

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan raya merupakan prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah. Definisi yuridis ini tertuang secara jelas dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan. Pembangunan infrastruktur jalan memiliki tujuan utama untuk melayani pergerakan arus lalu lintas barang dan jasa secara efisien dan selamat. (Sukirman, 1999) menyatakan bahwa konstruksi perkerasan jalan harus memenuhi syarat-syarat tertentu untuk memberikan rasa aman dan nyaman bagi pengguna jalan. Syarat mutlak tersebut meliputi permukaan yang rata, tidak bergelombang, serta memiliki kekesatan yang cukup guna mencegah terjadinya selip pada roda kendaraan. Hal ini menegaskan bahwa sebuah jalan yang ideal tidak hanya harus kuat secara struktural, tetapi juga harus memberikan kualitas layanan yang baik.

Pemerintah juga mengatur batasan muatan kendaraan untuk menjaga keawetan infrastruktur jalan yang telah dibangun. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan secara spesifik mengatur kelas jalan dan batasan berat muatan sumbu terberat yang diizinkan melintas. Regulasi ini bertujuan agar beban yang diterima oleh struktur perkerasan tidak melebihi kapasitas desainnya. Dalam kondisi ideal, perkerasan jalan harus mampu menahan beban lalu lintas dan pengaruh

lingkungan selama umur rencananya tanpa mengalami kerusakan struktural yang berarti, sehingga efisiensi transportasi dapat terjaga.

Urgensi ketahanan struktur terhadap beban ini menjadi sangat krusial, terutama pada koridor yang melayani arus angkutan barang dan jasa yang padat. Jalan Lembar–Mataram merupakan ruas jalan nasional arteri primer yang menghubungkan Pelabuhan Lembar di Kabupaten Lombok Barat dengan Kota Mataram sebagai pusat pemerintahan provinsi. Ruas jalan ini memiliki peranan fungsi sebagai jalur distribusi logistik utama yang melayani angkutan barang ekspor-impor dari pelabuhan menuju pusat perdagangan. Berdasarkan data teknis dari Dinas Pekerjaan Umum, ruas jalan sepanjang 10,3 km ini diklasifikasikan sebagai jalan arteri primer dengan tipe jalan 2/2 (dua lajur dua arah) dan memiliki lebar jalur standar jalan nasional. Sebagai jalan nasional, ruas ini menerima beban lalu lintas harian yang sangat tinggi dan bervariasi.

Masalah struktural utama pada ruas jalan ini dipicu oleh tingginya volume kendaraan berat. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan mengatur bahwa jalan arteri primer (Kelas I) didesain untuk menahan Muatan Sumbu Terberat (MST) lebih besar dari 10 ton, sedangkan jalan kelas di bawahnya dibatasi maksimal 8 ton. Namun, pelanggaran terhadap regulasi ini sering terjadi di lapangan. Komposisi lalu lintas didominasi oleh kendaraan angkutan barang berdimensi besar, seperti truk tronton dan trailer, yang seringkali membawa beban jauh melebihi kapasitas standar tersebut. Persentase kendaraan berat yang melanggar batas muatan (*Over Dimension Over Load*) di jalan nasional

Indonesia tergolong tinggi, yang mengakibatkan struktur jalan menerima tekanan ekstrem di luar batas rencana (Jihanny et al., 2018).

Selain faktor pembebanan, kondisi lingkungan berupa curah hujan yang tinggi menjadi ancaman serius bagi ketahanan Jalan Lembar–Mataram. Wilayah Kabupaten Lombok Barat memiliki intensitas hujan yang cukup tinggi pada musim tertentu. Curah hujan tahunan rata-rata (*mean annual precipitation*) memiliki pengaruh signifikan terhadap penurunan kinerja perkerasan lentur (Hasan et al., 2016). Air hujan yang menggenang atau meresap masuk ke dalam pori-pori perkerasan melalui retakan kecil dapat melemahkan ikatan aspal (*stripping*). Lebih lanjut, infiltrasi air hingga ke lapisan tanah dasar (*subgrade*) akan menurunkan daya dukung tanah secara drastis (Simanjuntak et al., 2020). Kondisi tanah dasar yang lunak akibat jenuh air membuat struktur jalan kehilangan kemampuan menopang beban di atasnya, sehingga mempercepat proses kerusakan.

Akibat akumulasi dari beban berlebih yang melanggar undang-undang dan degradasi akibat air hujan tersebut, kondisi fisik Jalan Lembar–Mataram mengalami berbagai kerusakan dini. Kerusakan yang teridentifikasi di lapangan meliputi retak leleh tipe kulit buaya (*alligator cracking*) yang mengindikasikan kegagalan struktur menahan beban, deformasi alur (*rutting*) pada jejak roda kendaraan berat, serta lubang-lubang (*potholes*) yang terbentuk akibat gerusan air pada area yang retak. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur jalan yang ada saat ini mengalami penurunan kinerja (*structural distress*) yang dapat membahayakan keselamatan pengguna jalan dan menuntut adanya evaluasi desain yang lebih andal.

Sebagai langkah awal dalam merumuskan strategi penanganan yang tepat, diperlukan pemahaman mengenai variasi jenis konstruksi yang tersedia. Rekayasa jalan raya menyediakan beberapa alternatif struktur untuk menahan beban lalu lintas, yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*), dan perkerasan komposit (*composite pavement*). Studi tinjauan yang membandingkan penggunaan perkerasan lentur dan kaku menyoroti bahwa pemilihan jenis perkerasan harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik proyek karena masing-masing memiliki karakteristik performa yang berbeda (Taher et al., 2020).

Jenis pertama adalah perkerasan lentur yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Kelebihan utama perkerasan ini terletak pada biaya konstruksi awal yang relatif lebih ekonomis dibandingkan perkerasan kaku (Mittal et al., 2020). Selain itu, perkerasan lentur memberikan kenyamanan berkendara (*riding comfort*) yang tinggi karena permukaannya yang halus dan tidak memiliki sambungan (Taher et al., 2020). Namun, kekurangan signifikannya adalah kerentanan terhadap deformasi alur (*rutting*) dan retak lelah jika menerima beban berlebih pada suhu tinggi. Faktor struktural dan beban lalu lintas sangat mempengaruhi penurunan kinerja perkerasan lentur (Bhandari et al., 2022). Lebih lanjut, kondisi temperatur dan curah hujan tahunan memiliki dampak besar terhadap durabilitas aspal, yang menuntut perawatan rutin lebih sering (Hasan et al., 2016).

Jenis kedua adalah perkerasan kaku yang menggunakan pelat beton semen sebagai lapisan struktur utama. Kelebihan perkerasan kaku adalah durabilitas yang superior dan kemampuan distribusi beban yang sangat baik melalui

mekanisme kerja pelat (Manjunatha et al., 2024). Hal ini menjadikannya solusi yang sangat andal untuk menahan beban lalu lintas berat tanpa mengalami perubahan bentuk yang berarti. Pada penellitan terdahulu menyebutkan jenis beton yang digunakan sangat mempengaruhi perilaku perkerasan kaku di bawah beban statis (Salama et al., 2023). Meskipun demikian, perkerasan kaku memiliki kekurangan berupa biaya awal konstruksi yang mahal dan proses perbaikan yang kompleks jika terjadi kerusakan. Kenyamanan berkendara pada perkerasan kaku seringkali dinilai lebih rendah dibandingkan aspal akibat adanya sambungan antar pelat (Bayraktarova et al., 2022).

Jenis ketiga adalah perkerasan komposit, yang merupakan sistem hibrida dengan menggabungkan lapisan fondasi beton di bawah dan lapisan permukaan aspal di atas. Kelebihan dari sistem ini adalah mampu menggabungkan kekuatan struktural beton untuk menahan beban berat dengan kenyamanan dan kedap air dari lapisan aspal (Liu et al., 2024). Desain ini bertujuan untuk meminimalisir kelemahan dari kedua tipe konvensional di atas. Namun, kekurangan dari perkerasan komposit adalah kompleksitas dalam desain dan pelaksanaannya. Desain perkerasan komposit memerlukan analisis yang cermat untuk memastikan ikatan yang baik antar lapisan dan mencegah masalah umum seperti retak refleksi (*reflective cracking*), di mana retakan dari lapisan beton merambat ke permukaan aspal (Solanki & Zaman, 2017).

Terlepas dari variasi jenis konstruksi yang ada, penentuan dimensi struktur memerlukan dasar perhitungan yang baku. Perencanaan tebal perkerasan dalam studi ini menggunakan metode AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*) 1993. Metode ini dipilih karena

merupakan standar panduan desain yang paling umum digunakan dan diakui secara luas oleh instansi kebinamargaan di Indonesia. Metode AASHTO 1993 diterapkan secara konsisten untuk mendesain ketebalan ketiga jenis perkerasan yaitu lentur, kaku, dan komposit. Keunggulan utama dari metode ini adalah pendekatannya yang sistematis dalam mengakomodasi variabilitas kondisi lapangan. Pada penelitian ini akan memasukkan sejumlah data parameter spesifik ke dalam analisis AASHTO 1993, yang meliputi akumulasi beban lalu lintas (*Cumulative Equivalent Single Axle Load*) selama umur rencana, daya dukung tanah dasar yang dinyatakan dalam Resilient Modulus (M_R), tingkat reliabilitas yang diinginkan, serta deviasi standar keseluruhan. Output utama yang dihasilkan dari pengolahan data AASHTO 1993 berbeda untuk setiap jenis perkerasan. Untuk perkerasan lentur, outputnya adalah Angka Struktural yaitu SN (*Structural Number*). Untuk perkerasan kaku, outputnya adalah tebal pelat beton (*slab thickness*). Khusus untuk perkerasan komposit, metode AASHTO 1993 digunakan dengan pendekatan Angka Struktural, di mana lapisan fondasi beton (*lean concrete*) diperhitungkan memiliki koefisien kekuatan lapis (a_i) yang jauh lebih tinggi dibandingkan agregat biasa. Perhitungan ini menjadi dasar ilmiah untuk menentukan tebal awal kombinasi lapisan aspal dan lapisan beton sebelum dilakukan analisis lebih lanjut. Meskipun metode AASHTO 1993 sangat mapan untuk penentuan tebal awal, metode ini pada dasarnya bersifat empiris dan mungkin memiliki keterbatasan dalam memprediksi perilaku struktur terhadap beban gandar ekstrem masa kini. Analisis desain sistem perkerasan memerlukan pendekatan mekanistik baru agar hasil yang didapat lebih akurat (Singh & Sahoo, 2020). Oleh karena

itu, studi ini menggunakan program bantu KENPAVE sebagai instrumen analisis mekanistik untuk memvalidasi hasil desain tebal yang diperoleh dari AASHTO tersebut.

Sebagai landasan justifikasi perlunya analisis mekanistik tersebut, referensi penelitian sebelumnya memberikan gambaran kritis mengenai performa aktual di lapangan. Evaluasi kinerja struktural menggunakan analisis mekanistik mengungkapkan bahwa desain perkerasan lentur memiliki kerentanan yang signifikan terhadap kegagalan deformasi permanen (*rutting*) ketika menerima beban lalu lintas yang melampaui batas muatan standar (Priambudi et al., 2024). Simulasi program KENPAVE membuktikan bahwa nilai regangan tekan vertikal di atas tanah dasar pada perkerasan lentur seringkali melampaui batas toleransi yang diizinkan sebelum umur rencana berakhir (Priambudi et al., 2024a). Temuan ini mengindikasikan bahwa metode desain empiris standar, baik Bina Marga maupun AASHTO, belum sepenuhnya mampu memitigasi risiko kerusakan alur akibat fenomena *overloading* yang terjadi di lapangan (Priambudi et al., 2024). Namun, penelitian tersebut membatasi ruang lingkup analisisnya hanya pada evaluasi kinerja internal perkerasan lentur tanpa memperluas komparasi terhadap jenis struktur lain yang memiliki kekakuan lebih tinggi sebagai solusi alternatif (Priambudi et al., 2024).

Di sisi lain, tinjauan literatur mengenai teknologi perkerasan komposit menemukan bahwa struktur ini menawarkan mekanisme distribusi beban yang lebih efisien dalam meminimalkan deformasi vertikal dibandingkan perkerasan aspal konvensional (Liu et al., 2024). Keberadaan lapisan fondasi kaku (*rigid*

base) di bawah lapisan aspal memberikan dukungan yang solid untuk mengurangi tegangan yang diteruskan ke tanah dasar (Liu et al., 2024). Penggunaan parameter modifikasi pada lapisan fondasi berikat semen (*cement treated base*) juga terbukti dapat meningkatkan Angka Struktural (SN) secara signifikan, yang berimplikasi pada pengurangan kebutuhan tebal total perkerasan (Solanki & Zaman, 2017). Meskipun potensi keunggulan teknis ini telah terkonfirmasi secara teoritis, implementasi simulasi desain tebal praktis yang menggabungkan metode AASHTO 1993 dengan validasi respons mekanistik untuk studi kasus jalan nasional di Indonesia masih sangat jarang ditemukan dalam literatur (Liu et al., 2024a; Solanki & Zaman, 2017).

Temuan dari studi komparasi material memperlihatkan bahwa perkerasan kaku memiliki karakteristik durabilitas yang jauh lebih superior dalam menahan beban gandar berat dan tumpahan bahan kimia dibandingkan perkerasan lentur (Taher et al., 2020). Mekanisme transfer beban melalui aksi pelat beton memberikan keuntungan signifikan dalam mencegah kerusakan struktural pada area dengan volume kendaraan berat yang tinggi (Taher et al., 2020). Analisis ekonomi jangka panjang juga memperkuat temuan ini, di mana efisiensi biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*) perkerasan kaku terbukti lebih baik karena kebutuhan pemeliharaan yang minimal meskipun membutuhkan investasi awal yang besar (Manjunatha et al., 2024). Akan tetapi, mayoritas studi tersebut cenderung berfokus pada analisis parsial atau optimasi internal perkerasan kaku saja tanpa melakukan validasi silang respons tegangan-regangan secara simultan dengan perkerasan lentur dan komposit dalam satu kerangka pembebanan yang sama (Manjunatha et al., 2024).

Kekosongan analisis komprehensif ini menjadi hal yang penting jika tidak segera diantisipasi pada ruas jalan dengan karakteristik beban tinggi. Maka dari hal tersebut urgensi penanganan beban lalu lintas ekstrem pada Jalan Lembar–Mataram yang berfungsi sebagai arteri primer logistik Provinsi Nusa Tenggara Barat. Struktur jalan di lokasi ini menerima tekanan berat dari kendaraan angkutan barang yang seringkali melanggar batas muatan (*overloading*). Kondisi pembebanan berlebih ini berisiko tinggi menyebabkan kegagalan struktural dini jika perencanaan hanya mengandalkan metode desain standar tanpa evaluasi mendalam. Desain konvensional seringkali mengalami deformasi permanen sebelum umur rencana tercapai akibat beban faktual yang melebihi kapasitas (Priambudi et al., 2024). Oleh karena itu, studi ini menjadi kebutuhan mutlak untuk mencegah kerugian infrastruktur pada jalur vital tersebut.

Penerapan metode AASHTO 1993 sebagai standar resmi di Indonesia memiliki keterbatasan karena berbasis pada data empiris lama yang kurang relevan dengan beban gandar kendaraan modern. Penggunaan metode ini tanpa validasi tambahan merupakan langkah yang spekulatif untuk kondisi beban berat di Lombok Barat. Penelitian ini menawarkan solusi logis melalui integrasi analisis mekanistik menggunakan program KENPAVE. Langkah ini merupakan syarat wajib untuk memverifikasi kemampuan tebal perkerasan dalam menahan tegangan tarik dan regangan tekan yang terjadi di lapangan. Validasi ini memastikan bahwa desain yang dihasilkan memiliki keandalan teknis yang teruji.

Solusi atas permasalahan beban berat memerlukan pembuktian ilmiah yang membandingkan seluruh opsi struktur secara objektif. Penelitian ini mengisi kekosongan literatur dengan menghadirkan komparasi tiga jenis perkerasan sekaligus, yaitu perkerasan lentur, kaku, dan komposit, dalam satu kerangka analisis yang setara. Penelitian ini memasukkan perkerasan komposit sebagai alternatif inovatif yang berpotensi menggabungkan kekuatan beton dan kenyamanan aspal namun jarang dievaluasi secara kuantitatif. Analisis simultan ini menjamin bahwa rekomendasi yang dihasilkan merupakan opsi yang paling optimal secara teknis dibandingkan hanya memilih berdasarkan asumsi umum.

Pemilihan judul ini didasari oleh beberapa alasan utama. Pertama, penelitian ini merespons kondisi Jalan Lembar–Mataram yang sering mengalami kerusakan akibat beban kendaraan berat dan curah hujan tinggi. Kedua, penelitian ini bertujuan memeriksa ulang hasil desain metode standar dengan analisis mekanistik agar perhitungannya lebih akurat. Ketiga, penelitian ini bermaksud membandingkan tiga jenis perkerasan sekaligus, yaitu lentur, kaku, dan komposit, untuk menemukan solusi konstruksi yang paling tepat. Berdasarkan alasan-alasan tersebut, judul yang ditetapkan adalah: **'ANALISIS PERBANDINGAN MEKANISTIK KENPAVE PADA DESAIN PERKERASAN LENTUR, KAKU, DAN KOMPOSIT MENGGUNAKAN METODE AASHTO 1993 DI JALAN LEMBAR – MATARAM, KABUPATEN LOMBOK BARAT, NUSA TENGGARA BARAT'**.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka rumusan permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berapakah dimensi ketebalan struktur perkerasan lentur, kaku, dan komposit yang dibutuhkan untuk menahan beban lalu lintas rencana pada ruas Jalan Lembar–Mataram menggunakan metode empiris AASHTO 1993?
2. Bagaimana kinerja mekanistik dan prediksi umur lelah (*fatigue life*) dari ketiga alternatif perkerasan tersebut berdasarkan analisis tegangan dan regangan menggunakan simulasi program KENPAVE?
3. Berapakah estimasi Biaya Konstruksi Awal (CAPEX) dan akumulasi Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost / LCC*) untuk masing-masing alternatif perkerasan selama umur rencana 20 tahun?
4. Alternatif desain perkerasan manakah yang paling efektif untuk diterapkan pada ruas jalan tersebut berdasarkan komparasi keandalan struktural mekanistik dan efisiensi biaya jangka panjang?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan permasalahan yang telah dipaparkan, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghitung dimensi ketebalan struktur perkerasan lentur, kaku, dan komposit pada ruas Jalan Lembar–Mataram menggunakan metode empiris AASHTO 1993.

2. Menganalisis kinerja mekanistik dan memprediksi umur lelah (*fatigue life*) dari ketiga alternatif perkerasan berdasarkan respons tegangan dan regangan menggunakan simulasi program KENPAVE.
3. Menghitung estimasi Biaya Konstruksi Awal (CAPEX) dan akumulasi Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost / LCC*) dari ketiga alternatif perkerasan selama umur rencana 20 tahun.
4. Menentukan alternatif desain perkerasan yang paling efektif untuk diterapkan pada ruas jalan tersebut berdasarkan komparasi keandalan struktural mekanistik dan efisiensi biaya jangka panjang.

1.4 Batasan Penelitian

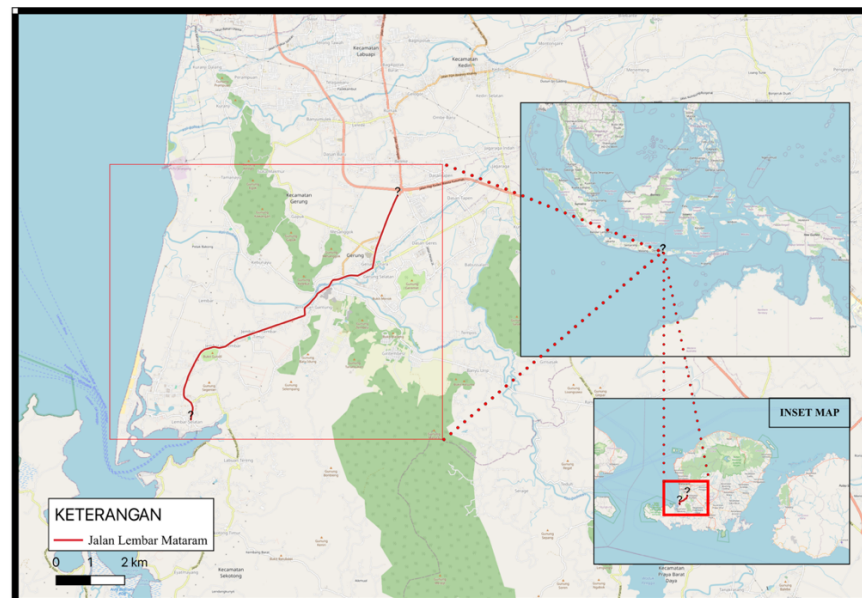
Agar pembahasan lebih terarah dan tidak menyimpang dari pokok permasalahan, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian pada ruas Jalan Lembar – Mataram (STA 0+000 – STA 10+300) Kabupaten Lombok Barat dengan tipe jalan 2/2 UD (*Undivided*).
2. Tidak merencanakan drainase dan geometrik jalan.
3. Umur Rencana jalan 20 tahun.
4. Perencanaan tebal perkerasan lentur, kaku, dan komposit menggunakan metode AASHTO 1993.
5. Perhitungan nilai tegangan dan regangan menggunakan program KENPAVE.

- Perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) hanya mencakup biaya material dan konstruksi lapisan perkerasan (Lapis Permukaan, Fondasi Atas, Fondasi Bawah) dan tidak memperhitungkan biaya pekerjaan tanah, bahu jalan, maupun bangunan pelengkap lainnya.

1.5 Lokasi Penelitian

Penelitian ini mengambil lokasi pada ruas Jalan Nasional Lembar – Mataram sepanjang 10,3 km di Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat. Ruas arteri primer dengan tipe 2/2 UD ini berfungsi sebagai jalur logistik vital yang menghubungkan Pelabuhan Lembar dengan Kota Mataram. Tingginya intensitas beban kendaraan berat pada ruas ini menjadi dasar pemilihan lokasi studi untuk evaluasi kinerja struktural perkerasan. Rincian terkait Lokasi penelitian berada di Gambar 1.1 berikut



Gambar 1.1 Lokasi Penelitian
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2026)