	63.21	Min 60	
7	MQ (Kg/mm)	358.87	389.15	258.00	174.06	145.90	Min 250	

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 3. Resume Hasil Uji Karakteristik Campuran CPHMA dengan Pemadatan Berulang

NO	PEMERIKSAAN	Kadar Aspal 7,04%		Spesifikasi 2018
		30 Menit	2 x 24 Jam	
1	Kepadatan	2.306	2.28	-
2	Stabilitas (Kg)	1240.15	962.94	Min 500
3	FLOW (mm)	3.63	3.00	Min 3-5
4	VMA (%)	16.44	17.40	Min 16
5	VIM (%)	5.79	6.86	Min 4-10
6	VFB (%)	64.84	60.56	Min 60
7	MQ (Kg/mm)	358.87	266.43	Min 250
8	Stabilitas Sisa (%)		78%	Min 60

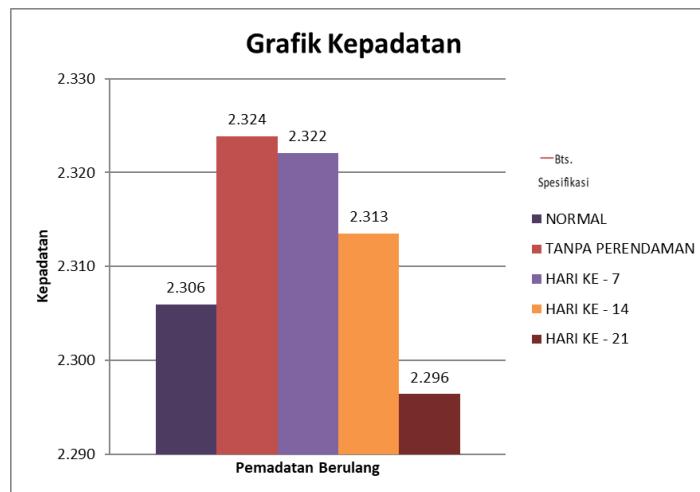
Sumber : Hasil Penelitian

Hasil Pengujian dengan Pemadatan Berulang pada Campuran Beraspal Panas Asbuton Dihampar Dingin (CPHMA)

Hasil pengujian campuran benda uji pada alat pengujian Marshall dengan menggunakan perendaman waterbath selama 30 menit akan diperoleh hasil-hasil parameter Marshall dan hasil uji Marshall tersebut sebagai berikut:

a. **Kepadatan (Density)**

Nilai *density* (kepadatan) menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan *density* tinggi dalam batas tertentu akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat dibandingkan dengan campuran yang mempunyai *density* yang rendah.

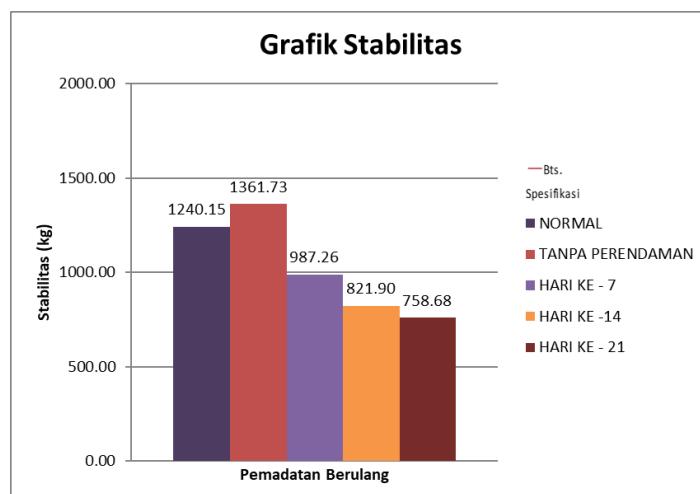


Gambar 1. Diagram Hubungan Pemadatan Berulang Terhadap Kepadatan

Gambar 1 menunjukkan bahwa kepadatan semakin menurun diakibatkan jumlah pemadatan berlebih. Akibat beban yang berlebih maka kerekatan asbuton semakin berkurang.

b. **Stabilitas Minimum 500 Kg**

Nilai stabilitas menunjukkan kemampuan aspal untuk menahan timbunan tanpa mengalami kerusakan (*twisting*) yang sangat tahan lama, dinyatakan dalam satuan beban lalu lintas. Aspal yang memiliki nilai kesehatan yang tinggi akan benar-benar ingin menahan beban lalu lintas yang sangat besar. Namun kepadatan yang rendah akan menyebabkan aspal tidak sulit untuk digunakan, menghadapi *rutting* oleh beban lalu lintas.

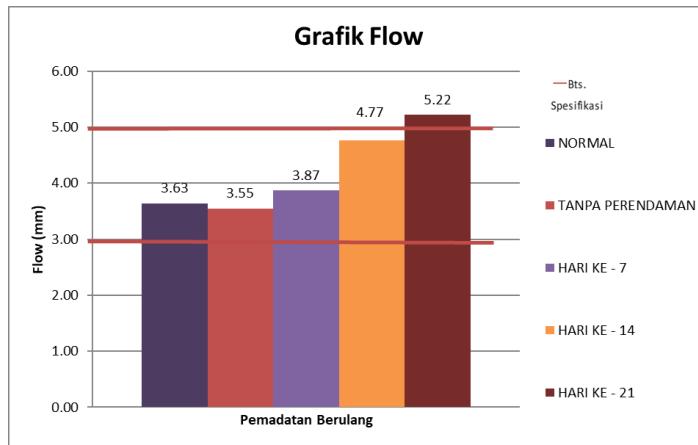


Gambar 2. Diagram Hubungan Pemadatan Berulang Terhadap Stabilitas

Gambar 2 menunjukkan nilai stabilitas semakin menurun seiring dilakukannya pemadatan berulang. maka tebal selimut aspal akan semakin menurun. Seiring bertambahnya pemadatan, agregat pada benda uji banyak yang terkelupas saat dikeluarkan ataupun dimasukkan kembali pada mould sehingga berpengaruh baik pada berat dan nilai stabilitasnya.

c. **Kelelahan (Flow), 3 - 5 mm**

Nilai Flow menyatakan besarnya deformasi yang terjadi pada suatu lapis perkerasan akibat beban lalu lintas. Suatu campuran dengan nilai Flow tinggi akan cenderung lembek sehingga akan menyebabkan deformasi permanen apabila menerima beban. Sebaliknya jika nilai Flow rendah maka campuran menjadi kaku dan mudah retak jika menerima beban yang mengalami daya dukungnya.

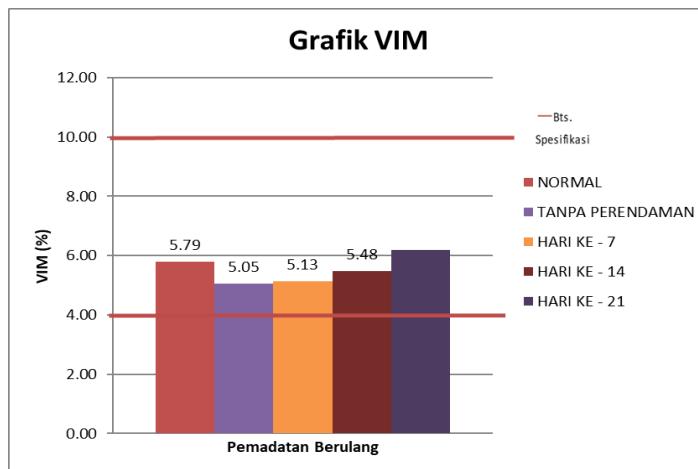


Gambar 3. Diagram Hubungan Pemadatan Berulang Terhadap Flow

Gambar 3 menunjukkan semakin dilakukan pemadatan berulang nilai flow mengalami peningkatan yang cukup besar. Peningkatan flow yang terjadi diakibatkan dari nilai kerekatan yang rendah.

d. Void In Mixture (VIM), 4% – 10%

VIM (Void In Mixture) merupakan persentase rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah dilakukan pemadatan. VIM atau rongga dalam campuran adalah parameter yang biasanya berkaitan dengan durabilitas dan kekuatan dari campuran. Semakin kecil nilai VIM, maka akan bersifat kedap air. Namun nilai VIM yang terlalu kecil dapat mengakibatkan keluarnya aspal ke permukaan. Grafik nilai VIM campuran beraspal panas Asbuton dihampar dingin (CPHMA) untuk pemadatan berulang.

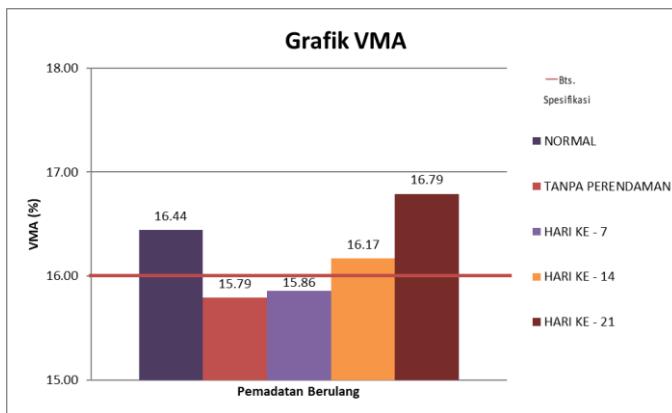


Gambar 4. Diagram Hubungan Pemadatan Berulang Terhadap VIM

Gambar 4 menunjukkan semakin naiknya nilai VIM menunjukkan bahwa rongga dalam campuran semakin bertambah sehingga campuran bersifat porous, hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat dimana air dan udara mudah masuk ke rongga-rongga dalam campuran.

e. Void In Mineral Aggregate (VMA) Minimum 16%

Void In Mineral Aggregates (VMA) merupakan parameter penting dalam karakterisasi campuran aspal yang menggambarkan persentase volume rongga di antara butiran agregat dalam suatu satuan volume campuran, sebelum rongga tersebut terisi oleh aspal. VMA mencakup total volume rongga internal agregat yang terdiri atas dua komponen utama, yaitu rongga yang nantinya akan terisi oleh udara (air voids) serta rongga yang terisi oleh aspal efektif, yaitu aspal yang tidak diserap oleh agregat. Nilai VMA berperan penting dalam memastikan bahwa campuran aspal memiliki ruang yang cukup untuk menampung aspal dalam jumlah yang memadai agar dapat menjamin kekuatan ikatan antara agregat serta ketahanan terhadap deformasi dan kerusakan akibat beban lalu lintas serta perubahan suhu.

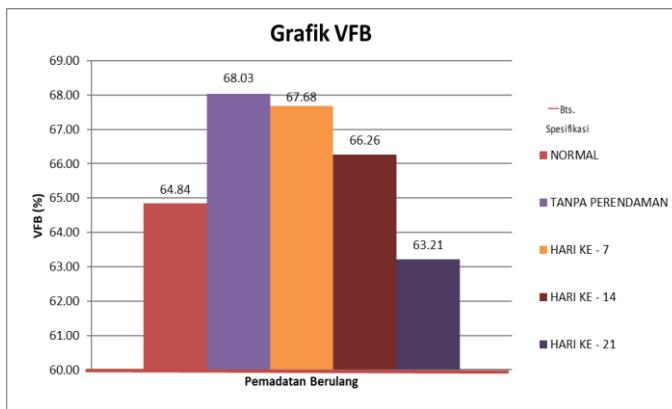


Gambar 5. Diagram Hubungan Pemadatan Berulang Terhadap VMA

Gambar 5 menunjukkan sernakin meningkat nilai VMA berarti sernakin meningkat jumlah rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap air dan udara semakin tinggi, namun nilai VMA yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan potensi terjadinya bleeding pada perkerasan lebih tinggi pada saat menerima beban pada temperatur tinggi.

f. Void Filled with Bitumen (VFB) Minimum 60%

Nilai VFB menyatakan persentase rongga yang dapat terisi aspal besarnya nilai VFB menentukan tingkat keawetan campuran. Nilai VFB yang besar menunjukkan jumlah aspal yang mengisi rongga besar sehingga kekedapan campuran akan meningkat.

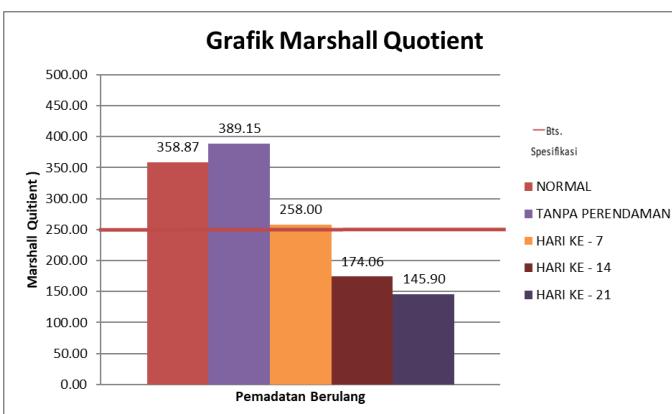


Gambar 6. Diagram Hubungan Pemadatan Berulang Terhadap VFB

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai VFB yang terlalu rendah menyebabkan campuran bersifat porous dan mudah teroksidasi.

g. Marshall Quotient (MQ) Minimum 250 Kg/mm

Hasil bagi Marshall atau Marshall Quotient merupakan rasio antara nilai stabilitas terhadap kelelahan (flow) pada campuran aspal, yang digunakan sebagai indikator empiris untuk menilai kekakuan dan daya tahan campuran terhadap deformasi. Nilai MQ yang tinggi menunjukkan campuran cenderung kaku dan mampu menahan beban berat, namun lebih rentan terhadap retak, sementara nilai yang terlalu rendah mengindikasikan campuran lebih lentur namun kurang stabil. Oleh karena itu, keseimbangan antara stabilitas dan flow menjadi krusial dalam desain campuran aspal untuk mencapai performa struktural dan fleksibilitas yang optimal



Gambar 7. Diagram Hubungan Pemadatan Berulang Terhadap VFB

Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai MQ dengan nilai rendah memiliki campuran yang fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis data dari pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemadatan berulang memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap sifat-sifat Marshall pada campuran Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA). Nilai kepadatan, stabilitas, Marshall Quotient (MQ), dan Void Filled with Bitumen (VFB) menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya intensitas pemadatan. Penurunan stabilitas menunjukkan bahwa daya tahan campuran terhadap beban vertikal menurun, sedangkan penurunan nilai MQ mengindikasikan penurunan tingkat kekakuan campuran yang dapat berdampak pada ketahanan terhadap deformasi plastis. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemadatan yang berulang tanpa pengendalian yang tepat dapat menyebabkan penurunan kualitas struktural campuran.

Sebaliknya, parameter lain seperti nilai flow, Void in Mineral Aggregate (VMA), dan Void in Mix (VIM) justru mengalami peningkatan. Peningkatan flow menandakan campuran menjadi lebih plastis ketika menerima beban, sementara naiknya nilai VMA dan VIM menunjukkan adanya peningkatan rongga dalam campuran yang berpotensi menurunkan ketahanan terhadap air dan beban lalu lintas. Namun demikian, nilai stabilitas pada hari ke-7 setelah pemadatan masih berada dalam rentang yang memenuhi syarat teknis berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Oleh karena itu, meskipun pemadatan berulang dapat menurunkan beberapa sifat mekanik campuran, campuran CPHMA tetap layak digunakan dalam konstruksi jalan dengan catatan bahwa kontrol terhadap proses pemadatan sangat penting untuk menjamin performa campuran secara optimal sepanjang umur layanannya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Hassan, N. A., Hainin, M. R., & Airey, G. D. (2022). The impact of compaction methodology on performance of hot mix asphalt—A review. *Construction and Building Materials*, 297, 124912. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124912>
- Ministry of Public Works and Public Housing. (2013). Pedoman Teknis CPHMA untuk Perkerasan Jalan. Jakarta: Kementerian PUPR RI.
- Nguyen, H. T. et al. (2020). Repeated compaction effect on volumetric and mechanical properties of asphalt mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(12), 04020412. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003345](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003345)
- Putra, R. A., Yamin, M., & Adi, W. (2021). Properties of Buton natural asphalt (Asbuton) for paving application. *Journal of Sustainable Road Construction and Maintenance*, 2(1), 45–54.
- Balitbang. 2016. Asbuton (Aspal Batu Buton).[http://ASBUTON \(Aspal Buton\) _ Badan Litbang PUPR.html](http://ASBUTON (Aspal Buton) _ Badan Litbang PUPR.html).
- Huang, Y. H., et al. (2022). Design process of asphalt mixture incorporating compaction-effort variable. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(8), 04020412. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003295](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003295)
- Rahmat, N. A., Hassan, N. A., Jaya, R. P., Mohd Satar, M. K. I., Mohd Azahar, N., Ismail, S., & Hainin, M. R. (2019). Effect of compaction temperature on the performance of dense-graded asphalt mixture. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 244, 012012. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/244/1/012012>
- Thanaya, I. N. A., Suweda, I. W., & Sparsa, A. A. (2017). Perbandingan karakteristik campuran Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) yang dipadatkan secara dingin dan panas. *Jurnal Teknik Sipil*, 24(3), 247–256. <https://doi.org/10.5614/jts.2017.24.3.8>
- Chen, X., Zhang, L., Wang, F., & Lv, S. (2021). Evaluation of moisture susceptibility and mechanical performance of warm mix asphalt with various additives. *Construction and Building Materials*, 274, 122054. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122054>
- Kaloush, K. E., Biligiri, K. P., & Witczak, M. W. (2020). Fundamental characterization of asphalt mixtures with repeated loading and moisture conditioning. *International Journal of Pavement Engineering*, 21(3), 354–367. <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1492132>
- Ditjen Bina Marga. 2018. Spesifikasi Khusus Interim Seksi 6.3 Asbuton Campuran Panas Hampar Dingin CPHMA. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Ditjen Bina Marga. 2015. Pedoman Pelaksanaan Asbuton Campuran Panas Hampar Dingin Cold Pavement Hot Mix Asbuton, CPHMA. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Dunia Konstruksi. 2014. Perkerasan Jalan, (Online), (<http://bebas-unik.blogspot.com/2014/11/perkerasan-jalan.html#>).
- Ilmuprojek.com. 2016. Cara Pemadatan Aspal yang Benar, (Online), (<http://www.ilmuprojek.com/2016/04/cara-pemadatan-aspal-yangbenar.html?m=1>).
- Nurahmat, 2019. Laporan Tugas Akhir Penelitian Institut Teknologi Nasional.

- Nurdin, Rahim."Material Perbaikan Tanah", Bahan Ajar Universitas Bosowa Makassar.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 13/PRT/M/2011 tentang Tata Cara Pemeliharaan dan Penilitian Jalan,
Pasal 18. Jakarta
- Panungkelan, dkk 2017. Pengaruh Jumlah Tumbukan Pemadatan Benda Uji Terhadap Besaran Marshall Campuran
Beraspal Panas Bergradasi Menerus Jenis Asphalt Concrete (Ac).
- Pratama Dicky, 2017. Analisa Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan Pada Campuran Aspal Terhadap Nilai
Karakteristik Marshall, JTS Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Puslitbang, 2019. Teknologi Campuran Panas Asbuton Dihampar Dingin. Bandung: Kementerian Pekerjaan
Umum dan Perumahan Rakyat.
- Sukirman, S. 1999. Perkerasan Lentur Jalan Raya. Nova, Bandung
- Sukirman, Silvia, 1994. Dasar-Dasar Perencanaan Geometrik Jalan . Bandung, Nova.
- Sukirman, Silvia. 2003. "Material Pembentuk Campuran Perkerasan Jalan". Granit, Jakarta
- SNI-03-6894-2002, (Metode pengujian kadar aspal dari briket dengan alat Extractor).
- Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 28/SE/M/2015 tentang Pedoman Pelaksanaan
Asbuton Campuran Panas dan Hampar Dingin (Cold Paving Mix Asbuton, CPHMA).
- Suroso, T. W. 2008. Faktor - faktor Penyebab Kerusakan Dini Pada Perkerasan Jalan.
- Thanaya, dkk. 2017. Perbandingan Karakteristik Campuran Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) yang
Dipadatkan Secara Dingin dan Panas
- Widhiyatna, dkk. 2007. Tinjauan Konservasi Sumber Daya Aspal Buton