BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Infrastruktur jalan merupakan tulang punggung perekonomian suatu bangsa. Di Indonesia, jaringan jalan nasional mencapai lebih dari 47.000 km, sementara total panjang jalan termasuk jalan provinsi dan kabupaten/kota melampaui 550.000 km (Badan Pusat Statistik, 2023). Namun demikian, kondisi sebagian besar ruas jalan nasional maupun daerah masih jauh dari ideal; laporan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) tahun 2023 mencatat bahwa sekitar 30–35% dari total panjang jalan nasional berada dalam kondisi rusak ringan hingga rusak berat, dengan kerugian ekonomi akibat kerusakan jalan diperkirakan mencapai ratusan triliun rupiah per tahun akibat biaya operasional kendaraan yang meningkat, kecelakaan lalu lintas, serta penurunan produktivitas distribusi barang dan jasa. Salah satu penyebab utama percepatan kerusakan jalan adalah meningkatnya volume dan beban lalu lintas, perubahan iklim yang mengakibatkan curah hujan ekstrem, serta kualitas material perkerasan yang belum optimal. Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) sebagai lapisan permukaan perkerasan lentur menjadi lapisan yang paling rentan mengalami kerusakan karena berinteraksi langsung dengan beban roda kendaraan, air hujan, dan paparan suhu tinggi. Oleh karena itu, upaya peningkatan kualitas campuran beraspal melalui penggunaan material inovatif menjadi suatu keniscayaan guna menjawab tantangan infrastruktur jalan yang semakin kompleks di era modern ini.

Seiring dengan perkembangan teknologi material, berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan performa campuran AC-WC melalui penambahan bahan aditif maupun material substitusi, baik pada agregat maupun bitumen. Di sisi lain, perkembangan riset material perkerasan global mulai mengarah pada konsep "smart pavement" atau perkerasan cerdas yang mampu mendeteksi beban dan kerusakan secara mandiri melalui sifat elektrik material. Ahmedzade dan Geckil (2007) dalam Indian Journal of Engineering & Materials Sciences menunjukkan bahwa penggunaan carbon black sebagai filler mampu meningkatkan stabilitas

Marshall, modulus kekakuan tarik tidak langsung, dan sekaligus menurunkan resistivitas volume campuran aspal dibanding filler batu kapur konvensional. Di sisi konduktivitas listrik berdasarkan studi tinjauan pada PMC (Development of Self-Sensing Asphalt Pavements: Review and Perspectives) menyimpulkan bahwa pemanfaatan material karbon berbasis nano seperti graphene dan carbon nanofiber untuk sifat elektrik campuran aspal masih tergolong jarang diteliti secara sistematis, sedangkan penelitian pada material konduktif berbiaya lebih tinggi seperti carbon fiber justru lebih dominan dikaji (ScienceDirect, 2025; Frontiers in Materials, 2022). Kesenjangan ini menunjukkan bahwa potensi carbon black sebagai bahan aditif konduktif yang relatif murah, mudah didapat, dan telah terbukti kompatibel dengan bitumen belum banyak dikaji secara komprehensif dari sisi hubungan antara parameter Marshall dan konduktivitas listrik, khususnya pada campuran AC-WC dengan komposisi agregat lokal Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan carbon black terhadap karakteristik Marshall serta mengukur perubahan konduktivitas listrik campuran AC-WC pada berbagai variasi kadar guna menentukan komposisi optimum yang memenuhi spesifikasi teknis perkerasan sekaligus berpotensi dikembangkan menjadi perkerasan cerdas. Secara teoretis, penelitian ini diharapkan memperkaya khazanah ilmu pengetahuan di bidang rekayasa material perkerasan jalan dan pengembangan smart pavement berbasis material lokal yang ekonomis. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan menjadi rujukan dalam mengembangkan teknologi perkerasan yang kuat secara struktural sekaligus mendukung sistem monitoring kondisi jalan berbasis sensor konduktif, sehingga dapat menekan biaya pemeliharaan dan meningkatkan keselamatan pengguna jalan di masa mendatang.Selain itu, pengukuran konduktivitas listrik campuran dilakukan untuk mengeksplorasi potensi aplikasi tambahan dari campuran berbasis carbon black, seperti pada teknologi jalan pintar (smart road) yang memerlukan kemampuan hantaran listrik tertentu untuk sensor tertanam maupun sistem pengisian kendaraan listrik nirkabel (wireless electric vehicle charging).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa perumusan masalah sekaligus sebagai acuan untuk melakukan penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi penambahan kadar carbon black (0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap berat aspal) terhadap parameter Marshall pada campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) meliputi nilai stabilitas, flow, density, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), Void Filled with Asphalt (VFA), serta Marshall Quotient?
2. Bagaimana pengaruh variasi kadar carbon black terhadap nilai konduktivitas listrik campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC), serta bagaimana hubungan antara peningkatan kadar carbon black dengan kemampuan hantaran listrik campuran tersebut?
3. Berapakah kadar optimum carbon black yang menghasilkan campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) dengan parameter Marshall sekaligus menghasilkan nilai konduktivitas listrik yang paling signifikan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah di atas, maka tujuan dari penulisan penelitian sebagai berikut :

1. Menganalisis pengaruh variasi penambahan carbon black (0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap berat aspal) terhadap parameter Marshall pada campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) meliputi stabilitas, flow, density, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), Void Filled with Asphalt (VFA), serta Marshall Quotient.
2. Menganalisis pengaruh variasi kadar carbon black terhadap nilai konduktivitas listrik campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC), serta mendeskripsikan hubungan antara peningkatan kadar carbon black dengan kemampuan hantaran listrik campuran tersebut.

3. Menentukan kadar optimum carbon black yang menghasilkan campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) dengan parameter Marshall sekaligus menghasilkan nilai konduktivitas listrik yang paling signifikan.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat yang berarti, baik secara teoritis maupun praktis, bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan kemajuan sektor infrastruktur jalan di Indonesia. Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut :

1. Mendukung pengembangan infrastruktur jalan cerdas temuan konduktivitas listrik membuka peluang penerapan nyata pada teknologi pengisian kendaraan listrik nirkabel dan sensor jalan tertanam, yang selaras dengan program elektrifikasi transportasi nasional berdasarkan Perpres No. 55 Tahun 2019.
2. Menyediakan data empiris untuk pengembangan spesifikasi teknis data kuantitatif yang dihasilkan dapat menjadi dasar ilmiah bagi pembaruan terkait penggunaan material aditif inovatif dalam campuran aspal panas, sekaligus membuka peluang penelitian lanjutan yang lebih mendalam.
3. Memperkaya literatur teknologi perkerasan jalan diharapkan penelitian ini dapat mengisi kekosongan literatur ilmiah mengenai penggunaan carbon black sebagai bahan aditif pada campuran AC-WC, sehingga dapat menjadi referensi baru bagi peneliti dan akademisi dalam memahami interaksi partikel Carbon Black dengan matriks bitumen.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat terarah, maka perlu dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

1. Penelitian difokuskan pada campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.
2. Material yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler, aspal penetrasi 60/70, dan carbon black sebagai bahan tambah campuran.

3. Carbon Black yang digunakan berasal dari limbah industri tanpa proses modifikasi kimia lanjutan.
4. Variasi kadar Carbon Black ditentukan berdasarkan persentase tertentu terhadap berat aspal.
5. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium menggunakan benda uji Marshall sesuai standar pengujian campuran aspal.
6. Pengujian konduktivitas listrik dilakukan untuk mengetahui kemampuan penghantaran listrik pada campuran AC-WC akibat penambahan Carbon Black.
7. Penelitian hanya membahas pengaruh Carbon Black terhadap parameter Marshall dan konduktivitas listrik campuran AC-WC.