JOURNAL FLYOVER (JFO)
Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana UMI

Vol. 05, No. 01 Tahun 2025
E-ISSN: 2829-5684

Penggunaan Asbuton Berbutir sebagai Bahan Subtitusi Parsial Agregat Halus pada Campuran Aspal Beton Lapis Antara (AC-BC)

Adi Fitra [1*], Lambang Basri Said [2], Andi Alifuddin [3]

1*) Magister Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar, adifitra001@gmail.com
2) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar
3) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

Abstract

Road infrastructure in Indonesia faces substantial challenges due to heavy traffic loads and tropical climate conditions, necessitating the use of durable and high-quality pavement materials. The limited availability of conventional fine aggregates, coupled with environmental concerns surrounding mining activities, has prompted the exploration of sustainable alternatives. This study investigates the feasibly of utilizing B5/20 granular Asbuton as a partial replacement for fine aggregates in Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC) mixtures, while also examining the effect of compaction temperature on mixture performance. The materials used comprised 60/70 penetration-grade asphalt binder, coarse aggregates, rock dust, and B 5/20 granular Asbuton as a partial fine aggregate replacement. The substitution levels of B 5/20 Asbuton were varied at 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, and 10% by weight of fine aggregates, while the compaction temperatures evaluated ranged from 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, and 150°C increments. Marshall tests were conducted to assess key performance parameters including stability, flow, voids in mix (VIM), voids in mineral aggregate (VMA), voids filled with asphalt (VFA), density, and Marshall Quotient. The data were analyzed through regression and correlation techniques to develop predictive models for mixture behavior. The results indicate that incorporating B 5/20 Asbuton enhances the stability of AC-BC mixtures, with the optimum substitution identified at 6%, yielding a maximum stability of 1,433.37 kg, compared to 1,259.23 kg at 2% substitution. In addition, the optimal compaction temperature was determined to be 140°C, producing the highest stability value of 1,398.70 kg.

Keywords: B 5/20 Granular Asbuton, Compaction Temperature, Fine Aggregate, Intermediate Layer Concrete Asphalt (AC-BC).

Abstrak

Infrastruktur jalan di Indonesia sering mengalami kerusakan akibat beban lalu lintas berat dan iklim tropis, sehingga memerlukan material berkualitas tinggi untuk daya tahan dan keselamatan. Keterbatasan agregat halus konvensional dan dampak negatif penambangannya menjadi tantangan signifikan. Selain itu, penelitian mengenai variasi suhu pemadatan optimal untuk campuran aspal beton yang menggunakan Asbuton berbutir masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan Asbuton berbutir B 5/20 sebagai substitusi agregat halus pada campuran aspal beton lapis antara (AC-BC). Bahan yang digunakan meliputi aspal minyak penetrasi 60/70, agregat kasar, abu batu, dan Asbuton Buton Granular Asphalt (BGA) tipe B 5/20 sebagai substitusi agregat halus. Variasi substitusi Asbuton berbutir B 5/20 yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% terhadap total agregat halus. Suhu pemadatan yang divariasikan adalah 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, dan 150°C. Pengujian Marshall dilakukan untuk mengukur stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, Density, dan Marshall Quotient. Analisis data dilakukan menggunakan regresi dan korelasi untuk mendapatkan persamaan yang menggambarkan perilaku hasil pengujian. Penggunaan Asbuton B 5/20 sebagai substitusi agregat halus pada campuran AC-BC dapat meningkatkan nilai stabilitas. Variasi optimum penggunaan Asbuton B 5/20 adalah 6%, yang meningkatkan stabilitas dari 1259,23 Kg (2% substitusi) menjadi 1433,37 Kg (6% substitusi),

sebelum akhirnya menurun pada variasi 10%. Suhu pemadatan optimal untuk campuran AC-BC dengan substitusi Asbuton B 5/20 adalah 140°C, menghasilkan stabilitas puncak 1398,70 Kg.

Kata Kunci: Asbuton Berbutir B 5/20, Aspal Beton Lapis Antara (AC-BC), Agregat Halus, Suhu Pemadatan.

1. PENDAHULUAN

Infrastruktur jalan yang baik merupakan salah satu faktor kunci dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan mobilitas masyarakat. Di Indonesia, kondisi jalan yang sering mengalami kerusakan akibat beban lalu lintas yang berat dan iklim tropis memerlukan perhatian serius dalam perencanaan dan pemeliharaan. Oleh karena itu, penggunaan material yang berkualitas tinggi dalam pembangunan jalan menjadi sangat penting untuk meningkatkan daya tahan dan keselamatan.

Aspal beton, khususnya campuran aspal beton lapis antara (AC-BC), merupakan salah satu material yang banyak digunakan dalam pembangunan jalan. Campuran ini terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan aspal, di mana setiap komponen memiliki peran vital untuk mencapai kualitas campuran yang optimal. Kualitas agregat halus, dalam hal ini, sangat mempengaruhi sifat mekanik dan fisik dari campuran aspal beton. Dengan meningkatnya permintaan akan agregat halus berkualitas, keterbatasan sumber daya alam menjadi tantangan yang signifikan. Penggalian agregat halus konvensional dapat menyebabkan dampak lingkungan yang negatif, seperti kerusakan ekosistem dan penurunan kualitas tanah. Oleh karena itu, perlu dicari alternatif yang lebih berkelanjutan untuk menggantikan agregat halus konvensional.

Asbuton, atau aspal buton, merupakan hasil pengolahan dari batuan aspal yang kaya akan senyawa hidrokarbon. Asbuton berbutir memiliki potensi untuk digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran aspal beton. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa asbuton dapat meningkatkan kekuatan dan kepadatan campuran aspal, serta memiliki karakteristik tahan air yang baik. Sifat fisik asbuton, seperti ukuran butir dan kepadatan, dapat memberikan keuntungan tersendiri dalam campuran aspal beton. Penggunaan asbuton berbutir dapat meningkatkan stabilitas campuran, mengurangi deformasi, dan memperpanjang umur pakai jalan. Selain itu, asbuton dapat membantu mengurangi biaya konstruksi dengan mengurangi ketergantungan pada agregat konvensional (Madi Hermadi. 2009).

Proses pemadatan adalah tahap penting dalam pembuatan campuran aspal beton. Suhu pemadatan yang tepat dapat mempengaruhi viskositas aspal dan distribusi agregat, yang berujung pada kualitas campuran. Pemadatan akan mengurangi rongga udara dalam campuran hotmix, sehingga menaikkan berat isi atau kepadatan (density) campuran. Pemadatan yang tepat pada Asphalt Concrete adalah salah satu parameter penting untuk membangun stabilitas dan ketahanan suatu konstruksi perkerasan (Alifuddin, dkk, 2018). Penelitian mengenai variasi suhu pemadatan yang optimal untuk campuran yang menggunakan asbuton berbutir masih terbatas, sehingga perlu dilakukan kajian lebih lanjut.

Metode Marshal adalah salah satu metode yang umum digunakan untuk menguji karakteristik campuran aspal beton. Parameter yang diukur, seperti stabilitas, flow, dan VMA (Void in Mineral Aggregate), sangat penting untuk menentukan kualitas campuran. Analisis nilai karakteristik Marshal dari campuran yang menggunakan asbuton berbutir dapat memberikan wawasan tentang performa campuran dalam kondisi lapangan.

Terdapat hubungan yang signifikan antara suhu pemadatan dan nilai karakteristik Marshal. Suhu yang terlalu tinggi atau terlalu rendah dapat mempengaruhi kepadatan dan kekuatan campuran aspal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi pengaruh variasi suhu pemadatan terhadap campuran aspal beton yang menggunakan asbuton berbutir. Dengan memanfaatkan asbuton berbutir, diharapkan penelitian ini juga dapat

menambah wawasan sebagai studi lanjut untuk meminimalkan dampak lingkungan dari penggalian agregat konvensional.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis nilai Karakteristik Marshall pada campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC BC) dengan Asbuton berbutir BGA B 5/20 sebagai subtitusi parsial agregat halus. Tujuan lainnya adalah untuk menganalisis nilai karakteristik campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC BC) yang menggunakan Asbuton Berbutir BGA B 5/2 sebagai bahan subtitusi parsial agregat halus dengan variasi suhu pemadatan

2. METODE

A. Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada kelengkapan fasilitas laboratorium yang mendukung pelaksanaan pengujian material perkerasan jalan secara menyeluruh, mulai dari pemeriksaan sifat fisik aspal dan agregat hingga pengujian karakteristik campuran aspal. Laboratorium ini dilengkapi dengan peralatan standar sesuai spesifikasi nasional dan internasional, sehingga dapat menjamin validitas dan reliabilitas hasil penelitian.

Bahan utama yang digunakan meliputi aspal minyak penetrasi 60/70 (AC 60/70) produksi Pertamina, agregat kasar bergradasi 2–3, 1–2, 0,5–1, dan abu batu yang diperoleh dari proses pemecahan batu alam di daerah Bili-Bili, Kabupaten Gowa, serta aspal Buton Lawele Granular Asphalt (BGA) tipe B 5/20 yang berasal dari Desa/Kelurahan Lawele, Kecamatan Lasalimu, Kabupaten Buton, Sulawesi Tenggara. Seluruh bahan tersebut terlebih dahulu melalui proses pengujian untuk memastikan kesesuaian terhadap standar mutu yang berlaku, seperti penetrasi, titik lembek, viskositas, daktilitas, dan berat jenis untuk aspal, serta analisa saringan, berat isi, berat jenis, uji kelekatan, dan soundness test untuk agregat.

Alat yang digunakan dalam penelitian terdiri dari peralatan pemeriksaan aspal sesuai SNI 06-2456-1991, peralatan pemeriksaan agregat mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018, AASHTO, dan ASTM, serta alat uji karakteristik campuran aspal berupa Marshall Test. Peralatan tersebut digunakan secara berurutan mulai dari tahap pemeriksaan bahan hingga tahap pengujian campuran,

B. Tahapan Penelitian

Penelitian diawali dengan tahap persiapan bahan, yaitu pengumpulan seluruh material yang diperlukan untuk pembuatan campuran beton aspal. Bahan-bahan tersebut kemudian diperiksa di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, untuk memastikan kesesuaiannya dengan standar spesifikasi pekerjaan jalan. Proses pemeriksaan meliputi uji karakteristik aspal seperti penetrasi, titik lembek, viskositas, titik nyala dan titik bakar, daktilitas, serta berat jenis sesuai SNI 06-2456-1991. Sementara itu, agregat diuji melalui analisa saringan, pengukuran berat isi, berat jenis dan penyerapan, soundness test, serta uji kelekatan terhadap aspal, mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018, AASHTO, dan ASTM.

Tahap berikutnya adalah perencanaan campuran menggunakan metode trial and error untuk menentukan proporsi agregat yang menghasilkan gradasi gabungan sesuai spesifikasi. Proses ini dilakukan dengan mengkombinasikan agregat kasar, agregat halus, dan filler berdasarkan persentase passing pada setiap saringan, lalu mencocokkannya dengan gradasi target. Kombinasi bahan disesuaikan secara bertahap hingga diperoleh hasil yang optimal. Setelah komposisi agregat ditetapkan, dilakukan penentuan kadar aspal rencana melalui

pembuatan dan pengujian benda uji (briket) untuk memperoleh kadar aspal optimum yang mampu memberikan kinerja campuran terbaik.

Selanjutnya, dilakukan penentuan berat agregat dan berat aspal yang digunakan pada setiap benda uji. Agregat dikeringkan terlebih dahulu dalam oven hingga beratnya tetap, kemudian dicampur dengan aspal pada temperatur viskositas 170 ± 20 cst, dan dipadatkan pada temperatur 100–120 cst. Campuran yang telah homogen dimasukkan ke dalam mold dan dipadatkan dari kedua sisi untuk membentuk briket uji. Proses ini memastikan bahwa campuran beton aspal yang dihasilkan memiliki kualitas sesuai standar dan siap untuk diuji menggunakan metode Marshall Test.

C. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan setelah seluruh bahan penyusun aspal beton melewati tahap pemeriksaan laboratorium dan dinyatakan memenuhi persyaratan sesuai ketentuan. Tahap awal meliputi penentuan proporsi campuran untuk setiap variasi substitusi asbuton berbutir sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% terhadap total agregat halus, serta penggunaan lima variasi kadar aspal untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO). Asbuton berbutir dipersiapkan sesuai spesifikasi ukuran butir lolos saringan No.4 dan tertahan saringan No.200, sementara agregat kasar dan halus dipilih berdasarkan spesifikasi setelah melalui analisis saringan. Aspal Pertamina dengan standar Bina Marga 2018 dipanaskan hingga suhu 110°C–140°C sebelum dicampurkan dengan agregat dan asbuton dalam hot mix hingga homogen. Campuran yang dihasilkan kemudian dimasukkan ke dalam cetakan standar berdiameter 10 cm dan tinggi 6 cm, dipadatkan menggunakan alat pemadat Marshall sesuai prosedur, lalu didinginkan pada suhu ruang selama 24 jam untuk memastikan ikatan yang kuat antara agregat dan aspal.

Tabel 1 Sampel Benda Uji

No.	Jenis Sampel	Jumlah Sampel
1.	KAO dengan variasi kadar aspal rencana	15
2.	Kadar Aspal Rencana Optimum Subtitusi Asbuton Berbutir dengan variasi 2%, 4%, 6%, 8%, 10%.	15
3.	Campuran AC-BC yang disubtitusi Asbuton B 5/20 persentase optimal dengan Variasi Suhu Pemadatan 3 x 110ºC, 3 x 120ºC, 3 x 130ºC, 3 x 140ºC, 3 x 150ºC.	15
4.	Campuran AC BC tanpa Subtitusi Asbuton B 5/20 Variasi Suhu Pemadatan 3 x 110ºC, 3 x 120ºC, 3 x 130ºC, 3 x 140ºC, 3 x 150ºC	10
Total benda uji		**55**

D. Metode Analisis

Metode analisis dalam penelitian ini menggunakan pengujian Marshall untuk menentukan karakteristik campuran aspal beton, yang meliputi nilai stabilitas, flow, dan VMA (Void in Mineral Aggregate). Proses dimulai dengan menyiapkan benda uji dari campuran aspal beton dan asbuton berbutir yang telah memenuhi prosedur pendinginan. Pengujian stabilitas dilakukan dengan menempatkan benda uji pada mesin Marshall dan memberikan beban bertahap hingga benda uji mengalami kegagalan, baik berupa patah maupun deformasi, kemudian dicatat nilai stabilitas maksimum sesuai persamaan yang berlaku. Selanjutnya, pengujian flow dilakukan dengan mengukur deformasi plastis benda uji dalam satuan milimeter. Tahap terakhir adalah pengujian volumetrik untuk menghitung nilai VMA, VIM, dan VFA menggunakan rumus yang telah ditentukan. Hasil dari seluruh rangkaian pengujian ini memberikan gambaran kinerja campuran aspal beton dengan

variasi penggunaan asbuton berbutir, yang dapat digunakan sebagai dasar rekomendasi teknis dalam praktik konstruksi.

Data hasil pengujian Marshall kemudian dianalisis menggunakan metode regresi dan korelasi untuk memodelkan hubungan antara kadar aspal dengan parameter kinerja campuran. Regresi digunakan untuk membentuk persamaan matematis yang mendekati titik-titik data hasil pengujian, baik dalam bentuk persamaan linear ($y = a + bx$) maupun persamaan kuadratik ($y = ax^2 + bx + c$). Korelasi digunakan untuk mengukur tingkat hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat, dengan nilai R yang menunjukkan kekuatan hubungan tersebut. Nilai kadar aspal optimum (KAO) ditentukan dari persamaan kuadratik dengan mencari titik maksimum melalui turunan pertama ($dy/dx = 0$) sehingga diperoleh KAO = b/2a (%).

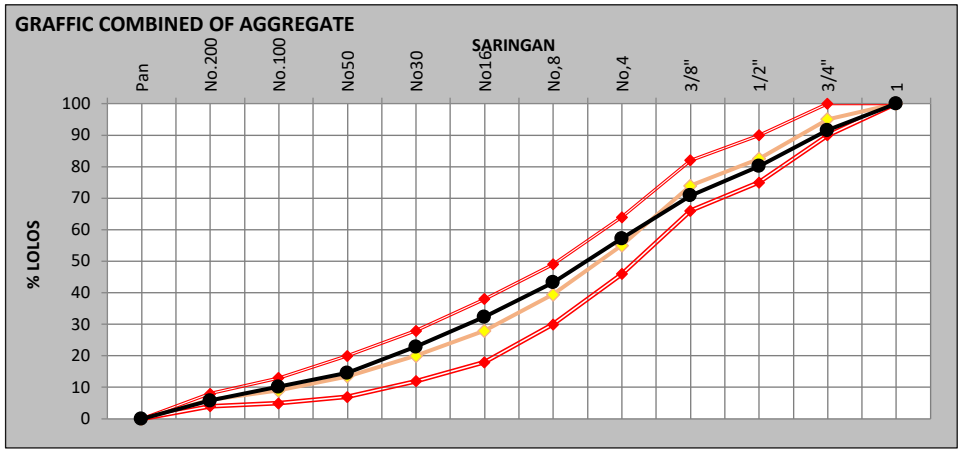
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemeriksaan Agregat

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari batu pecah dengan ukuran 2–3 cm, 1–2 cm, dan 0,5–1 cm yang diambil dari daerah Bili-Bili, Kabupaten Gowa. Pengujian di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia dilakukan untuk mengetahui gradasi dan sifat fisik agregat kasar sesuai standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 serta prosedur AASHTO T-27-24 dan ASTM C 136-46. Hasil pengujian menunjukkan bahwa distribusi butiran memenuhi batas spesifikasi dan memiliki karakteristik fisik yang baik, dengan berat jenis bulk sebesar 2,60, SSD sebesar 2,67, dan apparent sebesar 2,79. Nilai water absorption sebesar 2,54% menunjukkan daya serap air yang masih dalam batas wajar, sementara sand equivalent sebesar 79,74% mengindikasikan kandungan material halus yang rendah. Berat isi gembur dan padat masing-masing 1,43 dan 1,45 gr/cm³, dengan hasil soundness test sebesar 3,87%, yang menunjukkan ketahanan agregat terhadap pelapukan cukup baik untuk digunakan pada campuran aspal beton.

Agregat halus yang digunakan adalah abu batu dari proses pemecahan batu di daerah Bili-Bili, yang diuji gradasinya menggunakan standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dengan prosedur AASHTO T-27-4 dan ASTM C 136-46. Hasil pengujian gradasi menunjukkan distribusi butiran yang merata dan sesuai spesifikasi, dengan persentase passing No. 4 sebesar 80,62% hingga passing No. 200 sebesar 10,92%. Karakteristik fisiknya juga memenuhi persyaratan, dengan berat jenis bulk 2,58, SSD 2,68, dan apparent 2,52. Nilai water absorption sebesar 2,46% menunjukkan daya serap air yang masih terkendali, sedangkan nilai sand equivalent sebesar 82,80% menandakan tingkat kebersihan agregat halus yang tinggi. Berat isi gembur dan padat masing-masing sebesar 1,52 dan 1,68 gr/cm³, dengan hasil soundness test yang menunjukkan ketahanan terhadap pelapukan tetap terjaga.

Penggabungan gradasi campuran dilakukan menggunakan metode trial and error dengan komposisi agregat abu batu 53%, batu pecah 2–3 cm sebesar 12%, batu pecah 1–2 cm sebesar 14%, dan batu pecah 0,5–1 cm sebesar 21%. Masing-masing fraksi agregat dikalikan dengan persentase passing hasil analisa saringan, kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan gradasi total campuran. Hasil penggabungan menunjukkan distribusi butiran yang berada dalam batas spesifikasi Bina Marga 2018 dan mendekati gradasi ideal yang direncanakan. Gradasi menerus ini diharapkan memberikan kinerja yang baik pada campuran aspal beton, sehingga tahap selanjutnya adalah menentukan kadar aspal optimum (KAO) melalui pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal untuk mendapatkan campuran dengan stabilitas, flow, dan parameter volumetrik yang memenuhi persyaratan teknis **(Gambar 1)**.



Gambar 1 Gradasi Campuran

B. Hasil Pemeriksaan Aspal

Hasil pemeriksaan aspal menunjukkan bahwa jenis aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal penetrasi 60/70 produksi Pertamina. Berdasarkan pengujian karakteristik, nilai penetrasi pada suhu 25°C sebesar 68,3 (0,1 mm), titik lembek 48°C, titik nyala 323°C, titik bakar 325°C, berat jenis 1,031, serta daktilitas 152,5 cm. Seluruh hasil pengujian ini berada dalam rentang spesifikasi yang disyaratkan oleh standar, sehingga aspal tersebut memenuhi kriteria untuk digunakan dalam pembuatan campuran beton aspal jenis Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC). Karakteristik tersebut mengindikasikan bahwa aspal memiliki kekuatan ikat yang baik, kestabilan terhadap suhu tinggi, dan kelenturan yang memadai, sehingga dapat memberikan kinerja yang optimal pada perkerasan jalan.

Sementara itu, hasil pemeriksaan Buton Granular Asphalt (BGA) tipe B 5/20 yang digunakan sebagai substitusi agregat halus menunjukkan bahwa ukuran butirnya sesuai spesifikasi, yakni lolos saringan No.4 dan tertahan pada saringan No.200. Hasil gradasi menunjukkan persentase lolos saringan No.4 sebesar 100% hingga saringan No.200 sebesar 4,36%. Karakteristik fisik BGA B 5/20 memiliki berat jenis bulk 2,52, SSD 2,54, dan apparent 2,60, dengan nilai water absorption sebesar 2,3% dan kadar aspal hasil ekstraksi sebesar 19,97%. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa BGA B 5/20 memiliki kualitas yang baik sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal beton, mampu meningkatkan kadar aspal alami pada campuran, sekaligus berkontribusi terhadap peningkatan daya ikat dan durabilitas lapisan perkerasan.

C. Penentuan Kadar Aspal Rencana

Berdasarkan hasil penentuan fraksi campuran yang telah diperoleh, kadar aspal rencana dihitung menggunakan rumus Pb = 0,035a + 0,045b + Kc + F, di mana a adalah persentase agregat tertahan di saringan No.8, b adalah persentase agregat lolos saringan No.8 namun tertahan di saringan No.200, c adalah persentase agregat yang lolos saringan No.200, K merupakan faktor koreksi sesuai persentase lolos saringan No.200, dan F adalah faktor penyesuaian berdasarkan jenis campuran. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai a = 56,73, b = 37,49, dan c = 5,79, dengan K = 0,20 karena persentase lolos saringan No.200 ≤ 5%, serta F = 1 untuk campuran AC. Substitusi nilai tersebut ke dalam rumus menghasilkan Pb = 1,985 + 1,686 + 1,158 + 1 = 5,83%, yang kemudian dibulatkan menjadi 5,5% sebagai kadar aspal rencana. Selanjutnya, digunakan lima variasi kadar aspal, yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%, untuk pengujian Marshall dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO).

D. Analisis dan Hasil Pengujian Marshall Test untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Untuk mendapatkan kadar aspal optimum campuran maka dibuat tiga sampel briket, dengan variasi kadar aspal sesuai dengan rancangan campuran Asphalt Concrete Bearing Course (AC-BC) , yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5%. Dari masing-masing kadar aspal rencana dipadatkan dengan jumlah tumbukan sebanyak 2 x 75 menggunakan alat compactor (Alat pemadatan). Hasil pengujian karakteristik Marshall campuran Asphalt Concrete Bearing Course (AC-BC) menunjukkan bahwa tidak semua hasil pengujian dari variasi kadar aspal rencana masuk dalam spesifikasi karakteristik campuran Asphalt Concrete Bearing Course (AC-BC), sesuai dengan Spesifikasi Umum Pekerjaan Jalan oleh Bina Marga tahun 2018.

Tabel 2 Rekapitulasi pengujian Marshall Campuran Asphalt Concrete Bearing Course (AC-BC) Pen 60-70 untuk Kadar Aspal Optimum (KAO)

Sifat-sifat Campuran	Hasil Pengujian					Spesifikasi
Kadar Aspal (%)	4,5	5	5,5	6	6,5	
Density	2,297	2,291	2,288	2,287	2,294	≥2.2 kg/mm^3
VIM; %	6,075	4,978	4,480	3,903	2,998	3-5%
VMA; %	15,236	15,248	15.799	16,278	16,474	≥ 15%
VFA; %	60,425	67,597	71,679	76,117	81,924	≥ 65%
Stabilitas; kg	962,204	1075,158	1117,033	1091,772	925,156	800-1800 kg
Flow; mm	3,30	2,67	2,33	2,83	3,27	2-4 mm
MQ; kg/mm	292,051	403,984	478,994	385,476	283,389	Min 250 kg/mm

Untuk memperoleh kadar aspal optimum (KAO) pada campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC), dilakukan analisis terhadap hubungan antara kadar aspal dan nilai stabilitas campuran menggunakan pendekatan persamaan polinomial berderajat dua. Persamaan ini disusun berdasarkan data hasil uji Marshall yang disajikan dalam grafik 4.2, dengan tujuan untuk menentukan titik maksimum stabilitas sebagai representasi dari kadar aspal yang paling sesuai.

Dari hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai kadar aspal optimum sebesar 5,8%, yang kemudian ditetapkan sebagai kadar aspal yang akan digunakan dalam proses perencanaan campuran AC-BC. Nilai KAO ini digunakan secara tetap pada setiap variasi campuran yang mengandung Asbuton berbutir tipe BGA B 5/20, yang disubstitusikan ke dalam agregat halus dengan variasi persentase sebesar 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10%. Penetapan KAO ini bertujuan untuk menjaga konsistensi pengujian serta memastikan bahwa pengaruh substitusi Asbuton terhadap karakteristik campuran dapat dianalisis secara lebih terfokus dan terukur.

E. Analisis dan Hasil Pengujian Marshall Test, dengan subtitusi Asbuton B 5/20

Setelah melakukan analisis pengujian marshall test untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO), selanjutnya dilakukan pengujian Marshall Test dengan variasi subtitusi Asbuton B 5/20 untuk melihat pengaruh Asbuton berbutir B 5/20 yang di subtitusi ke agregat halus berdasarkan jumlah total presentase pada gradasi combined terhadap karakteristik campuran Asphalt Concrete Bearing Course (AC-BC). Variasi subtitusi Asbuton B 5/20 terhadap nilai persentase agregat halus yang akan digunakan yaitu: 2%, 4%, 6%, 8%, dan

10% berdasarkan dari total persentase agregat halus yang digunakan dalam campuran. Berikut merupakan hasil rekapitulasi karakteristik marshall dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3 Hasil Rekapitulasi karakteristik marshall dengan subtitusi Asbuton berbutir B 5/20 ke agregat halus

Sifat-Sifat Campuran	Hasil Pengujian Asbuton B 5/20					Spesifikasi
	Variasi Asbuton B 5/20					
	2%	4%	6%	8%	10%	
Stabilitas ; kg	1259,23	1338,72	1433,37	1398,70	1297,85	800 - 1800 kg
Flow ; mm	2,90	2,53	2,43	2,53	2,80	2 – 4 mm
VIM ; %	4,17	3,61	3,56	2,89	2,60	3 - 5 %
VMA ; %	15,59	15,09	15,05	14,47	14,20	≥15%
VFA ; %	73,23	76,10	76,38	80,00	81,72	≥65%
MQ ; kg/mm	434,51	529,24	589,35	552,26	464,08	Min 250 kg/mm
Density	2,339	2,353	2,354	2,370	2,377	≥ 2.2 kg/mm²

F. Analisis dan Hasil Pengujian Marshall Test, dengan Subtitusi Kadar optimum Asbuton B 5/20 terhadap Variasi Suhu Pemadatan

Setelah melakukan analisis pengujian marshall test untuk penentuan nilai persentase optimum subtitusi Asbuton berbutir B 5/20 selanjutnya dilakukan pengujian Marshall Test dengan variasi suhu pemadatan untuk melihat pengaruh Asbuton berbutir B 5/20 nilai persentase optimum yang di subtitusi ke agregat halus dengan variasi suhu pemadatan terhadap karakteristik campuran Asphalt Concrete Bearing Course (AC-BC). Variasi suhu pemadatan terhadap campuran dengan subtitusi persentase optimum Asbuton berbutir B 5/20 yang akan digunakan yaitu: 110°C, 120°C, 130°C, 140°C dan 150°C. Berikut merupakan hasil rekapitulasi karakteristik marshall dapat dilihat pada **Tabel 4.**

Tabel 4 Hasil rekapitulasi karakteristik Marshall subtitusi Asbuton berbutir B 5/20 Optimum terhadap variasi Suhu Pemadatan

Sifat-Sifat Campuran	Hasil Pengujian Asbuton B 5/20 Optimum dengan Suhu Pemadatan					Spesifikasi
	Suhu Pemadatan (°C)					
Asbuton ; 6 %	**110**	**120**	**130**	**140**	**150**	
Stabilitas ; kg	748,85	1100,26	1291,05	1398,70	1337,31	800 - 1800 kg
Flow ; mm	4,13	3,23	2,60	2,43	2,63	2 – 4 mm
VIM ; %	7,31	6,09	4,83	3,85	3,14	3 - 5 %
VMA ; %	18,36	17,28	16,17	15,31	14,68	≥15%
VFA ; %	60,17	64,75	70,13	74,86	78,63	≥65%
MQ ; kg/mm	258,38	435,11	530,85	552,26	477,90	Min 250 kg/mm
Density	2,262	2,292	2,323	2,347	2,364	≥ 2.2 kg/mm²

Setelah dilakukan analisis hasil pengujian Marshall terhadap campuran Asphalt Concrete Bearing Course (AC-BC) dengan substitusi Asbuton B 5/20 pada persentase optimum sebesar 6%, serta menggunakan variasi suhu pemadatan, maka dilakukan pula analisis serupa terhadap campuran aspal tanpa substitusi Asbuton B 5/20 dengan variasi suhu pemadatan yang sama. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk membandingkan karakteristik dan kinerja campuran aspal dengan dan tanpa Asbuton B 5/20, khususnya dalam hal stabilitas, flow, dan parameter Marshall lainnya. Dengan melakukan perbandingan pada kondisi suhu pemadatan yang sama, dapat diketahui sejauh mana pengaruh penggunaan Asbuton B 5/20 terhadap performa campuran AC-BC, serta

menentukan efektivitas dan manfaat substitusi tersebut dalam meningkatkan kualitas perkerasan jalan. Berikut hasil rekapitulasi karakteristik marshal dapat dilihat pada **Tabel 5** berukut.

Tabel 5 Hasil rekapitulasi karakteristik Marshall tanpa subtitusi Asbuton berbutir B 5/20 terhadap variasi Suhu Pemadatan

Sifat-Sifat Campuran	Hasil Pengujian tanpa Asbuton B 5/20 dengan Suhu Pemadatan					Spesifikasi
	Suhu Pemadatan (°C)					
Asbuton ; 0 %	110	120	130	140	150	
Stabilitas ; kg	658,90	891,08	1103,36	1124,66	1045,73	800 - 1800 kg
Flow ; mm	4,40	3,55	2,85	2,55	2,75	2 – 4 mm
VIM ; %	6,73	5,54	4,64	4,03	3,33	3 - 5 %
VMA ; %	18,60	17,56	16,77	16,24	15,63	≥15%
VFA ; %	63,79	68,46	72,35	75,20	78,71	≥65%
MQ ; kg/mm	149,86	251,01	387,11	441,26	380,44	Min 250 kg/mm
Density	2,237	2,266	2,288	2,302	2,319	≥ 2.2 kg/mm²

G. Pembahasan

Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,8% pada campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) memiliki peran penting dalam menentukan sifat fisik dan mekanis campuran. Peningkatan kadar aspal umumnya menyebabkan penurunan Void in Mix (VIM) karena rongga udara dalam campuran terisi oleh aspal, sementara Void Filled Asphalt (VFA) meningkat seiring bertambahnya kadar aspal. Nilai stabilitas mengalami kenaikan hingga kadar aspal sekitar 6%, kemudian menurun ketika kadar aspal melewati titik tersebut akibat campuran menjadi terlalu plastis. Flow cenderung menurun hingga kadar aspal 6% lalu kembali meningkat, sedangkan Marshall Quotient (MQ) meningkat sampai kadar aspal 6% sebelum turun akibat sifat plastis yang berlebihan.

Hubungan ini menunjukkan bahwa kadar aspal yang tepat akan menghasilkan keseimbangan antara kepadatan, kekakuan, dan kelenturan campuran. KAO yang dipilih mampu memberikan densitas optimal, mengurangi rongga udara yang berlebihan, serta memastikan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen. Oleh karena itu, kadar 5,8% digunakan sebagai dasar dalam perencanaan campuran AC-BC dengan substitusi Asbuton berbutir B 5/20, sehingga berbagai variasi persentase bahan tambah dapat diuji dengan parameter kinerja yang konsisten dan terukur.

Penggunaan Asbuton B 5/20 sebagai substitusi parsial agregat halus pada KAO 5,8% memberikan pengaruh signifikan terhadap seluruh parameter Marshall. VIM menurun seiring bertambahnya persentase Asbuton karena aspal alami dan filler halus pada material ini mengisi rongga udara di dalam campuran, meningkatkan kerapatan, dan mengurangi penyerapan air. VMA juga mengalami penurunan akibat semakin padatnya susunan agregat, sementara VFA meningkat karena volume rongga yang ada diisi lebih banyak oleh aspal. Nilai stabilitas naik hingga titik optimum 6% substitusi Asbuton, lalu menurun jika penambahan melebihi batas tersebut akibat campuran menjadi terlalu plastis dan kehilangan interlock agregat.

Flow meningkat jika persentase substitusi terlalu besar, yang dapat menyebabkan risiko deformasi, sedangkan pada titik optimum nilai flow masih berada dalam batas ideal. MQ meningkat hingga substitusi 6%, mencerminkan campuran yang lebih kaku dan kuat, tetapi akan menurun jika campuran menjadi terlalu kaku dan rentan retak. Densitas meningkat karena partikel halus Asbuton berbutir mengisi celah antar agregat dan memperbaiki distribusi aspal di seluruh campuran. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan Asbuton

B 5/20 hingga 6% dari total agregat halus mampu memberikan keseimbangan optimal antara kekuatan, kekakuan, dan kelenturan campuran AC-BC.

Pengujian pada campuran dengan substitusi Asbuton B 5/20 sebesar 6% menunjukkan bahwa suhu pemadatan mempengaruhi hampir semua parameter Marshall. Stabilitas meningkat seiring kenaikan suhu dari 110°C hingga mencapai puncak pada 140°C karena viskositas aspal berada pada tingkat ideal untuk melapisi agregat secara merata dan membentuk interlock yang kuat. Namun, pada suhu 150°C stabilitas menurun akibat aspal terlalu encer, sehingga menurunkan kohesi antar agregat. Flow menurun pada rentang 110–140°C yang menandakan campuran semakin kaku, namun meningkat kembali pada 150°C akibat berkurangnya kekakuan. VIM terus menurun dengan kenaikan suhu, tetapi pada 150°C mendekati batas bawah yang dapat menimbulkan risiko bleeding.

VMA juga menurun pada suhu tinggi karena susunan agregat semakin rapat dan aspal lebih mudah mengisi rongga, namun nilai yang terlalu rendah di 150°C dapat mengurangi ruang efektif untuk aspal. VFA meningkat seiring kenaikan suhu, mencapai kisaran ideal pada 140°C sebelum melebihi batas aman pada 150°C. Densitas meningkat linier hingga 150°C, namun peningkatan ini tidak selalu diikuti oleh kinerja struktural yang lebih baik karena stabilitas menurun pada suhu tersebut. Nilai MQ tertinggi diperoleh pada 140°C, yang merupakan suhu pemadatan optimum karena menghasilkan kombinasi stabilitas tinggi dan flow rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi lapangan, suhu 140°C dapat direkomendasikan untuk memperoleh kinerja mekanis terbaik pada campuran AC-BC dengan substitusi Asbuton B 5/20 sebesar 6%.

4. PENUTUP

erdasarkan hasil Marshall Test, dapat disimpulkan bahwa substitusi Asbuton berbutir B 5/20 pada agregat halus campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) mampu meningkatkan kinerja campuran, khususnya pada nilai stabilitas. Persentase substitusi sebesar 6% terbukti memberikan hasil optimal dengan stabilitas tertinggi sebesar 1433,37 kg, karena sifat Asbuton yang berperan sebagai penambah aspal keras mampu mengurangi rongga, meningkatkan kohesi, serta menghasilkan campuran yang padat dan tahan terhadap deformasi. Selain itu, suhu pemadatan juga berpengaruh signifikan terhadap karakteristik campuran, di mana pada kadar Asbuton 6%, suhu 140°C menghasilkan stabilitas maksimum sebesar 1398,70 kg, menunjukkan keseimbangan ideal antara kepadatan, kekuatan, dan kelenturan. Suhu yang lebih rendah mengakibatkan pemadatan kurang optimal, sedangkan suhu yang terlalu tinggi membuat aspal terlalu encer sehingga menurunkan kekuatan campuran.

5. DAFTAR PUSTAKA

Afkar, Said, L. B., & H, St. M. (2021). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Fungsi Transit pada Terminal Metro Makassar Berdasarkan Persepsi Pengguna. Jurnal Flyover, 1(1), 1–11. https://doi.org/10.52103/JFO.V1I1.656

Alifuddin, A. (2020). Beton Aspal Campuran Serat. Makassar: Penerbit Tohar Media.

Alifuddin, A., Alifuddin, A., Kasim, M. R., & Maruddin, M. (2024). PERMODELAN EMPAT TAHAPAN DALAM ANALISIS DAMPAK LALU LINTAS KAMPUS UNIVERSITAS ISLAM MAKASSAR. Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan, 7(1), 1–12. https://doi.org/10.24815/jarsp.v7i1.32267

Alifuddin, A., Kasim, M. R., & Said, L. B. (2024). Perilaku Rutting dan Modulus Kekakuan dengan Penguatan Serat Ijuk pada Campuran Beton Aspal. MEDIA KOMUNIKASI TEKNIK SIPIL, 29(2), 223–232. https://doi.org/10.14710/MKTS.V29I2.53190

Alwi, A., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2022). Analisis Uji Ketahanan Deformasi pada Campuran Aspal Beton dengan Bahan Tambah Anti Stripping Astive-05 terhadap Variasi Temperatur. Jurnal Flyover, 2(2), 111–122. https://doi.org/10.52103/JFO.V2I2.1348

Aminsyah, M. (2024). Studi Penggunaan Aspal Buton Pada Lapisan Permukaan Jalan Raya. Jurnal Bangunan, Konstruksi & Desain, 2(3), 150–158.

Ch Suciawan, R., Ch Palenewen, S. N., & J Lalamentik, L. G. (2024). Studi Kinerja Campuran AC-BC Menggunakan LGA Asbuton Dimodifikasi Dengan Aspal Keras. In Tahun (Vol. 22, Issue 88).
Glorinces, J., Purwanto, H., & David, M. (2024). Pengaruh Jarak Penghamparan Terhadap Perubahan Suhu Pemadatan Campuran AC-WC, (Vol. 1 Issue. 7).
Gombilo, B., (2020). UJI STABILITAS BGA 5/20 DENGAN VARIASI SUHU PEMADATAN.Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknilogi, 7(2), 18-25.
Hamsir, R., Said, L. B., Syarkawi, M. T., & Kasim, M. R. (2024). Kajian Hambatan Samping terhadap Kinerja Ruas pada Kawasan Komersil (Studi Kasus: Jalan Boulevard Kota Makassar). Jurnal Teknik Industri Terintegrasi (JUTIN), 7(4), 2252–2261. https://doi.org/10.31004/JUTIN.V7I4.34336
Handayasari, I., & Sepriyanna, I. (2022). PENGARUH SERBUK BAN BEKAS SEBAGAI BAHAN TAMBAH PADA CPHMA DENGAN VARIASI SUHU PEMADATAN TERHADAP KARATERISTIK MARSHALL. In Construction and Material Journal. http://jurnal.pnj.ac.id/index.php/cmj
Haslindah, Basri Said, L., & Syafei, I. (2021). Prioritas Penanganan Ruas Jalan Nasional di Pulau Sumba dengan Metode Analytical Hierarchy Proses (AHP). Jurnal Flyover, 1(2), 17–27. https://doi.org/10.52103/JFO.V1I2.747
Huat, S. R., & Wedyantadji, B. (2020). PENGGUNAAN ASPAL BUTON PADA CAMPURAN HRS-WC (HOT ROLLED SHEET-WEARING COURSE) (Vol. 2, Issue 2).
Ihza, Z., Bramantio, Y., & Hartatik, N. (2023). PERBEDAAN KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-BC BERGRADAASI HALUS DENGAN CAMPURAN AC-BC BERGRADASI KASAR. Jurnal Taguchi, 561-581.
Iqbal, M., & Batubara, Z. (2021). Study Of The Effect Of Addition Of Butone Granular Asphalt 5/20 On Marshall Characteristics Of Hot Mix Asphalt AC-WC. In Jurnal Mekintek (Vol. 12, Issue 1).
Jihad, A., Kasim, M. R., B, B., & Mahendra, M. I. (2023). ANALISIS TINGKAT KERUSAKAN FLEXIBLE PAVEMENT DENGAN MENGGUNAKAN METODE SURFACE DISTRESS INDEX (SDI) DALAM PENENTUAN PENANGANAN JALAN. Jurnal Cahaya Mandalika ISSN 2721-4796 (Online), 3(2), 1825–1831. https://ojs.cahayamandalika.com/index.php/jcm/article/view/2417
Kafabihi, A., & Wedyantadji, B. (2020). Program Studi Teknik Sipil S1. In ITN MALANG (Vol. 2, Issue 2).
Kasim, M. R. (2015). Pengaruh Tingkat Keterpaduan Moda Transportasi Darat Terhadap Preferensi Masyarakat Dalam Memilih Moda Di Kota Makassar. Universitas Brwaijaya.
Kasim, M. R., & Gunawan, A. B. (2022). Evaluasi Skala Pelayanan dan Rencana Penambahan Halte untuk Pengembangan Transportasi Multimoda di Kota Makassar. Jurnal Teknik Sipil, 29(1), 99–106. https://doi.org/10.5614/JTS.2022.29.1.10
Kasim, M. R., Alifuddin, A., Maruddin, M., & Burhanuddin, M. S. (2023). PENGARUH PARKIR ON STREET TERHADAP DERAJAT KEJENUHAN JALAN KH RAMLI KOTA MAKASSAR. Menara: Jurnal Teknik Sipil, 18(2), 87–95. https://doi.org/10.21009/JMENARA.V18I2.35495
Kasim, M. R., Anies, M. K., & Springfield, D. (2021). Parking and Queue Analysis (Case study : New Sport Center in Kepanjen, Malang Regency). International Journal of Innovative Science and Research Technology , 6(7).
Kasim, M. R., Wicaksono, A. D., & Kurniawan, E. B. (2017). The integration level of public transportation in Makassar City. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 70(1), 012021. https://doi.org/10.1088/1755-1315/70/1/012021
Lagaligo, D., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2022.). Pengaruh Temperatur Pemadatan pada Campuran Beton Aspal (AC-WC) dengan Bahan Tambah Karet Alam terhadap Ketahanan Deformasi dan Kuat Tarik Tidak Langsung.
Lakawa, I., & Ayu Wulandari, D. (2022). Characteristics of AC-BC Asphalt Concrete Mix Using Oil Asphalt and LGA Asbuton as Binders. In International Journal of Management and Education in Human Development (Vol. 02).
Lapian, F. E., & Holong Sitorus, P. (2023.). TR-2 STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-BC MENGGUNAKAN ASBUTON MODIFIKASI TIPE RETONA BLEND 55 SEBAGAI BAHAN PENGIKAT.
Mabui, D., Tumpu, M., Widodo, S., Rusmin, M., Rangan, P. R., & Mansyur. (2024a). OPTIMIZATION OF ASPHALT CONTENT THROUGH MARSHALL CHARACTERISTICS USING MODIFIED ASBUTON. International Journal of GEOMATE, 26(117), 116–123.
Mahmudi, F. (2020.). SUBSTITUSI ASPAL BUTON PEN. 5/20 SEBAGAI BAHAN TAMBAH STABILITAS AC-BC DENGAN PENGUJIAN MARSHALL.
Marzuki, M. (2023). Analisis Kinerja pada Ruas Jalan Samratulangi dan Jalan M. Supratman Kota Kendari Sulawesi Tenggara. Jurnal Flyover, 3(2), 96–108. https://doi.org/10.52103/JFO.V3I2.1635
Misdawati, Said, L. B., & H, S. M. (2021). Analisis Penurunan Umur Rencana Jalan Akibat Volume Kendaraan dan Kelebihan Muatan Pada Ruas Jalan Jend. Ahmad Yani Kota Parepare. Jurnal Flyover, 1(2), 38–47. https://doi.org/10.52103/JFO.V1I2.749
Mulyo, S. A., Said, L. B., & H, S. M. (2023). Analisis Pemeliharaan Jalan Nasional dengan Metode Bina Marga dan PCI Pada Ruas Jalan Slamet Riyadi Kota Samarinda. Jurnal Flyover, 3(1), 51–59. https://doi.org/10.52103/JFO.V3I1.1508

Permana Putra, M., & Widarto, H. (2023). ANALISIS PEMANFAATAN PLASTIK POLYSTYRENE (PS) SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN ASPAL AC-WC DAN AC-BC DENGAN METODE MARSHALL. In JURNAL KARAJATA ENGINEERING (Vol. 3, Issue 2).

Rachman, R. (2023). Kajian Pengaruh Bukaan Median U-Turn Terhadap Kemacetan pada Ruas Jalan Botoambari Kota Baubau Provinsi Sulawesi Tenggara. Jurnal Flyover, 3(2), 85–95. https://doi.org/10.52103/JFO.V3I2.1634

Ramadhan, D. M., Indriani, M. A., & Utomo, G., (2023). ANALISIS KARAKTERISTIK PENGGUNAAN ASPAL POLIMER PG 76 TERHADAP NILAI MARSHAL DAN SUHU PEMADATAN LAPISAN (AC-WC). In Jurnal KoNTekS, 377.

Ramdhani, F., Shanggi., Hamdi, B. (2019). KADAR OPTIMUM FILLER ASBUTON BUTIR T.5/20 DALAM CAMPURAN PERKERASAN ASPHALT CONCRETE – WEARING COURSE, (Vol. 3 Issue 1).

Riwibowo, N., Sentauri Cahyaningrum, F., Tama, T. F., & Amelia, F. (2023). Pengaruh Suhu Perkerasan Terhadap Umur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Analitis. Rekayasa, 16(2), 204–211.

Rohma, I. W., Supriyanto, B., & Rahardjo, B. (2023). Analisis Kinerja Campuran Perkerasan Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Menggunakan Bahan Tambah Asbuton B 50/30 Terhadap Parameter Marshall. Jurnal Media Teknik Sipil, 21(1), 32–38.

Said, L. B., Syarkawi, M. T., & Satriawan, K. (2023). Analisis Tingkat Pelayanan Ruas Jalan Lempake – Sambera Akibat Dampak Pembangunan Bandara Sei Siring Kota Samarinda. Jurnal Flyover, 3(1), 45–50. https://doi.org/10.52103/JFO.V3I1.1507

Saleh, A. (2023). Analisis Variasi Suhu Pemadatan Cold Paving Hot Mix Asbuton Pada Nilai Indirect Tensile Strenght Analysis of Cold Paving Hot Mix Asbuton Compaction Temperature Variations on Indirect Tensile Strength Value. Jurnal Forum Teknik Sipil, 3(1).

SNI (6749:2008). Aspal Buton Berbutir

Sulistiyaningsih, A., Ainun, A., Kustrini, A., & Purnijanto, B. (2022). Karakteristik Marshall Terhadap Penggunaan Asbuton Butir B 5/20 dengan Subtitusi Aspal dan Penetrasi 60/70. Bangun Rekaprima, 20(10), Vol. 8.

Suminar, L., Kasim, M. R., & Tasywiq, A. M. M. (2024). Measuring urban walkability index in Surakarta historic district to promote sustainable mobility. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1394(1), 012034. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1394/1/012034

Sutanto, E., H, S. M., & Massara, A. (2023). Analisis Kinerja Angkutan Antar Kota Dalam Provinsi (AKDP) Samarinda-Balikpapan pada Masa Pandemi Covid-19 Berdasarkan Persepsi Penumpang. Jurnal Flyover, 3(1), 29–35. https://doi.org/10.52103/JFO.V3I1.1505

Syafei, I., Said, L. B., & Adri. (2022). Analisis Persepsi Kepuasan Pengguna Transportasi Udara pada Bandar Udara Sultan Hasanuddin Kota Makassar. Jurnal Flyover, 2(1), 21–28. https://doi.org/10.52103/JFO.V2I1.868

Syavira Aurannisa PutriA, R., Massara, A., Tahir Syarkawi, M., & Alifuddin, A. (2022.). Pengaruh Temperatur Pemadatan terhadap Parameter Marshall Test dan Tegangan Tarik pada Campuran Split Mastic Asphalt (Vol. 4).

Tajuddin, I., Basri Said, L., Alifuddin, A., Aspal, B., & Marshall, K. (2023). Jurnal Teslink : Teknik Sipil dan Lingkungan Kajian Pengaruh Gradasi LGA 50/30 dan LGA 5/20 Pada Campuran Laston AC-WC Terhadap Deformasi Permanen KATA KUNCI. 6(1), 23–30.

Wan Muhammad Iqbal, Winayati, & Alfian Saleh. (2023). PEMANFAATAN BUTON GRANULAR ASPHALT TIPE B 5/20 PADA CAMPURAN ASPAL BETON TERHADAP NILAI KEAUSAN (CANTABRO TEST). PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa, 12(1), 14–20.

Wega Trisunaryanti. (2019). Konversi Fraksi Aspal Buton Menjadi Fraksi Bahan Bakar. Gadjah Mada University Press.

Yani, L., Rahmaniah, R., & Asriani, A. (2023). Analisis variasi suhu 150°C, 160°C, 170°C dalam variasi jumlah tumbukan terhadap spesifikasi Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC). Teknosains: Media Informasi Sains Dan Teknologi, 17(2), 220–225

Yasir, M., Lubis, F., & Apriani, W. (2023). Kajian Nilai Keawetan Reclaimed Asphalt Pavement Dengan Pemanfaatan Buton Granular Asphalt Pada Lapis Perkerasan Ac-Wc. Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin (JURKIM), 3(Mei), 115–124.

Yunus, I., Annisa, H. (2023). Analisis Penggunaan Asbuton Butir B 50/30 Terhadap Kinerja Campuran Ac-Wc- Dengan Variasi Temperature Pemadatan: Jurnal Teknik Sipil Universitas Lamappapoleonro (JTEKSIL), (Vol.2 No.1).

Zai, I., Soehardi, F., & Dwi, L. (2025). Studi Eksperimental Nilai Marshall pada Campuran AC-WC Menggunakan Aspal Modifikasi Karet Alam terhadap Variasi Suhu Pemadatan. Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin (JURKIM), (Vol. 5 Issue 1), 10-16.