

ANALISIS VARIASI KADAR ASPAL OPTIMUM MELALUI MARSHALL TEST MENURUT ASPHALT INSTITUTE MS-2 EDISI III D

(Toni Budi Santoso, M. Zainul Ikhwan, Zainuddin, Sujiat, Bella Lutfiani Al Zakina, Mrabawani Insan Rendra)

ANALISIS KADAR ASPAL OPTIMUM MELALUI MARSHALL TEST MENURUT ASPHALT INSTITUTE MS-2 EDISI III D

Toni Budi Santoso^{1*}, M. Zainul Ikhwan², Zainuddin³, Sujiat⁴, Bella Lutfiani Al Zakina⁵, Mrabawani Insan Rendra⁶

¹⁻⁶Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro
Jalan Lettu Suyitno No 2 Kalirejo Bojonegoro 62119

E-mail: prawoto.poni@email.com^{1*}, zaeny.ikhwan@gmail.com², zain.unig@gmail.com³, sujiatmaibit@gmail.com⁴, bellalutfiani.alzakina01@gmail.com⁵, M.insanrendra@gmail.com⁶

(Artikel dikirim: 26 Juni 2025, Direvisi: 15 Juli 2025, Diterima: 28 Juli 2025)

DOI: <http://dx.doi.org/10.30742/axial.v13i2.4620>

ABSTRAK: Konstruksi perkerasan jalan yang berkualitas sangat dipengaruhi oleh komposisi campuran antara agregat dan aspal yang tepat. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan kadar aspal optimum menggunakan metode marshall, yang bertujuan menghasilkan campuran beraspal dengan stabilitas tinggi, *flow* sesuai spesifikasi, dan *durability* baik terhadap beban lalu lintas berat. Metode yang digunakan meliputi pemeriksaan karakteristik agregat dan aspal, uji CBR dan DCPT untuk menentukan daya dukung tanah dasar, serta pengujian campuran dengan marshall test. Hasil pengujian menunjukkan bahwa agregat memiliki gradasi baik dan memenuhi persyaratan teknis, sementara aspal jenis 60/70 menunjukkan penetrasi rata-rata 62,7, daktilitas 144,5 cm, dan titik lembek 57,5°C. Kadar aspal optimum diperoleh 5,85% dan nilai stabilitas maksimum sebesar 5,5%, *flow*, dan kadar rongga yang sesuai spesifikasi. Kesimpulannya, metode marshall efektif digunakan dalam menentukan komposisi campuran beraspal yang optimal untuk perkerasan jalan yang kuat dan tahan lama.

KATA KUNCI : *Hot Mix Asphalt, Kadar Aspal Optimum, Marshall Stability, Void and Mineral Agregate.*

1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan yang berkualitas merupakan salah satu faktor kritis dalam menunjang kelancaran transportasi dan pertumbuhan ekonomi (Darmawan et al., 2025; Budi Santoso et al., 2023). Salah satu material utama dalam pembuatan campuran beraspal adalah aspal, yang berfungsi sebagai pengikat agregat sehingga membentuk lapisan yang kuat dan tahan lama (Dan et al., 2025). Kadar aspal optimum (KAO) menjadi parameter penting dalam perancangan campuran, karena berpengaruh signifikan terhadap kinerja perkerasan, termasuk ketahanan terhadap beban lalu lintas, deformasi, dan retak (Shehu et al., 2023; Shehu et al., 2024).

Aspal merupakan material hidrokarbon yang bersifat viskoelastis, lengket (*adhesive*), dan kedap air, sehingga banyak digunakan sebagai bahan pengikat (*binder*) dalam konstruksi perkerasan jalan (Nouali et al., 2025). Secara alami, aspal dapat ditemukan dalam bentuk deposit alam (seperti di Trinidad Lake dan La Brea Tar Pits), namun sebagian besar aspal yang digunakan saat ini merupakan hasil olahan dari minyak bumi melalui proses distilasi. Material ini memiliki peran krusial dalam pembuatan campuran beraspal (*hot mix asphalt/HMA*), karena berfungsi melapisi dan merekatkan agregat (batu pecah, pasir, dan *filler*) menjadi

suatu struktur yang kompak dan tahan beban (Sun, Wijepala, et al., 2025; Hie et al., 2022; Le et al., 2024).

Penggunaan aspal dalam konstruksi jalan telah dikenal sejak ribuan tahun lalu, dimulai dari peradaban Mesopotamia dan Babilonia yang memanfaatkan material bitumen alam untuk membangun jalan dan bangunan. Seiring perkembangan teknologi, aspal modern kini dirancang dengan berbagai modifikasi untuk meningkatkan kinerjanya, seperti aspal modifikasi polimer (PMB/*Polymer Modified Bitumen*) dan aspal keras (Pen 60/70, Pen 80/100) yang disesuaikan dengan kebutuhan iklim dan beban lalu lintas (Zhou et al., 2025; Haque et al., 2025).

Salah satu tantangan utama dalam penggunaan aspal adalah menentukan kadar yang optimal dalam campuran perkerasan. Jika kadar aspal terlalu rendah, campuran menjadi kaku dan rentan terhadap retak (*cracking*) (Z. Zhang et al., 2025; Hie et al., 2022). Sebaliknya, jika kadar aspal berlebihan, campuran dapat menjadi terlalu plastis sehingga mudah mengalami deformasi (*rutting*) di bawah beban lalu lintas berat. Oleh karena itu, berbagai metode pengujian laboratorium, seperti marshall test, uji stabilitas hveem, dan *superpave gyratory compactor*, dikembangkan untuk memastikan campuran

aspal memenuhi kriteria kekuatan, keawetan, dan ketahanan terhadap cuaca (Liu et al., 2025; Jitsangiam et al., 2023).

Di Indonesia, dengan kondisi iklim tropis yang lembap dan intensitas hujan tinggi, degradasi aspal akibat oksidasi dan paparan air menjadi masalah serius. Selain itu, meningkatnya volume kendaraan berat seperti truk dan bus menuntut penggunaan campuran aspal yang lebih unggul dalam hal stabilitas, fleksibilitas, dan ketahanan kelelahan (*fatigue resistance*). Oleh karena itu, penelitian terkait karakteristik aspal, termasuk pengaruh kadar aspal optimum terhadap kinerja campuran, menjadi sangat relevan untuk mendukung pembangunan infrastruktur jalan yang berkelanjutan (Chen et al., 2025).

Lalu lintas berat, seperti kendaraan niaga dan truk kontainer, memberikan beban dinamis yang tinggi terhadap perkerasan jalan. Jika kadar aspal tidak dirancang dengan tepat, campuran beraspal dapat mengalami kerusakan prematur seperti *rutting*, *fatigue cracking*, atau *stripping* (Sha et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan metode yang akurat untuk menentukan kadar aspal optimum yang mampu menahan beban berat sekaligus memenuhi persyaratan keawetan. Lalu lintas berat merujuk pada arus kendaraan bermotor yang didominasi oleh kendaraan niaga berukuran besar, seperti truk kontainer, truk gandeng, bus, dan kendaraan berat lainnya yang memberikan beban signifikan terhadap infrastruktur jalan (Sun, Zhang, et al., 2025). Pertumbuhan ekonomi, industrialisasi, dan aktivitas logistik yang semakin intensif telah menyebabkan peningkatan volume lalu lintas berat, terutama di jalur-jalur utama penghubung antar kota, pelabuhan, dan kawasan industri. Kondisi ini menuntut perkerasan jalan yang dirancang khusus untuk menahan beban dinamis tinggi serta dampak gesekan dan tekanan yang lebih besar dibandingkan dengan lalu lintas ringan (Huang et al., 2025).

Beban kendaraan berat memiliki pengaruh yang jauh lebih destruktif terhadap jalan daripada kendaraan ringan. Menurut AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), efek kerusakan jalan akibat satu kendaraan berat setara dengan ribuan kendaraan ringan (Wang et al., 2024). Hal ini disebabkan oleh hukum keempat kekuatan aksial (*Fourth Power Law*), yang menyatakan bahwa kerusakan perkerasan berbanding lurus dengan beban gandar (*axle load*) pangkat empat. Sebagai contoh, truk dengan beban gandar 8 ton memberikan dampak kerusakan 16 kali lebih besar dibandingkan beban gandar 4 ton (Le et al., 2024). Fenomena ini menyebabkan percepatan degradasi jalan, seperti munculnya alur roda

(*rutting*), retak lelah (*fatigue cracking*), dan deformasi permanen jika struktur perkerasan tidak dirancang dengan tepat (Ma et al., 2024; Karimi et al., 2024).

Di Indonesia, lalu lintas berat semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan sektor logistik dan perdagangan. Jalan nasional seperti jalur Pantura (Pantai Utara Jawa) dan ruas Trans-Sumatera kerap mengalami kerusakan dini akibat beban berlebih (*overloading*) dan frekuensi kendaraan berat yang tinggi. Selain itu, iklim tropis dengan curah hujan tinggi memperburuk kondisi jalan karena infiltrasi air dapat melemahkan lapisan pondasi dan mempercepat terjadinya *stripping* pada campuran beraspal. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan khusus dalam desain perkerasan, termasuk pemilihan material berkualitas tinggi, ketebalan lapisan yang memadai, dan kadar aspal optimum yang mampu menahan beban repetitif.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi kadar aspal optimum melalui Marshall Test sesuai standar *Asphalt Institute* III-D, dengan fokus pada campuran yang dirancang untuk menahan beban lalu lintas berat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis dalam perencanaan campuran beraspal yang lebih durable dan ekonomis, sehingga dapat mengurangi risiko kerusakan dini pada jalan dengan intensitas lalu lintas tinggi. Dengan demikian, studi ini tidak hanya relevan secara praktis bagi industri konstruksi jalan, tetapi juga memberikan kontribusi dalam pengembangan metode optimalisasi campuran aspal untuk kondisi pembebanan ekstrem.

2. METODE PENELITIAN

Untuk mengantisipasi dampak lalu lintas berat, berbagai standar perencanaan jalan seperti Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan Pedoman Perencanaan Perkerasan Jalan (Pd T-14-2003) menetapkan ketentuan khusus terkait ketebalan perkerasan, kekuatan material, dan metode pengujian. Salah satu metode yang umum digunakan untuk mengevaluasi kinerja campuran aspal adalah marshall test, yang mengukur parameter stabilitas, kelelahan (*flow*), dan kepadatan untuk menentukan kadar aspal optimum (Shi et al., 2023). Dengan memahami karakteristik lalu lintas berat dan pengaruhnya terhadap perkerasan, diharapkan dapat dikembangkan solusi konstruksi yang lebih tahan lama dan ekonomis dalam jangka panjang.

Marshall test merupakan salah satu metode pengujian yang umum digunakan untuk mengevaluasi karakteristik campuran aspal,

ANALISIS VARIASI KADAR ASPAL OPTIMUM MELALUI MARSHALL TEST MENURUT ASPHALT INSTITUTE MS-2 EDISI III D

(Toni Budi Santoso, M. Zainul Ikhwan, Zainuddin, Sujiat, Bella Lutfiani Al Zakina, Mrabawani Insan Rendra)

termasuk stabilitas, kelelahan (*flow*), kepadatan, dan *void properties* (Sobhkhiz et al., 2025; Bhatt & Wu, 2025; Del-valle-corte et al., 2025). Berdasarkan *Asphalt Institute MS-2 (Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types)* Edisi III-D, metode ini memberikan panduan komprehensif dalam menentukan kadar aspal optimum berdasarkan parameter Marshall (Heydari et al., 2023). Analisis variasi KAO melalui pengujian ini dapat memberikan gambaran yang lebih mendalam tentang pengaruh kadar aspal terhadap performa campuran, khususnya dalam menghadapi pembebanan lalu lintas berat (Y. Zhang et al., 2023). Salah satu kontribusi penting *Asphalt Institute MS-2 Edisi III-D* adalah penyesuaian terhadap perkembangan beban lalu lintas modern, termasuk lalu lintas berat dengan konfigurasi gandar yang kompleks. Pedoman ini memberikan kriteria desain yang berbeda berdasarkan klasifikasi lalu lintas (ringan, menengah, dan berat), serta mempertimbangkan faktor lingkungan seperti suhu ekstrem dan kelembapan. Selain itu, MS-2 Edisi III-D juga memperkenalkan pendekatan yang lebih rinci dalam mengevaluasi karakteristik volumetrik campuran, seperti *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*, *Voids Filled with Asphalt (VFA)*, dan *density*, yang sangat berpengaruh terhadap durabilitas campuran aspal (Camargo et al., 2022; Shafabakhsh et al., 2025).

Jenis penelitian berupa eksperimental dan kuantitatif yang dilakukan di laboratorium. Penelitian eksperimental dengan melakukan uji laboratorium marshall test dengan variasi kadar aspal untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO). Kemudian penelitian kuantitatif memvalidasi hasil melalui pengujian kinerja campuran (stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA). Pendekatan penelitian menggunakan pendekatan volumetrik, mekanis, komparatif dan pendekatan simulasi beban. Pendekatan volumetrik dengan menganalisa hubungan antar kadar aspal dengan parameter *Void in Mix (VIM)*, *Void in Mineral Aggregate (VMA)*, dan *Void Filled with Asphalt (CFA)*. Kemudian memastikan campuran memenuhi kriteria *Asphalt Institute MS-2 Edisi III-D* untuk lalu lintas berat (misal: VMA $\geq 14\%$, VFA 65–75%). Pendekatan mekanis dengan mengevaluasi kekuatan campuran melalui stabilitas Marshall (minimum 8 kN untuk lalu lintas berat) dan mengaitkan hasil dengan ketahanan terhadap deformasi (*rutting*) dan retak fatik. Kemudian pendekatan komparatif dengan membandingkan kadar aspal optimum dari

berbagai variasi untuk menentukan yang paling optimal. Pendekatan simulasi beban berupa mensimulasikan kondisi lalu lintas berat melalui uji marshall (75 tumbukan/sisi sesuai MS-2).

Jenis sampel tersusun oleh material berupa agregat dengan gradasi (*dense-graded*) ukuran maksimum 19 mm (sesuai spesifikasi MS-2) dan aspal dengan penetrasi 60/70 (umum digunakan untuk lalu lintas berat). Variasi kadar aspal 4.2%, 4.7%, 5.2%, 5.7%, dan 6.2% (dari total berat campuran) dengan masing-masing variasi menggunakan 3 sampel benda uji. Sampel berbentuk *silinder marshall* (diameter 101.6 mm, tinggi 63.5 mm) sesuai ASTM D6927.

Teknik pengambilan sampel yang pertama adalah sampling agregat, ambil agregat dari quarry yang memenuhi spesifikasi (gradasi, kekerasan, kebersihan). Lakukan *splitting* dan *quartering* untuk mendapatkan sampel homogen. Keringkan agregat pada suhu 110°C hingga berat konstan. Untuk aspal sendiri dipanaskan pada suhu 150–160°C hingga mencair sempurna. Selanjutnya melakukan gradasi dan uji fisik dan dilanjutkan dengan pencampuran dengan aspal. Pada proses pencampuran agregat dan aspal dipanaskan pada suhu 160–170°C (agregat) dan 150°C (aspal). Campur agregat dan aspal secara merata berdasarkan variasi kadar aspal dan dilanjutkan dengan pemadatan dengan jumlah tumbukan 75 kali. Untuk setiap variasi campuran menggunakan masing-masing 3 sampel, karena ASTM D6927 merekomendasikan minimal sampel per variasi adalah 3. Barulah pada teknik terakhir berupa uji marshall.

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan data dari hasil uji laboratorium. Analisis awal dilakukan untuk mengetahui daya dukung subgrade dengan menggunakan uji CBR (ASTM D1883) dan DPCPT (AASHTO 2001). Kemudian dilakukan analisis lanjutan terhadap mutu bahan yang berupa agregat dan aspal. Analisis terhadap aspal berupa penetrasi (ASTM D5), *daktalitas* (ASTM D113), titik nyala dan titik lembek (ASTM D36). Kemudian untuk analisis agregat berupa analisa ayakan agregat kasar dan halus (ASTM C136), berat jenis (ASTM C127) dan *absorpsi* agregat kasar dan halus (SNI 03-1990), uji aus dengan menggunakan *Los Angeles Abrasion Test* (ASTM C131). Setelah semua selesai dan terpenuhi, langkah terakhir adalah dengan melakukan uji marshall (ASTM D6927) dan pengklasifikasian hasil terhadap spesifikasi *Asphalt Institute MS-2 Edisi III D*. Secara garis

besar alur penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Analisa saringan
(Sumber : Hasil Penelitian)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mengingat fungsi dari perkerasan jalan yang sangat penting, maka perlu diadakan pemeriksaan terhadap bahan-bahan yang digunakan di laboratorium sehingga dapat dihasilkan suatu konstruksi perkerasan jalan yang baik (sesuai mutu/kelas jalan yang diminta) dan mempunyai nilai yang tinggi. Pada penelitian ini dilaporkan beberapa percobaan dan pengujian yang dilakukan dalam merencanakan perkerasan jalan.

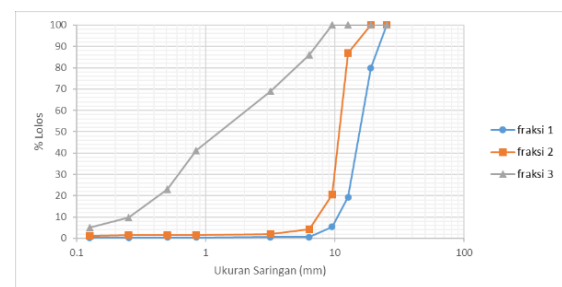
Pemeriksaan laboratorium yang dilaksanakan ini pada dasarnya terbagi dalam tiga bagian, yaitu pemeriksaan agregat, pemeriksaan aspal, pemeriksaan campuran aspal dan agregat. Pada pemeriksaan terhadap agregat dilakukan serangkaian percobaan untuk menentukan antara lain berat jenis dan kekuatan dari agregat tersebut. Serta percobaan untuk mengetahui gradasi agregat yang digunakan untuk menentukan persentase masing-masing fraksi agregat yang akan digunakan dalam campuran lapisan perkerasan jalan.

Pada pemeriksaan aspal, dilakukan beberapa tes antara lain tes penetrasi, titik lembek, daktilitas

dan lain-lain. Maksud dari pemeriksaan aspal ini adalah untuk mengetahui dan melakukan kontrol sifat dan kekuatan aspal.

Sedangkan pada pemeriksaan campuran aspal dan agregat, dipergunakan “*Marshall Test*” untuk mengetahui kekuatan dari bahan campuran bila dibebani secara aksial. Kemudian dapat diketahui prosentase aspal yang paling baik untuk mendapatkan daya dukung yang optimum dari perkerasan jalan.

Pemeriksaan analisa saringan agregat sebagai analisa awal untuk mengetahui ukuran butiran agar dapat menentukan komposisi campuran agregat yang memenuhi spesifikasi. Hasil analisa saringan dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Analisa saringan
(Sumber : Hasil Penelitian)

Fraksi 1 merupakan hasil dari agregat kasar, fraksi 2 merupakan hasil dari agregat sedang dan fraksi 3 adalah hasil dari agregat halus. Dari hasil analisa diketahui bahwa campuran agregat tersebut memiliki gradasi baik (*well graded*) dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus. Campuran dengan gradasi baik memiliki stabilitas yang tinggi, agak kedap terhadap air dan memiliki berat isi yang besar. Selanjutnya dilakukan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar. Benda uji adalah agregat kasar yang tertahan pada saringan no 4 yang diperoleh dari alat pemisah sebanyak 5 kg. Dalam pekerjaan perkerasan, agregat yang digunakan adalah pada keadaan kadar air asli. Dalam hal ini tidak perlu dilakukan pengeringan oven pada saat melakukan pengujian. Banyak jenis bahan campuran yang mempunyai bagian butir berat dan ringan. Bahan semacam ini memberikan harga-harga berat jenis yang tidak tetap, walaupun pemeriksaan dilakukan dengan sangat hati-hati. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
Berat kering oven	5000	gram

ANALISIS VARIASI KADAR ASPAL OPTIMUM MELALUI MARSHALL TEST MENURUT ASPHALT INSTITUTE MS-2 EDISI III D

(Toni Budi Santoso, M. Zainul Ikhwan, Zainuddin, Sujiat, Bella Lutfiani Al Zakina, Mrabawani Insan Rendra)

Berat keirng permukaan jenuh	5075	gram
Berat dalam air	3175	gram
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,632	
<i>Saturated Surface Dry</i>	2,671	
<i>Aparent Spesific Gravity</i>	2,739	
Penyerapan	1,5	%

(Sumber : Hasil Penelitian)

Agregat halus juga dilakukan pengujian berat jenis dan penyerapan. Berat benda uji yang digunakan sebanyak 500 gram. Hasil pengujian ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil berat jenis dan penyerapan agregat halus

Jenis Pengujian	Hasil	Satuan
Berat kering permukaan jenuh	500	gram
Berat picnometer + air suling	629,3	gram
Berat picnometer + benda uji SSD + air	947,3	gram
Berat kering oven	492,8	gram
<i>Bulk Specific Gravity</i>	2,708	
<i>Saturated Surface Dry</i>	2,747	
<i>Aparent Spesific Gravity</i>	2,819	
Penyerapan	1,46	%

(Sumber : Hasil Penelitian)

Agregat halus seperti dijelaskan pada **Tabel 2** memiliki berat jenis 2,708, sedangkan penyerapan agregat halus sebesar 1,46 %. Kemudian pengujian dilanjutkan dengan pemeriksaan agregat menggunakan mesin los angeles untuk agregat kasar. Pengujian dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin "Los Angeles". Keausan tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan No. 12 terhadap berat semula dalam prosentase. Hasil pengujian abrasi yang dilakukan mendapatkan nilai 37,04 % yang berarti memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu < 40 %. Tabel hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil uji abrasi

Saringan	Berat (gram)
Lolos	Tertahan
Sebelum	Sesudah
3"	
2½"	

2"		
1½"		
¾"	2500	
½"	2500	
3/8"		
¼"		
No. 4	No. 8	
	No. 12	3148
Jumlah berat	5000	3148

(Sumber : Hasil Penelitian)

Banyaknya material yang aus dapat dihitung dengan

$$\begin{aligned} \text{Abrasi} &= a-b / a \times 100 \% \\ &= 1852/5000 \times 100\% \\ &= 37,04\% \end{aligned} \quad (1)$$

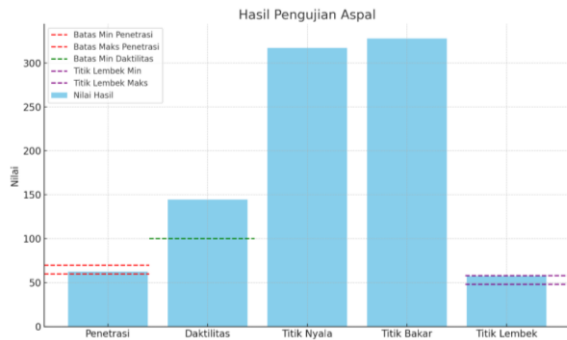
Rangkaian pengujian aspal adalah langkah selanjutnya dalam penelitian ini. Pengujian aspal untuk mengetahui sifat fisik aspal yang merupakan material utama dalam konstruksi. Pengujian pertama adalah penetrasi untuk menentukan tingkat kekerasan atau kelembakan aspal dengan mengukur kedalaman penetrasi jarum pada suhu dan pembebanan. Nilai penetrasi rata-rata didapatkan 62,7 (kategori aspal pen 60/70) dan sesuai dnegan spesifikasi aspal keras untuk perkerasan jalan.

Uji *daktilitas* merupakan uji ke dua untuk aspal, dengan menilai kemampuan aspal untuk ditarik sebelum putus, yang mencerminkan kelenturan material. Daktilitas pada penelitian ini didapatkan rata-rata 144,5 cm dengan kecepatan tarik 5 cm/menit, melebihi standart minimum (100 cm). Hal tersebut menunjukkan aspal cukup lentur dan tidak mudah retak.

Pengujian aspal kemudian dilanjutkan dengan menguji titik nyala dan titik bakar. Tujuan pengujian untuk menentukan suhu dimana aspal mulai mengeluarkan uap yang dapat terbakar dan suhu terbakar terus menerus. Aspal pada penelitian ini mempunyai titik nyala 317 °C dan titik bakar 328 °C. Nilai tersebut menunjukkan aspal aman dipanaskan selama proses pencampuran selama tidak melebihi suhu tersebut.

Pengujian aspal yang terakhir dalam penelitian ini adalah uji titik lembek. Pengujian titik lembek dimaksudkan untuk mengetahui suhu dimana aspal mulai melunak. Hasil dari pengujian penting untuk menentukan suhu kerja dan batas deformasi termal aspal dilapangan. Tititk lembek pada pengujian didapatkan nilai sebesar 57,5 °C

yang masih berada dalam kisaran spesifikasi (48 °C -58 °C) untuk aspal pen 60/70 dan sesuai standart Bina Marga. Hasil dari pengujian penetrasi, *daktilitas*, titik nyala, titik bakar dan titik lembek dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Pengujian Aspal
(Sumber : Hasil Penelitian)

Dari hasil keempat jenis pengujian, aspal yang digunakan (jenis AC Pen 60/70 dari Pertamina) memenuhi semua spesifikasi teknis Bina Marga dan standar internasional (AASHTO, SNI). Dengan demikian, aspal tersebut layak digunakan dalam perkerasan jalan karena memiliki karakteristik mekanik dan termal yang baik.

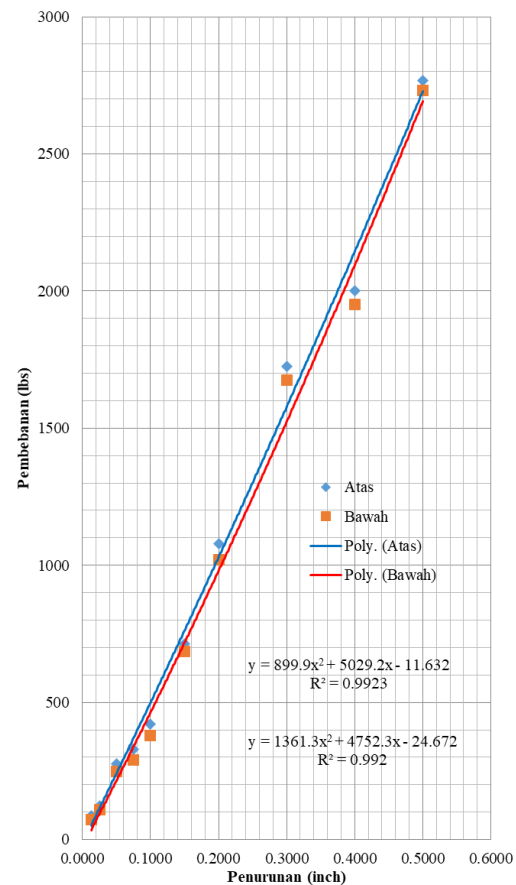
Pengujian CBR adalah proses pengujian selanjutnya untuk mengetahui kekuatan geser tanah dan daya dukung tanah tipis. Test CBR hanya untuk jalan saja dengan menggunakan beban kendaraan sementara. Tanah diuji dalam 2 arah (atas dan bawah) setelah benda uji direndam selama 4 hari (*soaked CBR*).

Tabel 4. Data pengujian CBR

Penurunan (in)	Pembacaan Arloji		Beban (Lb)	
	Ats	Bwh	Ats	Bwh
0.0125	12	10	87,4	72,8
0.0250	17	15	123,8	109,2
0.0500	38	34	276,6	247,5
0.0750	45	40	327,6	291,2
0.1000	58	52	422,2	378,6
0.1500	98	94	713,4	684,3
0.2000	148	140	1077,4	1019,2
0.3000	237	230	1725,4	1674,4
0.4000	275	268	2002,0	1951,0
0.5000	380	375	2766,4	2730,0

(Sumber : Hasil Penelitian)

Kemudian hasil dari pengujian CBR dalam bentuk grafik dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Grafik CBR
(Sumber : Hasil Penelitian)

Berdasarkan rumus regresi yang didapat pada **Gambar 3**, maka dapat dicari nilai CBR dalam %.

Untuk atas :

$$y = 899,9x^2 + 5029,2x - 11,632 \quad (2)$$

Untuk 0,1

$$899,9(0,1)^2 + 5029,2(0,1) - 11,632 = 500,287$$

Untuk 0,2

$$899,9(0,2)^2 + 5029,2(0,2) - 11,632 = 500,287$$

Untuk bawah :

$$y = 1361,3x^2 + 4752,3x - 24,672 \quad (3)$$

Untuk 0,1

$$1361,3x^2 + 4752,3x - 24,672 = 464,471$$

Untuk 0,2

$$1361,3x^2 + 4752,3x - 24,672 = 980,240$$

ANALISIS VARIASI KADAR ASPAL OPTIMUM MELALUI MARSHALL TEST MENURUT ASPHALT INSTITUTE MS-2 EDISI III D

(Toni Budi Santoso, M. Zainul Ikhwan, Zainuddin, Sujiat, Bella Lutfiani Al Zakina, Mrabawani Insan Rendra)

Tabel 5. Harga CBR (%)

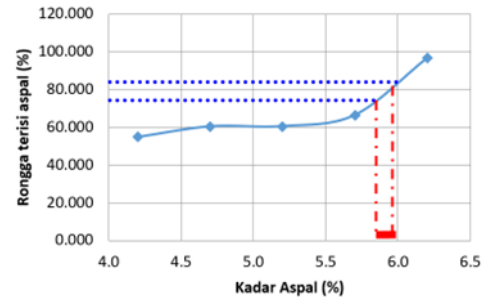
	CBR (%)	
	0,1	0,2
Atas	16,68	22,89
Bawah	15,47	21,78

(Sumber : Hasil Penelitian)

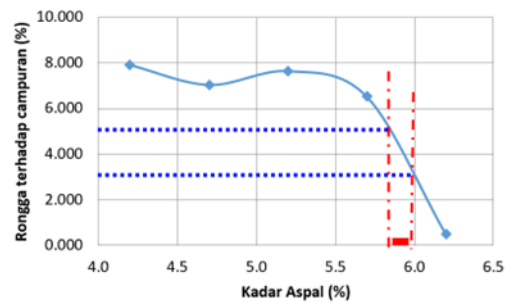
Karena CBR 0,1 atas = 16,68 < CBR 0,2 atas = 22,89 dan CBR 0,1 bawah = 15,47 < CBR 0,2 bawah = 21,78 maka nilai CBR maksimum yang didapatkan adalah 22,335 % yang menunjukkan bahwa tanah memiliki daya dukung yang cukup baik untuk digunakan sebagai lapisan pondasi bawah perkerasan jalan. Nilai ini mencerminkan ketahanan tanah terhadap beban kendaraan, khususnya pada kedalaman penetrasi 0,2 inci yang menjadi acuan dalam evaluasi mutu tanah. Sementara itu, hasil pengujian DCPT (*Dynamic Cone Penetrometer Test*) di lapangan menunjukkan nilai CBR yang jauh lebih rendah, yaitu berkisar antara 0,3% hingga 1,0%. Perbedaan yang signifikan antara hasil laboratorium dan lapangan ini mengindikasikan bahwa kondisi tanah asli di lokasi uji sangat lemah dan tidak layak langsung digunakan sebagai subgrade perkerasan tanpa adanya perbaikan tanah atau stabilisasi. Oleh karena itu, dibutuhkan upaya rekayasa tambahan seperti pemadatan ulang atau pencampuran dengan material stabilisasi untuk meningkatkan kapasitas dukung tanah sesuai kebutuhan desain perkerasan jalan.

Setelah nilai CBR didapatkan, langkah selanjutnya adalah pencampuran aspal beton dengan menggunakan 5 benda uji dengan masing-masing variasi kadar aspal yaitu 4,2%, 4,7%, 5,2%, dan 6,2% dengan menggunakan marshall test untuk mengetahui kadar aspal optimum yang dipakai. Untuk gradasi campuran menggunakan spesifikasi kombinasi gradasi institute III D. Pengujian marshall untuk menentukan *stability* campuran aspal dengan agregat terhadap *flows* dengan spesifikasi marshall test untuk jenis lalu lintas berat yaitu 75 kali (Lb).

Hasil *void filled with binder* menunjukkan bahwa semakin besar prosentase kadar aspal maka semakin meningkat rongga yang terisi aspal. Sedangkan *void total mix* menunjukkan semakin besar kadar aspal maka semakin menurun rongga terhadap campuran. Hasil *void filled with binder* dan *void total mix* dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**.

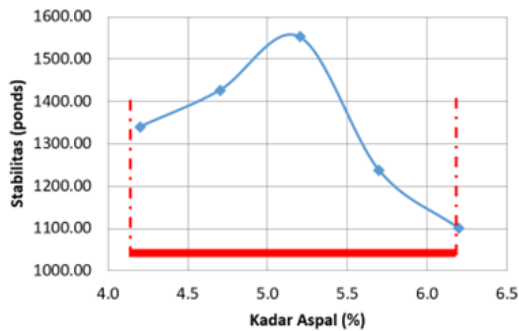


Gambar 5. *Void filled with binder*
(Sumber : Hasil Penelitian)



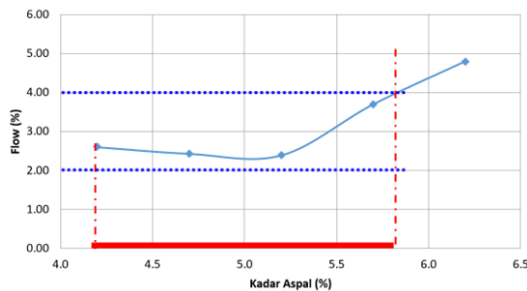
Gambar 6. *Void total mix*
(Sumber : Hasil Penelitian)

Kemudian untuk stabilitas dalam penelitian ini mengalami peningkatan dari kadar aspal 4,2 % dan mengalami penurunan stabilitas setelah mencapai kadar aspal 5,5 %. Nilai stabilitas telah memenuhi spesifikasi Bina Marga $\geq 8,0$ kN. Setelah titik optimum, kelebihan aspal justru menurunkan kohesi karena campuran menjadi terlalu plastis sehingga menyebabkan penurunan stabilitas. *Void* yang menurun seiring bertambahnya kadar aspal adalah gejala normal, namun harus tetap dijaga agar tidak kurang dari batas minimum (sekitar 3%) demi menjaga durabilitas. Stabilitas yang menurun setelah melewati 5,7% kadar aspal menunjukkan terjadinya *over-asphalting*, yaitu kondisi di mana aspal terlalu banyak dan justru mengurangi kekuatan struktural campuran. Hasil pengujian stabilitas dapat dilihat pada **Gambar 7**.



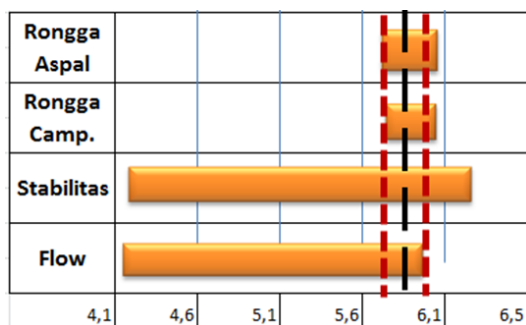
Gambar 7. Stabilitas
(Sumber : Hasil Penelitian)

Sementara untuk *flow* mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal tersebut disebabkan kadar aspal yang tinggi dapat menjadikan campuran menjadi lebih lunak dan mudah berubah bentuk. Hasil pengujian stabilitas dapat dilihat pada **Gambar 8**.



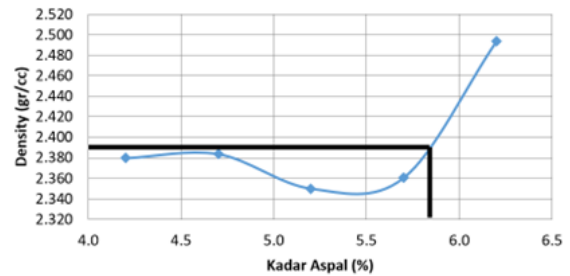
Gambar 8. Flow
(Sumber : Hasil Penelitian)

Kadar aspal optimum kemudian dapat diperoleh yaitu antara 5,7% - 6,0%, sehingga kadar aspal optimum didapatkan $(5,7\% + 6,0\%)/2 = 5,85\%$ (**Gambar 9**).



Gambar 9. Kadar aspal optimum
(Sumber : Hasil Penelitian)

Setelah kadar aspal optimum didapatkan kemudian dihubungkan dengan *density* sehingga mendapatkan nilai *density* maksimum sebesar 2,39 gr/cc (**Gambar 10**).



Gambar 10. Density
(Sumber : Hasil Penelitian)

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian CBR diperoleh nilai sebesar 22,335%, yang menunjukkan bahwa tanah memiliki daya dukung yang cukup baik untuk digunakan sebagai subgrade. Namun, hasil pengujian DCPT menunjukkan nilai CBR yang lebih rendah, masing-masing sebesar 1,0%, 0,9%, dan 0,3%. Perbedaan ini mengindikasikan adanya variasi kondisi tanah pada lokasi pengujian, sehingga perlu menjadi perhatian dalam proses perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jalan.

Hasil pemeriksaan terhadap mutu bahan menunjukkan bahwa aspal yang digunakan memenuhi seluruh persyaratan teknis yang ditetapkan dalam standar AASHTO dan ASTM. Nilai penetrasi rata-rata yang diperoleh adalah 62,7, yang termasuk dalam kategori aspal penetrasi 60–70. Daktilitas rata-rata mencapai 150 cm, melebihi batas minimum 100 cm, yang menunjukkan fleksibilitas aspal dalam menahan deformasi. Titik nyala sebesar 317°C dan titik bakar sebesar 328°C juga menunjukkan bahwa aspal ini memiliki ketahanan terhadap panas yang baik, jauh di atas batas minimum 200°C. Selain itu, titik lembek sebesar 57,5°C menunjukkan bahwa aspal memiliki kestabilan termal yang sesuai dengan standar.

Agregat kasar memiliki berat jenis *bulk* sebesar 2,632, berat jenis SSD sebesar 2,671, dan berat jenis semu sebesar 2,739 dengan tingkat penyerapan sebesar 1,5%. Nilai ini berada dalam batas maksimum yang diperbolehkan yaitu 3%. Sementara itu, agregat halus memiliki berat jenis *bulk* sebesar 2,708, SSD sebesar 2,747, dan semu sebesar 2,819 dengan penyerapan sebesar 1,46%, masih dalam batas maksimum 5% yang disyaratkan. Pengujian keausan menggunakan *Los Angeles Abrasion Test* menunjukkan nilai keausan sebesar 37,04%, di bawah batas maksimum 40%, yang berarti agregat memiliki ketahanan aus yang baik terhadap beban lalu lintas.

Hasil uji Marshall, kadar aspal optimum yang digunakan dalam campuran aspal beton adalah sebesar 5,85%. Diperoleh dari keseimbangan

ANALISIS VARIASI KADAR ASPAL OPTIMUM MELALUI MARSHALL TEST MENURUT ASPHALT INSTITUTE MS-2 EDISI III D

(Toni Budi Santoso, M. Zainul Ikhwan, Zainuddin, Sujiat, Bella Lutfiani Al Zakina, Mrabawani Insan Rendra)

antara stabilitas, flow, VIM (*Void in Mix*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), dan VFA (*Void Filled with Asphalt*), sehingga dapat dipastikan bahwa campuran aspal memiliki kualitas yang layak untuk digunakan pada konstruksi jalan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bhatt, B., & Wu, S. (2025). *A comprehensive state-of-art review on the use of rejuvenators in asphalt pavement*. *Journal of Road Engineering*, 5(1), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jreng.2024.10.001>
- Budi Santoso, T., Lutfiani Al Zakina, B., Zainul Ikhwan, M., kunci, K., Tinggi, B., & Sepur, L. (2023). *Analisis Kondisi Eksisting Jalan Rel Blitar-Malang Berdasarkan Nilai Track Quality Index Analysis of the Existing Condition of the Blitar-Malang Railway Based on the Track Quality Index*. 08(02), 101–110. <http://ejurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/HEXAGON>
- Camargo, I., Hofko, B., & Mirwald, J. (2022). *Effect of DLTDP and furfural on asphalt binders : Optimal dosage and PG grading*. *Construction and Building Materials*, 314(PA), 125489. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125489>
- Chen, K., Zhang, P., Peng, Y., Yang, Q., & Miao, J. (2025). *Case Studies in Construction Materials Study on the performance of cold recycled emulsified asphalt mixture under multi-factor coupling action*. 22(February).
- Darmawan, M. R., Putra, P. P., Wicaksono, L. A., Sipil, J. T., Teknik, F., Jember, U., Jember, K., Kendalrejo, D., Tegaldimo, K., & Banyuwangi, K. (2025). *Perbaikan sifat fisis dan mekanis tanah ekspansif secara kimiawi menggunakan campuran garam dan semen 1,2,3*. 13(1), 1–10.
- Del-valle-corte, J., Orosa, P., Aspilcueta, M., & Pasandín, A. R. (2025). *Effects of classes C and F fly ashes on the viscoelastic behavior of cold mix asphalt (CMA)*. 472(February). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.140796>
- Haqae, M., Jagirdar, R., Kashem, A., Ali, N., & Deb, D. (2025). *Modeling of Marshall Stability of plastic-reinforced asphalt concrete using machine learning algorithms and SHAP*. *Hybrid Advances*, 10(April), 100483. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2025.100483>
- Heydari, S., Hajimohammadi, A., Haji, N., Javadi, S., Kien, J. J., Ng, C., Kypreos, J. E., & Khalili, N. (2023). *Modified asphalt by coffee cup Fibres : An optimum mix design using response surface method*. *Construction and Building Materials*, 401(August 2022), 133005. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133005>
- Hie, E., Zahran, E. M. M., & Jiann, S. (2022). *The optimal use of crumb rubber in hot-mix asphalt by dry process : A laboratory investigation using Marshall mix design*. *Transportation Engineering*, 10(August), 100145. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100145>
- Huang, Y., Long, K., Qu, C., Yan, C., & Ai, C. (2025). *Case Studies in Construction Materials Evaluation of terminal blend rubberized asphalt incorporating high crumb rubber content*. *Case Studies in Construction Materials*, 22(October 2024), e04285. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04285>
- Jitsangiam, P., Nusit, K., Teeratitayangkul, P., & Ping, G. (2023). *Development of a modified Marshall mix design for Hot-mix asphalt concrete mixed with recycled plastic based on dry mixing processes*. *Construction and Building Materials*, 404(September), 133127. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133127>
- Karimi, F., Mousavi, S. R., & Miri, M. (2024). *Case Studies in Construction Materials On the effect of nano calcium carbonate on the flexibility and tensile-shear cracking resistance of greener WMA asphalt concretes containing RAP contents*. *Case Studies in Construction Materials*, 20(December 2023), e03159. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03159>
- Le, V. P., Phong, M., Phuc, Q., & Lam, H. (2024). *Case Studies in Construction Materials Marshall and Balanced mix design in determining the asphalt content for hot mix asphalt mixture : A comparative study*. *Case Studies in Construction Materials*, 21(August),

- e03753.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03753>
- Liu, H., Ren, X., Ge, W., Yi, Z., & Jin, D. (2025). *Case Studies in Construction Materials Performance characterization and mechanistic study of dry process W R / SBS composite modified asphalt mixture*. *Case Studies in Construction Materials*, 22(October 2024), e04639. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04639>
- Ma, J., Cui, Y., Xing, Y., Chen, X., & Wu, J. (2024). *Case Studies in Construction Materials Optimization and pavement performance of buton-rock-asphalt modified asphalt mixture with basalt-fibre*. *Case Studies in Construction Materials*, 21(May), e03429. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03429>
- Nouali, M., Dony, A., & Carter, A. (2025). *Effect of aging kinetics on the fatigue behavior of asphalt mixtures incorporating various RAP contents*. 19(February). <https://doi.org/10.1016/j.treng.2025.100312>
- Sha, F., Yang, N., Duan, X., Qiao, A., & Chen, H. (2025). *Case Studies in Construction Materials Effects of different warm mixing agents on properties of asphalt and warm mixing asphalt mixture*. *Case Studies in Construction Materials*, 22(February), e04445. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04445>
- Shafabakhsh, G., Sadeghnejad, M., Mahmoudi, P., & Ebrahimi, R. (2025). *Highlights. Transportation Engineering*, 100332. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2025.100332>
- Shehu, N., Yaro, A., Hartadi, M., Zainab, N., Napih, M., Usman, A., Hussaini, A., & Al-sabaei, A. M. (2023). *Modeling and optimization of asphalt content , waste palm oil clinker powder and waste rice straw ash for sustainable asphalt paving employing response surface methodology : A pilot study*. *Cleaner Materials*, 8(December 2022), 100187. <https://doi.org/10.1016/j.clema.2023.100187>
- Shehu, N., Yaro, A., Hartadi, M., Zainab, N., Usman, A., Adebajo, A., Abubakar, S., & Hussaini, A. (2024). *Predictive modelling of volumetric and Marshall properties of asphalt mixtures modified with waste tire-derived char : A statistical neural network approach*. *Journal of Road Engineering*, 4(3), 318–333. <https://doi.org/10.1016/j.jreng.2024.04.006>
- Shi, S., Lin, L., Gu, L., Chen, C., & Ma, T. (2023). *Case Studies in Construction Materials Study on the optimal biomass oil content of biomass oil emulsified asphalt based on permeation performance*. *Case Studies in Construction Materials*, 19(September), e02597. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02597>
- Sobhkhiz, R., Fatehifar, E., & Rajaei, T. (2025). *Results in Chemistry Examining the optimum concentrations of CuO , ZnO , TiO₂ , and GO in porous asphalt for urban surface runoff using response surface Methodology*. *Results in Chemistry*, 13(August 2024), 101963. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101963>
- Sun, Y., Wijepala, U., Wang, D., Zhang, F., & Cannone, A. (2025). *Case Studies in Construction Materials Optimizing rejuvenator dosage for high RAP content asphalt binders under multiple recycling cycles : A study based on an alternative rheological approach*. *Case Studies in Construction Materials*, 22(April), e04690. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04690>
- Sun, Y., Zhang, F., Cannone, A., & Wang, D. (2025). *Case Studies in Construction Materials Effect of laboratory aging on the performance of asphalt mixture containing high RAP content with the rejuvenator-loaded fiber*. *Case Studies in Construction Materials*, 22(October 2024), e04289. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04289>
- Wang, T., Zhang, X., Cheng, Z., Shen, D., Tan, J., Xie, S., Zhang, C., Sun, G., Xu, Y., & Xu, C. (2024). *Case Studies in Construction Materials Road performance of cold repaired asphalt mixture with new green maintenance materials*. *Case Studies in Construction Materials*, 21, e03959. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2024.e03959>
- Zhang, Y., Si, C., Fan, T., Zhu, Y., Li, S., Ren, S., & Lin, P. (2023). *Research on the optimal dosage of Bio-Oil / Lignin composite modified asphalt based on rheological and Anti-Aging properties*. *Construction and Building Materials*, 389(December 2022), 131796.

**ANALISIS VARIASI KADAR ASPAL OPTIMUM MELALUI MARSHALL TEST
MENURUT ASPHALT INSTITUTE MS-2 EDISI III D**

(Toni Budi Santoso, M. Zainul Ikhwan, Zainuddin, Sujiat, Bella Lutfiani Al Zakina, Mrabawani
Insan Rendra)

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131796>

Zhang, Z., Zhou, Z., Zhu, S., & Tian, R. (2025). *Case Studies in Construction Materials* High content waste tire rubber composite modified asphalt : Macro-Micro characterization of thermal storage stability and rheological properties. 22(April).

Zhou, L., Huang, Z., & Tang, W. (2025). *Journal of Case Studies in Construction Materials*, e04659. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e04659>