

# Optimalisasi Campuran AC-BC Menggunakan Asbuton B50/30 Berdasarkan Karakteristik Marshall

Ibnu Alfarizi\*, Hakzah Hakzah, Hendro Widarto

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Parepare, Sulawesi Selatan

\*Koresponden email: ibnualfarizi1109@gmail.com

Diterima: 18 Agustus 2025

Disetujui: 23 Agustus 2025

## Abstract

The increasing use of hot mix asphalt in road construction has prompted Indonesia to explore local alternatives to petroleum asphalt, particularly Buton natural asphalt (Asbuton). This experimental study evaluates the Marshall characteristics of asphalt concrete base course (AC-BC) mixtures modified with B50/30 type asbuton to determine the optimal content for improving mechanical performance within national specifications. The laboratory research used a dry mixing method with 24 test specimens in two stages: determining the optimum asphalt content (OAC) using asphalt variations of 4.5%-6.5% (15 test specimens), followed by Asbuton modification at 8%, 9%, and 10% of the asphalt percentage (9 test specimens). Testing parameters include stability, flow, density, VIM, VMA, VFB, and Marshall Quotient, following SNI 06-2489-1991 procedures. The research results indicate that an asbuton content of 8% with an optimum asphalt content of 5.70% achieves the best performance with a stability of 1916 kg and a Marshall Quotient of 626.85 kg/mm, meeting the specifications of Bina Marga 2018 Revision 2. Improved performance is achieved through bitumen enrichment and the mineral filler effect of 76.68% mineral content in asbuton. Adding higher amounts of asbuton leads to an overbitumen effect and reduced stability. Therefore, an 8% asphalt content is recommended as the optimal content for improving the performance of AC-BC mixtures.

**Keywords:** *hot mix, asbuton b50/30, marshall characteristic*

## Abstrak

Meningkatnya penggunaan aspal campuran panas dalam konstruksi jalan telah mendorong Indonesia untuk mengeksplorasi alternatif lokal untuk aspal minyak bumi, khususnya aspal alam Buton (Asbuton). Studi eksperimental ini mengevaluasi karakteristik Marshall dari campuran beton aspal lapis antara (AC-BC) yang dimodifikasi dengan Asbuton tipe B50/30 untuk menentukan kadar optimal untuk meningkatkan kinerja mekanis dalam batas spesifikasi nasional. Penelitian laboratorium menggunakan metode pencampuran kering dengan 24 benda uji dalam dua tahap: penentuan kadar aspal optimum (KAO) menggunakan variasi aspal 4,5%-6,5% (15 benda uji), diikuti oleh modifikasi Asbuton pada 8%, 9%, dan 10% dari persentase aspal (9 benda uji). Parameter pengujian meliputi stabilitas, aliran, kepadatan, VIM, VMA, VFB, dan Marshall Quotient mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar asbuton 8% dengan kadar aspal optimum 5,70% mencapai kinerja terbaik dengan stabilitas 1916 kg dan Marshall Quotient 626,85 kg/mm, memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Peningkatan kinerja dihasilkan dari pengayaan bitumen dan efek pengisi mineral dari kadar mineral Asbuton 76,68%. Penambahan asbuton yang lebih tinggi menyebabkan efek overbitumen dan penurunan stabilitas. Oleh karena itu, kadar asbuton 8% direkomendasikan sebagai kadar optimal untuk peningkatan kinerja campuran AC-BC.

**Kata Kunci:** *campuran panas, asbuton b50/30, karakteristik marshall*

## 1. Pendahuluan

Perkembangan infrastruktur jalan di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan ekonomi dan kebutuhan mobilitas masyarakat. Salah satu tantangan utama dalam pembangunan jalan adalah keterbatasan ketersediaan aspal minyak bumi, di mana data nasional menunjukkan bahwa ketergantungan terhadap aspal impor masih di atas 70% dari total kebutuhan [1]. Ketergantungan ini tidak hanya berdampak pada peningkatan biaya pembangunan, tetapi juga menimbulkan risiko fluktuasi harga material. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pemanfaatan aspal alami dapat mengurangi dampak lingkungan dalam produksi material perkerasan sambil mempertahankan kinerja yang optimal [2]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pemanfaatan sumber daya lokal seperti aspal alam Buton (Asbuton) menjadi solusi strategis yang didukung oleh kebijakan nasional [3].

Indonesia memiliki cadangan Asbuton yang sangat besar, mencapai lebih dari 650 juta ton, menjadikannya produsen aspal alam terbesar di dunia [4]. Asbuton merupakan aspal alami yang terkandung dalam batuan sedimen, dengan kadar bitumen bervariasi antara 10% hingga 40% tergantung pada tipe dan lokasi tambang [5][6]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan Asbuton dalam campuran aspal dapat meningkatkan stabilitas dan ketahanan deformasi [7][8]. Studi mikrostruktural terbaru mengonfirmasi bahwa Buton rock asphalt memiliki sifat reologi yang superior ketika digunakan sebagai modifikator aspal, dengan peningkatan signifikan pada karakteristik mekanis campuran [9]. Aspal buton butir secara signifikan meningkatkan sifat fisik dan mekanik pengikat aspal, terutama meningkatkan kinerja pada suhu tinggi dan ketahanan terhadap penuaan [10]. Namun, sebagian besar penelitian lebih banyak difokuskan pada tipe kadar rendah seperti B5/20 untuk lapisan aus (AC-WC), dengan dosis maksimum sekitar 7% [11][12].

Penelitian mengenai pemanfaatan Asbuton tipe B50/30 dengan kadar tinggi (>8%) pada lapisan antara (AC-BC) masih sangat terbatas, baik secara nasional maupun internasional. Beberapa studi menunjukkan bahwa penambahan aspal alam dalam kadar tinggi dapat meningkatkan kekakuan campuran, namun juga berpotensi menurunkan fleksibilitas [5][13]. Namun, studi-studi tersebut sebagian besar berfokus pada jenis aspal alami yang berbeda atau lapisan perkerasan yang berbeda, meninggalkan celah pemahaman yang signifikan mengenai perilaku spesifik Asbuton B50/30 dalam aplikasi AC-BC pada tingkat dosis tinggi. Metodologi analisis stabilitas Marshall modern dengan pendekatan decision-making yang canggih telah terbukti efektif dalam mengevaluasi kinerja campuran aspal pada berbagai kondisi temperatur [14].

Studi ini mengatasi celah pengetahuan tersebut dengan menjadi yang pertama secara sistematis menyelidiki karakteristik Marshall campuran AC-BC yang dimodifikasi dengan Asbuton B50/30 pada tingkat kandungan tinggi (8%, 9%, dan 10%). Pemilihan rentang dosis ini didasarkan pada kandungan bitumen yang lebih tinggi pada tipe B50/30 dibandingkan dengan tipe konvensional B5/20, yang secara teoritis memungkinkan tingkat penggantian yang lebih tinggi tanpa mengorbankan kinerja campuran. Selain itu, penelitian ini secara khusus menargetkan aplikasi lapisan tengah (AC-BC), yang memiliki persyaratan struktural dan kondisi beban yang berbeda dibandingkan dengan lapisan permukaan yang telah banyak diteliti.

Berdasarkan latar belakang ini, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan Asbuton tipe B50/30 dengan tingkat kandungan 8%, 9%, dan 10% terhadap karakteristik Marshall campuran AC-BC, menentukan tingkat Asbuton optimal yang menghasilkan kinerja mekanik terbaik sambil memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 [15] dan memberikan bukti ilmiah untuk penerapan praktis Asbuton berkualitas tinggi pada lapisan perantara jalan raya dalam konstruksi jalan di Indonesia.

## 2. Metode Penelitian

### *Material*

Material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bitumen dengan tingkat penetrasi 60/70 sebagai pengikat utama, yang sesuai dengan spesifikasi SNI 2456:2011. Agregat kasar dan halus diperoleh dari tambang lokal dengan gradasi spesifik berukuran partikel 2-3 mm, 1-2 mm, dan 0,5-1 mm. Abu batu digunakan sebagai bahan pengisi, yang lolos saringan No. 200 dan memenuhi persyaratan SNI. Selain itu, Asbuton B50/30, aspal alami berkualitas tinggi yang berasal dari Pulau Buton, Sulawesi Tenggara, dimasukkan ke dalam campuran. Aspal alami Buton ini memiliki karakteristik kemampuan ekstraksi bitumen 50% dan nilai penetrasi 30.

### *Prosedur Penelitian*

Sebelum digunakan, semua bahan menjalani pengujian karakterisasi komprehensif sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 untuk memastikan kepatuhan terhadap persyaratan teknis yang ditetapkan dan menjaga kontrol kualitas sepanjang proses penelitian. Campuran aspal disiapkan dengan variasi kandungan bitumen sebesar 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5% berdasarkan berat total agregat untuk menentukan kandungan aspal optimum (KAO). Untuk setiap variasi kandungan aspal, tiga spesimen Marshall disiapkan sesuai dengan prosedur standar yang tercantum dalam SNI 06-2489-1991, menghasilkan total 15 benda uji untuk penentuan KAO. Selanjutnya, berdasarkan nilai KAO yang ditentukan, campuran yang dimodifikasi disiapkan dengan menambahkan Asbuton B50/30 pada konsentrasi yang bervariasi sebesar 8%, 9%, dan 10% dari total persen aspal. Penyiapan campuran yang dimodifikasi dengan asbuton dilakukan dengan metode pencampuran kering untuk memastikan distribusi yang merata dari modifikator aspal alami di seluruh campuran.

Karakteristik marshall yang dievaluasi dalam studi ini mencakup tujuh parameter kunci untuk menilai kinerja campuran AC-BC yang dimodifikasi dengan asbuton. Parameter-parameter tersebut meliputi stabilitas (kg) untuk resistansi beban maksimum, flow (mm) untuk deformasi pada beban maksimum, dan densitas volume ( $\text{gr/cm}^3$ ) untuk densitas benda uji setelah pemadatan. Sifat volumetrik yang dianalisis meliputi Void in Mix (VIM, %), Void in Mineral Aggregate (VMA, %), dan Void Filled with Bitumen (VFB, %). Selain itu, Marshall Quotient (MQ,  $\text{kg/mm}$ ) dihitung sebagai rasio antara stabilitas dan aliran untuk menunjukkan resistansi campuran terhadap deformasi permanen.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil uji laboratorium dengan analisis komprehensif, disajikan untuk mengevaluasi karakteristik fisik dan mekanik campuran aspal beton yang dimodifikasi (AC-BC) dengan penambahan asbuton tipe B50/30. Analisis ini berfokus pada penilaian parameter kinerja campuran melalui metode uji Marshall, dengan tujuan mengidentifikasi pengaruh variasi persentase Asbuton terhadap stabilitas dan kualitas campuran. Seluruh rangkaian uji dan evaluasi dilakukan berdasarkan ketentuan teknis dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, sehingga temuan yang diperoleh dapat menjadi dasar ilmiah untuk pemanfaatan bahan alternatif berbasis aspal alami dalam aplikasi perkerasan jalan.

#### Pengujian Material

Hasil pengujian karakteristik material menunjukkan bahwa semua bahan yang digunakan memenuhi persyaratan standar spesifikasi teknis. Pengujian agregat kasar menunjukkan berat jenis berkisar 2,51-2,53  $\text{g/cm}^3$  yang memenuhi persyaratan minimum 2,5  $\text{g/cm}^3$ , dengan nilai penyerapan 2,54-2,75% yang berada di bawah batas maksimum 3%. Uji abrasi Los Angeles menghasilkan nilai 25,19% untuk agregat 2-3 mm dan 26,89% untuk agregat 1-2 mm, keduanya memenuhi persyaratan maksimum 30%. Kandungan gumpalan tanah liat sangat rendah dengan nilai 0,99% dan 0,30%, jauh di bawah batas maksimum 1%.

**Tabel 1.** Pengujian material

| Jenis Pengujian                          | Standar Acuan    | Jenis Material | Satuan          | Hasil     | Syarat   | Ket      |
|------------------------------------------|------------------|----------------|-----------------|-----------|----------|----------|
| Berat jenis                              | SNI 1969:2016    | 2-3            | $\text{g/cm}^3$ | 2,53      | Min. 2,5 | Memenuhi |
|                                          |                  | 1-2            |                 | 2,53      |          |          |
|                                          |                  | 0,5-1          |                 | 2,51      |          |          |
|                                          |                  | Abu batu       |                 | 2,51      |          |          |
| Penyerapan                               | SNI 1969:2016    | 2-3            | %               | 2,54      | Maks. 3  | Memenuhi |
|                                          |                  | 1-2            |                 | 2,66      |          |          |
|                                          |                  | 0,5-1          |                 | 2,72      |          |          |
|                                          |                  | Abu batu       |                 | 2,75      |          |          |
| Keausan (abrasi Los Angeles 500 putaran) | SNI 2417:2008    | 2-3            | %               | 25,19     | Maks. 30 | Memenuhi |
|                                          |                  | 1-2            |                 | 26,89     |          |          |
| Gumpalan lempung dan butir mudah pecah   | SNI 03-4141-1996 | 2-3            | %               | 0,99      | Maks. 1  | Memenuhi |
|                                          |                  | 1-2            |                 | 0,30      |          |          |
| Kelekatan agregat terhadap aspal         | SNI 2439:2011    | Agregat kasar  | %               | $\geq 95$ | Min. 95% | Memenuhi |
| Partikel pipih dan lonjong               | SNI 8287:2016    | 2-3            | %               | 2,20      | Maks. 10 | Memenuhi |
|                                          |                  | 1-2            |                 | 3,19      |          |          |
| Nilai setara pasir (sand equivalent)     | SNI 03-4428-1997 | Abu batu       | %               | 54,17     | Min. 50  | Memenuhi |

Sumber: Hasil pengujian laboratorium (2025)

Adhesi agregat kasar terhadap bitumen mencapai  $\geq 95\%$  yang memenuhi persyaratan minimum, menunjukkan bonding yang baik antara agregat dan aspal. Uji partikel pipih dan lonjong menunjukkan nilai 2,20% dan 3,19% yang berada di bawah batas maksimum 10%, mengindikasikan bentuk agregat yang baik untuk stabilitas campuran. Uji setara pasir abu batu menghasilkan nilai 54,17%, yang memenuhi persyaratan minimum 50% ( $54,17\% > 50\%$ ). Hal ini menunjukkan kebersihan yang memadai pada bagian agregat halus, cocok untuk aplikasi beton aspal.

**Tabel 2.** Pengujian aspal

| Jenis Pengujian | Standar Acuan | Satuan | Hasil | Syarat   | Ket      |
|-----------------|---------------|--------|-------|----------|----------|
| Berat jenis     | SNI 2441:2011 | -      | 1,03  | Min. 1   | Memenuhi |
| Penetrasi       | SNI 2456:2011 | mm     | 67,5  | 60 - 79  | Memenuhi |
| Daktilitas      | SNI 2432:2011 | cm     | > 144 | ≥ 100    | Memenuhi |
| Titik lembek    | SNI 2434:2011 | °C     | 49,1  | 48-58 °C | Memenuhi |

Sumber: Hasil pengujian laboratorium (2025)

Karakteristik aspal penetrasi 60/70 yang ditampilkan pada Tabel 2 menunjukkan hasil yang sesuai spesifikasi dengan berat jenis 1,03 yang memenuhi persyaratan minimum 1,0. Nilai penetrasi 67,5 dmm berada dalam rentang 60-79 dmm sesuai spesifikasi, menunjukkan konsistensi aspal yang sesuai untuk iklim tropis Indonesia. Uji daktilitas menghasilkan nilai >144 cm yang melebihi persyaratan minimum ≥100 cm, mengindikasikan fleksibilitas aspal yang baik untuk mencegah cracking. Titik lembek aspal mencapai 49,1°C yang berada dalam rentang spesifikasi 48-58°C, menunjukkan ketahanan terhadap deformasi pada suhu tinggi yang memadai.

**Tabel 3.** Pengujian asbuton

| Jenis Pengujian | Standar Acuan    | Satuan | Hasil | Syarat  | Ket      |
|-----------------|------------------|--------|-------|---------|----------|
| Kadar air       | SNI 2490:2008    | %      | 3,04  | Maks. 4 | Memenuhi |
| Ekstraksi       | SNI 06-2444-1991 | -      | 23,32 | Min. 20 | Memenuhi |

Sumber: Hasil pengujian laboratorium (2025)

Karakteristik Asbuton B50/30 menunjukkan kualitas yang memenuhi standar dengan kandungan air 3,04% yang berada dibawah batas maksimum 4%, menunjukkan kondisi material yang cukup kering untuk digunakan langsung tanpa perlakuan pengeringan tambahan. Nilai ekstraksi bitumen mencapai 23,32% yang melebihi persyaratan minimum 20%, mengklasifikasikan Asbuton yang digunakan memiliki kandungan bitumen tinggi. Hasil ini mengindikasikan potensi Asbuton untuk berkontribusi signifikan terhadap peningkatan kandungan pengikat efektif dalam campuran dan memberikan kontribusi positif terhadap sifat mekanis campuran AC-BC.

#### *Penentuan Kadar Aspal Optimum*

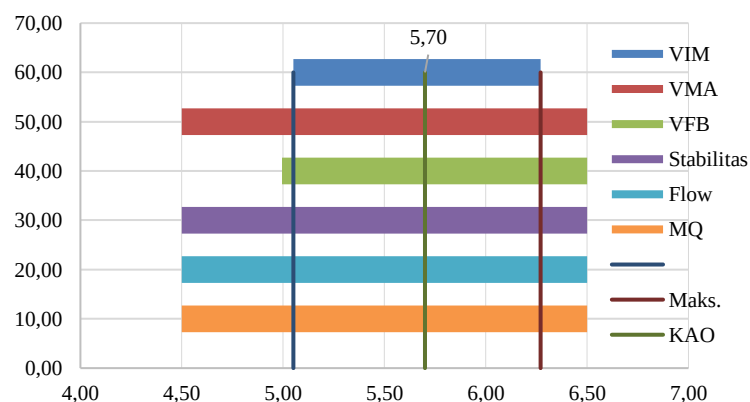
Penentuan kadar aspal optimum dilakukan dengan menggunakan variasi kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5% dari berat total agregat. Analisis hasil pengujian Marshall menunjukkan trend yang konsisten dengan teori campuran aspal, di mana peningkatan kadar aspal menghasilkan penurunan VIM dari 7,81% menjadi 2,47%, peningkatan VFB dari 51,08% menjadi 83,94%, dan peningkatan stabilitas hingga mencapai puncak pada kadar 6,0% dengan nilai 1920 kg. Parameter VMA menunjukkan nilai relatif stabil berkisar 14,50-15,95% yang seluruhnya memenuhi persyaratan minimum 14%. Flow menunjukkan peningkatan gradual dari 3,10 mm hingga 3,80 mm, mengindikasikan peningkatan fleksibilitas campuran seiring penambahan aspal.

**Tabel 4.** Rekapitulasi hasil pengujian Marshall KAO

| Karakteristik Marshall | Variasi Kadar Aspal |        |        |        |        | Spesifikasi |
|------------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|-------------|
|                        | 4,5                 | 5,0    | 5,5    | 6,0    | 6,5    |             |
| Berat Isi              | 2.22                | 2.27   | 2.27   | 2.27   | 2.29   | -           |
| VIM                    | 7.81                | 5.07   | 4.39   | 3.63   | 2.47   | 3 – 5       |
| VMA                    | 15.95               | 14.50  | 14.93  | 15.29  | 15.30  | Min. 14     |
| VFB                    | 51.08               | 65.06  | 70.60  | 76.43  | 83.94  | Min. 65     |
| Stabilitas             | 1669                | 1753   | 1824   | 1920   | 1868   | Min. 1000   |
| Flow                   | 3.17                | 3.10   | 3.20   | 3.30   | 3.80   | 2 – 4       |
| MQ                     | 531.43              | 571.47 | 572.35 | 582.19 | 491.66 | Min. 350    |

Sumber: Hasil pengujian laboratorium (2025)

Hasil pengujian Marshall yang ditampilkan pada **Tabel 4**, seluruh parameter pengujian menunjukkan hasil yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Pengujian berat isi campuran aspal pada variasi kadar 4,5% hingga 6,5% menghasilkan nilai berkisar antara 2,22 hingga 2,29. Nilai VIM (Void in Mix) menunjukkan penurunan dari 7,81% pada kadar aspal 4,5% menjadi 2,47% pada kadar aspal 6,5%, dengan seluruh hasil memenuhi persyaratan 3-5%. VMA (Void in Mineral Aggregate) berkisar antara 14,93% hingga 15,95% yang memenuhi persyaratan minimum 14%, sementara VFB (Void Filled with Bitumen) menunjukkan peningkatan dari 51,08% hingga 83,94% dengan seluruh nilai memenuhi persyaratan minimum 65%. Stabilitas Marshall menunjukkan nilai optimal pada kadar aspal 6,0% dengan nilai 1920 kg, dan seluruh hasil memenuhi persyaratan minimum 1000 kg. Nilai flow berkisar antara 3,10 hingga 3,80 mm dengan seluruh nilai memenuhi persyaratan 2-4 mm, sedangkan Marshall Quotient (MQ) menunjukkan nilai tertinggi 582.19 kg/mm pada kadar aspal 6,0% dengan seluruh hasil memenuhi persyaratan minimum 350 kg/mm. Penentuan kadar aspal optimum ditampilkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Diagram batang KAO  
Sumber: Hasil pengujian laboratorium (2025)

Berdasarkan analisis grafis dan pertimbangan multi-kriteria, kandungan aspal optimum ditentukan sebesar 5,70%, yang memberikan keseimbangan terbaik di antara semua parameter Marshall. Pemilihan 5,70% sebagai kandungan aspal optimum didasarkan pada pertimbangan bahwa kandungan ini memberikan sifat volumetrik optimal sambil mempertahankan stabilitas yang memadai dan fleksibilitas yang cukup.

#### *Pengaruh penambahan persentase asbuton terhadap karakteristik marshall*

Penambahan Asbuton B50/30 menunjukkan pengaruh signifikan terhadap stabilitas dan MQ. Pada kadar 8%, stabilitas mencapai 1951 kg dan MQ 619,96 kg/mm. Peningkatan kadar Asbuton menjadi 9% dan 10% menurunkan nilai-nilai tersebut, menunjukkan efek overbitumen yang menurunkan kekakuan. Hasil studi oleh [16] menunjukkan bahwa penambahan Asbuton Butir pada kadar 7% memberikan stabilitas Marshall dan MQ terbaik, sekaligus mempengaruhi nilai volumetrik seperti VMA, VIM, dan VFB dalam campuran AC-WC. Temuan ini sejalan dengan tren grafik yang menunjukkan bahwa peningkatan Asbuton hingga batas tertentu dapat meningkatkan stabilitas dan kekakuan, namun jika berlebihan (misalnya > 8%), kemampuan struktur cenderung menurun.

**Tabel 5.** Rekapitulasi hasil pengujian Marshall campuran asbuton

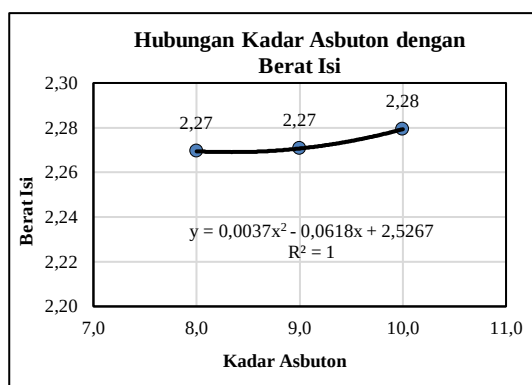
| Karakteristik Marshall | Kadar Asbuton |       |        | Spesifikasi |
|------------------------|---------------|-------|--------|-------------|
|                        | 8%            | 9%    | 10%    |             |
| Berat Isi              | 2.27          | 2.27  | 2.28   | -           |
| VIM                    | 4.22          | 4.17  | 3.80   | 3 – 5       |
| VMA                    | 15.18         | 15.13 | 14.81  | Min. 14     |
| VFB                    | 72.21         | 72.46 | 74.32  | Min. 65     |
| Stabilitas             | 1916          | 1824  | 1722   | Min. 1000   |
| Flow                   | 3.07          | 3.30  | 3.53   | 2 – 4       |
| MQ                     | 626.85        | 553.0 | 488.28 | Min. 350    |

Sumber: Hasil pengujian laboratorium (2025)

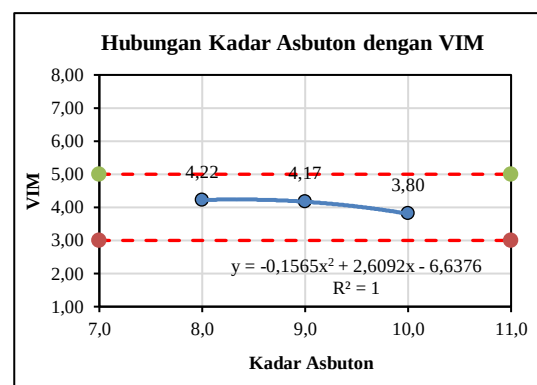
Hasil penelitian oleh [4] dalam *International Journal of Current Science Research and Review* menunjukkan kecenderungan serupa, yaitu bahwa pencampuran aspal dengan aspal Buton dalam proporsi

yang optimal dapat meningkatkan kinerja perkerasan, tetapi kadar yang berlebihan justru mengurangi stabilitas dan fleksibilitas campuran. Penelitian terkini menggunakan teknik machine learning untuk memprediksi stabilitas Marshall menunjukkan bahwa parameter seperti stabilitas dan flow dapat diprediksi dengan akurasi tinggi, memberikan validasi tambahan terhadap hasil eksperimental yang diperoleh [17] [18]. Temuan ini didukung oleh penelitian terkini [19] yang melakukan investigasi laboratorium menggunakan ekstraksi Buton rock asphalt, dimana mereka menemukan bahwa parameter volumetrik seperti VIM dapat dioptimalkan melalui penyesuaian komposisi BRA untuk mencapai performa Marshall stability yang maksimal

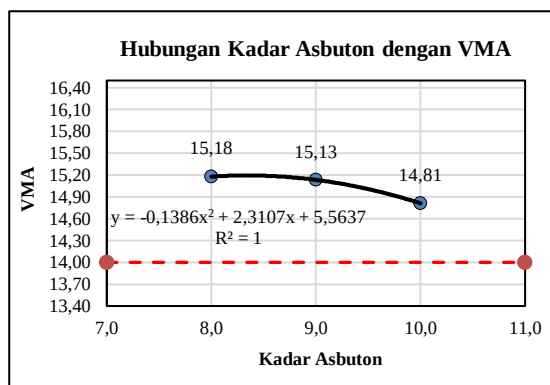
Kemampuan dari suatu lapisan perkerasan juga dipengaruhi oleh sifat, bentuk butir, dan gradasi agregat sesuai dengan hasil studi [20]. Selain itu, [21] juga menyatakan bahwa agregat yang memiliki kualitas fisik yang baik akan mendukung performa lapisan permukaan jalan karena mampu mendistribusikan beban ke lapisan bawah secara optimal. Oleh karena itu, pemilihan agregat dan penambahan Asbuton harus dilakukan secara seimbang untuk mempertahankan karakteristik Marshall dalam batas spesifikasi. Hasil ini juga memperkuat rekomendasi spesifikasi lapangan mengenai pembatasan kadar pengikat dalam desain campuran dengan aspal modifikasi.



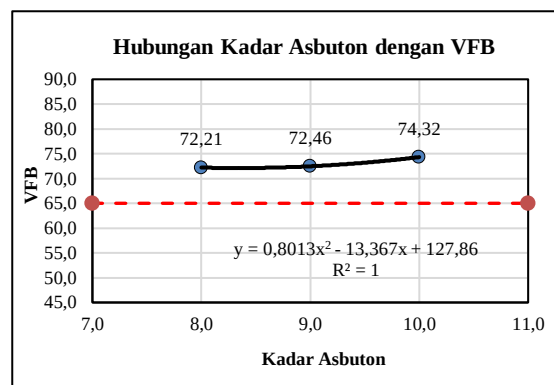
(a)



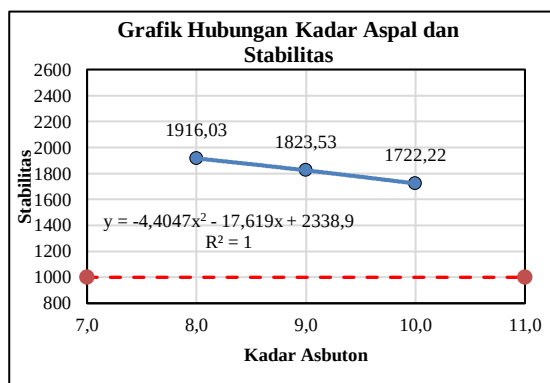
(b)



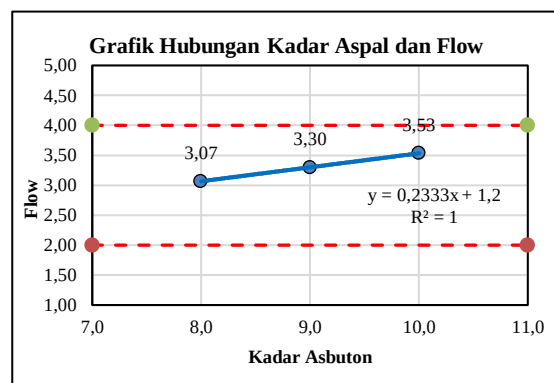
(c)



(d)

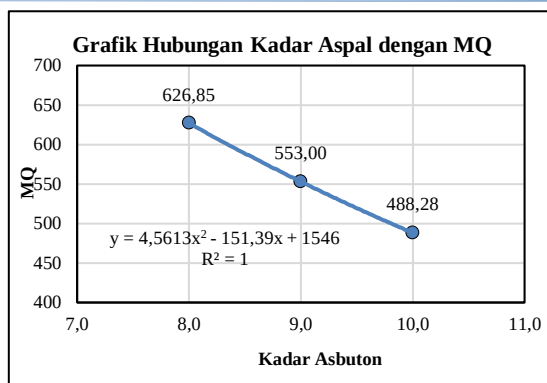


(e)



(f)





(g)

**Gambar 2.** Grafik hubungan persentase asbuton dengan parameter marshall

Sumber: Hasil pengujian laboratorium (2025)

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengevaluasi pengaruh penambahan Asbuton B50/30 terhadap karakteristik Marshall campuran AC-BC dan mengidentifikasi kadar optimal untuk aplikasi praktis. Kadar aspal optimum untuk campuran AC-BC konvensional ditetapkan pada 5,70% berdasarkan keseimbangan parameter Marshall. Penambahan Asbuton B50/30 pada kadar 8% memberikan peningkatan performa yang signifikan dengan stabilitas mencapai 1916 kg dan Marshall Quotient 626.85 kg/mm. Kadar Asbuton di atas 8% mengalami penurunan performa akibat efek overbitumen yang mengurangi internal friction antar agregat. Hasil ini memperkuat potensi Asbuton sebagai material lokal dalam campuran AC-BC dan mendorong penerapannya dalam desain perkerasan nasional.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] A. Fatoni, "Pengaruh Penggunaan Aspal Buton B5/20 dengan Agregat Lokal Madura Pada Campuran Aspal Panas AC-WC Terhadap Karakteristik Marshall," *Rekayasa J. Tek. Sipil*, vol. 6, no. 1, p. 11, 2021, doi: 10.53712/rjrs.v6i1.1157.
- [2] Israil, M. Tumpu, and N. D. Al Makassari, "Reducing the Environmental Impact of Asphalt Emulsion Production from Petroleum Bitumen utilizing Buton Island Natural Asphalt in Various Scenarios," *Eng. Technol. Appl. Sci. Res.*, vol. 14, no. 6, pp. 18380–18387, 2024, doi: 10.48084/etasr.8559.
- [3] M. Afwan and D. Wedyantadji, "Kebijakan Nasional dalam Pemanfaatan Aspal Buton sebagai Alternatif Aspal Minyak," *J. Infrastruktur dan Kebijak. Publik*, vol. 5, no. 2, pp. 45–52, 2020, [Online]. Available: [https://example-journal.org/article/afwan2020\\_asbuton\\_policy](https://example-journal.org/article/afwan2020_asbuton_policy)
- [4] H. Hasina and I. Siolimbona, "International Journal of Current Science Research and Review Utilization of Buton Granular Asphalt ( BGA ) as Asphalt and Filler Content Substitution Material - in Asphalt Concrete Mixture- Wearing Course," vol. 07, no. 09, pp. 7070–7076, 2024, doi: 10.47191/ijcsrr/V7-i9-25.
- [5] Z. Li, Y. Wang, H. Chen, and X. Zhang, "Performance Evaluation of Bitumen Mixtures with Buton Natural Asphalt at Various Dosage Levels," *Constr. Build. Mater.*, vol. 410, p. 132650, 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2024.132650.
- [6] M. Karami and H. Nikraz, "Using Advanced Materials of Granular Buton Natural Rock Asphalt (BRA) Modifier Binder to Improve Flexural Fatigue Performance of Asphalt Mixtures," *Sustainability*, vol. 15, no. 3, p. 2098, 2023, doi: 10.3390/su15032098.
- [7] A. Tipawel and [Penulis Lainnya], "Utilization of Buton Granular Asphalt (BGA) as Asphalt and Filler in Marshall Mix Design," *Int. J. Curr. Sci. Res. Rev.*, vol. [isi volum, no. [isi issue jika ada], p. [halaman awal]-[halaman akhir], 2024, [Online]. Available: <https://ijcsrr.org/wp-content/uploads/2024/09/25-1209-2024.pdf>
- [8] A. Gaus, M. W. Tjaronge, N. Ali, and R. Djamaluddin, "Compressive strength of asphalt concrete binder course (AC-BC) mixture using buton granular asphalt (BGA)," *Procedia Eng.*, vol. 125, pp. 657–662, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.11.097.
- [9] X. Li *et al.*, "Evaluation of microstructural features of Buton rock asphalt components and rheological properties of pure natural asphalt modified asphalt," *Constr. Build. Mater.*, vol. 267, p. 121048, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121048.

- [10] Y. Li, J. Chen, J. Yan, and M. Guo, "Influence of Buton Rock Asphalt on the Physical and Mechanical Properties of Asphalt Binder and Asphalt Mixture," *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/2107512.
- [11] M. F. Haikal, Jasman, and H. Widarto, "Analisa Pengaruh Variasi Penggabungan Asbuton dan Aspal Minyak Terhadap Campuran AC-BC," *J. Karajata Eng.*, vol. 4, no. 2, p. [Isi halaman awal jika diketahui]-[Isi halaman akhir], 2023, doi: 10.31850/karajata.v4i2.3441.
- [12] W. M. Iqbal, [nama lengkap jika ada] Winayati, and A. Saleh, "Pemanfaatan Buton Granular Asphalt Tipe B5/20 pada Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) terhadap Nilai Keausan (Cantabro Test)," *Padur. J. Tek. Sipil Univ. Warmadewa*, vol. 12, no. 1, pp. 14–20, 2023, doi: 10.22225/pd.12.1.5638.14-20.
- [13] M. Zeng, W. Chen, Y. Zhu, and H. Liang, "Effects of Proportion of Buton Rock Asphalt on Performance of Modified Asphalt Mixture with Wet Method," *J. Hunan Univ. (Natural Sci.)*, vol. 45, no. 11, p. [jika tersedia]-[jika tersedia], 2018, [Online]. Available: <https://joununs.com/index.php/journal/article/view/85>
- [14] S. A. R. Shah *et al.*, "Marshall stability and flow analysis of asphalt concrete under progressive temperature conditions: An application of advance decision-making approach," *Constr. Build. Mater.*, vol. 262, p. 120756, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120756.
- [15] Direktorat Jenderal Bina Marga, "Spesifikasi Umum 2018," *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018*, no. Revisi 2, pp. 6.1-6.104, 2018.
- [16] M. Hermadi and W. Praviyanto, "The Effect of Resins on Rheological and Ageing Characteristics of Bitumen for Pavement," *MATEC Web Conf.*, vol. 258, p. 1004, 2019, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201925801004>
- [17] A. Kumar, R. Choudhary, and A. Kumar, "Predicting Marshall Stability of Carbon Fiber-Reinforced Asphalt Concrete Using Machine Learning Techniques," *Int. J. Pavement Res. Technol.*, vol. 16, no. 1, pp. 44–63, 2022, doi: 10.1007/s42947-022-00223-5.
- [18] N. Ahmad, F. M. Jakarni, U. A. Mannan, and S. Sura, "Modelling of Marshall stability of polypropylene fibre reinforced asphalt concrete using support vector machine and artificial neural network," *J. Road Eng.*, vol. 4, no. 3, pp. 231–243, 2024, doi: 10.1016/j.jreng.2024.07.003.
- [19] Andriansyah, E. S. Hariyadi, and H. Rahman, "Laboratory Investigation on Porous Asphalt Using Buton Rock Asphalt (BRA) Extraction," *Int. J. Pavement Res. Technol.*, 2025, doi: 10.1007/s42947-025-00500-z.
- [20] H. Hakzah, A. Andriansyah, M. Mustakim, and J. Jasman, "The Aggregate Gradation in Road Reconstruction," *Astonjadro*, vol. 13, no. 3, pp. 930–940, 2024, doi: 10.32832/astonjadro.v13i3.16068.
- [21] Hakzah, S. A, and Yulianti, "Studi Kelayakan Sifat Fisik Agregat Untuk Struktur Perkerasan Jalan (Quarry Gunung Lakera Bum, Gunung Lompongang, Dan Gunung Benderae Kab. Pinrang)," *J. Karajata Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2021, [Online]. Available: <http://jurnal.umpar.ac.id/index.php/karajata-1>