

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Mengacu pada hasil penelitian terkait pemanfaatan bahan peremaja komposit yang tersusun dari *Rice Husk Ash* (RHA) dan *Waste Engine Oil* (WEO) dalam campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) yang mengandung *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) sebanyak 20%, diperoleh beberapa poin kesimpulan berikut ini:

1. Perbedaan kadar WEO pada bahan peremaja komposit RHA-WEO memberikan pengaruh terhadap karakteristik Marshall pada campuran AC-WC dengan kandungan RAP 20%. Berdasarkan hasil rancangan campuran, diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,6% yang telah memenuhi seluruh persyaratan parameter Marshall, meliputi stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ), VIM, VMA, dan VFB. Untuk campuran kontrol yang tidak menggunakan WEO, dihasilkan nilai stabilitas sebesar 1.008,49 kg, *flow* sebesar 3,33 mm, serta MQ sebesar 302,55 kg/mm. Penambahan WEO memicu terjadinya perubahan karakteristik campuran sejalan dengan bertambahnya kadar *rejuvenator* yang digunakan. Ketika kadar WEO ditingkatkan menjadi 2%, nilai stabilitas naik menjadi 1.035,11 kg, sedangkan nilai *flow* turun menjadi 2,31 mm. Hal ini mengindikasikan terjadinya pemulihan karakteristik *binder* RAP sebagai dampak dari penambahan WEO. Keberadaan RHA dalam campuran komposit turut membantu membatasi efek pelunakan yang berlebihan, sementara WEO berperan dalam mengaktifkan kembali *binder* RAP yang sebelumnya telah mengalami penuaan. Kenaikan kadar WEO hingga mencapai 4% menghasilkan nilai stabilitas paling tinggi, yaitu sebesar 1.085,51 kg. Akan tetapi, pada kadar WEO 6%, nilai stabilitas justru menurun menjadi 1.072,49 kg. Nilai *flow* pun turut mengalami peningkatan, dari 2,31 mm pada kadar WEO 2% menjadi 3,94 mm pada kadar WEO 4%, dan 4,27 mm pada kadar WEO 6%. Dengan kata lain, semakin tinggi kadar WEO yang digunakan, semakin besar pula kecenderungan pelunakan pada campuran. Pada

kadar WEO 6%, nilai *flow* bahkan telah melampaui batas maksimum sebesar 4,0 mm sebagaimana ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2025..

2. Tingkat durabilitas pada campuran AC-WC berkandungan RAP 20% yang memanfaatkan *rejuvenator* komposit RHA-WEO, dilihat dari nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS), memperlihatkan kecenderungan turun seiring bertambahnya kadar WEO yang digunakan. Nilai IKS naik hanya sampai WEO 2% dari 95,53% pada campuran tanpa penambahan WEO menjadi 96,48% pada campuran dengan kadar WEO 2%. Temuan ini mengindikasikan bahwa perpaduan RHA dan WEO berpotensi ikut menjaga ketahanan campuran terhadap pengaruh air maupun suhu. Di dalam campuran komposit, RHA berfungsi sebagai unsur pendukung yang membantu mengendalikan efek pelunakan sekaligus kerentanan terhadap air yang dapat timbul akibat pemakaian WEO.
3. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2025, kadar WEO ideal dalam bahan peremaja komposit RHA dan WEO adalah 2% kadar ini menghasilkan kinerja campuran AC-WC dengan kandungan RAP 20% yang memenuhi seluruh parameter Marshall serta nilai IKS minimum sebesar 90%. Pada tingkat kadar tersebut, campuran menghasilkan keseimbangan optimal antara kekuatan struktural, fleksibilitas, dan durabilitas, dengan capaian nilai stabilitas 1.035,11 kg, *flow* 2,31 mm, *Marshall Quotient* 448,10 kg/mm, VIM 4,06%, VMA 14,64%, VFB 72,49%, dan IKS 96,48%..
4. Dari seluruh variasi campuran AC-WC yang dianalisis, campuran RAP 20% tanpa bahan peremaja terbukti paling hemat biaya, yaitu Rp888.018/ton, atau sekitar 10,9% lebih rendah dibandingkan campuran konvensional yang mencapai Rp996.337/ton. Ketika bahan peremaja komposit RHA-WEO ditambahkan ke dalam campuran RAP 20%, biaya meningkat seiring bertambahnya kadar WEO pada Rp900.133/ton untuk RHA 2% + WEO 2%, Rp908.244/ton untuk RHA 2% + WEO 4%, dan Rp916.355/ton untuk RHA 2% + WEO 6%. Meski demikian, seluruh variasi tersebut masih berada sekitar 8,0% hingga 9,7% di bawah biaya campuran konvensional. Hal ini

menunjukkan bahwa penggunaan RAP yang dikombinasikan dengan bahan peremaja komposit RHA-WEO tidak hanya berpotensi meningkatkan kualitas mekanis campuran dan memberi manfaat bagi lingkungan, tetapi juga menghasilkan biaya produksi per ton yang lebih rendah daripada campuran konvensional. Penambahan bahan peremaja tetap menjadi penyebab utama naiknya biaya di antara variasi RAP, sehingga dosis WEO perlu ditentukan secara cermat agar keseimbangan antara kinerja dan biaya tetap terjaga.

5.2 Saran

Berdasarkan sejumlah temuan yang dihasilkan dari penelitian ini, terdapat beberapa hal yang dapat diajukan sebagai bahan pertimbangan bagi penelitian berikutnya, di antaranya sebagai berikut:

1. Guna memperoleh kadar WEO ideal dengan tingkat presisi yang lebih baik, penelitian selanjutnya disarankan menerapkan rentang variasi kadar WEO yang lebih sempit di sekitar titik optimum yang sudah teridentifikasi, contohnya dengan jarak interval sebesar 1%. Kajian yang lebih rinci ini penting mengingat penelitian ini memperlihatkan bahwa kinerja terbaik pada parameter *Marshall* maupun IKS dicapai pada kadar WEO 2%, sedangkan nilai-nilai di sekitarnya justru memperlihatkan kecenderungan penurunan kinerja. Oleh sebab itu, eksplorasi lebih lanjut pada rentang tersebut menjadi hal yang perlu dilakukan.
2. Mengingat penelitian ini menetapkan konsentrasi RHA sebesar 2% dari berat bahan pengikat (*binder*) RAP, diperlukan analisis yang lebih mendalam mengenai perubahan kadar RHA. Karena RHA berfungsi baik sebagai antioksidan maupun agen penstabil dalam *rejuvenator* komposit, penting untuk memahami dampak dari variasi konsentrasi RHA. Perbedaan jumlah RHA dapat menghasilkan keseimbangan yang berbeda antara efek penstabilan RHA dan efek pelunakan WEO.
3. Kajian durabilitas pada riset berikutnya dapat dikembangkan lebih jauh dengan menyertakan pengujian tambahan seperti *Wheel Tracking Test*, *Tensile*

Strength Ratio (TSR), dan *Indirect Tensile Strength* (ITS), selain pengujian *Retained Strength Index* (RSI). Pengujian tambahan tersebut dapat memberikan informasi yang lebih menyeluruh mengenai ketahanan campuran terhadap pengaruh kelembapan, kekuatan tarik, serta potensi deformasi permanen.

5. Karakteristik *binder* RAP setelah diberi *rejuvenator* RHA-WEO juga perlu diuji secara langsung, terutama melalui pengujian penetrasi, titik lembek, dan viskositas. Langkah tersebut diperlukan untuk memverifikasi mekanisme rejuvenasi yang pada penelitian ini masih disimpulkan berdasarkan parameter Marshall dan IKS pada tingkat campuran.
6. Penelitian selanjutnya juga dapat mengevaluasi penggunaan RAP pada kadar yang lebih luas, misalnya 20%, 30%, 40%, dan 50%, dengan menggunakan dosis *rejuvenator* yang telah ditentukan. Evaluasi dapat mencakup sifat volumetrik, stabilitas, ketahanan deformasi, serta ketahanan terhadap raveling untuk memperoleh gambaran mengenai kadar RAP yang secara teknis masih layak digunakan pada campuran AC-WC.
7. Analisis biaya juga perlu dikembangkan agar lebih merepresentasikan kondisi penerapan di lapangan. Komponen seperti biaya produksi di Asphalt Mixing Plant (AMP), transportasi dan pengolahan RAP, konsumsi energi selama pencampuran, biaya pemadatan, serta biaya konstruksi dapat dimasukkan dalam analisis. Dengan pendekatan tersebut, efektivitas ekonomi campuran RAP yang dimodifikasi dengan *rejuvenator* RHA-WEO dapat dinilai secara lebih menyeluruh.
8. Sebelum diimplementasikan pada pekerjaan konstruksi jalan, campuran AC-WC berkandungan RAP 20% dengan *rejuvenator* komposit RHA-WEO perlu diuji terlebih dahulu pada skala produksi di Asphalt Mixing Plant, disertai uji coba lapangan (trial section). Tahapan ini krusial untuk menilai performa campuran pada kondisi nyata di lapangan, termasuk.

9. Pemanfaatan RHA dan WEO sebagai bahan peremaja komposit perlu diteliti lebih lanjut, khususnya dari sudut pandang keberlanjutan dan optimalisasi limbah yang tersedia secara lokal. Kajian ini penting mengingat kedua material tersebut berpotensi memanfaatkan oli bekas kendaraan bermotor serta residu penggilingan padi, sehingga dapat mengurangi penggunaan *rejuvenator* komersial. Selain itu, penerapannya dapat meningkatkan nilai guna limbah lokal dalam bidang teknik sipil, terutama pada pengembangan teknologi perkerasan lentur yang lebih berkelanjutan.