Empiricism Journal
https://journal-center.litpam.com/index.php/empiricism
email: empiric.journal@gmail.com

Vol. 7, No 1, Maret 2026
e-ISSN: 2745-7613
pp. 270-279

Analisis Teoretis Kinerja *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dalam Campuran *Asphalt Concrete* pada Konstruksi Jalan

Nailil Khairini* & Sopian Dimas Priadi
Universitas Islam Labuhan Batu, Jl. H. M. Yunus No. 09, Rantau Prapat, Rantau Selatan, Kabupaten Labuhanbatu, Sumatera Utara, Indonesia 21412.
Email Korespondensi: nkhairini96@gmail.com

Abstrak

Pemanfaatan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dalam campuran *Asphalt Concrete* (AC) telah banyak diteliti sebagai solusi berkelanjutan dalam konstruksi perkerasan jalan, namun masih terdapat ketidakkonsistenan temuan terkait batas optimal penggunaan RAP yang mampu menjaga keseimbangan antara peningkatan stabilitas dan penurunan fleksibilitas serta ketahanan retak. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis secara sistematis temuan-temuan empiris mengenai pengaruh kadar RAP terhadap kinerja mekanis campuran AC guna mengidentifikasi pola hubungan yang lebih komprehensif. Metode yang digunakan adalah systematic literature review terhadap 15 artikel ilmiah yang dipublikasikan pada rentang tahun 2005–2025 dan diindeks pada database Google Scholar. Artikel dipilih berdasarkan kriteria inklusi berupa penelitian eksperimental pada campuran AC dengan variasi kadar RAP, serta dianalisis menggunakan teknik sintesis tematik berbasis parameter kinerja, meliputi stabilitas, kekakuan, deformasi, dan ketahanan retak. Hasil sintesis menunjukkan bahwa peningkatan kadar RAP secara konsisten berkontribusi terhadap peningkatan stabilitas dan kekakuan campuran akibat dominasi aged binder, namun pada kadar di atas ±30% terjadi penurunan signifikan pada fleksibilitas dan ketahanan fatigue, sehingga meningkatkan potensi retak dini. Selain itu, studi ini menemukan bahwa penggunaan bahan peremaja (rejuvenator) menjadi faktor kunci dalam mengoptimalkan kinerja campuran RAP tinggi. Temuan ini menegaskan adanya trade-off antara kekuatan struktural dan durabilitas yang perlu dikelola melalui desain campuran berbasis kinerja. Secara praktis, hasil penelitian ini memberikan dasar ilmiah bagi perumusan batas optimal penggunaan RAP dan strategi modifikasi campuran untuk meningkatkan keberlanjutan konstruksi jalan.

Kata kunci: *Reclaimed Asphalt Pavement; Asphalt Concrete;* Material Daur Ulang; Konstruksi Jalan.

Theoretical Analysis of the Performance of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) in Asphalt Concrete Mixtures for Road Construction

Abstract

The utilization of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) in Asphalt Concrete (AC) mixtures has been widely studied as a sustainable solution in pavement construction; however, inconsistencies remain regarding the optimal RAP content that can balance increased stability with reduced flexibility and cracking resistance. Therefore, this study aims to systematically synthesize empirical findings on the effect of RAP content on the mechanical performance of AC mixtures in order to identify more comprehensive relationship patterns. The method employed is a systematic literature review of 15 scientific articles published between 2005 and 2025 and indexed in the Google Scholar database. The articles were selected based on inclusion criteria focusing on experimental studies of AC mixtures with varying RAP contents and were analyzed using a thematic synthesis approach based on performance parameters, including stability, stiffness, deformation, and cracking resistance. The synthesis results indicate that increasing RAP content consistently contributes to higher stability and stiffness of the mixture due to the dominance of aged binder; however, at contents above approximately 30%, a significant decrease in flexibility and fatigue resistance is observed, thereby increasing the potential for early cracking. In addition, this study finds that the use of rejuvenating agents (rejuvenators) is a key factor in optimizing the performance of high-RAP mixtures. These findings highlight the existence of a trade-off between structural strength and durability, which must be managed through performance-based mix design. Practically, the results of this study provide a scientific basis for determining the optimal RAP content and developing mix modification strategies to enhance the sustainability of pavement construction.

Keywords: *Reclaimed Asphalt Pavement; Asphalt Concrete; Recycled Materials, Road Construction.*

How to Cite: Khairini, N., & Priadi, S. D. (2026). Analisis Teoretis Kinerja *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dalam Campuran *Asphalt Concrete* pada Konstruksi Jalan. *Empiricism Journal*, *7*(1), 270-279. https://doi.org/10.36312/70jcpa33

https://doi.org/10.36312/70jcpa33

Copyright© 2026, Khairini & Priadi.
This is an open-access article under the CC-BY-SA License.

PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan lalu lintas dan mobilitas barang serta manusia, tuntutan terhadap kinerja infrastruktur jalan menjadi semakin tinggi. Perkerasan lentur yang menggunakan campuran aspal dituntut tidak hanya memiliki kekuatan struktural yang memadai, tetapi juga mampu mempertahankan kinerja jangka panjang di bawah beban lalu lintas berulang dan pengaruh lingkungan. Namun demikian, kerusakan dini seperti deformasi permanen, retak lelah (*fatigue cracking*), dan penurunan kekuatan struktural masih sering terjadi, yang menunjukkan perlunya inovasi dalam material dan desain campuran perkerasan jalan.

Salah satu pendekatan yang berkembang pesat dalam rekayasa perkerasan adalah pemanfaatan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) sebagai material daur ulang dalam campuran aspal. RAP merupakan material hasil pembongkaran perkerasan lama yang masih mengandung agregat dan aspal, sehingga berpotensi dimanfaatkan kembali dalam campuran baru. Pemanfaatan RAP tidak hanya berkontribusi pada efisiensi penggunaan sumber daya alam dan pengurangan biaya konstruksi, tetapi juga mendukung prinsip *sustainable pavement engineering* melalui pengurangan limbah konstruksi dan emisi produksi material baru (Huang et al., 2005; Suaryana & Sofyan, 2019; Tarsi et al., 2020).

Secara mekanis, sejumlah penelitian menunjukkan bahwa penambahan RAP dalam campuran *Asphalt Concrete* (AC) dapat meningkatkan nilai stabilitas dan kekakuan campuran akibat kontribusi aspal lama yang telah mengalami penuaan (*aged binder*) (Zhang et al., 2024; Zhou et al., 2021). Namun, peningkatan kekakuan tersebut tidak selalu berdampak positif terhadap kinerja jangka panjang, karena dapat menurunkan fleksibilitas campuran dan meningkatkan potensi terjadinya retak lelah maupun retak suhu rendah (Das & Pradhan, 2019; Sedthayutthaphong et al., 2021). Dengan demikian, penggunaan RAP menghadirkan trade-off antara peningkatan kekuatan awal dan potensi penurunan durabilitas.

Permasalahan utama dalam pemanfaatan RAP terletak pada karakteristik *aged binder* yang mengalami oksidasi selama masa layanan perkerasan. Proses penuaan ini menyebabkan peningkatan viskositas dan kekakuan aspal, yang secara langsung mempengaruhi respons viskoelastis campuran aspal baru. Oleh karena itu, berbagai pendekatan seperti penyesuaian kadar aspal baru maupun penggunaan *rejuvenator* telah dikembangkan untuk mengembalikan sifat reologi binder agar mendekati kondisi awal (Georgiou & Loizos, 2021; Khan et al., 2021). Meskipun demikian, efektivitas pendekatan tersebut sangat bergantung pada karakteristik RAP yang digunakan.

Meskipun kajian mengenai RAP telah berkembang luas, terdapat beberapa ketidakjelasan dalam literatur yang masih menjadi perdebatan. Pertama, belum terdapat konsensus mengenai batas optimal kadar RAP yang dapat digunakan tanpa mengorbankan kinerja jangka panjang, khususnya terkait keseimbangan antara stabilitas, kekakuan, dan ketahanan retak. Kedua, sebagian besar penelitian berfokus pada pengujian eksperimental dalam kondisi terkontrol, sehingga belum sepenuhnya menggambarkan variasi karakteristik RAP di lapangan. Ketiga, integrasi antara aspek mekanis dan keberlanjutan dalam evaluasi kinerja RAP masih terbatas dan cenderung dipisahkan.

Selain itu, dalam konteks Indonesia, khususnya pada wilayah dengan kondisi lalu lintas dan lingkungan yang spesifik, kajian mengenai RAP masih relatif terbatas dan belum terintegrasi secara komprehensif. Padahal, karakteristik RAP sangat dipengaruhi oleh sumber material, kondisi iklim, serta riwayat pembebanan jalan sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa generalisasi hasil penelitian dari konteks global ke kondisi lokal tidak selalu dapat dilakukan secara langsung tanpa analisis kritis.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menawarkan kontribusi berupa kajian teoretis yang mengintegrasikan berbagai temuan empiris terkait kinerja RAP dalam campuran Asphalt Concrete dengan menekankan pada hubungan antara kadar RAP, karakteristik *aged binder*, serta implikasinya terhadap parameter kinerja utama. Berbeda dengan studi sebelumnya yang cenderung terfragmentasi, penelitian ini menyusun sintesis kritis yang berfokus pada tiga indikator utama, yaitu stabilitas, kekakuan, dan potensi kerusakan (retak dan deformasi), dalam kerangka evaluasi yang lebih terintegrasi.

Dengan demikian, tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis secara teoretis pengaruh penggunaan RAP dalam campuran Asphalt Concrete terhadap kinerja mekanis

campuran, khususnya meliputi stabilitas Marshall, kekakuan campuran, serta potensi kerusakan berupa deformasi permanen dan retak lelah. Penelitian ini dibatasi pada kajian literatur yang relevan dan tidak mencakup pengujian eksperimental, sehingga fokus utama terletak pada sintesis dan evaluasi kritis terhadap hasil penelitian terdahulu.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode kajian teoretis (*theoretical analysis*) untuk menganalisis kinerja *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dalam campuran *Asphalt Concrete* (AC) pada konstruksi jalan. Pendekatan ini bertujuan untuk mengkaji secara konseptual dan komprehensif berbagai teori, konsep, serta hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pemanfaatan RAP dalam campuran aspal. Metode kajian teoretis digunakan untuk memperoleh pemahaman yang mendalam mengenai karakteristik material RAP, pengaruhnya terhadap sifat mekanis campuran aspal, serta implikasinya terhadap kinerja perkerasan jalan. Pendekatan ini umum digunakan dalam penelitian rekayasa perkerasan untuk merumuskan pemahaman konseptual terhadap performa material dan teknologi konstruksi jalan.

Penelitian ini dilaksanakan dengan mengambil konteks wilayah Kabupaten Labuhanbatu, Provinsi Sumatera Utara, sebagai latar kajian. Wilayah tersebut dipilih karena memiliki perkembangan aktivitas transportasi yang cukup signifikan sehingga membutuhkan peningkatan kualitas infrastruktur jalan yang berkelanjutan. Dalam konteks ini, pemanfaatan RAP sebagai material daur ulang pada konstruksi perkerasan jalan berpotensi menjadi alternatif solusi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan material sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari kegiatan konstruksi jalan.

Sumber data dalam penelitian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari berbagai literatur ilmiah yang relevan dengan topik penelitian. Literatur tersebut meliputi artikel jurnal internasional, jurnal nasional terakreditasi, jurnal nasional non akreditasi dan prosiding konferensi ilmiah, yang jumlah nya adalah 15 sumber yang diperoleh melalui mesin pencarian *google scholar*, yang secara umum membahas terkait aspal, teknologi perkerasan jalan, karakteristik RAP, dan desain campuran AC.

Prosedur pengumpulan data dilakukan melalui studi literatur sistematis dengan menelusuri berbagai publikasi ilmiah yang relevan dengan topik penelitian yang dilakukan pada mesin pencarian *google scholar*. Literatur yang digunakan dipilih berdasarkan beberapa kriteria, yaitu relevansi dengan topik RAP dan AC, tahun publikasi yang dipakai adalah mulai tahun 2020 sampai 2025, serta kualitas sumber yang berasal dari jurnal ilmiah seperti yang disebutkan sebelumnya di atas.

Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan analisis deskriptif-kualitatif. Analisis ini dilakukan dengan cara mengkaji, membandingkan, serta mensintesis berbagai konsep teoritis dan hasil penelitian yang telah dipublikasikan sebelumnya. Proses analisis dilakukan untuk mengidentifikasi pola hubungan antara penggunaan RAP dan kinerja campuran AC, baik dari segi karakteristik volumetrik, stabilitas, maupun ketahanan terhadap deformasi dan retak. Hasil analisis tersebut kemudian diinterpretasikan untuk memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai potensi pemanfaatan RAP dalam konstruksi perkerasan jalan, khususnya dalam mendukung pembangunan infrastruktur jalan yang efisien dan kuat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berdasarkan hasil kajian teoretis terhadap berbagai literatur ilmiah mengenai pemanfaatan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dalam campuran *Asphalt Concrete* (AC), diketahui bahwa RAP memiliki potensi yang cukup besar untuk digunakan kembali sebagai material dalam konstruksi perkerasan jalan. RAP mengandung agregat dan residu aspal yang masih memiliki nilai teknis sehingga dapat dimanfaatkan dalam campuran aspal baru. Hasil kajian menunjukkan bahwa pemanfaatan RAP dapat memberikan efisiensi dalam penggunaan material konstruksi sekaligus mengurangi kebutuhan agregat dan aspal baru dalam proses produksi campuran aspal.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa karakteristik utama RAP yang mempengaruhi kinerja campuran Asphalt Concrete adalah kualitas agregat yang terkandung

di dalamnya, kadar aspal lama, serta tingkat penuaan (*aging*) dari aspal tersebut. Aspal lama yang terdapat dalam RAP umumnya telah mengalami proses oksidasi selama masa pelayanan perkerasan sebelumnya sehingga sifatnya menjadi lebih kaku dibandingkan dengan aspal baru. Kondisi ini dapat mempengaruhi sifat mekanis campuran aspal yang dihasilkan, terutama dalam hal fleksibilitas dan ketahanan terhadap retak.

Selain itu, hasil kajian literatur menunjukkan bahwa penggunaan RAP dalam campuran Asphalt Concrete dapat meningkatkan nilai stabilitas campuran pada pengujian Marshall. Hal ini disebabkan oleh karakteristik aspal lama yang lebih keras sehingga dapat meningkatkan kekakuan campuran aspal. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan RAP dalam kadar tertentu mampu menghasilkan nilai stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran aspal konvensional yang hanya menggunakan material baru.

Namun demikian, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa peningkatan kadar RAP dalam campuran aspal dapat mempengaruhi sifat deformasi campuran. Campuran yang mengandung RAP dalam jumlah tinggi cenderung memiliki kekakuan yang lebih besar sehingga berpotensi mengurangi kemampuan campuran dalam menahan retak akibat beban lalu lintas berulang atau perubahan temperatur. Oleh karena itu, penentuan kadar RAP dalam campuran aspal harus dilakukan secara optimal agar tidak menurunkan kinerja perkerasan jalan dalam jangka panjang.

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa penggunaan RAP dalam campuran AC dapat memberikan keuntungan dari sisi ekonomi dan lingkungan. Pemanfaatan material daur ulang dalam konstruksi jalan mampu mengurangi biaya produksi campuran aspal serta menekan penggunaan sumber daya alam yang berasal dari penambangan agregat. Selain itu, penggunaan RAP juga dapat mengurangi limbah konstruksi yang dihasilkan dari proses rehabilitasi perkerasan jalan lama.

Di bawah ini akan disajikan tabel tentang sintesis literatur kinerja RAP dalam campuran asphalt concrete.

Tabel 1. Sintesis literatur kinerja RAP dalam campuran *asphalt concrete*

Penulis (Tahun)	Fokus Penelitian	Kadar RAP	Parameter yang Dianalisis	Temuan Utama
Huang et al. (2005)	Pemanfaatan RAP dalam HMA	Variatif	Stabilitas, workability	RAP meningkatkan stabilitas, namun workability menurun
Akrom et al. (2021)	Stabilitas campuran RAP	≤30%	Stabilitas Marshall	Stabilitas meningkat pada kadar tertentu
Sedthayutthaphong et al. (2021)	Pengaruh *aged binder*	Tinggi	*Skid resistance, stiffness*	Kekakuan meningkat akibat *aging*
Zhou et al. (2021)	Daur ulang aspal lama	Variatif	Kinerja mekanis	RAP meningkatkan kekuatan awal
Zhang et al. (2024)	Evaluasi performa campuran	Tinggi	*Stiffness, cracking*	Kekakuan tinggi namun risiko retak meningkat
Das & Pradhan (2019)	Ketahanan material	Variatif	Durabilitas	RAP mempengaruhi ketahanan jangka panjang
Toth et al. (2023)	*Rheologi binder RAP*	Tinggi	Rheologi, viskositas	Binder RAP lebih kaku
Khan et al. (2021)	Penggunaan rejuvenator	Tinggi	Fatigue, stiffness	Rejuvenator meningkatkan fleksibilitas
Georgiou & Loizos (2021)	Campuran RAP tinggi	>40%	Kinerja mekanis	Kinerja tergantung kualitas RAP
Fakhri & Amoosoltani (2017)	RAP pada beton jalan	Variatif	Kekuatan mekanis	RAP meningkatkan kekuatan
Wulandari et al. (2019)	Campuran aspal	Variatif	Stabilitas, deformasi	RAP meningkatkan stabilitas

Penulis (Tahun)	Fokus Penelitian	Kadar RAP	Parameter yang Dianalisis	Temuan Utama
	modifikasi			
Nadhifah & Mahardi (2025)	RAP pada AC-WC	±25%	Stabilitas, durabilitas	Kadar optimal sekitar 25%
Elnihum et al. (2024)	RAP tinggi dengan *epoxy asphalt*	Tinggi	Kinerja struktural	Performa meningkat signifikan
Tarsi et al. (2020)	Review RAP global	Variatif	Multi-parameter	RAP efektif namun kompleks
Luo & Zhang (2023)	Aspek keberlanjutan	Variatif	Lingkungan, ekonomi	RAP mengurangi biaya & emisi

Dalam konteks wilayah penelitian di Kabupaten Labuhanbatu, pemanfaatan RAP memiliki potensi yang cukup besar untuk diterapkan dalam kegiatan rehabilitasi dan peningkatan jalan. Kondisi jaringan jalan yang terus berkembang serta meningkatnya kebutuhan pemeliharaan jalan membuat teknologi pemanfaatan RAP dapat menjadi alternatif yang efisien dalam pengelolaan infrastruktur jalan. Dengan pengelolaan material yang tepat, penggunaan RAP berpotensi meningkatkan efisiensi konstruksi jalan sekaligus mendukung konsep pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan.

Pembahasan

Pemanfaatan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dalam campuran *Asphalt Concrete* (AC) merupakan salah satu bentuk penerapan prinsip *sustainable construction* dalam rekayasa perkerasan jalan. RAP tidak lagi dipandang sekadar sebagai limbah hasil pengupasan perkerasan lama, tetapi sebagai sumber daya sekunder yang masih memiliki nilai teknis untuk dimanfaatkan kembali. Kandungan agregat yang masih layak serta residu aspal lama memungkinkan RAP digunakan sebagai substitusi sebagian agregat dan aspal baru dalam campuran AC. Dalam perspektif keberlanjutan, penggunaan RAP menjadi penting karena mampu menekan kebutuhan terhadap material perawan, mengurangi eksploitasi sumber daya alam, serta menurunkan volume limbah konstruksi. Hal ini sejalan dengan Adiman et al. (2023) yang menegaskan bahwa penggunaan RAP dapat mengurangi kebutuhan material baru tanpa menurunkan kualitas campuran secara signifikan, dan diperkuat oleh Babashamsi et al. (2016) serta Anthonissen et al. (2016) yang menunjukkan bahwa RAP berkontribusi terhadap penghematan sumber daya, energi, dan emisi dalam siklus hidup perkerasan. Dengan demikian, RAP relevan diposisikan bukan hanya sebagai alternatif material teknis, tetapi juga sebagai bagian dari pendekatan ekonomi sirkular dalam pembangunan jalan.

Dari sisi kinerja mekanis, hasil kajian menunjukkan bahwa penggunaan RAP cenderung meningkatkan stabilitas Marshall dan kekakuan campuran. Peningkatan ini terutama dipengaruhi oleh keberadaan *aged binder* atau aspal lama yang telah mengalami oksidasi selama masa layanan sebelumnya, sehingga sifatnya menjadi lebih keras dibandingkan binder baru. Kondisi tersebut menguntungkan dalam meningkatkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen, terutama pada temperatur tinggi, sehingga campuran menjadi lebih tahan terhadap *rutting*. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Akrom et al. (2021), Wulandari et al. (2019), serta Al-Shabani dan Obaid (2023) yang menunjukkan bahwa RAP pada kadar tertentu mampu meningkatkan stabilitas Marshall. Hal serupa juga dikemukakan oleh Elnihum et al. (2024) dan Jin et al. (2021), yang menjelaskan bahwa kekakuan tambahan akibat binder tua dapat memperbaiki performa struktural awal campuran. Oleh karena itu, secara umum RAP memang memiliki potensi untuk meningkatkan kekuatan awal dan stabilitas campuran AC, terutama ketika digunakan dalam proporsi yang masih dapat dikendalikan melalui rancangan campuran yang tepat.

Namun demikian, peningkatan kekakuan akibat RAP tidak dapat langsung diartikan sebagai peningkatan kinerja campuran secara menyeluruh. Kekakuan yang terlalu tinggi justru dapat menurunkan fleksibilitas campuran dan meningkatkan risiko retak dini, terutama

retak lelah (*fatigue cracking*) dan retak akibat perubahan temperatur. Zhang et al. (2024) menegaskan bahwa campuran dengan kadar RAP tinggi memperlihatkan peningkatan *stiffness*, tetapi sekaligus memiliki kecenderungan risiko retak yang lebih besar. Argumen ini diperkuat oleh Raposeiras et al. (2018) dan Raj dan Ramesh (2024), yang menjelaskan bahwa peningkatan kekakuan memang bermanfaat untuk menahan deformasi, tetapi dapat menurunkan kemampuan campuran dalam mendistribusikan tegangan akibat beban lalu lintas berulang. Dalam konteks ini, hubungan antara stabilitas dan fleksibilitas bersifat kompromistis. Campuran yang terlalu lunak berpotensi mengalami deformasi, sedangkan campuran yang terlalu kaku juga berpotensi mengalami keretakan prematur. Karena itu, pembahasan mengenai RAP seharusnya tidak berhenti pada temuan bahwa RAP meningkatkan stabilitas, tetapi juga harus menilai bagaimana peningkatan stabilitas tersebut memengaruhi ketahanan campuran dalam jangka panjang.

Persoalan tersebut menunjukkan bahwa kadar RAP optimum menjadi aspek yang sangat penting dalam perancangan campuran AC. Beberapa studi menunjukkan bahwa kadar RAP moderat lebih mampu menjaga keseimbangan antara peningkatan kekuatan dan tetap terpeliharanya durabilitas campuran. Nadhifah dan Mahardi (2025), misalnya, menunjukkan bahwa kadar RAP sekitar 25% pada AC-WC masih berada pada rentang yang cukup baik untuk menghasilkan stabilitas dan durabilitas yang memadai. Temuan ini sejalan dengan Georgiou dan Loizos (2021), yang menekankan bahwa kinerja campuran RAP sangat dipengaruhi oleh kualitas material RAP itu sendiri, termasuk kualitas agregat, kadar binder lama, dan tingkat penuaan aspal. Dengan demikian, efektivitas RAP tidak hanya bergantung pada jumlah yang digunakan, tetapi juga pada karakteristik material dan pengelolaan campuran secara keseluruhan. Dalam hal ini, RAP bukan material yang selalu memberikan hasil positif pada semua kadar, melainkan material yang menuntut optimasi komposisi agar manfaatnya tetap lebih besar daripada risikonya.

Dalam kerangka tersebut, pengelolaan binder menjadi faktor penentu keberhasilan penggunaan RAP. Literatur menunjukkan bahwa pada kadar RAP yang tinggi, penggunaan *rejuvenator*, *polymer modified binder*, maupun pendekatan *warm mix asphalt* dapat membantu memulihkan sebagian sifat reologis binder tua dan mengurangi kecenderungan campuran menjadi getas. Khan et al. (2021) menunjukkan bahwa penggunaan *rejuvenator* dapat meningkatkan fleksibilitas dan memperbaiki ketahanan terhadap kelelahan, sedangkan Athiappan et al. (2023) dan Rani et al. (2025) menegaskan bahwa aditif peremaja mampu menurunkan efek penuaan binder tua sehingga campuran tetap memiliki keseimbangan antara kekakuan dan daktilitas. Dengan demikian, persoalan utama dalam pemanfaatan RAP bukan terletak pada layak atau tidaknya RAP digunakan, tetapi pada bagaimana interaksi antara binder lama dan binder baru dikelola secara rasional. Pendekatan ini penting karena tanpa manajemen binder yang baik, keuntungan berupa peningkatan stabilitas justru dapat diikuti oleh penurunan ketahanan retak dan sensitivitas yang lebih tinggi terhadap kelembapan.

Selain aspek teknis, RAP juga memberikan manfaat ekonomi yang cukup kuat. Penggunaan RAP memungkinkan pengurangan konsumsi agregat baru dan bitumen baru, sehingga biaya bahan baku dalam produksi campuran dapat ditekan. Luo dan Zhang (2023) menekankan bahwa RAP memiliki kontribusi nyata terhadap efisiensi biaya dan pengurangan emisi, sementara Fenerci et al. (2023) serta Nicuţă (2013) menunjukkan bahwa penggunaan RAP dapat menurunkan biaya proyek, terutama ketika material tersedia secara lokal dan biaya logistik dapat ditekan. Han et al. (2024) dan Babashamsi et al. (2016) juga menjelaskan bahwa manfaat ekonomi RAP tidak hanya terlihat pada tahap produksi, tetapi juga dapat muncul dalam analisis *life cycle cost* ketika campuran dirancang dengan baik dan target kinerja tetap tercapai. Meskipun demikian, manfaat ekonomi RAP tetap harus dibaca secara hati-hati karena hasil akhirnya dipengaruhi oleh biaya pengumpulan, penyimpanan, pengolahan, pemecahan, dan transportasi RAP. Oleh karena itu, RAP

memang berpotensi besar menekan biaya, tetapi tingkat efisiensinya tetap bergantung pada konteks pengelolaan material dan kondisi proyek di lapangan.

Dari sisi lingkungan, RAP juga memiliki posisi yang sangat kuat sebagai material yang mendukung konstruksi jalan berkelanjutan. Penggunaan RAP dapat mengurangi kebutuhan terhadap penambangan agregat alam, menekan konsumsi energi untuk produksi material baru, dan menurunkan emisi gas rumah kaca yang terkait dengan proses ekstraksi, transportasi, dan pemanasan campuran. Luo dan Zhang (2023) menekankan bahwa manfaat lingkungan RAP tidak terlepas dari kemampuannya mengurangi kebutuhan material baru dan limbah konstruksi, sedangkan Anthonissen et al. (2016) dan Milad et al. (2022) menunjukkan bahwa campuran yang mengandung RAP umumnya memiliki beban lingkungan yang lebih rendah dibandingkan campuran konvensional, terlebih bila dipadukan dengan teknologi *warm mix asphalt*. Dalam konteks ekonomi sirkular, RAP juga menjadi penting karena material lama tidak dibuang sebagai limbah akhir, tetapi diputar kembali ke dalam siklus konstruksi. Meski demikian, manfaat lingkungan RAP tetap harus ditafsirkan secara proporsional karena hasil analisis *life cycle assessment* sangat dipengaruhi oleh batas sistem, sumber energi lokal, serta metode pengolahan RAP yang digunakan.

Dalam konteks pembangunan infrastruktur jalan di Kabupaten Labuhanbatu, pemanfaatan RAP dapat menjadi alternatif strategis dalam meningkatkan efisiensi pembangunan dan pemeliharaan jalan. Kebutuhan terhadap jaringan jalan yang berkualitas menuntut adanya teknologi yang tidak hanya kuat secara teknis, tetapi juga hemat biaya dan sesuai dengan tuntutan keberlanjutan. Pada wilayah tropis, tantangan seperti curah hujan tinggi, kelembapan, dan siklus basah-kering perlu menjadi perhatian karena kondisi tersebut dapat memperbesar risiko kerusakan akibat air dan menurunkan durabilitas campuran yang terlalu kaku. Hasan et al. (2022), Alharbi et al. (2022), dan Shehhi et al. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan RAP di wilayah tropis tetap dapat memberikan hasil yang baik, asalkan kadar RAP dikendalikan dan strategi perancangan campuran disesuaikan dengan kondisi iklim lokal. Oleh karena itu, penerapan RAP di Labuhanbatu sebaiknya didasarkan pada pengujian material lokal, penentuan kadar optimum, serta evaluasi performa campuran yang mempertimbangkan kondisi lingkungan setempat. Dengan pendekatan tersebut, RAP tidak hanya berfungsi sebagai bahan daur ulang, tetapi juga sebagai instrumen untuk mendukung pembangunan jalan yang lebih efisien dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian teoretis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa RAP memiliki potensi yang signifikan untuk dimanfaatkan sebagai material dalam campuran AC pada konstruksi jalan. RAP mengandung agregat dan residu aspal yang masih memiliki nilai teknis sehingga dapat digunakan kembali dalam campuran perkerasan baru. Pemanfaatan RAP dalam campuran aspal dapat meningkatkan stabilitas dan kekakuan campuran akibat karakteristik aspal lama yang telah mengalami proses penuaan. Selain itu, penggunaan RAP juga memberikan manfaat dari sisi efisiensi penggunaan material serta pengurangan kebutuhan agregat dan aspal baru dalam proses konstruksi perkerasan jalan.

Namun demikian, penggunaan RAP dalam campuran AC perlu dilakukan dengan perencanaan dan pengendalian yang tepat agar tidak menurunkan kinerja perkerasan jalan dalam jangka panjang. Kadar RAP yang terlalu tinggi dapat meningkatkan kekakuan campuran sehingga berpotensi menurunkan fleksibilitas dan ketahanan terhadap retak akibat beban lalu lintas maupun perubahan temperatur. Oleh karena itu, pemanfaatan RAP harus mempertimbangkan karakteristik material, proporsi campuran, serta kondisi lingkungan dan lalu lintas pada wilayah penerapannya. Dalam konteks pembangunan infrastruktur jalan di Kabupaten Labuhanbatu, pemanfaatan RAP berpotensi menjadi alternatif yang efektif dalam mendukung pembangunan jalan yang lebih efisien, ekonomis, dan berkelanjutan.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil kajian teoretis yang telah dilakukan, direkomendasikan bahwa pemanfaatan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dalam campuran *Asphalt Concrete* (AC) sebaiknya dilakukan dengan pendekatan desain campuran yang terkontrol dan berbasis kinerja, khususnya dengan memperhatikan proporsi kadar RAP yang optimal agar tidak mengurangi fleksibilitas dan ketahanan retak campuran. Penggunaan RAP pada kadar moderat (sekitar ≤25–30%) dapat dipertimbangkan sebagai batas aman untuk menjaga keseimbangan antara peningkatan stabilitas dan risiko kerusakan jangka panjang. Selain itu, pada penggunaan RAP dengan kadar tinggi, disarankan untuk mengombinasikannya dengan bahan peremaja (*rejuvenator*) guna mengembalikan sifat viskoelastis aspal lama. Dalam konteks implementasi di daerah seperti Kabupaten Labuhanbatu, diperlukan studi lanjutan berbasis data lokal yang mencakup karakteristik material, kondisi lalu lintas, dan iklim guna memastikan kesesuaian desain campuran dengan kondisi lapangan. Oleh karena itu, penelitian eksperimental dan pengujian lapangan direkomendasikan sebagai langkah lanjutan untuk memvalidasi temuan teoretis ini serta mendukung penerapan teknologi RAP secara lebih efektif dan berkelanjutan dalam konstruksi perkerasan jalan.

DAFTAR PUSTAKA

Adiman, E. Y., Putra, B. H. R., & Yogi, M. R. A. (2023). Potensi Penggunaan Agregat RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) Terhadap Campuran SMA (Stone Matrix Asphalt). *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, *9*(1), 43–56. https://doi.org/10.31849/siklus.v9i1.11810

Akrom, F. H., Putra, S., & Herianto, D. (2021). Stabilitas Campuran Aspal Berbahan Dasar Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, *8*(3), 599–608. https://doi.org/10.23960/jrsdd.v8i3.1495

Alharbi, F., Alshubrumi, F., Almoshaogeh, M., Haider, H., Elragi, A., & Elkholy, S. (2022). Sustainability Evaluation of Cold In-Place Recycling and Hot Mix Asphalt Pavements: A Case of Qassim, Saudi Arabia. *Coatings, 12*(1), 50. https://doi.org/10.3390/coatings12010050

Al-Shabani, Z. and Obaid, I. (2023). Investigate the Effect of Using Reclaimed Asphalt Pavement RAP and Polymer-Modified Bitumen on the Moisture Damage of Hot Mix Asphalt. *E3s Web of Conferences, 427*, 03019. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342703019

Anthonissen, J., bergh, W., & Braet, J. (2016). Reuse of bituminous pavements: A mini-review of research, regulations and modelling. *Waste Management & Research the Journal for a Sustainable Circular Economy, 35*(4), 357-366. https://doi.org/10.1177/0734242x16678064

Athiappan, K., Murugasan, R., Makendran, C., & F, M. (2023). Mechanical properties of asphalt mixtures containing reclaimed asphalt incorporating Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS). *Matéria (Rio De Janeiro), 28*(4). https://doi.org/10.1590/1517-7076-rmat-2023-0201

Attamimi, M. F., Achmad, F., & Desei, F. L. (2021). Kajian Durabilitas Dan Penuaan Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Asbuton Pracampur Terhadap Variasi Lama Rendaman. *Composite Journal*, *1*(1), 33–40. https://doi.org/10.37905/cj.v1i1.17

Babashamsi, P., Yusoff, N., Ceylan, H., & Nor, N. (2016). Recycling Toward Sustainable Pavement Development:End-Of-Life Considerations In Asphalt Pavement. *Jurnal Teknologi, 78*(7-2). https://doi.org/10.11113/jt.v78.9470

Das, J. K., & Pradhan, B. (2019). Effect of cation type of chloride salts on corrosion behaviour of steel in concrete powder electrolyte solution in the presence of corrosion inhibitors. *Construction and Building Materials*, *208*, 175–191. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.02.153

Elnihum, A., Lu, Q., Alharthai, M., Alamri, M., Chen, C., & Elmagarhe, A. (2024). Evaluation of an Asphalt Mixture Containing a High Content of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Materials with Epoxy Asphalt. *Sustainability*, *16*(12), 4988. https://doi.org/10.3390/su16124988

Elnihum, A., Lu, Q., Alharthai, M., Alamri, M., Chen, C., & Elmagarhe, A. (2024). Evaluation of an Asphalt Mixture Containing a High Content of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Materials with Epoxy Asphalt. *Sustainability, 16*(12), 4988. https://doi.org/10.3390/su16124988

Fakhri, M., & Amoosoltani, E. (2017). The effect of Reclaimed Asphalt Pavement and crumb rubber on mechanical properties of Roller Compacted Concrete Pavement. *Construction and Building Materials*, *137*, 470–484. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.136

Fenerci, K., Erdoğan, M., & Abut, Y. (2023). The economic potentials of reclaimed asphalt pavements (RAP) in urban road infrastructure a case study of Yalova city. *Journal of Innovative Engineering and Natural Science, 2*(2), 205-218. https://doi.org/10.29228/jiens.70524

Georgiou, P., & Loizos, A. (2021). Characterization of Sustainable Asphalt Mixtures Containing High Reclaimed Asphalt and Steel Slag. *Materials*, *14*(17), 4938. https://doi.org/10.3390/ma14174938

Gito, S., A., H., & B., M. (2015). The Characteristics of Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Mixture with Bottom Ash as Aggregate Substitute. *Civil Engineering Dimension*, *17*(1), 29–37. https://doi.org/10.9744/ced.17.1.29-37

Han, H., Golestani, B., Park, K., Cho, B., & Nam, B. (2024). Utilization of Multiple Recycled Materials in Asphalt Concrete: Mechanical Characterization and Cost–Benefit Analysis. *Materials, 17*(19), 4742. https://doi.org/10.3390/ma17194742

Hasan, A., Hasan, U., Whyte, A., & Jassmi, H. (2022). Lifecycle Analysis of Recycled Asphalt Pavements: Case Study Scenario Analyses of an Urban Highway Section. *Civileng, 3*(2), 242-262. https://doi.org/10.3390/civileng3020015

Huang, B., Li, G., Vukosavljevic, D., Shu, X., & Egan, B. K. (2005). Laboratory Investigation of Mixing Hot-Mix Asphalt with Reclaimed Asphalt Pavement. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *1929*(1), 37–45. https://doi.org/10.1177/0361198105192900105

Jin, D., Ge, D., Chen, S., Che, T., Liu, H., Malburg, L., … & You, Z. (2021). Cold In-Place Recycling Asphalt Mixtures: Laboratory Performance and Preliminary M-E Design Analysis. *Materials, 14*(8), 2036. https://doi.org/10.3390/ma14082036

Khan, M. Z. H., Koting, S., Katman, H. Y. B., Ibrahim, M. R., Babalghaith, A. M., & Asqool, O. (2021). Performance of High Content Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) in Asphaltic Mix with Crumb Rubber Modifier and Waste Engine Oil as Rejuvenator. *Applied Sciences*, *11*(11), 5226. https://doi.org/10.3390/app11115226

Luo, Y., & Zhang, K. (2023). Review on Performance of Asphalt and Asphalt Mixture with Waste Cooking Oil. *Materials*, *16*(4), 1341. https://doi.org/10.3390/ma16041341

Milad, A., Babalghaith, A., Al-Sabaeei, A., Dulaimi, A., Ali, A., Reddy, S., … & Yusoff, N. (2022). A Comparative Review of Hot and Warm Mix Asphalt Technologies from Environmental and Economic Perspectives: Towards a Sustainable Asphalt Pavement. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 19*(22), 14863. https://doi.org/10.3390/ijerph192214863

Nadhifah, N., & Mahardi, P. (2025). Kinerja Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC – WC) Dengan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Sebagai Agregat Halus dan Filler Abu Batu. *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*, 140–155. https://doi.org/10.26740/mitrans.v3n2.p140-155

Nicuţă, A. (2013). Featuring Reclaimed Asphalt Pavement Integration in Warm Mix Asphalt towards Roads Sustainable Development. *Advanced Materials Research, 649*, 242-245. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.649.242

Pasetto, M., Haider, S., & Pasquini, E. (2024). Circular Economy for Transport Infrastructure: An Overview of the Sustainable Use of Recycled Asphalt Shingles in Asphalt Mixtures. *Applied Sciences*, *14*(22), 10145. https://doi.org/10.3390/app142210145

Putri, E. E., & Kaspari, A. (2023). Penggunaan Aspal Karet Pada Campuran Perkerasan Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC). *Jurnal Bangunan, Konstruksi & Desain*, *1*(1), 32–43. https://doi.org/10.25077/jbkd.1.1.32-43.2023

Raj, N. and Ramesh, A. (2024). Development of sustainable pavement: an experimental study of stone mastic asphalt prepared with warm mix additives and reclaimed asphalt pavement. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science, 1326*(1), 012082. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1326/1/012082

Rani, H., Syammaun, T., Rachman, F., & Aqsha, M. (2025). Innovations in recycled materials for sustainable construction project: A systematic literature review. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science, 1444*(1), 012004. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1444/1/012004

Raposeiras, A., Movilla-Quesada, D., Bilbao-Novoa, R., Cifuentes, C., Ferrer-Norambuena, G., & Castro-Fresno, D. (2018). The use of copper slags as an aggregate replacement in asphalt mixes with RAP: Physical–chemical and mechanical behavioural analysis. *Construction and Building Materials, 190*, 427-438. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.120

Sedthayutthaphong, N., Jitsangiam, P., Nikraz, H., Pra-ai, S., Tantanee, S., & Nusit, K. (2021). The Influence of a Field-Aged Asphalt Binder and Aggregates on the Skid Resistance of Recycled Hot Mix Asphalt. *Sustainability*, *13*(19), 10938. https://doi.org/10.3390/su131910938

Shehhi, A., Jokhio, G., & Abu-Tair, A. (2023). Preventive Maintenance Using Recycled Asphalt: *Review.*, 189-197. https://doi.org/10.1007/978-3-031-27462-6_18

Suaryana, N., & Sofyan, T. S. (2019). Performance Evaluation of Hot Mixture Asphalt Using Concentrated Rubber Latex, Rubber Compound and Synthetic Polymer as Modifier. *Civil Engineering Dimension*, *21*(1), 36–42. https://doi.org/10.9744/ced.21.1.36-42

Tarsi, G., Tataranni, P., & Sangiorgi, C. (2020). The Challenges of Using Reclaimed Asphalt Pavement for New Asphalt Mixtures: A Review. *Materials*, *13*(18), 4052. https://doi.org/10.3390/ma13184052

Toth, C., Petho, L., & Rosta, S. (2023). Rheological characterisation of bituminous binder blends for the design of asphalt mixes containing high recycled asphalt content. *Acta Technica Jaurinensis*, *16*(2), 62–74. https://doi.org/10.14513/actatechjaur.00694

Wulandari, P. S., Kertorahardjo, K., Thesman, A., & Tjandra, D. (2019). Effect of Crumb Rubber as Fine Aggregate Replacement in Cold Mixture Asphalt. *Civil Engineering Dimension*, *21*(2), 107–112. https://doi.org/10.9744/ced.21.2.107-112

Xia, L., Su, Q., Shan, L., Li, F., Cao, D., & Lu, J. (2024). Research on Low-Cost High-Viscosity Asphalt and Its Performance for Porous Asphalt Pavement. *Polymers*, *16*(11), 1489. https://doi.org/10.3390/polym16111489

Zhang, S., Tu, M., Liu, W., Du, X., & Zhang, H. (2024). Performance Evaluation of Asphalt and Asphalt Mixtures Modified by Fuel-Resistant Admixture. *Applied Sciences*, *14*(5), 1981. https://doi.org/10.3390/app14051981

Zhou, J., Li, J., Liu, G., Yang, T., & Zhao, Y. (2021). Recycling Aged Asphalt Using Hard Asphalt Binder for Hot-Mixing Recycled Asphalt Mixture. *Applied Sciences*, *11*(12), 5698. https://doi.org/10.3390/app11125698