



Terbit online pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Analisis Kinerja Campuran Aspal Termodifikasi Asbuton Ekstraksi dan Filler Optimum

Fitra Ramdhani^a, Rahmat Tisnawan^b, Hengki Saputra^c

^{a,b,c}Program Studi Teknik Sipil Universitas Abdurabb, Jl. Riau Ujung No.73, Pekanbaru 28292, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 14 Desember 2025
 Revisi Akhir: 23 Desember 2025
 Diterbitkan Online: 30 Desember 2025

KATA KUNCI

Aspal Buton
 Asbuton T5/20
 Filler aspal
 Uji Marshall
 Kinerja campuran.

KORESPONDENSI

Telepon: 085271572222
 E-mail: fitra.ramdhani@univrab.ac.id

ABSTRACT

Kebutuhan aspal di Indonesia terus meningkat setiap tahun seiring dengan cepatnya pembangunan jaringan jalan. Asbuton, atau aspal buton, adalah salah satu sumber aspal alam yang dapat digunakan sebagai pengganti aspal minyak. Namun, karena karakteristiknya yang berbeda dan bagaimana campuran bekerja, masih belum sepenuhnya digunakan sebagai pengganti aspal minyak. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari bagaimana penggunaan Asbuton murni T5/20 sebagai perubahan pada campuran aspal penetrasi 60/70. Penelitian ini menggunakan kadar filler Asbuton T5/20 yang ideal. Untuk penelitian ini, filler Asbuton T5/20 ditambahkan sebesar 2,01% pada variasi kadar Asbuton murni T5/20 sebesar 0%, 10%, 12%, 14%, 16%, 18%, 20%, dan 30%. Hasil pengujian menggunakan metode Marshall menunjukkan bahwa campuran terbaik mencapai kadar Asbuton murni T5/20 sebesar 10%, yang memenuhi persyaratan spesifikasi umum Bina Marga 2010 Revisi 3. Campuran ini menghasilkan nilai stabilitas sebesar 2616 kg. Hasil menunjukkan bahwa Asbuton T5/20 dapat meningkatkan kinerja campuran aspal secara signifikan ketika digunakan pada kadar yang ideal.

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya tuntutan terhadap perkerasan jalan yang memiliki kinerja tinggi dan ketahanan jangka panjang telah mendorong berkembangnya penelitian mengenai aspal termodifikasi. Aspal konvensional dinilai belum sepenuhnya mampu mempertahankan performa yang stabil, terutama ketika mengalami fluktuasi temperatur ekstrem. Kondisi ini sering memicu kerusakan dini pada perkerasan, seperti terjadinya deformasi permanen (rutting) pada suhu tinggi serta retak termal (cracking) pada suhu rendah [1]. Oleh karena itu, berbagai upaya peningkatan kinerja perkerasan difokuskan pada modifikasi sifat reologi binder aspal melalui penambahan bahan aditif. Pendekatan ini dilakukan dengan memanfaatkan

material dari sumber alami maupun sintetis. Beberapa material alami yang telah banyak dikaji meliputi Asbuton (aspal alam Pulau Buton), bahan berbasis karet seperti karet alam dan remah ban bekas, abu cangkang kelapa sawit, serta zeolit. Selain itu, penggunaan polimer dan senyawa kimia juga telah diterapkan secara luas untuk meningkatkan ketahanan serta durabilitas binder aspal [2]–[11]. Di antara berbagai material tersebut, aspal alam—khususnya Asbuton—menunjukkan potensi yang besar sebagai bahan aditif dalam meningkatkan parameter kinerja aspal minyak (petroleum asphalt) [12]–[17].

Asbuton merupakan aspal alam yang berasal dari Pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara, dengan cadangan yang diperkirakan mencapai sekitar 677 juta ton [18], [19]. Meskipun ketersediaannya sangat

melimpah, tingkat pemanfaatan Asbuton dalam pembangunan infrastruktur jalan nasional masih relatif terbatas [20], [21]. Untuk mendorong pemanfaatannya, Kementerian Pekerjaan Umum menerbitkan Peraturan Menteri Nomor 35/PRT/M/2006 pada tanggal 27 Desember 2006 yang mengatur penggunaan Asbuton dalam konstruksi perkerasan jalan. Secara teknis, Asbuton memiliki fleksibilitas pemanfaatan yang tinggi, baik sebagai bahan tambah maupun sebagai pengganti sebagian aspal minyak, serta dapat berfungsi sebagai substitusi filler semen atau fraksi agregat, dengan tetap memperhatikan desain komposisi campuran yang sesuai [22], [23].

Penggunaan Asbuton sebagai filler dalam campuran beraspal berpotensi mengurangi kebutuhan filler semen serta meningkatkan ketahanan campuran terhadap deformasi pada temperatur tinggi. Karakteristik tersebut menjadikan Asbuton lebih sesuai untuk diaplikasikan pada jaringan jalan di wilayah beriklim tropis [24]. Pemanfaatan Asbuton dalam pembangunan jalan di Indonesia telah dimulai sejak dekade 1970-an, antara lain pada ruas Cimahi–Padalarang sepanjang 3 km serta pada penelitian pemanfaatan Asbuton di jalur Jakarta–Cirebon dengan panjang sekitar 240 km [25]. Pada dekade 1980-an, Direktorat Bina Marga juga mengaplikasikan Asbuton pada berbagai jenis konstruksi perkerasan. Namun, hasil evaluasi pada masa tersebut menunjukkan bahwa kinerja Asbuton belum optimal, sehingga penerapannya belum berkembang secara luas [26]. Kondisi ini mendorong pemerintah bersama kalangan akademisi untuk terus melakukan penelitian dan pengembangan guna meningkatkan efektivitas pemanfaatan Asbuton sebagai bahan pengikat alternatif dalam pembangunan jaringan jalan nasional [27].

Secara material, Asbuton tersusun atas dua komponen utama, yaitu bitumen alami dan fraksi mineral yang berfungsi sebagai filler. Interaksi kedua komponen ini selama proses pencampuran beraspal sangat berpengaruh terhadap karakteristik pengerasan dan kinerja campuran [28], [29]. Berdasarkan proses pengolahannya, Asbuton dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain Asbuton butir, Asbuton pra-campur (semi-ekstraksi), dan Asbuton ekstraksi penuh, yang dapat diproduksi baik secara manual maupun melalui proses fabrikasi [30]. Asbuton terbentuk melalui proses geologis alami, di mana minyak bumi bermigrasi ke permukaan dan mengisi pori-pori batuan sedimen, kemudian mengalami pemadatan dan oksidasi. Dengan komposisi tersebut, Asbuton berpotensi dimanfaatkan tidak hanya sebagai bahan pengikat, tetapi juga sebagai filler dalam campuran beraspal.

Berbagai penelitian terkini menunjukkan bahwa penggunaan aspal alam dalam campuran perkerasan, apabila diaplikasikan pada kadar yang tepat, mampu meningkatkan stabilitas serta ketahanan terhadap

deformasi permanen, khususnya pada kondisi temperatur tinggi [31], [32]. Selain digunakan secara langsung, Asbuton dapat diolah menjadi Asbuton butir melalui proses penghancuran atau diekstraksi untuk memperoleh bitumen murni. Fraksi mineral yang tersisa dari proses ekstraksi tersebut dapat dimanfaatkan sebagai filler. Pendekatan ini sejalan dengan hasil penelitian internasional yang menyatakan bahwa sinergi antara bitumen alami dan komponen mineral dalam aspal alam dapat meningkatkan kinerja mekanik campuran beraspal sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap aspal minyak konvensional [33].

Bitumen hasil ekstraksi Asbuton berpotensi digunakan sebagai bahan pengikat atau bahan tambah dalam campuran beraspal. Proses ekstraksi umumnya dilakukan dengan menggunakan pelarut organik, seperti n-heksana, kerosin, atau pelarut berbasis hidrokarbon lainnya, untuk memisahkan bitumen dari matriks mineral. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jenis pelarut, suhu proses, serta rasio pelarut terhadap material Asbuton memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kadar dan karakteristik bitumen yang dihasilkan [34].

Namun demikian, penerapan ekstraksi penuh Asbuton dalam skala industri masih menghadapi berbagai kendala, antara lain karakteristik bitumen hasil ekstraksi yang belum sepenuhnya menyamai performa aspal minyak konvensional serta tingginya biaya operasional proses. Kondisi ini berdampak pada rendahnya daya saing harga produk Asbuton murni. Oleh sebab itu, hasil ekstraksi Asbuton lebih direkomendasikan untuk digunakan sebagai bahan tambah atau bahan modifikasi dalam campuran beraspal, bukan sebagai pengganti penuh aspal minyak, sebagaimana disarankan dalam berbagai penelitian internasional terkait pemanfaatan aspal alam.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan Asbuton murni sebagai bahan tambah pada aspal Pen 60/70, yang dievaluasi berdasarkan parameter sifat reologi dan hasil pengujian Marshall, menghasilkan kadar optimum Asbuton pada kisaran 10% [35]. Sementara itu, pada penggunaan aspal Pen 80/100, kadar optimum Asbuton murni yang ditambahkan cenderung lebih tinggi, yaitu sekitar 30% [17]. Selain itu, penelitian lain merekomendasikan kadar filler Asbuton sebesar 2,01% untuk campuran AC-WC dengan suhu pemadatan sekitar 155 °C [14].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini mengombinasikan penggunaan Asbuton murni hasil ekstraksi Asbuton Butir T5/20 dengan kadar filler optimum yang juga berasal dari Asbuton Butir T5/20. Pendekatan ini bertujuan memanfaatkan dua fraksi Asbuton secara terpadu, yaitu bitumen hasil ekstraksi sebagai bahan tambah dan fraksi mineral sebagai filler, dalam campuran aspal Pen 60/70. Diharapkan hasil penelitian ini dapat meningkatkan kinerja

campuran beraspal sekaligus mengoptimalkan pemanfaatan Asbuton, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan penggunaan aspal alam dalam pembangunan infrastruktur jalan di Indonesia.

2. METODOLOGI

Studi ini dimulai dengan melihat literatur tentang penelitian sebelumnya tentang campuran aspal termodifikasi Asbuton. Aspal minyak Pen 60/70 dan asbuton butir T5/20 digunakan sebagai bahan pengikat. Penelitian dilakukan melalui beberapa langkah. Pada tahap pertama, bitumen Asbuton murni diekstraksi menggunakan pelarut trichloroethylene (TCE). Ini dilakukan dengan menggunakan alat centrifuge extractor untuk membedakan bitumen Asbuton murni dari fraksi mineralnya, yang kemudian bertindak sebagai filler Asbuton. Pada tahap kedua, bitumen yang diekstraksi dari pelarut TCE dipisahkan menggunakan alat rotary evaporator.

Pada langkah ketiga, campuran campuran aspal disusun dengan kadar Asbuton murni yang berbeda dari ekstraksi sebesar 0%, 10%, 12%, 14%, 16%, 18%, 20%, dan 30%. Pada langkah keempat, sifat agregat diuji, termasuk analisis gradasi saringan dan pengujian berat jenis agregat, untuk mengetahui proporsi agregat yang digunakan dalam campuran beraspal. Tahap terakhir adalah pelaksanaan pengujian Marshall untuk menentukan kadar optimum Asbuton murni dalam campuran beraspal dengan variasi kadar tersebut, dengan penambahan filler Asbuton sebesar 2,01%.

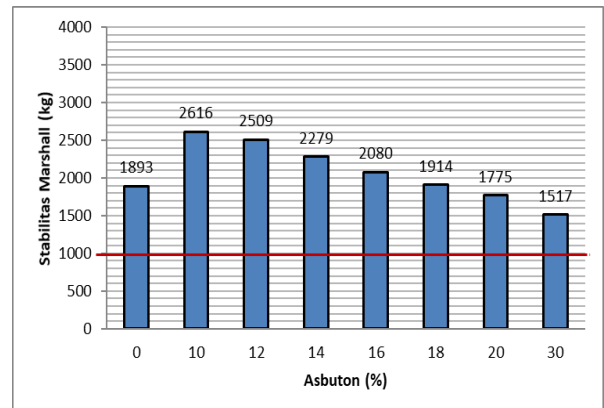
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

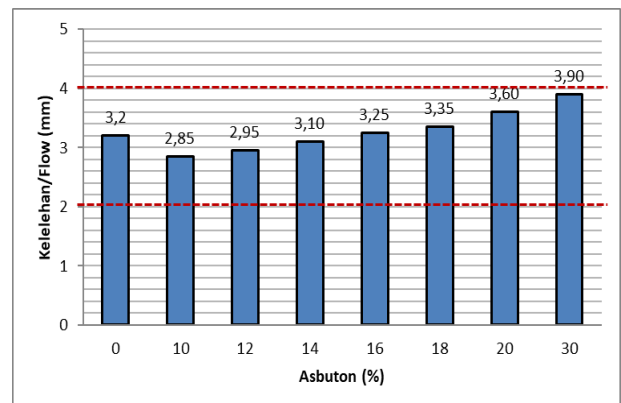
Pengujian Marshall menggunakan delapan variasi kadar Asbuton dengan dua sampel per variasi, menghasilkan total delapan belas benda uji campuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran tanpa penambahan Asbuton murni (0%) dan campuran dengan penambahan Asbuton murni sebesar 10% memenuhi semua parameter yang dipersyaratkan dalam Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3, termasuk stabilitas, keelehan (flow), Marshall Quotient (MQ), dan rongga udang. Untuk membuat analisis dan interpretasi data lebih mudah, karakteristik kinerja campuran digambarkan sebagai grafik berdasarkan hasil pengujian Marshall tersebut.

Gambar 1 hingga 6 menunjukkan grafik hasil pengujian Marshall. Gambar 1 menunjukkan nilai stabilitas hasil pengujian Marshall pada berbagai variasi kadar Asbuton murni 0%, 10%, 12%, 14%, 18%, 20%, dan 30%. Berdasarkan grafik tersebut, semua campuran

menunjukkan nilai stabilitas yang lebih tinggi daripada 1000 kg, yang merupakan persyaratan minimum untuk Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3. Campuran dengan penambahan 10% Asbuton murni menunjukkan nilai stabilitas tertinggi, yaitu 2616 kg.



Gambar 1. Stabilitas

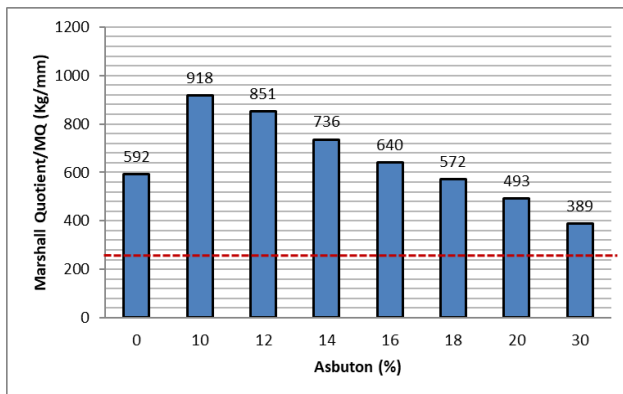


Gambar 2. Kelelahan/Flow

Nilai keelehan (flow) pengujian Marshall pada berbagai variasi kadar Asbuton murni ditunjukkan pada Gambar 2. Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 masih mengizinkan variasi campuran 0%, 10%, 12%, 14%, 16%, 18%, 20%, dan 30%. Nilai keelehan tertinggi diperoleh pada campuran dengan kadar Asbuton murni sebesar 30%, yaitu 3,9 mm, sedangkan nilai terendah tercatat pada variasi 10% sebesar 2,85 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar Asbuton murni cenderung meningkatkan nilai keelehan campuran.

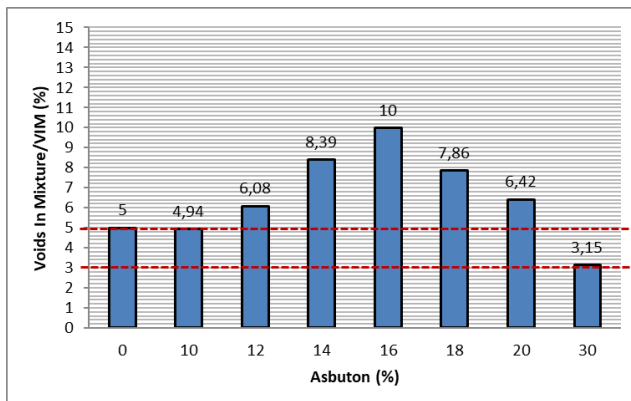
Nilai Marshall Quotient (MQ) untuk semua variasi kadar Asbuton murni memenuhi persyaratan minimum yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3, yaitu setidaknya 250 kg/mm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Dengan penambahan 10% Asbuton murni, variasi campuran memiliki nilai MQ tertinggi sebesar 918 kg/mm, sedangkan variasi 30% memiliki nilai MQ terendah sebesar 389 kg/mm. Ini menunjukkan bahwa kadar Asbuton murni yang lebih

tinggi cenderung menurunkan kekakuan campuran beraspal secara relatif.



Gambar 3. Marshall Quotient

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai Voids in Mixture (VIM) pada campuran dengan kadar Asbuton murni 0%, 10%, dan 30% masih berada dalam rentang yang disyaratkan oleh Spesifikasi Bina Marga, yaitu 3%–5%. Nilai VIM tertinggi tercatat pada campuran tanpa penambahan Asbuton murni (0%) sebesar 5%, diikuti oleh variasi 10% sebesar 4,94%. Sementara itu, nilai VIM terendah diperoleh pada variasi 30% dengan nilai sebesar 3,15%. Adapun variasi kadar Asbuton murni 12%, 14%, 16%, 18%, dan 20% berada di luar rentang spesifikasi yang ditetapkan.

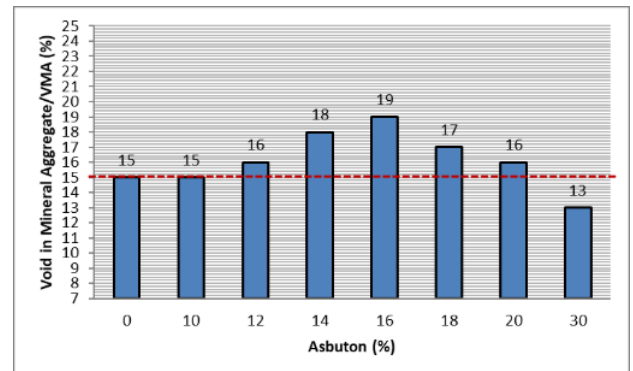


Gambar 4. Voids In Mixture/VIM

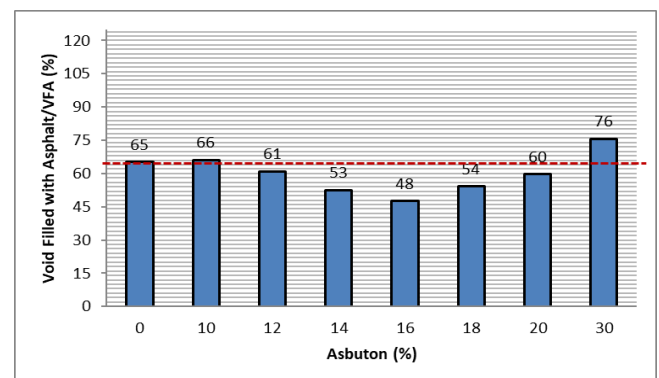
Nilai Voids in Mineral Aggregate (VMA) pada variasi kadar Asbuton murni 0%, 10%, 12%, 14%, 16%, 18%, dan 20% memenuhi persyaratan minimum 15% menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 dilihat pada Gambar 5. Nilai VMA tertinggi diperoleh pada variasi 16% sebesar 19%, sedangkan nilai VMA terendah diperoleh pada variasi 30% sebesar 13%, yang tidak memenuhi persyaratan spesifikasi.

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai Voids Filled with Asphalt (VFA) pada campuran dengan kadar Asbuton murni nol, sepuluh, dan tiga puluh persen masih memenuhi

persyaratan minimum 65% dari Spesifikasi Bina Marga. Nilai VFA tertinggi adalah 30%, atau 76%, dan nilai terendah adalah 16%, atau 48%, keduanya di bawah batas yang ditetapkan.



Gambar 5. Void in Mineral Aggregate/VMA



Gambar 6. Void Filled with Asphalt/VFA

Tabel 1. Hasil Optimum dari Variasi Campuran Sampel

No	Parameter	Spek.	Kadar Asbuton							
			0%	10%	12%	14%	16%	18%	20%	30%
1	Stabilitas Marshall	≥1000 kg								
2	Flow	2 mm - 4 mm								
3	Marshall Quotient	≥250 kg/mm								
4	VIM	3% - 5%								
5	VMA	≥15%								
6	VFA	≥65%								

Sumber : Hasil Perhitungan

Hasil evaluasi terhadap variasi campuran sampel yang diuji secara optimal disajikan pada Tabel 1. Pengujian menunjukkan bahwa seluruh sampel memenuhi standar yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 untuk nilai stabilitas Marshall, kelelahan (flow), dan Marshall Quotient (MQ). Akan tetapi, nilai berat campuran (VIM) dan berat aspal terisi (VFA) pada kadar 12%, 14%, 16%, 18%, dan 20% tidak sesuai dengan persyaratan spesifikasi yang berlaku. Selain itu, campuran dengan kadar asbuton murni 30% menunjukkan nilai berat agregat mineral (VMA) yang berada di bawah batas minimum menurut Divisi Aspal pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.

3.2. Pembahasan

Hasil pengujian Marshall menunjukkan bahwa perubahan kadar Asbuton murni memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja campuran beraspal. Sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3, setiap campuran masih memenuhi persyaratan stabilitas minimal sebesar 1000 kg. Campuran dengan 10% Asbuton murni mencapai nilai stabilitas tertinggi sebesar 2616 kg, dan campuran 30% mencapai nilai stabilitas terendah sebesar 1517 kg. Penemuan ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa penambahan filler atau Asbuton pada kadar rendah dapat menyebabkan penurunan stabilitas [22].

Nilai kelelahan (*flow*) pada seluruh variasi campuran masih berada dalam rentang spesifikasi yang dipersyaratkan. Campuran dengan penambahan Asbuton sebesar 10% menunjukkan nilai *flow* terendah, yaitu 2,85 mm, sedangkan nilai *flow* tertinggi diperoleh pada variasi 30% sebesar 3,9 mm. Kecenderungan meningkatnya nilai *flow* seiring dengan penambahan kadar Asbuton mengindikasikan bahwa semakin besar kandungan binder efektif dalam campuran, semakin besar pula potensi deformasi plastis yang terjadi akibat pembebanan. Penggunaan Asbuton butir sebagai filler pada lapis aspal beton permukaan berkontribusi terhadap peningkatan nilai *flow*, terutama pada kadar filler yang lebih tinggi, yang disebabkan oleh bertambahnya proporsi aspal efektif terhadap agregat dalam campuran [36]. Temuan ini menegaskan bahwa Asbuton memiliki peran yang signifikan dalam memengaruhi karakteristik deformasi campuran aspal beton.

Marshall Quotient (MQ), yang mencerminkan keseimbangan antara stabilitas dan kelelahan (*flow*), mencapai nilai tertinggi pada campuran dengan kadar asbuton murni 10%, yaitu sebesar 918 kg/mm. Hal ini menandakan bahwa campuran pada kadar tersebut memiliki tingkat kekakuan yang optimal. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kadar modifikasi yang terlalu rendah maupun terlalu tinggi biasanya menghasilkan nilai MQ yang lebih rendah dibandingkan kondisi ideal, sehingga hasil ini konsisten dengan temuan tersebut [27].

Parameter volumetrik seperti kekuatan dalam campuran (VIM), kekuatan dalam agregat mineral (VMA), dan kekuatan yang terisi aspal (VFA) memberikan gambaran tentang kondisi struktur internal campuran beraspal. Nilai VIM dan VFA pada variasi kadar Asbuton murni sebesar 0%, 10%, dan 30% masih berada dalam batas spesifikasi

yang dipersyaratkan, sementara nilai VMA pada variasi 30% tidak memenuhi ketentuan minimum $\geq 15\%$. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa pada kadar Asbuton yang tinggi terjadi struktur agregat yang kurang ideal. Pola serupa juga dilaporkan pada penelitian campuran AC-WC dengan Asbuton murni hasil ekstraksi, di mana parameter volumetrik menunjukkan kinerja optimum hanya pada kadar tertentu dan cenderung menurun ketika kadar Asbuton ditingkatkan secara berlebihan [37].

Berdasarkan evaluasi seluruh parameter Marshall, dapat disimpulkan bahwa campuran dengan penambahan Asbuton murni hasil ekstraksi sebesar 10% dan filler Asbuton sebesar 2,01% menunjukkan kinerja yang paling seimbang. Hasil ini menegaskan potensi Asbuton sebagai bahan modifikasi yang efektif dalam meningkatkan performa campuran aspal panas.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berikut ini adalah beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari rangkaian pengujian dan analisis data yang telah dilakukan.

1. Hasil pengujian Marshall pada campuran aspal Pen 60/70 dengan penambahan filler Asbuton T5/20 menunjukkan kinerja yang baik dan memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3. Pengujian ini menghasilkan nilai stabilitas sebesar 1893 kg, kelelahan (*flow*) 3,2 mm, Marshall Quotient (MQ) sebesar 592 kg/mm, VIM sebesar 5%, VMA sebesar 15%, dan VFA sebesar 65%.
2. Pengujian campuran dengan variasi kadar asbuton murni 10%, 12%, 14%, 16%, 18%, 20%, dan 30% menunjukkan bahwa campuran dengan 10% asbuton murni memberikan hasil ekstraksi yang paling optimal. Saat 10% asbuton murni dikombinasikan dengan filler Asbuton sebesar 2,01% pada suhu 155 °C, campuran tersebut menghasilkan stabilitas 2616 kg, kelelahan (*flow*) 2,85 mm, MQ 918 kg/mm, VIM 4,94%, VMA 15%, dan VFA 66,11%. Seluruh nilai ini memenuhi ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.
3. Berdasarkan evaluasi semua parameter Marshall, kadar asbuton T5/20 yang direkomendasikan untuk meningkatkan kinerja campuran aspal di Indonesia adalah 10%, dengan tambahan filler T5/20 sebesar 2,01%.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian lanjutan terhadap kinerja campuran beraspal, seperti ketahanan terhadap deformasi permanen (*rutting*), kelelahan (*fatigue*), serta evaluasi kinerja jangka panjang melalui uji lapangan, sehingga pemanfaatan Asbuton

sebagai bahan modifikasi dapat dikaji secara lebih komprehensif dan aplikatif..

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Huo *et al.*, "Study of pavement performance and temperature regulation," *Buildings*, vol. 13, no. 2702, pp. 1–14, 2023, doi:10.3390/buildings13112702
- [2] F. Ramdhani, H. Rahman, and B. S. Subagio, "Mechanistic rheological evaluation of asbuton modified asphalt on stiffness modulus of asphalt," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2049, no. 1, p. 012090, doi: 10.1088/1742-6596/2049/1/012090.
- [3] F. Ramdhani, B. S. Subagio, H. Rahman, and R. B. Frazila, "Analisa reologi dasar aspal modifikasi nano abu cangkang sawit," *J. Rab Contruction Res.*, vol. 8, no. 2, pp. 364–374, 2023, doi: 10.3390/buildings13112702
- [4] F. Ramdhani, B. S. Subagio, R. H. Karsaman, and R. B. Frazila, "Evaluasi reologi mekanistik aspal yang dimodifikasi dengan micro rubber SIR 20 menggunakan master curve dan black diagram," *J. Adv. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 46, no. 1, pp. 1–14, 2022, doi: 10.37934/araset.46.1.114.
- [5] F. Ramdhani, B. S. Subagio, H. Rahman, and R. B. Frazila, "Rheological analysis of micro rubber SIR 20 modified asphalt Rheological analysis of micro rubber SIR 20 modified asphalt," *Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1416, pp. 1–11, 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1416/1/012049.
- [6] F. Ramdhani, "The evaluation of mechanical rheology on rubber asphalt modification the evaluation of mechanical rheology on rubber asphalt modification," *J. Phys. Conf. Ser.*, no. 1500, pp. 1–8, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1500/1/012080.
- [7] F. Ramdhani *et al.*, "Evaluasi sifat reologi dasar pada campuran aspal modifikasi karet remah SIR 20," *J. Rab Constr. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–11, 2019.
- [8] Y. Wen, Y. Wang, K. Zhao, and A. Sumalee, "The use of natural rubber latex as a renewable and sustainable modifier of asphalt binder," *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 8436, pp. 1–13, 2016, doi: 10.1080/10298436.2015.1095913.
- [9] D. R. Basri, F. Ramdhani, and F. A. Wardani, "Pemanfaatan abu serbuk kayu dan semen portland sebagai filler pada capuran asphalt concrete -wearing course," *J. Rab contruction Res.*, vol. 7, no. 2, pp. 152–163, 2022.
- [10] F. Ramdhani, B. S. Subagio, H. Rahman, and R. B. Frazila, "Performance Characteristics of Micro Rubber SIR 20 in Asphalt Mixtures," *E3S Web Conf.*, vol. 06015, vol. 576, pp. 0–6, 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202457606015
- [11] F. Ramdhani, M. Yazid, and A. Subrata, "Pengaruh penggunaan filler fine dust modifikasi Wetfix-Be terhadap kinerja campuran aspal," *Impr. J. Teknol. dan Inf. J.*, vol. 4, no. 1, pp. 123–132, 2025.
- [12] F. Ramdhani, R. Tisnawan, and E. Adly, "Comparison of Fatigue Crack Resistance and Permanent Deformation to Asbuton Modified Asphalt and Rubber Modified Asphalt," *Proc. 4th Int. Conf. Sustain. Innov. 2020–Technology, Eng. Agric. (ICoSITEA 2020)*, vol. 199, pp. 80–82, 2021.
- [13] B. S. Subagio, H. Fitriadi, H. Rahman, and Lusiana, "Plastic deformation characteristics and stiffness modulus of hot rolled sheet (HRS) containing buton asphalt (asbuton)," *Proc. East. Asia Soc. Transp. Stud.*, vol. 6, pp. 1–14, 2007.
- [14] F. Ramdhani, B. H. Rhoma, P. Studi, T. Sipil, and U. Abdurrah, "Kadar optimum filler asbuton butir T.5/20 dalam campuran perkerasan asphalt concrete-wearing course (AC-WC)," *J. Kaji. Tek. Sipil*, vol. 3, no. 1, pp. 32–38, 2011.
- [15] L. Sentosa, B. S. Subagio, H. Rahman, and R. A. Yamin, "Stiffness modulus of warm mix asphalt (WMA) using asbuton and synthetic zeolite additives," *Int. J. GEOMATE*, vol. 19, no. 75, pp. 107–114, 2020, [Online]. Available: <https://doi.org/10.21660/2020.75.00140> ISSN:
- [16] Irfan, B. S. Subagio, E. S. Hariyadi, and I. Maha, "Optimizing the use of rediset lq as an additive in warm mix asphalt technology," *J. Tek. SIPIL J. Teor. dan Terap. Bid. Rekayasa Sipil*, vol. 27, no. 3, pp. 1–8, 2020, doi: 10.5614/jts.2020.27.3.1.
- [17] F. Ramdhani, H. Rahman, and B. S. Subagio, "Rheological evaluation of 80 / 100 Pen Asphalt modified with pure asbuton using master curve and black diagram," *J. Tek. Sipil J. Teor. dan Terap. Bid.*, vol. 32, no. 2, pp. 177–184, 2025, doi: 10.5614/jts.2025.32.2.6.
- [18] H. Rahman, Y. Kim, and K. Lee, "Laboratory performance of asphalt concrete containing foamed bitumen from extraction of buton natural asphalt," *J. Tek. SIPIL J. Teor. dan Terap. Bid. Rekayasa Sipil*, vol. 31, no. 3, pp. 249–254, 2024, doi: 10.5614/jts.2024.31.3.2.
- [19] N. Suaryana, "Performance evaluation of stone matrix asphalt using Indonesian natural

- rock asphalt as stabilizer,” *Int. J. Pavement Res. Technol.*, vol. 9, no. 5, pp. 387–392, 2016, doi: 10.1016/j.ijprt.2016.09.007.
- [20] Sumiati, Mahmuda, and Puryanto, “Keunggulan asbuton pracampuran dan aspal shell pada campuran aspal beton (AC-BC),” *Politeknologi*, vol. 18, no. 1, pp. 53–64, 2019.
- [21] A. Nuryanto, “Aspal buton (ASBUTON) sebagai bahan bakar roket padat,” *J. Teknol. Dirgant.*, vol. 7, no. 1, pp. 36–45, 2009.
- [22] R. Anggraini and S. Q. Rahmi, “Perbandingan kinerja asphalt concrete-binder course (AC-BC) menggunakan filler semen dan asbuton berdasarkan uji marshall,” *J. Infrastructural Civ. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 174–191, 2025.
- [23] A. V. R. Sihombing, B. Sugeng, E. Susanto, and A. Yamin, “Chemical morphological, and high temperature rheological behaviour of Bioasbuton $\bar{O}$ as an alternative binder for asphalt concrete in Indonesia,” *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, vol. 33, no. 5, pp. 308–317, 2021, doi: 10.1016/j.jksues.2020.07.006.
- [24] M. A. Nugraha, I. Aschuri, and R. Y. Parapat, “Analisis kinerja campuran beton aspal yang mengandung butiran mineral hasil ekstraksi aspal buton sebagai filler,” *Integr. Perspect. Soc. Sci. J.*, vol. 2, no. 04, pp. 7199–7207, 2025.
- [25] T. M. Assiddiqie, A. R. Nurmayadi, D. Nurmayadi, U. Perjuangan, and K. Tasikmalaya, “Studi penggunaan asbuton pada campuran aspal panas asphalt concrete-wearing course,” *J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 4, no. 2, pp. 116–128, 2025.
- [26] M. Aminsyah, “Studi penggunaan aspal buton pada lapisan AC-BC,” *J. BANGUNAN, Konstr. DESAIN*, vol. 2, no. 3, pp. 150–158, 2024.
- [27] I. W. Rohma, B. Supriyanto, and B. Rahardjo, “Analisis kinerja campuran perkerasan asphalt concrete-wearing course (AC-WC) menggunakan bahan tambah asbuton B 50 / 30 terhadap parameter arshall,” *Media Tek. Sipil*, vol. 21, no. 1, pp. 32–38, 2024, doi: 10.22219/jmts.v21i1.23836
- [28] J. Ma, Y. Cui, Y. Xing, X. Chen, and J. Wu, “Case Studies in Construction Materials Optimization and pavement performance of buton-rock-asphalt modified asphalt mixture with basalt-fibre,” *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 21, p. e03429, 2024, doi: 10.1016/j.cscm.2024.e03429.
- [29] A. Miswanto, I. Suherman, T. Syseno, and W. Pravianto, “Study of supply-demand of Indonesia Buton asphalt,” *Indones. Min. J.*, vol. 26, no. 1, pp. 49–59, 2023, doi: 10.30556/imj.Vol26.No1.2023.1364.
- [30] S. Nugraha, D. Sarwono, and A. Setyawan, “Kinerja properti semarbut aspal tipe i (penambahan ekstraksi asbuton emulsi sebagai modifikasi bitumen),” *e-Jurnal MATRIKS Tek. SIPIL*, vol. 2, no. 1, pp. 9–15, 2014.
- [31] D. Akinmade, K. Anupam, C. Kasbergen, S. Erkens, D. Samson, and P. Marco, “Case studies in construction materials performance of natural asphalt as a paving material : a laboratory and field evaluation,” *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 21, p. e03823, 2024, doi: 10.1016/j.cscm.2024.e03823.
- [32] H. Alexander and J. Carlos, “Natural Asphalts in Pavements : Review,” *Sustain.* 2023, vol. 15, no. 2098, pp. 1–34, 2023, doi: 10.3390/su15032098
- [33] A. H. Albayati, M. J. Al-kheetan, A. M. Mohammed, A. F. Al-ani, and M. M. Moudhafar, “Performance assessment of eco-friendly asphalt binders using natural asphalt and waste engine oil,” *Infrastructures* 2024, vol. 9, no. 224, pp. 1–24, 2024, doi: 10.3390/infrastructures9120224
- [34] H. H. Utami, S. Yani, and Z. Sabara, “Pengaruh Proses n-hexane solvent extraction pada ekstraksi bitumen dari aspal buton sebagai bahan baku minyak bumi nonkonvensional the effect of solvent n-hexane extraction on bitumen extraction from butone asphalt as a raw material af non-conventional Na,” *J. Sains Teknol. Lingkung.*, vol. 9, no. 1, pp. 35–43, 2023, doi: 10.29303/jstl.v9i1.415
- [35] E. W. Indriyati, B. S. Subagio, and H. Rahman, “Perbaikan sifat reologi visco-elastic aspal dengan penambahan asbuton murni menggunakan parameter complex shear modulus improved o n bitumen ’ s viscoelastic rheology characteristic with pure asbuton addition using complex shear modulus parameter,” *Dinamika Rekayasa*, vol. 9, no. 2, pp. 1-9, 2013.
- [36] Surat, R. Gazalie, and P. Mumamiroh, “Perencanaan campuran lapis aspal beton permukaan dengan asbuton butir sebagai filler,” *J. GRADASI Tek. SIPIL*, vol. 2, no. 1, pp. 1–12, 2018.
- [37] A. D. Putra, D. Despa, and T. Septiana, “Studi eksperimental perbandingan karakteristik marshall campuran ac-wc dengan asbuton murni full ekstraksi dan aspal pen 60/70,” *J. Rekayasa Lampung*, vol. 2, no. 2, pp. 67–74, 2023.