

BAB I.

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Transportasi memiliki peranan fundamental dalam mendukung proses pembangunan, karena memfasilitasi pergerakan manusia dan barang antarwilayah. Infrastruktur transportasi, seperti jalan dan jembatan, memainkan peranan kunci dalam memperlancar kegiatan ekonomi, sosial, serta komunikasi. Mengacu pada Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004, jaringan transportasi mencakup beragam infrastruktur fisik seperti jalan, jembatan, serta terowongan, yang saling terhubung dengan moda transportasi lain, antara lain kereta api, penerbangan, dan sistem transportasi kabel. Kualitas jalan yang memadai sangat berpengaruh terhadap kelancaran mobilitas antardaerah, yang berdampak langsung pada efektivitas sosial dan ekonomi masyarakat. Sebaliknya, kerusakan jalan dapat mengganggu aktivitas sehari-hari dan menurunkan tingkat keselamatan pengguna jalan.

Kerusakan perkerasan jalan dapat timbul akibat kelelahan material, kondisi cuaca ekstrem, serta beban kendaraan yang berlebihan (Al-Taher et al., 2018). Kerusakan sering terjadi sebelum umur rencana jalan tercapai, baik secara struktural maupun fungsional. Jika tidak ditangani segera, kerusakan tersebut akan mempercepat degradasi jalan dan meningkatkan risiko kecelakaan lalu lintas. Umumnya, masa pakai jalan baru direncanakan selama 20 tahun, sedangkan untuk jalan yang ditingkatkan sekitar 10 tahun.

Di Indonesia, penggunaan aspal penetrasi 60/70 masih menjadi standar dalam pembangunan jalan. Namun, jenis aspal ini memiliki keterbatasan dalam menahan beban lalu lintas berat dan suhu ekstrem. (Read, John, 2003) aspal memiliki kelemahan dalam mempertahankan daya lekat saat terpapar air secara terus-menerus, yang dapat mengakibatkan stripping antara aspal dan agregat. Selain itu, menurut (Asphalt

Institute, 2007) aspal konvensional rentan terhadap deformasi permanen atau rutting, terutama pada suhu tinggi. Viskoelastisitas aspal membuatnya lebih lunak pada suhu tinggi, yang meningkatkan risiko deformasi permanen pada perkerasan jalan (Yofianti, 2019). Faktor-faktor ini menunjukkan perlunya inovasi dalam teknologi perkerasan jalan guna meningkatkan daya tahan dan mengurangi frekuensi perbaikan. Namun, dalam banyak kasus, perkerasan jalan mengalami kerusakan lebih cepat dari yang diperkirakan, sehingga diperlukan perawatan dan perbaikan yang memakan biaya besar.

Biaya perbaikan dan pemeliharaan jalan yang tinggi menjadi tantangan besar dalam pengelolaan infrastruktur transportasi. Sebagai contoh, proyek perbaikan ruas jalan di Kabupaten Halmahera Timur membutuhkan dana sebesar Rp 5,941,129,000,000 menurut Dinas Pekerjaan Umum. Studi yang dilakukan oleh Subkhi Mahmasani (2014) menunjukkan bahwa biaya material berkontribusi sebesar 54,8% terhadap total biaya proyek, sedangkan biaya peralatan mencapai 63,4%. (F. Zhang et al., 2021) juga mengungkapkan bahwa biaya perawatan aspal dapat mencapai 50-70% dari total biaya konstruksi jalan raya.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Muji Pamungkas, Syahrudin, M. Indrayadi tahun 2021 dengan judul Analisis Pengendalian Biaya Dan Waktu Pada Proyek Pembangunan Jalan Sebuji-Tamong, Kecamatan Siding Kabupaten Bengkayang Menggunakan Metode Nilai Hasil (Earned Value), peneliti melakukan analisis mengenai pengendalian biaya proyek tersebut. Peneliti tersebut mengatakan dalam pembahasannya dalam proyek tersebut harusnya dikerjakan dalam 150 hari dapat dikurangi waktu pekerjaannya sebanyak 11 hari dan dapat menghemat biaya sebesar Rp.6,678,823,444, (Pamungkas & Indrayadi, 2021). Oleh karena itu, merupakan prioritas penting untuk menggunakan bahan berkinerja tinggi yang dapat meningkatkan kinerja perkerasan dan mengurangi biaya dan frekuensi perawatan. Hasil kajian pustaka menekankan pentingnya memperdalam pemahaman mengenai perilaku aspal termodifikasi guna meningkatkan daya tahannya terhadap retak akibat

kelelahan dan deformasi pada lapisan permeable. Oleh karena itu, diperlukan solusi inovatif yang dapat mengurangi biaya perawatan serta meningkatkan daya tahan perkerasan jalan yaitu dengan metode Self-Healing.

Aspal konvensional tidak memiliki kemampuan untuk memperbaiki kerusakan secara mandiri. Perbaikan keretakan biasanya dilakukan secara manual, seperti pengisian retakan atau penggantian lapisan aspal. Metode ini memerlukan biaya yang tinggi, waktu yang lama, dan seringkali mengganggu kelancaran lalu lintas. Selain itu, perbaikan manual seringkali bersifat sementara dan tidak menyelesaikan masalah secara menyeluruh (Garcia et al., 2020). Teknologi self-healing pada aspal merupakan solusi inovatif yang memungkinkan material memperbaiki kerusakan secara otomatis ketika terkena panas atau tekanan. Self-healing aspal bekerja dengan memanfaatkan sifat material yang dapat mengalir dan mengisi celah retakan ketika dipicu oleh faktor eksternal, seperti peningkatan suhu (Norambuena-Contreras et al., 2016). Teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan durabilitas jalan dan mengurangi frekuensi perbaikan.

Dampak Positif Self-Healing pada Jalan Raya adalah Memperpanjang Umur Layanan Jalan, Self-healing dapat mengurangi perkembangan keretakan, sehingga memperpanjang umur layan jalan; Mengurangi Biaya Perawatan, dengan mengurangi frekuensi perbaikan, biaya perawatan jalan dapat ditekan; Meningkatkan Keselamatan dan Kenyamanan, jalan yang bebas dari keretakan meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengendara

Salah satu material alami yang berpotensi digunakan sebagai pemodifikasi aspal pada teknologi self-healing adalah getah pinus. Zat ini memiliki karakteristik elastis yang mirip dengan aspal, mampu melekat kuat pada berbagai material, serta tahan terhadap pengaruh air (Perceka & Ing, 2019). Getah pinus juga merupakan komoditas ekspor utama Indonesia, dengan produksi mencapai 1.213.000 ton per tahun pada 2021. Penelitian oleh Chen et al. (2020) menunjukkan bahwa penambahan

getah pinus hingga 10% dalam campuran aspal AC-BC penetrasi 60/70 dapat meningkatkan stabilitas hingga 2120,02 kg serta memberikan nilai Marshall Quotient (MQ) sebesar 510,03 kg/mm. Modifikasi ini terbukti mampu meningkatkan ketahanan aspal terhadap beban lalu lintas berat serta mengurangi risiko deformasi permanen.

Selain pemanfaatan getah pinus, pengembangan teknologi self-healing pada aspal juga dapat dilakukan dengan memanfaatkan Phase Change Material (PCM) berbasis Kalsium Klorida Salt Hidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) melalui teknik enkapsulasi. PCM memiliki kemampuan menyerap dan melepaskan energi panas selama siklus perubahan fase, yang dapat membantu menstabilkan suhu permukaan aspal, mengurangi stres termal, serta memperlambat pembentukan retak akibat perubahan suhu ekstrem (F. Zhang et al., 2021). Enkapsulasi adalah teknik yang digunakan untuk melindungi material aktif (getah pinus dan PCM) agar tidak terdegradasi selama pencampuran dengan aspal. Metode ini memastikan material aktif dapat dilepaskan secara terkontrol saat terjadi keretakan, sehingga meningkatkan efektivitas self-healing (Al-Mansoori et al., 2017). PCM berbasis salt hydrate kalsium klorida merupakan material dengan efisiensi termal tinggi, yang berkontribusi dalam mengurangi retak termal pada perkerasan jalan serta meningkatkan efisiensi energi dalam pemanasan ulang aspal menggunakan teknologi pemanas induksi.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi self-healing aspal yang dimodifikasi dengan getah pinus dan PCM berbasis Salt Hydrate Kalsium Klorida sebagai solusi inovatif dalam memperbaiki keretakan pada struktur jalan raya. Dengan adanya teknologi ini, diharapkan dapat meningkatkan ketahanan perkerasan jalan, mengurangi biaya perawatan, serta memperpanjang umur layanan infrastruktur jalan raya di Indonesia.

1.2. Identifikasi Masalah

Dari beberapa uraian diatas yang dikemukakan pada latar belakang, maka dapat di identifikasikan masalah sebagai berikut :

- 1) Kerusakan jalan dapat menghambat aktivitas ekonomi dan sosial serta membahayakan keselamatan pengguna jalan.
- 2) Lapisan perkerasan jalan sering mengalami kegagalan sebelum mencapai umur rencana.
- 3) Aspal konvensional memiliki beberapa kelemahan, seperti ketahanan yang rendah terhadap beban lalu lintas tinggi dan suhu ekstrem, serta rentan terhadap deformasi permanen (*rutting*).
- 4) Biaya pemeliharaan dan perbaikan jalan sangat tinggi, sehingga menjadi tantangan besar dalam pengelolaan infrastruktur transportasi.

1.3. Pembatasan Masalah

Adapun Batasan masalah dari penelitian antara lain :

1. Pada penelitian akan menggunakan aspal dengan penetrasi 60/70 dengan kadar 5,5%.
2. Spesifikasi campuran aspal berdasarkan pada Spesifikasi Umum Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Bina Marga 2018.
3. Penelitian ini akan menggunakan metode PCM (Phase Change Material) berbasis *salt hydrate* kalsium klorida Melalui Metode Enkapsulasi untuk memperbaiki keretakan pada struktur jalan raya. Metode penyembuhan diri lainnya tidak akan diteliti. Penelitian ini hanya memfokuskan pada keretakan pada struktur jalan raya, tidak mempertimbangkan jenis kerusakan lainnya.

4. Penelitian ini secara khusus akan menggunakan Phase Change Material (PCM) berbasis Kalsium Klorida Salt Hidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) sebagai bahan dan melalui Metode Enkapsulasi. Bahan PCM lainnya tidak akan dieksplorasi dalam penelitian ini.

5. Metode enkapsulasi yang digunakan adalah koaservasi, dengan variasi konsentrasi getah pinus dan PCM.

6. Karakteristik self-healing yang diidentifikasi dibatasi pada kemampuan penutupan retakan dan pemulihan kekuatan mekanis.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari uraian latar belakang masalah diatas, maka rumusan masalah dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan getah pinus dan PCM berbasis salt hidrat kalsium klorida melalui enkapsulasi pada campuran aspal Laston AC-WC terhadap karakteristik *Marshall*?
2. Bagaimana pengaruh penambahan getah pinus dan PCM berbasis salt hidrat kalsium klorida melalui enkapsulasi terhadap potensi *self-healing* aspal dalam memperbaiki keretakan pada struktur jalan raya?
3. Bagaimana karakteristik *self-healing* aspal modifikasi getah pinus dan PCM berbasis salt hidrat kalsium klorida melalui mekanisme enkapsulasi dibandingkan dengan aspal konvensional dalam hal kemampuan memperbaiki diri?
4. Bagaimana variasi konsentrasi getah pinus dan PCM berbasis salt hidrat kalsium klorida melalui metode enkapsulasi memengaruhi kinerja *self-healing* aspal untuk mencapai hasil optimal dalam perbaikan struktur jalan raya?
5. Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi efektivitas self-healing aspal modifikasi getah pinus dengan metode PCM berbasis Salt Hydrate Kalsium Klorida melalui Metode Enkapsulasi dalam memperbaiki keretakan pada struktur jalan raya?

1.5. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain :

- 1) Untuk mengidentifikasi pengaruh penambahan maupun tanpa penambahan getah pinus dan PCM berbasis salt hydrate kalsium klorida dalam campuran aspal Laston AC-WC terhadap karakteristik Marshall.
- 2) Untuk mengidentifikasi pengaruh penambahan getah pinus dan Phase Change Material (PCM) berbasis Kalsium Klorida Salt Hidrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) sebagai bahan modifikasi terhadap potensi self-healing aspal Laston AC-WC dengan dalam memperbaiki keretakan pada struktur jalan raya.
- 3) Untuk mengidentifikasi karakteristik self-healing aspal modifikasi getah pinus dengan PCM berbasis Salt Hydrate Kalsium Klorida melalui Metode Enkapsulasi dibandingkan dengan aspal konvensional dalam hal kemampuan memperbaiki diri.
- 4) Untuk mengidentifikasi variasi konsentrasi getah pinus sebagai bahan modifikasi mempengaruhi kinerja self-healing aspal dengan metode PCM berbasis salt hydrate kalsium klorida melalui Metode Enkapsulasi dalam memperbaiki keretakan pada struktur jalan raya.
- 5) Untuk mengetahui Faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi efektivitas *self-healing* aspal modifikasi getah pinus dengan metode PCM berbasis salt hydrate kalsium klorida dalam memperbaiki keretakan pada struktur jalan raya.

1.6. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan sejumlah manfaat, di antaranya adalah sebagai berikut:

- 1) Diharapkan penggunaan self-healing asphalt dengan modifikasi getah pinus dan PCM berbasis Salt Hydrate Kalsium Klorida dapat meningkatkan umur pakai jalan raya..
- 2) Penggunaan getah pinus sebagai bahan campuran aspal merupakan solusi inovatif untuk memanfaatkan sumber daya alam lokal. Hal ini dapat

mengurangi ketergantungan pada bahan-bahan impor dan mendukung perekonomian daerah.

- 3) PCM Berbasis Salt Hydrate Kalsium Klorida memiliki potensi sebagai material yang lebih ramah lingkungan dibandingkan bahan-bahan konvensional lainnya. Penelitian ini dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi material yang lebih berkelanjutan.

