Indonesian Journal of Multidisciplinary on Social and Technology
Homepage: https://journal.ilmudata.co.id/index.php/ijmst
Vol. 4 No. 3 (2026) pp: 2877-2886
P-ISSN: 2986-6790, e-ISSN: 2986-6782

Pengaruh Substitusi Aspal Menggunakan Limbah *Styrofoam* terhadap Karakteristik Marshall Campuran *Asphalt Concrete-Binder Course*

Ahmad Farhan Ghifari[1], Lizar Lizar[2]
[1,2] Teknik Sipil, eknik Perancangan Jalan Dan jembatan, Politeknik Negeri Bengkalis
ghifarifarhanahmad@gmail.com , lizar@polbeng.ac.id

Abstract
Road pavements require asphalt mixtures with adequate performance to withstand traffic loads and resist permanent deformation. At the same time, the increasing volume of *Styrofoam* waste, which is difficult to decompose naturally, encourages its utilization as an alternative material in asphalt mixtures. This study analyzes the effect of partially substituting asphalt with *Styrofoam* waste on the *Marshall* characteristics of *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) mixtures based on the 2018 General Specifications for Highways, Revision 2. An experimental laboratory method was applied using 60/70 penetration asphalt and *Styrofoam* substitution levels of 3%, 4%, 5%, 6%, and 7% by asphalt weight at an optimum asphalt content of 5.5%. The evaluated parameters included stability, *flow*, *Marshall Quotient*, *density*, *Void in Mix*, *Void in Mineral Aggregate*, and *Void Filled with Asphalt*. The results demonstrate that *Styrofoam* substitution affects all *Marshall* characteristics. Stability and *Marshall Quotient* generally increased up to a certain substitution level, whereas *Void in Mix* and *Void in Mineral Aggregate* increased as the *Styrofoam* proportion rose. Conversely, *density* and *Void Filled with Asphalt* tended to decrease. Although several mechanical parameters remained within the specified limits at higher substitution levels, the volumetric requirements were no longer fully satisfied. The 3% substitution mixture produced the most balanced performance because all evaluated *Marshall* parameters complied with the required specifications. Therefore, *Styrofoam* waste can be used as a limited partial asphalt substitute in AC-BC mixtures while maintaining acceptable technical performance.

Keywords: AC-BC, *Styrofoam*, Asphalt Substitution, *Marshall* Characteristics

Abstrak
Perkerasan jalan memerlukan campuran beraspal yang memiliki kinerja baik agar mampu menahan beban lalu lintas sekaligus memiliki ketahanan terhadap deformasi. Di sisi lain, meningkatnya limbah *Styrofoam* yang sulit terurai mendorong pemanfaatannya sebagai material alternatif pada campuran beraspal. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh substitusi sebagian aspal menggunakan *Styrofoam* terhadap karakteristik Marshall campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70 dan variasi kadar substitusi *Styrofoam* sebesar 3%, 4%, 5%, 6%, dan 7% dari berat aspal pada Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,5%. Parameter yang dianalisis meliputi stabilitas, *flow*, Marshall *Quotient* (MQ), *density*, *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), dan *Void Filled with Asphalt* (VFWA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *Styrofoam* memengaruhi seluruh karakteristik Marshall campuran AC-BC. Nilai stabilitas meningkat hingga kadar substitusi tertentu, sedangkan nilai VIM dan VMA cenderung meningkat seiring bertambahnya kadar *Styrofoam* . Sebaliknya, nilai VFWA menunjukkan kecenderungan menurun. Berdasarkan hasil pengujian dan evaluasi terhadap persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, kadar substitusi *Styrofoam* sebesar 3% memberikan kinerja terbaik karena seluruh parameter Marshall masih memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Styrofoam* berpotensi dimanfaatkan sebagai material substitusi sebagian aspal pada campuran AC-BC dengan kadar yang terbatas agar kinerja campuran tetap memenuhi standar.

Kata Kunci: AC-BC, *Styrofoam*, Substitusi Aspal, Karakteristik *Marshall*

1. Pendahuluan

Aspal merupakan material utama pada konstruksi perkerasan lentur yang berfungsi sebagai bahan pengikat agregat dalam campuran beraspal. Kinerja perkerasan sangat dipengaruhi oleh kualitas aspal karena material ini berperan dalam membentuk ikatan antaragregat, mendistribusikan beban lalu lintas, serta memberikan fleksibilitas terhadap deformasi akibat pembebanan berulang (Natzan et al., 2024). Namun, peningkatan volume dan beban kendaraan dari waktu ke waktu menyebabkan lapisan perkerasan semakin rentan mengalami kerusakan dini, seperti retak, alur (rutting), dan deformasi permanen sebelum mencapai umur rencana (Assyiva' et al., 2025). Selain dipengaruhi oleh kondisi lalu lintas, penggunaan aspal konvensional yang berasal dari hasil penyulingan minyak bumi juga meningkatkan ketergantungan terhadap sumber daya alam yang tidak terbarukan serta berdampak pada meningkatnya biaya pembangunan dan pemeliharaan jalan.

Salah satu lapisan yang memiliki peranan penting dalam struktur perkerasan lentur adalah Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC). Lapisan ini berfungsi sebagai lapisan antara (binder course) yang mendistribusikan tegangan akibat beban kendaraan dari lapisan aus menuju lapisan pondasi, sehingga berkontribusi dalam meningkatkan kekuatan struktural dan umur layan perkerasan (Anggraini et al., 2025). Oleh sebab itu, kualitas material penyusun campuran AC-BC menjadi faktor yang sangat menentukan dalam menghasilkan konstruksi jalan dengan stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas yang baik.

Meningkatnya kebutuhan pembangunan infrastruktur jalan mendorong pengembangan material yang tidak hanya mampu meningkatkan kinerja campuran beraspal, tetapi juga mendukung pemanfaatan limbah sebagai bagian dari pembangunan berkelanjutan. Salah satu limbah yang berpotensi dimanfaatkan adalah styrofoam, yaitu plastik berbasis polistirena (polystyrene). Penggunaan styrofoam sebagai bahan kemasan sekali pakai terus meningkat sehingga menghasilkan limbah dalam jumlah yang besar. Limbah tersebut sulit terurai secara alami dan memerlukan waktu yang sangat lama untuk mengalami dekomposisi, sehingga berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik (Ardiatma et al., 2025).

Secara kimia, styrofoam tersusun atas rantai hidrokarbon yang memiliki karakteristik serupa dengan komponen penyusun aspal. Selain itu, styrofoam termasuk material termoplastik yang akan melunak pada suhu tinggi dan kembali mengeras setelah suhu menurun. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa styrofoam berpotensi dimanfaatkan sebagai material substitusi sebagian aspal pada campuran beraspal tanpa memerlukan perubahan yang signifikan pada proses pencampuran (Tisnawan et al., 2025).

Pemanfaatan styrofoam sebagai material modifikasi pada campuran beraspal telah banyak diteliti karena berpotensi meningkatkan karakteristik Marshall. Penelitian Lolok et al. (2021), Faraknimela et al. (2022), dan Sampe et al. (2022) menunjukkan bahwa penambahan styrofoam pada campuran AC-WC maupun AC-BC mampu meningkatkan nilai stabilitas serta menghasilkan karakteristik Marshall yang masih memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 pada kadar tertentu. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Febriani et al. (2023), Adnan et al. (2024), Delani dan Patriotika (2025), Theovani et al. (2025), Tisnawan et al. (2025), serta Kinanti et al. (2022), yang menyatakan bahwa penggunaan styrofoam maupun material polimer sebagai bahan modifikasi dapat meningkatkan kinerja campuran beraspal. Meskipun demikian, efektivitasnya dipengaruhi oleh jenis campuran, kadar penggunaan, metode pencampuran, serta kondisi pelayanan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan penggunaan styrofoam sebagai material modifikasi sangat bergantung pada proporsi penggunaannya dan proses pencampuran yang diterapkan.

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, pemanfaatan styrofoam pada campuran beraspal masih lebih banyak diterapkan sebagai bahan tambah (additive), sedangkan penggunaannya sebagai substitusi sebagian aspal pada campuran AC-BC masih relatif terbatas. Selain itu, kajian mengenai karakteristik Marshall yang mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 juga belum banyak dilaporkan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh substitusi sebagian aspal menggunakan styrofoam terhadap karakteristik Marshall campuran AC-BC serta menentukan kadar substitusi yang masih memenuhi persyaratan teknis.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh substitusi sebagian aspal menggunakan styrofoam terhadap karakteristik Marshall campuran AC-BC dengan variasi kadar 3%, 4%, 5%, 6%, dan 7% terhadap berat aspal pada Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,5%. Evaluasi dilakukan terhadap parameter stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), density, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), dan Void Filled with Asphalt (VFWA) berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan styrofoam sebagai substitusi sebagian aspal, bukan sebagai bahan tambah, serta penyajian evaluasi yang komprehensif terhadap karakteristik Marshall untuk menentukan kadar substitusi yang masih memenuhi persyaratan teknis pada campuran AC-BC.

2. Metode Penelitian

2.1. Material

Material yang digunakan terdiri atas agregat kasar, agregat halus, filler berupa semen Portland, aspal penetrasi 60/70, dan limbah *Styrofoam* sebagai bahan substitusi sebagian aspal. Sebelum digunakan, seluruh material diuji terlebih dahulu untuk memastikan kesesuaiannya dengan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

Tabel 1.Material Aspal

Material	Spesifikasi
Aspal	Pen 60/70
Agregat kasar	Batu pecah
Agregat halus	Abu batu/pasir
Filler	Semen Portland
Styrofoam	Limbah *Styrofoam*

DOI: https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2. 12866
Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

2.2. Metode Penelitian

Selanjutnya dilakukan perancangan Job Mix Design (JMD) untuk memperoleh komposisi campuran AC-BC sekaligus menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) menggunakan metode Marshall. Hasil perancangan menunjukkan bahwa nilai KAO yang diperoleh sebesar 5,5%, kemudian digunakan sebagai kadar aspal tetap dalam pembuatan benda uji dengan variasi substitusi styrofoam terhadap berat aspal.

Pembuatan benda uji diawali dengan memanaskan agregat dan aspal hingga mencapai suhu pencampuran. Selanjutnya, styrofoam dicampurkan ke dalam aspal panas hingga meleleh dan membentuk campuran yang homogen, kemudian campuran tersebut dicampurkan dengan agregat. Setelah proses pencampuran selesai, campuran dipadatkan menggunakan alat pemadat Marshall sesuai prosedur pengujian untuk campuran AC-BC.

Benda uji yang telah dipadatkan kemudian diuji menggunakan metode Marshall untuk memperoleh nilai stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), density, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), dan Void Filled with Asphalt (VFWA). Seluruh hasil pengujian selanjutnya dianalisis dengan membandingkan setiap parameter terhadap persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 guna mengevaluasi pengaruh substitusi styrofoam serta menentukan kadar substitusi yang masih memenuhi persyaratan teknis.

2.3. Variasi Campuran

Setelah diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,5%, benda uji dibuat dengan variasi kadar substitusi styrofoam sebesar 3%, 4%, 5%, 6%, dan 7% terhadap berat aspal. Variasi tersebut digunakan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan kadar styrofoam terhadap karakteristik Marshall campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC). Pada setiap variasi, komposisi agregat dan kadar aspal dipertahankan tetap, sedangkan kadar substitusi styrofoam divariasikan sesuai rancangan penelitian. Parameter yang diamati meliputi stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), density, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), dan Void Filled with Asphalt (VFWA).

2.4. Analisis Data

Data hasil pengujian Marshall dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan karakteristik Marshall pada setiap variasi kadar substitusi styrofoam terhadap persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Parameter yang dievaluasi meliputi stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), density, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), dan Void Filled with Asphalt (VFWA). Selanjutnya, pengaruh substitusi styrofoam terhadap karakteristik campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) dianalisis berdasarkan kecenderungan perubahan setiap parameter untuk menentukan kadar substitusi yang menghasilkan kinerja campuran terbaik serta tetap memenuhi persyaratan spesifikasi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1.Karakteristik Material

Pengujian karakteristik material dilakukan terhadap agregat, aspal penetrasi 60/70, filler, dan styrofoam sebelum seluruh bahan digunakan dalam pembuatan campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC). Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap material memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 sehingga layak digunakan sebagai bahan penyusun campuran.

Berdasarkan hasil pengujian, seluruh material telah memenuhi persyaratan teknis yang berlaku. Agregat memiliki karakteristik fisik yang sesuai sebagai penyusun campuran beraspal, sedangkan aspal penetrasi 60/70 memenuhi spesifikasi sebagai bahan pengikat. Dengan demikian, seluruh material dinyatakan layak untuk digunakan dalam proses perancangan Job Mix Design (JMD) maupun pembuatan benda uji Marshall.

Tabel 2.Hasil Karakteristik Material

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Persyaratan	Acuan SNI/Spesifikasi
Daktilitas Aspal (cm)	130,7	≥ 100	SNI 2432:2011
Penetrasi Aspal (0,1 mm)	60,7	50–70	SNI 2456:2011
Titik Lembek Aspal (°C)	48,0	≥ 48	SNI 2434:2011
Titik Nyala Aspal (°C)	318,0	≥ 232	SNI 2433:2011
Titik Bakar Aspal (°C)	320,5	≥ 232	SNI 2433:2011
Berat Jenis Aspal	1,029	≥ 1,0	SNI 2441:2011
Kehilangan Berat Aspal (%)	0,014	≤ 0,8	SNI 06-2440-1991
Keausan Agregat (%)	16,74	≤ 40	SNI 2417:2008
Penyerapan Air Agregat Kasar (%)	0,759	≤ 3	SNI 1969:2016

DOI: https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2. 12866
Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

3.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dilakukan menggunakan metode Marshall melalui analisis hubungan antara kadar aspal dengan parameter stabilitas, flow, density, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), Void Filled with Asphalt (VFWA), dan Marshall Quotient (MQ). Nilai KAO ditetapkan berdasarkan kadar aspal yang mampu memenuhi seluruh persyaratan parameter sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

Tabel 3.Penentuan KAO

Karakteristik Marshall	Spesifikasi	Hasil Pengujian				
		4	4,5	5	5,5	6
VMA (%)	Min.15	20.26	18.22	17.02	15.86	15.9
VITM (%)	Min.3-Maks.5	12.92	9.45	7.07	4.62	2.55
VFWA (%)	Min.65	36.26	47.54	58.47	70.9	84.06
Stabilitas (kg)	Min.800	1068.15	1221.62	1368.09	1131.8	1320.89
Flow (mm)	Min.2 -Maks.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.6
MQ (kg/mm)	Min.250	312.78	346.30	387.67	329.87	364.10

Berdasarkan hasil analisis Marshall, diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,5%. Nilai KAO tersebut kemudian digunakan sebagai kadar aspal tetap pada seluruh variasi campuran dengan substitusi styrofoam. Penggunaan kadar aspal yang sama pada setiap variasi dimaksudkan agar perubahan karakteristik Marshall yang diamati semata-mata dipengaruhi oleh variasi kadar substitusi styrofoam, sehingga pengaruh material substitusi terhadap kinerja campuran dapat dievaluasi secara lebih objektif.3.3 Pengaruh Substitusi *Styrofoam* terhadap Karakteristik Marshall Campuran AC-BC

Hasil pengujian Marshall menunjukkan bahwa substitusi sebagian aspal menggunakan styrofoam memengaruhi karakteristik campuran AC-BC. Pengaruh tersebut ditunjukkan oleh perubahan nilai stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ), *density*, *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), dan *Void Filled with Asphalt* (VFWA) pada setiap variasi kadar substitus*i styrofoam*..

Analisa Terhadap Stabilitas

Nilai stabilitas campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya kadar substitusi styrofoam hingga mencapai nilai optimum, kemudian menurun pada kadar substitusi yang lebih tinggi. Nilai stabilitas meningkat dari 1.311,2 kg pada kadar substitusi 3% menjadi 1.497,8 kg pada 4%, 1.865,3 kg pada 5%, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 2.248,4 kg pada kadar substitusi 6%. Selanjutnya, pada kadar substitusi 7%, nilai stabilitas menurun menjadi 2.031,6 kg. Meskipun demikian, seluruh variasi campuran masih menghasilkan nilai stabilitas yang melampaui persyaratan minimum Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu sebesar 800 kg, sehingga seluruh campuran dinyatakan memenuhi persyaratan berdasarkan parameter stabilitas..



Gambar 3. 1 pengaruh *Styrofoam* terhadap stabilitas

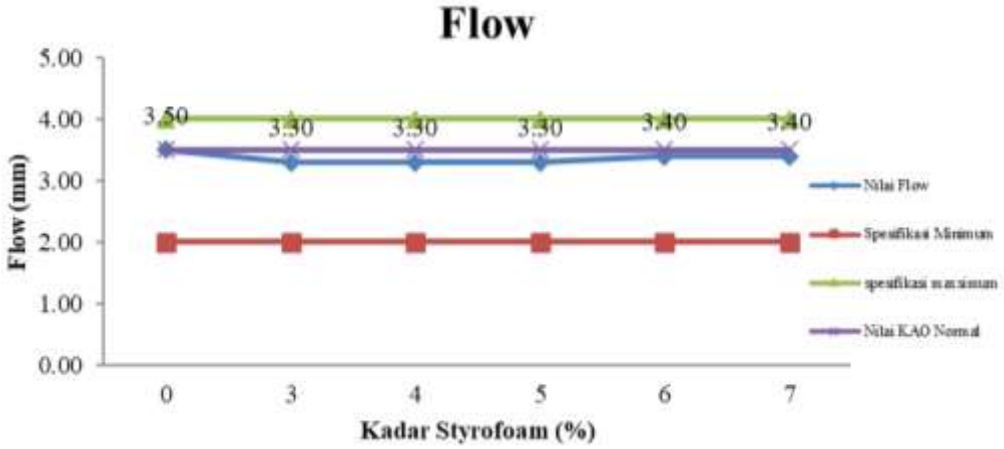
Peningkatan nilai stabilitas hingga kadar substitusi 6% mengindikasikan bahwa styrofoam yang meleleh dan berbaur dengan aspal mampu membentuk bahan pengikat yang lebih kaku sehingga ikatan antara agregat menjadi lebih kuat. Kondisi tersebut meningkatkan kemampuan campuran dalam menahan beban dan mengurangi potensi terjadinya deformasi. Sebaliknya, peningkatan kadar substitusi di atas 6% menyebabkan jumlah aspal efektif yang melapisi permukaan agregat semakin berkurang. Berkurangnya aspal efektif mengakibatkan distribusi bahan pengikat menjadi kurang merata sehingga ikatan antaragregat tidak terbentuk secara optimal. Dampaknya, nilai stabilitas mengalami penurunan pada kadar substitusi yang lebih tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa pemanfaatan styrofoam sebagai substitusi sebagian aspal dapat meningkatkan daya dukung campuran hingga kadar

DOI: https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2. 12866
Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

tertentu, sedangkan penggunaan yang melebihi kadar optimum cenderung menurunkan kinerja mekanis campuran akibat meningkatnya kekakuan bahan pengikat dan berkurangnya efektivitas pelapisan agregat.

Analisa Terhadap *Flow*

Nilai *flow* campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) mengalami perubahan pada setiap variasi kadar substitusi styrofoam. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh variasi campuran masih menghasilkan nilai *flow* yang berada dalam rentang persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Variasi nilai *flow* tersebut mengindikasikan bahwa substitusi sebagian aspal menggunakan styrofoam memengaruhi kemampuan campuran dalam mengalami deformasi plastis sebelum mencapai kondisi runtuh akibat pembebanan.



Gambar 3. 2 pengaruh *Styrofoam* terhadap *Flow*

Nilai *flow* mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar substitusi styrofoam dari 3% hingga 6%, kemudian sedikit menurun pada kadar substitusi 7%. Walaupun terjadi perubahan pada setiap variasi campuran, seluruh nilai *flow* tetap berada dalam rentang yang dipersyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Kecenderungan tersebut menunjukkan bahwa penambahan styrofoam memengaruhi kemampuan campuran dalam mengalami deformasi plastis tanpa menghilangkan karakteristik kelenturannya.

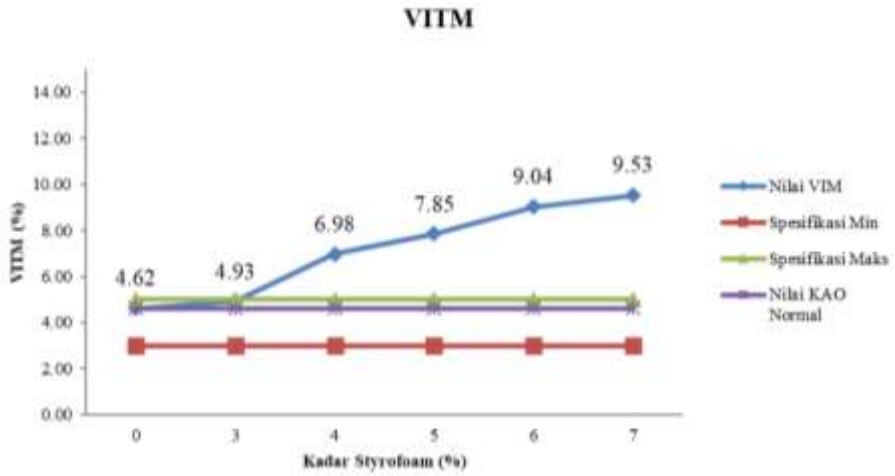
Peningkatan kadar substitusi styrofoam menyebabkan campuran menjadi lebih kaku sehingga respons terhadap deformasi plastis ikut berubah. Namun, perubahan tersebut masih berada pada kisaran yang diperbolehkan, sehingga keseimbangan antara kekakuan dan fleksibilitas campuran tetap dapat dipertahankan.

Selain meningkatkan nilai stabilitas, substitusi sebagian aspal menggunakan styrofoam juga memberikan pengaruh terhadap nilai *flow* sebagai indikator kelenturan campuran. Nilai *flow* yang masih memenuhi persyaratan menunjukkan bahwa penggunaan styrofoam hingga kadar 7% belum menyebabkan campuran bersifat terlalu kaku ataupun terlalu plastis. Kondisi ini penting karena campuran dengan nilai *flow* yang terlalu rendah lebih rentan mengalami retak, sedangkan nilai *flow* yang terlalu tinggi mengindikasikan kecenderungan terjadinya deformasi permanen akibat beban lalu lintas. Dengan demikian, penggunaan styrofoam sebagai substitusi sebagian aspal masih mampu mempertahankan karakteristik deformasi campuran AC-BC sesuai dengan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

Analisa Terhadap VIM (*Voin In Mix*)

Nilai *Void in Mix* (VIM) pada campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar substitusi *styrofoam*. Campuran normal memiliki nilai VIM sebesar 4,62%, kemudian meningkat menjadi 4,93% pada kadar substitusi 3%. Kedua variasi tersebut masih berada dalam rentang persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu 3%–5%. Pada kadar substitusi yang lebih tinggi, nilai VIM terus meningkat menjadi 6,98% pada 4%, 8,14% pada 5%, 8,92% pada 6%, dan 9,74% pada 7%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa mulai kadar substitusi 4%, nilai VIM telah melampaui batas maksimum yang ditetapkan dalam spesifikasi.

DOI: https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2. 12866
Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



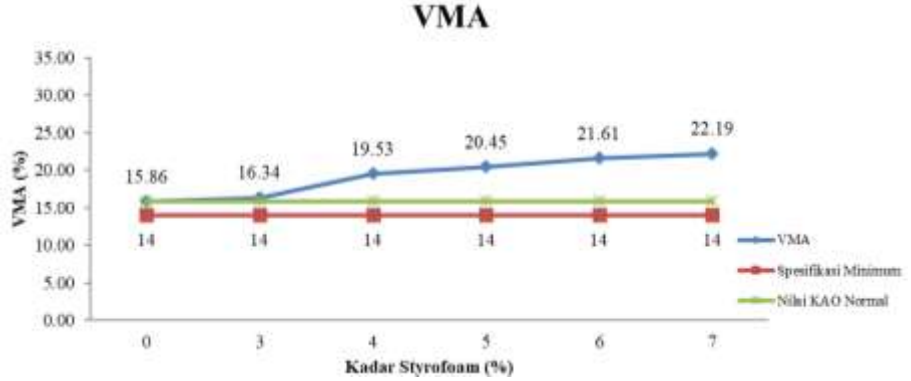
Gambar 3. 3 pengaruh *Styrofoam* terhadap VIM

Peningkatan nilai *Void in Mix* (VIM) mengindikasikan bertambahnya volume rongga udara di dalam campuran beraspal. Kondisi ini diduga berkaitan dengan meningkatnya kadar substitusi styrofoam yang memengaruhi karakteristik bahan pengikat, sehingga pelapisan aspal pada permukaan agregat menjadi kurang merata. Berkurangnya aspal efektif yang mengisi rongga antaragregat menyebabkan sebagian rongga tidak terisi secara optimal dan mengakibatkan nilai VIM meningkat. Semakin besar nilai VIM, semakin tinggi pula kemungkinan air dan udara memasuki lapisan perkerasan, yang pada akhirnya dapat mempercepat proses oksidasi aspal serta menurunkan durabilitas campuran.

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa substitusi sebagian aspal menggunakan styrofoam memberikan pengaruh terhadap karakteristik volumetrik campuran, terutama pada nilai VIM. Peningkatan nilai VIM menunjukkan bahwa penggunaan styrofoam dalam kadar yang terlalu tinggi cenderung mengurangi kepadatan campuran sehingga ketahanannya terhadap pengaruh air dan pembebanan berulang menjadi lebih rendah. Oleh sebab itu, kadar substitusi perlu dikendalikan agar nilai VIM tetap berada dalam rentang yang dipersyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Berdasarkan hasil penelitian, kadar substitusi sebesar 3% menghasilkan nilai VIM yang masih memenuhi persyaratan sehingga memberikan karakteristik volumetrik yang lebih baik dibandingkan variasi kadar lainnya.

Analisa Terhadap VMA (*Void Mineral Aggregate)*

Nilai *Void in Mineral Aggregate* (VMA) pada campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar substitusi *styrofoam*. Campuran normal memiliki nilai VMA sebesar 15,86%, kemudian meningkat menjadi 16,34% pada kadar substitusi 3%. Peningkatan nilai VMA terus terjadi hingga mencapai 19,53% pada kadar 4%, 20,45% pada 5%, 21,36% pada 6%, dan 22,47% pada 7%. Meskipun mengalami peningkatan pada setiap variasi, seluruh nilai VMA masih berada di atas batas minimum 14% sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, sehingga seluruh campuran dinyatakan memenuhi persyaratan berdasarkan parameter VMA.



Gambar 3. 4 pengaruh *Styrofoam* terhadap VIM

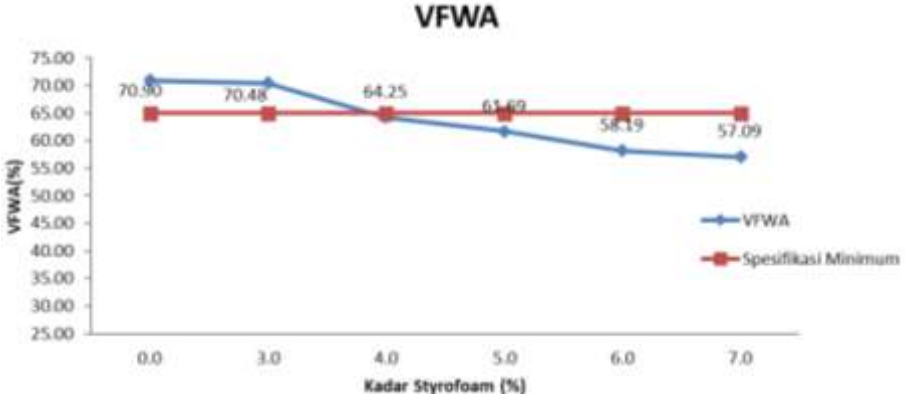
Peningkatan nilai *Void in Mineral Aggregate* (VMA) mengindikasikan bertambahnya volume rongga di antara susunan agregat. Kondisi tersebut berkaitan dengan berkurangnya kemampuan aspal efektif dalam mengisi rongga antaragregat akibat perubahan karakteristik bahan pengikat setelah sebagian aspal disubstitusi dengan styrofoam. Distribusi aspal yang kurang merata menyebabkan ruang kosong di antara agregat semakin besar, sehingga nilai VMA meningkat pada setiap variasi kadar substitusi.

DOI: https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2. 12866
Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Kenaikan nilai VMA juga sejalan dengan peningkatan *Void in Mix* (VIM), yang menunjukkan bertambahnya rongga udara di dalam campuran. Hubungan kedua parameter tersebut mengindikasikan bahwa semakin besar kadar substitusi styrofoam, semakin banyak ruang kosong yang terbentuk di dalam campuran beraspal. Apabila kondisi ini terus berlanjut, jumlah aspal efektif yang mengisi rongga agregat akan semakin berkurang sehingga durabilitas campuran terhadap pengaruh air, udara, dan pembebanan berulang berpotensi menurun. Oleh sebab itu, penggunaan styrofoam sebagai substitusi sebagian aspal perlu dibatasi agar karakteristik volumetrik campuran tetap memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

Analisa Terhadap VFWA (*Void Filled With Asphalt)*

nilai *Void Filled with Asphalt* (VFWA) menunjukkan kecenderungan menurun seiring bertambahnya kadar substitusi *Styrofoam* pada campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC). Nilai VFWA pada campuran normal sebesar 70,90%, kemudian sedikit menurun menjadi 70,48% pada kadar substitusi *Styrofoam* 3%. Selanjutnya, nilai VFWA menurun menjadi 64,25% pada kadar 4%, 61,69% pada kadar 5%, 59,58% pada kadar 6%, dan 57,79% pada kadar 7%. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai VFWA minimum yang dipersyaratkan adalah 65%, sehingga hanya campuran normal dan campuran dengan substitusi *Styrofoam* 3% yang memenuhi persyaratan spesifikasi.



Gambar 3. 5 pengaruh *Styrofoam* terhadap VFWA

Penurunan nilai VFWA menunjukkan bahwa persentase rongga agregat yang terisi oleh aspal efektif semakin berkurang seiring bertambahnya kadar substitusi *Styrofoam* . Kondisi ini terjadi karena sebagian aspal sebagai bahan pengikat digantikan oleh *Styrofoam* , sehingga jumlah aspal efektif yang tersedia untuk mengisi rongga antaragregat menjadi semakin sedikit. Akibatnya, rongga udara di dalam campuran meningkat, yang ditunjukkan oleh kenaikan nilai *Void in Mix* (VIM), sedangkan persentase rongga yang terisi aspal efektif menurun sehingga menyebabkan nilai VFWA semakin rendah.

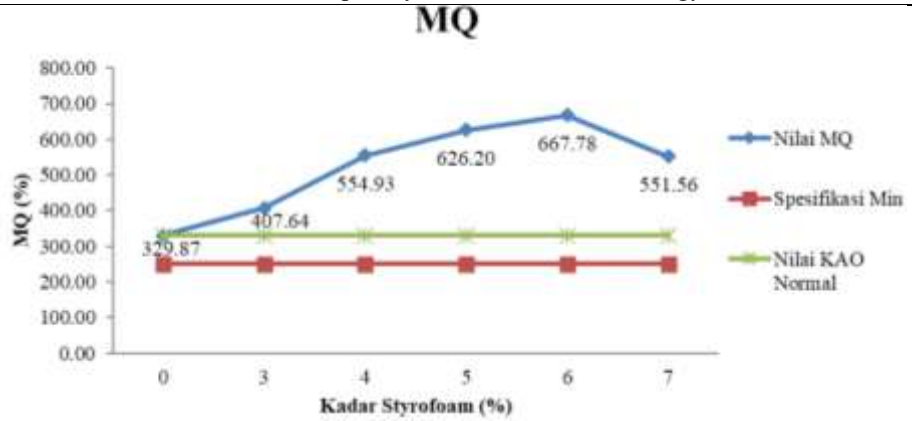
Nilai VFWA memiliki hubungan yang erat dengan parameter volumetrik lainnya, khususnya VIM dan VMA. Meningkatnya nilai VIM dan VMA menunjukkan bertambahnya volume rongga di dalam campuran, sedangkan penurunan VFWA mengindikasikan bahwa rongga tersebut tidak terisi secara optimal oleh aspal efektif. Kondisi ini berpotensi menurunkan durabilitas campuran karena meningkatnya kemungkinan masuknya air dan udara ke dalam lapisan perkerasan yang dapat mempercepat proses oksidasi aspal dan mengurangi kekuatan ikatan antara agregat dan bahan pengikat.

Berdasarkan hasil penelitian, hanya campuran normal (0%) dan campuran dengan substitusi *Styrofoam* 3% yang memenuhi persyaratan VFWA sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Oleh karena itu, berdasarkan parameter VFWA, kadar substitusi *Styrofoam* sebesar 3% merupakan kadar yang memberikan karakteristik volumetrik terbaik karena masih mampu mempertahankan jumlah aspal efektif yang mengisi rongga agregat sesuai dengan persyaratan spesifikasi.

Analisa Terhadap Marshall *Quotient*

Nilai Marshall *Quotient* (MQ) menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya kadar substitusi *Styrofoam* hingga kadar tertentu, kemudian mulai mengalami penurunan. Nilai MQ pada campuran normal sebesar 329,87 kg/mm, kemudian meningkat menjadi 407,64 kg/mm pada kadar substitusi *Styrofoam* 3%, 483,25 kg/mm pada kadar 4%, 592,16 kg/mm pada kadar 5%, dan mencapai nilai maksimum sebesar 667,78 kg/mm pada kadar 6%. Selanjutnya, pada kadar substitusi 7% nilai MQ mengalami penurunan menjadi 615,84 kg/mm. Meskipun demikian, seluruh variasi campuran masih memenuhi persyaratan minimum Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu sebesar 250 kg/mm.

DOI: https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2. 12866
Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



Gambar 3. 6 pengaruh *Styrofoam* terhadap Marshall Quotient

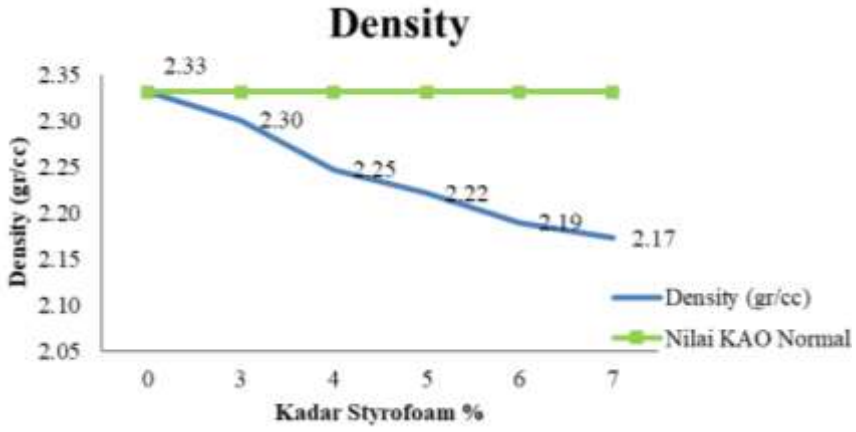
Peningkatan nilai MQ hingga kadar substitusi 6% menunjukkan bahwa penambahan *Styrofoam* mampu meningkatkan kekakuan campuran sehingga memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi akibat pembebanan. Hal ini disebabkan oleh *Styrofoam* yang meleleh dan bercampur dengan aspal sehingga meningkatkan kekakuan bahan pengikat serta memperkuat ikatan antara agregat dan aspal. Kondisi tersebut sejalan dengan peningkatan nilai stabilitas yang diperoleh pada kadar substitusi yang sama.

Penurunan nilai MQ pada kadar substitusi 7% mengindikasikan bahwa penambahan *Styrofoam* yang semakin tinggi mulai mengurangi efektivitas aspal dalam melapisi permukaan agregat. Berkurangnya aspal efektif menyebabkan ikatan antaragregat menjadi kurang optimal sehingga kekakuan campuran mulai menurun. Selain itu, peningkatan nilai VIM dan VMA serta penurunan VFWA pada kadar substitusi yang lebih tinggi menunjukkan bahwa rongga di dalam campuran semakin besar dan jumlah aspal efektif yang mengisi rongga agregat semakin berkurang. Kondisi tersebut turut memengaruhi penurunan nilai MQ meskipun masih berada di atas batas minimum spesifikasi.

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan *Styrofoam* sebagai substitusi sebagian aspal memberikan pengaruh terhadap kekakuan campuran AC-BC. Kadar substitusi 3% dinilai sebagai kadar yang paling optimum karena selain menghasilkan nilai MQ yang memenuhi persyaratan, variasi tersebut juga memberikan keseimbangan yang baik terhadap parameter Marshall lainnya, seperti stabilitas, *flow*, VIM, VMA, dan VFWA, sehingga menghasilkan karakteristik campuran yang lebih baik secara keseluruhan.

Analisa Terhadap *Density*

Nilai *density* campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) menunjukkan kecenderungan menurun seiring bertambahnya kadar substitusi *Styrofoam* . Nilai *density* pada campuran normal merupakan yang tertinggi, kemudian menurun menjadi 1,010 gr/cm³ pada kadar substitusi *Styrofoam* 3%. Selanjutnya, nilai *density* terus menurun menjadi 0,997 gr/cm³ pada kadar 4%, 0,984 gr/cm³ pada kadar 5%, 0,971 gr/cm³ pada kadar 6%, dan 0,958 gr/cm³ pada kadar 7%. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *Styrofoam* sebagai substitusi sebagian aspal berpengaruh terhadap tingkat kepadatan campuran AC-BC.



Gambar 3. 7 pengaruh *Styrofoam* terhadap *Density*

Menurunnya nilai *density* disebabkan oleh berat jenis *Styrofoam* yang lebih rendah dibandingkan aspal, sehingga semakin besar kadar *Styrofoam* yang digunakan, massa jenis campuran menjadi semakin kecil. Selain itu, berkurangnya jumlah aspal efektif dalam campuran menyebabkan rongga antaragregat tidak terisi secara optimal. Kondisi tersebut mengakibatkan bertambahnya volume rongga udara dalam campuran yang ditunjukkan dengan meningkatnya nilai *Void in Mix* (VIM) dan *Void in Mineral Aggregate* (VMA), serta menurunnya nilai *Void Filled*

DOI: https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2. 12866
Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

with Asphalt (VFWA). Hubungan antarparameter tersebut menunjukkan bahwa penurunan nilai *density* berkaitan erat dengan meningkatnya rongga udara dan berkurangnya kepadatan campuran.

Berdasarkan hasil penelitian, kadar substitusi *Styrofoam* sebesar 3% menghasilkan nilai *density* yang paling mendekati campuran normal, sehingga menunjukkan tingkat kepadatan yang masih baik. Sebaliknya, peningkatan kadar substitusi hingga 7% menyebabkan nilai *density* terus menurun, yang mengindikasikan bahwa campuran menjadi lebih berongga dan berpotensi menurunkan durabilitas serta ketahanan terhadap infiltrasi air. Oleh karena itu, ditinjau dari parameter *density*, kadar substitusi *Styrofoam* sebesar 3% merupakan variasi yang memberikan karakteristik campuran terbaik karena masih mampu mempertahankan kepadatan campuran mendekati kondisi normal.

Tabel 4.Hasil Karakteristik Marshall dari Subtitusi *Styrofoam*

Parameter	Normal	3%	4%	5%	6%	7%	Spesifikasi Bina Marga 2018
Stabilitas (kg)	1131.8	1346.4	1795.1	2038.2	2248.4	1861.2	≥ 800
Flow (mm)	3.5	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4	2–4
MQ (kg/mm)	329.9	407.6	554.9	626.2	667.8	551.6	≥ 250
VIM (%)	4.6	4.9	7.0	7.9	9.0	9.5	3–5
VMA (%)	15.9	16.3	19.5	20.4	21.6	22.2	≥ 14
VFWA (%)	70.9	70.5	64.3	61.7	58.2	57.1	≥ 65
Status	Memenuhi	Memenuhi	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	

4. Kesimpulan

Penelitian menunjukkan bahwa substitusi sebagian aspal menggunakan *Styrofoam* memengaruhi seluruh karakteristik *Marshall* campuran *Asphalt Concrete-Binder Course*. Stabilitas dan *Marshall Quotient* meningkat hingga kadar tertentu, sedangkan *flow* tetap memenuhi persyaratan. Peningkatan kadar *Styrofoam* menaikkan *Void in Mix* dan *Void in Mineral Aggregate*, serta menurunkan *Void Filled with Asphalt* dan *density*. Dari seluruh variasi, substitusi 3% menjadi kadar terbaik karena seluruh parameter masih memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Pemanfaatan ini berpotensi mengurangi limbah plastik dan mendukung perkerasan berkelanjutan, tetapi kadarnya perlu dibatasi. Penelitian lanjutan diperlukan untuk menguji durabilitas, rendaman, kelelahan, dan deformasi permanen campuran dalam kondisi pelayanan lapangan nyata.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Bengkalis, khususnya Program Studi D-IV Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan serta Laboratorium Pengujian Bahan yang telah memberikan fasilitas dan dukungan selama pelaksanaan penelitian. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada dosen pembimbing atas arahan, masukan, dan bimbingan yang diberikan selama proses penelitian hingga penyusunan artikel ini.

Reference

Adnan, Mirsandy, & Hamka. (2024). *Studi Eksperimental Dengan Metode Marshall Pemanfaatan Plastik Polystyrene Sebagai Bahan Aspal AC-BC*. *Globe: Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumian, Ilmu Perkapalan, 2*(2), 73–87. Https://Doi.Org/10.61132/Globe.V2i2.258

Anggraini, R., Rahmi, S. Q., & Fitri, A. (2025). Perbandingan Kinerja Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) Menggunakan Filler Semen Dan Asbuton Berdasarkan Uji Marshall. *Journal Of Infrastructural In Civil Engineering (JICE)*, 6(2), 174–191.Https://Doi.Org/10.33365/Jice.V6i02.721

Ardiatma, D., Ilyas, N. I., Halomoan, N., & Indriyani, Y. M. (2025). Pemanfaatan Limbah Plastik PS (Polystyrene) Jenis *Styrofoam* Menjadi Paving Block Dengan Campuran Silica Fume Sebagai Upaya Reduksi Sampah Plastik. Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan, 17(1), 56–72. Https://Doi.Org/10.20885/Jstl.Vol17.Iss1.Art5

Assyiva', R., Erlangga, O. T. D., & Nugroho, D. H. (2025). Analisis Dampak Kerusakan Jalan Terhadap Pengguna Jalan Dan Lingkungan. *Jurnal Daktilitas*, 5(2), 10–18. Https://Doi.Org/10.36563/Cyabbf03

Delani, M. N., & Patriotika, F. (2025). Pengaruh Penambahan Limbah *Styrofoam* Terhadap Benda Uji Pada AC-WC Melalui Pengujian Marshall (In Press). Https://Doi.Org/10.21009/Jmenara.V21i1.55499

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2) (Surat Edaran No. 16.1/SE/Db/2020)*. Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. Https://Binamarga.Pu.Go.Id/Index.Php/Nspk/Detail/Spesifikasi-Umum-Bina-Marga-2018-Untuk-Pekerjaan-Konstruksi-Jalan-Dan-Jembatan-Revisi-2-No-161sedb2020

Faraknimela, E., & Selintung, M. (2022). Penggunaan *Styrofoam* Sebagai Bahan Tambah Campuran AC-Bcmenggunakan Batu Sungai Pucak Kabupaten Maros. Paulus Civil Engineering Journal, 4(4), 687-697. Https://Doi.Org/10.52722/69na2749

Febriani, R., Nurdin, A., & Jamal, N. (2023). ANALISIS KEKUATAN ASPAL DENGAN PEMANFAATAN LIMBAH STYROFOAM PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE-BINDER COURSE (AC-BC) TERHADAP PENGUJIAN MARSHALL. *JURNAL REKAYASA*, *13*(2), 133-144.

Kinanti, A., Sarwono, D., & Setiawan, A. (2022). Tinjauan Durabilitas Penambahan Kadar 1,5% *Styrofoam* Pada Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC). Matriks Teknik Sipil, 10(2), 137–144. Https://Doi.Org/10.20961/Mateksi.V10i2.59747

DOI: https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2. 12866
Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Lolok, N., Ali, N., & Rachman, R. (2021). Pengaruh *Styrofoam* Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Laston Lapis Aus. Jurnal Teknik Sipil UKI Paulus-Makassar, 3(3). Https://Doi.Org/10.52722/Bva8z796

Natzan, W. F., Pradana, F. Y. Y., H, S. M., Maricar, M. H., & Bulgis. (2024). Sensitivitas Nilai Modulus Elastisitas Campuran AC-BC (Asphalt Concrete Binder Course) Akibat Perubahan Temperatur Pengujian. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 9(3). Https://Doi.Org/10.33096/Ynnzsv30

Sampe, D. N., Alpius, & Elizabeth. (2022). Pengaruh *Styrofoam* Sebagai Bahan Tambah Campuran AC-BC Batu Sungai Tetean Kabupaten Mamasa. Paulus Civil Engineering Journal, 4(2), 200–207. Https://Doi.Org/10.52722/Tmaywg16

SNI 1969:2016, Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta

SNI 1970:2016, Metode Pengujian Berat Jenis, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta

SNI 2417:2008, Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angles, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta

SNI 2433:2011, Cara Uji Titik Nyala Dan Titik Bakar Aspal Dengan Alat Clevelend Open Cup, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta

SNI 2434:2011, Cara Uji Titik Lembek Aspal Dengan Alat Cincin Dan Bola(Ring And Ball), Badan Standarisasi Nasional, Jakarta

SNI 2441:2011, Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta

Theovani, A., Azwansyah, H., & Mayuni, S. (2025). *Pengaruh Penggunaan Styrofoam Terhadap Karakteristik Marshall Campuran AC-BC.* Https://Doi.Org/10.26418/Jts.V25i3.90468

Tisnawan, R., Husaini, R. R., Yazid, M., & Saventina, E. M. (2025). Analisis Karakteristik Marshall Dari Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Dengan Penambahan Limbah *Styrofoam* (Polystyrene) Pada Aspal Penetrasi 60/70. Impression: Jurnal Teknologi Dan Informasi, 4(1), 83-89. Https://Doi.Org/10.52722/Tmaywg16

DOI: https://doi.org/10.69693/ijmst.v4i2. 12866
Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)