

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan di Indonesia mengalami pertumbuhan yang signifikan dalam dua dekade terakhir, seiring dengan meningkatnya kebutuhan mobilitas penduduk dan perkembangan ekonomi nasional. Data Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) menunjukkan bahwa panjang jaringan jalan di Indonesia telah mencapai lebih dari 50.000 kilometer jalan nasional, dengan sebagian besar menggunakan konstruksi perkerasan aspal panas (*hot mix asphalt*) sebagai material utama (Cipta & Permukiman, 2023). Pertumbuhan ini menimbulkan permintaan yang semakin besar terhadap material agregat dan *filler* dalam campuran aspal, yang pada gilirannya memicu eksploitasi sumber daya alam secara intensif. Kondisi tersebut memunculkan tantangan ganda berupa kelangkaan material konvensional dan dampak lingkungan negatif akibat penambangan berlebihan, sehingga diperlukan inovasi dalam pemanfaatan material alternatif yang lebih berkelanjutan.

Di sisi lain, Indonesia menghadapi permasalahan serius terkait pengelolaan limbah rumah tangga dan industri yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan perubahan pola konsumsi masyarakat. Data Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat bahwa produksi limbah padat di Indonesia mencapai lebih dari 30 juta ton per tahun, dengan komposisi limbah organik yang dominan termasuk limbah cangkang telur dari sektor rumah tangga, restoran, dan industri pengolahan makanan (BPS 2022, n.d.). Limbah cangkang telur selama ini umumnya dibuang secara langsung ke tempat pembuangan akhir atau dibiarkan menumpuk, yang berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan dan menjadi sumber penyakit. Cangkang telur sendiri merupakan limbah yang mengandung komposisi kimia dominan berupa kalsium karbonat (CaCO_3) sekitar 94-97 persen, yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai material bernilai tinggi dalam berbagai aplikasi industri (Fathonah et al., 2021).

Fenomena global mengenai ekonomi sirkular dan pembangunan berkelanjutan telah mendorong berbagai penelitian untuk mengeksplorasi pemanfaatan limbah sebagai material substitusi dalam konstruksi jalan. Konsep ini selaras dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*) khususnya tujuan nomor 12 mengenai konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab, serta tujuan nomor 9

tentang industri, inovasi, dan infrastruktur yang berkelanjutan (UNITED NATIONS 2016, n.d.) Dalam konteks rekayasa jalan, pemanfaatan limbah sebagai substitusi material konvensional tidak hanya memberikan solusi pengelolaan limbah, tetapi juga berpotensi mengurangi biaya konstruksi dan jejak karbon yang dihasilkan dari proses produksi material baru. Hingga saat ini di temukan inovasi pemanfaatan limbah seperti debu batu bara (fly ash), serbuk gergaji, dan limbah plastik dalam campuran aspal. (Sinta et al., 2024)

Filler dalam campuran aspal panas merupakan komponen penting yang berfungsi mengisi rongga antar agregat, meningkatkan densitas campuran, serta berkontribusi terhadap stabilitas dan durabilitas perkerasan. *Material filler* konvensional yang umum digunakan meliputi debu batu (*stone dust*), abu batu, dan semen Portland, yang kesemuanya memerlukan proses penambangan atau produksi yang berdampak pada lingkungan (Zahra & Sukirman, 2023). Di Indonesia, *Asphalt Concrete - Binder Course* (AC-BC) merupakan lapisan penutup (*binder course*) yang krusial dalam struktur perkerasan lentur, dengan gradasi agregat sedang (ukuran maksimum 19 mm), kadar aspal 4,5-6,5%, dan kandungan *filler* 3-6% sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, untuk mendistribusikan beban lalu lintas secara merata ke lapisan dasar sambil menjaga kestabilan termal dan resistensi terhadap retak fatik (Bina Marga, 2018). Komposisi ini menuntut *filler* berkualitas tinggi dengan ukuran partikel halus ($<0,075$ mm) dan sifat kimiawi yang *inert* untuk mencegah *bleeding* atau *rutting* (Bintara et al., 2025). Cangkang telur yang telah dihaluskan memiliki ukuran partikel halus dan kandungan kalsium karbonat tinggi berpotensi untuk menggantikan fungsi filler konvensional dalam AC-BC tersebut (Rizkia Anju et al., 2025). Cangkang telur yang memiliki ukuran partikel halus dan kandungan kalsium karbonat tinggi berpotensi untuk menggantikan fungsi *filler* konvensional tersebut. Penelitian pendahuluan oleh (Arif et al., 2018) menunjukkan bahwa cangkang telur yang telah dihaluskan memiliki karakteristik fisik yang mendekati material *filler* konvensional, dengan specific gravity sekitar 2,5-2,7 dan batas plastisitas yang memadai untuk aplikasi teknis. Namun demikian, informasi mengenai performa mekanis campuran aspal AC-BC yang menggunakan limbah cangkang telur sebagai *filler* masih sangat terbatas dan memerlukan validasi lebih lanjut melalui pengujian standar.

Uji Marshall merupakan salah satu metode pengujian yang paling umum digunakan untuk mengevaluasi kualitas campuran aspal panas di Indonesia, sebagaimana diatur dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi terbaru. Pengujian ini secara khusus

diterapkan pada campuran AC-BC untuk memverifikasi kepatuhan terhadap kriteria stabilitas minimum 700 kg, flow 3-5 mm, dan VIM 4-6%. Parameter-parameter yang diukur dalam uji Marshall meliputi stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), Marshall *Quotient* (MQ), *density*, dan *void in mix* (VIM) yang secara komprehensif menggambarkan kinerja campuran aspal terhadap beban lalu lintas dan kondisi lingkungan (Bina Marga, 2018). Dengan menggunakan parameter-parameter tersebut, dapat menilai komposisi campuran aspal memenuhi standar teknis yang ditetapkan untuk aplikasi perkerasan jalan. Dalam konteks penelitian ini, uji *Marshall* dipilih sebagai instrumen utama karena prosedur pengujiannya yang terstandarisasi, peralatan yang relatif mudah diperoleh, serta ketersediaan data acuan yang luas untuk perbandingan hasil (Yuniarti et al., 2019).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi kadar % *filler* cangkang telur terhadap parameter Karakteristik Marshall, meliputi Stabilitas, *Flow*, *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA), dan *Marshall Quotient* (MQ)?
2. apakah campuran aspal panas dengan penambahan limbah cangkang telur memenuhi kriteria spesifikasi teknis yang ditetapkan untuk perkerasan jalan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mengevaluasi pengaruh variasi proporsi limbah cangkang telur terhadap parameter Karakteristik *Marshall*, meliputi Stabilitas, *Flow*, *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA), dan *Marshall Quotient* (MQ).
2. Menilai kelayakan penggunaan limbah cangkang telur sebagai *filler* alternatif yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan dibandingkan *filler* konvensional.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai inovasi baru untuk bahan pengisi (*filler*) pada campuran aspal beton.
2. Penelitian ini dapat digunakan menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan campuran aspal beton khususnya pada bahan pengisi (*filler*).
3. Menjadi Penelitian ini diharapkan mampu menjadi referensi untuk menyelesaikan masalah tentang perkerasan jalan khususnya dengan

menggunakan bahan alternatif yang mudah didapat dan mempunyai harga yang ekonomis.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Program Studi Teknik Universitas Bojonegoro.
2. Bahan pengisi (*filler*) menggunakan limbah cangkang telur ayam.
3. Tidak menguji kandungan kimia pada serbuk cangkang telur ayam.
4. Campuran aspal yang digunakan adalah Aspal Panas (*Hot Mix Asphalt*).
5. Aspal yang digunakan adalah aspal presentase 60/70 (60-70 dmm pada suhu 25°C).
6. Pengujian utama adalah pengujian *Marshall* untuk mendapatkan parameter stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA, dan *Marshall Quotient*.
7. Komposisi presentase penambahan serbuk cangkang telur adalah 0%, 25%, 50 %, dan 75%.
8. Metode Pengujian Marshall untuk Campuran Aspal **SNI 06-2671-1992**