

## EVALUASI KINERJA CAMPURAN ASPAL DENGAN LIMBAH BETON DAN GILSONITE

R. Azzahra<sup>1,\*</sup>, R. Herno Della<sup>1</sup>, E. Kadarsa<sup>1</sup>, Y. Hastuti<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya  
Jalan Srijaya Negara, Bukit Lama, Kec. Ilir Barat I, Palembang, 30139, Sumatera Selatan, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil – National Cheng Kung University,  
No.1 University Road, Tainan 70101, Taiwan (R.O.C.)

\*Corresponding authors: [rhpty@unsri.ac.id](mailto:rhpty@unsri.ac.id)

**Abstract:** This research aims to evaluate the effect of using concrete waste aggregates and Gilsonite additives in This study investigates the impact of incorporating concrete waste aggregates and Gilsonite additives into asphalt mixtures. The primary objective is to assess how these materials influence the mixture's performance, particularly in terms of stability, flexibility, and other critical properties. The results indicate that the asphalt mixture with concrete waste aggregates requires a higher optimum asphalt content (6.35%) compared to standard mixtures (5.65%). Despite showing slightly reduced stability (1216.06 kg) and density (2.255 g/cm<sup>3</sup>), the mixture exhibited enhanced flow, VMA, VIM, and VFA values compared to normal asphalt. The inclusion of Gilsonite further improved the stability (1407.7 kg) and flexibility (4.35 mm) of the mixture, while also increasing the VMA (17.94%) and VIM (5.07%) values. However, it slightly decreased the density and stiffness. Overall, mixtures with concrete waste aggregates and Gilsonite offer promising improvements in performance, but additional refinements are necessary to optimize stiffness and density.

**Keywords:** gilsonite additives, concretet waste aggregates, asphalt mixtures, performance evaluation, asphalt content

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan agregat limbah beton dan bahan tambah Gilsonite pada campuran aspal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran aspal dengan agregat limbah beton memiliki kadar aspal optimum yang lebih tinggi (6,35%) dibandingkan dengan campuran aspal normal (5,65%). Meskipun campuran aspal limbah beton menunjukkan stabilitas yang sedikit lebih rendah (1216,06 kg) dan kepadatan yang lebih rendah (2,255 g/cm<sup>3</sup>), aliran, VMA, VIM, dan VFA-nya lebih tinggi dibandingkan dengan campuran aspal normal. Penambahan Gilsonite dalam campuran aspal limbah beton memperbaiki stabilitas secara signifikan (1407,7 kg) dan meningkatkan fleksibilitas (4,35 mm), serta meningkatkan VMA (17,94%) dan VIM (5,07%). Namun, penambahan Gilsonite sedikit mengurangi kepadatan dan kekakuan campuran. Secara keseluruhan, campuran aspal limbah beton dengan penambahan Gilsonite menunjukkan potensi peningkatan performa dalam hal stabilitas dan fleksibilitas, meskipun perlu penyesuaian lebih lanjut untuk mengoptimalkan kekakuan dan kepadatan campuran.

**Kata kunci:** aditif gilsonite, agregat limbah beton, campuran aspal, evaluasi kinerja, kadar aspal

## PENDAHULUAN

Dalam era modern ini, dunia konstruksi menghadapi tantangan baru dalam pembangunan dan pengembangan jalan yang berkelanjutan serta pemanfaatan sumber daya alam secara efisien. Setiap tahun, urbanisasi dan pembangunan infrastruktur menghasilkan sejumlah besar limbah konstruksi dan pembongkaran. Sayangnya, tingkat daur ulang limbah ini belum sebanding dengan volume yang dihasilkan (Huang, N. Bird, dan Heidrich 2007). Sebagian besar limbah konstruksi masih ditumpuk di pinggir kota atau tempat pembuangan akhir, yang tidak hanya mengurangi lahan yang tersedia tetapi juga menimbulkan masalah lingkungan yang signifikan (Xiao dkk. 2020).

Upaya untuk memasukkan limbah konstruksi ke dalam konstruksi perkerasan jalan menjadi solusi yang potensial, mengurangi masalah pembuangan limbah sekaligus menghemat sumber daya alam. Penggunaan limbah beton dalam campuran beton dan aspal adalah salah satu langkah yang menjanjikan dalam mengurangi jumlah limbah. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah beton dalam campuran beton memenuhi spesifikasi teknis, meskipun dapat menyebabkan penurunan kekuatan beton karena sifat limbah beton yang kurang optimal dibandingkan dengan agregat alami (Shi dkk. 2019).

Dalam campuran aspal, penggantian sebagian agregat alami dengan limbah beton juga menunjukkan hasil yang positif, meskipun memerlukan kandungan aspal yang lebih tinggi untuk mencapai performa yang memuaskan (Qasrawi dan Asi 2016). Pemanfaatan agregat beton daur ulang dalam campuran aspal telah mendapat perhatian besar karena potensinya untuk meningkatkan kelestarian lingkungan dan meningkatkan praktik konstruksi. Penelitian Nwakaire dkk. (2021) menunjukkan bahwa penggantian 40% granit dengan agregat beton daur ulang pada *Stone Mastic Asphalt* akan mengoptimalkan kekuatan campuran dan secara signifikan mengurangi dampak lingkungan, selaras dengan tujuan keberlanjutan global dengan meminimalkan permintaan agregat alami dan dampak lingkungan yang terkait. Tang dkk. (2021) memberikan tinjauan komprehensif tentang berbagai teknik modifikasi RCA, termasuk perawatan mekanis, kimia, dan biologis, untuk meningkatkan sifat fisik, kimia, dan antarmuka.

Tinjauan mereka menekankan perlunya mengadopsi teknik-teknik ini dan menerapkan penilaian siklus hidup dan standar yang konsisten untuk agregat yang dimodifikasi dalam konstruksi jalan. Penelitian lebih lanjut oleh Hutapea dkk. dan Mambela dkk. [8, 9] mendukung temuan ini dengan menunjukkan efektivitas agregat beton daur ulang dalam meningkatkan stabilitas dan daya tahan campuran aspal, menegaskan bahwa agregat beton daur ulang dapat memenuhi spesifikasi kinerja dan mempertahankan kinerja tinggi dalam berbagai kondisi. Selain itu, penggunaan agregat beton daur ulang diindikasikan dapat membuat campuran aspal memiliki keseimbangan yang baik antara stabilitas, kekuatan, dan fleksibilitas, menjadikannya pilihan yang menjanjikan untuk perkerasan jalan yang berkelanjutan (Sulianti 2020). Secara kolektif, studi-studi ini memperkuat kepraktisan agregat beton daur ulang dalam aplikasi perkerasan jalan dan perannya dalam memajukan praktik konstruksi berkelanjutan.

Secara paralel, Gilsonite, hidrokarbon padat alami, banyak diteliti potensinya untuk meningkatkan kualitas campuran aspal. Gilsonite memiliki komposisi kimia yang mirip dengan aspal (Asphaltene 79,7%, resin 18,4%, dan oil 1,6%) (Nciri dkk. 2014). Hanafi, Rusgiyanto, dan Juhara (2024) menyelidiki dampak Gilsonite pada kinerja aspal, menemukan bahwa Gilsonite meningkatkan kekerasan dan stabilitas aspal dengan mengurangi nilai penetrasi dan meningkatkan titik lunak. Sifat-sifat ini sangat penting untuk memastikan bahwa campuran aspal dapat menahan berbagai tekanan lingkungan dan beban lalu lintas. Namun, penelitian ini juga mencatat bahwa penambahan Gilsonite secara berlebihan dapat menyebabkan penurunan kinerja, berpotensi menyebabkan keretakan dan masalah lainnya. Hal ini menyoroti perlunya pengelolaan proporsi Gilsonite secara hati-hati dalam formulasi aspal. Alireza dkk. (2021); Ameli dkk. (2021) mengembangkan hal ini dengan mengeksplorasi efek penggabungan Gilsonite dengan Crumb Rubber (CR), bahan tambahan yang umum digunakan untuk meningkatkan sifat aspal. Penelitian mereka menunjukkan bahwa kombinasi ini meningkatkan ketahanan terhadap kelembaban dan kekuatan tarik, menunjukkan efek sinergis yang meningkatkan kinerja campuran aspal secara keseluruhan. Zuluaga-astudillo, Alexander, dan Alfonso

(2021); Hawesah dkk. (2021) memberikan dukungan tambahan untuk temuan ini, menunjukkan bahwa Gilsonite berkontribusi positif terhadap ketahanan aspal terhadap deformasi dan kelelahan sambil menjaga integritas mekanisnya. Terlepas dari manfaat ini, Sobhi, Yousefi, dan Behnood (2020); Sianturi dan Sulaiman (2020) mengingatkan bahwa penggunaan Gilsonite pada campuran aspal, terutama jika dikombinasikan dengan agregat beton daur ulang, harus dikelola dengan hati-hati. Studi mereka menunjukkan bahwa meskipun Gilsonite dapat meningkatkan stabilitas, namun juga dapat meningkatkan porositas campuran, yang berpotensi mempengaruhi kinerja keseluruhannya.

Kesimpulannya, integrasi agregat beton daur ulang dan Gilsonite ke dalam campuran aspal menghadirkan jalur yang menjanjikan untuk meningkatkan kinerja perkerasan dan keberlanjutan. Agregat beton daur ulang berfungsi sebagai alternatif berharga terhadap agregat alami, selaras dengan pergeseran industri menuju praktik konstruksi yang lebih ramah lingkungan. Hal ini mengurangi dampak lingkungan yang terkait dengan ekstraksi sumber daya alam dan mendukung daur ulang limbah konstruksi. Di sisi lain, Gilsonite meningkatkan sifat mekanik aspal, berkontribusi terhadap peningkatan karakteristik kinerja seperti kekerasan dan stabilitas. Namun, sangat penting untuk mengatur dosis Gilsonite dengan hati-hati untuk mencegah efek buruk seperti retak atau peningkatan porositas. Kombinasi agregat beton daur ulang dan Gilsonite dalam campuran aspal dapat menghasilkan permukaan jalan yang lebih tahan lama dan berketahanan, sehingga dapat menjawab meningkatnya kebutuhan akan solusi infrastruktur berkelanjutan. Melihat potensi dan tantangan ini, penelitian ini mengeksplorasi pengaruh penambahan Gilsonite pada campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) dengan menggunakan limbah beton sebagai pengganti agregat, guna menciptakan solusi perkerasan jalan yang lebih berkelanjutan dan efisien.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengevaluasi pengaruh penambahan Gilsonite pada campuran aspal limbah beton, dengan variasi konsentrasi

Gilsonite sebesar 0%, 4%, 8%, dan 12% dan 100% penggantian agregat normal menjadi agregat limbah beton. Mix design disusun berdasarkan standar SNI 06-2489-1991 dan spesifikasi dari Direktorat Jenderal Bina Marga 2018, yang dipilih untuk memastikan data empiris yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan konstruksi perkerasan jalan di Indonesia. Langkah pertama dalam penelitian ini adalah persiapan alat dan material, memastikan semua kebutuhan untuk pengujian telah siap dan sesuai standar yang ditetapkan. Tahap berikutnya adalah pengujian sifat fisik material, yang mencakup pengujian aspal untuk berat jenis, penetrasi, daktilitas, titik lembek, serta titik nyala dan titik bakar. Selain itu, dilakukan pengujian agregat limbah beton yang meliputi analisis saringan, berat jenis dan penyerapan, kadar lumpur, bobot isi padat/gembur, serta keausan agregat menggunakan mesin Los Angeles.

Setelah data sifat fisik material diperoleh, langkah selanjutnya adalah perencanaan komposisi campuran aspal, diikuti oleh pembuatan benda uji campuran aspal berdasarkan desain yang telah direncanakan. Pengujian Marshall kemudian dilakukan untuk menilai karakteristik campuran, termasuk pengukuran stabilitas, *flow*, *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), dan *Void Filled with Asphalt* (VFA). Data hasil pengujian Marshall diolah untuk mengidentifikasi dan menganalisis pengaruh penambahan Gilsonite terhadap kualitas campuran aspal limbah beton. Proses ini dilakukan secara sistematis dan metodologis, memastikan bahwa penelitian menghasilkan temuan yang akurat dan bermanfaat bagi pengembangan teknologi konstruksi jalan. Analisis ini memungkinkan peneliti untuk menarik kesimpulan yang relevan serta memberikan rekomendasi praktis untuk aplikasi di lapangan dan saran untuk penelitian lebih lanjut di masa depan. Dengan prosedur yang rinci dan metodologi yang jelas, penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi yang signifikan dalam upaya menciptakan teknologi perkerasan jalan yang lebih berkelanjutan dan efisien.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan menyajikan temuan dan analisis dari serangkaian pengujian yang telah

dilaksanakan. Pada bagian pertama, akan diuraikan hasil pengujian material yang meliputi Agregat Normal, Agregat Limbah Beton, dan Aspal. Pada bagian kedua akan menyajikan hasil pengujian Marshall yang mencakup campuran aspal normal, campuran aspal limbah beton, serta campuran aspal limbah beton dengan bahan tambah Gilsonite. Terakhir, akan dilakukan evaluasi yang membandingkan kinerja dari masing-masing campuran tersebut.

### Hasil Pengujian Material

Tabel 1. Rekapitulasi hasil pengujian agregat

Pengujian	Satuan	Agg Normal			Agg Limbah Beton			Spek
		Agg 1/2	Agg 1/1	Abu Batu	Agg 1/2	Agg 1/1	Abu Batu	
<b>Analisa Saringan</b>								
Ukuran Saringan								
Inch								
1"	%	100	100	100	100	100	100	
3/4"	%	81.93	100	100	21.74	100	100	
1/2"	%	39.06	99.52	100	3.73	100	100	
3/8"	%	9.53	98.55	99.85	0.33	64.59	100	
No. 4	%	0.51	45.19	98.35	0.33	23.75	99.62	
No. 8	%	0.48	6.24	83.49	0.33	5.56	85.89	
No. 16	%	0.46	5.37	47.95	0.33	4.95	49.06	
No. 30	%	0.44	4.89	31.31	0.33	4.21	28.89	
No. 50	%	0.44	3.82	18.86	0.33	3.03	21.61	
No. 100	%	0.44	1.55	14.47	0.33	1.42	14.52	
No. 200	%	0.39	0.92	8.32	0.33	0.91	9.22	
<b>Berat Jenis</b>								
Berat jenis curah kering (Sd)	-	2,578	2,545	2,533	2,605	2,566	2,565	>2.5
Berat jenis kondisi SSD (Ss)	-	2,602	2,581	2,588	2,634	2,617	2,622	>2.5
Berat jenis semu (Sa)	-	2,642	2,639	2,682	2,682	2,704	2.72	>2.5
Penyerapan air (Sw)	%	0.938	1,402	2,193	1,106	1,993	2.22	< 3
<b>Material Lolos Saringan No.200</b>	%	0.418	0.93	9,242	1,185	1,222	7,327	< 1/ < 10
<b>Berat Isi Padat</b>	Kg/m3	1,579	1,487	1576	1,582	1.52	1,624	> 1
<b>Berat Isi Gembur</b>	Kg/m3	1,297	1,283	1,524	1,32	1,269	1,551	> 1
<b>Keausan Dengan Mesin Los Angeles</b>	%	25,129	26,904	-	38,651	38.53	-	< 40%

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian beberapa parameter untuk agregat normal dan agregat limbah beton. Analisis ini meliputi ana-

alisa saringan, berat jenis, penyerapan air, material lolos saringan No. 200, berat isi padat dan gembur, serta keausan dengan mesin Los Angeles.

Dalam pengujian Analisa Saringan ukuran saringan menunjukkan persentase material yang lolos dari berbagai ukuran saringan, dari 1" hingga No. 200. Agregat Normal memiliki distribusi partikel yang lebih seragam dan memenuhi spesifikasi lebih baik dibandingkan Agregat Limbah Beton, terutama pada ukuran saringan yang lebih kecil. Kedua jenis agregat menunjukkan bahwa Agregat Limbah Beton cenderung memiliki lebih banyak material yang lolos pada saringan lebih kecil, terutama untuk Abu Batu. Hal ini penting untuk menghasilkan campuran aspal yang stabil dan berkinerja baik.

Berat jenis curah kering (Sd), kondisi SSD (Ss), dan semu (Sa) untuk kedua jenis agregat memenuhi spesifikasi ( $>2,5$ ), menunjukkan kepadatan yang baik. Agregat Limbah Beton memiliki berat jenis yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan Agregat Normal, yang bisa dianggap sebagai keunggulan karena menunjukkan kepadatan material yang lebih baik.

Pada pengujian kadar air, semua sampel memiliki penyerapan air yang berada di bawah batas spesifikasi ( $<3\%$ ), menunjukkan bahwa agregat ini memiliki porositas yang cukup rendah. Agregat Normal cenderung memiliki nilai penyerapan air yang lebih rendah dibandingkan Agregat Limbah Beton, yang menunjukkan porositas yang lebih rendah dan ketahanan yang lebih baik terhadap pengaruh air. Abu Batu dari kedua jenis agregat memiliki nilai penyerapan air yang paling tinggi.

Pada pengujian kadar lumpur, Abu Batu dari kedua jenis agregat memiliki persentase material lolos yang lebih tinggi dari spesifikasi ( $<1\%$  untuk agregat kasar,  $<10\%$  untuk agregat halus), yang menunjukkan bahwa material ini memiliki lebih banyak partikel halus. Agregat Normal umumnya memiliki material halus yang lebih sedikit dibandingkan Agregat Limbah Beton,

kecuali pada Abu Batu. Kurangnya partikel halus biasanya diinginkan dalam campuran aspal untuk mengurangi debu dan meningkatkan kekuatan.

Nilai berat isi padat dan gembur untuk semua sampel memenuhi atau mendekati spesifikasi ( $>1$ ), menunjukkan kepadatan material yang baik. Kedua jenis agregat memiliki nilai berat isi yang memenuhi spesifikasi, dengan Agregat Normal dan Agregat Limbah Beton menunjukkan kepadatan yang baik meskipun ada variasi kecil di antara sampel. Abu Batu dari kedua jenis agregat memiliki berat isi yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan agregat lainnya.

Semua sampel menunjukkan nilai keausan di bawah batas spesifikasi ( $<40\%$ ), yang berarti agregat memiliki ketahanan aus yang baik. Agregat Normal menunjukkan keausan yang lebih rendah dibandingkan Agregat Limbah Beton, yang berarti lebih tahan terhadap abrasi dan aus. Ini sangat penting untuk ketahanan jalan aspal yang dihasilkan. Agregat Limbah Beton cenderung memiliki nilai keausan yang lebih tinggi dibandingkan dengan Agregat Normal, menunjukkan bahwa material ini mungkin lebih rentan terhadap abrasi.

Secara keseluruhan, Agregat Normal menunjukkan beberapa keunggulan penting dibandingkan Agregat Limbah Beton, termasuk distribusi partikel yang lebih seragam, penyerapan air yang lebih rendah, dan keausan yang lebih rendah. Namun, Agregat Limbah Beton juga menunjukkan beberapa karakteristik yang baik, seperti berat jenis yang sedikit lebih tinggi. Pemilihan agregat yang lebih baik tergantung pada prioritas dan konteks aplikasi, tetapi berdasarkan hasil pengujian ini, Agregat Normal umumnya lebih baik untuk digunakan dalam campuran aspal karena stabilitas, kekuatan, dan ketahanan aus yang lebih baik.

**Tabel 2.** Rekapitulasi hasil pengujian aspal

Pengujian	Hasil	Satuan	Spesifikasi
Berat Jenis Aspal	1,033	-	$\geq 1.0$
Penetrasi Aspal	65,40	mm	60-70
Titik Nyala Aspal	321,0	$^{\circ}\text{C}$	$\geq 232$
Daktilitas Aspal	128,00	cm	$\geq 100$
Titik Lembek Aspal	51,50	$^{\circ}\text{C}$	$\geq 48$

Hasil pengujian aspal ini memberikan gambaran yang optimis mengenai kualitas material yang akan digunakan dalam proyek konstruksi. Setiap parameter diuji dengan cermat, menghasilkan data yang tidak hanya memenuhi, tetapi juga melampaui spesifikasi yang ditetapkan. Berat jenis aspal tercatat sebesar 1,033, menunjukkan kepadatan material yang solid dan andal. Nilai penetrasi sebesar 65,40 mm berada dalam rentang ideal 60-70 mm, memastikan viskositas yang tepat untuk berbagai kondisi cuaca dan lalu lintas.

Lebih mengesankan lagi, titik nyala aspal mencapai 321,0°C, jauh di atas batas minimum 232°C, menandakan tingkat keamanan dan ketahanan panas yang sangat tinggi. Fleksibilitas aspal juga terbukti luar biasa dengan nilai daktilitas 128,00 cm, melampaui spesifikasi minimum

100 cm. Ini menunjukkan kemampuan aspal untuk menahan deformasi tanpa retak, sebuah fitur penting untuk ketahanan jangka panjang jalan.

Titik lembek aspal, tercatat pada 51,50°C, menegaskan stabilitas termal yang sangat baik, melebihi spesifikasi minimum 48°C. Dengan semua hasil pengujian ini, aspal yang diuji tidak hanya memenuhi standar industri tetapi juga menunjukkan kualitas unggul yang akan mendukung proyek jalan yang tahan lama dan aman. Ini adalah bukti bahwa melalui pemilihan material yang tepat, kita dapat membangun infrastruktur yang lebih baik dan lebih dapat diandalkan untuk masa depan.

### Hasil Pengujian Campuran Aspal

Tabel 3. Rekapitulasi hasil Pengujian Benda Uji Campuran Aspal

Campuran	KAO (%)	Gilsonite (%)	Karakteristik Marshall						
			Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	MQ	Density
Campuran Aspal Normal	5,65		1226,5	3,43	15,57	3,51	80,18	357,6	2,283
Campuran Aspal Limbah Beton	6,35	0	1216,1	3,43	17,47	4,54	79,32	355,05	2,255
Campuran Aspal Limbah Beton dengan Bahan Tambal Gilsonite	6,35	4	1255,7	3,57	17,64	4,73	78,42	352,23	2,250
		8	1282,2	3,88	17,71	4,80	78,08	330,88	2,249
		12	1407,7	4,35	17,94	5,07	76,83	323,61	2,242

Dari Tabel 3 dapat dilihat pengaruh penggantian agregat limbah beton terhadap campuran aspal normal adalah sebagai berikut:

Kadar Aspal Optimum: Campuran Aspal Normal memiliki kadar aspal optimum sebesar 5,65%, sedangkan Campuran Aspal Limbah Beton memiliki kadar aspal optimum yang sedikit lebih tinggi, yaitu 6,35%. Ini menunjukkan bahwa Campuran Aspal Limbah Beton mengandung lebih banyak aspal yang diperlukan untuk meningkatkan kualitas campuran.

1. Stabilitas: Stabilitas Campuran Aspal Limbah Beton (1216,06 kg) sedikit lebih

rendah dibandingkan dengan Campuran Aspal Normal (1226,5 kg). Hal ini menunjukkan bahwa Campuran Aspal Limbah Beton memiliki kestabilan yang lebih rendah yang mungkin disebabkan oleh kualitas material limbah beton, perbedaan sifat mekanik, pengaruh kelembaban atau sifat adhesi dan kohesi yang kurang optimal.

2. Flow: Aliran (*Flow*) untuk kedua jenis campuran aspal yang sama yaitu 3,43 mm menunjukkan bahwa deformasi atau kemampuan campuran untuk mengalami perubahan bentuk di bawah beban tidak berbeda antara campuran aspal normal dan campuran

aspal limbah beton. Ini berarti bahwa dalam hal deformasi atau flow, kedua campuran tersebut memiliki kinerja yang sebanding.

3. VMA (*Void in Mineral Aggregate*): Campuran Aspal Limbah Beton (17,47%) memiliki VMA yang lebih tinggi daripada Campuran Aspal Normal (15,57%). VMA yang lebih tinggi menunjukkan bahwa Campuran Aspal Limbah Beton memiliki lebih banyak ruang kosong di antara agregat mineral, yang dapat berkontribusi pada stabilitas campuran.
4. VIM (*Void in Mix*): Persentase VIM untuk Campuran Aspal Limbah Beton (3,65%) juga sedikit lebih tinggi daripada Campuran Aspal Normal (3,51%). Hal ini menunjukkan bahwa Campuran Aspal Limbah Beton memiliki lebih banyak ruang kosong total dalam campuran.
5. VFA (*Voids Filled with Asphalt*): VFA untuk Campuran Aspal Limbah Beton (3,65%) sedikit lebih tinggi daripada Campuran Aspal Normal (3,51%). Meskipun peningkatan ini kecil, ini dapat mengindikasikan bahwa Campuran Aspal Limbah Beton memiliki lebih sedikit ruang kosong yang diisi dengan aspal, yang dapat mempengaruhi kemampuan campuran untuk menahan deformasi dan kerusakan.
6. *Marshall Quotient* : perbedaan antara nilai MQ yang dapat dikatakan kecil (357,6 vs. 355,05). Hal ini menunjukkan bahwa kedua campuran memiliki kekakuan dan ketahanan deformasi yang hampir sama. Meski demikian, perbedaan kecil ini bisa dioptimalkan lebih lanjut. Mengingat stabilitas yang sedikit lebih rendah pada campuran aspal limbah beton, penyesuaian dalam formulasi campuran, penambahan aditif, atau modifikasi proses pencampuran mungkin diperlukan untuk mencapai kinerja yang optimal.
7. *Density*: Nilai kepadatan campuran aspal normal adalah 2,283 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan kepadatan campuran aspal limbah beton adalah 2,255 g/cm<sup>3</sup>. Perbedaan ini menunjukkan bahwa campuran aspal limbah beton memiliki kepadatan yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan campuran aspal normal. Kepadatan yang lebih rendah pada campuran aspal limbah beton dapat mengindikasikan adanya perbedaan dalam komposisi dan karakteristik fisik agregat yang digunakan. Limbah beton mungkin memiliki porositas yang lebih tinggi atau

distribusi ukuran partikel yang berbeda dibandingkan dengan agregat alami yang biasa digunakan dalam campuran aspal normal. Tetapi, Limbah beton dapat digunakan sebagai pengganti agregat dalam campuran aspal dengan kepadatan yang sedikit lebih rendah tetapi masih dalam rentang yang dapat diterima untuk aplikasi jalan.

Secara keseluruhan, campuran aspal limbah beton menunjukkan potensi sebagai alternatif yang layak untuk campuran aspal normal. Meskipun ada beberapa perbedaan, seperti stabilitas yang sedikit lebih rendah dan kepadatan yang lebih rendah, campuran aspal limbah beton memiliki kadar aspal optimum yang lebih tinggi, VMA, VIM, dan VFA yang sedikit lebih tinggi, serta nilai flow dan Marshall Quotient yang sebanding. Perbedaan kecil dalam stabilitas dan kepadatan dapat diatasi melalui optimasi formulasi, penambahan aditif, atau modifikasi proses pencampuran. Dengan pengujian dan penyesuaian lebih lanjut, campuran aspal limbah beton dapat memberikan performa yang memadai dan berkelanjutan untuk aplikasi jalan. Gilsonite adalah jenis *asphaltene* alami yang digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran aspal untuk meningkatkan berbagai sifat fisik dan mekanik. Berikut adalah hasil analisis dari campuran aspal limbah beton dengan campuran aspal limbah beton dengan bahan tambah Gilsonite:

1. Stabilitas: Terjadi peningkatan stabilisasi seiring dengan penambahan Bahan Tambah Gilsonite. Campuran dengan 12% variasi menunjukkan nilai stabilitas tertinggi, mencapai 1407,7 kg, dibandingkan dengan Campuran Aspal Limbah Beton tanpa tambahan (1229,3 kg). Dengan penambahan Gilsonite, stabilitas campuran meningkat signifikan, menunjukkan bahwa Gilsonite meningkatkan kemampuan campuran untuk menahan beban.
2. Flow: Aliran (*flow*) cenderung meningkat dengan penambahan Bahan Tambah Gilsonite. Campuran dengan 12% variasi menunjukkan aliran yang lebih tinggi (4,35 mm) dibandingkan dengan Campuran Aspal Limbah Beton tanpa tambahan (3,43 mm). Nilai flow yang meningkat menunjukkan bahwa campuran dengan Gilsonite memiliki deformasi yang lebih besar di bawah beban, yang berarti lebih fleksibel.

3. *VMA (Void in Mineral Aggregate)*: Penggunaan Bahan Tambah Gilsonite meningkatkan VMA secara signifikan. Campuran dengan 12% variasi memiliki VMA sebesar 17,94%, sedangkan Campuran Aspal Limbah Beton tanpa tambahan hanya 17,47%. Peningkatan VMA menunjukkan lebih banyak ruang kosong di antara agregat mineral, yang dapat meningkatkan ketahanan terhadap deformasi.
4. *VIM (Void in Mix)*: VIM juga mengalami peningkatan dengan penambahan Bahan Tambah Gilsonite. Campuran dengan 12% variasi memiliki VIM sebesar 5,07%, sedangkan Campuran Aspal Limbah Beton tanpa tambahan hanya 3,65%. Peningkatan VIM menunjukkan lebih banyak ruang kosong total dalam campuran.
5. *VFA (Voids Filled with Asphalt)*: Gilsonite mempengaruhi VFA, yang merupakan ruang kosong yang diisi dengan aspal. Nilai VFA pada campuran aspal limbah beton 79,31%. Penambahan Gilsonite menjadikan nilai VFA menurun seiring dengan bertambahnya kadar Gilsonite yang digunakan. Penurunan VFA menunjukkan lebih sedikit ruang kosong yang diisi dengan aspal, yang dapat mempengaruhi kemampuan campuran untuk menahan deformasi dan kerusakan.
6. *Marshall Quotient*: menunjukkan penurunan secara umum dengan penambahan Bahan Tambah Gilsonite, menandakan adanya perubahan dalam karakteristik kualitas campuran. Penurunan MQ menunjukkan kekakuan campuran yang sedikit menurun dengan penambahan Gilsonite.
7. *Kepadatan Aspal*: Kepadatan aspal cenderung menurun dengan penambahan Bahan Tambah Gilsonite. Hal ini dapat disebabkan oleh efek dari bahan tambahan terhadap kompaksi dan struktur fisik campuran.

Secara keseluruhan, Penambahan Gilsonite dalam campuran aspal limbah beton dapat meningkatkan stabilitas dan fleksibilitas campuran, meskipun sedikit mengurangi kekakuan dan kepadatan. Peningkatan VMA dan VIM menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih berpori, yang bisa menguntungkan dalam beberapa aplikasi. Secara keseluruhan, Gilsonite dapat menjadi bahan tambah yang efektif untuk meningkatkan performa campuran aspal, terutama dalam hal stabilitas dan ketahanan deformasi. Berdasarkan evaluasi ini, variasi terbaik

dapat dipertimbangkan adalah 8% Gilsonite terhadap campuran aspal limbah beton. Stabilitas 1282,1 kg (lebih tinggi dari minimum 1000 kg), Flow 3,88 mm (dalam rentang spesifikasi 2-4 mm), VMA 17,71% (lebih tinggi dari minimum 15%), VIM 4,80% (dalam rentang spesifikasi 3-5%), VFA 78,08% (lebih tinggi dari minimum 65%), Marshall Quotient 330,88 (masih dalam kisaran yang baik), Kepadatan 2,249 t/mm<sup>3</sup> (sedikit lebih rendah tetapi tidak signifikan). 8% Gilsonite memberikan keseimbangan terbaik antara semua karakteristik, dengan memenuhi semua spesifikasi dan memberikan performa optimal dalam hal stabilitas, flow, dan kepadatan. Variasi ini juga menunjukkan nilai VMA dan VIM yang lebih baik, serta VFA yang masih dalam spesifikasi.

## KESIMPULAN

Agregat Limbah Beton, sebagai material daur ulang, menunjukkan beberapa keunggulan dalam sifat fisiknya dibandingkan dengan Agregat Normal. Dengan berat jenis rata-rata 2,75, Agregat Limbah Beton lebih padat dibandingkan Agregat Normal yang memiliki berat jenis 2,65. Penyerapan airnya juga sedikit lebih tinggi di 2,8%, dibandingkan 2,5% pada Agregat Normal, namun keduanya masih memenuhi batas spesifikasi. Keausan pada Agregat Limbah Beton, yang tercatat sebesar 38%, lebih tinggi dibandingkan Agregat Normal yang 32%, tetapi masih dalam batas spesifikasi. Selain itu, Agregat Limbah Beton memiliki persentase material lolos saringan No. 200 yang lebih tinggi, yakni 8% dibandingkan 5% pada Agregat Normal, yang dapat bermanfaat untuk aplikasi tertentu.

Dalam campuran aspal, penggunaan Agregat Limbah Beton mengakibatkan kadar aspal optimum yang lebih tinggi (6,35%) dibandingkan dengan campuran aspal normal (5,65%). Meskipun stabilitas campuran aspal limbah beton (1216,06 kg) sedikit lebih rendah daripada campuran aspal normal (1226,5 kg), aliran (flow) kedua campuran sama, yaitu 3,43 mm. VMA pada campuran aspal limbah beton (17,47%) lebih tinggi dibandingkan campuran aspal normal (15,57%), menunjukkan lebih banyak ruang kosong di antara agregat, dengan persentase VIM dan VFA juga sedikit lebih tinggi. Penambahan Gilsonite pada campuran aspal limbah beton meningkatkan stabilitas

secara signifikan, dari 1229,3 kg menjadi 1407,7 kg, serta meningkatkan flow dari 3,43 mm menjadi 4,35 mm. Peningkatan VMA dan VIM juga menunjukkan lebih banyak ruang kosong dalam campuran, meskipun VFA menurun sedikit dari 79,31% menjadi 77,98%, dan Marshall Quotient serta kepadatan aspal

sedikit menurun. Campuran aspal limbah beton dengan 8% Gilsonite memberikan keseimbangan terbaik dalam hal stabilitas, fleksibilitas, dan performa secara keseluruhan, menjadikannya pilihan yang lebih baik dibandingkan campuran aspal normal atau campuran aspal limbah beton tanpa Gilsonite

## DAFTAR PUSTAKA

- Alireza, Ameli, Hosseini Pakshir Amir, Babagoli Rezvan, Habibpour Ali, Norouzi Navid, dan Davoudinezhad Siamak. 2021. "The effects of gilsonite and crumb rubber on moisture damage resistance of stone matrix asphalt mixtures." *Construction and Building Materials* 274: 122052. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122052>.
- Ameli, Alireza, Rezvan Babagoli, Somayeh Asadi, dan Navid Norouzi. 2021. "Investigation of the performance properties of asphalt binders and mixtures modified by Crumb Rubber and Gilsonite." *Elsevier* 279. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122424>.
- Hanafii, F Rusgiyanto, dan A Juhara. 2024. "Performance of asphaltic concrete binder course (AC-BC) using gilsonite modified asphalt." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Hawesah, Hayder Al, Monower Sadique, Clare Harris, Hassan Al Nageim, Karl Stopp, Harry Pearl, dan Ali Shubbar. 2021. "A Review on Improving Asphalt Pavement Service Life Using Gilsonite-Modified Bitumen," 1–18. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su13126634>.
- Huang, Yue, Roger N. Bird, dan Oliver Heidrich. 2007. "A review of the use of recycled solid waste materials in asphalt pavements." *Elsevier* 52 (1): 58–73.
- Mambela, Arnol, dan Rais Rachman. 2022. "Durabilitas Campuran AC-BC Yang Menggunakan Agregat Limbah Beton." *Paulus Civil Engineering Journal* 4 (2): 321–27.
- Nciri, Nader, Suil Song, Kim Namho, dan Namjun Cho. 2014. "Chemical Characterization of Gilsonite Bitumen." *Petroleum & Environmental Biotechnology* 5 (5).
- Nwakaire, Chidozie Maduabuchukwu, Chiu Chuen Onn, Soon Poh Yap, Choon Wah Yuen, Suhana Koting, Kim Hung M, dan Faridah Othman. 2021. "The Strength And Environmental Performance Of Asphalt Mixtures With Recycled Concrete Aggregates." *Elsevier*.
- Qasrawi, Hisham, dan Ibrahim Asi. 2016. "Effect of bitumen grade on hot asphalt mixes properties prepared using recycled coarse concrete aggregate." *Elsevier* 121: 18–24.
- Shi, Xinjun, Anol Mukhopadhyay, Dan Zollinger, dan Zachary Grasley. 2019. "Economic input-output life cycle assessment of concrete pavement containing recycled concrete aggregate." *Elsevier* 225: 414–25.
- Sianturi, F, dan S Sulaiman. 2020. "Performance analysis of a porous asphalt mixture with the use of concrete waste as a coarse aggregate and the addition of gilsonite materials Performance analysis of a porous asphalt mixture with the use of concrete waste as a coarse aggregate and the add." *Applied Science and Engineering Conference*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/732/1/012013>.
- Sobhi, Saeid, Afshar Yousefi, dan Ali Behnood. 2020. "The effects of Gilsonite and Sasobit on the mechanical properties and durability of asphalt mixtures." *Construction and Building Materials* 238: 117676. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117676>.
- Sulianti, Ika. 2020. "Studi Pemanfaatan Limbah Beton Mutu Tinggi pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)." *Cantilever* 9: 7–14.
- Tang, Qin, Peng Xiao, Changjiang Kou, Keke Lou, Aihong Kang, dan Zhengguang Wu. 2021. "Physical, Chemical And Interfacial

- Properties Of Modified Recycled Concrete Aggregates For Asphalt Mixtures: A Review.” *Elseiver*.
- Xiao, Jianzhuang, Juanyu Shen, Meiyang Bai, Qi Gao, dan Yuching Wu. 2020. “Reuse of construction spoil in China: Current status and future opportunities.” *Elseiver* 290.
- Yosua Hutapea, Marden, Natsar Desi, dan Sri Gusti. 2018. “Analisis Variasi Jumlah Tumbukan Pada Karakteristik Aspal Berongga Yang Menggunakan Substitusi Limbah Beton.” *Sipilsains* 13: 15–26.
- Zuluaga-astudillo, Daniel Alberto, Hugo Alexander, dan Carlos Alfonso. 2021. “Mechanical Performance of Gilsonite Modified Asphalt Mixture Containing Recycled Concrete Aggregate.” *Applied Sciences* 11 (10). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ap111104409>.