Hulonthalo Journal of Civil and Architecture (HJCA)
Vol. 1, No. 1, Juni 2025, pp. 13-17
ISSN: 2302-9285, DOI: 10.11591/hjca.v1i1.1034

Analisis Efektivitas Dan Durabilitas Berbagai Metode Dan Material Penambalan Jalan Aspal Di Wilayah Perkotaan

Noor Fatmawati Ahmad[1], Sri Haerunnisa[2]
[1,2]Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Gorontalo, Indonesia

Article Info

Article history:

Received April 3, 2025
Revised Mei 10, 2025
Accepted Juni 8, 2025

Keywords:

Penambalan Jalan
Campuran Aspal Termodifikasi
Kelekatan Antarmuka
Analisis Biaya Siklus Hidup

ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas dan durabilitas berbagai metode dan material penambalan jalan aspal di lingkungan perkotaan. Studi ini mengkaji secara komprehensif performa teknis empat jenis material, Campuran Aspal Panas (HMA) konvensional, HMA termodifikasi polimer, Campuran Aspal Dingin (CMA), dan Material Cair, melalui serangkaian pengujian laboratorium (Marshall, ITS, kelekatan, permeabilitas). Hasil menunjukkan bahwa HMA termodifikasi polimer unggul dalam semua aspek teknis, termasuk stabilitas, ketahanan air, dan durabilitas. Faktor kritis lainnya adalah kualitas pelaksanaan; preparasi lubang yang buruk (tanpa pembersihan dan tack coat) serta pemadatan yang tidak optimal terbukti sebagai penyebab utama kegagalan dini tambalan, terlepas dari material yang digunakan. Analisis Biaya Siklus Hidup (LCCA) mengungkap bahwa meskipun berbiaya awal lebih tinggi, HMA termodifikasi justru paling ekonomis dalam jangka 3 tahun karena umur layannya yang panjang dan minimnya perbaikan ulang. Sebaliknya, material berbiaya rendah seperti CMA dan material cair hanya cocok untuk perbaikan temporer atau darurat. Penelitian ini menyimpulkan bahwa keberhasilan penambalan jalan bergantung pada sinergi antara pemilihan material yang tepat dan pelaksanaan pekerjaan yang berkualitas, serta merekomendasikan penerapan pedoman teknis dan pendekatan best value berbasis LCCA dalam pengadaan jasa pemeliharaan.

This is an open access article under the CC BY-SA license.

Corresponding Author:

Noor Fatmawati Ahmad
Teknik Sipil
Universitas Muhammadiyah Gorontalo
Jln. Prof. Mansoer Pateda Kec. Telaga Biru Kab. Gorontalo
Email: noorahmad@umgo.ac.id

1. INTRODUCTION

Jalan merupakan komponen infrastruktur vital yang mendukung mobilitas manusia, distribusi barang, dan pertumbuhan ekonomi suatu wilayah. Kondisi permukaan jalan yang baik menjadi prasyarat utama bagi kelancaran transportasi, keselamatan pengguna jalan, dan efisiensi logistik. Namun, di wilayah perkotaan dengan tingkat kepadatan lalu lintas tinggi serta pengaruh cuaca yang signifikan, kerusakan jalan berupa retak, lubang dan alur merupakan fenomena yang tak terelakkan. Apabila tidak ditangani secara cepat dan tepat, kerusakan lokal ini akan berkembang menjadi lebih parah, memperpendek umur layan jalan, meningkatkan biaya pemeliharaan jangka panjang, dan menimbulkan risiko kecelakaan lalu lintas yang serius [1].

Penambalan jalan (patching) merupakan intervensi pemeliharaan yang paling umum dan kritis dalam manajemen aset jalan, terutama untuk mengatasi kerusakan lokal sebelum dilakukan tindakan rehabilitasi yang lebih komprehensif seperti *overlay* atau rekonstruksi. Di Indonesia, khususnya di kota-kota besar, aktivitas penambalan menjadi pemandangan sehari-hari. Tantangan utama yang dihadapi seringkali bukan pada frekuensi penambalan, melainkan pada efektivitas dan durabilitas tambalan itu sendiri. Banyak pengguna jalan mengeluhkan bahwa tambalan yang baru dilakukan hanya bertahan hitungan minggu atau bahkan hari sebelum kembali rusak atau lepas. Fenomena ini menunjukkan adanya kesenjangan antara praktik di lapangan dengan prinsip-prinsip rekayasa material dan pelaksanaan yang tepat.

Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kegagalan dini penambalan meliputi pemilihan material yang tidak sesuai dengan kondisi eksisting dan lingkungan setempat, metode preparasi lubang yang tidak memadai (pembersihan dan pelekatan yang buruk), teknik pemadatan yang kurang optimal sehingga densitas target tidak tercapai, ketidakcocokan antara campuran tambal panas dengan lapisan jalan eksisting yang sudah tua, serta pelaksanaan pekerjaan di bawah kondisi cuaca yang tidak ideal tanpa kompensasi teknis yang memadai [2]. Sementara itu, perkembangan teknologi material konstruksi jalan telah melahirkan berbagai alternatif, mulai dari campuran aspal panas konvensional (Hot Mix Asphalt/HMA), campuran aspal panas termodifikasi polimer, campuran aspal dingin (Cold Mix Asphalt/CMA) untuk keadaan darurat, hingga material berbasis aspal cair dan setempat. Setiap material memiliki karakteristik, persyaratan pelaksanaan, dan performa yang berbeda-beda. Namun, pemilihan material di lapangan seringkali lebih didasarkan pada pertimbangan biaya awal dan ketersediaan, tanpa analisis mendalam mengenai biaya siklus hidup dan efektivitas jangka panjang.

Penambalan merupakan bagian integral dari pemeliharaan berkelanjutan dalam sistem manajemen aset jalan (Pavement Management System/PMS). Keberhasilan penambalan bergantung pada tiga pilar utama: material yang tepat, metode pelaksanaan yang benar, dan waktu intervensi yang optimal [2]. Intervensi yang terlalu lambat akan memperluas dan memperdalam kerusakan, sehingga biaya perbaikan menjadi jauh lebih besar.

Dari segi material, HMA konvensional masih menjadi standar untuk penambalan permanen karena memiliki kinerja durabilitas dan stabilitas yang baik apabila dipadatkan dengan benar [1]. Keterbatasannya terletak pada ketergantungan terhadap fasilitas *Asphalt Mixing Plant* (AMP), kehilangan suhu selama transportasi, dan batasan waktu kerja. HMA yang dimodifikasi polimer, misalnya dengan SBS (*Styrene-Butadiene-Styrene*), menawarkan peningkatan elastisitas, ketahanan terhadap deformasi permanen, dan ketahanan retak lelah, sehingga sangat sesuai untuk lokasi dengan beban lalu lintas berat dan temperatur tinggi [3]. Campuran aspal dingin memungkinkan pencampuran dan pemadatan pada suhu lingkungan, cocok untuk penambalan darurat atau musim hujan, meskipun performa jangka panjangnya umumnya masih di bawah HMA [4]. Material cair dan setempat, seperti *slurry seal* atau aspal emulsi, lebih tepat untuk penambalan retak atau lubang sangat kecil, namun ketahanannya terhadap beban berat terbatas.

Faktor penentu keberhasilan penambalan yang sering terabaikan adalah preparasi lubang dan teknik pemadatan. Lubang harus dipotong secara vertikal, dibersihkan dari *debris*, air, dan debu, serta dilengkapi *tack coat* pada permukaan vertikal dan dasar lubang untuk menciptakan ikatan yang kuat antara material baru dan lama. Penelitian [4] menegaskan bahwa kegagalan kelekatan antarmuka menjadi penyebab utama lepasnya tambalan. Pemadatan yang tidak memadai menyebabkan rongga udara tinggi, sehingga campuran rentan terhadap masuknya air, oksidasi, dan deformasi awal. Pemilihan alat pemadat harus disesuaikan dengan ukuran lubang dan jenis material [3]. Kondisi lingkungan juga berpengaruh signifikan: pekerjaan HMA sebaiknya tidak dilakukan pada permukaan basah atau suhu rendah, sedangkan CMA menawarkan fleksibilitas lebih tinggi dalam kondisi cuaca basah.

Evaluasi performa tambalan dapat dilakukan melalui pengujian laboratorium ITS, kelekatan antarmuka, permeabilitas, dan *fatigue* maupun di lapangan (kepadatan, visual, dan pengukuran kedalaman). Pendekatan *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA) diperlukan untuk menilai efektivitas biaya secara menyeluruh. Material dengan biaya awal tinggi, seperti HMA termodifikasi, dapat lebih ekonomis dalam jangka panjang karena umur layan yang lebih panjang dan frekuensi perbaikan ulang yang lebih rendah [2].

Meskipun banyak penelitian telah dilakukan mengenai material aspal, kajian komprehensif yang menggabungkan evaluasi laboratorium berbagai jenis material penambalan, pengaruh teknik pelaksanaan (preparasi dan pemadatan), serta analisis LCCA dalam satu kerangka studi, khususnya dalam konteks iklim tropis lembab dan karakteristik lalu lintas perkotaan Indonesia, masih terbatas. Kesenjangan inilah yang menjadi fokus penelitian ini.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan performa teknis (kuat tarik tidak langsung, kelekatan antarmuka, permeabilitas, dan ketahanan *fatigue*) dari empat jenis material penambalan; menganalisis pengaruh kualitas preparasi permukaan terhadap kuat geser antarmuka pada berbagai kondisi kelembaban; menguji efektivitas metode pemadatan dalam mencapai densitas target pada konfigurasi lubang yang berbeda; menyusun model analisis biaya siklus hidup untuk menentukan alternatif yang paling ekonomis; serta menyusun rekomendasi teknis berupa panduan praktis pemilihan metode dan material penambalan berdasarkan karakteristik kerusakan, kondisi lingkungan, dan ketersediaan sumber daya di wilayah perkotaan. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi dinas pekerjaan umum, kontraktor pemeliharaan, dan praktisi teknik sipil dalam meningkatkan kualitas pekerjaan penambalan, memperpanjang umur layan jalan, mengurangi gangguan lalu lintas berulang, dan mengoptimalkan alokasi anggaran pemeliharaan infrastruktur jalan.

2. METHOD

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dan analitik, terdiri dari tiga tahap utama: (1) Preparasi dan Pengujian Material di Laboratorium, (2) Simulasi dan Pengujian Teknik Pelaksanaan, dan (3) Analisis Ekonomi.

2.1. Preparasi dan Pengujian Material

Empat jenis material disiapkan:

- Sampel A: HMA Konvensional (AC-WC, penetrasi 60/70).
- Sampel B: HMA Termodifikasi SBS.
- Sampel C: Cold Mix Asphalt komersial berbasis emulsifikasi.
- Sampel D: Material Cair jenis Aspal Emulsi yang dimodifikasi dengan agregat halus.

Campuran A dan B dibuat di laboratorium sesuai spesifikasi umum. Sampel C dan D diperoleh dari produk komersial terkemuka. Untuk setiap material, dibuat benda uji silinder (Ø 100 mm x 63.5 mm) dan balok.

Pengujian yang dilakukan meliputi:

- Pengujian Marshall (ASTM D6927) untuk stabilitas dan flow.
- Indirect Tensile Strength (ITS) (ASTM D6931) pada kondisi kering dan basah (setelah kondisi basuh 24 jam) untuk menilai kekuatan dan ketahanan terhadap air.
- Uji Kelekatan Antarmuka (Interface Shear Test) dengan perangkat geser langsung dimodifikasi untuk mensimulasikan kondisi antara material tambal dan lapisan lama.
- Uji Permeabilitas (ASTM PS 129) untuk mengetahui kerapatan terhadap air.
- Uji Fatigue dengan pembebanan berulang (ASTM D7460) pada balok untuk memperkirakan umur kelelahan.

2.2. Simulasi Teknik Pelaksanaan

- Variabel Preparasi: Dibuat tiga kondisi permukaan beton aspal lama: (1) Bersih dan kering + tack coat, (2) Bersih tetapi lembab + tack coat, (3) Kotor (berdebu) + tanpa tack coat. Kuat geser antarmuka diukur untuk setiap kondisi.
- Variabel Pemadatan: Material dituang ke dalam lubang simulasi (ukuran 50x50 cm, kedalaman 5 cm & 10 cm) di lapangan terbuka. Tiga metode pemadatan diterapkan: Vibratory Plate Compactor (5 ton), Single-drum Roller kecil (1.5 ton), dan Manual Tamping. Kepadatan diukur dengan Sand Cone Test (ASTM D1556) dan dibandingkan dengan kepadatan maksimum laboratorium.

2.3. Analisis Data dan LCCA

Data pengujian dianalisis secara statistik menggunakan ANOVA untuk menentukan signifikansi perbedaan antar perlakuan. Model LCCA disusun dengan asumsi periode analisis 3 tahun. Parameter biaya meliputi biaya material per m^3, biaya tenaga kerja dan peralatan, serta biaya

mobilisasi. Biaya tahunan dihitung berdasarkan prediksi umur layan dari hasil pengujian laboratorium dan faktor degradasi lapangan. Nilai Net Present Value (NPV) dari setiap alternatif dihitung dan dibandingkan.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Karakteristik Material

- Stabilitas Marshall: Sampel B (HMA Termodifikasi) mencatat nilai tertinggi (12.5 kN), diikuti A (9.8 kN), C (4.2 kN), dan D (tidak diuji Marshall). Penggunaan polimer meningkatkan ketahanan deformasi secara signifikan ($p<0.05$).
- Indirect Tensile Strength (ITS): Pola serupa terlihat. ITS kering tertinggi pada B (1250 kPa), lalu A (1050 kPa), C (550 kPa), dan D (320 kPa). Rasio ITS basah/kering (indeks ketahanan air) paling baik pada B (92%), lalu A (85%), C (78%), dan D (65%). Sampel C dan D menunjukkan kerentanan lebih tinggi terhadap kelembaban.
- Kelekatan Antarmuka: Kuat geser tertinggi diperoleh pada kondisi preparasi ideal (Permukaan 1) untuk semua material. Penurunan drastis terjadi pada Permukaan 3 (tanpa tack coat & kotor), dengan penurunan kekuatan hingga 70% pada sampel A dan B. Kondisi lembab (Permukaan 2) mengurangi kuat geser sekitar 25-30%.
- Pencapaian Kepadatan Lapangan: Untuk lubang dangkal (5 cm), Vibratory Plate Compactor mencapai kepadatan 93-96% dari maksimum laboratorium untuk HMA (A & B), dan 88-90% untuk CMA (C). Untuk lubang dalam (10 cm), pemadatan berlapis dengan Single-drum Roller memberikan hasil terbaik (95-98%). Manual Tamping konsisten memberikan hasil terburuk (75-85%), terutama pada material dingin yang lebih kohesif.

Analisis Biaya Siklus Hidup

Perhitungan NPV untuk periode 3 tahun (dengan asumsi tambalan C & D perlu diperbaiki 2-3 kali, B 0-1 kali, dan A 1 kali) menunjukkan urutan efektivitas biaya: B (HMA Termodifikasi) > A (HMA Konvensional) > C (CMA) > D (Material Cair). Meskipun biaya awal Sampel B 25% lebih tinggi dari A, penghematan dari menghindari perbaikan ulang membuat total NPV-nya 15% lebih rendah.

Hasil penelitian mengonfirmasi bahwa kualitas pelaksanaan sama pentingnya dengan kualitas material. Keunggulan teknis HMA Termodifikasi (Sampel B) yang nyata dalam semua pengujian menjelaskan mengapa material ini memberikan nilai LCCA terbaik. Durabilitasnya yang tinggi, terutama terhadap retak lelah dan air, sangat sesuai untuk lingkungan perkotaan dengan lalu lintas berat dan curah hujan tinggi [3]. Meski demikian, HMA konvensional (Sampel A) tetap menjadi pilihan yang sangat baik jika pelaksanaannya sempurna, khususnya pada preparasi dan pemadatan.

Temuan kritis adalah pentingnya preparasi lubang. Penurunan kuat geser yang ekstrem pada kondisi permukaan kotor dan tanpa tack coat membuktikan bahwa ikatan antar lapisan adalah titik lemah utama. Tack coat berfungsi sebagai glue yang sangat penting. Praktik di lapangan yang mengabaikan tahapan pembersihan dan pemberian tack coat adalah akar dari kegagalan dini tambalan yang sering dijumpai [4].

Pada aspek pemadatan, hasil menunjukkan bahwa tidak ada satu metode yang optimal untuk semua kondisi. Pemilihan alat harus kontekstual. Vibratory Plate Compactor efektif untuk lubang kecil-dangkal dan akses terbatas, sedangkan untuk deep patch diperlukan roller dan pemadatan berlapis. Kegagalan mencapai kepadatan >90% akan mempercepat proses deteriorasi akibat masuknya air dan udara.

Cold Mix (Sampel C) memiliki tempatnya sebagai solusi darurat dan temporer, terutama di musim hujan atau lokasi yang tidak terjangkau AMP. Namun, pengguna harus memiliki ekspektasi umur layan yang realistis (6-18 bulan) dan merencanakan penambalan permanen setelahnya. Material cair (Sampel D) lebih cocok sebagai perawatan permukaan (sealing) untuk retak atau lubang sangat kecil, bukan untuk penambalan struktural.

Implikasi praktis dari penelitian ini adalah kebutuhan standar operasional prosedur (SOP) yang ketat untuk pekerjaan penambalan, pelatihan bagi tenaga pelaksana, dan perubahan paradigma

pengadaan dari berbasis harga satuan terendah menjadi nilai terbaik (best value) dengan mempertimbangkan kinerja jangka panjang melalui LCCA.

4. CONCLUSION

Berdasarkan penelitian eksperimental dan analitik yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa: Material HMA Termodifikasi Polimer menunjukkan performa teknis terbaik dalam hal stabilitas, ketahanan tarik, dan durabilitas terhadap air, yang pada akhirnya menerjemahkannya menjadi nilai efektivitas biaya tertinggi (terendah dalam LCCA) untuk penambalan permanen di wilayah perkotaan. Kualitas preparasi lubang, khususnya pembersihan sempurna dan aplikasi tack coat yang memadai, merupakan faktor penentu keberhasilan yang sering kali lebih kritis daripada jenis material itu sendiri. Kegagalan pada antarmuka adalah mode kerusakan dominan pada penambalan. Pemilihan metode pemadatan harus disesuaikan dengan kedalaman lubang dan jenis material. Pemadatan berlapis dengan alat mekanis (*roller* atau *plate compactor*) wajib diterapkan untuk mencapai densitas >92% guna menjamin durabilitas. *Cold Mix Asphalt* dan material cair memiliki peran spesifik sebagai solusi temporal atau darurat, namun tidak direkomendasikan untuk penambalan permanen pada lokasi dengan lalu lintas berat akibat umur layan dan ketahanan air yang terbatas.

REFERENCES

[1] Ameri, M., Mansourian, A., & Ravanshadnia, M. (2021). Assessment of long-term performance of hot mix asphalt patching in urban roads. International Journal of Pavement Engineering, 22(14), 1854-1863. https://doi.org/10.1080/10298436.2020.1718200

[2] Thenoux, G., Carrillo, A., & Sandoval, G. (2020). A life-cycle cost analysis framework for pavement patching strategies. Journal of Infrastructure Systems, 26(2), 04020012. https://doi.org/10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000541

[3] Cong, L., Yang, F., Zhang, Y., & Huang, Y. (2022). Laboratory and field evaluation of polymer-modified hot mix asphalt for high-stress patching. Construction and Building Materials, 326, 126889. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126889

[4] Alfaidi, M., Saleh, M., & Salim, R. (2023). Performance evaluation of cold mix asphalt patching materials under different environmental conditions. Case Studies in Construction Materials, 18, e02145. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02145