JOURNAL FLYOVER (JFO)
Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana UMI

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

# Kajian Ketahanan Deformasi dan Keausan dengan Penambahan Anti Stripping (WETFIX-BE) pada Perkerasan Hotmix dan Warmix

**Nurlinda Baswati Basri [1*], Hanafi Ashad [2], Andi Alifuddin [3]**

1*) Magister Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar,
lindabasri48@gmail.com
2) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar
3) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

## Abstract

*Premature damage to road pavements in Indonesia, particularly deformation and wear on the Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) layer, is a major problem that reduces the service life of roads. This study aims to examine the characteristics of AC-WC mixtures with the addition of Wetfix-Be anti-stripping agent and analyze its effect on deformation and wear resistance in Hotmix Asphalt (HMA) and Warmix Asphalt (WMA) pavements. This experimental study uses aggregates from Bili-Bili Gowa and 60/70 penetration grade asphalt. The Optimum Asphalt Content (OAC) was determined through Marshall testing with asphalt content variations of 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, and 6.5%. Subsequently, specimens were prepared with Wetfix-Be variations of 0%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, and 0.5% using two mixing methods: Hotmix (155°C) and Warmix (130°C). Testing included Marshall Test for mixture characteristics, Wheel Tracking Test for deformation resistance, and Cantabro Loss Test for wear resistance. The results showed an OAC of 5.5% with a stability of 1290.23 kg. The addition of Wetfix-Be significantly improved mixture performance, with an optimum content of 0.3-0.4%. In Hotmix, maximum stability reached 1535,11 kg (0.32% content), deformation decreased by 24.9% to 2.90 mm, dynamic stability increased by 27.3% to 1145.45 in/mm, and wear decreased by 38.7% to 4.53%. In Warmix, maximum stability was 1429,52 kg (0.41% content), deformation decreased by 25.9% to 3.34 mm, dynamic stability increased by 23.9% to 940.30 in/mm, and wear decreased by 49.9% to 5.09%. Hotmix showed better performance than Warmix, although both types met the Bina Marga Specification 2018 Revision II. This study demonstrates that Wetfix-Be effectively improves asphalt-aggregate adhesion, deformation resistance, and pavement durability, with Warmix offering an environmentally friendly alternative through energy savings of up to 20% and $CO_2$ emission reductions of up to 30%.*

*Keywords: AC-WC. Anti-stripping, Deformation, Hotmix, Warmix, Wear, Wetfix-Be,*

## Abstrak

Kerusakan dini pada perkerasan jalan Indonesia, khususnya deformasi dan keausan pada lapisan Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC), menjadi permasalahan utama yang mengurangi umur layanan jalan. Penelitian ini bertujuan mengkaji karakteristik campuran AC-WC dengan penambahan anti-stripping Wetfix-Be serta menganalisis pengaruhnya terhadap ketahanan deformasi dan keausan pada perkerasan Hotmix Asphalt (HMA) dan Warmix Asphalt (WMA). Penelitian eksperimental ini menggunakan agregat dari Bili-Bili Gowa dan aspal penetrasi 60/70. Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan melalui pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Selanjutnya, benda uji dibuat dengan variasi Wetfix-Be 0%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5% pada dua metode pencampuran: Hotmix (155°C) dan Warmix (130°C). Pengujian meliputi Marshall Test untuk karakteristik campuran, Wheel Tracking Test untuk ketahanan deformasi, dan Cantabro Loss Test untuk ketahanan keausan. Hasil penelitian menunjukkan KAO sebesar 5,5% dengan stabilitas 1290,23 kg. Penambahan Wetfix-Be meningkatkan kinerja campuran secara signifikan, dengan kadar optimum 0,32-0,41%. Pada Hotmix, stabilitas maksimum mencapai 1535,11kg (kadar 0,32%), deformasi menurun 24,9% menjadi 2,90 mm, stabilitas dinamis meningkat 27,3% menjadi 1145,45 in/mm, dan keausan berkurang 38,7% menjadi 4,53%. Pada Warmix, stabilitas maksimum 1429,52 kg (kadar 0,41%),

deformasi menurun 25,9% menjadi 3,34 mm, stabilitas dinamis meningkat 23,9% menjadi 940,30 in/mm, dan keausan berkurang 49,9% menjadi 5,09%. Hotmix menunjukkan kinerja lebih baik dibanding Warmix, namun kedua jenis memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi II.Penelitian ini membuktikan bahwa Wetfix-Be efektif meningkatkan daya lekat aspal-agregat, ketahanan deformasi, dan durabilitas perkerasan, dengan Warmix menawarkan alternatif ramah lingkungan melalui penghematan energi hingga 20% dan pengurangan emisi $CO_2$ hingga 30%.

Kata kunci: AC-WC, Anti-stripping, Deformasi, Hotmix, Keausan, Warmix, Wetfix-Be.

## 1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan di Indonesia mengalami kerusakan sebelum mencapai umur rencana yang telah ditetapkan (Andi Alifuddin, 2018). Kerusakan yang terjadi pada perkerasan lentur antara lain berupa keausan pada permukaan jalan dan deformasi pada lapisan Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). Dimana lapisan AC-WC merupakan lapisan aus yang berkontak langsung dengan roda kendaraan, sehingga lapisan ini sangat rentan terhadap deformasi dan keausan yang dapat mengurangi kualitas dan daya tahan perkerasan jalan secara keseluruhan.

Deformasi permanen atau rutting terjadi akibat akumulasi regangan plastis pada campuran aspal, terutama saat temperatur tinggi. Kondisi ini diperparah oleh beban kendaraan berat yang melintas berulang pada jalur yang sama, menyebabkan perpindahan material dan terbentuknya alur permanen. Faktor-faktor seperti kualitas agregat, sifat reologi aspal, kadar aspal, dan proses pemadatan sangat mempengaruhi ketahanan campuran terhadap deformasi. Sementara itu, keausan permukaan dan pelepasan butir (raveling) merupakan kerusakan progresif yang dimulai dari terlepasnya agregat halus hingga agregat kasar. Proses ini dipicu oleh gaya abrasi ban kendaraan dan fenomena stripping, yaitu terlepasnya ikatan antara aspal dan agregat akibat pengaruh air. Oksidasi aspal akibat paparan oksigen dan radiasi ultraviolet juga menyebabkan aspal mengeras, menjadi rapuh, dan mudah retak. Kerusakan ini tidak hanya mengurangi integritas struktural tetapi juga menurunkan keselamatan pengguna jalan, tetapi juga mempercepat penurunan umur layanan jalan. Selain beban lalu lintas, kualitas pencampuran aspal, baik untuk campuran hotmix maupun warmmix sangat menentukan daya tahan campuran terhadap kerusakan jalan. Proses pencampuran yang tidak optimal dapat menurunkan daya lekat antara aspal dan agregat, sehingga mempercepat terjadinya deformasi dan keausan akibat beban dinamis dan pengaruh lingkungan.

Hotmix Asphalt adalah campuran aspal dan agregat yang diproses pada suhu tinggi, umumnya antara 145–155°C. Proses ini menghasilkan campuran yang homogen dengan pelapisan agregat yang optimal, namun memiliki kelemahan dalam hal konsumsi energi yang tinggi dan emisi yang sangat besar. Sementara warmix Asphalt menggunakan suhu yang lebih rendah, sekitar 130–135°C, menawarkan solusi ramah lingkungan dengan pengurangan konsumsi bahan bakar hingga 20% dan penurunan emisi CO2 hingga 30%. Namun, implementasi warmix di lapangan sering menghadapi tantangan berupa viskositas aspal yang masih relatif tinggi, sehingga menghasilkan workability yang kurang optimal dan berpotensi mempengaruhi kinerja campuran terhadap deformasi dan keausan.

Permasalahan yang sering terjadi di lapangan menunjukkan bahwa campuran warmix tanpa penanganan khusus cenderung mengalami segregasi selama transportasi dan penghamparan, serta memiliki tingkat pemadatan yang tidak seragam. Kondisi ini menyebabkan timbulnya void yang berlebihan pada struktur campuran, yang pada akhirnya mempercepat proses kerusakan akibat infiltrasi air dan oksidasi aspal. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan pendekatan inovatif melalui penggunaan bahan anti stripping yang dapat meningkatkan performa kedua pencampuran. Anti stripping merupakan bahan tambah yang ditambahkan ke dalam campuran aspal untuk

meningkatkan adhesi antara aspal dan agregat, serta mengurangi sensitivitas campuran terhadap kerusakan. Anti stripping yang sering digunakan adalah Wetfix-BE yang merupakan salah satu jenis anti stripping yang memiliki kualitas dan pengaruh baik terhadap campuran aspal.

Wetfix-BE sebagai salah satu jenis anti-stripping berbentuk cairan telah menunjukkan potensi signifikan dalam meningkatkan adhesi antara aspal dan agregat. Produk ini mengandung polimer khusus yang berfungsi sebagai coupling agent, menciptakan ikatan kimia yang kuat antara fase aspal dan permukaan agregat. Mekanisme kerja Wetfix-BE tidak hanya meningkatkan daya lekat awal, tetapi juga memberikan resistensi terhadap moisture damage yang merupakan penyebab utama stripping pada campuran aspal. Penggunaan Wetfix-BE dalam konsentrasi yang tepat diharapkan dapat mengoptimalkan performa baik campuran hotmix maupun warmix, sehingga menghasilkan perkerasan jalan yang lebih tahan terhadap deformasi dan keausan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis karakteristik campuran aspal yang menggunakan bahan tambah Wetfix-Be pada perkerasan Hotmix Asphalt (HMA) dan Warmmix Asphalt (WMA). Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis pengaruh bahan tambah Wetfix-Be terhadap deformasi dan keausan pada perkerasan Hotmix Asphalt (HMA) dan Warmmix Asphalt (WMA), guna mengevaluasi sejauh mana bahan tambah tersebut dapat mempengaruhi kinerja perkerasan aspal dalam hal ketahanan terhadap deformasi dan keausan..

## 2. METODE

### A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, Jl. Urip Sumoharjo Km.05, Kampus 2 Universitas Muslim Indonesia, Makassar (Sulawesi Selatan). Waktu penelitian dilakukan sejak bulan Juli hingga September 2025.

### B. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa komponen utama yang penting dalam pembuatan campuran perkerasan jalan. Agregat yang digunakan terdiri dari berbagai ukuran, yaitu agregat kasar dengan ukuran 1-2 cm yang lolos dari saringan ¾ dan tertahan pada saringan No. 4, agregat dengan ukuran 0,5-1 cm yang lolos dari saringan ½ dan tertahan pada saringan No. 4, serta abu batu yang lolos dari saringan No. 4 dan tertahan pada saringan No. 200. Semua agregat ini diperoleh dari proses pemecahan batu di daerah Bili-Bili, Kabupaten Gowa. Selanjutnya, aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal minyak penetrasi 60/70 produksi Pertamina, yang diperoleh dari Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan Universitas Muslim Indonesia. Selain itu, bahan kimia anti stripping, yaitu Wetfix-Be, ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan campuran aspal terhadap stripping, yaitu proses di mana agregat terlepas dari aspal akibat keausan dan deformasi.

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat yang tersedia di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia. Beberapa alat yang digunakan untuk pemeriksaan aspal antara lain alat untuk menguji penetrasi aspal, titik lembek, berat jenis, viskositas, dan berat jenis. Untuk pemeriksaan agregat, digunakan alat-alat seperti alat analisa saringan, alat pengukur berat jenis, alat pengukur berat isi, alat uji soudness test, dan alat uji kelekatannya terhadap aspal. Selain itu, untuk menguji karakteristik campuran aspal, digunakan Marshall Test. Alat uji deformasi yang digunakan adalah Wheel Tracking Test, sementara untuk menguji keausan campuran, digunakan alat Cantabro

## C. Tahapan Penelitian

Persiapan bahan penelitian dilakukan dengan menyiapkan berbagai komponen yang diperlukan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia. Bahan-bahan yang digunakan mencakup agregat kasar, agregat halus, filler, serta bahan anti stripping Wetfix-Be. Setelah bahan disiapkan, langkah selanjutnya adalah pemeriksaan bahan untuk memastikan bahwa bahan yang digunakan memenuhi standar yang ditetapkan untuk perkerasan jalan. Pemeriksaan aspal meliputi pengujian penetrasi aspal, titik lembek, titik nyala, daktilitas, berat jenis, dan viskositas, sesuai dengan SNI 06-2456-1991. Pemeriksaan agregat meliputi analisa saringan, berat isi, berat jenis dan penyerapan, uji soundness, serta uji kelekatannya terhadap aspal. Dalam perencanaan campuran, komposisi campuran ditentukan menggunakan metode Trial and Error dengan memperhatikan batasan gradasi yang disyaratkan. Proses ini melibatkan pemilihan proporsi agregat yang sesuai untuk menghasilkan gradasi gabungan yang memenuhi spesifikasi. Setelah itu, kadar aspal rencana ditentukan berdasarkan perhitungan fraksi campuran, dan kadar aspal optimum (KAO) dihitung dengan menggunakan persamaan matematika yang diperoleh dari grafik hubungan kadar aspal dan hasil uji Marshall.

Setelah komposisi agregat campuran ditentukan, langkah berikutnya adalah menghitung berat agregat dan berat aspal yang diperlukan. Pembuatan campuran untuk benda uji Marshall dilakukan pada temperatur viskositas 170 ± 20 cst dan temperatur pemadatan 100-120 cst. Agar permukaan agregat kering, agregat terlebih dahulu dipanaskan dalam oven hingga beratnya tetap. Agregat yang sudah kering kemudian dicampur dengan aspal sesuai dengan berat aspal yang dibutuhkan untuk setiap benda uji. Campuran tersebut kemudian dituangkan ke dalam mold yang telah dipersiapkan, dan pemadatan dilakukan pada tiap sisi benda uji dengan 75 kali tumbukan untuk Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). Setelah benda uji dipadatkan, sampel dikeluarkan dari mold dan ditimbang dalam kondisi kering, kondisi permukaan jenuh (SSD), serta dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air. Benda uji kemudian direndam dalam bak perendaman selama 30 menit sebelum diuji dengan alat Marshall. Untuk menentukan kadar aspal optimum, dilakukan percobaan dengan variasi kadar aspal pada campuran agregat yang tetap, yang menghasilkan grafik stabilitas, flow, air voids, dan Marshall Quient. Dari grafik tersebut, diperoleh kadar aspal optimum dengan mengacu pada beberapa parameter seperti stabilitas kelelehan (flow), Marshall Quotient (MQ), rongga udara dalam campuran (VIM), rongga terisi aspal (VFA), rongga antar agregat (VMA), dan kepadatan (density). Pengujian Marshall ini dilakukan dengan membuat tiga benda uji pada setiap variasi kadar aspal, total 15 benda uji yang diuji untuk mendapatkan kadar aspal optimum.

**Tabel 1 Jumlah sample untuk penentuan KAO**

| No | Variasi kadar aspal ( % ) | Jumlah benda uji ( Buah ) |
|---|---|---|
| 1 | KAR – 1 | 3 |
| 2 | KAR - 0,5 | 3 |
| 3 | KAR | 3 |
| 4 | KAR + 0,1 | 3 |
| 5 | KAR + 1 | 3 |
| Total Sample = 15 | | |

Pembuatan benda uji untuk pengujian deformasi dan keausan dengan penambahan anti stripping dalam variasi 0%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, dan 0.5% dilakukan melalui proses pencampuran hotmix dan warmix. Dalam metode hotmix, agregat kasar dan halus dipanaskan bersama aspal pada suhu tinggi untuk memastikan pencampuran yang optimal, dengan penambahan anti stripping pada suhu yang sesuai agar dapat terdispersi secara

merata. Sedangkan dalam metode warmix, agregat dicampur dengan aspal pada suhu yang lebih rendah, yang menghasilkan emisi lebih sedikit dan meningkatkan kerja sama material. Setelah pencampuran, benda uji dicetak menggunakan cetakan standar dan dipadatkan dengan alat pemadat untuk mencapai kepadatan yang diinginkan. Benda uji kemudian diuji untuk deformasi dan keausan, dan hasilnya dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh penambahan anti stripping terhadap performa campuran, baik dalam kondisi hotmix maupun warmix. Penelitian ini melibatkan percobaan dengan 10 variasi perlakuan yang terbagi dalam dua kelompok utama: Hotmix (H) dengan 5 variasi Wetfix-Be (0%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5%) dan Warmix (W) dengan 5 variasi yang sama. Setiap kode benda uji menunjukkan jenis campuran dan persentase Wetfix-Be yang digunakan, misalnya H-0,2 berarti Hotmix dengan 0,2% Wetfix-Be. Untuk setiap variasi dibuat 6 benda uji, terdiri dari 3 benda uji untuk pengujian deformasi dan 3 benda uji untuk pengujian keausan, sehingga total terdapat 60 benda uji yang digunakan untuk membandingkan kinerja kedua jenis campuran pada berbagai tingkat Wetfix-Be.

**Tabel 2 Spsifikasi benda uji untuk metode Hotmix dan Warmix**

| No | Kode Benda Uji | Wetfix-Be (%) | Jumlah Benda Uji | Keterangan |
|---|---|---|---|---|
| 1. | H-0 | 0 | 3*+3** | Hotmix |
| 2. | H-0,2 | 0,2 | 3*+3** | |
| 3. | H-0,3 | 0,3 | 3*+3** | |
| 4. | H-0,4 | 0,4 | 3*+3** | |
| 5. | H-0,5 | 0,5 | 3*+3** | |
| 6. | W-0 | 0 | 3*+3** | Warmix |
| 7. | W-0,2 | 0,2 | 3*+3** | |
| 8. | W-0,3 | 0,3 | 3*+3** | |
| 9. | W-0,4 | 0,4 | 3*+3** | |
| 10. | W-0,5 | 0,5 | 3*+3** | |
| Total | | | 60 | |

Tahapan terakhir dalam penelitian ini adalah pengujian benda uji untuk menentukan kualitas campuran aspal yang telah disiapkan. Pengujian pertama yang dilakukan adalah Marshall Test, yang bertujuan untuk mengevaluasi stabilitas dan flow campuran aspal serta menentukan kadar aspal optimum. Proses ini dimulai dengan mempersiapkan agregat yang telah dipanaskan dan dicampur dengan aspal pada suhu yang sesuai. Campuran kemudian dipadatkan menggunakan Marshall Compactor dan diuji untuk mengukur stabilitas, flow, dan parameter volumetrik seperti VIM, VMA, VFB, dan VMA. Pengujian berikutnya adalah Wheel Tracking Test, yang digunakan untuk mengukur deformasi campuran aspal akibat beban lalu lintas berulang. Benda uji berbentuk slab dipadatkan menggunakan roller compactor, kemudian diuji dengan Wheel Tracking Machine untuk mencatat deformasi dan stabilitas dinamis selama proses pengujian. Terakhir, pengujian Cantabro dilakukan untuk mengukur ketahanan campuran aspal terhadap keausan dan kehilangan agregat akibat abrasi. Benda uji diputar dalam mesin Los Angeles Abrasion untuk mengukur tingkat kehilangan agregat, yang digunakan untuk menilai kualitas ikatan antara aspal dan agregat.

## D. Metode Analisis Data

Setelah seluruh data hasil pengujian terkumpul, tahap berikutnya adalah pengolahan dan analisis data untuk menginterpretasikan hasil pengujian secara mendalam. Analisis dilakukan dalam tiga bagian utama. Pertama, analisis parameter Marshall menggunakan metode analisis regresi dan deskriptif untuk menghitung parameter seperti stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), VFA, VMA, VIM, dan densitas, yang semuanya penting untuk

mengevaluasi kualitas campuran aspal. Dari hasil ini, kadar aspal optimum (KAO) dihitung menggunakan regresi polinomial, yang selanjutnya digunakan untuk menentukan presentase bahan tambah optimum (PBTO) dengan penambahan Wetfix-Be pada campuran hotmix dan warmix. Kedua, analisis deformasi dilakukan dengan mengolah data hasil pengujian Wheel Tracking Test untuk memperoleh total deformasi, stabilitas dinamis, dan laju deformasi. Analisis ini membandingkan kinerja campuran hotmix dan warmix pada berbagai kadar Wetfix-Be untuk menentukan kadar yang memberikan ketahanan deformasi terbaik. Ketiga, analisis keausan dilakukan dengan menggunakan data hasil pengujian Cantabro Loss Test untuk menghitung persentase kehilangan massa. Hasilnya dianalisis untuk mengevaluasi ketahanan campuran terhadap keausan. Pada tahap akhir, evaluasi dilakukan dengan membandingkan seluruh parameter untuk menentukan kadar Wetfix-Be optimum dan metode pencampuran yang paling efektif, serta memberikan kesimpulan dan rekomendasi untuk meningkatkan ketahanan deformasi dan keausan pada perkerasan jalan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat menunjukkan bahwa agregat yang digunakan telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi II. Pengujian agregat kasar meliputi agregat dengan ukuran 1-2 cm dan 0,5-1 cm, yang diperiksa untuk gradasi, berat jenis, penyerapan air, dan kekerasan agregat. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa agregat kasar memiliki berat jenis yang sesuai dengan spesifikasi, serta kekuatan yang baik terhadap cuaca dan kemampuan berikatan dengan aspal. Untuk agregat halus, yang terdiri dari abu batu, pengujian gradasi menunjukkan bahwa 100% agregat lolos saringan No. 4 dan ada penurunan persentase pada saringan yang lebih kecil, dengan hasil penyerapan air dan nilai sand equivalent yang memenuhi standar. Gabungan gradasi campuran yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 50% abu batu, 16% batu pecah 1-2 cm, dan 34% batu pecah 0,5-1 cm, yang telah diuji untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO). Hasil penggabungan ini memberikan dasar untuk menghitung kadar aspal yang tepat dalam campuran.

### B. Hasil Pemeriksaan Aspal

Jenis aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal penetrasi 60/70 produksi Pertamina, yang telah diuji dan memenuhi spesifikasi yang diperlukan untuk pembuatan campuran beton aspal Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). Penambahan bahan tambah Wetfix-Be dilakukan dalam variasi 0%, 0,2%, 0,3%, 0,4%, dan 0,5%, dengan persentase penambahan berdasarkan berat total aspal. Hasil pengujian karakteristik aspal yang digunakan menunjukkan bahwa aspal memenuhi batasan spesifikasi yang ada. Sementara itu, hasil pengujian campuran aspal dengan penambahan Wetfix-Be menunjukkan bahwa penetrasi aspal menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi Wetfix-Be, yang mengindikasikan peningkatan kekerasan aspal. Titik lembek, berat jenis, titik nyala, dan titik bakar campuran aspal meningkat, menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih tahan terhadap suhu tinggi dan lebih padat. Namun, daktilitas aspal mengalami penurunan, yang menunjukkan penurunan elastisitas dan peningkatan kekakuan campuran. Secara keseluruhan, penambahan Wetfix-Be memberikan efek positif dalam meningkatkan ketahanan aspal terhadap deformasi dan suhu tinggi, meskipun mengurangi sifat elastisitasnya.

## C. Penentuan kebutuhan Kadar Aspal Rencana

Dari hasil penentuan fraksi campuran, dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan kadar aspal rencana 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 dan tertahan di saringan No. 200, c adalah persentase lolos saringan No. 200, K adalah konstanta yang bergantung pada persentase lolos saringan No. 200, dan F adalah faktor koreksi yang bergantung pada absorbsi agregat. Dalam perhitungan ini, diperoleh nilai a = 60,65, b = 34,30, c = 5,05, dan K = 0,20 (untuk ≤ 5% lolos saringan No. 200). Dengan memasukkan nilai-nilai ini ke dalam rumus, didapatkan hasil perhitungan kadar aspal rencana sebesar 5,57%, yang dibulatkan menjadi 5,5%. Kadar aspal yang diambil untuk percobaan selanjutnya adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.

## D. Hasil dan Analisis Pengujian Marshall Test pada Campuran AC-WC 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 Wearing Course* (AC-WC) , 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 Wearing Course* (AC-WC) menunjukkan bahwa tidak semua hasil pengujian dari variasi kadar aspal rencana masuk dalam spesifikasi karakteristik campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC), sesuai dengan Spesifikasi Umum Pekerjaan Jalan oleh Bina Marga tahun 2018.

**Tabel 3 Rekapitulasi pengujian Marshall Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) 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 | 2.25 | 2.26 | 2.26 | 2.27 | 2.25 | ≥2.2 kg/mm$^3$ |
| VIM; % | 6.32 | 5.37 | 4.74 | 4.34 | 4.14 | 3-5% |
| VMA; % | 15.99 | 16.13 | 15.12 | 16.31 | 16.67 | ≥ 15% |
| VFA; % | 60.47 | 66.83 | 70.90 | 73.44 | 75.41 | ≥ 65% |
| Stabilitas; kg | 1198.46 | 1260.91 | 1293.42 | 1268.79 | 1196.88 | 800-1800 kg |
| Flow; mm | 3.17 | 2.80 | 2.70 | 2.80 | 3.20 | 2-4 mm |
| MQ; kg/mm | 381.25 | 454.96 | 483.28 | 460.74 | 395.18 | Min 250 kg/mm |

Berdasarkan **Tabel 3** dapat diketahaui bahwa kadar aspal memiliki pengaruh krusial terhadap seluruh parameter Marshall. Stabilitas campuran membentuk kurva parabola yang meningkat dari 1198,46 kg pada kadar 4,5% hingga mencapai puncak optimum 1260,23 kg pada kadar 5,5%, kemudian menurun kembali ke 1196,88 kg pada kadar 6,5%, menunjukkan bahwa terlalu sedikit atau terlalu banyak aspal sama-sama menurunkan kekuatan campuran. Nilai Flow menunjukkan tren yang berlawanan, menurun dari 3,17 mm menjadi 2,70 mm lalu naik lagi ke 3,20 mm, mengindikasikan bahwa kadar aspal optimum menghasilkan campuran yang tidak terlalu kaku maupun terlalu lentur. Parameter VIM (Void in Mix) menurun konsisten dari 6,32% menjadi 4,14%, menggambarkan bagaimana aspal mengisi rongga udara dalam campuran, dengan rentang ideal 3-5% tercapai pada kadar 5,5% ke atas. Sementara itu, VMA (Void in Mineral Aggregate) dan

VFA (Void Filled with Asphalt) menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya kadar aspal, dari 15,99% menjadi 16,67% untuk VMA dan 60,47% menjadi 75,41% untuk VFA, membuktikan bahwa aspal semakin efektif mengisi ruang antar agregat. Density campuran juga membentuk kurva parabola dengan nilai maksimum 2,27 kg/mm³ pada kadar 6%, sedangkan Marshall Quotient mencapai puncak 483,28 kg/mm pada kadar 5,5%. Melalui analisis matematis menggunakan persamaan polinomial dan turunan parsial, penelitian ini berhasil menentukan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,5%, di mana pada titik ini semua parameter Marshall berada dalam spesifikasi Bina Marga 2018 dan campuran menunjukkan keseimbangan terbaik antara kekuatan (stabilitas tinggi), fleksibilitas (flow ideal), kepadatan (density maksimal), dan durabilitas (VIM, VMA, VFA dalam rentang yang disyaratkan), yang sangat penting untuk menghasilkan perkerasan jalan yang mampu menahan beban lalu lintas berat, tahan terhadap deformasi permanen, tidak mudah retak, dan memiliki umur layanan yang panjang.

## E. Analisis dan Hasil Pengujian Marshall Test, Menggunakan Bahan Tambah Wetfix-Be pada Perkerasan Hotmix dan Warmix

Analisis dan hasil pengujian Marshall Test merupakan metode standar untuk mengevaluasi karakteristik campuran aspal panas (hotmix) dan aspal hangat (warmix) dengan mengukur parameter-parameter penting seperti stabilitas, flow, Marshall Quotient, rongga udara (VIM), rongga terisi aspal (VFA), dan rongga dalam agregat (VMA). Dalam penelitian ini, penggunaan bahan tambah Wetfix-BE sebagai anti-stripping bertujuan untuk meningkatkan adhesi antara aspal dan agregat, terutama dalam kondisi basah, serta memungkinkan produksi campuran pada suhu yang lebih rendah untuk warmix. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan Wetfix-BE pada kedua jenis campuran dapat meningkatkan nilai stabilitas Marshall dan daya tahan terhadap deformasi, dengan kadar aspal optimum yang ditentukan melalui kurva hubungan antara kadar aspal dan sifat-sifat Marshall. Perbandingan antara hotmix dan warmix dengan Wetfix-BE mengindikasikan bahwa warmix dapat mencapai performa yang sebanding dengan hotmix meskipun diproduksi pada suhu 20-30°C lebih rendah, sehingga memberikan keuntungan dalam hal penghematan energi, dan kemudahan pelaksanaan di lapangan. Pemilihan kadar aspal dan Wetfix-BE yang tepat untuk memastikan campuran memenuhi spesifikasi teknis yang dipersyaratkan, dengan mempertimbangkan keseimbangan antara kekuatan, durabilitas, dan workability campuran. Berikut merupakan hasil rekapitulasi karakteristik marshall dapat dilihat pada **Tabel 4** berikut:

**Tabel 4 Hasil rekapitulasi karakteristik marshall menggunakan bahan tambah Wetfix-Be pada perkerasan hotmix dan warmix**

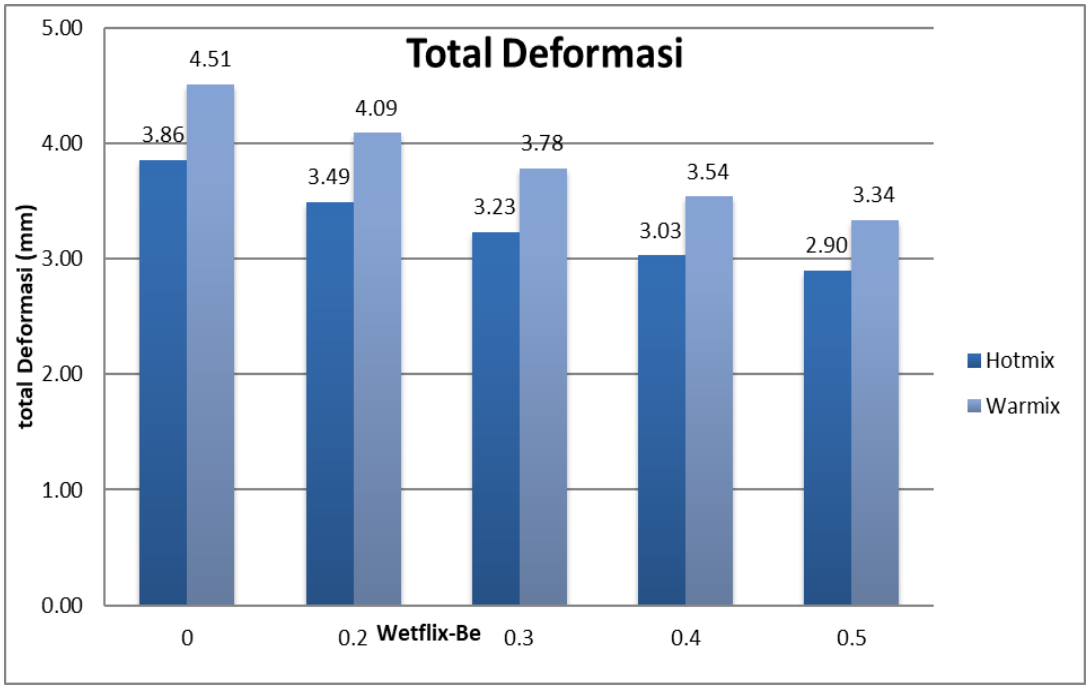
| **Sifat-Sifat Campuran** | **Hasil Pengujian Wetfix-Be (Hotmix)** | | | | | **Spesifikasi** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kadar Aspal %** | **0%** | **0.2%** | **0.3%** | **0.4%** | **0.5%** | |
| Stabilitas ; kg | 1212.64 | 1452.22 | 1564.91 | 1520.78 | 1438.23 | 800 - 1800 kg |
| Flow ; mm | 2.97 | 2.63 | 2.30 | 2.40 | 2.70 | 2 – 4 mm |
| VIM ; % | 3.88 | 4.03 | 3.93 | 3.67 | 3.75 | 3 - 5 % |
| VMA ; % | 16,60 | 16,73 | 16,64 | 16,41 | 16,48 | ≥15% |
| VFA ; % | 76,63 | 75,92 | 76,37 | 77,65 | 77,27 | ≥65% |
| MQ ; kg/mm | 411.00 | 552.93 | 687.51 | 567.85 | 522.00 | Min 250 kg/mm |
| Density | 2,29 | 2,29 | 2,29 | 2,30 | 2,30 | ≥ 2.2 kg/mm² |

| Sifat-Sifat Campuran | Hasil Pengujian Wetfix-Be (warmix) | | | | | Spesifikasi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kadar Aspal %** | **0%** | **0.2%** | **0.3%** | **0.4%** | **0.5%** | |
| Stabilitas ; kg | 1193.73 | 1304.46 | 1457.93 | 1447.88 | 1398.83 | 800 - 1800 kg |
| Flow ; mm | 3.17 | 2.73 | 2.57 | 2.60 | 2.70 | 2 – 4 mm |
| VIM ; % | 4.25 | 4.26 | 4.00 | 3.81 | 3.92 | 3 - 5 % |
| VMA ; % | 16,92 | 16,93 | 16,70 | 16,54 | 16,63 | ≥15% |
| VFA ; % | 74,87 | 74,84 | 76,04 | 76,94 | 76,45 | ≥65% |
| MQ ; kg/mm | 379.62 | 478.63 | 573.20 | 530.60 | 455.43 | Min 250 kg/mm |
| Density | 2,29 | 2,29 | 2,29 | 2,30 | 2,29 | ≥ 2.2 kg/mm² |

Berdasarkan hasil pengujian Marshall dengan penambahan bahan tambah Wetfix-Be pada perkerasan hotmix dan warmix pada **Tabel 4**, ditemukan bahwa penambahan Wetfix-Be memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan karakteristik campuran aspal. Pada campuran hotmix, penambahan Wetfix-Be dari 0% hingga kadar optimum 0,32% meningkatkan stabilitas sebesar 29,05% (dari 1212,64 kg menjadi 1535,11kg), mengurangi nilai flow sebesar 22,56% (dari 2,97 mm menjadi 2,30 mm), dan meningkatkan Marshall Quotient sebesar 67,27% (dari 411,00 kg/mm menjadi 687,51 kg/mm). Sementara pada campuran warmix dengan kadar optimum 0,41%, stabilitas meningkat sebesar 21,29% (dari 1193,73 kg menjadi 1429,52 kg), flow menurun 18,93% (dari 3,17 mm menjadi 2,57 mm), dan Marshall Quotient meningkat 50,98% (dari 379,62 kg/mm menjadi 573,20 kg/mm). Parameter volumetrik juga menunjukkan perbaikan dengan VIM yang stabil dalam rentang spesifikasi 3-5%, VMA tetap di atas 15%, dan VFA meningkat hingga mencapai 77,65% pada hotmix dan 76,94% pada warmix. Meskipun hotmix menunjukkan performa lebih baik dengan nilai stabilitas maksimum mencapai 1696,13 kg dibandingkan warmix yang mencapai 1574,96 kg, kedua jenis campuran memenuhi seluruh persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi II, yang membuktikan bahwa Wetfix-Be efektif sebagai anti-stripping agent dalam meningkatkan daya lekat aspal, agregat dan kualitas keseluruhan campuran perkerasan.

## F. Analisis dan Hasil Pengujian Deformasi Menggunakan Bahan Tambah Wetfix-Be pada Perkerasan Hotmix dan Warmix

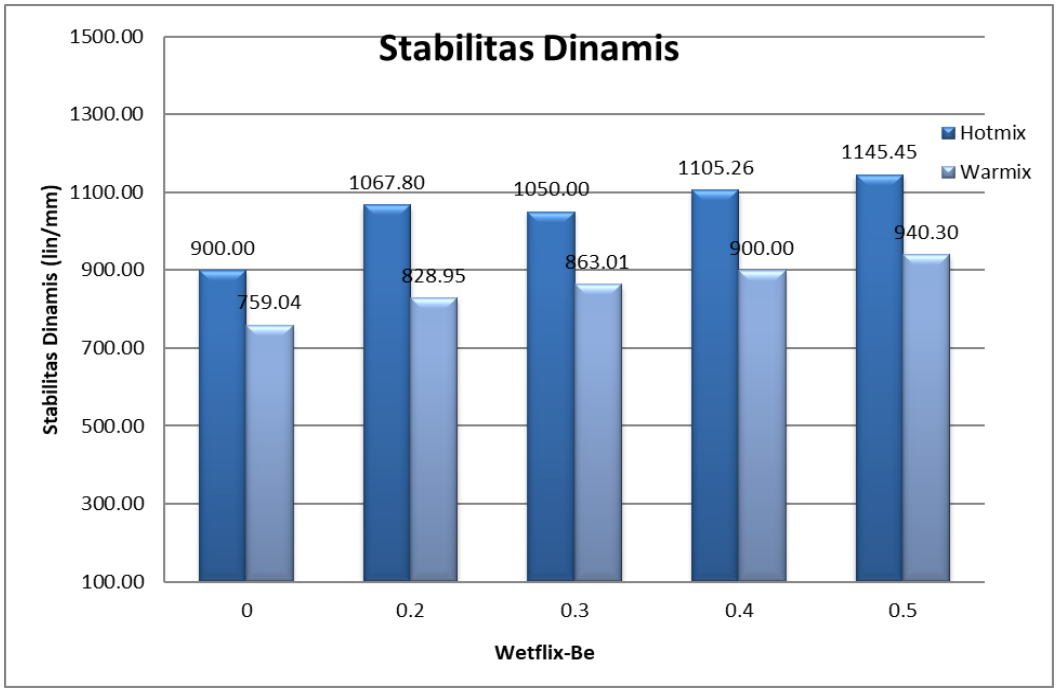
Hasil perbandingan bahan tambah Wetfix-Be terhadap total deformasi pada perkerasan Hotmix dan Warmix menunjukkan bahwa penambahan Wetfix-Be mampu mengurangi tingkat deformasi yang terjadi pada campuran aspal. Secara umum, baik pada campuran Hotmix maupun Warmix, peningkatan persentase Wetfix-Be dari 0% hingga batas optimum menyebabkan penurunan nilai total deformasi. Hal ini disebabkan oleh fungsi Wetfix-Be sebagai anti stripping agent yang meningkatkan adhesi antara aspal dan agregat, sehingga lapisan perkerasan menjadi lebih stabil dan tahan terhadap pengaruh beban berulang maupun suhu tinggi. Namun, pada kadar tertentu, misalnya di atas kadar optimum, penurunan deformasi cenderung tidak signifikan atau bahkan meningkat sedikit karena kelebihan bahan tambah dapat mempengaruhi elastisitas campuran. Secara keseluruhan, campuran Warmix dengan Wetfix-Be menunjukkan deformasi yang sedikit lebih tinggi dibanding Hotmix karena proses pencampuran pada suhu lebih rendah menghasilkan ikatan yang tidak sekuat Hotmix, meskipun masih dalam batas yang memenuhi standar kinerja perkerasan.




**Gambar 1 Hasil Perbandingan Total Deformasi dengan Perkerasan Hotmix dan Warmix**

**Gambar 1** menunjukkan bahwa hubungan antara persentase bahan tambahan Wetfix-Be terhadap total deformasi pada campuran Hotmix dan Warmix. Terlihat bahwa peningkatan kadar Wetfix-Be dari 0% hingga 0,5% menyebabkan penurunan total deformasi pada kedua jenis campuran. Pada kadar 0%, deformasi tertinggi terjadi, yaitu 3,86 mm untuk Hotmix dan 4,51 mm untuk Warmix. Namun, seiring bertambahnya kadar Wetfix-Be, deformasi menurun hingga mencapai nilai terendah pada kadar 0,5%, yaitu 2,90 mm untuk Hotmix dan 3,34 mm untuk Warmix. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan Wetfix-Be meningkatkan ketahanan terhadap deformasi (rutting) baik pada campuran Hotmix maupun Warmix, dengan Hotmix secara konsisten menunjukkan deformasi yang lebih kecil dibanding Warmix.

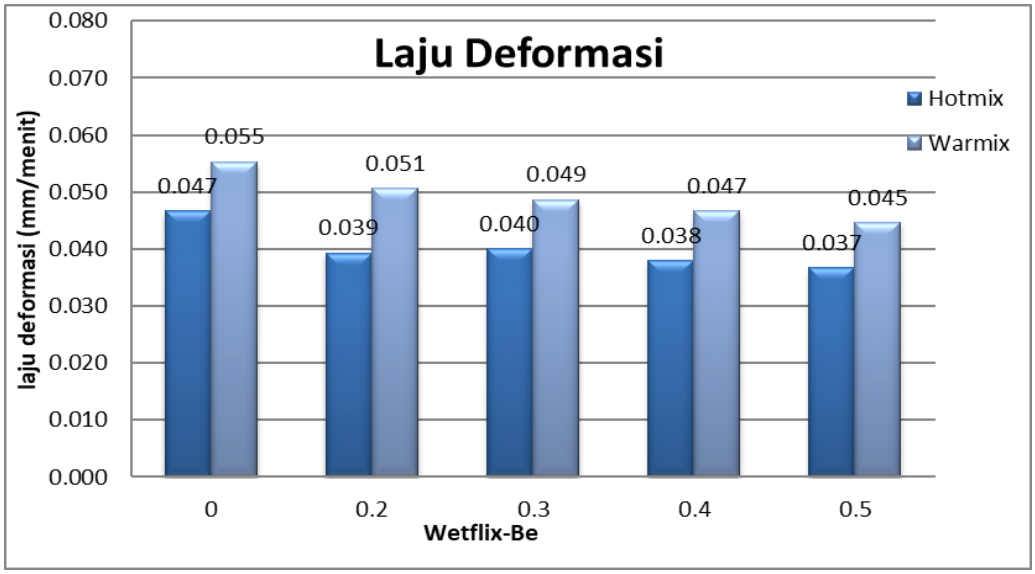
Hasil perbandingan penggunaan bahan tambah Wetfix-Be terhadap stabilitas dinamis pada perkerasan Hotmix dan Warmix menunjukkan bahwa penambahan Wetfix-Be secara umum meningkatkan kemampuan campuran aspal dalam menahan deformasi akibat beban berulang. Dengan meningkatnya kadar Wetfix-Be, nilai stabilitas dinamis pada kedua jenis campuran mengalami peningkatan, yang berarti campuran menjadi lebih kuat dan lebih tahan terhadap alur (rutting). Peningkatan ini disebabkan oleh peran Wetfix-Be yang berfungsi sebagai bahan anti-striping, memperbaiki ikatan antara agregat dan aspal sehingga struktur campuran menjadi lebih padat dan stabil. Secara keseluruhan, campuran Hotmix cenderung memiliki nilai stabilitas dinamis yang lebih tinggi dibanding Warmix, karena suhu pencampuran yang lebih tinggi pada Hotmix menghasilkan ikatan aspal-agregat yang lebih sempurna. Dengan demikian, penambahan Wetfix-Be terbukti efektif dalam meningkatkan stabilitas dinamis dan memperpanjang umur layanan perkerasan baik pada teknologi Hotmix maupun Warmix.




**Gambar 2 Hasil Perbandingan Stabilitas Dinamis dengan Perkerasan Hotmix dan Warmix**

**Gambar 2** menunjukkan bahwa hubungan antara persentase bahan tambah Wetfix-Be terhadap stabilitas dinamis pada perkerasan Hotmix dan Warmix. Terlihat bahwa nilai stabilitas dinamis meningkat seiring dengan bertambahnya kadar Wetfix-Be pada kedua jenis campuran. Pada campuran Hotmix, stabilitas dinamis meningkat dari 900,00 in/mm tanpa bahan tambah menjadi 1145,45 in/mm pada kadar 0,5% Wetfix-Be. Sementara itu, pada Warmix, nilainya juga meningkat dari 759,04 in/mm menjadi 940,30 in/mm pada kadar yang sama. Peningkatan ini menunjukkan bahwa penambahan Wetfix-Be mampu memperbaiki ketahanan deformasi plastis pada kedua jenis campuran, dengan efek yang lebih signifikan pada Hotmix dibandingkan Warmix. Hal ini disebabkan karena suhu pencampuran yang lebih tinggi pada Hotmix membuat bahan tambah lebih menyatu sempurna dengan aspal, sehingga menghasilkan stabilitas dinamis yang lebih tinggi.

Hasil perbandingan pengaruh bahan tambah Wetfix-Be terhadap laju deformasi pada perkerasan Hotmix dan Warmix menunjukkan bahwa penambahan bahan ini mampu menurunkan laju deformasi pada kedua jenis campuran. Semakin tinggi kadar Wetfix-Be yang digunakan, laju deformasi cenderung semakin kecil, yang berarti campuran menjadi lebih stabil terhadap beban berulang. Pada campuran Hotmix, penurunan laju deformasi lebih signifikan dibandingkan Warmix karena suhu pencampuran yang lebih tinggi membantu proses adhesi antara aspal dan agregat berjalan lebih sempurna, sehingga menghasilkan struktur campuran yang lebih padat dan kuat. Sementara pada Warmix, meskipun penurunan laju deformasi juga terjadi, hasilnya sedikit lebih rendah karena suhu pencampurannya yang lebih rendah membuat penyebaran bahan tambah kurang maksimal. Secara keseluruhan, penggunaan Wetfix-Be terbukti efektif dalam meningkatkan ketahanan deformasi plastis dan mengurangi potensi alur pada perkerasan aspal, terutama pada campuran Hotmix.

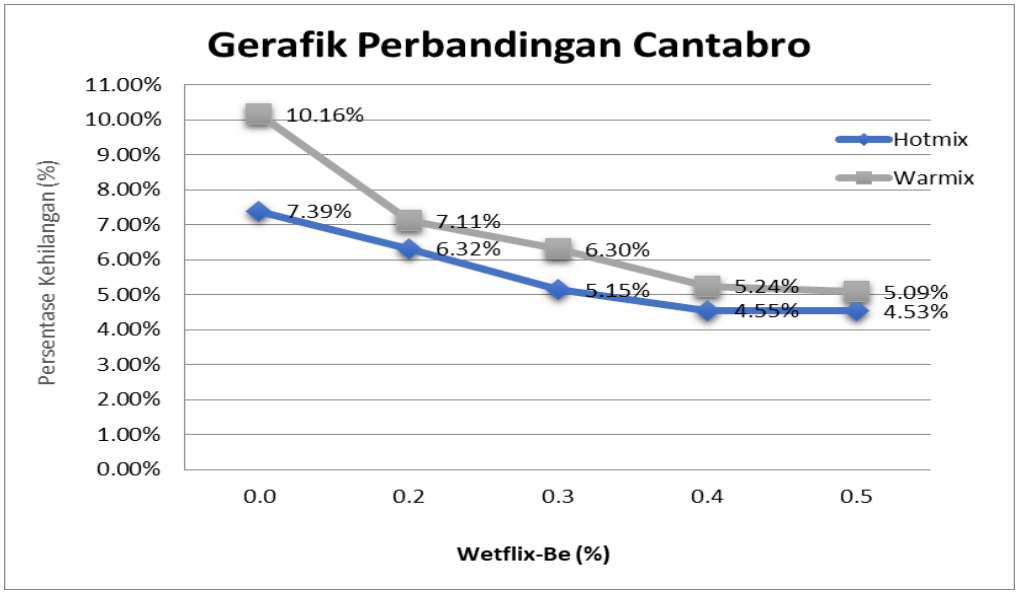



**Gambar 3 Hasil Perbandingan Laju Deformasi dengan Perkerasan Hotmix dan Warmix**

**Gambar 3** menunjukkan bahwa hubungan antara persentase bahan tambah Wetfix-Be terhadap laju deformasi pada perkerasan Hotmix dan Warmix. Terlihat bahwa penambahan Wetfix-Be menyebabkan penurunan laju deformasi pada kedua jenis campuran. Pada campuran Hotmix, laju deformasi menurun dari 0,047 mm/menit tanpa bahan tambah menjadi 0,037 mm/menit pada kadar 0,5% Wetfix-Be. Sementara itu, pada Warmix, laju deformasi juga menurun dari 0,055 mm/menit menjadi 0,045 mm/menit pada kadar yang sama. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin banyak Wetfix-Be yang ditambahkan, campuran menjadi lebih tahan terhadap perubahan bentuk akibat beban berulang. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa bahan tambah Wetfix-Be mampu meningkatkan kekakuan dan daya tahan terhadap deformasi plastis, dengan efek yang lebih baik pada campuran Hotmix karena proses pencampuran pada suhu lebih tinggi membantu distribusi bahan tambah lebih merata di dalam campuran.

## G. Analisis dan Hasil Pengujian Keusan dengan Menggunakan Bahan Tambah Wetfix-Be pada Perkerasan Hotmix dan Warmix

Hasil perbandingan persentase kehilangan keausan pada perkerasan Hotmix dan Warmix menunjukkan bahwa penambahan bahan tambah Wetfix-Be berpengaruh signifikan terhadap ketahanan terhadap keausan kedua jenis perkerasan tersebut. Pada perkerasan Hotmix, peningkatan persentase Wetfix-Be cenderung menurunkan nilai kehilangan keausan, menunjukkan peningkatan daya tahan permukaan terhadap abrasi. Sementara itu, pada perkerasan Warmix, tren yang sama terlihat, meskipun penurunan keausan relatif lebih stabil dan tidak setajam pada Hotmix. Hal ini menunjukkan bahwa Wetfix-Be efektif meningkatkan ketahanan keausan pada kedua jenis perkerasan, dengan Hotmix menunjukkan respons yang sedikit lebih sensitif terhadap penambahan bahan tambah dibandingkan Warmix. Secara keseluruhan, penggunaan Wetfix-Be dapat meningkatkan umur pakai perkerasan dengan mengurangi persentase kehilangan keausan.




**Gambar 4 Perbandingan persentase kehilangan keausan dengan Bahan Tambah Wetfix-Be terhadap Perkerasan Hotmix dan Warmix**

Gambar 4 menunjukkan bahwa hubungan grafik di atas menunjukkan perbandingan keausan antara perkerasan Hotmix dan Warmix dengan variasi kadar bahan tambah Wetfix-Be dari 0% hingga 0,5%. Terlihat bahwa baik pada Hotmix maupun Warmix, persentase kehilangan (keausan) menurun seiring dengan bertambahnya kadar Wetfix-Be. Pada kadar 0%, keausan tertinggi terjadi dengan nilai 7,39% untuk Hotmix dan 10,16% untuk Warmix, menandakan bahwa tanpa bahan tambah, ketahanan aus campuran lebih rendah. Namun, setelah penambahan Wetfix-Be hingga 0,5%, keausan turun signifikan menjadi 4,53% untuk Hotmix dan 5,09% untuk Warmix. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan Wetfix-Be mampu meningkatkan daya tahan campuran terhadap keausan, dengan performa Hotmix sedikit lebih baik dibanding Warmix pada setiap variasi kadar bahan tambah.

## 4. PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh penambahan Wetfix-Be pada perkerasan Hotmix dan Warmix, dapat disimpulkan bahwa Wetfix-Be secara signifikan meningkatkan kinerja campuran aspal, baik dari segi stabilitas, flow, Marshall Quotient, maupun parameter volumetrik. Pada campuran Hotmix, penambahan Wetfix-Be mencapai kadar optimum 0,32%, yang meningkatkan stabilitas dan menurunkan flow, dengan peningkatan Marshall Quotient sebesar 67,27%. Sementara pada campuran Warmix, kadar optimum 0,41% juga menunjukkan peningkatan stabilitas dan penurunan flow, meskipun hasilnya sedikit lebih rendah dibandingkan Hotmix. Keduanya memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi II. Selain itu, Wetfix-Be terbukti efektif meningkatkan ketahanan deformasi dan keausan, dengan Hotmix menunjukkan penurunan deformasi dan laju deformasi yang lebih baik dibandingkan Warmix, serta peningkatan ketahanan keausan yang signifikan, terutama pada kadar optimum Wetfix-Be 0,32-0,41%. Secara keseluruhan, Wetfix-Be meningkatkan daya lekat antara aspal dan agregat, menghasilkan campuran yang lebih stabil, padat, dan tahan terhadap deformasi serta keausan, meskipun Hotmix secara konsisten menunjukkan performa yang lebih baik daripada Warmix.

## 5. DAFTAR PUSTAKA


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

Almayana, A., & Alwi. (2022). Analisis Uji Ketahanan Deformasi pada Campuran Aspal Beton dengan Bahan Anti Stripping Astive-05 terhadap Variasi Temperatur. Journal, Vol. 02, No. 02.

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

Amba, N. K., H, S. M., & Syarkawi, M. T. (2025). Kajian Titik Rawan Kecelakaan Lalu Lintas di Kota Baubau. Jurnal Flyover, 5(1), 153–164. https://doi.org/10.52103/JFO.V5I1.2225

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.

Andi Alifuddin. (2018). Pengaruh Penggunaan Serat Ijuk pada Campuran beton Aspal Dengan Metode Kepadatan Mutlak Terhadap Peningkatan Tegangan Tarik. 48–50.https://repository.ub.ac.id/id/eprint/186240

Anni, S., & Susilowati, Ekowiyono. (2019). Variasi Suhu Pemadatan pada Campuran Beton Aspal Menggunakan Bahan Tambah Anti Stripping. Journal, Volume 1, No. 1, Maret 2019.

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

D'Angelo, J., Harm, E., Bartoszek, J., Baumgardner, G., Corrigan, M., Cowsert, J., Harman, T., Jamshidi, M., Jones, W., Newcomb, D., Prowell, B., Sines, R., & Yeaton, B. (2008). Warm-Mix Asphalt: European Practice. Federal Highway Administration Report No. FHWA-PL-08-007. Washington, DC.

Fhwa. InternatIonal Technology ScannIng PrograM Warm-Mix Asphalt : European Practice. www.international.fhwa.dot.gov.

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

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

Jannah, M., Badaron, F., & Syarkawi, M. T. (2024). Pengaruh Parkir di Badan Jalan Terhadap Kinerja Jalan. Jurnal Flyover, 4(1), 35–45. https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2156

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

K, M. R., Maryam, S. H., & Syafei, I. (2024). Analisis Faktor yang Mempengaruhi Tingkat Keselamatan Jalan di Kota Makassar. Jurnal Flyover, 4(1), 60–69. https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2165

Kakar, M. R., Hamzah, M. O. & Valentin, J. A review on moisture damages of hot and warm mix asphalt and related investigations. Journal of Cleaner Production vol. 99 39–58 Preprint at https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.03.028 (2015).

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., & Jihad, A. (2024). Analisis Integrasi Angkutan Kota sebagai Feeder Angkutan Bus Trans Mamminasata Berdasarkan Tujuan dan Sebaran Pergerakan. Jurnal Kridatama Sains Dan Teknologi, 6(01), 99–112. https://doi.org/10.53863/KST.V6I01.1015

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).

Khadijah, A. N., H, S. M., Syarkawi, M. T., & Kasim, M. R. (2025). Kajian Dampak Lalu Lintas akibat Adanya Kawasan Pasar Tradisional terhadap Kinerja Ruas Jalan Provinsi. Jurnal Flyover, 5(1), 1–12. https://doi.org/10.52103/JFO.V5I1.2158

Lin, F., Huang, Y., & Chen, X. (2020). Comparative study of hot and warm mix asphalt with anti-stripping agents under freeze-thaw cycles. Construction and Building Materials, 243, 118281.

Mahfud, Said, L. B., & Syarkawi, M. T. (2025). Kajian Kinerja Operasional Layanan Angkutan Umum terhadap Kepuasan Pengguna di Kota Mamuju Provinsi Sulawesi Barat. Jurnal Flyover, 5(1), 58–69. https://doi.org/10.52103/JFO.V5I1.2163

Mardin, N. I., Said, L. B., & H, S. M. (2025). Kajian Dampak Penerapan Intelligent Transportation System (ITS) terhadap Efisiensi Sistem Transportasi di Kota Makassar. Jurnal Flyover, 5(1), 127–138. https://doi.org/10.52103/JFO.V5I1.2223

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, 61.https://media.neliti.com/media/publications/518935-none-17a7d352.pdfb

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

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, F. R., & Muhammad, T. (2018). Analisis Deformasi pada Campuran Aspal Beton Menggunakan Derbo dan Wetfix. OJS Unanda, Volume 6, Nomor 2, September 2021. http://ojs.unanda.ac.id/index.php/jiit/issue/view/92

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. https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/3188

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

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

Paisal, A., Massara, A., & Badaron, S. F. (2024). Kajian Pemilihan Moda Transportasi dengan Metode Discrete Choice Model. Jurnal Flyover, 4(1), 46–59. https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2157

Pramesti, F. P., & Suparma, L. B. (2020). Evaluasi pengaruh anti stripping terhadap keawetan campuran aspal panas dan hangat. Jurnal Transportasi, 20(3), 163-172.

Radam, I. F. (2021). Pengaruh Penambahan Bahan Aditive Anti Stripping Terhadap Kinerja Campuran Aspal. Diploma Tesis, Universitas Dharma Andalas.

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

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

Setiawan, A., & Boesono, H. (2021). Analisis kinerja campuran aspal hangat dengan variasi kadar anti stripping terhadap ketahanan deformasi. Jurnal Rekayasa Sipil, 15(1), 54-62.

Shafabakhsh, G. A., & Ahmadi, S. (2020). Evaluation of rutting performance of hot and warm mix asphalt containing anti-stripping additives. Construction and Building Materials, 254, 119022.

Silvia Sukirman, Buku Perkerasan “Beton Aspal Campuran Panas” (Jakarta, Granit, 2003) diakses dari http://ebook.itenas.ac.id/repository/9df74dd5f5afcf366e0fffb21e5a8a92.pdf

Simanjuntak, R. A., & Radam, I. F. (2021). Pengaruh Penambahan Bahan Aditive Anti Stripping Terhadap Kinerja Campuran Aspal. Jurnal Rivet, 1(02), 99-108.

Sinnen Tanggulungan, F., Maryam, S., & Syafei, I. (2024). Kajian Keberadaan Putaran Median antara Kampus UMI dan Mall Nipah terhadap Kemacetan di Kota Makassar. Jurnal Flyover, 4(1), 155–166. https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2174

Sukirman, S. (2003). Perkerasan Lentur Jalan Raya. Bandung: Nova.

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

Sunarjono, S., & Hidayati, N. (2018). Pengaruh penambahan aditif anti-stripping pada campuran beraspal panas dan hangat terhadap ketahanan deformasi. Dinamika Teknik Sipil, 18(2), 135-143.

Syaifullah, Supardi, S., & Fauziah Badaron, S. (2024). Kajian Lokasi Rawan Kecelakaan Lalu Lintas. Jurnal Flyover, 4(1), 12–24. https://doi.org/10.52103/JFO.V4I1.2154

Witczak, M. W., Kaloush, K., Pellinen, T., El-Basyouny, M., & Von Quintus, H. (2002). Simple Performance Test for Superpave Mix Design. NCHRP Report 465. Transportation Research Board.

Zhang, J., & Tao, M. (2021). Deformation resistance of hot and warm mix asphalt mixtures with anti-stripping agents. Journal of Materials in Civil Engineering, 33(4), 04021038.

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