

STUDI LITERATUR: PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN ASPAL RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT DENGAN PENAMBAHAN OLI, MINYAK, DAN PLASTIK

Felix Zebua^{1*)}, Ismael Tafonao^{1*)}, Sudarno P Tampubolon²⁾ Efendy Tambunan³⁾

^{1*} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia
Email: Zebuaf977@gmail.com

^{1*} Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia
Email: Ismailtafonao@gmail.com

² Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia
Email: darno_tampubolon@yahoo.com

Masuk: 29-09-2025, **revisi:** 22-10-2025, **diterima** untuk diterbitkan: 31-10-2025

Penelitian ini merupakan kajian pustaka yang membandingkan kinerja campuran aspal daur ulang atau Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) yang dimodifikasi dengan tiga jenis bahan limbah, yaitu oli bekas, minyak jelantah atau Waste Cooking Oil (WCO), dan limbah plastik styrofoam. Analisis dilakukan terhadap 13 jurnal ilmiah yang membahas pengaruh ketiga bahan tersebut terhadap parameter teknis seperti stabilitas Marshall, flow (kelelahan), Marshall Quotient (MQ), serta durabilitas campuran. Hasil studi menunjukkan bahwa minyak jelantah (WCO) merupakan bahan peremaja yang paling optimal dan ramah lingkungan, karena mampu meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan campuran RAP secara signifikan pada kadar ideal 3–6%. Oli bekas juga efektif dalam mengembalikan sifat aspal yang menua, tetapi penggunaannya dalam jumlah berlebih (>10%) dapat mengurangi stabilitas dan ketahanan terhadap air, serta perlu penanganan khusus karena tergolong limbah B3. Sementara itu, limbah plastik seperti styrofoam, PET, dan LDPE lebih sesuai dijadikan bahan aditif untuk memperbaiki struktur dan mengurangi porositas campuran, meskipun tidak berfungsi sebagai bahan peremaja utama. Dari semua jenis bahan peremaja yang digunakan, minyak jelantah (WCO) menunjukkan kinerja yang paling konsisten sesuai spesifikasi Bina Marga 2010.

Kata kunci: RAP, oli bekas, minyak jelantah (WCO), limbah plastik styrofoam

ABSTRACT

This study is a literature review that compares the performance of recycled asphalt mixture or Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) modified with three types of waste materials, namely waste oil, used cooking oil (WCO), and styrofoam plastic waste. An analysis was conducted on 13 scientific journals that discussed the influence of the three materials on technical parameters such as Marshall stability, flow, Marshall Quotient (MQ), and mixed durability. The results of the study show that used cooking oil (WCO) is the most optimal and environmentally friendly feedstock, as it is able to significantly increase the flexibility and durability of the RAP mixture at the ideal level of 3–6%. Used oil is also effective in restoring the aging properties of asphalt, but its use in excess amounts (>10%) can reduce its stability and resistance to water, and requires special handling because it is classified as B3 waste. Meanwhile, plastic waste such as styrofoam, PET, and LDPE are more suitable as additives to improve the structure and reduce the porosity of the mixture, although it does not function as the main contaminant. Of all the types of cooking materials used, used cooking oil (WCO) shows the most consistent performance according to Bina Marga 2010 specifications.

Keywords: RAP, used oil, used cooking oil (WCO), styrofoam plastic waste

1. PENDAHULUAN

Jalan raya memiliki peranan krusial dalam mendukung aktivitas masyarakat secara berkelanjutan. Infrastruktur berfungsi sebagai penghubung antar wilayah atau lokasi. Namun, pembangunan dan pemeliharaan jalan konvensional menghadapi tantangan besar, termasuk terbatasnya sumber daya alam, peningkatan volume limbah konstruksi, serta dampak lingkungan. Langkah strategis untuk mengurangi limbah struktur perkerasan jalan adalah dengan melakukan daur ulang saat melakukan perbaikan jalan. Hal ini berarti sifat aspal dan agregat dalam limbah akan diremajakan agar layak digunakan kembali, sehingga menekan volume limbah yang terbuang (Pratiwi, 2020). Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah penggunaan kembali material perkerasan jalan lama, yang dikenal sebagai *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP).

Pemanfaatan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) menawarkan keuntungan signifikan dalam pengurangan ketergantungan pada material konstruksi baru dan efisiensi biaya. Meskipun demikian, karena kualitas aspal RAP menurun akibat penuaan dan oksidasi, penambahan bahan peremaja atau modifikasi lainnya menjadi esensial untuk memastikan kinerjanya setara atau bahkan melampaui campuran aspal baru (Yandes et al., 2021a). Oleh karena itu, penambahan bahan peremaja (*rejuvenator*) atau modifikasi lainnya menjadi krusial agar kinerja campuran aspal dengan RAP dapat menyamai atau bahkan melampaui campuran aspal yang baru.

Berbagai penelitian telah mengkaji *rejuvenator* untuk mengembalikan sifat aspal RAP. Sebagai bahan peremaja, minyak nabati seperti minyak goreng bekas telah berhasil digunakan untuk melunakkan aspal tua, menghasilkan peningkatan yang terukur pada viskositas dan kinerja campuran aspal (Aghazadeh Dokandari et al., 2017b). Minyak nabati, khususnya minyak jelantah (*Waste Cooking Oil* atau WCO), menunjukkan potensi besar sebagai agen peremaja yang efektif dan ramah lingkungan. WCO bekerja dengan melunakkan aspal yang mengeras dan mengembalikan keseimbangan komponen aspal yang hilang selama penuaan, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan durabilitas campuran. Optimalisasi penambahan oli bekas pada campuran RAP sangat penting, dosis yang tepat dapat meningkatkan fleksibilitas campuran, namun jumlah yang berlebih justru dapat mengurangi stabilitas dan keawetannya (Yandes et al., 2021a). Oli sebagai kategori minyak tertentu yang kompatibel dengan aspal berfungsi memulihkan sifat aspal RAP yang terdegradasi.

Di samping itu, industri konstruksi juga menghadapi tantangan serius terkait pengelolaan limbah plastik yang berpotensi mencemari lingkungan jika dibuang sembarangan. Oleh karena itu dilakukan banyak penelitian untuk memanfaatkannya sebagai bahan tambahan pada campuran aspal. Penggunaan limbah *styrofoam* ini tidak hanya bertujuan meningkatkan kinerja perkerasan, seperti ketahanan terhadap deformasi permanen dan retak melalui modifikasi aspal dengan polimer plastik. Karena sifatnya yang termoplastik dan kompatibel dengan aspal, *styrofoam* mampu meningkatkan ketahanan terhadap deformasi dan memperbaiki struktur rongga campuran perkerasan (Saleh* et al., 2022a).

Oleh karena itu, sebagaimana penjelasan diatas, penelitian ini bertujuan untuk melihat perbandingan kinerja dari setiap campuran aspal *reclaimed asphalt pavement* dengan melakukan penambahan limbah oli, minyak, dan plastik, dimana dari hasil analisis kinerja tersebut akan dilihat manakah yang paling baik, sesuai, dan efisien. Selain itu hasil dari penelitian ini juga diharapkan nantinya dapat menjadi landasan ilmiah dalam menentukan bahan modifikasi yang paling efisien dan ramah lingkungan dalam pembangunan maupun perbaikan jalan. Untuk mendukung dan memperkuat dasar teori dalam penelitian ini, perlu dikaji beberapa penelitian terdahulu yang relevan dan sesuai dengan judul penelitian. Beberapa hasil penelitian tersebut memberikan gambaran mengenai berbagai pendekatan, metode, serta hasil yang telah dicapai dalam topik yang sejenis. Tabel 1. menyajikan beberapa studi yang relevan dengan topik pemanfaatan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) yang dikombinasikan dengan oli bekas, limbah plastik, dan minyak nabati sebagai agen peremaja.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No.	Judul Penelitian	Tahun	Nama Jurnal	Permasalahan	Analisa dan Kesimpulan
1	Pemanfaatan Limbah Oli Bekas pada Campuran RAP	2021	Jurnal Sainstek STT Pekanbaru	Penurunan mutu aspal daur ulang	Oli bekas 10–30% diuji; 10% memberikan hasil stabilitas terbaik, di atas itu menurun.
2	Kajian Durabilitas RAP dengan Oli Bekas	2024	Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin	RAP tidak tahan rendaman air	Nilai durabilitas hanya 60,50%, tidak memenuhi Bina Marga, disarankan kombinasi RAP baru.
3	Pemanfaatan Oli pada Campuran RAP <i>Global Review</i>	2016	IJST	Efisiensi energi dan biaya	Oli bekas efektif sebagai rejuvenator, kurangi viskositas dan biaya produksi.
4	Pengaruh Oli Bekas terhadap Durabilitas AC-WC	2024	JURKIM	Apakah oli bekas meningkatkan durabilitas?	Stabilitas sisa 60.5%, belum sesuai standar spesifikasi Bina Marga 2018.
5	Pemanfaatan RAP untuk Campuran Aspal AC-BC	2021	Jurnal Sainstek	RAP banyak terbuang	Oli bekas 10% memberikan hasil terbaik, di atas itu menurunkan stabilitas.
6	Pengaruh Limbah Plastik PET pada RAP AC-WC	2023	Univ. Negeri Surabaya	Belum optimalnya pemanfaatan PET	PET 1.7–1.8% optimal, meningkatkan <i>Marshall Quotient</i> dan fleksibilitas campuran.
7	Pengaruh Penambahan LDPE pada Campuran RAP	2023	Univ. Negeri Surabaya	Kurangnya kajian integrasi LDPE	LDPE 3.8% memberikan stabilitas terbaik; disarankan untuk lapisan AC-WC.
8	Pengaruh Styrofoam terhadap Pori Campuran RAP HRS	2022	Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin	RAP menyebabkan pori tinggi	Penambahan styrofoam hingga 24% menurunkan pori dan meningkatkan kedap air campuran.
9	Analisa Campuran AC - WC dengan Agregat Reclaimed	2019	Universitas Negeri Surabaya	Pembangunan jalan konvensional di Indonesia menggunakan agregat dan	Penambahan Styrofoam 6,0% dengan RAP 21% pada campuran AC-WC menghasilkan Kadar Aspal Optimum (KAO) 5,25%.

	Asphalt Pavement (RAP) dan Filler <i>Fly Ash</i> Sebagai Campuran Induk untuk Penambahan Styrofoam (<i>Polystyrene</i>)			aspal dalam jumlah besar yang menimbulkan masalah lingkungan.	
10	Analisis Nilai Pori <i>Reclaimed Asphalt Pavement</i> (RAP) dan Styrofoam sebagai Bahan Tambah pada Lapis Hot Rolled Sheet (HRS)	2022	Jurnal Karya Ilmiah Multidisi plin (JURKI M)	Nilai pori yang tinggi pada campuran HRS membuat campuran kurang kedap air dan udara, sehingga mudah rusak	Penambahan styrofoam hingga 24% menurunkan nilai pori dari 6,49% menjadi 3,83%. Campuran menjadi lebih rapat dan kedap air/udara. Penggunaan RAP dan styrofoam dinilai efektif meningkatkan kualitas lapisan HRS.
11	Analisis Karakteristik Campuran Laston Menggunakan Material Perkerasan Jalan Lama Dengan Peremaja Limbah Minyak Goreng	2022	Media Komunik asi Teknik Sipil, Univ. Udayana	Kekakuan <i>RAP</i> akibat penuaan menyebabkan campuran tidak elastis	WCO 4% (RAP 25%) dan WCO 8% (RAP 50%) menunjukkan hasil KAO terbaik dan memenuhi spesifikasi Marshall, namun deformasi meningkat pada WCO tinggi.
12	Tinjauan Durabilitas Campuran Asphalt Concrete Wearing Course Menggunakan Aspal Tua Dengan Berbagai Bahan Peremaja	2020	Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan, Univ. Mataram	Aspal tua dan rapuh karena penuaan; menyebabkan kerusakan perkerasan	WCO, minyak tanah, oli bekas, dan resin epoxy meningkatkan durabilitas aspal tua; ditunjukkan lewat nilai <i>Marshall immersion</i> dan parameter void.

13	Pengaruh Minyak Goreng Bekas Sebagai Bahan Peremaja <i>Reclaimed Asphalt Pavement</i> (RAP) Terhadap Campuran Aspal Bergradasi <i>Split Mastic Asphalt</i> (SMA) 0/11	2019	Skripsi, Universitas Islam Indonesia	RAP cenderung kaku dan getas; perlu peremaja agar bisa digunakan kembali	WCO 3% direkomendasikan untuk hasil yang stabil, fleksibel, tidak getas; memenuhi nilai IRS dan ITS sesuai spesifikasi Bina Marga 2010
----	---	------	--------------------------------------	--	--

Aspal merupakan bahan pengikat utama dalam konstruksi perkerasan lentur yang memiliki sifat viskoelastis. Aspal adalah campuran senyawa hidrokarbon yang terdiri dari senyawa utama seperti *Aromat*, *Naphaten*, dan *Alkan*. Aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat pada perkerasan jalan memiliki sifat fleksibel dan lentur, sehingga dikenal juga dengan sebutan perkerasan lentur (*flexible pavement*) (Stefen Muaya et al., 2015). Seiring waktu, aspal akan mengalami proses penuaan akibat pengaruh suhu tinggi, oksidasi, dan paparan sinar ultraviolet. Akibatnya, aspal kehilangan fleksibilitasnya dan menjadi lebih kaku serta rentan terhadap retak. Untuk memperbaiki sifat ini pada *RAP*, diperlukan bahan peremaja (*rejuvenator*) yang dapat mengembalikan karakteristik awal aspal. Penuaan adalah perubahan sifat campuran beraspal yang menyebabkan pengerasan aspal akibat proses oksidasi. Oksidasi sendiri terjadi ketika zat-zat dalam aspal mengalami pelepasan, terutama unsur hidrogen (H) yang kemudian berubah menjadi air (H₂O). Proses ini dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan seperti udara, suhu, dan paparan sinar matahari (02. *NASKAH PUBLIKASI*, n.d.).

Material perkerasan jalan yang sudah tidak digunakan lagi, yang dikenal dengan sebutan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), merupakan jenis limbah yang berisiko mencemari lingkungan. Pembuangan RAP tanpa aturan dapat menyebabkan perubahan negatif pada sifat tanah di sekitarnya, termasuk penurunan tingkat kesuburan, yang memerlukan area khusus sebagai tempat penimbunan (Pratiwi, 2020). Karena *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) berasal dari limbah perkerasan jalan yang sudah tidak digunakan, terdapat peluang besar untuk mendaur ulang material ini sebagai bagian dari campuran aspal yang baru. Dengan demikian, daur ulang RAP menjadi salah satu alternatif utama yang sangat potensial untuk mengurangi limbah konstruksi, menghemat sumber daya alam, serta mendukung praktik pembangunan infrastruktur yang lebih berkelanjutan (Yandes et al., 2021a).

Aspal dalam RAP umumnya telah mengalami oksidasi akibat pemakaian, suhu tinggi, dan pengaruh cuaca selama bertahun-tahun, yang menyebabkan hilangnya fraksi minyak ringan dalam aspal dan menjadikannya lebih kaku serta rapuh. *Rejuvenator* atau bahan peremaja berfungsi untuk menurunkan viskositas dan meningkatkan kembali karakteristik fisik dan kimia aspal sehingga campuran RAP dapat digunakan kembali dan memenuhi spesifikasi teknis dalam konstruksi perkerasan jalan. Penggunaan bahan peremaja (*rejuvenator*) pada material *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) menjadi penting manakala RAP tersebut tidak memenuhi standar yang ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 dan Spesifikasi Khusus Interim

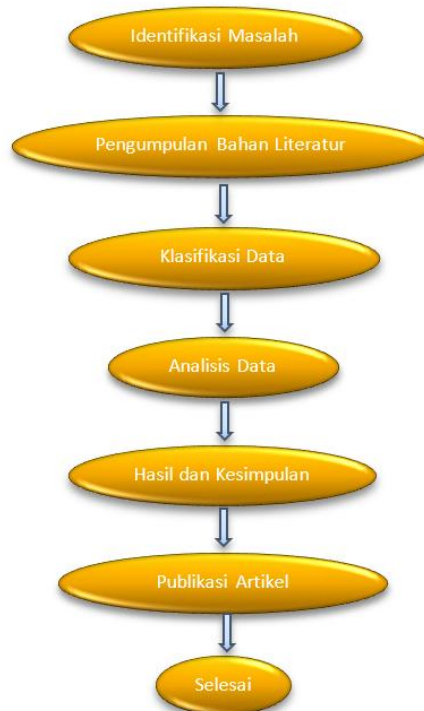
Bina Marga 2011 Seksi 6.3, terutama terkait persyaratan material dan hasil pengujiannya (Yandes et al., 2021a).

Penggunaan oli sebagai *rejuvenator* bertujuan untuk menurunkan viskositas aspal tua, memperbaiki kemampuan alirnya, serta meningkatkan daya tahan terhadap beban dan retak. Oli bekas bekerja dengan cara menyusup ke dalam matriks aspal dan menggantikan komponen yang hilang selama proses penuaan, sehingga campuran aspal menjadi lebih lentur dan tahan lama dengan menambahkan oli bekas atau oli pelumas ke dalam campuran, sifat elastis dan daya rekat aspal dapat ditingkatkan.

Dalam penggunaannya, plastik dicampurkan ke dalam aspal dalam bentuk serpihan, butiran, atau cair melalui teknik pencampuran panas (*hot mix*). Pada umumnya, plastik yang digunakan adalah jenis termoplastik seperti *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), atau *Styrofoam* (PS), yang memiliki sifat lentur dan tahan panas. Kehadiran plastik membantu mengisi kekosongan struktur aspal tua serta menggantikan komponen minyak ringan yang hilang. Plastik bekerja sebagai bahan pelunak dan mengikat tambahan yang memperbaiki mikrotik dan daya tahan campuran terhadap penghentian dan perulangan akibat beban lalu lintas maupun perubahan suhu. Minyak memiliki peran krusial sebagai *rejuvenator* atau bahan peremaja bagi *Recycled Asphalt Pavement* (RAP), terutama minyak jelantah (*Waste Cooking Oil* atau WCO), yang menjadi fokus penelitian dalam beberapa jurnal. Kebutuhan akan *rejuvenator* muncul karena aspal pada RAP telah mengalami penuaan dan pengerasan akibat paparan lingkungan, seperti panas, oksigen, dan radiasi UV, sehingga sifat elastisitas dan kelenturannya menurun, menjadikannya rentan retak dan deformasi jika digunakan kembali tanpa perlakuan.

2. METODE

Seluruh kegiatan penelitian dilakukan secara berkelompok dan bersifat kajian literatur (*desk study*), tanpa pelaksanaan eksperimen langsung di laboratorium.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat sejumlah tahapan yang akan dilaksanakan:

1. Identifikasi masalah dan rumusan penelitian diawali dengan analisis masalah cara pengelolaan limbah aspal yang sudah berumur dan harus diganti, namun untuk tetap mendukung dan menjaga alam maka dilakukan sebuah inovasi agar dapat menggunakan limbah aspal sehingga tidak harus dibuang dan mencemari lingkungan. Rumusan masalah mencakup *RAP* dan bahan peremaja (*rejuvenator*).
2. Penelusuran Literatur - Pencarian 13 artikel utama dilakukan dari jurnal ilmiah, dengan kriteria: relevansi (*Rejuvenator Oli*, Minyak Jelantah, dan Limbah *Styrofoam*), tahun terbit (5-10 tahun terakhir), dan metodologi yang jelas.
3. Klasifikasi Data - Artikel dikelompokkan berdasarkan tema (campuran *RAP* dengan Oli, campuran *RAP* dengan minyak nabati, dan campuran *RAP* dengan limbah plastik).
4. Analisis data dari 13 artikel dibandingkan secara kualitatif (jenis *rejuvenator* dan jenis uji yang dilakukan) dan kuantitatif (berapa persen/ banyaknya jumlah *rejuvenator* yang ditambahkan kedalam *RAP*). Hasilnya disajikan dalam tabel perbandingan dan diagram alur dampak sumur resapan.
5. Interpretasi dan pembahasan temuan dianalisis secara kritis, termasuk kontribusi bahan *rejuvenator* dalam hal meningkatkan kualitas dari campuran *RAP*.
6. Penyusunan laporan dan simpulan disusun secara sistematis (pendahuluan, tinjauan literatur, metodologi, hasil, pembahasan). Simpulan menyatakan bahwa *RAP* jika ditambahkan dengan *rejuvenator* maka akan meningkatkan nilai stabilitas dan durabilitas serta mengurangi volume limbah konstruksi dan menjaga pelestarian lingkungan.

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif deskriptif yang dilakukan melalui pendekatan studi literatur. Studi ini bertujuan untuk mengumpulkan, menelaah, dan menganalisis hasil-hasil penelitian terdahulu yang membahas tentang kinerja campuran *Reclaimed Asphalt Pavement* (*RAP*) dengan penambahan bahan peremaja seperti oli, minyak nabati, dan limbah plastik. Metode ini diterapkan untuk membandingkan efek dari masing-masing bahan modifikasi terhadap berbagai parameter kinerja campuran aspal, seperti stabilitas Marshall, flow, *Marshall Quotient* (*MQ*), kadar pori (*VIM*, *VMA*), serta daya tahan (durabilitas).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Mekanik Campuran *RAP*

3.1.1 Campuran *RAP* dengan *Waste Cooking Oil* (*WCO*)

Bahan peremaja (minyak) bisa digunakan untuk merevitalisasi *RAP*, namun untuk dosis pencampuran harus dikontrol agar nanti hasil pencampuran tidak menjadi terlalu lunak. Penambahan *WCO* tidak boleh lebih dari 6% karena stabilitasnya dapat menurun dan untuk pengaplikasiannya cukup baik untuk lapisan permukaan baik *AC-WC* maupun *HRS*, hal ini sesuai dengan yang disampaikan dalam jurnal (Nyoman et al., 2022). Kedua jenis minyak (*WCO* dan endapan *CPO*) berfungsi sebagai agen peremajaan yang mengembalikan sifat viskositas, penetrasi, dan daktilitas bitumen *RAP* yang telah menua. Pemulihan ini krusial untuk meningkatkan ikatan antar agregat dan matriks aspal, yang merupakan fondasi kekuatan struktural. Bitumen yang lebih "muda" akan menghasilkan campuran yang lebih fleksibel dan tahan terhadap retak.

3.1.2 Campuran *RAP* dengan Limbah Plastik

Penelitian oleh (Saleh* et al., 2022b) dan (Yunanto et al., n.d.) menunjukkan bahwa penurunan nilai pori akibat penambahan *Styrofoam* meningkatkan daya tahan lapisan terhadap air dan udara, yang sangat penting untuk umur panjang perkerasan. Sementara itu, penambahan plastik *PET* dan *LDPE*, seperti yang diteliti oleh (Putra, 2016), menghasilkan stabilitas struktural

tinggi dengan hasil uji Marshall menunjukkan kinerja yang sangat baik. LDPE khususnya menunjukkan nilai stabilitas hingga 1920,8 kg, mengindikasikan kekuatan yang layak untuk jalan dengan lalu lintas menengah hingga padat. Secara keseluruhan, RAP jika ditambahkan dengan plastik menghasilkan campuran aspal yang layak diaplikasikan untuk berbagai kondisi lalu lintas. Kombinasi ini tidak hanya mendukung kinerja struktural yang baik, tetapi juga mendukung konservasi lingkungan melalui pemanfaatan limbah plastik secara konstruktif.

3.1.3 Campuran RAP dengan Oli

Jurnal (Dhananjay et al., 2016, n.d.) dan (Aghazadeh Dokandari et al., 2017a) menjelaskan secara teoritis dan eksperimental bahwa oli bekas berfungsi sebagai agen peremajaan yang efektif. Mereka mengembalikan komponen minyak yang hilang dan mengurangi pengerasan bitumen RAP yang menua, menjadikannya lebih fleksibel. Bitumen yang diremajakan dengan sifat yang lebih baik ini akan menghasilkan ikatan antar agregat yang lebih kuat dan tahan lama, yang secara fundamental mendukung kekuatan struktural keseluruhan campuran di lapangan, mengurangi risiko retak dini. Jurnal (Saleh et al., 2024) menyoroti pentingnya nilai Indeks Retensi Kekuatan (IRS) yang baik setelah uji rendam. Ini menunjukkan bahwa penambahan oli bekas tidak hanya meningkatkan kekuatan awal, tetapi juga menjaga integritas struktural campuran ketika terpapar air. Ketahanan terhadap air adalah aspek krusial dari durabilitas di lapangan, karena infiltrasi air dapat merusak ikatan dan mengurangi kekuatan perkerasan. Studi ini menunjukkan potensi penggunaan campuran RAP yang diperbarui dengan oli pada lapisan AC-BC dan HRS-WC. Hal ini mengimplikasikan bahwa, melalui formulasi yang optimal, campuran tersebut dapat mencapai kekuatan struktural yang cukup untuk menjadi material utama dalam konstruksi perkerasan jalan.

3.2 Durabilitas RAP Termodifikasi

3.2.1. Durabilitas Campuran dengan *Waste Cooking Oil* (WCO)

Penambahan minyak jelantah (WCO) dalam campuran RAP dapat meningkatkan durabilitas campuran beraspal. Efektivitasnya paling optimal biasanya berada pada kisaran 4% sampai 6% kadar campuran WCO, tergantung jenis campuran yang digunakan. Penggunaan WCO dalam campuran jika melebihi 6% dari total akan dapat menyebabkan penurunan stabilitas yang berdampak pada kekakuan dan kekuatan campuran. Jurnal (Nyoman et al., 2022) ini mendukung bahwa penambahan minyak jelantah (WCO) dalam campuran RAP dapat meningkatkan durabilitas, yang ditunjukkan melalui perbaikan stabilitas dan ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue*). Dimana nilai stabilitas terbaik di dapat ketika WCO 4-6% dicampur RAP 25%. Penambahan minyak jelantah (WCO) berperan melunakkan aspal tua dan menyeimbangkan kembali komponennya, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan daya ikat aspal. Pemberian bahan peremaja seperti minyak jelantah, minyak tanah, oli bekas, dan resin epoksi pada aspal tua yang telah mengalami penuaan jangka panjang (*long term oven aging*) terbukti dapat meningkatkan daya tahan campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC). Peningkatan durabilitas ini terlihat dari naiknya nilai *Marshall Immersion*, yang mengindikasikan ketahanan campuran terhadap rendaman air serta perbaikan daya lekat antara aspal dan agregat. Di antara berbagai bahan peremaja yang digunakan, minyak jelantah menunjukkan kinerja positif, terutama dalam memperbaiki parameter void dan kepadatan campuran. Ketahanan campuran dengan penambahan minyak sawit mentah (CPO) menunjukkan hasil optimal. Penggunaan CPO sebanyak 2% sebagai bahan peremaja dalam campuran RAP dengan proporsi 30% hingga 50% terbukti menghasilkan kinerja yang sangat baik, mendekati performa campuran aspal yang menggunakan material baru. Penggunaan CPO secara nyata meningkatkan durabilitas campuran, serupa dengan efektivitas minyak jelantah (WCO). Namun, dosis CPO perlu dikontrol dengan tepat, karena penggunaan yang berlebihan dapat menurunkan stabilitas mekanis campuran. CPO berperan dalam memulihkan keseimbangan kimiawi pada aspal yang telah menua dalam RAP,

meningkatkan fleksibilitas serta daya rekat, sehingga menghasilkan campuran yang lebih awet dan tidak mudah mengalami kerusakan.

3.2.2. Durabilitas campuran dengan Limbah Styrofoam

Penambahan limbah plastik jenis *Styrofoam* ke dalam campuran *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) secara umum meningkatkan kekuatan struktural campuran beraspal, Pada campuran AC-WC, penambahan *Styrofoam* sebesar 6% memberikan peningkatan stabilitas Marshall sebesar 1,74%, hal ini dibuktikan dengan jurnal (Yunanto et al., n.d.). Sementara itu, pada campuran HRS, penambahan *Styrofoam* dalam kisaran 6% hingga 24% menurunkan nilai pori campuran dari 8,39% menjadi 3,83%, yang berarti campuran menjadi lebih rapat dan kedap air, sehingga meningkatkan durabilitas dan ketahanan terhadap kerusakan akibat air, hal ini dinuktikan oleh jurnal (Saleh et al., 2022). Penambahan plastik PET ke dalam campuran RAP dapat meningkatkan kekuatan struktural campuran beraspal, khususnya pada kadar optimum sekitar 1.7%, ditandai dengan nilai *Marshall Quotient* yang tinggi, flow elastis, dan stabilitas yang mencukupi, hal ini dibuktikan langsung oleh jurnal (Putra, 2016), jika dibandingkan PET lebih unggul dalam kekakuan dan stabilitas struktural, hingga durabilitas meningkat pada 1.6-1.8% PET, sedangkan *styrofoam* lebih efektif dalam menurunkan pori dan meningkatkan kedap air, yang berdampak pada durabilitas jangka panjang. Penggunaan limbah plastik LDPE dalam campuran aspal beton AC-WC yang mengandung agregat RAP menunjukkan bahwa kadar LDPE sebesar 3,8% memberikan performa struktural paling optimal, ditunjukkan oleh stabilitas sebesar 1374,1 kg, flow 3,7 mm, VIM 4,46%, VMA 15,08%, serta Marshall Quotient sebesar 347,7 kg/mm. Semua parameter tersebut berada dalam rentang yang disyaratkan oleh Spesifikasi Bina Marga 2018 dan mencerminkan kombinasi yang stabil, lentur, serta mampu menahan beban lalu lintas berat.

3.2.3. Durabilitas campuran dengan Oli Bekas

Penambahan oli bekas pada campuran *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) menunjukkan bahwa kadar optimum yang masih dapat memberikan kekuatan struktural yang cukup baik adalah sekitar 10%. Jurnal (Yandes et al., 2021b) membuktikan untuk nilai stabilitas Marshall masih berada mendekati batas minimum standar Bina Marga, yaitu sekitar 711 kg, serta menunjukkan kinerja *Marshall Quotient* yang masih dapat diterima. Penambahan oli bekas melebihi kadar 10% menyebabkan penurunan signifikan terhadap kekuatan struktural campuran, ditandai dengan menurunnya nilai stabilitas Marshall (bahkan hanya mencapai 394 kg pada kadar 30%) dan *Marshall Quotient* dengan tingkat yang lebih rendah. Ini mengindikasikan bahwa penggunaan oli bekas secara berlebihan dapat menurunkan kapasitas dukung serta kekuatan beban campuran aspal secara keseluruhan (Saleh et al., 2024).

3.3 Efektivitas dan Efisiensi Bahan Tambah (*Rejuvenator*)

- Dari sisi ekonomi dan efektivitas, *styrofoam* sangat mudah diperoleh sebagai limbah plastik rumah tangga, dan penggunaannya tidak memerlukan pengolahan rumit, cukup dengan pencacahan atau pelumeran sebelum dicampur. Ini membuatnya menjadi solusi yang ekonomis, praktis, dan ramah lingkungan dalam pengelolaan limbah plastik. Namun, perlu diperhatikan bahwa penggunaan plastik dalam campuran aspal juga memiliki potensi kerugian, seperti kesulitan daur ulang lanjutan, dan risiko emisi beracun jika pencampuran dilakukan pada suhu yang tidak terkontrol. Oleh karena itu, penerapannya harus dilakukan dengan pengendalian proses yang baik, agar dampak negatif terhadap lingkungan dapat diminimalkan.
- Pencampuran *RAP* dengan bahan berbasis minyak seperti minyak jelantah (WCO)

merupakan pendekatan yang ekonomis, ramah lingkungan, dan efektif untuk memulihkan sifat aspal yang kaku akibat penuaan. WCO dari segi mendapatkannya tergolong sangat mudah karena, minyak jelantah hampir setiap minggu dihasilkan setiap keluarga, bahkan terkadang WCO ini dibuang begitu saja yang akhirnya menjadi masalah bagi lingkungan sekitar.

- Pencampuran RAP dengan oli bekas memberikan manfaat besar dari segi efisiensi biaya, pemanfaatan limbah, dan peningkatan fleksibilitas campuran, namun harus dilakukan secara hati-hati. Oleh karena itu, meskipun aplikatif, penggunaan oli bekas pada RAP perlu didampingi oleh pengawasan mutu dan perlakuan lingkungan yang tepat.

Perbandingan ketiga jenis bahan modifikasi, dapat disimpulkan bahwa minyak jelantah (WCO) merupakan bahan yang paling ekonomis dan praktis untuk diaplikasikan dalam campuran *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). WCO memiliki ketersediaan yang melimpah, mudah diolah tanpa perlakuan khusus, dan mampu meningkatkan performa teknis campuran secara signifikan, seperti stabilitas dan keawetan, serta memenuhi standar spesifikasi jalan nasional.

3.4 Karakteristik Marshall dari 3 Jenis *Rejuvenator*

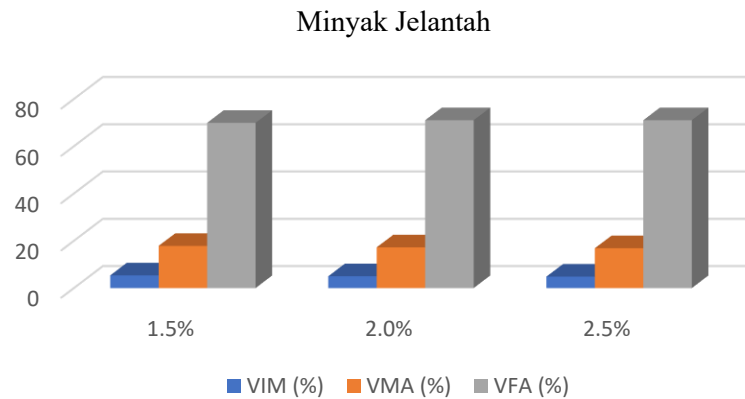
Tabel 2. Hasil Pengujian Campuran Aspal dengan *Rejuvenator*

Jenis Pengujian	Minyak Jelantah				Oli Bekas				<i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET)			
	1.5%	2.0%	2.5%	5%	10%	15%	20%	1.6 %	1.8%	2%	2.2%	
VIM (%)	5.38	5.00	4.85	7.44	7.16	6.38	1.14	15.13	15.10	14.78	14.43	
VMA (%)	17.86	17.25	16.86	22.10	22.83	22.27	12.18	4.51	4.48	4.13	3.73	
VFA (%)	69.91	71.03	71.03	71.92	68.87	70.90	93.81	70.16	70.43	72.09	74.20	
<i>Density</i> (gr/ cm)	2.480	2.496	2.509	2.21	2.19	2.20	2.33					

Berdasarkan Tabel 2. hasil pengujian campuran aspal dengan *rejuvenator* maka di peroleh hasil persentase diantaranya:

- VIM (*Void in Mixture*) adalah persentase rongga udara yang terdapat di dalam campuran beraspal setelah dipadatkan.
- VMA adalah volume total pori-pori atau rongga udara yang terdapat di dalam agregat, setelah agregat dipadatkan.
- VFA (*Void Filled with Asphalt*) adalah persentase rongga dalam campuran agregat yang terisi oleh aspal setelah pemadatan.
- Density (kepadatan) mengacu pada tingkat kerapatan campuran aspal setelah dipadatkan.

3.4.1. Hasil Pengujian Minyak Jelantah

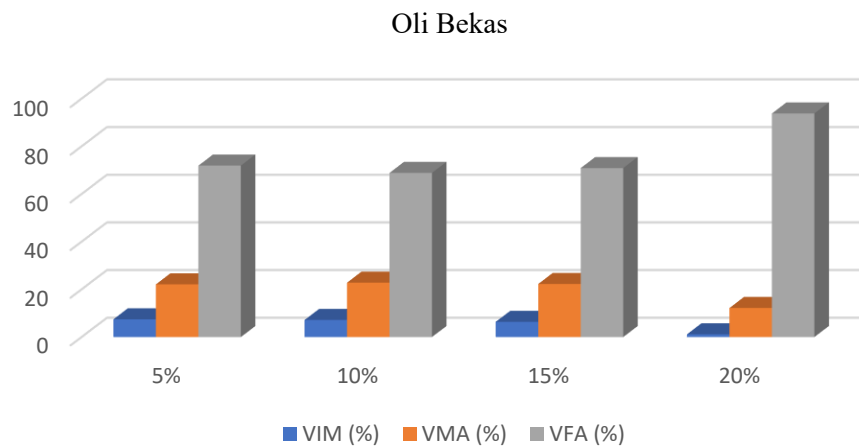


Gambar 2. Grafik Hasil Pengujian RAP dengan Minyak Jelantah

Berdasarkan hasil pengujian Ratna Yuniarti, dkk (2020) seperti yang ditampilkan dalam Gambar 2, dimana kita bisa menarik kesimpulan sesuai dengan parameternya, Spesifikasi Bina Marga 2010:

1. Pada kadar 2.0% (5.00%) dan 2.5% (4.85%), minyak jelantah menunjukkan nilai VIM yang masuk dalam rentang spesifikasi optimal. Kadar 1.5% (5.38%) sedikit di atas batas maksimum.
2. Nilai VMA (16.86% - 17.86%) memenuhi persyaratan minimum 15% dan berada dalam rentang yang baik.
3. Nilai VFA (69.91% - 71.03%) memenuhi persyaratan minimum 65%.
4. Minyak jelantah menunjukkan densitas yang tinggi (2.480 - 2.509 gr/cm³), densitas yang lebih tinggi umumnya diinginkan untuk perkerasan jalan.

3.4.2. Hasil Pengujian Oli Bekas



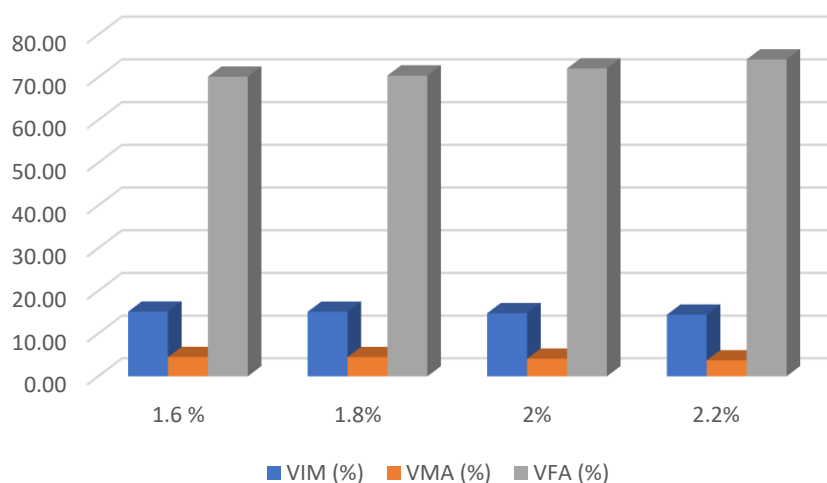
Gambar 3. Grafik Hasil Pengujian RAP dengan Oli Bekas

Berdasarkan hasil pengujian Alfian Saleh, dkk (2024) seperti yang ditampilkan dalam Gambar 3, dimana kita bisa menarik kesimpulan sesuai dengan parameternya, Spesifikasi Bina Marga 2010:

1. Pada kadar 5% (7.44%), 10% (7.16%), dan 15% (6.38%), semua nilai VIM-nya di atas batas maksimum spesifikasi. Kadar 20% (1.14%) jauh di bawah batas minimum, yang juga tidak diinginkan karena menunjukkan campuran terlalu padat dan rentan retak.
2. Pada kadar 5% (22.10%), 10% (22.83%), dan 15% (22.27%), nilai VMA oli sisa memenuhi persyaratan minimum 15%. Namun, pada kadar 20% (12.18%), nilai VMA tidak memenuhi batas minimum.
3. Nilai VFA (68.87% - 93.81%) memenuhi persyaratan minimum 65%. Kadar 20% menunjukkan VFA yang sangat tinggi, yang bisa menjadi indikasi kelebihan aspal.
4. Nilai densitas 2.19 - 2.33 gr/cm, tingkat perkerasan jalannya masih tergolong rendah dibanding minyak jelantah.

3.4.3. Hasil Pengujian dengan Plastik (*Polyethylene Terephthalate*)

Polyethylene Terephthalate (PET)



Gambar 4. Grafik Hasil Pengujian RAP dengan Polyethylene Terephthalate

Berdasarkan hasil pengujian Fahmiza Yunda Eka Putra (2023) seperti yang ditampilkan dalam Gambar 4, dimana kita bisa menarik kesimpulan sesuai dengan parameternya, Spesifikasi Bina Marga 2010:

1. Nilai VIM PET (14,43% - 15,13%) jauh di atas batas maksimum 5,0%, menunjukkan campuran yang terlalu berongga.
2. Nilai VMA PET (3.73% - 4.51%) jauh di bawah batas minimum 15%, menunjukkan bahwa agregat terlalu rapat dan tidak memiliki cukup ruang untuk aspal.
3. Nilai VFA PET (70.16% - 74.20%) memenuhi persyaratan minimum 65%.

Berdasarkan data yang tersedia dan dengan mengacu pada standar spesifikasi Bina Marga 2010, rejuvenator minyak jelantah menunjukkan kinerja yang paling konsisten dalam memenuhi sebagian besar parameter Marshall dalam rentang spesifikasi yang disyaratkan.

4. KESIMPULAN

Dari hasil studi literatur yang telah dianalisis mengenai pemanfaatan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) yang dimodifikasi dengan bahan peremaja seperti minyak jelantah, oli bekas, dan limbah *styrofoam*, dapat disimpulkan sejumlah poin penting terkait efektivitas, kemudahan penggunaan, serta pengaruh teknis dan lingkungan dari tiap bahan tersebut. Berikut ini adalah uraian kesimpulan berdasarkan masing-masing jenis bahan yang diteliti :

- Minyak jelantah (WCO) terbukti sebagai bahan peremaja paling efektif dan ramah lingkungan karena dapat melunakkan aspal tua, meningkatkan fleksibilitas, serta memberikan nilai stabilitas dan durabilitas yang tinggi jika digunakan dalam kadar optimal (3–6%).
- Oli bekas dapat mengembalikan kelenturan RAP secara signifikan dan efisien secara biaya, namun cenderung menurunkan durabilitas jika kadarnya terlalu tinggi (>10%) dan dapat menjadi limbah B3 jika tidak dikelola dengan benar.
- Limbah plastik seperti *styrofoam*, PET, dan LDPE lebih cocok digunakan sebagai bahan tambah (aditif), bukan peremaja utama. Penambahan plastik efektif dalam mengurangi pori-pori, meningkatkan kekedapan, dan memperkuat struktur campuran, namun memerlukan pengolahan tambahan (pencacahan atau peleburan) sebelum diaplikasikan.

Dari hasil pencampuran RAP dengan 3 jenis bahan rejuvenator, didapatkan hasil bahwa minyak jelantah (WCO) menunjukkan kinerja yang paling konsisten dan paling unggul diantara 2 jenis bahan lainnya. Saran untuk penelitian selanjutnya dan kepada para praktisi teknik sipil agar melakukan uji eksperimental langsung di laboratorium untuk memvalidasi hasil kajian literatur pemanfaatan WCO sebagai bahan peremaja RAP sangat direkomendasikan.

5. REFERENCES

02. *NASKAH PUBLIKASI*. (n.d.).

Aghazadeh Dokandari, P., Kaya, D., Sengoz, B., & Topal, A. (2017a). Implementing waste oils with reclaimed asphalt pavement. *World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering*. <https://doi.org/10.11159/icseem17.142>

Aghazadeh Dokandari, P., Kaya, D., Sengoz, B., & Topal, A. (2017b). Penerapan Minyak Limbah dengan Perkerasan Aspal Reklamasi. *World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering*, (November), 1–12.

Dhananjay, A., Sayyad, Z. M., Teknik Sipil Sinhgad, J., & Sawant, O. B. (2016). Daur Ulang Menggunakan Aspal Reklamasi Pavement: Sebuah Ulasan Asisten Profesor Jurusan Teknik Sipil Sinhgad Academy of Engg, Pune. In *Internasional Sains Teknologi & Rekayasa* | (Vol. 2). www.ijste.org

Nyoman, I., Thanaya, A., Made, I., Ariawan, A., Putu, I., & Wibawa, C. (2022). Analisis Karakteristik Campuran Laston Menggunakan Material Perkerasan Jalan Lama Dengan Peremaja Limbah Minyak Goreng. In *Media Komunikasi Teknik Sipil* (Vol. 28, Number 2).

PENGARUH PENAMBAHAN MATERIAL RAP SERTA LIMBAH PLASTIK LDPE TERHADAP. (n.d.).

Dewa Gede Ari Kama Guna, I Putu Ellsa Sarasantika, Cokorda Agung Yujana, "Evaluasi Kinerja Dinamik Struktur Flat Slab dengan Drop Panel terhadap Pengaruh Interaksi Antar Bangunan di Kawasan Seismik"

- Pratiwi, A. A. (2020). Pemanfaatan Recycle Asphalt Pavement Dengan Peremaja Aspal Berupa Endapan Crude Palm Oil Untuk Struktur Perkerasan Jalan Ac-Wc. *Tugas Akhir Universitas Indonesia*, 1–124.
- Putra, F. Y. E. (2016). Pemanfaatan Limbah Polyethylene Terephthalate (Pet) Dengan Reclaimed Asphalt Pavement (Rap) Pada Pembuatan Laston Wc. *Jurnal Online UNESA*, 2(1), 1–23.
- Saleh*, A., Lubis, F., & Syaloom Harianja, D. (2022a). Analisis Nilai Pori Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan Styrofoam sebagai bahan tambah pada Lapis Hot Rolled Sheet (HRS). *Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin (JURKIM)*, 2(2), 128–134. <https://doi.org/10.31849/jurkim.v2i2.9747>
- Saleh*, A., Lubis, F., & Syaloom Harianja, D. (2022b). Analisis Nilai Pori Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan Styrofoam sebagai bahan tambah pada Lapis Hot Rolled Sheet (HRS). *Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin (JURKIM)*, 2(2), 128–134. <https://doi.org/10.31849/jurkim.v2i2.9747>
- Saleh, A., Lubis, F., Syaloom Harianja, D., Studi Teknik Sipil, P., Teknik, F., & Lancang Kuning, U. (2022). Analisis Nilai Pori Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan Styrofoam sebagai bahan tambah pada Lapis Hot Rolled Sheet (HRS). *Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin (JURKIM)*, 2(2), 128–134.
- Saleh, A., Megasari, S. W., Lubis, F., & Haris, V. T. (2024). *Nilai Uji Rendam (Immersion Test) Dari Material Recycle Asphalt Pavement (Rap) Dengan Menambahkan Oli Bekas Pada Perkerasan Jalan*. 4(2), 92–100.
- Stefen Muaya, G., Kaseke, O. H., & Manoppo, M. R. E. (2015). PENGARUH TERENDAMNYA PERKERASAN ASPAL OLEH AIR LAUT YANG DITINJAU TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL. *Jurnal Sipil Statik*, 3(8), 562–570.
- Yandes, A. M., Rismanto, R., Julianto, J., & Jusi, U. (2021a). Oli Sisa Sebagai Bahan Peremajaan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Pada Lapisan Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Jalan. *Sainstek (e-Journal)*, 9(2), 132–136. <https://doi.org/10.35583/js.v9i2.167>
- Yandes, A. M., Rismanto, R., Julianto, J., & Jusi, U. (2021b). Oli Sisa Sebagai Bahan Peremajaan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Pada Lapisan Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Jalan. *Sainstek (e-Journal)*, 9(2), 132–136. <https://doi.org/10.35583/js.v9i2.167>
- Yunanto, K. E., Mahardi, P., & Risdianto, Y. (n.d.). *Analisa Campuran AC-WC dengan Agregat Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan Filler Fly Ash Sebagai Campuran Induk untuk Penambahan Styrofoam (Polystyrene)*.