

Analisis Kinerja Campuran Perkerasan Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Menggunakan Bahan Tambah Asbuton B 50/30 Terhadap Parameter Marshall

Performance Analysis of Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Pavement Mixtures Using Asbuton B 50/30 Additives Against Marshall Parameters

Ilvernia Wasiatur Rohma¹, Bambang Supriyanto^{2*}, Boedi Rahardjo³

^{1,2,3}Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan-Fakultas Teknik-Universitas Negeri Malang
Alamat korespondensi: Jl Semarang 5 Malang, Kota Malang, Indonesia
email: ¹ilvrn15@gmail.com; ²bambang.supriyanto.ft@um.ac.id*; ³boedi.rahardjo.ft@um.ac.id

Abstract

Road pavement is a crucial element in highway construction to ensure smooth traffic flow. Indonesia requires approximately 1.6 million tons of asphalt annually due to the high rate of road damage that demands frequent repairs. PT Pertamina can only supply around 30% of this asphalt demand, necessitating imports to cover the remainder. Asbuton, with its superior content, could be a viable alternative. This study aims to describe the performance of the AC-WC mix using Asbuton B 50/30 (Lawele Granular Asphalt, LGA) and to determine its optimum usage level. In this study, the Optimum Asphalt Content (OAC) was first determined using an experimental method. Subsequently, test specimens with Asbuton B 50/30 as an asphalt additive were used, with variations of 5%, 6.5%, 8%, 9.5%, and 11% based on the OAC value. The mixtures were tested using the Marshall method to obtain the Marshall characteristics according to the 2018 Bina Marga specifications, Revision 2.. The analysis results show that the optimum Asbuton B 50/30 content is 5.75%, with Marshall Test characteristics meeting the established standards.

Keywords: Road pavement; Asphalt; Asbuton B 50/30; Optimum Asphalt Content (KAO); Marshall test.

Abstrak

Perkerasan merupakan adalah elemen penting dalam konstruksi jalan raya untuk memastikan kelancaran lalu lintas. Indonesia membutuhkan sekitar 1,6 juta ton aspal setiap tahun karena tingginya kerusakan jalan yang memerlukan perbaikan berulang. PT Pertamina hanya mampu memenuhi sekitar 30% dari kebutuhan aspal, sehingga sebagian besar harus diimpor. Asbuton, dengan kandungannya yang lebih unggul, dapat menjadi alternatif yang potensial. Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan kinerja campuran AC-WC dengan Asbuton B 50/30 (Lawele Granular Asphalt, LGA) dan menentukan kadar optimum penggunaannya. Pada penelitian ini, Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan terlebih dahulu menggunakan metode eksperimen. Kemudian, dibuat benda uji dengan Asbuton B 50/30 sebagai bahan tambah aspal dengan variasi 5%, 6,5%, 8%, 9,5%, dan 11% berdasarkan nilai KAO. Campuran diuji dengan metode Marshall untuk mendapatkan karakteristik Marshall berdasarkan spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar optimum Asbuton B 50/30 adalah 5,75% dengan karakteristik Marshall Test yang memenuhi standar yang ditetapkan.

Kata Kunci: Perkerasan Jalan; Aspal; Asbuton B 50/30; Kadar Aspal Optimum (KAO); Marshall test.

PENDAHULUAN

Jalan merupakan infrastruktur utama dalam menggerakkan roda perekonomian nasional dan daerah, mengingat penting dan strategisnya fungsi jalan untuk mendorong distribusi barang dan jasa sekaligus mobilitas penduduk. Daya tahan dan fungsionalitas bahan jalan sangat penting untuk

mempertahankan lalu lintas pada. Bahan dan teknologi inovatif sedang dikembangkan untuk menahan peningkatan bebas dan stressor lingkungan (Guo, 2022).

Salah satu tujuan pengembangan infrastruktur jalan yaitu untuk meningkatkan konektivitas regional. Semakin tingginya pertumbuhan lalu lintas baik dalam kuantitas maupun daya angkut cenderung

Please cite this article as:

Rohma, I.W., Supriyanto, B., & Rahardjo, B. (2024). Analisis Kinerja Campuran Perkerasan Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Menggunakan Bahan Tambah Asbuton B 50/30 Terhadap Parameter Marshall. *Media Teknik Sipil*, 21(1), 32-38. <https://doi.org/10.22219/jmts.v21i1.23836>

memperpendek umur pelayanan jalan, sementara di sisi lain terbatasnya dana pembangunan namun menuntut tercapainya umur pelayanan jalan yang tinggi tanpa mengesampingkan nilai keamanan dan kenyamanan dalam berkendara.

Salah satu masalah yang sering dijumpai saat ini adalah kerusakan jalan yang begitu cepat terjadi dan biasanya banyak terjadi pada lapisan permukaan jalan. Salah satu penyebab kerusakan yang sering terjadi dikarenakan penyimpangan berat muatan lalu lintas yang melebihi kapasitas beban yang telah mampu ditopang oleh lapis permukaan jalan. Metode pemadatan yang konvensional sering menyebabkan kerusakan retak, yang dapat memperburuk tekanan permukaan, seperti lubang dan retak buaya, yang mengakibatkan kerusakan dini (Omar, 2018).

Perkerasan jalan merupakan unsur konstruksi jalan raya yang penting dalam kelancaran lalu lintas, untuk mencegah terjadinya kerusakan jalan yang terlalu cepat, maka campuran aspal harus direncanakan sebaik mungkin agar lebih awet, sehingga memberikan kenyamanan dan keamanan bagi penggunaannya, dengan bahan penyusun perkerasan aspal diantaranya terdiri dari aspal, agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi atau *filler* (Kholiq, 2014; Nurahmi & Kartika, 2012). Perkerasan jalan pada umumnya menggunakan lapisan aspal beton dan lapis tipis aspal beton. Salah satu jenis perkerasan dari lapisan aspal beton adalah campuran *Asphalt Concrete–Wearing Course* (AC-WC).

Salah satu lapis aspal yaitu AC-WC yang merupakan lapis beton aspal (*laston*) atau lapis aus untuk permukaan jalan yang terletak dibagian atas berdasarkan susunan perkerasan aspal. Biasanya tidak terlalu tebal sekitar 4 cm, bersifat lentur untuk dapat menerima gerakan yang bekerja dan menyebarkan ke lapisan di bawahnya berupa muatan kendaraan. Ditinjau dari banyaknya permasalahan yang sering terjadi pada permukaan jalan karena berat muatan lalu lintas yang melebihi kapasitas beban, untuk itu penulis memilih lapis aspal beton jenis AC-WC. *Laston* (Lapisan Aspal Beton) adalah beton aspal bergradasi menerus mempunyai sedikit rongga dalam struktur agregatnya, hal ini menyebabkan campuran AC-WC lebih peka terhadap variasi dalam

proporsi campuran, yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat. Pemilihan aspal AC-WC dengan campuran perkerasan seperti sampah plastic Asbuton dan LDPE dapat meningkatkan ketahanannya terhadap kondisi lingkungan, sehingga cocok untuk cuaca yang tropis di Indonesia (Putra et al., 2023; Wadu et al., 2023).

Pemilihan Aspal Concrete-Wearing Course (AC-WC) untuk perkerasan jalan di daerah tropis Indonesia didasarkan pada kemampuannya beradaptasi dengan kondisi iklim setempat serta kinerjanya yang terbukti andal dalam infrastruktur jalan. Penelitian oleh Adiman dan Suparma (2022) menunjukkan bahwa campuran AC-WC memiliki daya tahan signifikan terhadap perendaman air, memperlihatkan kinerja yang baik bahkan saat terpapar kondisi banjir dalam jangka waktu lama.

Banyaknya kerusakan jalan yang butuh dilakukan perbaikan berkali-kali, dan tiap tahunnya Indonesia membutuhkan aspal hingga 1,6 juta ton. Namun PT. Pertamina baru mampu memenuhi sebesar 30% untuk sisanya melakukan impor aspal dari Singapore (Sumiati et al., 2019). Campuran LASBUTAG yang dimodifikasi dengan limbah minyak, merupakan salah satu optimasi aspal untuk konstruksi jalan. Modifikasi ini mencapai kandungan aspal optimal sebesar 6,30%, dan menunjukkan potensinya untuk jalan dengan lalu lintas ringan (Wintari et al., 2024). Penggunaan asbuton dapat mengurangi ketergantungan terhadap aspal impor, yang dapat menghemat valuta asing. Perkiraan penghematan sebesar USD 150.000, yang mencerminkan pengurangan biaya impor yang terkait dengan sumber lokal (Fadhli & Meldi, 2023). Lebih lanjut, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Balitbang Departemen PU, menyimpulkan bahwa asbuton dapat menghemat devisa sebesar USD 150.000.

Asbuton LGA (*Lawele Granular Asphalt*) adalah asbuton yang berasal dari teluk Lawele dan berbentuk granular atau butiran, aspal dengan bentuk butiran memudahkan bitumen terimobilisasi pada campuran beraspal. Asbuton LGA memiliki beberapa tipe yaitu B 5/20 (Sulistyaningsih et al., 2022), B 30/25, dan B 50/30. Asbuton bisa menjadi alternatif besar sebagai

pengganti aspal minyak ditinjau dari kandungannya yang relatif lebih baik dan juga meningkatkan pemanfaatan penggunaan aspal alam yang juga sejalan dengan salah satu hasil rapat Menteri Pekerjaan Umum dengan DPR RI tentang pemanfaatan. (DPU, 2006). Penggunaan Lawele Granular Asphalt (LGA) tipe 50/30 dan 5/20 dalam campuran telah menunjukkan peningkatan stabilitas dan pengurangan deformasi, dengan kinerja optimal pada persentase tertentu (Tajuddin et al., 2024).

Pemilihan Asbuton tipe B 50/30 karena memiliki kadar bitumen sebesar 25%-30%, serta nilai penetrasi 40-60 dmm mendekati nilai penetrasi aspal minyak, dengan ukuran butir maksimal 3/8 inci. Kandungan dalam Asbuton Lawele umumnya campuran antara bitumen, dan memiliki senyawa mineral seperti nitrogen dan senyawa parafin, kandungan nitrogen pada asbuton lawele yang lebih tinggi dibanding aspal minyak dan senyawa parafin yang lebih rendah maka daya lekat Asbuton relatif lebih baik.

Metode marshall untuk detail campuran aspal panas beton adalah pendekatan rasional untuk menentukan ketahanan (Stabilitas) terhadap kelelahan plastisitas (*flow*) dari campuran beraspal. Prosedur desain Marshall bertujuan untuk mendapatkan kadar aspal yang optimum (Ozgan, 2009).

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode eksperimen di laboratorium dengan dasar menggunakan sistem pencampuran aspal panas *Asphalt Concrete -Wearing Course* (AC-WC) yang mengacu pada panduan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 Divisi 6 Perkerasan Aspal.

Pengujian dalam penelitian ini dilakukan secara bertahap, yaitu terdiri atas pengujian agregat berupa agregat kasar, agregat halus dan *filler*, bahan pengikat berupa aspal minyak dan pengujian terhadap campuran yang dihasilkan (uji Marshall). Penelitian ini didahului dengan pengujian awal karakteristik fisik agregat lokal dan karakteristik aspal minyak penetrasi 60/70. Sedangkan karakteristik Asbuton LGA 50/30 merujuk dari hasil pengujian yang dilakukan oleh Perusahaan penghasil Asbuton Olahan.

Pengujian Kinerja campuran beraspal melalui pengujian karakteristik Marshall. Pengujian terhadap agregat termasuk pemeriksaan berat jenis, pengujian abrasi dengan mesin Los Angeles, dan penyerapan air. Sedangkan metode yang digunakan sebagai pengujian campuran adalah metode Marshall, dimana dari pengujian Marshall tersebut didapatkan hasil yang berupa komponen-komponen Marshall, yaitu berupa stabilitas, *flow*, *void in total mix* (VIM), *void filled with asphalt* dan kemudian dapat dihitung *Marshall Quotient* (MQ).

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi data primer. Data primer adalah hasil analisa dari pemeriksaan dan pengujian sampel di laboratorium. Setelah data terkumpul langkah selanjutnya adalah melakukan analisis data. Analisis data dalam penelitian ini menggunakan analisis deskriptif yaitu dengan gambar, grafik, dan tabel. Dalam analisis ini, dilakukan perbandingan hasil benda uji dengan aspal pen dan asbuton LGA ditinjau dari parameter Marshall.

Bahan yang digunakan yang akan diuji berupa agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Jenis dan metode pengujian yang akan dilakukan dari bahan agregat kasar, halus dan filler yang harus memenuhi standart Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Kemudian, dilakukan pemeriksaan karakteristik aspal pen 60/70. Pemeriksaan karakteristik aspal minyak yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan kinerja dari aspal yang digunakan dan memenuhi persyaratan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI). Jenis pengujian serta metode pengujian yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Metode Pengujian Aspal Minyak

Pengujian	Metode Pengujian	Tipe Aspal Pen 60/70
Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70
Viskositas 135 °C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300
Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
Daktalitas pada 25 °C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
Kelarutan dalam	AASHTO T44-14	≥ 99

Pengujian	Metode Pengujian	Tipe Aspal Pen 60/70
Trichloroethylene (%)		
Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
Kehilangan Berat Setelah TFOT (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8
Penetrasi pada 25°C Setelah TFOT (%)	SNI 2456:2011	≥ 54
Daktilitas pada 25 °C Setelah TFOT (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50

Sumber: Bina Marga 2018, Revisi 2

Perkiraan awal kadar aspal optimum dapat direncanakan setelah dilakukan pemilihan dan pengabungan pada tiga fraksi agregat. Perkiraan kadar aspal tersebut dihitung menggunakan persamaan 1.

$$P = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% filler) + K \tag{1}$$

Dimana:

- P = kadar aspal tengah/ideal, persen terhadap berat campuran
- CA = persen agregat tertahan saringan No. 4
- FA = persen agregat lolos saringan No. 4 dan tertahan saringan No. 200
- Filler = persen agregat minimal 75% lolos saringan No. 200
- K = Konstanta, 0,5 – 1,0 untuk AC-WC (diambil 1,0)

Dapat diketahui nilai dari CA, FA dan filler sebagai berikut:

1. CA (ayakan lolos saringan No. ½ sampai ayakan tertahan saringan No. 4):
5% + 11,5% + 22,5% = 39%
2. FA (ayakan lolos saringan No. 4 sampai ayakan tertahan saringan No. 200):
18% + 12,5% + 8,5% + 6,5% + 5% + 4% = 54,5%
3. Filler (ayakan lolos saringan No. 200):
6,5%

Kadar aspal awal yang ditentukan menggunakan rumus P akan menghasilkan nilai kadar optimum sebagai berikut:

$$P = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% filler) + K$$

$$P = 0,035 (39\%) + 0,045 (54,5\%) + 0,18 (6,5\%) + 1$$

$$P = 6\%$$

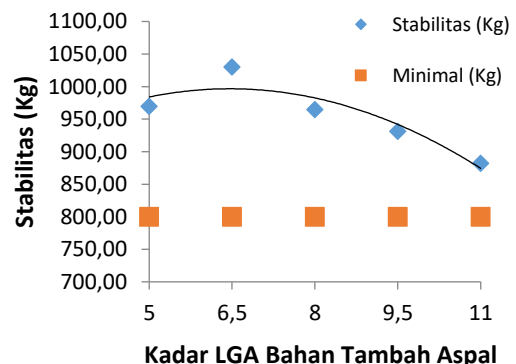
Berdasarkan perkiraan kadar aspal optimum P, dibuat benda uji dengan dua variasi kadar aspal di atas P dan dua variasi kadar aspal di bawah P (-1,0%; -0.5%; P; +0.5%; +1%), sehingga variasi kadar aspal yang digunakan 5%; 5,5%; 6%; 6,5%; 7%.

Setelah itu dilakukan pembuatan benda uji dan dikelompokkan berdasarkan kadar aspal. Selanjutnya dicatat nilai hasil uji Marshall masing-masing benda uji, kemudian diambil nilai rata-ratanya. Terakhir, dibuat grafik hasil pengujian Marshall yang didapat dari masing-masing benda uji berdasarkan kadar aspal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan menggunakan campuran dengan Asbuton B 50/30 sebagai bahan tambah aspal dengan variasi 5%, 6,5%, 8%, 9,5%, 11%. Benda uji kemudian diuji terhadap karakteristik Marshall yang terdiri dari stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA) dan Void Filled Bitumen (VFB).

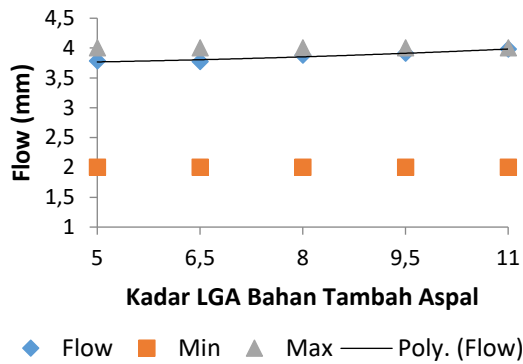
Berdasarkan grafik stabilitas pada Gambar 1, kadar Lawele Granular Asphalt (LGA) yang ditambahkan lebih dari 6,5% akan mengalami penurunan nilai stabilitas.



Gambar 1. Hubungan Antara Penambahan Kadar LGA (%) dengan Stabilitas (Kg)

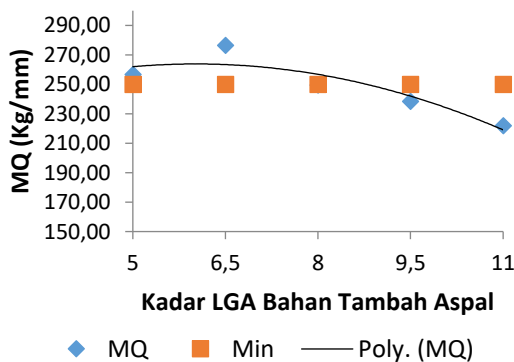
Dilihat dari grafik flow pada Gambar 2, nilai flow terus mengalami kenaikan disetiap penambahan LGA pada campuran. Dengan

kata lain, peningkatan kadar LGA turut meningkatkan nilai *flow*. Dari hasil pengujian, nilai *flow* dari kadar 5% samai 11% masih memenuhi spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 dengan syarat minimum 2 mm dan maksimum 4 mm.



Gambar 2. Hubungan antara penambahan kadar lga (%) dengan flow (mm)

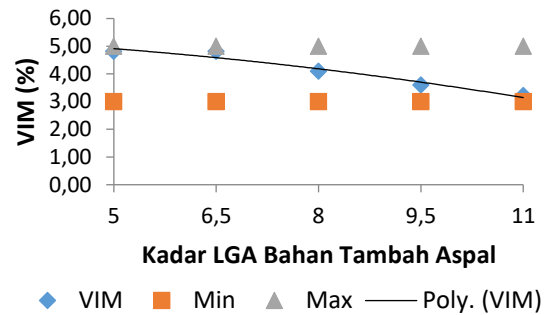
Nilai *Marshall Quotient* (MQ) pada Gambar 3 menunjukkan fleksibilitas campuran agregat aspal. Grafik pada gambar 4 menunjukkan adanya peningkatan nilai MQ pada campuran dengan kadar LGA 5% sampai 6,5%. Namun, penggunaan kadar LGA lebih dari 6,5% menurunkan nilai MQ.



Gambar 3. Hubungan Antara Penambahan Kadar LGA (%) dengan MQ (Kg/mm)

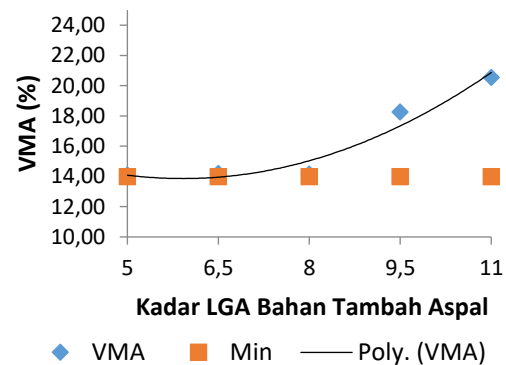
Kadar LGA (*Lawele Granular Asphalt*) pada suatu perkerasan dapat meningkatkan sifat mekanik tertentu, sehingga menyebabkan tingkat *Void in Mix* (VIM) yang lebih tinggi. Tingkat VIM yang lebih tinggi memerlukan keseimbangan dalam campuran untuk mencapai kinerja yang optimal (Trestanto et al., 2024). Hal ini sesuai dengan hasil yang didapat pada Gambar 4, yaitu nilai vim mengalami

penurunan seiring dengan bertambahnya kadar LGA pada campuran AC-WC.



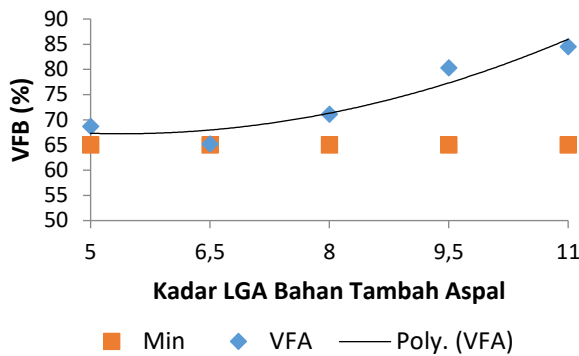
Gambar 4. Hubungan Antara Penambahan Kadar LGA (%) dengan VIM (%)

Grafik pada Gambar 5, menunjukkan nilai *Void in Mineral Agregate* (VMA) mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar LGA pada campuran AC-WC. VMA merupakan parameter kunci yang menunjukkan bahwa volume rongga dalam agregat mineral yang dapat diisi dengan aspal. Nilai VMA yang lebih tinggi menunjukkan lebih banyak ruang untuk aspal, yang dapat meningkatkan daya tahan dan kinerja jalan (Wu et al., 2023).



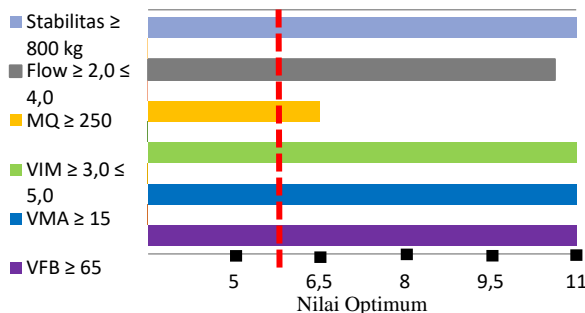
Gambar 5. Hubungan Antara Penambahan Kadar LGA (%) dengan VMA (%)

Grafik pada Gambar 6, menunjukkan kenaikan nilai *Void Filled Bitumen* (VFB) seiring dengan penambahan kadar LGA, ini disebabkan besarnya nilai VFB berpengaruh pada nilai yang terisi aspal cukup banyak, karena faktor yang mempengaruhi VFB salah satunya adalah kadar aspal.



Gambar 6. Hubungan antara penambahan kadar LGA (%) dengan VFB (%)

Gambar 7 memperlihatkan hasil dari nilai Kadar Aspal Optimum dengan kadar LGA 5% hingga 11% dan tingkat kenaikan kadar aspal 1,5%.



Gambar 1. Nilai Kadar Optimum Asbuton B 50/30

$$KAO = \frac{5\% + 6,5\%}{2} = 5,75\%$$

Berdasarkan data dari Gambar 7, dihasilkan Kadar Aspal Optimum Asbuton B 50/30 sebesar 5,75% dengan nilai stabilitas 1000,25 kg, flow 3,78 mm, MQ 266,55 kg/mm, VIM 4,68%, VMA 14,16%, dan VFB 66,98%.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan menginvestigasi kinerja campuran AC-WC dengan Asbuton B 50/30 sebagai bahan tambah aspal. Analisis hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran uji dengan tambahan Asbuton B 50/30 memiliki karakteristik Marshall Test berupa stabilitas 1000,25 kg, flow 3,78 mm, MQ 266,55 kg/mm, VIM 4,68%, VMA 14,16%, dan VFB 66,98%. Kadar optimum Asbuton B 50/30 yang diperoleh adalah sebesar 5,75%.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiman, E. Y., & Suparma, L. B. (2022). Effect of water immersion on the AC-WC mixture utilizing elastomeric modified asphalt to compressive strength, elastic modulus and durability. *Al-Qadisiyah Journal for Engineering Sciences*, 15(3). <https://doi.org/10.30772/qjes.v15i3.831>
- Fadhli, A., & Meldi, A. (2023). PRESERVASI JALAN DAN JEMBATAN MENGGUNAKAN CAMPURAN ASPAL COLD PAVING HOT MIX ASBUTON (CPHMA). *Journal of Scientech Research and Development*, 4(2). <https://doi.org/10.56670/jsrd.v4i2.61>
- Girardi Omar, L. (2018). Improving the Skid Resistance and Surface Texture of Asphalt Pavement Using AMIR Compactor Technology. *Civil Engineering Research Journal*, 6(2). <https://doi.org/10.19080/cerj.2018.06.55682>
- Guo, M. (2022). Editorial: Special Section on Durability, Functionality, and Sustainability of Road Materials and Structures. In *Journal of Testing and Evaluation* (Vol. 50, Issue 4). <https://doi.org/10.1520/JTE20220998>
- Kholiq, A. (2014). PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN LENTUR JALAN RAYA ANTARA BINA MARGA DAN AASHTO'93 (STUDI KASUS: JALAN LINGKAR UTARA PANYINGKIRAN-BARIBIS AJALENGKA). *J-ENSITEC*, 1(01). <https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v1i01.15>
- Nurahmi, O., & Kartika, A. A. G. (2012). Perbandingan Konstruksi Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku serta Analisis Ekonominya pada Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Mojoagung. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 1(2).
- Ozgan, E. (2009). Fuzzy logic and statistical-based modelling of the Marshall Stability of asphalt concrete under varying temperatures and exposure times. *Advances in Engineering Software*, 40(7). <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2008.10.005>

- Putra, I. A., Setyawan, A., & Sarwono, D. (2023). Analisis Indeks Workabilitas pada Campuran Asphalt Concrete dengan Asbuton B 50/30. *JURNAL RISET RUMPUN ILMU TEKNIK*, 2(2), 137–147.
<https://doi.org/https://doi.org/10.55606/jurritek.v2i2.2075>
- Sulistyaningsih, A., RA, A. A. Z. N., Kustirini, A., & Purnijanto, B. (2022). KARAKTERISTIK MARSHALL TERHADAP PENGGUNAAN ASBUTON BUTIR B5/20 DENGAN SUBSTITUSI DASPAL DAN ASPAL PENETRASI 60/70. *Bangun Rekaprima*, 8(2).
<https://doi.org/10.32497/bangunrekaprima.v8i2.3966>
- Sumiati, S., Mahmuda, M., & Puryanto, P. (2019). KEUNGGULAN ASBUTON PRACAMPURAN DAN ASPAL SHELL PADA CAMPURAN ASPAL BETON (AC-BC). *Jurnal Poli-Teknologi*, 18(1).
<https://doi.org/10.32722/pt.v18i1.1289>
- Tajuddin, I., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2024). Kajian Pengaruh Gradasi LGA 50/30 dan LGA 5/20 pada Campuran Laston AC-WC terhadap Deformasi Permanen. *Jurnal TESLINK: Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 6(1), 23–30.
<https://doi.org/https://doi.org/10.52005/teslink.v6i1.361>
- Trestanto, F., Hadiwardoyo, S. P., Sumabrata, J., & Lumingkewas, R. H. (2024). Road Repair Delay Costs in Improving the Road Rehabilitation Strategy through a Comprehensive Road User Cost Model. *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, 14(3), 254–270.
- Wadu, A., Sodanango, M. R., Wayan, A. L., & Pello, E. E. (2023). Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik LDPE sebagai Modifikator Campuran AC-WC. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 7(3).
<https://doi.org/10.35334/be.v7i3.4308>
- Wintari, N. K., Desi, N., & Gusti, S. (2024). Analysis of Optimum Asphalt Content of Lasbutag Mixture (Buton Aggregate Asphalt Coating) Modified by Waste Oil and Diesel as Modifier. *ASTONJADRO*, 13(2), 499–508.
<https://doi.org/https://doi.org/10.32832/astonjadro.v13i2.15168>
- Wu, B., Pei, Z., Luo, C., Xia, J., Chen, C., & Wang, M. (2023). Review and Evaluation of the Prediction Methods for Voids in the Mineral Aggregate in Asphalt Mixtures. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 35(3).
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0004561](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0004561)