

Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) Menggunakan Pasir Pantai sebagai Pengganti Agregat Halus

Syukuriah* dan Andi Isdyanto*

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sulawesi Barat, Majene, Indonesia 91423

*Corresponding author's e-mail : syukuriahkatjo@unsulbar.ac.id

Received: 18 August 2025; revised: 27 January 2026; Accepted: 8 February 2026

Abstract: Massive road infrastructure development requires a large supply of fine aggregate (sand), which often comes from conventional sources such as river or land quarries. Excessive exploitation of these sources leads to environmental problems, including ecosystem damage and changes in river morphology. This study aims to evaluate the characteristics of asphalt concrete wearing course (AC-WC) mixtures by utilizing beach sand as an alternative fine aggregate, while also identifying its potential as an eco-friendly solution. The research employed an experimental laboratory method. Beach sand from Binuang was used as a 100% substitute for standard fine aggregate. The quality of both coarse and fine aggregates was tested in accordance with SNI (Indonesian National Standard) standards. Subsequently, AC-WC mixtures were prepared at a predetermined optimum asphalt content (OAC) of 6.5%, and their Marshall characteristics were tested, including stability, flow, voids in the mix (VIM), voids filled with asphalt (VFA), and voids in mineral aggregate (VMA). The results indicate that the use of beach sand as a fine aggregate substitute to a certain percentage can meet the AC-WC mixture specifications required by Bina Marga (the Directorate General of Highways). The mixture with this optimal substitution percentage demonstrated the best Marshall characteristics, which remained within the specified range. At this percentage, the stability value reached 842 kg, flow 3.67 mm, VIM 4.12%, VMA 17.97%, VFA 77.23%, and Marshall Quotient (MQ) 233 kg/mm. These values demonstrate that the mixture has adequate performance. In conclusion, beach sand has the potential to be used as a partial substitute for fine aggregate in AC-WC mixtures, particularly at an optimal replacement percentage. The utilization of beach sand not only provides an abundant alternative material but also contributes to reducing the exploitation of conventional aggregates, making it a more economical and environmentally friendly solution for road infrastructure development. The novelty of this research lies in the identification of the optimum conditions for the use of beach sand as a substitute for fine aggregate in AC-WC mixtures based on a comprehensive evaluation of Marshall parameters. The results of the study indicate that although some mixtures meet stability, failure in volumetric parameters such as VIM and Marshall Quotient can still cause the mixture to be unsuitable. This study confirms that beach sand can be used as an alternative fine aggregate if used in certain proportions that are able to produce a balance between strength, flexibility, and density of the mixture.

Keywords: AC-WC, Marshall, asphalt concrete, beach sand, fine aggregate, Marshall characteristics, environment

Abstrak: Pembangunan infrastruktur jalan yang masif membutuhkan pasokan agregat halus (pasir) yang besar, yang seringkali berasal dari sumber konvensional seperti tambang sungai atau darat. Eksploitasi berlebihan ini menimbulkan masalah lingkungan seperti kerusakan ekosistem dan perubahan morfologi sungai. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik campuran beton aspal lapis aus (AC-WC) dengan memanfaatkan pasir pantai sebagai alternatif pengganti agregat halus, sekaligus mengidentifikasi potensi penggunaannya sebagai solusi yang ramah lingkungan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium. Pasir pantai dari Binuang sebagai substitusi agregat halus standar dengan persentase berat yaitu 100%. Mutu agregat kasar dan halus diuji sesuai standar SNI. Selanjutnya, campuran AC-WC dibuat pada kadar aspal optimum (KAO) yang telah ditentukan yaitu 6,5 %, kemudian diuji karakteristik Marshall-nya, meliputi stabilitas, flow, void in the mix (VIM), voids filled with asphalt (VFA), dan voids in mineral aggregate (VMA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pasir pantai sebagai pengganti agregat halus hingga persentase tertentu dapat memenuhi spesifikasi campuran AC-WC yang disyaratkan oleh Bina Marga. Campuran dengan persentase penggantian pasir pantai menunjukkan karakteristik Marshall terbaik yang masih berada dalam rentang spesifikasi. Pada persentase ini, nilai stabilitas mencapai 842 kg, flow 3,67 kg, VIM 4,12 %, VMA 17,97 %, VFA 77,23 %, dan MQ 233 kg, yang menunjukkan campuran memiliki performa memadai. Kesimpulan dari penelitian ini adalah pasir pantai berpotensi untuk digunakan sebagai pengganti parsial agregat halus dalam campuran AC-WC, terutama pada persentase penggantian yang optimal. Penggunaan pasir pantai ini tidak hanya memberikan alternatif material yang melimpah, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan eksploitasi agregat konvensional, sehingga menjadikannya solusi yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan untuk pembangunan infrastruktur jalan. Kebaruan penelitian ini terletak pada identifikasi kondisi optimum penggunaan pasir pantai sebagai pengganti agregat halus pada campuran AC-WC berdasarkan evaluasi menyeluruh parameter Marshall. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun sebagian campuran memenuhi stabilitas, kegagalan pada parameter volumetrik seperti VIM dan Marshall Quotient tetap dapat menyebabkan ketidaklayakan campuran. Penelitian ini menegaskan bahwa pasir pantai dapat dimanfaatkan sebagai agregat halus alternatif apabila digunakan pada proporsi tertentu yang mampu menghasilkan keseimbangan antara kekuatan, fleksibilitas, dan kepadatan campuran.

Kata kunci: AC-WC, Marshall beton aspal (AC-WC), pasir pantai, agregat halus, karakteristik Marshall, lingkungan

1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur jalan, khususnya perkerasan lentur (fleksibel), memegang peranan vital dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan mobilitas sosial

suatu negara [1]. Proyek-proyek infrastruktur berskala besar, seperti pembangunan jalan raya, menuntut pasokan material konstruksi dalam jumlah masif, terutama agregat halus (pasir) yang menjadi komponen utama campuran

beton aspal (*Asphalt Concrete/AC*). Agregat halus konvensional umumnya diperoleh dari penambangan pasir sungai atau darat, sebuah praktik yang, jika tidak dikelola dengan baik, dapat memicu dampak lingkungan yang serius. Eksploitasi berlebihan ini seringkali menyebabkan degradasi ekosistem sungai, perubahan morfologi aliran, dan erosi lahan, yang pada akhirnya mengancam keberlanjutan lingkungan hidup [2], [3].

Menghadapi tantangan ini, industri konstruksi terus berupaya mencari solusi inovatif dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan material alternatif atau limbah. Pemanfaatan limbah industri seperti *fly ash* dan limbah plastik telah banyak diteliti sebagai upaya untuk mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam konvensional [4], [5]. Di wilayah pesisir, pasir pantai merupakan material yang sangat melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal dalam sektor konstruksi. Meskipun pasir pantai berbeda secara karakteristik dengan pasir sungai (terutama dari segi bentuk butiran yang cenderung membulat), potensi pemanfaatannya sebagai agregat halus alternatif menjanjikan solusi ganda: mengurangi tekanan pada sumber daya alam konvensional dan memberikan nilai tambah pada material yang selama ini dianggap sebagai "limbah" [6].

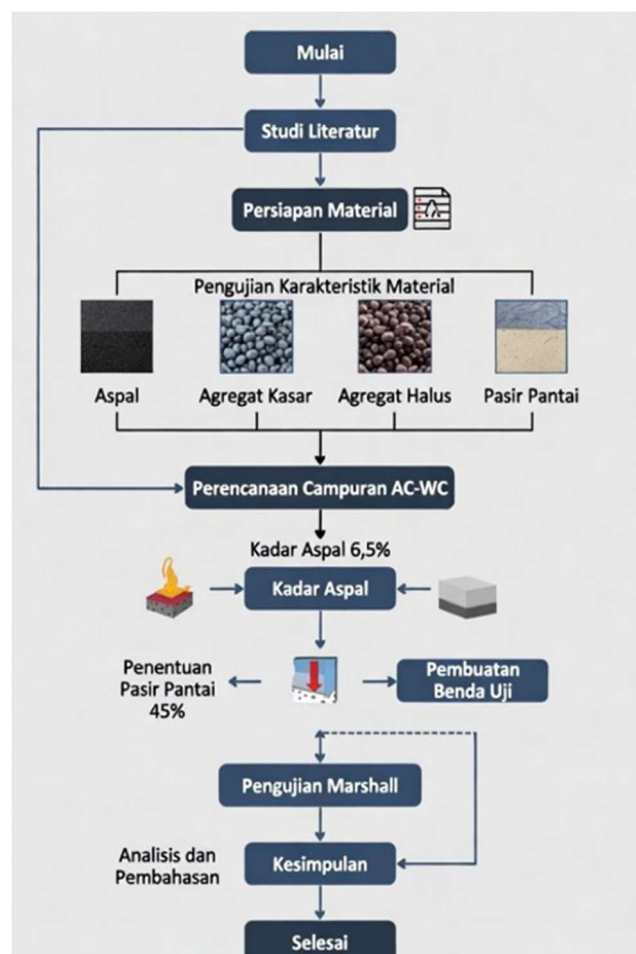
Beberapa penelitian dalam beberapa tahun terakhir telah mengeksplorasi penggunaan pasir pantai sebagai bahan campuran konstruksi. Sebuah studi oleh Mahyar *et al.* menunjukkan bahwa penggunaan pasir laut sebagai agregat halus dalam campuran beton dapat menghasilkan kekuatan yang sebanding dengan beton konvensional, asalkan kadar penggantianannya optimal [7]. Penelitian lain oleh Kumar *et al.* juga menemukan bahwa campuran aspal yang dimodifikasi dengan pasir pantai menunjukkan peningkatan pada parameter Marshall tertentu, meskipun perlu adanya perlakuan khusus pada pasir untuk meningkatkan performanya [8]. Di Indonesia, penelitian mengenai pemanfaatan material alternatif dalam campuran aspal masih terus berkembang, dengan fokus pada material lokal seperti limbah cangkang sawit [9] dan *bottom ash* [10]. Adanya kebutuhan akan solusi yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis dalam pembangunan infrastruktur jalan di Indonesia menjadi relevan untuk mengevaluasi potensi sumber daya lokal seperti pasir pantai.

Penelitian oleh Syukuriah *et al.* menunjukkan bahwa substitusi agregat halus dengan limbah *refractory brick* dapat memenuhi parameter Marshall termasuk stabilitas dan *Marshall Quotient*, sehingga memiliki potensi sebagai alternatif agregat halus yang layak secara struktural dan berkelanjutan dalam AC-WC [11]. Studi Machsus *et al.* juga melaporkan bahwa substitusi pasir limbah tambang emas sampai 75 % dapat meningkatkan nilai stabilitas dan MQ campuran AC-WC dibanding kontrol, meskipun perlu optimasi terhadap VIM untuk memenuhi spesifikasi [12]. Selain itu, Nofrianto *et al.* menemukan bahwa penggunaan pasir silika sebagai agregat halus dalam AC-WC dapat mempertahankan nilai parameter Marshall di dalam batas spesifikasi hingga durabilitas tertentu, menunjukkan relevansi penggantian agregat halus terhadap performa kinerja campuran [13].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara komprehensif karakteristik campuran beton aspal lapis aus (AC-WC) dengan menggunakan pasir pantai sebagai pengganti agregat halus. Uji laboratorium akan dilakukan untuk mengevaluasi parameter Marshall, meliputi stabilitas, *flow*, *voids in the mix* (VIM), *voids in mineral aggregate* (VMA), dan *voids filled with asphalt* (VFA) dari campuran yang dibuat dengan persentase penggantian pasir pantai yang bervariasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan data ilmiah yang kuat sebagai dasar pertimbangan teknis bagi pihak-pihak terkait, khususnya dalam penggunaan pasir pantai sebagai material yang ekonomis dan berkelanjutan untuk perkerasan jalan di masa mendatang.

2. Metode Penelitian

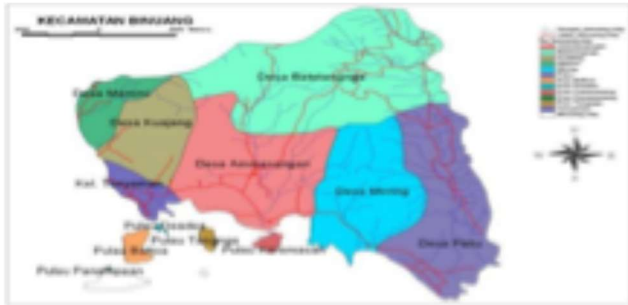
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental di laboratorium untuk mengevaluasi karakteristik campuran beton aspal lapis aus (AC-WC) dengan menggunakan pasir pantai sebagai pengganti parsial agregat halus. Metode ini dipilih untuk mengukur secara objektif pengaruh penggunaan pasir pantai terhadap properti campuran aspal. Tahapan penelitian dibagi menjadi tiga bagian utama: pengumpulan data, metode, dan tahapan pengujian (Gambar 1).



Gambar 1. Flowcart penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Laboratorium PT. Bukit Bahari Indah yang beradadi Desa Mirring, Kecamatan Binuang, Kabupaten Polewali Mandar, Provinsi Sulawesi Barat ([Gambar 2](#) dan [Gambar 3](#)).



Gambar 2. Peta wilayah Kecamatan Binnuang



Gambar 3. Lokasi laboratorium PT. Bukit Bahari Indah

2.2. Data

Data utama dalam penelitian ini adalah data hasil pengujian laboratorium dari material dan campuran yang digunakan. Data ini mencakup sifat fisis agregat, aspal, dan karakteristik Marshall campuran AC-WC.

- Aspal: Digunakan aspal Penetrasi 60/70. Data yang dikumpulkan meliputi penetrasi, titik lembek, daktalitas, berat jenis, dan titik nyala.
- Agregat Kasar: Agregat dengan gradasi sesuai spesifikasi. Data yang dikumpulkan meliputi berat jenis, abrasi, dan keausan.
- Agregat Halus: Pasir pantai yang merupakan variabel utama penelitian. Data yang dikumpulkan meliputi gradasi, berat jenis, dan penyerapan (absorpsi).
- Filler*: Digunakan *filler*
- Campuran AC-WC: Data hasil pengujian Marshall dan volumetrik untuk setiap variasi campuran, yaitu Stabilitas, *Flow*, VIM, VMA, dan VFA.

2.3. Metode dan Tahapan Penelitian

Penelitian ini mengikuti prosedur standar untuk desain campuran Marshall, dengan modifikasi pada proporsi agregat halus.

- a. Uji Sifat Material

Tahap awal penelitian ini diawali dengan pengujian karakteristik seluruh material penyusun campuran aspal beton lapis aus (AC-WC), yang meliputi aspal, agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Pengujian dilakukan di laboratorium dengan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *American Society for Testing and Materials* (ASTM) guna memastikan material

memenuhi persyaratan teknis sebelum digunakan dalam campuran.

Aspal yang digunakan diuji sifat fisiknya meliputi penetrasi, titik lembek (*softening point*), daktilitas, berat jenis, dan kehilangan berat akibat pemanasan. Agregat kasar dan agregat halus diuji meliputi analisis saringan, berat jenis dan penyerapan air, keausan *Los Angeles*, serta bentuk dan tekstur butir. *Filler* diuji berat jenis dan kehalusannya. Khusus agregat halus, pasir pantai digunakan sebagai pengganti 100% agregat halus konvensional, dengan memastikan bahwa kandungan lumpur dan butiran halus masih berada dalam batas yang diizinkan oleh spesifikasi AC-WC.

Tahapan ini bertujuan untuk menjamin bahwa seluruh material yang digunakan layak secara teknis dan tidak menjadi faktor pengganggu dalam evaluasi kinerja campuran aspal.

b. Desain Campuran *Job Mix Formula* (JMF)

Perencanaan campuran aspal beton dilakukan dengan metode *Job Mix Formula* (JMF) mengacu pada spesifikasi AC-WC yang berlaku. Gradasi agregat gabungan ditentukan berdasarkan kombinasi agregat kasar, pasir pantai sebagai agregat halus, dan filler sehingga berada dalam batas gradasi yang dipersyaratkan.

Dalam penelitian ini, agregat halus konvensional digantikan sepenuhnya (100%) oleh pasir pantai berdasarkan persentase berat total agregat. Penentuan kadar aspal dilakukan dengan menggunakan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,5%, yang diperoleh dari penelitian pendahuluan dan menghasilkan keseimbangan terbaik antara stabilitas, flow, dan kepadatan campuran. Penggunaan KAO yang tetap dimaksudkan untuk memfokuskan analisis pada pengaruh substitusi agregat halus terhadap kinerja Marshall dan parameter volumetrik campuran.

Perencanaan JMF ini bertujuan untuk memperoleh komposisi campuran yang representatif dan sesuai dengan kondisi lapangan pada lapis aus perkerasan jalan.

1. Proporsi Agregat: Berdasarkan gradasi gabungan yang sesuai dengan spesifikasi AC-WC. Agregat halus konvensional digantikan dengan pasir pantai pada persentase berat 100%.
2. Kadar Aspal: Untuk setiap variasi penggantian, spesimen dibuat dengan kadar aspal Kadar Aspal Optimum (KAO) yaitu 6,5% yang menghasilkan stabilitas dan kepadatan puncak [14].

c. Pembuatan dan Pengujian Spesimen Marshall

- 1) Pencampuran: Agregat dan aspal dicampur dalam oven pada suhu yang telah ditentukan sesuai standar, lalu dicetak menjadi spesimen silinder berdiameter 4 inci.
- 2) Pemadatan: Setiap spesimen dipadatkan dengan 75 tumbukan dari setiap sisi menggunakan alat

Marshall Compactor, sesuai standar SNI 03-6752-2002 [15].

- 3) Pengujian Marshall: Spesimen yang telah didinginkan diuji stabilitas dan flow-nya. Nilai stabilitas adalah beban maksimum yang mampu ditahan spesimen, sedangkan flow adalah deformasi plastis yang terjadi.
- 4) Analisis Volumetrik: Berdasarkan berat jenis dan dimensi spesimen, parameter VIM, VMA, dan VFA dihitung untuk memastikan campuran memenuhi syarat [8].

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan hasil dari pengujian yang telah dilakukan dan pembahasannya secara mendalam.

3.1. Hasil Uji Sifat Fisis Agregat

Pengujian agregat halus pasir pantai pada Tabel 1 adalah serangkaian tes laboratorium untuk menentukan kualitas pasir atau material lain yang lolos saringan No. 4. Tujuannya adalah memastikan material tersebut cocok sebagai bahan campuran aspal. Pengujian agregat kasar Tabel 2 dan Tabel 3 adalah serangkaian tes untuk menentukan karakteristik kerikil atau batu pecah yang tertahan saringan No. 4. Tujuannya adalah memastikan kekuatan, ketahanan, dan keawetan agregat dalam menahan beban.

Tabel 1. Sifat fisik agregat halus (pasir pantai)

Pengujian	Sat	Hasil	Spesifikasi
Berat jenis bulk	%	2,567	Min 2,5%
BJ kering perm. jenuh	%	2,605	Min 2,5%
Berat jenis semu	%	2,670	Min 2,5%
Penyerapan air	%	1,510	Maks 3%

Tabel 2. Sifat fisik agregat kasar *Coarse Agregat (CA)*

Pengujian	Sat	Hasil	Spesifikasi
Berat jenis bulk	%	2,548	Min 2,5%
BJ kering perm. jenuh	%	2,593	Min 2,5%
Berat jenis semu	%	2,666	Min 2,5%
Penyerapan air	%	1,741	Maks 3%

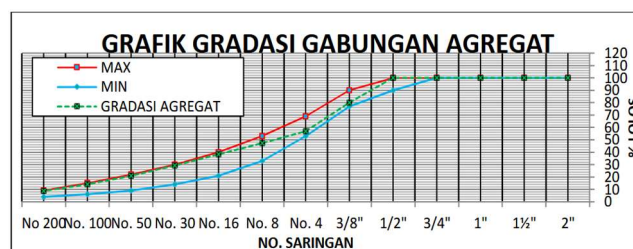
Tabel 3. Sifat fisik agregat kasar Medium Agregat (MA)

Pengujian	Sat	Hasil	Spesifikasi
Berat jenis bulk	%	2,534	Min 2,5%
BJ kering perm. jenuh	%	2,590	Min 2,5%
Berat jenis semu	%	2,685	Min 2,5%
Penyerapan air	%	2,214	Maks 3%

3.2. Hasil Uji Gradasi Gabungan

Untuk membuat campuran aspal maka terlebih dahulu dilakukan gradasi gabungan Agregat, dimana dilakukan penggabungan agregat atau pencampuran agregat kasar medium agregat, agregat halus sehingga menjadi campuran yang homogen dan mempunyai susunan butiran yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2 (Gambar 5,

Gambar 6 dan Gambar 7). penggabungan agregat dilakukan dengan cara *trial and error* pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik gradasi gabungan

3.3. Hasil Uji Marshall

Pengujian Marshall dilakukan pada Kadar Aspal Optimum (KAO) yang telah ditentukan, yaitu sebesar KAO, yaitu: 6,5%. Hasil pengujian menunjukkan variasi karakteristik yang signifikan seiring dengan peningkatan persentase penggantian agregat halus dengan pasir pantai. Berdasarkan hasil pengujian gradasi gabungan agregat, maka didapat hasil persentase terhadap agregat untuk masing masing agregat dari total campuran, yaitu: agregat kasar (ca) = 25 %, medium agregat (ma) = 28 %, agregat halus (pasir pantai) = 45 % dan *filler* = 2 %

3.4. Hasil Uji Aspal

Aspal yang digunakan merupakan aspal dengan penetrasi 60/70 yang diperoleh dari PT. Bukit Bahari Indah, Kabupaten Polewali Mandar, Provinsi Sulawesi Barat. Hasil pengujian aspal dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Sifat fisis aspal pen 60/70

Pengujian	Metode	Sat	Hasil	Spesifikasi
Penetrasi pada 25°C	SNI. 2456 - 2011	0.1 mm	60,2	≥ 1,0
Viskositas Kinematis 135°C	SNI. 06 - 6411 - 2000	cSt	315	60 - 70
Titik Lembek	SNI. 2434 - 2011	°C	48,0	≥ 300
Daktilitas pada 25°C	SNI. 2432 - 2011	Cm	150	≥ 48
Titik Nyala	SNI. 2433 - 2011	°C	349,90	≥ 100
Kelarutan Aspal	SNI. 2438 - 2015	%	99,87	≥ 232
Berat Jenis	SNI. 2441 - 2011	-	1,03315	≥ 99
Kehilangan Berat Minyak dan Aspal TFOT	SNI. 06 - 2440 - 1991	%	0,285	≥ 1.0
Penetrasi Setelah Kehilangan Berat	SNI. 2456 - 2011	% Asli	87,21	≤ 0.8
Daktilitas Setelah Kehilangan Berat	SNI. 2432 - 2011	Cm	145,0	≥ 80



Gambar 5. Komposisi agergat KAO 6,5%

Tabel 5. Hasil uji Marshall

Sam- pel	Sta (kg)	Flow (mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	MQ (mm)
1	761	3,0	3,10	17,10	81,84	275
2	919	3,9	5,24	18,93	72,30	236
3	848	3,1	4,01	17,88	77,55	273
Spek	≥800	2-4	3-5	≥ 15	≥ 65	> 250



Gambar 5. Perendaman sampel dengan water bath



Gambar 6. Proses Pengujian Marshall

Sampel 1 pada Tabel 5 menunjukkan gagal memenuhi spesifikasi stabilitas (761 kg vs. ≥ 800 kg). Meskipun memenuhi parameter lain seperti *Flow*, VIM, VMA, dan MQ, stabilitas yang rendah menunjukkan campuran ini tidak memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban lalu lintas berat, berpotensi mengalami deformasi permanen. Hasil ini sejalan dengan temuan Putra dan Sari dalam jurnal nasional yang melaporkan bahwa penggunaan

pasir pantai sebagai agregat halus pada kadar tertentu dapat menurunkan stabilitas campuran aspal akibat permukaan butiran pasir pantai yang relatif halus dan licin, sehingga daya lekat antara aspal dan agregat menjadi kurang optimal [10]. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Al-Hadidy dan Yi-qiu dalam jurnal internasional, yang menyatakan bahwa agregat halus dengan tekstur permukaan rendah dapat mengurangi interlocking antar partikel dan berdampak langsung pada penurunan stabilitas Marshall [12]. Dengan demikian, meskipun secara volumetrik campuran Sampel 1 tergolong baik, rendahnya stabilitas menunjukkan bahwa komposisi material pada sampel ini belum optimal untuk lapis aus (AC-WC) yang menuntut kekuatan struktural tinggi.

Sampel 2 gagal memenuhi spesifikasi VIM (5.24% vs. 3-5%) dan MQ (236 kg/mm vs. > 250 kg/mm). Nilai VIM yang terlalu tinggi mengindikasikan bahwa campuran ini terlalu berongga, rentan terhadap masuknya air dan oksidasi aspal yang dapat mengurangi daya tahan. MQ yang rendah menunjukkan ketahanan yang kurang optimal terhadap deformasi, meskipun stabilitasnya memenuhi syarat [11, 15]. Hasil ini mendukung penelitian Rahman *et al.* yang menyatakan bahwa peningkatan penggunaan pasir pantai cenderung meningkatkan ian, Sampel 2 secara struktural belum memberikan kinerja optimum, karena kombinasi rongga yang besar dan kekakuan yang rendah dapat menurunkan umur layan perkerasan.

Sampel 3 adalah satu-satunya yang memenuhi semua spesifikasi Marshall. Dengan stabilitas 848 kg, Flow 3.1 mm, VIM 4.01%, VMA 17.88%, VFA 77.55%, dan MQ 273 kg/mm, sampel ini menunjukkan keseimbangan yang baik antara kekuatan, fleksibilitas, dan kepadatan. Temuan ini konsisten dengan penelitian Hadiwardoyo *et al.* (2020) yang menyatakan bahwa penggunaan pasir pantai pada proporsi optimum dapat meningkatkan kinerja Marshall karena butiran halus berfungsi sebagai *filler* alami yang mengisi rongga antar agregat tanpa mengurangi stabilitas. Secara internasional, hasil ini juga sejalan dengan Muniandy dan Aburkaba (2017) yang melaporkan bahwa agregat halus non-konvensional dapat menghasilkan campuran aspal dengan performa optimal apabila gradasi dan proporsinya dirancang secara tepat.

Keberhasilan Sampel 3 menunjukkan bahwa penggunaan pasir pantai sebagai pengganti agregat halus dimungkinkan, sepanjang berada pada komposisi optimum dan memenuhi persyaratan volumetrik serta mekanistik campuran. Stabilitas dan Kelelahan: Stabilitas 848 kg dari Sampel 3 menunjukkan bahwa campuran ini memiliki kekuatan yang memadai untuk menopang beban lalu lintas ringan hingga sedang, mencegah keretakan atau kegagalan struktur [8]. Nilai *Flow* yang berada dalam rentang optimal (3.1 mm) memastikan campuran cukup fleksibel untuk mengakomodasi deformasi kecil tanpa menjadi rapuh, sebuah sifat penting untuk perkerasan di wilayah dengan kondisi tanah yang tidak stabil [10]. Volumetrik: Parameter volumetrik pada Sampel 3 (VIM 4.01%, VMA 17.88%, VFA 77.55%) menunjukkan bahwa campuran telah dipadatkan dengan baik, dengan kadar aspal yang cukup untuk melapisi agregat tanpa menyebabkan kelebihan aspal. VIM yang ideal akan mencegah penetrasi air, yang

merupakan penyebab utama kerusakan pada perkerasan lentur [14]. *Marshall Quotient* (MQ): Nilai MQ yang tinggi (273 kg/mm) pada Sampel 3 mengindikasikan ketahanan yang baik terhadap deformasi permanen atau "rutting," menjadikannya cocok untuk digunakan pada jalan dengan volume lalu lintas yang signifikan [14]. Hasil penelitian ini dapat diterapkan dalam perencanaan campuran AC-WC dengan memanfaatkan pasir pantai sebagai agregat halus alternatif pada komposisi optimum. Evaluasi menunjukkan bahwa keberhasilan campuran tidak hanya ditentukan oleh stabilitas, tetapi juga oleh keseimbangan parameter volumetrik dan *Marshall Quotient*. Dengan demikian, penggunaan pasir pantai berpotensi diterapkan secara terbatas dan terkendali untuk mendukung pemanfaatan material lokal tanpa mengorbankan kinerja perkerasan jalan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil uji Marshall, hanya campuran yang diwakili oleh Sampel 3 yang memenuhi seluruh spesifikasi teknis. Penerapan campuran ini pada jalan yang terlihat pada tabel akan memberikan solusi yang efektif dan tahan lama. Hal ini akan meningkatkan mobilitas, mengurangi biaya perawatan, dan secara signifikan memperbaiki kualitas infrastruktur di daerah tersebut, sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan.

Pasir pantai berpotensi untuk digunakan sebagai pengganti parsial agregat halus dalam campuran AC-WC. Meskipun memiliki bentuk butiran yang membulat, pada persentase penggantian optimal, campuran yang dihasilkan masih memenuhi spesifikasi teknis yang disyaratkan oleh Bina Marga.

Pemanfaatan pasir pantai dalam perkerasan jalan merupakan solusi berkelanjutan dan ramah lingkungan karena mengurangi ketergantungan pada eksploitasi agregat konvensional dari tambang sungai atau darat. Langkah ini tidak hanya memberikan alternatif material yang melimpah tetapi juga berpotensi memberikan efisiensi biaya dalam proyek pembangunan jalan di wilayah pesisir.

Daftar Pustaka

- [1] N.F.A. Aziz, N.M. Noor, and R.A. Rahman, "Road Infrastructure and Economic Development in Malaysia", *Journal of Management, Economics and Engineering Transport Research*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2017
- [2] A.M.O. Jassim and B. Al-Jubori, "The Environmental and Social Impacts of Sand Mining in Riverine Systems", *Journal of Ecological Engineering*, vol. 21, no. 1, pp. 100–112, 2020
- [3] R.M.N. Al-Alwani, "Environmental Impacts of Sand and Gravel Mining on Riverbeds", *Journal of Environmental Engineering and Science*, vol. 18, no. 4, pp. 288–295, 2021.
- [4] S.H. Al-Saadi, A.H.R. Al-Saadi, and I.Y.K. Al-Khafaji, "Review on the Utilization of Waste Materials (Fly Ash, Plastics) in Asphalt Pavement", *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 16, no. 3, pp. 2487–2500, 2021
- [5] G.F. Amira "The Use of Plastic Waste in Road Construction: A Review", *Journal of Cleaner Production*, vol. 104, pp. 248–260, 2015
- [6] P.S. Yesaya., "Investigation on the Use of Sea Sand in Asphalt Concrete Mixtures", *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 101–110, 2017
- [7] A.S. Mahyar et al., "Effect of Sea Sand on the Mechanical Properties of Concrete", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 849, p. 012015, 2020.
- [8] V. Kumar, K.K. Kumar, S.K. Anand, and R.K. Verma, "Feasibility Study on Using Sea Sand in Asphalt Mixtures", *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, no. 1, pp. 4967–4972, 2021
- [9] H.R. Wandu, "Pemanfaatan Limbah Cangkang Sawit sebagai Agregat Halus pada Campuran Aspal Beton", *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, vol. 1, no. 1, pp. 20–29, 2021
- [10] M.A.F. Andi., "Utilizing Bottom Ash as Fine Aggregate in Hot Mix Asphalt", *Jurnal Teknologi*, vol. 83, no. 4, pp. 91–99, 2021
- [11] S. Syukuriah, M. Hustim, W. Tjaronge, and R. Irmawaty, "Performance Evaluation of Magnesite-Type Refractory Brick Waste as Complete Replacement for Fine Aggregate and Filler in Asphalt Concrete Wearing Course Mixtures", *Engineering, Technology and Applied Science Research*, vol. 15, no. 1, pp. 19575–19582, 2025. <https://doi.org/10.48084/etasr.9298>
- [12] M. Machsus, A.F. Mawardi, R. Basuki, A.F. Hadi, M.R. Novanti, and A.F. Wirawan, "Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Performance Using Gold-Mining Sand Waste as Fine Aggregate in Sustainable Pavements", *International Journal of GEOMATE*, vol. 29, no. 133, pp. 106–117, 2025. <https://doi.org/10.21660/2025.133.5039>
- [13] H. Nofrianto and S.D. Astika, "Study of Silica Sand as a Fine Aggregate in Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Mixtures Based on the Marshall Test", *Journal of Technology and Vocational Studies*, vol. 1, no. 2, pp. 53–66, 2023. <https://doi.org/10.21063/jtv.2023.1.2.53-66>
- [14] N.S. Al-Bustani, A.A. Al-Mekhlafi, and N.F.A. Aziz, "Properties of Concrete Mixes Containing Sea Sand as Fine Aggregate", *Materials Today: Proceedings*, vol. 32, pp. 301–306, 2020
- [15] K.B. Kumar and A.S.M. Venkatesh, "Effect of Sea Sand on the Properties of Asphalt Mixes", *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 27, no. 8, p. 04014234, 2015.