

## Studi Pengaruh Penggunaan Agregat Bulat dari Sumber Alam Lokal terhadap Kinerja Campuran Aspal untuk Konstruksi Jalan Berkelanjutan

Abdias Tandy Arrang\*, Zwingly Lody Honta, Yona Nata & Kristin Sau Padang

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Univeritas Kristen Indonesia Toraja, Jl. Poros Sa'dan, Kakondongan, Toraja Utara, Sulawesi Selatan, Indoensia

Email: [abdias@ukitoraja.ac.id](mailto:abdias@ukitoraja.ac.id)

Dikirim: 12 Desember 2025

Direvisi: 14 Januari 2026

Diterima: 25 Januari 2026

### ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis pengaruh penggunaan agregat bulat terhadap kinerja campuran AC-WC dengan kadar aspal tetap 5,5% menggunakan pengujian Marshall. Variasi persentase agregat bulat yang digunakan adalah 0%, 10%, 15%, dan 20% pada fraksi agregat yang tertahan saringan saringan 1/2", 3/8", No.4 dan No. 8. Parameter yang dievaluasi meliputi stabilitas Marshall, *flow*, serta karakteristik volumetrik campuran berupa VIM, VMA, dan VFB, kemudian dibandingkan dengan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Hasil menunjukkan bahwa penambahan agregat bulat menyebabkan tren penurunan stabilitas Marshall 1.177 kg pada campuran tanpa agregat bulat menjadi 885 kg pada 20% agregat bulat, meskipun seluruhnya masih memenuhi syarat. Dari sisi volumetrik, VIM dan VMA meningkat seiring bertambahnya agregat bulat, sedangkan VFB menurun, namun semua nilai masih berada dalam rentang yang disyaratkan, sehingga secara numerik campuran masih memenuhi kriteria kepadatan dan pengisian aspal. Nilai *flow* meningkat dengan bertambahnya agregat bulat, dan pada kadar 20% telah melampaui batas maksimum yang diizinkan, menunjukkan kecenderungan campuran rentan terhadap deformasi permanen. Secara praktis, hasil ini mengindikasikan bahwa penggunaan agregat bulat dalam campuran AC-WC dengan kadar aspal 5,5% sebaiknya dibatasi hingga sekitar 15% agar seluruh parameter Marshall dan volumetrik tetap berada dalam batas spesifikasi dengan margin keamanan yang memadai terhadap beban lalu lintas dan pengaruh air.

**Kata kunci:** AC-WC, agregat bulat, Marshall

### 1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan salah satu unsur dasar dalam pembangunan. Infrastruktur jalan akan mendukung mobilitas barang dan atau manusia, yang kemudian akan berdampak pada peningkatan perekonomian, pendidikan, hubungan sosial budaya serta menunjang pertahanan dan keamanan suatu negara. Campuran aspal telah menjadi material pilihan utama dalam konstruksi jalan, karena menawarkan keamanan dan kenyamanan bagi pengendara. Agregat, yang terdiri dari agregat kasar dan halus, menjadi komponen utama penyusun campuran aspal yaitu sebesar 90% dari berat campuran, material lain berupa *filler* dan bahan pengikat aspal. Seiring dengan masifnya pembangunan jalan, maka kebutuhan akan agregat juga semakin meningkat. Spesifikasi mensyaratkan agar agregat penyusun menggunakan batu pecah untuk memberikan kestabilan dan kekuatan dalam campuran aspal. agregat buatan angular yang diproduksi melalui industri pemecah batu. Hal ini dimungkinkan terjadi karena agregat angular seperti batu pecah memiliki permukaan kasar dan sudut-sudut tajam yang memberikan daya ikat yang sangat baik dengan aspal. Namun, proses produksi agregat batu pecah memerlukan energi yang cukup besar, di mana akan berkontribusi pada peningkatan emisi karbon dan dampak lingkungan lainnya. Selain itu, penambangan batu untuk diolah menjadi batu pecah sering kali menyebabkan kerusakan lingkungan dan hilangnya keanekaragaman hayati.

Beralihnya, agregat bulat (rounded aggregate) atau agregat tidak dipecah (uncrushed aggregate) banyak ditemukan di sungai-sungai, namun seringkali diabaikan dalam proses konstruksi jalan, khususnya untuk campuran aspal. Agregat bulat tidak memenuhi standar yang ada dalam Spesifikasi Umum 2018 Pekerjaan Jalan dan Jembatan Revisi 2 (SUPJJ 2018-2). Agregat bulat memiliki morfologi yang tidak bersudut dengan sifat permukaan yang licin/kurang kasar sehingga mengurangi *interlocking* yang diperlukan untuk peningkatan stabilitas pada campuran. Persyaratan kandungan agregat bulat dalam SUPJJ 2018-2 maksimal sebesar 10% (Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2020).

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa batu pecah lokal dalam campuran aspal memberikan nilai stabilitas yang sangat tinggi, bahkan melebihi batas yang ditentukan. Berdasarkan hal tersebut, dapat diduga bahwa penggunaan agregat dengan bentuk bulat, yang dianggap sebagai material substandar, masih dapat memberikan kinerja yang baik pada kondisi tertentu. Selain itu, agregat bulat memiliki keunggulan dalam hal kemudahan pemasangan, yang dapat meningkatkan kepadatan campuran aspal secara

keseluruhan. Peningkatan kepadatan ini diharapkan dapat berkontribusi pada peningkatan stabilitas campuran aspal, meskipun dalam batasan tertentu.

Agregat bulat menghasilkan stabilitas yang lebih rendah karena permukaan yang halus dan kurangnya sudut sehingga mengurangi *interlock* partikel. Penelitian memperlihatkan bahwa tidak terlihat perbedaan secara nyata terkait kebulatan agregat pada ukuran 4,5 mm hingga 9,5 mm, namun perbedaan nyata akan terlihat pada ukuran di atas 9,5 mm (Yi, Ru and Liu, 2023). Berbeda dengan agregat batu pecah yang dapat memberikan toleransi terhadap kandungan aspal, agregat bulat sangat sensitif terhadap jumlah aspal dalam campuran. Penelitian penggunaan aggregat alam yang bulat Sungai Jalin, Aceh Besar, dilakukan oleh ( Riski et al., 2021) dan ditemukan sampai pada kadar 25% dalam campuran aspal AC-WC menunjukkan nilai stabilitas masih lebih besar dari 800 kg. Penelitian durabilitas campuran aspal HRS-WC dan AC-WC yang mengandung agregat bulat 30% pada perendaman 48 jam memperlihatkan hasil durabilitas melebihi 1% dari persyaratan (Bela, 2024). Penelitian agregat bulat lokal Desa Asanae Soppeng pada campuran AC-Base memperlihatkan bahwa tidak terjadi perbedaan signifikan pada stabilitas dengan campuran material batu pecah, namun terjadi perbedaan nyata pada flow (Saputra and Halim, 2025). Penelitian memperlihatkan bahwa bentuk agregat akan berpengaruh pada densitas campuran yang juga akan berpengaruh pada sifat mekanik campuran seperti: stabilitas, kuat tekan dan kuat tarik tak langsung campuran (Yuniarti et al., 2023; Li et al., 2022; Pujiyanto et al., 2024; Li et al., 2025). Stabilitas agregat menjadi kondisi krusial dalam menentukan daya tahan suatu agregat. Stabilitas agregat adalah ketahanan agregat terhadap perubahan atau degradasi terhadap berbagai kondisi lingkungan. Faktor-faktor seperti kadar air, bentuk agregat dan keberadaan bahan pengikat sangat memengaruhi sifat ketahanan ini (Wang et al., 2023).

Setiap lokasi pengambilan agregat atau *quarry* karena kekhasannya akan menghasilkan agregat dengan sifat fisik yang berbeda. Sifat agregat yang berbeda ini akan berdampak pada perbedaan kinerja campuran aspal yang dibentuknya. Oleh karena itu peneltian penggunaan agregat bulat lokasi asal sungai di wilayah Toraja akan memberikan kontribusi tersendiri dalam dunia konstruksi khususnya dalam pengembangan infrastruktur jalan.

Masalah utama dalam pelaksanaan konstruksi perkerasan jalan adalah tingginya kebutuhan agregat, mengingat agregat merupakan komponen terbesar dalam campuran aspal. Di sisi lain, ketersediaan batu pecah yang memenuhi spesifikasi semakin terbatas, sementara proses pemecahan batu membutuhkan energi besar yang berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk mencari alternatif material yang lebih berkelanjutan, salah satunya dengan memanfaatkan agregat bulat sebagai material sub-standar. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan agregat bulat terhadap kinerja campuran aspal, khususnya stabilitas dan flow Marshall serta sifat volumetrik campuran. Ketersediaan agregat bulat yang melimpah di alam dan rendahnya kebutuhan energi produksinya menjadikan material ini berpotensi sebagai solusi yang lebih ramah lingkungan dan efisien. Usulan penelitian ini berfokus pada eksplorasi potensi penggunaan agregat bulat lokal Toraja dalam campuran aspal dengan meninjau kinerja campuran secara menyeluruh. Dengan memahami pengaruh agregat bulat terhadap kualitas campuran aspal, diharapkan dapat diperoleh alternatif material yang lebih berkelanjutan untuk pengembangan infrastruktur jalan di Indonesia, khususnya di wilayah Toraja dan sekitarnya.

## 2. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari aspal, agregat kasar, dan agregat halus. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 produksi PT Pertamina, agregat kasar dan halus batu pecah dari *quarry* yang berlokasi daerah Lampan, Kabupaten Toraja Utara dan agregat bulat dari Sungai di area Tapparan, Kabupaten Tana Toraja. Sebagai bahan pengisi dalam campuran aspal digunakan filler dari bahan semen portland produksi PT Semen Tonasa. Bahan penyusun yang disiapkan diuji terhadap pemenuhan syarat sesuai dengan spesifikasi Bina Marga (Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2020). Untuk substitusi agregat batu pecah, digunakan variasi kandungan agregat bulat (rounded) sebanyak 0%, 10%, 15%, dan 20%. Semua bahan diuji sesuai dengan standar yang tercantum dalam Spesifikasi Jalan dan Jembatan 2018 Revisi 2. Bentuk agregat bulat asal Tapparan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Agregat Bulat

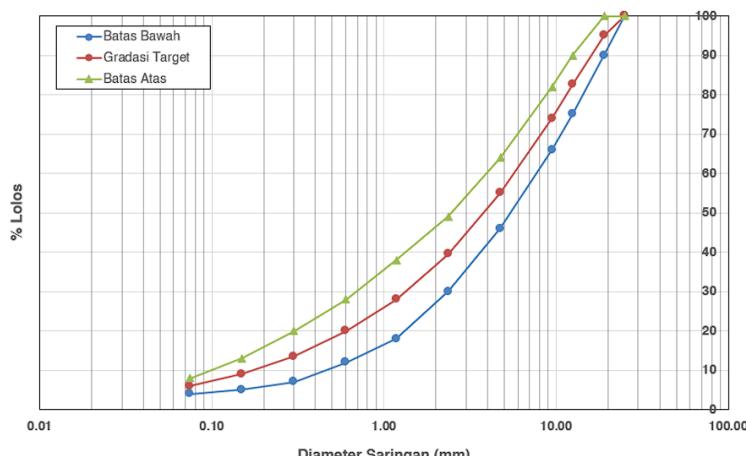
Kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini dihitung dengan rumus kadar aspal rencana ( $P_b$ ) yang dipopulerkan oleh *Asphalt Institute* dalam *Manual Series No. 2 (MS-2)*. Rumus untuk menentukan kadar aspal rencana adalah sebagai berikut:

$$P_b = 0,035 \cdot CA + 0,045\% \cdot FA + 0,18 \cdot FF + K \quad (1)$$

Di mana CA = persentase agregat kasar (Coarse Aggregate); FA = persentase agregat halus (Fine Aggregate); FF = persentase filler (bahan pengisi); K = konstanta yang bergantung pada jenis aspal dan kondisi pengujian. Gradasi campuran yang digunakan adalah campuran AC-WC sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dan target gradasi yang dipilih dapat dilihat pada Tabel 1 dan grafik gradasi campuran dapat dilihat pada Gambar 2. Kombinasi campuran dilakukan dengan variasi substitusi agregat bulat sebesar 0%, 10%, 15% dan 20% pada fraksi agregat yang tertahan saringan 1/2", 3/8", No.4 dan No. 8.

**Tabel 1.** Gradasi Campuran

Ukuran Saringan		Lolos (%)		Tertahan (%)	Agregat %
ASTM	(mm)	Spesifikasi	Target		
1"	25	0	0	0	
3/4"	19	100	100	0.0	
1/2"	12.5	90 - 100	93	6.7	40.79
3/8"	9.5	77 - 90	81	18.7	
No. 4	4.75	53 - 69	59	40.8	
No. 8	2.36	33 - 53	43	57.2	
No. 16	1.18	21 - 40	29	71.2	
No. 30	0.600	14 - 30	19	80.8	
No. 50	0.300	9 - 22	14	86.4	54.55
No. 100	0.150	6 - 15	8	92.0	
No. 200	0.075	4 - 9	5	95.3	
PAN		0	0	100.0	4.67



**Gambar 2.** Grafik Gradasi AC-WC

### 3. HASIL DAN DISKUSI

Pengujian material penyusun campuran aspal dilakukan untuk memahami karakteristik fisik yang akan memberikan dampak dalam campuran aspal. Pengujian fisik terhadap material penyusun dilakukan berdasarkan standar dan syarat yang berlaku. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 2. Hasil pengujian karakteristik material penyusun memperlihatkan bahwa semua parameter agregat kasar, baik dari agregat BP maupun BL, memenuhi persyaratan untuk campuran AC-WC, kecuali untuk angularitas untuk agregat BL. Agregat kasar BP memiliki nilai abrasi lebih kecil dari agregat BL (19,65% vs 20,26%). Berat jenis BP (2,59; 2,67; 2,68) yang lebih tinggi daripada agregat BL (2,56; 2,61; 2,71). Penyerapan air agregat BP (2,66%) lebih rendah dibandingkan BL (2,71%). Indeks kepepipihan dan kelonjongan agregat BP lebih kubikal dibandingkan agregat BL. Uji karakteristik material aspal menunjukkan bahwa aspal produksi P.T. Pertamina memenuhi syarat sebagai bahan pengikat campuran AC-WC, sementara uji berat jenis filler Semen Tonasa sebesar 3,14. Dokumentasi pengujian diperlihatkan pada Gambar 2. Berdasarkan gradasi yang dipilih seperti pada Tabel 1 dan berdasarkan persamaan (1), maka kadar aspal tengah yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5,5%.

$$\text{Pb} = 0,035 \cdot (40,76) + 0,045 \cdot (54,55) + 0,18 \cdot (4,67) + 0,75$$

$$\text{Pb} = 5,47 \approx 5,5\%$$

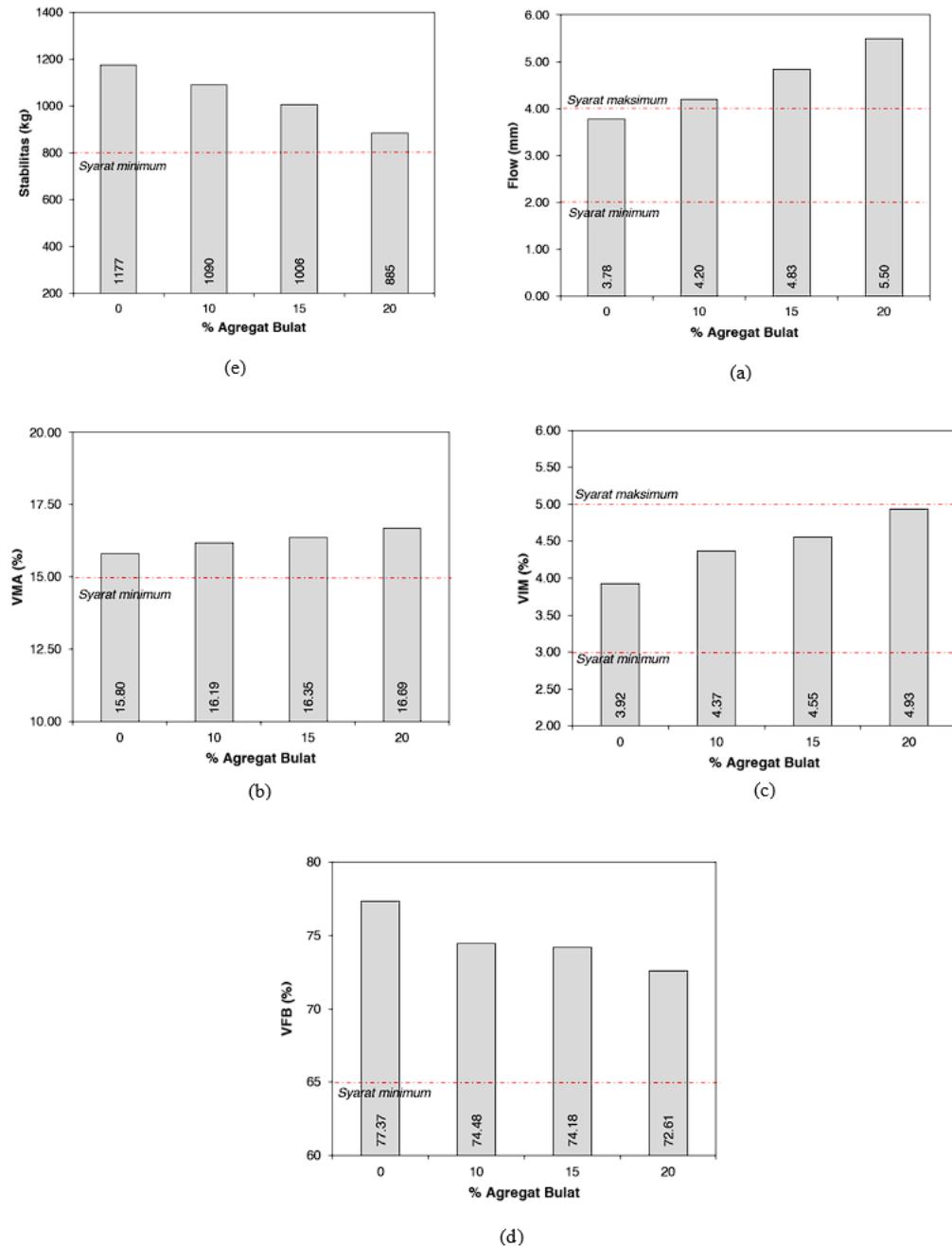
**Tabel 2.** Hasil Uji Fisik Material Penyusun

Pengujian	Standar	Syarat	Hasil Uji	
<b>Agregat Kasar</b>				
Abrasi (%)	SNI 2417:2008	Maks 30%	Ag. Batu Pecah (BP)	Ag. Bulat (BL)
Berat Jenis Kasar:	SNI 1969 2016		19,65%	20,26 %
BJ Bulk		≥ 2,5	2,59	2,56
BJ SSD		≥ 2,5	2,67	2,61
BJ Apparent		≥ 2,5	2,68	2,67
Penyerapan Air	SNI 1969 2016	< 3	2,66	2,71
Pipih & Lonjong (1:5)	SNI 8287:2016	<5%	2,63% & 2,35%	3,45% & 3,06%
Angularitas	SNI 7619:2012	100/90	100/92	-
<b>Agregat Halus &amp; Filler</b>				
Nilai Setara Pasir	SNI 03 44281997	Min. 50%	89,11 %	
Material Lulos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%	5,67 %	
Berat Jenis Filler	SNI 15-2531-1991		3,14	
<b>Aspal</b>				
Berat Jenis Aspal	SNI 2441:2011	≥ 1,0	1,058	
Penetrasi 25 °C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60 - 70	67,9	
Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48 °C	56,8 °C	
Daktilitas 25 °C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100 cm	151,5 cm	
Titik Nyala (°C)	SNI 2432:2011	≥ 232 °C	327 °C	

**Gambar 2.** Proses Pengujian

Kinerja mekanik dan volumetrik campuran hasil uji Marshall berbagai kombinasi campuran AC-WC yang menggunakan agregat bulat asal Tapparan diperlihatkan pada Gambar 3. Secara volumetrik, penambahan agregat bulat 0–20% pada campuran AC-WC kadar aspal 5,5% menghasilkan tren VIM meningkat dari 3,92% menjadi 4,93%, VMA meningkat dari 15,80% menjadi 16,69%, sedangkan VFB menurun dari 77,37% menjadi 72,61%. Ketiga parameter tersebut masih berada dalam batas yang disyaratkan Bina Marga 2018 Revisi 2 (VIM 3–5%, VMA ≥ 15%, VFB ≥ 65%), namun kenaikan VIM dan VMA yang konsisten diikuti penurunan VFB menunjukkan bahwa rongga total dalam campuran bertambah dan porsi rongga yang benar-benar terisi aspal efektif berkang bertambahnya agregat bulat.

Pola ini dapat dijelaskan oleh karakter bentuk agregat bulat yang cenderung tidak saling mengunci, sehingga susunan rangka agregat menjadi kurang rapat dan menyisakan rongga antar butir lebih besar dibanding agregat bersudut/kubikal. Pada kadar aspal yang sama (5,5%), tambahan ruang kosong akibat bentuk bulat tersebut tidak seluruhnya dapat diisi aspal, sehingga VMA naik dan sebagian tambahan VMA terwujud sebagai rongga udara (VIM) dan bukan sebagai rongga terisi aspal, yang tercermin dari penurunan VFB. Fenomena ini menunjukkan bahwa peningkatan proporsi agregat non-kubikal akan memperbesar rongga dan menurunkan efisiensi pengisian aspal dalam campuran beraspal panas.

**Gambar 3.** Hasil Uji Marshall

Nilai stabilitas Marshall menurun secara bertahap dari 1.177 kg pada 0% agregat bulat menjadi 1.090 kg (10%), 1.006 kg (15%), dan 885 kg (20%), tetapi seluruhnya masih berada di atas syarat minimum 800 kg untuk AC-WC menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Penurunan total sekitar 25%, antara 0% dan 20% agregat bulat menunjukkan bahwa penambahan agregat bulat melemahkan kemampuan campuran menahan beban maksimum. Secara mekanis, tren penurunan stabilitas ini dapat dijelaskan oleh berkurangnya *interlocking* agregat ketika proporsi butir kubikal digantikan oleh butiran bulat. Agregat bulat cenderung lebih licin dan kurang kaku, sehingga saat diberikan beban Marshall, deformasi plastis meningkat dan gaya maksimum yang dapat ditahan campuran menurun.

Nilai *flow* meningkat seiring penambahan agregat bulat, dari 3,37 mm pada 0% menjadi 3,45 mm (10%), 3,88 mm (15%), dan 5,14 mm pada 20%. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, rentang *flow* yang diizinkan untuk AC-WC adalah 2–4 mm, sehingga campuran dengan 0–15% agregat bulat masih memenuhi persyaratan, sedangkan pada 20% *flow* sudah melampaui batas maksimum dan secara Marshall tidak lagi layak. Kenaikan *flow* ini menunjukkan bahwa campuran menjadi semakin mudah mengalami deformasi plastis ketika proporsi agregat bulat bertambah. Bentuk butir bulat yang dengan kontak

antar agregat yang lebih kecil akan berdampak pada saat pembebanan Marshall. Hal tersebut akan menyebabkan flow besar dalam campuran. Pada kadar 20% agregat bulat, mencerminkan deformasi yang berlebihan dan berpotensi meningkatkan risiko *rutting* pada aplikasi lapangan.

#### 4. KESIMPULAN

Keseluruhan hasil menunjukkan bahwa penambahan agregat bulat pada campuran AC-WC dengan kadar aspal 5,5% masih menjaga seluruh parameter volumetrik (VIM, VMA, VFB) dalam batas yang dipersyaratkan, tetapi mengarah pada kondisi rongga yang semakin tidak menguntungkan bagi durabilitas. VIM meningkat dari sekitar 3,9% menjadi hampir 4,9% dan VMA dari sekitar 15,8% menjadi 16,7%, sementara VFB turun dari sekitar 77% menjadi 72%; pola ini memperlihatkan bahwa rongga total dalam campuran bertambah dan porsi rongga yang benar-benar terisi aspal efektif berkurang ketika persentase agregat bulat dinaikkan.

Dari sisi kinerja mekanis, stabilitas menurun bertahap dari 1.177 kg pada 0% agregat bulat menjadi 1.090 kg (10%), 1.006 kg (15%), dan 885 kg (20%), tetapi seluruh nilai masih berada di atas syarat minimum 800 kg. Sementara itu, nilai flow meningkat dari sekitar 3,37 mm menjadi 5,14 mm; tiga komposisi pertama (0–15% agregat bulat) masih berada dalam rentang 2–4 mm yang dipersyaratkan, sedangkan pada 20% flow sudah melampaui batas maksimum sehingga campuran berpotensial mengalami deformasi alur yang berlebihan. Kombinasi penurunan stabilitas dan peningkatan flow ini mencerminkan berkurangnya *interlocking* agregat akibat dominasi bentuk bulat, sehingga secara praktis penggunaan agregat bulat dalam AC-WC kadar aspal 5,5% lebih aman dibatasi hingga sekitar 15% agar keseimbangan antara kekuatan, kekakuan dan durabilitas tetap terjaga

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bela, K. R. (2024) ‘Analisis Nilai Durabilitas Lataston HRS-WC dan Laston AC-WC menggunakan Material Agregat Bulat pada Pematatan Sedang’, *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil*, 6(1). doi: <https://doi.org/10.26740/proteksi.v6n1.p30-38>.
- Li, W. et al. (2022) ‘Research on Three-Dimensional Morphological Characteristics Evaluation Method and Processing Quality of Coarse Aggregate’, *Buildings*, 12(3), p. 293. doi: 10.3390/buildings12030293.
- Li, Xinxin et al. (2025) ‘Effect of the Coarse Aggregates Properties on the Strength and Durability of Concrete’, *Journal of Physics Conference Series*, 3006(1), p. 12034. doi: 10.1088/1742-6596/3006/1/012034.
- Riski, M., Kurniasari, F,D and Bunyamin (2021) ‘The Effect of Mixing Natural Aggregates with Artificial Aggregates on Marshall Parameters’, *Jurnal Inotera*, 6(1), pp. 10–19. doi: 10.31572/inotera.Vol6.Iss1.2021.ID135.
- Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, K. (2020) ‘Spesifikasi Umum 2018 untuk Jalan dan Jembatan Revisi 2’. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Available at: [https://simk.bpjpt.go.id/file\\_uploads/ketentuan/spesifikasi-umum-bina-marga-2018-untuk-pekerjaan-konstruksi-jalan-dan-jembatan-revisi-2-no-161sedb2020\\_pdf\\_22-02-2022\\_06-46-35.pdf](https://simk.bpjpt.go.id/file_uploads/ketentuan/spesifikasi-umum-bina-marga-2018-untuk-pekerjaan-konstruksi-jalan-dan-jembatan-revisi-2-no-161sedb2020_pdf_22-02-2022_06-46-35.pdf).
- Pujianto, A. et al. (2024) ‘Influence of Expanded Clay Aggregate on the Engineering Properties of Lightweight Concrete’, *Ingeniería E Investigación*, 44(1), p. e106174. doi: 10.15446/ing.investig.106174.
- Saputri, N. I. and Halim, Z. A. (2025) ‘Analisis Perbandingan Kinerja Campuran Aspal dengan Agregat Kasar Dominan Bulat dan Agregat Kasar Dominan Pecah Menggunakan Uji Marshall’, *Jurnal Bangunan Konstruksi (BARAKKA)*, 3(1 SE-), pp. 148–157. doi: 10.63877/jbk.v3i1.136.
- Wang, H. et al. (2023) ‘Evaluation of Open-Graded Aggregates Stabilized With a Multi-Axial Geogrid Using a Large-Scale Triaxial Test Set-Up’, *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2677(10), pp. 339–350. doi: 10.1177/03611981231161351.
- Yi, Q., Ru, N. and Liu, Z. (2023) ‘Study on the Influence of Aggregate Roundness of Reclaimed Asphalt Mixture on Its Road Performance’, *Buildings*. doi: 10.3390/buildings13112752.
- Yuniarti, R. et al. (2023) ‘Pengaruh Karakteristik Agregat Terhadap Nilai Indirect Tensile Strength Pada Campuran Laston: Effect of Aggregate Characteristics on Indirect Tensile Strength of Asphalt Concrete’, *Spektrum Sipil*, 10(1), pp. 29–38.