

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim merupakan fenomena pergeseran pola iklim global yang ditandai dengan perubahan pola curah hujan, kejadian cuaca ekstrem, dan perubahan musim yang tidak menentu. Fenomena ini terutama disebabkan oleh *global warming*, yakni kenaikan suhu rata-rata permukaan bumi akibat meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer. Gas-gas seperti karbon dioksida yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil untuk industri, transportasi, dan pembangkit listrik membentuk selimut panas yang memerangkap radiasi matahari di bumi (Le Quéré et al., 2018). Wilayah tropis seperti Indonesia mengalami tren peningkatan suhu lingkungan yang signifikan. Berdasarkan data Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, suhu rata-rata di Indonesia meningkat dari sekitar 26,6°C pada tahun 2011 menjadi 27,5°C pada tahun 2024. Data tahun 2024 menunjukkan adanya fluktuasi suhu harian yang cukup besar, dengan suhu minimum tercatat sebesar 21°C dan suhu maksimum mencapai 35,3°C. Perbedaan suhu harian yang cukup lebar ini mengindikasikan adanya ketidakstabilan termal yang dapat memengaruhi karakteristik material, proses pelapukan serta kinerja infrastruktur secara signifikan.

Salah satu infrastruktur yang terdampak secara langsung oleh perubahan suhu lingkungan adalah perkerasan jalan, khususnya campuran aspal. Campuran aspal merupakan material yang sangat sensitif terhadap suhu, dimana kenaikan suhu menyebabkan penurunan kohesi, kekuatan, dan kekakuan (Zhang et al., 2023). Suhu tinggi di atas 30°C terbukti mempercepat deformasi *rutting*, terutama karena perubahan sifat fisik aspal yang menjadi semi-cair. Efek akumulasi suhu juga meningkatkan suhu lapisan tengah dan bawah perkerasan, sehingga memperburuk ketahanan terhadap beban lalu lintas. Peningkatan suhu menyebabkan penurunan stabilitas dan peningkatan *flow* pada campuran aspal yang berdampak pada penurunan durabilitas campuran aspal secara keseluruhan. Suhu merupakan salah satu faktor krusial yang mempengaruhi performa mekanik campuran aspal,

termasuk karakteristik *Marshall* seperti stabilitas, *flow*, dan *Marshall quotient* (Asmawi, 2020).

Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai inovasi telah dikembangkan untuk meningkatkan performa campuran aspal terhadap faktor lingkungan, salah satunya adalah penggunaan material nano seperti *graphene* yang dijadikan sebagai bahan tambah pada aspal. *Graphene* dapat mempertahankan ketahanan mekanik selama siklus termal tinggi dan cocok untuk aplikasi suhu ekstrem (Guillonneau et al., 2024). Penambahan *graphene* sebesar 0,04% pada campuran AC-WC dapat meningkatkan nilai stabilitas sebesar 7,54% dan *flow* sebesar 10,12%. nilai *Marshall quotient* juga mengalami peningkatan yang mencerminkan keseimbangan antara kekuatan dan fleksibilitas campuran (Annura et al., 2024). Kombinasi *graphene oxide* sebesar 0,06% dan *polyurethane* sebesar 12% mampu secara signifikan meningkatkan ketahanan campuran aspal terhadap deformasi, penuaan, serta retak pada suhu rendah, dengan penurunan deformasi hingga 76% dan peningkatan nilai pemulihan elastik sebesar 20,7% (Guo et al., 2025).

Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk diangkat guna menganalisis sejauh mana efektivitas *graphene* dalam mempertahankan kinerja campuran aspal AC-WC ketika terpapar suhu lingkungan tropis selama periode waktu tertentu. Penelitian ini merupakan kelanjutan dari studi yang dilakukan oleh (Annura et al., 2024), yang meneliti pengaruh penambahan *graphene* terhadap campuran aspal AC-WC dan menemukan bahwa kadar optimum *graphene* sebesar 0,04% mampu memberikan hasil karakteristik *Marshall* terbaik. Dalam penelitian ini digunakan kadar *graphene* sebesar 0,04% tanpa dilakukan variasi. Perbedaan utama terletak pada adanya proses pemaparan campuran pada *ambient temperature* atau penjemuran selama periode waktu tertentu, yang belum dilakukan dalam penelitian sebelumnya. Penelitian ini bertujuan memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai ketahanan mekanis campuran terhadap fluktuasi suhu. Hasil dari penelitian diharapkan dapat menghasilkan data empiris bagi perkembangan konstruksi jalan serta mendukung upaya peningkatan kualitas dan keberlanjutan pada infrastruktur perkerasan jalan di Indonesia yang terdampak perubahan iklim.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar perubahan performa campuran aspal AC-WC dengan bahan tambah *graphene* yang dipaparkan pada *ambient temperature* berdasarkan karakteristik *Marshall*?
2. Bagaimana tingkat kelayakan campuran aspal AC-WC dengan bahan tambah *graphene* yang dipaparkan pada *ambient temperature* jika dibandingkan dengan kriteria pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilaksanakannya penelitian ini dipaparkan pada poin-poin sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui besarnya perubahan performa campuran aspal AC-WC dengan bahan tambah *graphene* yang dipapar pada *ambient temperature* berdasarkan karakteristik *Marshall*.
2. Untuk mengetahui kelayakan campuran aspal AC-WC dengan bahan tambah *graphene* yang dipapar pada *ambient temperature* jika dibandingkan dengan kriteria pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini dipaparkan pada poin-poin sebagai berikut:

1. Dengan mengetahui besarnya perubahan performa campuran aspal AC-WC akibat penambahan *graphene* dan pemaparan pada *ambient temperature* dapat memberikan data empiris kepada perencana jalan untuk mempertimbangkan penggunaan *graphene* sebagai bahan tambah aspal.
2. Dengan mengetahui kelayakan campuran aspal AC-WC dengan bahan tambah *graphene* yang dipapar pada *ambient temperature* dibandingkan dengan kriteria Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dapat menjadi bahan pertimbangan dalam upaya peningkatan mutu dan ketahanan perkerasan jalan terhadap kondisi lingkungan yang mengalami perubahan iklim.

3. Sebagai salah satu bahan referensi atau masukan bagi peneliti lainnya yang akan melakukan penelitian serupa.

1.5 Batasan Masalah

Untuk mempertahankan fokus penelitian dan mengakomodasi keterbatasan sumber daya serta waktu, penelitian ini dibatasi dalam ruang lingkup sebagai berikut:

1. Agregat kasar dan halus yang digunakan dalam penelitian bersumber dari PT. Abad Jaya Sentosa yang berlokasi di Kabupaten Aceh Utara.
2. Bahan aditif yang digunakan berupa *graphene* terdispersi dengan kadar penambahan sebesar 0,04% terhadap kadar aspal.
3. Analisis penelitian tidak mencakup tinjauan terhadap sifat kimia material penyusun campuran AC-WC.
4. Parameter teknis penelitian mengacu pada spesifikasi umum tahun 2018 revisi 2 yang diterbitkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga.
5. Pengujian parameter dilakukan terhadap benda uji yang telah mengalami proses penjemuran pada *ambient temperature* selama 15 hari, 30 hari, 45 hari, 60 hari, 75 hari dan 90 hari.
6. Data suhu, kelembapan udara dan kecepatan angin diukur setiap jam 08.00, 14.00 dan 17.00 WIB.
7. Analisis kinerja campuran dilakukan melalui pengujian *Marshall*.
8. Seluruh rangkaian pembuatan dan pengujian benda uji dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Geoteknik dan Hidroteknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Malikussaleh.

1.6 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental untuk mengetahui pengaruh penambahan *graphene* terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran aspal AC-WC yang dipapar pada *ambient temperature*. Dilakukan persiapan bahan yang meliputi aspal penetrasi 60/70 yang diperoleh dari Laboratorium Teknik Sipil Universitas Malikussaleh, *filler* berupa semen Portland tipe I, agregat kasar dan halus yang berasal dari PT. Abad Jaya Abadi. Campuran normal dirancang

menggunakan pendekatan kadar aspal optimum (KAO) berdasarkan hasil pengujian *Marshall* awal, sedangkan campuran *graphene* dibuat dengan kadar *graphene* tetap sebesar 0,04% berdasarkan studi terdahulu. Total benda uji sebanyak 42 sampel, yang terdiri dari 2 jenis campuran (normal dan *graphene*), dengan variasi waktu pemaparan 15 hari, 30 hari, 45 hari, 60 hari, 75 hari dan 90 hari serta masing-masing variasi memiliki 3 ulangan. Pemaparan dilakukan secara terbuka di lingkungan kampus Universitas Malikussaleh, Kota Lhokseumawe, untuk merepresentasikan kondisi iklim tropis dengan paparan *ambient temperature* nyata. Selama proses pemaparan, dilakukan pemantauan terhadap suhu udara, kelembapan relatif, dan kecepatan angin sebagai parameter utama lingkungan. Setelah masing-masing periode pemaparan selesai, sampel diuji dengan alat *Marshall* untuk memperoleh parameter stabilitas, *flow*, *Marshall quotient*, *density*, VMA, VIM dan VFA.

1.7 Hasil Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *graphene* sebesar 0,04% memberikan pengaruh positif terhadap karakteristik *Marshall* campuran aspal yang dipaparkan pada *ambient temperature*. Selama masa pemaparan, suhu lingkungan berkisar antara 23,93°C hingga 31,94°C dengan suhu rata-rata harian sekitar 27°C dan kelembapan udara rata-rata 87,67%. Campuran aspal tanpa *graphene* mengalami penurunan stabilitas secara konsisten seiring bertambahnya durasi pemaparan, sedangkan campuran dengan *graphene* menunjukkan peningkatan stabilitas hingga hari ke-45 sebelum mengalami penurunan, namun tetap berada di atas nilai stabilitas campuran tanpa *graphene*. Temuan ini mengindikasikan bahwa paparan *ambient temperature* berpengaruh nyata terhadap performa mekanik aspal, sementara *graphene* berperan dalam memperkuat struktur campuran pada fase awal hingga pertengahan pemaparan. Penurunan performa pada periode pemaparan yang lebih panjang diduga dipengaruhi oleh kombinasi peningkatan suhu dan fluktuasi kelembapan yang dapat mengurangi efektivitas *graphene* dalam mempertahankan kestabilan campuran.