JOURNAL FLYOVER (JFO)
Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana UMI

Vol. 05, No. 02 Tahun 2025
E-ISSN: 2829-5684

Kajian Penggunaan Anti Stripping Wetbond-Sp dan Wetfix-Be Pada Campuran AC-WC Terhadap Durabilitas

Muhammad Rifky Setiawan Sukran [1*], Lambang Basri Said [2], Andi Alifuddin [3]

1*) Magister Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar,
rifkymuh234@gmail.com
2) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar
3) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

Abstract

Asphalt, as one of the bituminous materials or binders commonly used in road construction, has long been utilized as a primary component in highway pavement. One widely applied type of hot mix asphalt is Laston (Asphalt Concrete, AC), which is recognized for its high strength and durability. Despite these advantages, Asphalt Concrete still requires proper maintenance to prevent progressive damage that may reduce pavement service life. One factor that significantly influences pavement durability is water infiltration into the mixture. To address this issue, Asphalt Concrete mixtures often require anti-stripping agents such as Wetbond-SP and Wetfix-BE, which function as multipurpose adhesives and hardeners. This study aims to evaluate the effect of Wetbond-SP and Wetfix-BE additives in AC-WC mixtures. Additive contents of 0%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, and 0.5% by total asphalt weight were examined. Marshall tests were conducted to assess Stability, Flow, VIM (Voids in Mix), VMA (Voids in Mineral Aggregate), VFA (Voids Filled with Asphalt), Density, and Marshall Quotient (MQ). Data were analyzed using regression and correlation methods to develop equations that represent the behavior of the test parameters. The results indicate that the use of Wetbond-SP and Wetfix-BE can improve the performance of AC-WC mixtures. Durability tests were also performed to determine IKS (Immersion Index of Stability), IDP (Durability Index under Pore Pressure), and IDK (Durability Index under Immersion), with immersion durations of 2, 3, 4, and 5 days. The optimum content of Wetbond-SP was found to be 0.4%, producing a stability value of 1016.09 kg, while the optimum content of Wetfix-BE was 0.3%, producing a stability value of 1027.88 kg. In terms of durability, both Wetbond-SP (0.4%) and Wetfix-BE (0.3%) met the standard requirements (≥ 75%) for all immersion durations.

Keywords: AC-WC, Asphalt, Durability, Wetbond-SP, Wetfix-BE

Abstrak

Aspal sebagai salah satu bahan bitumen atau perekat untuk konstruksi jalan sudah lama digunakan secara luas dalam kontrusksi jalan raya. Adapun jenis campuran beraspal panas salah satunya ialah Laston (Asphalt Concrete, AC). Campuran ini memiliki keunggulan yaitu kekuatan dan keawetan yang tinggi. Meskipun keawetannya yang tinggi, Laston tetap memerlukan pemeliharaan untuk mencegah kerusakan lebih lanjut yang mempengaruhi umur perkerasan. Faktor yang mempengaruhi umur perkerasan salah satunya adalah paparan air pada campuran. Oleh karena itu, campuran Laston membutuhkan bahan modifikasi anti stripping, contohnya yaitu Wetbond-Sp dan Wetfix-Be yang berfungsi sebagai perekat dan pengeras serba guna. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penggunaan bahan tambah Wetbond-Sp dan Wetfix-Be pada campuran AC-WC. Variasi penambahan Wetbond-Sp dan Wetfix-Be yang digunakan adalah 0%, 0,2%, 0,3%, 0,4% dan 0,5% terhadap berat total aspal. Pengujian Marshall dilakukan untuk mengukur stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, Density, dan MQ. Analisis data dilakukan menggunakan regresi dan korelasi untuk mendapatkan persamaan yang menggambarkan perilaku hasil pengujian Penggunaan bahan tambah Wetbond-Sp dan Wetfix-Be pada campuran AC-WC dapat meningkatkan kualitas campuran. Untuk pengujian Durabilitas dilakukan untuk mendapatkan nilai IKS, IDP dan IDK dengan variasi perendaman 2,3,4 dan 5 hari. Variasi optimum penggunaan Wetbond-Sp adalah 0,4% dengan nilai

stabilitas 1016,09 Kg, sedangkan untuk Wetfix-Be adalah 0,3% dengan nilai stabilitas 1027,88 Kg. Untuk hasil durailitas menggunakan Wetbond-Sp 0,4% dan Wetfix-Be 0,3% di semua variasi perendaman telah memenuhi standar yaitu ≥ 75%.

Kata Kunci: AC-WC, Aspal, Wetbond-Sp, Wetifx-Be, Durabilitas.

1. PENDAHULUAN

Aspal sebagai salah satu bahan bitumen atau perekat untuk konstruksi jalan sudah lama digunakan secara luas dalam kontrusksi jalan raya. Hal ini disebabkan aspal memiliki beberapa kelebihan dibanding dengan bahan-bahan lain, diantaranya harga relative murah daripada beton, kemampuannya dalam mendukung beban berat kendaraan yang tinggi, sifat lenturnya mendukung kenyamanan pengendara dan dapat dibuat dari bahan-bahan dalam negeri yang tersedia.

Adapun jenis campuran beraspal panas salah satunya ialah Laston (Asphalt Concrete, AC). Spesifikasi campuran beraspal panas bergradasi menerus atau dikenal dengan istilah Laston (Asphalt Concrete, AC) dimaksudkan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan sebagai lapis aus, dan lapis antara serta lapis fondasi pada pekerjaan jalan yang berfungsi sebagai lapisan struktural sekaligus dapat melindungi lapisan konstruksi perkerasan di bawahnya (SNI 8198:2015).

Campuran Laston atau Lapis Aspal Beton (Asphalt Concrete, AC), memiliki beberapa keunggulan utama yang menjadikannya pilihan populer untuk konstruksi jalan. Keunggulan ini meliputi kekuatan dan keawetan yang tinggi, serta permukaan yang halus dan rata yang meningkatkan kenyamanan berkendara. Meskipun keawetannya yang tinggi, Laston tetap memerlukan pemeliharaan seperti perbaikan retakan dan pengisian aspal untuk mencegah kerusakan lebih lanjut yang mempengaruhi umur perkerasan.

Faktor yang mempengaruhi umur perkerasan salah satunya adalah paparan air pada campuran. Paparan air mengakibatkan pemisahan antara agregat dan aspal yang membuat campuran menjadi getas. Sehingga campuran yang getas dapat membuat lapisan perkerasan mengalami keretakan dini. Oleh karena itu, campuran Laston membutuhkan bahan modifikasi zat aditif atau bahan tambah anti stripping, contohnya yaitu Wetbond-Sp dan Wetfix-Be yang berfungsi sebagai perekat dan pengeras serba guna, serta diharapkan mampu menambah daya lekat sehingga dapat meningkatkan keawetan pada campuran.

Wetbond-Sp adalah sebuah Anti Stripping Agent (ASA) yang digunakan untuk meningkatkan ketahanan campuran aspal terhadap air. ASA ini membantu mencegah terjadinya stripping atau pemisahan antara aspal dan agregat dalam campuran aspal akibat paparan air, sehingga perkerasan jalan lebih tahan lama. Wetbond-SP memiliki sifat kesensitifan yang cukup tinggi, artinya ia bereaksi dengan baik dengan aspal dan agregat. Penggunaan Wetbond-SP pada perkerasan jalan dapat meningkatkan kualitas dan umur pakai jalan, terutama pada daerah yang sering terkena hujan atau banjir.

Wetfix-Be merupakan salah satu dari jenis anti stripping yang memiliki kesensitifitas yang cukup tinggi . Bahan ini membantu mencegah terjadinya striping, yaitu terlepasnya aspal dari agregat akibat air. Wetfix-Be biasanya mengandung amina, yang dapat meningkatkan kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga berfungsi untuk meningkatkan daya lekat antara aspal dan agregat, mengurangi efek negatif air dan kelembaban, serta mencegah striping.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) yang menggunakan bahan tambah Wetbond-SP dan Wetfix-BE, serta untuk memahami pengaruh bahan tambah tersebut terhadap sifat fisik dan mekanik campuran. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi dampak penggunaan Wetbond-SP dan Wetfix-BE terhadap durabilitas campuran Asphalt Concrete

Wearing Course (AC-WC), dengan fokus pada perubahan kinerja campuran pada berbagai durasi perendaman.

2. METODE

A. Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, Jl. Urip Sumoharjo KM 5,Kampus 2 Universitas Muslim Indonesia, Makassar (Sulawesi Selatan).

B. Alat dan Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi aspal jenis Aspal Minyak penetrasi 60/70 (AC 60/70) produksi Pertamina, agregat kasar dan abu batu yang diperoleh dari proses pemecahan batu alam di daerah Bili-Bili, Kabupaten Gowa, yang selanjutnya dilakukan pengujian sampel. Selain itu, bahan tambah yang digunakan adalah Wetbond-SP dan Wetfix-BE. Untuk melakukan pengujian, penelitian ini menggunakan alat Marshall Test yang tersedia di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia.

C. Tahapan Penelitian

Beberapa tahapan dalam penelitian ini adalah:

1. Persiapan Bahan; Bahan-bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini dikumpulkan untuk dilakukan pemeriksaan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia. Proses ini mencakup pengumpulan aspal, agregat, dan bahan tambah yang akan digunakan dalam pembuatan campuran beton aspal.
2. Pemeriksaan Bahan; Sebelum digunakan, bahan yang digunakan dalam penelitian ini diuji di laboratorium untuk memastikan bahwa mereka memenuhi syarat-syarat bahan perkerasan jalan. Pemeriksaan aspal meliputi beberapa uji, yaitu Penetrasi Aspal untuk menentukan kelembekannya (SNI 2456:2011), Titik Lembek untuk mengetahui suhu aspal mulai lembek (SNI 2434:2011), Viskositas untuk mengukur kekentalan aspal (SNI 6721:2012), Daktilitas untuk menentukan keplastisitas aspal (SNI 2432:2011), serta Berat Jenis untuk mengetahui perbandingan berat aspal terhadap air suling pada suhu tertentu (SNI 2441:2011). Sementara itu, pemeriksaan agregat mencakup Analisis Saringan untuk menentukan gradasi agregat (SNI ASTM C117-2004), uji Berat Jenis Isi untuk mengetahui rasio berat agregat dengan volume (AASHTO T-19-71 dan ASTM C-27-71), serta uji Soundness untuk mengukur ketahanan agregat terhadap pelapukan akibat pengaruh cuaca (SNI 3407:2008). Selain itu, dilakukan pula pemeriksaan Kelekatan Agregat terhadap Aspal (SNI 2439:2011).
3. Perencanaan Campuran; Penentuan komposisi campuran dilakukan dengan menggunakan Metode Trial and Error untuk mendapatkan gradasi agregat yang memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Dalam metode ini, setiap fraksi agregat digabungkan berdasarkan persentase berat lolos saringan, dan proporsi setiap fraksi dihitung untuk mendapatkan gradasi gabungan pada setiap nomor saringan. Setelah memperoleh gradasi gabungan, dilakukan penggabungan agregat dengan perbandingan yang memenuhi spesifikasi ideal. Penentuan kadar aspal optimum dilakukan dengan pendekatan empiris berdasarkan rumus yang melibatkan persentase agregat tertahan di saringan dan persentase agregat lolos pada saringan tertentu.

4. Pembuatan Benda Uji; Setelah komposisi campuran dan kadar aspal optimum ditentukan, pembuatan benda uji dilakukan dengan mencampurkan agregat dan aspal pada temperatur yang telah disesuaikan. Agregat yang telah dipanaskan dicampurkan dengan aspal hingga merata, lalu dimasukkan ke dalam cetakan (mold) dan dipadatkan menggunakan mesin pemadat Marshall. Sampel yang telah dipadatkan kemudian dikeluarkan dari cetakan dan dibiarkan selama 24 jam untuk mencapai suhu ruang. Selanjutnya, benda uji ditimbang dalam kondisi kering, pada kondisi SSD (Saturated Surface Dry), dan setelah direndam dalam air untuk memperoleh berat dalam air. Sampel kemudian diuji dengan menggunakan Marshall Test untuk mendapatkan nilai stabilitas, flow, dan Marshall Quotient (MQ).
5. Pengujian Marshall Test untuk Penentuan KAO; Pengujian Marshall Test dilakukan untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) dengan melakukan variasi kadar aspal pada campuran dengan agregat yang tetap. Beberapa parameter yang diuji meliputi stabilitas, flow, VIM (Rongga Udara dalam Campuran), VFB (Rongga Terisi Aspal), dan Marshall Quotient (MQ). Berdasarkan hasil pengujian Marshall, grafik hubungan antara kadar aspal dan stabilitas diperoleh untuk menentukan kadar aspal optimum yang memberikan stabilitas maksimal.
6. Pembuatan Benda Uji Berdasarkan Variasi Wetbond-SP dan Wetfix-BE; Setelah memperoleh kadar aspal optimum, variasi bahan tambah Wetbond-SP dan Wetfix-BE ditentukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja campuran. Setiap variasi Wetbond-SP dan Wetfix-BE diuji dengan menggunakan 5 variasi untuk masing-masing bahan tambah, dengan 6 sampel untuk setiap variasi. Total sampel yang digunakan untuk pengujian ini berjumlah 30 sampel. Selanjutnya, variasi perendaman bahan tambah Wetbond-SP dan Wetfix-BE diuji untuk melihat pengaruhnya terhadap durabilitas campuran.
7. Pengujian Durabilitas; Durabilitas campuran diuji dengan cara merendam benda uji dalam air pada suhu 60°C dengan variasi waktu perendaman selama 2, 3, 4, dan 5 hari. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap pengaruh air dan temperatur. Nilai stabilitas dari benda uji setelah perendaman digunakan untuk menghitung Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas Pertama (IDP), dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK). Hasil dari pengujian durabilitas ini menunjukkan sejauh mana campuran beton aspal dapat bertahan terhadap pengaruh lingkungan.

D. Metode Analisis Data

Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengelola data adalah analisis regresi dan deskriptif. Langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung nilai-nilai parameter Marshall seperti VIM, VMA, VFA, Density, MQ, Stabilitas, dan Flow melalui perhitungan masing-masing parameter. Stabilitas diukur menggunakan jarum dial pada alat uji Marshall, yang menunjukkan batas maksimum beban yang dapat diterima oleh campuran beraspal saat terjadi keruntuhan. Flow, yang diukur dalam satuan millimeter (mm), mengukur deformasi total pada sampel padat campuran perkerasan selama pengujian stabilitas Marshall. Nilai Marshall Quotient (MQ) diperoleh dengan membagi nilai stabilitas dengan nilai flow, yang menunjukkan kekakuan campuran.

Selanjutnya, parameter lain seperti VFA (Rongga Terisi Aspal) dan VMA (Rongga Antar Agregat) dihitung untuk mengetahui persentase rongga dalam campuran yang terisi oleh aspal dan volume rongga antar partikel agregat. VIM (Rongga dalam Campuran) digunakan untuk mengukur rongga udara dalam campuran. Kepadatan (Density) campuran beraspal dihitung sebagai berat per satuan volume, yang merupakan indikator kualitas perkerasan jalan. Setelah menghitung parameter-parameter ini, analisis regresi digunakan

untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO), menggunakan persamaan turunan polinomial tingkat dua.

Setelah memperoleh KAO, uji Marshall dilanjutkan untuk campuran yang menggunakan bahan tambah Wetbond-SP dan Wetfix-BE untuk mencari nilai Presentase Bahan Tambah Optimum (PBTO). Data pengujian durabilitas juga diperoleh dengan membandingkan penurunan persentase stabilitas selama perendaman dengan bahan tambah tersebut. Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas Pertama (IDP), dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK) dihitung untuk mengukur ketahanan campuran terhadap pengaruh air dan temperatur. Semua hasil pengujian kemudian dianalisis menggunakan metode deskriptif untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas tentang pengaruh bahan tambah terhadap kinerja dan durabilitas campuran Asphalt Concrete.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemeriksaan Karakteristik Agregat

a) Pemeriksaan karakteristik agregat

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah split ukuran 1-2 cm dan 0,5-1 cm, yang telah melalui pengujian di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia. Agregat ini diperoleh dari daerah Bili-Bili, Kabupaten Gowa, dan digunakan dalam campuran aspal. Sifat agregat memainkan peran penting dalam menentukan kemampuan perkerasan jalan untuk memikul beban lalu lintas dan ketahanan terhadap cuaca. Untuk itu, pemeriksaan gradasi agregat kasar dilakukan dengan menggunakan saringan sesuai dengan standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan prosedur pengujian (AASTHO T-27-24 dan ASTM C 136-46). Hasil pemeriksaan gradasi agregat kasar pada dua ukuran, yaitu 1-2 cm dan 0,5-1 cm, menunjukkan bahwa sebagian besar agregat lolos di saringan besar (19,1 mm) dengan persentase tertinggi di 100%, sementara persentase yang lolos pada saringan No. 200 adalah 0%, menandakan bahwa agregat kasar tersebut memiliki gradasi yang sesuai dengan standar yang diinginkan.

b) Pemeriksaan agregat halus (abu batu)

Pemeriksaan gradasi agregat halus, yaitu abu batu, dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran butir dengan menggunakan saringan sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Prosedur yang digunakan adalah sesuai dengan (AASTHO T-27-4) dan (ASTM C 136-46). Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa abu batu memiliki komposisi gradasi yang cukup baik, dengan persentase terbesar pada saringan No. 4 (84,24%), diikuti oleh penurunan yang signifikan pada saringan yang lebih kecil. Karakteristik agregat halus juga diuji berdasarkan berbagai parameter seperti berat jenis (bulk), penyerapan air, dan sand equivalent. Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat jenis abu batu memenuhi standar yang ditetapkan, dengan nilai yang berada di antara 2,46 hingga 2,68, dan tingkat penyerapan air yang cukup rendah, yakni 2,40%.

c) Penggabungan gradasi campuran untuk Kadar Aspal Optimum (KAO)

Untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO), dilakukan penggabungan gradasi agregat dengan menggunakan metode Trial and Error. Campuran agregat yang digunakan terdiri dari 52% abu batu, 17% agregat kasar 1-2 cm, dan 31% agregat kasar 0,5-1 cm. Hasil penggabungan agregat ini dilakukan dengan mengalikan persentase lolos agregat dari pengujian analisa saringan untuk mendapatkan komposisi campuran yang sesuai. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa penggabungan agregat menghasilkan gradasi campuran yang memenuhi spesifikasi ideal dan dapat digunakan untuk perencanaan

campuran aspal yang optimal. Gradasi campuran yang diperoleh melalui metode ini kemudian dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan kadar aspal optimum yang akan digunakan dalam penelitian. Grafik yang menunjukkan hasil analisis gradasi campuran dapat dilihat pada grafik 4.1, yang menunjukkan distribusi ukuran butir agregat dalam campuran.

d) Penentuan kebutuhan kadar aspal rencana

Penentuan kebutuhan kadar aspal rencana dilakukan dengan menghitung persentase kadar aspal yang tepat untuk campuran. Rumus yang digunakan untuk menghitung kadar aspal rencana adalah:

$Pb = 0{,}035a + 0{,}045b + Kc + F$

Di mana nilai a, b, dan c diperoleh dari hasil analisis saringan agregat, dengan masing-masing menunjukkan persentase agregat yang tertahan di saringan No. 8, lolos saringan No. 8 namun tertahan di saringan No. 200, dan lolos saringan No. 200. Faktor koreksi K dan nilai tambahan F disesuaikan dengan kondisi penyerapan agregat dan jenis campuran. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kadar aspal rencana adalah 5,7%, yang dibulatkan menjadi 5,5%, dan kadar aspal ini kemudian digunakan untuk perencanaan campuran. Variasi kadar aspal yang akan diuji adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO).

Perhitungan kadar aspal rencana ini sangat penting untuk memastikan campuran memiliki sifat fisik yang sesuai dengan spesifikasi teknis, sehingga dapat menghasilkan kualitas perkerasan yang optimal. Setelah perhitungan kadar aspal rencana, dilakukan pengujian Marshall Test untuk menentukan kadar aspal optimum yang sesuai dengan standar karakteristik campuran, mengingat tidak semua variasi kadar aspal memenuhi spesifikasi yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Pekerjaan Jalan oleh Bina Marga tahun 2018.

e) Analisis dan hasil pengujian marshall test untuk penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Untuk menentukan kadar aspal optimum pada campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC), dilakukan pengujian dengan membuat tiga sampel briket untuk setiap variasi kadar aspal yang telah direncanakan, yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Setiap sampel dipadatkan menggunakan alat pemadatan (compactor) dengan jumlah tumbukan sebanyak 2 x 75. Hasil pengujian Marshall menunjukkan bahwa tidak semua hasil pengujian dari variasi kadar aspal tersebut memenuhi spesifikasi karakteristik campuran AC-WC yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Pekerjaan Jalan oleh Bina Marga tahun 2018. Tabel hasil pengujian menunjukkan nilai-nilai dari berbagai sifat campuran, seperti density, VIM, VMA, VFA, stabilitas, flow, dan Marshall Quotient (MQ), yang masing-masing memiliki rentang spesifikasi tertentu.

Stabilitas campuran beton aspal, yang diukur melalui pengujian Marshall, menunjukkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen. Nilai stabilitas yang tinggi menandakan kemampuan campuran untuk menahan beban lalu lintas yang besar. Dari hasil analisis grafik hubungan kadar aspal dengan stabilitas, ditemukan bahwa stabilitas meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal hingga mencapai titik puncak pada kadar aspal 6,0%. Persamaan polinomial yang diperoleh dari grafik tersebut memberikan nilai stabilitas optimal sebesar 942,25 kg pada kadar aspal 6,0%. Namun, setelah kadar aspal melebihi titik optimum, stabilitas mulai menurun karena penambahan aspal yang berlebihan dapat mengurangi kekuatan kunci antara agregat, sehingga dapat menyebabkan permasalahan seperti bleeding dan pengurangan fleksibilitas perkerasan.

Tabel 1 Rekapitulasi pengujian Marshall Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Pen 60-70 untuk Kadar Aspal Optimum (KAO)

Sifat Campuran	Hasil Pengujian					Spesifikasi
Kadar Aspal; %	4,5	5	5,5	6	6,5	
Density	2,251	2,262	2,273	2,269	2,265	≥2.2 kg/mm^3
VIM; %	6,455	5,387	4,276	3,784	3,286	3-5%
VMA; %	15,503	15,567	15.602	16,186	16,762	≥ 15%
VFA; %	58,497	65,457	72,600	76,646	80,399	≥ 65%
Stabilitas; kg	791,65	876,60	926,81	942,25	922,94	800-1800 kg
Flow; mm	3,57	3,20	2,90	2,87	2,90	2-4 mm
MQ; kg/mm	222,16	274,08	320,19	328,80	319,47	Min 250 kg/mm

Flow, yang mengukur kelelehan campuran, menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal dalam campuran, semakin tinggi nilai flow, yang mengindikasikan peningkatan kelenturan campuran. Namun, jika kadar aspal melewati titik optimum, campuran mulai mengalami fenomena bleeding, yang dapat meningkatkan keruntuhan. VIM (Rongga Udara dalam Campuran) dan VMA (Rongga Antar Agregat) berperan dalam menentukan seberapa baik rongga di antara agregat terisi dengan aspal. Semakin tinggi kadar aspal, semakin kecil nilai VIM dan semakin besar nilai VMA, yang menunjukkan peningkatan kepadatan campuran dan pengisian rongga yang lebih baik dengan aspal. VFA (Voids Filled with Asphalt) meningkat seiring penambahan kadar aspal, menunjukkan bahwa lebih banyak rongga antar agregat yang terisi aspal, tetapi jika kadar aspal terlalu tinggi, campuran bisa menjadi terlalu kaku dan rentan terhadap keretakan.

Dari hasil analisis grafik hubungan kadar aspal dengan stabilitas, kadar aspal optimum yang diperoleh adalah 6,0%, yang memberikan nilai stabilitas optimal sebesar 942,25 kg. Kadar aspal ini kemudian digunakan sebagai dasar untuk perencanaan campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). Setelah menentukan kadar aspal optimum, penelitian ini juga melanjutkan dengan pengujian variasi bahan tambah Wetbond-SP dan Wetfix-BE untuk melihat pengaruhnya terhadap kualitas campuran. Variasi kadar aspal optimum ini diharapkan dapat menghasilkan campuran yang memiliki kinerja terbaik dalam hal kekuatan, fleksibilitas, dan ketahanan terhadap deformasi.

B. Analisis dan Hasil Pengujian Marshall Test, menggunakan bahan tambah Wetbond-SP & Wetfix-BE

Setelah melakukan analisis pengujian marshall test untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO), selanjutnya dilakukan pengujian Marshall Test dengan variasi bahan tambah untuk melihat pengaruh penambahan bahan tambah *Anti Stripping Agent* (ASA) Wetfix-Be & *Anti Stripping Agent* (ASA) Wetbond-Sp berdasarkan kadar aspal optimum (KAO) terhadap karakteristik campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC). Variasi bahan tambah *Anti Stripping Agent* (ASA) Wetfix-Be & *Anti Stripping Agent* (ASA) Wetbond-Sp yang akan digunakan yaitu: 0%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5% berdasarkan dari berat total aspal yang digunakan dalam campuran. Hasil rekapitulasi karakteristik marshall dapat dilihat pada Tabel 2 berikut

Tabel 2 Hasil rekapitulasi karakteristik marshall menggunakan bahan tambah Wetbond-SP & Wetfix-BE

Sifat-Sifat Campuran	Hasil Pengujian Wetfix-BE					Spesifikasi
Kadar Aspal %	0	0.2	0.3	0.4	0.5	
Stabilitas ; kg	942,25	1015,62	1027,21	1023,35	1000,18	800 - 1800 kg
Flow ; mm	2,87	2,57	2,43	2,47	2,50	2 – 4 mm
VIM ; %	3,784	3,658	3,423	3,139	2,658	3 - 5 %
VMA ; %	16,186	16,076	15,871	15,624	15,205	≥15%
VFA ; %	76,646	77,249	78,446	79,912	82,557	≥65%
MQ ; kg/mm	328,80	396,32	423,80	415,95	375,77	Min 250 kg/mm
Density	2.269	2.272	2.277	2.284	2.295	≥ 2.2 kg/mm²
Sifat-Sifat Campuran	**Hasil Pengujian Wetbond-SP**					**Spesifikasi**
Kadar Aspal %	0	0.2	0.3	0.4	0.5	
Stabilitas ; kg	942,25	1000,18	1009,83	1015,62	1011,76	800 - 1800 kg
Flow ; mm	2,87	2,67	2,53	2,47	2,40	2 – 4 mm
VIM ; %	3,784	3,549	3,381	3,261	2,952	3 - 5 %
VMA ; %	16,186	15,981	15,834	15,731	15,462	≥15%
VFA ; %	76,646	77,807	78,681	79,355	80,936	≥65%
MQ ; kg/mm	328,80	375,35	399,25	412,44	410,55	Min 250 kg/mm
Density	2.269	2.274	2.278	2.281	2.288	≥ 2.2 kg/mm²

C. Analisis dan Hasil Pengujian Durabilitas

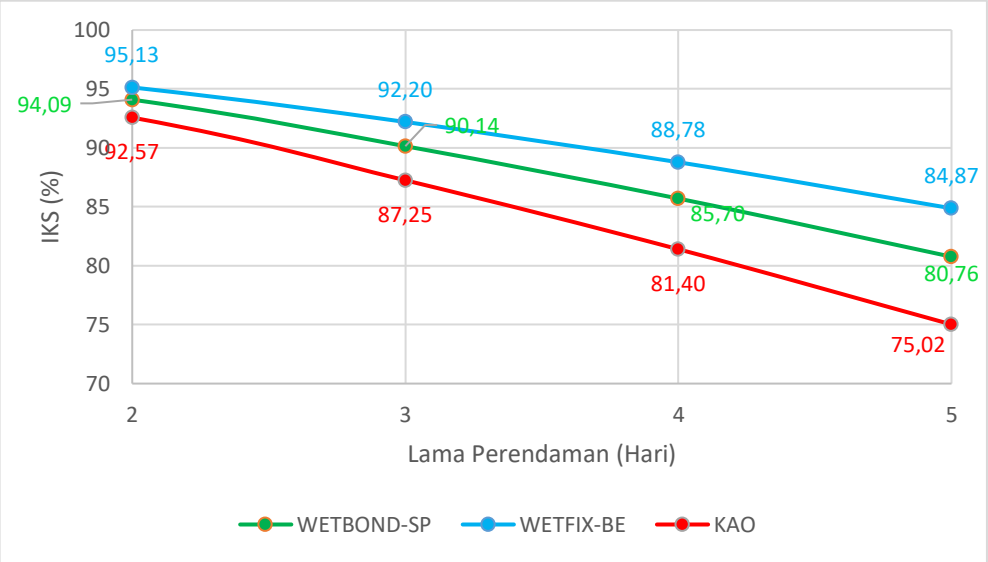
a) Analisis dan Hasil Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dengan metode rendaman

Pengujian Marshall Test tahap kedua pada kondisi KAO (Kadar Aspal Optimum) pada variasi bahan tambah Wetbond-Sp sebesar 0,4% dan untuk Wetfix-Be 0,3% pada kondisi variasi perendaman dengan durasi waktu perendaman yang berbeda ini dilakukan untuk mengetahui durabilitas atau keawetan suatu campuran aspal beton. Untuk melihat tingkat kinerja durabilitas campuran aspal digunakan beberapa indicator yaitu Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas Pertama (IDP), dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK). Perendaman benda uji dilakukan selama 2 hari, 3 hari, 4 hari dan 5 hari pada suhu ruang. Nilai perbandingannya disebut dalam indeks stabilitas sisa atau stabilitas Marshall sisa yang disyaratkan spesifikasi umum Bina Marga 2018 adalah minimum 75%.

Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) diambil dari perbandingan nilai stabilitas campuran pada komposisi perendaman 2 hari, 3 hari, 4 hari dan 5 hari. Penurunan nilai IKS masing-masing campuran dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Berdasarkan **Gambar 1** hubungan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dengan lama perendaman (hari). Bahwa nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dengan variasi bahan tambah Wetbond-Sp, Wetifx-Be dan KAO dengan variasi perendaman 2 hari, 3 hari, 4 hari dan 5 hari menurun seiring dengan meningkatnya durasi (lama) rendaman. Pada perendaman yang menggunakan aspal murni atau KAO 2 - 5 hari telah memenuhi syarat yang telah ditetapkan oleh Bina Marga 2018 yaitu ≥ 75% begitupun dengan yang menggunakan bahan tambah Wetbond-Sp 0,4% dan Wetfix-Be 0,3%. Dari hasil membandingkan antara campuran yang menggunakan Anti Stripping Wetbond-Sp & Wetfix-Be dan tanpa menggunakan Anti Stripping Wetbond-Sp & Wetfix-Be menunjukkan hasil yang lebih baik dari menggunakan Anti Stripping Wetbond-Sp & Wetfix-Be karena mempunyai kandungan amina yang dimana fungsi dari amina ini mampu membantu meningkatkan daya lekat dan ikatan antara aspal dan agregat. Kelebihan dari penambahan anti stripping ini mengurangi efek negatif air dan kelembaban, mencegah aspal terpisah dari agregat sehingga menjaga campuran

tetap utuh dan awet. Untuk perbandingan antara yang menggunakan Wetbond-Sp dan Wetfix-Be menunjukkan nilai yang lebih tinggi dari campuran yang menggunakan Wetfix-Be.

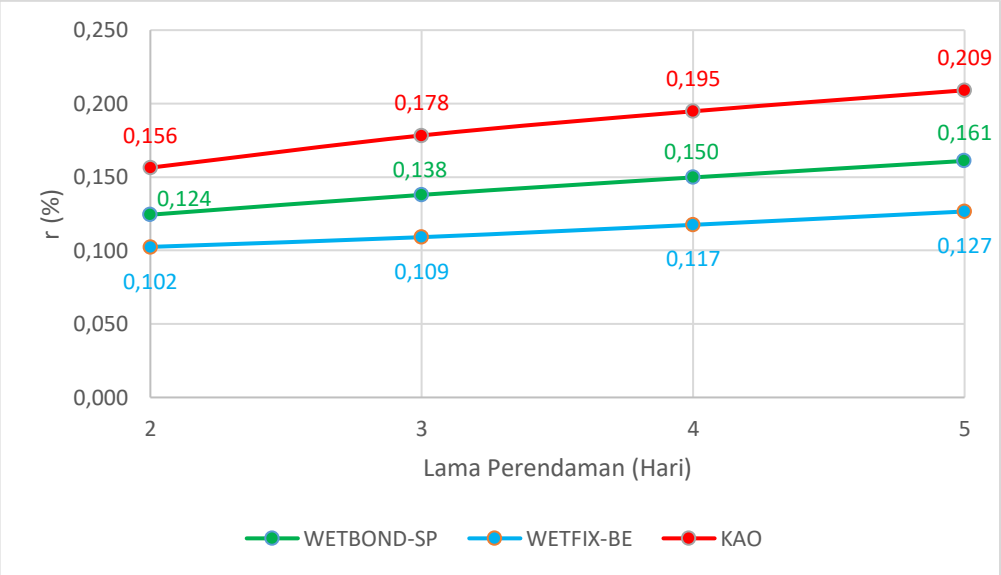


Gambar 1 Indeks Kekuatan Sisa

b) Analisis dan Hasil Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dengan metode rendaman

Indeks Durabilitas Pertama didefinisikan sebagai kelandaian yang berurutan dari kurva keawetan, yang dihitung berdasarkan perbandingan antara perubahan kekuatan pada dua titik yang berurutan pada kurva tersebut. Dalam hal ini, indeks durabilitas pertama dihitung dengan rumus yang menghasilkan nilai r sebesar 0,124%, yang menunjukkan tingkat kelandaian pada kurva keawetan. Selain itu, untuk mengetahui kehilangan kekuatan secara absolut, digunakan rumus Nilai Absolut dari kehilangan kekuatan (R). Pada perhitungan contoh, nilai R dihitung dengan mengurangkan stabilitas pada waktu tertentu (Si+1) dari stabilitas pada awal pengujian (So), kemudian dibagi dengan waktu perendaman (ti). Berdasarkan data yang ada, nilai R yang dihitung adalah 1,271%, yang menunjukkan tingkat kehilangan kekuatan campuran akibat pengaruh perendaman dalam air pada waktu yang ditentukan.

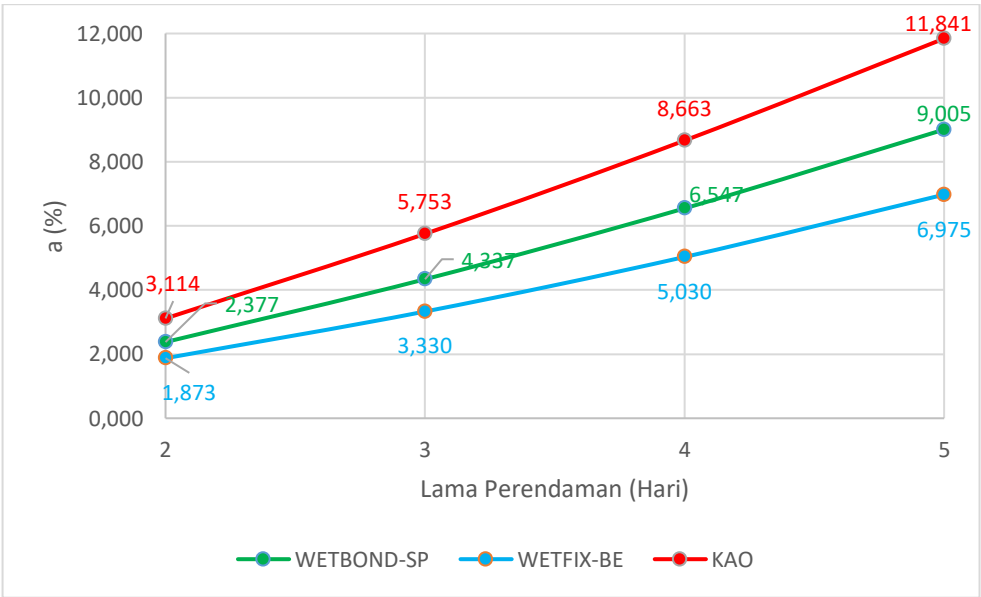
Berdasarkan **Gambar 2**, hubungan Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dengan lama perendaman (hari). Bahwa nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dengan variasi bahan tambah Wetbond-Sp dengan variasi perendaman 2 hari – 5 hari memberikan peningkatan. untuk variasi bahan tambah Wetfix-Be dengan variasi perendaman 2 hari – 5 hari memberikan peningkatan. Sedangkan untuk KAO dengan variasi perendaman 2 hari – 5 hari memberikan peningkatan.



Gambar 2 Indeks Durabilitas Pertama

c) Analisis dan Hasil Indeks Durabilitas Kedua (IDK) dengan metode rendaman

Indeks Durabilitas Kedua (IDK) didefinisikan sebagai rata-rata luasan kehilangan kekuatan yang terbentuk di antara kurva keawetan dan garis stabilitas 100% (So = 100%). IDK dihitung dengan mengukur selisih antara stabilitas pada setiap titik waktu perendaman dan nilai stabilitas awal (So), yang kemudian dihitung dalam bentuk persentase. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai IDK meningkat seiring dengan waktu perendaman, yang mencerminkan tingkat penurunan kekuatan campuran aspal setelah beberapa hari terendam air. Hasil IDK menunjukkan adanya perubahan signifikan pada campuran dengan penambahan Wetbond-SP dan Wetfix-BE, dengan perendaman selama 2 hingga 5 hari. Semakin lama perendaman, semakin tinggi nilai IDK yang menunjukkan penurunan kekuatan campuran aspal akibat pengaruh air.



Gambar 3 Indeks Durabilitas Kedua

Berdasarkan perhitungan IDK, terlihat bahwa campuran dengan Wetbond-SP dan Wetfix-BE menunjukkan nilai IDK yang lebih rendah pada hari pertama dan meningkat secara bertahap seiring dengan lamanya perendaman. Misalnya, pada campuran Wetbond-SP, nilai IDK pada 2 hari perendaman adalah 2,377%, yang meningkat menjadi 9,005% pada hari ke-5. Demikian juga, pada campuran Wetfix-BE, IDK meningkat dari 1,873% pada 2 hari perendaman menjadi 6,975% pada hari ke-5. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa meskipun terjadi penurunan kekuatan, bahan tambah Wetbond-SP dan Wetfix-BE membantu mempertahankan kekuatan campuran dalam waktu yang lebih lama, memberikan indikasi peningkatan ketahanan terhadap kerusakan akibat perendaman air.

D. Pembahasan

a) Hubungan kadar aspal dengan karakteristik campuran aspal

Kadar aspal optimum (KAO) untuk campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) diperoleh melalui analisis grafik stabilitas yang menunjukkan bahwa kadar aspal 6,0% memberikan hasil terbaik. Kadar aspal ini mempengaruhi berbagai karakteristik campuran aspal, seperti density, VIM (Void in Mix), VMA (Void in Mineral Aggregates), VFA (Void Filled Asphalt), stabilitas, flow, dan Marshall Quotient (MQ). Seiring dengan bertambahnya kadar aspal, nilai VIM menurun, menunjukkan bahwa rongga dalam campuran semakin terisi aspal. Sementara itu, VFA meningkat karena lebih banyak rongga yang terisi aspal, meningkatkan daya lekat antara agregat dan aspal. Stabilitas meningkat dengan penambahan kadar aspal hingga 6%, namun menurun pada kadar aspal 6,5% karena penambahan aspal yang berlebihan dapat mengurangi ikatan antara agregat. Flow, yang mengukur deformasi campuran, menurun hingga kadar aspal 6%, tetapi meningkat kembali pada kadar aspal 6,5%, menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih rentan terhadap deformasi pada kadar aspal yang lebih tinggi. Marshall Quotient menunjukkan peningkatan kekakuan campuran, tetapi nilai ini juga menurun pada kadar aspal yang lebih tinggi karena campuran menjadi terlalu kaku dan mudah retak.

b) Pengaruh pengujian marshall Wetbond-SP & Wetfix-BE berdasarkan KAO

Pengujian dengan penambahan bahan anti-stripping Wetbond-SP dan Wetfix-BE menunjukkan bahwa keduanya mempengaruhi karakteristik campuran aspal secara signifikan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan Wetfix-BE sebesar 0,3% dan Wetbond-SP sebesar 0,4% memberikan hasil terbaik dalam meningkatkan stabilitas campuran. Namun, penambahan bahan ini pada tingkat yang lebih tinggi, seperti 0,85% untuk Wetfix-BE dan 1,08% untuk Wetbond-SP, menyebabkan nilai stabilitas melebihi batas spesifikasi minimum (800 kg), sehingga dianggap tidak memenuhi standar. Secara umum, penambahan Wetbond-SP dan Wetfix-BE mengurangi VIM, meningkatkan kepadatan campuran, serta mengurangi rongga udara dalam campuran (VMA). Penambahan bahan ini juga meningkatkan nilai VFA, menunjukkan bahwa aspal lebih baik mengisi rongga antara agregat. Namun, jika penambahan bahan anti-stripping terlalu banyak, stabilitas dan kekakuan campuran akan berkurang karena agregat tidak dapat diselimuti dengan efektif.

c) Pengaruh Wetbond-SP & Wetfix-BE terhadap durabilitas

Penggunaan bahan anti-stripping seperti Wetbond-SP dan Wetfix-BE terbukti meningkatkan durabilitas campuran aspal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran yang menggunakan bahan tambahan ini lebih tahan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh air dan kelembaban. Bahan anti-stripping bekerja dengan meningkatkan daya lekat antara aspal dan agregat, sehingga mengurangi risiko pelepasan butiran akibat kehilangan

adhesi yang sering disebabkan oleh air. Penambahan bahan ini juga mengurangi kerusakan perkerasan, seperti bergelombang dan retak, yang dapat terjadi akibat pengaruh kelembaban. Meskipun bahan anti-stripping memberikan manfaat signifikan dalam meningkatkan ketahanan campuran, kelemahan utamanya adalah biaya yang relatif mahal. Meskipun demikian, penggunaan bahan ini tetap penting untuk menjaga kualitas dan daya tahan perkerasan aspal, terutama di daerah dengan curah hujan tinggi atau kondisi kelembaban yang ekstrem.

4. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian Marshall Test terhadap aspal modifikasi dengan menggunakan bahan tambah Wetbond-Sp dan Wetfix-Be pada campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC), dapat disimpulkan bahwa penambahan kedua bahan tersebut mampu meningkatkan stabilitas campuran. Pada variasi Wetbond-Sp, stabilitas meningkat dari 942,25 kg menjadi 1016,09 kg pada kadar 0,4%, namun menurun pada kadar 0,5%. Begitu juga dengan Wetfix-Be, stabilitas meningkat hingga 1027,88 kg pada kadar 0,3%, namun mengalami penurunan pada kadar yang lebih tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa 0,4% Wetbond-Sp dan 0,3% Wetfix-Be adalah variasi optimal untuk mencapai stabilitas terbaik dalam campuran aspal. Penambahan bahan ini juga mempengaruhi penurunan rongga dalam campuran dan meningkatkan pengikatan antara aspal dan agregat, yang pada gilirannya meningkatkan kekuatan dan daya tahan campuran.

Selain itu, hasil pengujian durabilitas menunjukkan bahwa campuran yang menggunakan Wetbond-Sp 0,4% dan Wetfix-Be 0,3% memenuhi standar durabilitas yang ditetapkan oleh Bina Marga 2018, dengan nilai IKS ≥ 75% untuk semua variasi waktu perendaman. Pengujian IDP dan IDK juga menunjukkan peningkatan pada semua variasi perendaman, mengindikasikan peningkatan ketahanan campuran terhadap rendaman air. Hal ini membuktikan bahwa penambahan bahan anti-stripping seperti Wetbond-Sp dan Wetfix-Be dapat meningkatkan daya lekat dan ketahanan campuran aspal terhadap kerusakan yang disebabkan oleh kelembaban. Dengan demikian, penggunaan bahan tambah ini efektif dalam meningkatkan kinerja dan durabilitas campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC), menjadikannya lebih tahan lama dan kuat di bawah pengaruh air.

5. DAFTAR PUSTAKA

A Seno, S Sukirman, R Zurni. (2016). Study of Utilization of RAP and Elvaloy Asphalt in Laston AC-BC Mixture. Vol. 2 No 1 , 2016.

Akuba, Rohandi S. 2012. Pengaruh Pemakaian Aditif Wetfix-Be pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC). Tugas Akhir. Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo.

Alamsyah, Said, L. B., & Alifuddin, A. (2020). Konsep Design Mix Formula (DMF) Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA) Mengacu Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Terhadap Sifat – Sifat (ITS) dan Deformasi. Jurnal Teknik Sipil MACCA, 5(2), 158–169.

Alifuddin, A., & Arifin, W. (2020). Analisis Durabilitas Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) Terhadap Penggunaan Serat Selulosa (Serat Asbes). Jurnal Teknik Sipil MACCA, 5(2), 67-78.

Alifuddin, A., & Sudikno, A. Pitojo Tri Juwono, Lambang Basri Said, (2018). The Effect of Compaction Model and Temperature on Superpave Mixture Using Fiber Reinforcement. Journal of Applied Sciences Research, 14(1), 32-39.

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

Amri, A., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2021). Studi Komparasi Tingkat Kerusakan Jalan Berdasarkan Data Road Asset Management System, Surface Distress Index dan Pavement Condition Index. Jurnal Teknik Sipil MACCA, 6(1), 75-83.

Badan Standarisasi Nasional. 2015, SNI 8198-2015: Spesifikasi Campuran Beraspal Panas Bergradasi Menerus (Laston). Jakarta: Standar Nasional Indonesia.

Badaron, S. F., Gecong, A., Anies, M. K., Achmad, W. M., & Setiani, E. P. (2019). Studi Perbandingan Kuat Tarik Tidak Langsung terhadap Campuran Aspal Beton dengan menggunakan Limbah Marmer dan Abu Sekam Padi sebagai Filler. PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik, 4(2), 145.

Damopolii, A. T. A., Faisal, F., Arifin, W., Massara, A., & Salim, S. (2019). Analisis Pengaruh Perendaman terhadap Durabilitas dan Kuat Tarik Tidak Langsung pada Campuran Beton Aspal. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil , 1, 324–331.

E Rahmawati, MH Maricar, S Salim. (2025). Analisa Pengaruh Penggunaan Semen Portland sebagai Filler pada Campuran AC-WC Terhadap Sifat-Sifat Mekanik dan Durabilitas, Vol. 7 No. 1 (2025): JILMATEKS (Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil).

F Rosyad, N Prastyo, M Kasmuri. (2017). Analisis Pengaruh Penambahan Limbah Karet Terhadap Durabilitas dan Flexibiltas Aspal Beton (AC-WC). Jurnal Ilmiah TEKNO Vol. 14 No.2,Oktober 23-31.

Fitra, A., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2025). Penggunaan Asbuton Berbutir sebagai Bahan Subtitusi Parsial Agregat Halus pada Campuran Aspal Beton Lapis Antara (AC-BC). Jurnal Flyover, 5(1), 35–46. https://doi.org/10.52103/JFO.V5I1.2161

FQ Al Paris, FR Yamali, E handayani. (2024). Pengaruh Penambahan Zat Aditif Anti Striping (WETFIX-BE) Pada Kinerja Campuran Aspal Beton (AC-WC), Jurnal Civronlit. Vol 9, No 2 (2024): Oktober, 58-63.

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

I Bonardo, ES Hariyadi. (2015). Pengaruh Penggunaan Elvaloy Terhadap Kinerja Campuran Aspal Beton Lapis Pengikat (AC-BC), Simposium Internasional, jember university,22-24 August 2015.

IA Anggraeni, A Riyanto, S Sunarjono. (2020). Nilai Durabilitas dan Nilai Workabilitas Campuran AC–WC Menggunakan Bahan Tambah Genteng Polimer. Simposium Nasional RAPI Vol 1. No. 1. 2020-01-09.

Ibrahim, Z., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2021). Analisis Poisson Ratio dan Ketahanan Deformasi Campuran AC-WC Subtitusi Pasir Silika. Jurnal Teknik Sipil MACCA, 6(1), 36-47.

Irfansyah, P. A., & Setyawan, A. (2017). Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Beton Menggunakan Daspal Sebagai Bahan Pengikat. E-Jurnal Matriks Teknik Sipil, September, 947–958.

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

L Sriharyani, D Septiadi. (2024). Penambahan Zat Additive Anti Stripping Agent dan Filler Serbuk PVC Pada Campuran Aspal AC-WC, TAPAK Vol.14 No. 1, November 2024.

Massara, A., Arifin, W., Alifuddin, A., Ramadhan, M. F., & Taufiq, M. (2021). Analisa Deformasi pada Campuran Aspal Beton Menggunakan Derbo dan Wetfix. PENA TEKNIK: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik, 6(2), 61-67.

Massara, A., Jannah, M., & AS, P. C. (2019). Deformasi Permanen Terhadap Penggunaan Lateks sebagai Bahan Tambah pada Campuran Beton Aspal. Jurnal Teknik Sipil MACCA, 4(3), 255–261.

MF Attamimi, F Achmad, FL. Desei. (2021). Kajian Durabilitas dan Penuaan Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Asbuton Pracampur Terhadap Variasi Lama Perendaman. Composite Journal, January, 2021 Vol. I(1), pp. 32-40.

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

Muhammad, L., Said, L. B., & Massara, A. (2023). Kajian Penambahan Bahan Anti Stripping Wet Fix- Pada Campuran Split Mastic Asphalt Be Terhadap Jumlah Tumbukan. Innovative: Journal Of Social Science Research, 3(3), 8870–8885.

Muhidin, SA, Abdurrahman, M. 2007. Analisis Korelasi, Regresi, dan Jalur dalam Penelitian. Bandung: CV Pustaka Setia.

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

Natsir, K., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2025). Pengaruh Penggunaan Minyak Pelumas Bekas Terhadap Lapisan Aspal Beton dan Prediksi Sisa Umur Perkerasan Jalan Menggunakan Metode Mekanistik Empirik Program Kenpave. Jurnal Flyover, 5(1), 23–34. https://doi.org/10.52103/JFO.V5I1.2160

R Alfiansyah, M Isya, FM Suryani. (2025). Pemanfaatan Limbah Plastik Jenis Polyethylene Terephthalate (PET) Terhadap Kinerja Campuran Laston Lapis Aus (AC-WC) Serta Penggunaan Filler Abu Tempurung Kelapa Dengan Cara Kering, Journal of The Civil Engineering Student. Vol 7, No. 1 (2025).

R Soegiarso, A Saleh, MI Setiawan. (2018). Performance of Asphalt Concrete with Chrome and Hot Rolled Sheet with Chrome Using Portland Cement Filler and Prevent Exfoliation by Empirical Mechanism, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1028 (2018) 012062.

Raharja, F., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2024). Kajian Prioritas Penanganan Jalan Menggunakan Aplikasi PKRMS Kombinasi dengan Metode AHP. Jurnal Flyover, 4(2), 265–274. https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2195

Ramlan, R., Hanusu, A., & Setiawan, (2015). A. "Analisis Variasi Suhu Pencampuran Terhadap Durabilitas Asphaltic Concrete-Wearing Course (AC-WC ASB H)". Journal Teknik Sipil Dan Infrastruktur,(2015) Vol 5. No.1.

Raya, S., Pratomo, P., Herianto, Dwi, (2015). "Variasi Temperatur Pencampuran Terhadap Parameter Marshall pada Campuran Lapis Aspal Beton" (2015) Vol 3. No.3.

Revisi SNI M-01-tentang Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall, Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum. Bandung : Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.

S, S., Said, L. B., & Alifuddin, A. (2024). Kajian Tebal Lapis Permukaan dengan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan dan Metode AASTHO. Jurnal Flyover, 4(2), 257–264. https://doi.org/10.52103/JFO.V4I2.2194

Said, L. B., & Alifuddin, A. (2020). Konsep Design Mix Formula (DMF) Lapis Tipis Beton Aspal (LTBA) Mengacu Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Terhadap Sifat–Sifat (ITS) dan Deformasi. Jurnal Teknik Sipil MACCA, 5(2), 141-152.

Salim, Supardi, S., Alifuddin, A., Alawiah, A. A., & Syakir, M. (2023). Pengaruh Bahan Tambah Polimer Ethylene Vinyl Asetate (EVA) pada Campuran Aspal Beton AC-WC Terhadap Pengujian Indirect Tensile Strength (ITS) dan Durabilitas. Jurnal Teknik Sipil, 8(2), 109–119.

Simanjuntak, R., & Radam*, I. (2021). PENGARUH PENAMBAHAN BAHAN ADITIVE ANTI STRIPPING TERHADAP KINERJA CAMPURAN ASPAL. JURNAL RIVET, 1(02), 99-108.

Sukirman, S. (2010). Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur. Bandung: Nova. Sukirman, S. (2010). Beton Aspal Campuran Panas. Yayasan Obor Indonesia.

Sukirman, Silvia. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Jakarta: Granit.

Sunarjono, S., Anto, B. H., Hidayati, N., & Harnaeni, S. R. (2021). Durability of Asphalt Mixture AC-WC Using Latex Based on the Test Method of SNI 6753:2015. Urecol Journal. Part E: Engineering, 1(2), 94–102.

Wahyudi, M., & Setiawan, A. (2018). Kinerja Campuran Beton Aspal Wearing Course Dengan Tambahan Serbuk Serat Pelepah Batang Pisang. Spektrum Sipil, 5(1), 11–22

Widianty., D., 2018, Pengaruh Penambahan Serbuk Serat Pelepah Batang Pisang Terhadap Karakteristik Sifat Fisik Aspal, Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan Volume 2 No.1 Januari 2018, Universitas Jember, Jember.

Zulfadli, Said, L. B., & Syarkawi, M. T. (2025). Kajian Tingkat Kerusakan Perkerasan Jalan dengan Metode Pavement Condition Index (PCI) dan Metode International Roughness Index (IRI). Jurnal Flyover, 5(1), 139–152. https://doi.org/10.52103/JFO.V5I1.2224