

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dilatarbelakangi oleh fenomena perkerasan lentur yang sering mengalami kerusakan pada masa layan, penelitian ini dapat memberikan pemahaman lebih terkait pengembangan kinerja lapis perkerasan melalui modifikasi material aspal. Pengaruh penggunaan aspal modifikasi zeolit terhadap karakteristik marshall campuran HRS-WC diketahui melalui pengujian metode marshall dalam skala laboratorium. Melalui teknis penelitian dan analisis data diperoleh temuan - temuan yang dapat digunakan dalam upaya meningkatkan kinerja perkerasan lentur melalui modifikasi aspal. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Aspal modifikasi zeolit memiliki karakteristik yang lebih keras dibandingkan dengan aspal penetrasi 60/70. Hal ini dapat ditunjukkan dengan hasil pengujian properties yaitu:
 - a) Aspal modifikasi zeolit 0,1%, 0,2%, dan 0,3% memiliki nilai penetrasi yang lebih kecil dibandingkan dengan aspal penetrasi 60/70.
 - b) Aspal modifikasi zeolit 0,1%, 0,2%, dan 0,3% memiliki nilai titik lembek yang lebih kecil dibandingkan dengan aspal penetrasi 60/70.
 - c) Aspal modifikasi zeolit 0,1%, 0,2%, dan 0,3% memiliki nilai daktilitas yang lebih kecil dibandingkan dengan aspal penetrasi 60/70.
2. Penambahan zeolit pada aspal tidak konsisten meningkatkan atau menurunkan kinerja campuran beraspal. Pada kadar tertentu, penggunaan aspal modifikasi zeolit pada campuran beraspal HRS-WC mampu meningkatkan kinerja lapis perkerasan. Namun, penambahan kadar zeolit yang berlebih akan bersifat sebaliknya sehingga menurunkan kinerja lapis perkerasan. Hal ini dapat dibuktikan dengan hasil penelitian yaitu:
 - a) Campuran beraspal panas HRS-WC modifikasi zeolit 0,1% mengalami penurunan pada nilai VMA, VIM, dan *flow* apabila dibandingkan dengan campuran beraspal HRS-WC aspal penetrasi 60/70. Rata-rata nilai VMA menurun dari 22,4% menjadi 21,2%. Rata-rata nilai VIM menurun dari 7,4% menjadi 6%. Rata-rata nilai *flow* menurun dari 7,4% menjadi 6%. Penurunan nilai VMA, VIM, dan *flow* menunjukkan pengurangan rongga

- udara dalam campuran dan campuran lebih tahan terhadap perubahan bentuk akibat beban. Namun, nilai VMA, VIM, dan *flow* akan meningkat pada campuran beraspal panas HRS-WC modifikasi zeolit 0,2% dan 0,3%.
- b) Campuran beraspal panas HRS-WC modifikasi zeolit 0,1% mengalami peningkatan pada nilai kepadatan, VFA, stabilitas, dan MQ apabila dibandingkan dengan campuran beraspal HRS-WC aspal penetrasi 60/70. Rata-rata nilai kepadatan meningkat dari 2,19 gr/cc menjadi 2,22 gr/cc. Rata-rata nilai VFA meningkat dari 67,1% menjadi 71,6%. Rata-rata nilai stabilitas meningkat dari 1250,6 kg menjadi 1392,5 kg. Rata-rata nilai MQ meningkat dari 314,55 kg/mm menjadi 331,16 kg/mm. Peningkatan nilai kepadatan, VFA, stabilitas, dan MQ menunjukkan campuran menjadi lebih rapat dan lebih mampu menahan beban lalu lintas. Namun, nilai kepadatan, VFA, stabilitas, dan nilai MQ menurun pada campuran beraspal panas HRS-WC modifikasi zeolit 0,2% dan 0,3%.
3. Penggunaan aspal modifikasi zeolit pada campuran beraspal panas HRS-WC berpengaruh terhadap perubahan titik kadar aspal optimum. KAO dapat meningkat seiring penambahan kadar zeolit pada campuran meskipun tidak terlalu signifikan. Hal ini dapat dibuktikan dengan hasil penelitian yaitu:
- KAO campuran beraspal panas HRS-WC aspal penetrasi 60/70 dan campuran beraspal panas HRS-WC aspal modifikasi zeolit 0,1% adalah 7,5%.
 - KAO campuran beraspal panas HRS-WC aspal modifikasi zeolit 0,2% dan 0,3% mengalami peningkatan menjadi 7,75%.

5.2 Refleksi

Penelitian berbasis eksperimen yang telah dilakukan terkait penambahan zeolit ke dalam campuran beraspal memberikan pemahaman lebih dalam mengenai pengembangan aspal modifikasi. Pelaksanaan pengujian metode marshall memberikan pembelajaran langsung tentang bagaimana suatu campuran beraspal dapat dikaji karakteristiknya melalui parameter-parameter seperti, stabilitas, *flow*, kepadatan, dan kekakuannya. Pelaksanaan penelitian menuntut kehati-hatian, baik pada tahap persiapan material, pembuatan benda uji, maupun pengujian benda uji. Pada penelitian ini, zeolit

digunakan sebagai bahan modifikasi aspal tanpa spesifikasi jenis zeolit alam tertentu. Tidak ada pengujian secara langsung pada material zeolit yang digunakan menjadi salah satu keterbatasan sekaligus menjadi titik reflektif bahwa tidak semua kondisi ideal dapat dipenuhi. Hasil penelitian tetap menunjukkan bahwa material zeolit berpotensi memengaruhi kinerja lapis perkerasan HRS-WC. Namun, penambahan pengujian fisik dan kimia pada zeolit dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya untuk mengetahui jenis, karakteristik, dan kualitas material agar hasil penelitian dapat lebih spesifik dan terstandarisasi.

Metode pengujian karakteristik campuran yang digunakan adalah metode marshall. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik dan kadar aspal optimum konvensional yang sering digunakan dalam perencanaan lapis perkerasan karena cukup mudah dan sederhana dalam hal teknis. Melalui metode marshall, kinerja campuran beraspal dapat diketahui dengan nilai - nilai karakteristik marshall yang diperoleh dari pengujian. Berbagai metode desain campuran aspal telah dikembangkan dan diterapkan di seluruh dunia seperti metode hveem dan *superpave*. Prosedur pengujian marshall yang tidak memperhitungkan kuat geser dan faktor penumbukan yang dapat memberikan dampak pada kekuatan campuran dapat menjadi refleksi penelitian. Penggunaan metode lain yang lebih kompleks seperti *superpave* dapat menjadi pertimbangan dalam studi lanjut penelitian ini agar faktor - faktor yang tidak dipertimbangkan dalam prosedur marshall dapat diperhitungkan. Hasil pengujian dengan metode yang lebih modern diharapkan lebih mampu merepresentasikan kekuatan perkerasan dalam menahan beban.

Durasi penelitian yang cukup singkat, penggunaan metode marshall menjadi pilihan yang tepat karena hanya membutuhkan waktu yang relatif pendek. Durasi penelitian yang cenderung singkat menjadi batasan dalam mengevaluasi perilaku dan kinerja jangka panjang campuran beraspal. Penambahan uji performa lain di luar marshall seperti *Indirect Tensile Strength* (ITS) dapat menjadi pertimbangan pada penelitian selanjutnya. Uji lanjutan tersebut diharapkan dapat memberikan hasil penelitian yang lebih spesifik dalam menggambarkan potensi kinerja lapis perkerasan pada kondisi lapangan.

Meninjau kembali data karakteristik marshall pada beberapa variasi campuran, maka hasil pengujian tersebut dapat merefleksikan bahwa meskipun penambahan zeolit

mampu menunjukkan kenaikan atau tren yang positif pada nilai stabilitas, ada titik kritis di mana penambahan zeolit dapat menurunkan nilai kekakuan dan meningkatkan fleksibilitas campuran secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa untuk menyeimbangkan berbagai karakteristik sehingga menghasilkan kinerja campuran terbaik dengan penambahan bahan tambah zeolit alam perlu menentukan kadar optimum melalui pendekatan lain. *Range* variasi persentase zeolit dalam campuran perlu diperluas untuk menemukan dosis optimum yang memberikan performa terbaik pada campuran perkerasan.

5.3 Saran Studi Lanjutan

Berdasarkan temuan dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya. Terdapat beberapa saran yang ditujukan kepada pihak-pihak terkait, baik secara teoritis maupun praktis, guna perbaikan dan pengembangan di masa yang akan datang. Diharapkan saran yang diberikan dapat menjadi bahan pertimbangan dan acuan dalam penelitian lanjutan maupun dalam penerapan di lapangan. Saran yang dikemukakan dalam bab ini ditujukan sebagai masukan konstruktif untuk perbaikan teknis, peningkatan kualitas pelaksanaan, serta sebagai referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan aspal modifikasi untuk meningkatkan kinerja perkerasan lentur. Sebagai tindak lanjut dari hasil penelitian ini, maka terdapat beberapa saran berikut yang dapat dipertimbangkan untuk studi lanjutan guna memperdalam pemahaman terkait dampak penggunaan zeolit pada campuran aspal.

1. Penerapan metode selain metode marshall seperti, metode *superpave*.
2. Melakukan pengujian karakteristik material pada zeolit (misalnya XRD, SEM, atau uji porositas)
3. Penambahan uji lanjutan seperti ITS (*Indirect Tensile Strength*), *rutting*, dan *fatigue*.
4. Meningkatkan *range* variasi persentase zeolit yang digunakan.