

Pengaruh Substitusi Cangkang Kerang Darah dan *Fly Ash* Terhadap Campuran Perkerasan Aspal

S M Maulida^{1*}, T Suhendra², Y Darma³, S M Saleh⁴, A B Dasopang⁵, F Mauladea⁶, S Humayra⁷

^{1,3,4,5,6,7}Departemen of Civil Engineering, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

²Master Student in Civil Engineering, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, Indonesia

*Koresponden email: sitimiramaulida@usk.ac.id

Diterima: 07-10-2025

Disetujui: 27-11-2025

Abstract

Research on asphalt mixtures continues to progress through sustainable innovations, particularly in the utilization of waste materials as substitution components. The incorporation of such waste not only helps mitigate environmental but also contributes to improving the mechanical performance of asphalt mixtures. One promising waste material is Blood Cockle Shell (BCS), a by-product of fishery activities that has not yet been fully utilized. In this study, BCS was used as a substitution for fine aggregates in asphalt concrete mixtures, while fly ash was utilized as a filler substitute at a constant proportion of 5%. The main objective of this research was to analyze the effect of CKD content variations of 0%, 10%, and 15% on the Marshall characteristics and durability. The experimental procedure involved conducting Marshall tests on 27 specimens, with the Optimum Asphalt Content (OAC) determined at 5.91%. The results showed that all BCS variations met the Bina Marga (2020) specifications. The best performance was achieved at 10% BCS content, demonstrating high stability, flow within the middle range, and a durability value of 94.07%, exceeding the minimum requirement of 90%. These results suggest that BCS combined with fly ash provides an environmentally sustainable alternative material for improving pavement quality.

Keywords: *Blood Cockle Shells, Asphalt Mixtures, Fly Ash, Durability, Marshall.*

Abstrak

Penelitian mengenai campuran aspal terus berkembang melalui inovasi berkelanjutan, salah satunya pemanfaatan limbah sebagai material *substitusi*. Pemanfaatan limbah tidak hanya mengurangi dampak lingkungan, tetapi juga dapat meningkatkan kinerja campuran beraspal. Salah satu limbah potensial adalah Cangkang Kerang Darah (CKD), hasil samping kegiatan perikanan yang belum dimanfaatkan secara optimal. Pada penelitian ini, CKD digunakan sebagai substitusi agregat halus pada campuran aspal beton, sedangkan *fly ash* digunakan sebagai *substitusi filler* sebesar 5%. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh variasi kadar CKD sebesar 0%, 10%, dan 15% terhadap karakteristik *Marshall* serta *durabilitas* campuran beraspal. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan pengujian Marshall pada 27 sampel dan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,91% menggunakan metode overlapping. Hasil pengujian menunjukkan seluruh variasi CKD memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 (2020). Komposisi terbaik diperoleh pada kadar CKD 10% dengan nilai stabilitas tinggi, flow pada batas tengah spesifikasi Selain itu, nilai durabilitas pada campuran aspal beton menggunakan kadar CKD 10% didapatkan sebesar 94,07%, lebih tinggi dari persyaratan minimum 90%. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa campuran memiliki tingkat keawetan yang baik. Pemanfaatan CKD bersama *fly ash* dapat menjadi alternatif material ramah lingkungan yang layak digunakan dalam campuran aspal beton untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan.

Kata Kunci: *Cangkang Kerang Darah, Campuran Aspal, Fly Ash, Durabilitas, Marshall.*

A. Pendahuluan

Perkerasan jalan yang umum digunakan adalah perkerasan lentur dengan menggunakan lapisan akhir aspal atau aspal beton karena jenis jalan ini mempunyai kestabilan dan kelancaran yang baik. Material yang digunakan yaitu aspal, agregat, dan filler. Berbagai penelitian mengenai aspal dan inovasi yang berkelanjutan dalam pencampuran perkerasan jalan, agregat baru dari alam dapat diganti atau dicampur dengan material lain. Salah satunya adalah pemanfaatan kerang darah (*anadara granosa*) sebagai

pengganti agregat halus. Selain menghasilkan limbah cangkang kerang yang dapat mencemari lingkungan, hal ini berimplikasi pada penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan Cangkang Kerang Darah (CKD) sebagai substitusi agregat halus pada campuran perkerasan aspal [6]. CKD yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan di Rex Peunayong Jln. Sri Ratu Syafiatuddin, Kecamatan Kuta Alam, Kota Banda Aceh. CKD digunakan sebagai substitusi agregat halus pada campuran aspal beton ini lolos saringan no.4 (4,75 mm) pemilihan ukuran ayakan yang digunakan berdasarkan spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 tahun 2020.

Penggunaan cangkang kerang darah sebagai substitusi agregat pada campuran aspal menggunakan variasi limbah cangkang kerang 0%, 2,5%, 5%, 7,5%, dan 10%. Dari hasil pengujian bahwa nilai *flow*, stabilitas, VMA, VIM diperoleh nilai tertinggi pada persentase 10% namun nilai VFB diperoleh nilai tertinggi pada persentase 7,5% [11]. Pada penelitian ini *fly ash* batu bara didapat di PT. Mifa Bersaudara Kabupaten Aceh Barat. Bahan pengisi yang digunakan ialah lolos saringan No. 200 (0,075 mm) pemilihan ukuran ayakan yang digunakan berdasarkan spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 (2020). Substitusi *fly ash* batu bara sebagai bahan pengisi (*filler*) sebesar 0%, 1%, 2%, dan 3% menunjukkan bahwa berdasarkan hasil pengujian di laboratorium nilai stabilitas kinerja campuran AC-WC memiliki nilai kestabilan terbaik sebesar 2% dan memenuhi spesifikasi teknis jalan bebas hambatan dan jalan tol tahun 2020 [9]. Persentase penelitian terdahulu yang telah dilakukan menunjukkan bahwa substitusi *filler* dari *fly ash* sebesar 2% telah memberikan hasil yang optimal pada campuran AC-WC dan juga untuk campuran aspal beton porus [2].

Penelitian yang telah dilakukan [5] dengan judul pengaruh *filler* abu cangkang kerang terhadap campuran aspal daerah pesisir Pantai menggunakan variasi 4%, 6%, dan 8%. Hasil yang didapatkan pada nilai stabilitas mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya persentase abu cangkang kerang. Persentase 4% sebesar 1337,2 kg, 6% nilai stabilitas sebesar 14997,2 kg, dan 8 % sebesar 1531,3 kg. Pada nilai *flow* untuk campuran *filler* abu cangkang kerang dengan perendaman air laut mengalami penurunan dengan bertambahnya jumlah persentase *filler* abu cangkang kerang karena abu cangkang kerang memiliki berat jenis yang lebih tinggi dari agregat halus. nilai *flow* campuran abu cangkang kerang persentase 4% dan 6% sebesar 2,3 mm, sedangkan pada persentase abu cangkang kerang 8% sebesar 2 mm merupakan nilai terendah.

Pada penelitian pemanfaatan abu cangkang kerang darah sebagai bahan tambah *filler* campuran aspal terhadap nilai Marshall pada perkerasan jalan AC-WC dengan variasi 0%, 30%, 50%, 70%, dan 100%. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai stabilitas terbesar pada rendaman 30 menit yaitu pada persentase 50% sebesar 1557,93 kg dan pada perendaman selama 8 jam yaitu pada persentase 50% sebesar 1404,40 kg [12].

Fly ash merupakan limbah padat yang dihasilkan pada proses pembakaran di tungku PLTU yang kemudian dikeluarkan dari sisa pembakaran dan ditangkap menggunakan alat *electrostatic precipitator*. Komposisi abu batu bara yang dihasilkan yakni 10%-20% *bottom ash* dan sisanya 80%-90% merupakan *fly ash*. *Fly ash* merupakan residu mineral dalam bentuk partikel halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihancurkan dipembangkit Listrik [1].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh substitusi *fly ash* sebagai substitusi *filler* dan CKD sebagai substitusi agregat halus pada campuran aspal beton dapat meningkatkan kualitas perkerasan jalan. Bahan yang digunakan pada penelitian ini berupa agregat, cangkang kerang darah sebagai substitusi agregat halus dengan variasi 0%, 10% dan 15%. Bahan pengisi yang digunakan adalah semen dan *fly ash* dengan kadar 5%, serta aspal pen 60/70.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala. Pengujian dilakukan dengan mensubstitusi cangkang kerang darah sebagai agregat halus dan *fly ash* sebagai *filler* pada campuran aspal beton. Pengambilan material *fly ash* pada PT. Mifa Bersaudara Kabupaten Aceh Barat, cangkang kerang darah diambil di Rex Peunayong, Jln. Sri Ratu Safiyatuddin, Kecamatan Kuta Alam, Kota Banda Aceh. Agregat dan aspal yang digunakan dari Laboratorium Jalan Raya.

Metode pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan menentukan kadar aspal rencana kemudian, dilakukan pengujian Marshall untuk mendapat nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Setelah didapatkan KAO kemudian dilakukan pembuatan benda uji substitusi cangkang kerang darah sebagai agregat halus dengan variasi 0%, 10%, dan 15%, dan substitusi *fly ash* sebagai *filler* sebesar 5%. Total benda uji pada penelitian ini sebanyak 27 benda uji, dimana 15 benda uji untuk mendapatkan nilai KAO, 6 benda uji dengan variasi CKD dan *fly ash*, dan 6 benda uji untuk mendapatkan nilai durabilitas.

Pemadatan pada masing-masing benda uji dilakukan sebanyak 2x75 tumbukan. Penelitian ini menggunakan metode Marshall. Nilai KAO didapatkan dengan menggunakan metode *overlapping* [7].

1.1 Cangkang Kerang Darah

Cangkang kerang merupakan cangkang molusca yang sering kita jumpai di muara atau daerah pesisir pantai. Cangkang kerang darah mengandung senyawa calcium carbonat (CaCO_3) yang bila dipanaskan berubah menjadi calcium oksida (CaO) dan melepaskan karbon dioksida (CO_2) ke udara sehingga hanya tersisa calcium oksida CaO dan silika yang merupakan bahan pembentuk semen [14]. Kerang darah merupakan sumber pangan yang banyak dikonsumsi masyarakat karena kandungan protein dan lemaknya. Jenis kerang yang biasa dikonsumsi masyarakat antara lain kerang hijau (*Mytilus viridis*), kerang darah (*Anadara granosa*) dan kerang bulu (*Anadara antiquate*) [3]; [15].

1.2 Agregat

Agregat merupakan sekumpulan butiran berupa batu pecah, kerikil, pasir, maupun mineral lain yang dapat berasal dari proses alami maupun buatan. Bahan ini termasuk material granular yang biasanya dipadukan dengan bahan pengikat untuk membentuk beton semen hidraulik atau campuran adukan, (SNI No. 1737-1989-F). Berdasarkan [13] Agregat adalah butiran batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lain yang bisa bersumber dari alam maupun hasil sintesis. Material ini berbentuk mineral padat dengan ukuran besar hingga kecil (fragmen). Dalam perkerasan jalan, agregat menjadi unsur utama dengan proporsi 90% – 95% dari berat total dan 75% – 85% dari volume total. Sehingga mutu perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh karakteristik agregat dan hasil interaksinya dengan bahan lain dalam campuran. Klasifikasi agregat berdasarkan ukuran partikel dapat dibedakan sebagai berikut [8] ;

- Agregat kasar merupakan material yang ukurannya lebih besar dari saringan no.4 (4,75 mm);
- Agregat halus merupakan material yang ukurannya lebih kecil dari saringan no. 4 (4,75 mm);
- *Filler* bagian dari material halus yang lolos saringan no.200 (0,075 mm)

1.3 Aspal

Aspal merupakan material berwarna hitam atau coklat tua. Pada kondisi suhu ruang, aspal berbentuk padat hingga setengah padat, namun ketika dipanaskan hingga suhu tertentu, sifatnya akan berubah menjadi lunak atau cair. Sifat ini dimanfaatkan untuk melapisi butiran agregat dalam proses pembuatan campuran aspal beton maupun saat penyemprotan atau penuangan pada konstruksi perkerasan jalan [4].

1.4 Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal rencana ditentukan berdasarkan perkiraan kadar aspal awal yaitu kadar aspal rata-rata atau kadar aspal ideal [10]. Pengujian dengan menggunakan alat Marshall, kadar aspal rencana (Pb) ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Pb = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% \text{ Filler}) + K \quad (1)$$

Keterangan:

- Pb = Kadar aspal ideal sebagai persentase berat campuran
- CA = persentase agregat yang tertahan pada saringan no. 4 (agregat kasar)
- FA = persentase agregat yang lolos saringan no. 4 (agregat halus)
- Filler* = minimal 75% lolos saringan no. 200
- K = konstanta
 - = 0,5 – 1,0 untuk Laston
 - = 2,0 – 3,0 untuk Lataston

Nilai konstanta dalam penelitian ini menggunakan 1.

Penentuan nilai Kadar Aspal Optimum didapatkan dari nilai kadar aspal rencana, Dimana nilai kadar aspal rencana menjadi nilai Tengah kadar aspal dengan rentang $\pm 0,5$ dan ± 1 .

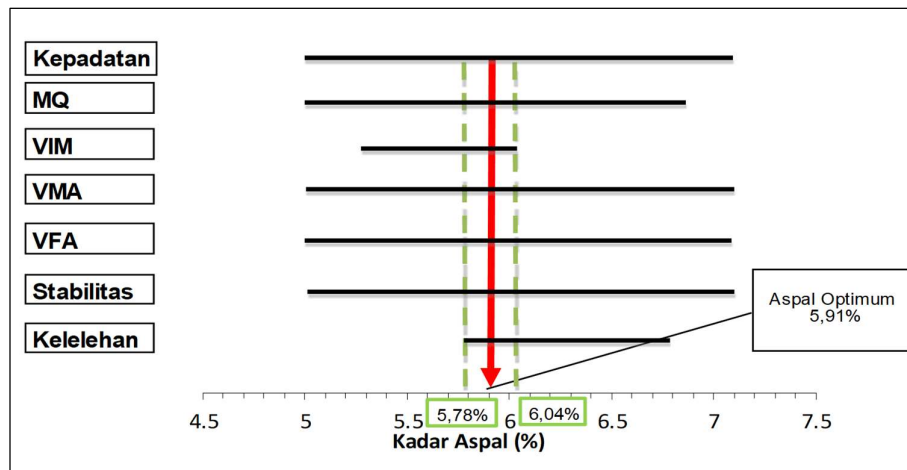
C. Hasil dan Pembahasan

Penentuan nilai KAO dilakukan pada campuran aspal beton tanpa adanya substitusi cangkang kerang darah sebagai agregat halus dan *fly ash* sebagai filler. Sebaran data yang diperoleh ditentukan regresi non linier dianggap paling sesuai untuk pola hubungan antara kadar aspal dan karakteristik Marshall. Grafik nilai KAO dari campuran aspal beton berdasarkan evaluasi parameter Marshall dapat dilihat pada gambar 1. Hasil pengujian Marshall yang dilakukan memperoleh nilai parameter Marshall yaitu stabilitas, *flow*, *density*, *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled by Asphalt* (VFA), dan *Marshall Quotient* (MQ), dapat dilihat pada tabel 1. Berdasarkan nilai parameter Marshall dengan menggunakan metode overlapping sehingga didapatkan nilai KAO yaitu sebesar 5,91%.

Table 1. Concrete mix design (Kg/volume of 3 cylinders).

Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi BM 2018
	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	
Kepadatan (t/m ³)	2.45	2.45	2.48	2.51	2.50	-
VIM (%)	6.07	5.19	3.35	1.59	1.15	Min. 3-5
VMA (%)	17.97	18.30	17.82	17.42	18.14	Min. 15
VFA (%)	66.26	71.87	81.23	90.87	93.73	Min. 65
Stabilitas (kg)	1012.55	1077.05	1096.80	1004.10	936.77	Min. 800
<i>Flow</i> (mm)	1.90	2.23	2.43	2.77	5.27	Min. 2-4
MQ (kg/mm)	645.71	492.11	466.02	371.32	202.79	Min. 250

Berdasarkan hasil pengujian didapat nilai KAO sebesar 5.91%. Berdasarkan hasil tinjauan pada parameter Marshall dari campuran aspal beton dengan substitusi cangkang kerang darah sebagai agregat halus dan *fly ash* sebagai filler, nilai yang didapatkan telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 tahun 2020, sebagaimana yang terlihat pada Tabel 2. Hasil pengujian Marshall. Campuran aspal beton terbaik yang didapatkan berdasarkan hasil pengujian yaitu pada substitusi cangkang kerang darah sebagai agregat halus pada kadar 10%.



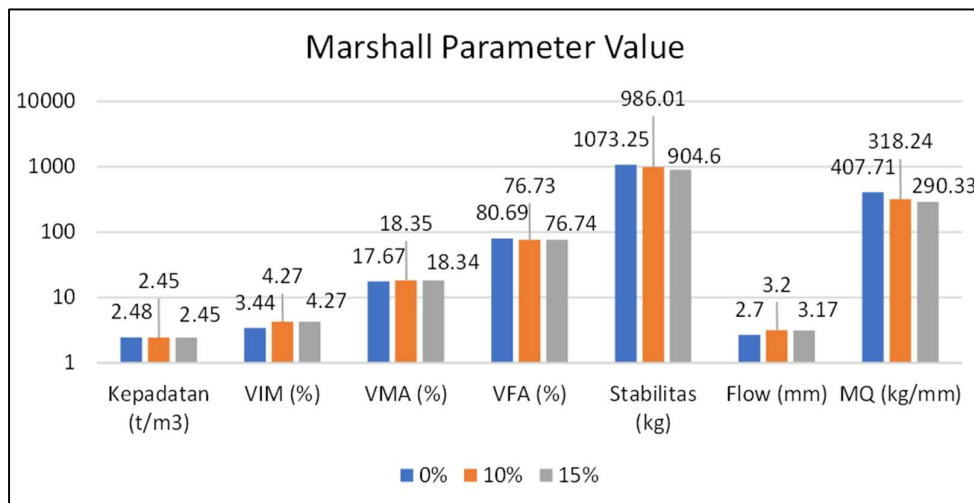
Gambar 1. Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan hasil pengujian Marshall terhadap campuran aspal beton dengan kadar aspal 5.91% dan penambahan *fly ash* 5% menunjukkan bahwa nilai parameter Marshall memenuhi spesifikasi bina marga 2018 dengan adanya variasi penambahan cangkang kerang darah 0%, 10% dan 15%. Nilai kepadatan mengalami penurunan dari 2.48 t/m³ pada campuran tanpa CKD menjadi 2.45 t/m³ pada campuran aspal beton dengan kadar CKD 10% dan 15%. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan CKD cenderung menambah porositas pada campuran aspal beton. Hal ini berkaitan dengan nilai VIM yang mengalami kenaikan dari 3.44% menjadi 4.27% dan VMA dari 17.67% menjadi 18.35%. Namun, untuk nilai VIM masih memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu dengan rentang 3% - 5%, sama halnya dengan nilai VMA masih diatas batas minimum 15%.

Tabel 2. Nilai Parameter Marshall

Parameter Marshall	Karakteristik Campuran Kadar Aspal Optimum = 5,91% Fly ash = 5% Cangkang Kerang Darah			Spesifikasi BM 2018
	0%	10%	15%	
	Kepadatan (t/m ³)	2.48	2.45	
VIM (%)	3.44	4.27	4.27	Min. 3-5
VMA (%)	17.67	18.35	18.34	Min. 15
VFA (%)	80.69	76.73	76.74	Min. 65
Stabilitas (kg)	1073.25	986.01	904.60	Min. 800
Flow (mm)	2.70	3.20	3.17	Min. 2-4
MQ (kg/mm)	407.71	318.24	290.33	Min. 250

Pada campuran aspal beton dengan substitusi CKD variasi 10% dan 15% mengalami penurunan sebanyak 76.7% dari 80.69% pada campuran aspal beton tanpa penambahan CKD. Nilai stabilitas mengalami penurunan seiring bertambahnya CKD pada campuran aspal beton, Dimana pada campuran tanpa CKD nilai stabilitas sebesar 1073.25 kg, pada campuran aspal beton dengan variasi CKD 10% sebesar 986.01 kg, dan campuran aspal beton dengan variasi CKD 15% sebesar 904.60 kg. Penurunan ini menunjukkan berkurangnya kemampuan menahan beban akibat sifat fisik cangkang yang relatif rapuh dibandingkan agregat mineral. Namun, nilai yang diperoleh telah memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu 800kg. Nilai *flow* mengalami kenaikan dari 2,70 mm menjadi 3,20 mm pada kadar 10% dan sedikit turun menjadi 3,17 mm pada kadar 15%. Hal ini menunjukkan peningkatan sifat plastisitas campuran akibat penambahan cangkang, tetapi masih berada dalam rentang yang dipersyaratkan yaitu 2 – 4 mm.



Gambar 2. Nilai Parameter Marshall

Marshall Quotient (MQ) mengalami penurunan signifikan dari 407,71 kg/mm pada campuran normal menjadi 318,24 kg/mm (10%) dan 290,33 kg/mm (15%). Nilai ini menunjukkan bahwa kekakuan campuran berkurang seiring meningkatnya kadar cangkang, namun tetap berada di atas batas minimum 250 kg/mm. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan cangkang kerang darah hingga 15% masih layak digunakan pada campuran beraspal karena seluruh parameter memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Akan tetapi, kadar 10% dinilai paling optimum karena menghasilkan *flow* yang berada di titik tengah spesifikasi, stabilitas dan MQ yang masih tinggi, serta mendukung aspek pemanfaatan limbah cangkang sebagai material alternatif berkelanjutan.

Pengujian durabilitas dilakukan setelah mendapatkan kadar CKD terbaik berdasarkan hasil pengujian Marshall. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan campuran aspal beton dengan variasi CKD

10% sebagai substitusi agregat halus dan *fly ash* 5% sebagai substitusi filler. Sehingga, dilakukan pembuatan benda uji selanjutnya untuk melakukan pengujian durabilitas. Pengujian durabilitas dilakukan perendaman 30 menit dan 24 jam. Hasil Pengujian durabilitas dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian durabilitas

Variasi Benda Uji	Rendaman 30 Menit	Rendaman 24 Jam	Hasil
a	b	c	d = c/b
Benda Uji dengan Substitusi <i>Fly ash</i> 5% dan Cangkang Kerang Darah 10%	984.88	926.45	94.07

Berdasarkan Tabel 3, campuran aspal beton dengan substitusi cangkang kerang darah (CKD) sebagai agregat halus dan *fly ash* sebagai filler menunjukkan nilai durabilitas sebesar 94,07%. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa campuran memiliki tingkat keawetan yang baik. Tingginya nilai durabilitas dipengaruhi dengan adanya substitusi CKD sebagai agregat halus dan *fly ash* sebagai filler, material ini terbukti menghasilkan campuran yang tidak hanya memenuhi syarat stabilitas Marshall, tetapi juga memiliki daya tahan terhadap kondisi perendaman. Hal ini diperkuat dengan hasil pengujian yang masih memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2 tahun 2020, yakni nilai durabilitas minimum sebesar 90%. Secara keseluruhan, nilai durabilitas sebesar 94,07% menegaskan bahwa campuran aspal beton dengan substitusi CKD 10% dan *fly ash* 5% layak digunakan pada perkerasan jalan, terutama pada lingkungan dengan tingkat kelembapan tinggi atau risiko genangan air. Hasil ini sekaligus memperkuat potensi pemanfaatan material limbah sebagai alternatif ramah lingkungan dalam konstruksi perkerasan beraspal.

D. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan berdasarkan hasil pengujian Marshall pada campuran aspal beton dengan pemanfaatan CKD sebagai substitusi agregat halus dan fly ash sebagai substitusi filler menunjukkan bahwa variasi penambahan cangkang kerang darah 0%, 10%, dan 15% masih memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 tahun 2020. Berdasarkan ketiga variasi tersebut, substitusi CKD sebagai agregat halus dengan kadar 10% dinilai paling optimum karena memberikan keseimbangan antara kekuatan struktural, stabilitas deformasi, dan aspek keberlanjutan pemanfaatan limbah.

Pengujian durabilitas menghasilkan campuran aspal beton dengan substitusi cangkang kerang darah (CKD) sebagai agregat halus dan *fly ash* sebagai filler menunjukkan nilai durabilitas sebesar 94,07%. Nilai ini melampaui persyaratan minimum Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2 tahun 2020 yaitu $\geq 90\%$, sehingga campuran terbukti memiliki ketahanan yang baik terhadap pengaruh air. Dengan demikian, cangkang kerang darah berpotensi digunakan sebagai bahan substitusi agregat halus dalam campuran aspal beton dengan kadar 10% dan *fly ash* 5% sebagai substitusi filler layak digunakan sebagai alternatif ramah lingkungan pada campuran aspal beton, khususnya pada kondisi perkerasan yang berpotensi mengalami kelembapan tinggi atau genangan air.

E. Daftar Pustaka

- [1] Acosta, D. (2009). Pemanfaatan Fly Ash (Abu Terbang) Dari Pembakaran Batubara Pada PLTU Suralaya Sebagai Bahan Baku Pembuatan Refraktori Cor. *Jurnal Teknik Kimia*, 3, 67–75.
- [2] Al Qurny, A. U., Hagni Puspito, I., & Tinumbia, N. (2022). Pengaruh Penambahan Bahan Pengisi (Filler) Fly Ash Terhadap Campuran Aspal Beton Lapis Aus (Asphalt Concrete Wearing Course/AC-WC). *Jurnal ARTESIS*, 2(1), 87–97. <https://doi.org/10.35814/artesis.v2i1.3766>
- [3] Arifin, A. A., Suryono, C. A., & Setyati, W. A. (2021). Amankah Mengkonsumsi Kerang Hijau Perna viridis L nnaeus, 1758 (Bivalvia: Mytilidae) yang ditangkap di Perairan Morosari Demak? *Journal of Marine Research*, 10(3), 377–386. <https://doi.org/10.14710/jmr.v10i3.31650>
- [4] Asfiati, S., Zurkiyah, Yani, M., Indrayani, & Prafanti, S. (2022). Analysis of mixed stiffness modulus of different asphalt levels for AC–BC pavement layer with pertamina 60/70 asphalt and 60/70 esso asphalt material. *Journal of Physics: Conference Series*, 2193(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2193/1/012017>
- [5] Farida, I., & Rachmadiba, P. (2023). Pengaruh Filler Abu Cangkang Kerang Terhadap Campuran Aspal Daerah Pesisir Pantai. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 365–378. <https://doi.org/10.29103/tj.v13i2.896>

- [6] Madani, M. F. Al, Kusumadi, & Yulfalentino. (2022). *Pengaruh Penggunaan Kulit Kerang Sebagai Pengganti Filler Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal AC-WC*.
- [7] Maulida, S. M., Darma, Y., Saleh, S. M., Hasan, M., & Yati, R. (2023). Characteristics of Asphalt Concrete Mix Using Coal Bottom Ash as Fine Aggregate Substitution. *NanoWorld Journal*, 9(2), 136–139. <https://doi.org/10.17756/nwj.2023-s2-024>
- [8] Pekerjaan Umum Konstruksi Jalan dan Jembatan. (2020). *Direktorat Jenderal Bina Marga Spesifikasi Umum 2018*.
- [9] Rachman, D. N., Riwayati, S., Sirait, D. R., & Arfan, M. (2022). Penambahan Fly Ash Batu Bara Pltu Sebagai Filler Aspal AC WC. *Bearing : Jurnal Penelitian Dan Kajian Teknik Sipil*, 7(4), 207. <https://doi.org/10.32502/jbearing.v7i4.5497>
- [10] Saleh, S. M., Anggraini, R., Hermansyah, H., & Salmannur, A. (2018). Durabilitas Campuran Beton Aspal Memakai Agregat Karang Gunung Dari Sabang Dengan Bahan Pengikat Aspal Pen 60/70 Dan Retona Blend 55. *Transportasi*, 18 (2), 127–134.
- [11] Sarifah, J., Hasibuan, M. H. M., & Sahfitri, F. (2023). Pengaruh Limbah Cangkang Kerang Darah (Anadara Granosa) Sebagai Agregat Tambahan Pada Campuran Aspal Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 113–117. <https://doi.org/10.30743/jtsip.v2i1.7668>
- [12] Sitompul, O. H., Alamsyah, W., & Basrin, D. (2024). Pengaruh Pemanfaatan Abu Cangkang Kerang Darah sebagai Bahan Tambah Filler Campuran Aspal terhadap Nilai Marshall pada Perkerasan Jalan AC-WC. *Jurnal Komposit*, 8(2), 241–248. <https://doi.org/10.32832/komposit.v8i2.15126>
- [13] Sukirman, S. (2017). *Beton Aspal Campuran Panas*. Institut Teknologi Nasional.
- [14] Wahyuni, A. S., Dlucef, A., & Supriani, F. (2013). Pengaruh Penambahan Serat Bambu Dan Penggantian 10% Agregat Halus Dengan Abu Sekam Padi Dan Abu Cangkang Lokan Terhadap Kuat Tarik Beton. *Inersia*, 5(2), 33–39.
- [15] Yurimoto, T., Kassim, F., Fuseya, R., Matsuko, K., & Man, A. (2021). Food availability estimation of the blood cockle, *Anadara granosa* (Linnaeus, 1758), from the aquaculture grounds of the Selangor Coast, Malaysia. *International Journal of Aquatic Biology*, 9(2), 88–96.