



## Pengaruh Jumlah Tumbukan Terhadap Kinerja Marshall Campuran AC-WC Dengan Material Lokal Kolaka Utara

Indra Siolimbona<sup>1</sup>, Minson Simatupang<sup>2</sup>, Hasmina Tari M<sup>3</sup>, Muh.Sayfullah S<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Manajemen Rekayasa Program Paska Sarjana Universitas Halu Oleo, Kendari, Indonesia

<sup>4</sup> Proram Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Buton, Baubau, Indonesia

Korespondensi: [indrasiolimbona777@gmail.com](mailto:indrasiolimbona777@gmail.com)

### ABSTRAK

Lapisan permukaan jalan (AC-WC) penting untuk menahan beban lalu lintas dan menjaga kekuatan struktur jalan. Kualitas AC-WC diuji dengan metode Marshall yang melihat beberapa parameter, termasuk stabilitas dan flow. Salah satu hal yang mempengaruhi hasil uji adalah jumlah tumbukan saat pemadatan. Regulasi Bina Marga 2018 Revisi 2 menetapkan standar 2x75 tumbukan, namun masalah ini belum tentu cocok untuk semua material, terutama yang lokal. Penelitian ini berfokus pada evaluasi dampak perubahan frekuensi tumbukan pada karakteristik uji Marshall menggunakan material lokal dari Latali, Kabupaten Kolaka Utara. Metode penelitian dilakukan di laboratorium mengikuti SNI dan Spesifikasi Bina Marga 2018, menggunakan aspal penetrasi 60/70 dan agregat lokal. Sampel AC-WC diuji dengan variasi tumbukan 2x25, 2x35, 2x45, 2x75, dan 2x85. Temuan menunjukkan jumlah tumbukan berdampak signifikan pada semua parameter Marshall. Tumbukan sedikit menghasilkan campuran kurang padat, sedangkan terlalu banyak mengakibatkan pemadatan berlebih. Tumbukan 2x75 standar memberikan kombinasi terbaik antara kepadatan, stabilitas, dan fleksibilitas. Penelitian menyimpulkan bahwa material lokal dari Kolaka Utara dapat digunakan untuk pembangunan jalan, dengan saran untuk mengatur energi pemadatan agar kinerja AC-WC optimal.

### SEJARAH ARTIKEL

Diterbitkan 09 Desember 2025

### KATA KUNCI

AC-WC; Variasi Tumbukan; Marshall Test; Material Lokal; Bina Marga 2018

## 1. Pendahuluan

Lapisan permukaan aspal adalah lapisan teratas pada jalan yang peruntukan untuk menopang tekanan lalu lintas dan melindungi lapisan di bawahnya, sehingga kualitasnya sangat berpengaruh pada masa pakai jalan (Mukhlis et al., 2022). Kualitas AC-WC biasanya dinilai menggunakan Metode Marshall, yang mengukur stabilitas, flow, Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), Voids Filled with Bitumen (VFB), dan Marshall Quotient (MQ) (Pradana et al., 2023). Salah satu aspek penting yang mempengaruhi hasil pengujian tersebut adalah jumlah tumbukan yang dilakukan saat memadatkan sampel, karena variasi jumlah tumbukan dapat menghasilkan tingkat kepadatan yang berbeda, yang berdampak pada stabilitas dan fleksibilitas campuran (Chairun et al., 2025). Masalah yang dihadapi adalah jumlah tumbukan yang ditetapkan secara standar, yaitu 2x75 tumbukan untuk lalu lintas berat sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 yang direvisi 2, belum tentu memberikan hasil yang optimal untuk semua jenis material, terutama material lokal yang digunakan di wilayah yang berbeda.

Penelitian sebelumnya menghasilkan temuan yang bervariasi. (Fithra, 2020) mengeksplorasi AC-WC dengan tambahan lateks (getah karet 2% yang berasal dari aceh) di pada variasi tumbukan 2x75, 2x100, 2x125, dan 2x150. Dari hasil penelitian ditemukan bahwa penambahan jumlah tumbukan justru mengurangi nilai flow dan MQ, sehingga hanya

variasi 2x75 yang memenuhi kriteria yang ditetapkan. (Situmorang et al., 2023) melakukan penelitian terhadap campuran Laston (AC-BC) gradasi halus yang berasal dari Medan, Sumatra Utara, dengan agregat yang sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010, menggunakan variasi tumbukan 2x55, 2x65, 2x75, 2x85, 2x95. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua variasi tumbukan tidak memenuhi standar, akibat MQ dan VFA yang tidak memenuhi spesifikasi, baik pada kadar aspal bawah maupun tengah. Di sisi lain, (Makin et al., 2023) meneliti campuran HRS-WC dengan material lokal dari daerah Makassar, Sulawesi Selatan standar dengan menggunakan metode pemadatan manual dan elektrik pada variasi tumbukan dari 2x25 2x40, 2x50, 2x60 dan 2x75. Temuan mereka menunjukkan bahwa peningkatan jumlah tumbukan berpengaruh pada peningkatan stabilitas, tetapi mengurangi *flow*, sehingga hanya variasi 2x75 yang memenuhi spesifikasi.

Berbeda dari riset sebelumnya, kajian ini difokuskan pada campuran AC-WC standar tanpa adanya bahan modifikasi, dengan menggunakan bahan lokal dari Latali (Kabupaten Kolaka Utara, Provinsi Sulawesi Tenggara) yang memiliki sifat berbeda dibandingkan dengan bahan dari wilayah lain. Penelitian ini juga mengeksplorasi variasi jumlah tumbukan yang lebih bervariasi, yaitu 2x25, 2x35, 2x45, 2x75, dan 2x85, untuk mengkaji dampaknya terhadap parameter *Marshall*. Melalui desain tersebut, diharapkan penelitian ini dapat menentukan apakah jumlah tumbukan standar (2x75) benar-benar memberikan kinerja yang terbaik untuk campuran AC-WC, atau ada variasi lain yang lebih efektif sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Selain itu, tujuan lain dari penelitian ini adalah untuk memberikan rekomendasi teknis mengenai penggunaan material lokal dalam pembangunan jalan.

## 2. Metode Penelitian

Kajian ini dilakukan dalam lingkungan laboratorium Konstruksi UPTD Dinas Sumber Daya Air dan Bina Marga di Sulawesi Tenggara. Metode dan prosedur pengujian mengikuti standar Indonesia dan spesifikasi Bina Marga 2018. Agregat kasar dan halus digunakan adalah material lokal batu pemecah dari Kolaka Utara. Material aspal tipe 60/70 digunakan. Pengujian meliputi analisis saringan agregat halus dan kasar, serta uji laboratorium untuk memastikan material memenuhi standar, termasuk uji kepadatan dan uji *Marshall* pada sampel briket.

### 2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang dipakai pada studi ini meliputi:

- Aspal penetrasi 60/70 yang dihasilkan oleh Pertamina.
- Komposit dengan ukuran kasar, sedang, dan halus yang diambil dari lokasi tambang Batu Kolaka Utara
- Filler* yang terdiri dari abu batu yang berasal dari sumber yang sama.
- Air bersih digunakan untuk merendam benda uji.

### 2.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan antara lain:

- Timbangan elektronik.
- Oven untuk memanaskan bahan agregat.
- Perangkat untuk menguji penetrasi pada aspal.
- Saringan untuk analisis ukuran agregat.
- Alat uji *Los Angeles* untuk mengukur ketahanan terhadap abrasi.
- Piknometer untuk menguji densitas material.
- Cetakan silinder *Marshall* dengan diameter 101,6 mm dan tinggi 63,5 mm.
- Marshall Compactor* dengan berbagai pilihan tekanan.
- Set Uji *Marshall* untuk menilai stabilitas dan aliran.
- Water bath* untuk merendam sampel pada suhu 60°C.

### 2.3 Tahapan Penelitian

- Persiapan bahan yaitu menyediakan aspal penetrasi 60/70 serta agregat dari Latali.
- Pengujian awal bahan termasuk pengujian berat jenis, abrasi (*Los Angeles*), penyerapan agregat, dan penetrasi aspal sesuai standar SNI.
- Perencanaan campuran:
  - Mengidentifikasi gradasi agregat sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.
  - Menetapkan kadar aspal terbaik (KAO) melalui uji *Marshall* standar.

- d. Pembuatan benda uji berbentuk silinder *Marshall* ( $\varnothing$  101,6 mm, tinggi 63,5 mm) dengan variasi tumbukan: 2x25, 2x35, 2x45, 2x75, dan 2x85 (masing-masing 3 sampel).
- e. Pengujian *marshall* yaitu mengukur parameter stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFB, dan MQ.
- f. Analisis data
  1. Membandingkan hasil pengujian dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.
  2. Membandingkan hasil antara penelitian sebelumnya.

## 2.4 Perencanaan Campuran

Dalam perencanaan campuran, dilakukan kombinasi agregat yang menghasilkan kandungan aspal yang diinginkan serta susunan agregat. Dalam studi ini, campuran aspal panas dibuat dengan lima variasi persentase aspal. Variasi ini terdiri dari dua nilai di bawah dan dua nilai di atas kadar aspal yang direncanakan, dengan perbedaan 0,5% untuk setiap variasi (Bintang et al., 2025).

## 2.5 Pengujian Marshall

Langkah pengujiannya yaitu:

- a) Tempatkan objek yang diuji pada kepala pemutus (alat penahan berbentuk setengah lingkaran).
- b) Nyalakan mesin dengan kecepatan pemuatan 50,8 mm per menit.
- c) Catat:
  1. Kestabilan (*Stability*) = beban tertinggi yang dapat ditanggung oleh objek uji (kg atau kN).
  2. *Flow* = total deformasi plastis pada saat kestabilan maksimum tercapai (mm).

Pengujian *Marshall* bertujuan untuk mengukur daya stabilitas dan *flow* plastis dari sampel. Dari nilai stabilitas dan *flow*, diperoleh hasil untuk menilai berbagai parameter, seperti stabilitas, *flow*, kepadatan volume rongga antar agregat, volume agregat yang terisi aspal, campuran berongga, serta kekakuan atau densitas (Tipawel et al., 2024).



Gambar 1. Alat Marshall Test

## 2.6 Metode Analisis Data

Formula yang dipakai untuk menghitung parameter volumetrik dan mekanis dari campuran beraspal adalah:

- a) Rongga dalam campuran (VIM) adalah rasio volume stabil dalam pencampuran aspal panas setelah pemadatan. VIM menunjukkan ruang yang tidak diisi oleh aspal atau agregat dalam beton aspal (Sulandari et al., 2024).

$$VIM = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100\%$$

Dimana:  $G_{mm}$  = kepadatan maksimum yang diharapkan,  $G_{mb}$  = kepadatan total campuran.

- b) Rongga antara Mineral Agregat (VMA) menunjukkan rasio ruang kosong dalam granul agregat mineral dengan campuran aspal panas, dihitung setelah pemadatan agregat. Ruang kosong ini akan diisi oleh aspal dan udara nanti (Fatardhoo et al., 2024).

$$VMA = 100\% \times \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}$$

Dimana:  $P_s$  = rasio total agregat padat dalam campuran (%),  $G_{sb}$  = densitas agregat padat (berat jenis agregat).

- c) Porositas aspal terisi dalam agregat (VFB) adalah ukuran ruang antara butiran agregat yang terisi oleh bahan pengikat seperti bitumen atau aspal, bukan ruang yang terisi udara. Ini menandakan tingkat ketersediaan ruang antar-butiran yang terselimuti aspal dibandingkan dengan total ruang yang tersedia (Muhammad Riski, Heri Azwansyah, 2025).

$$VFB = \frac{VMA-VIM}{VIM} \times 100\%$$

- d) *Marshall Quotient* (MQ) merupakan rasio antara nilai kestabilan dan pelelehan yang didapat dari tes *Marshall*.

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}}$$

Dimana kestabilan diukur dalam satuan massa (kg) dan *flow* diukur dalam satuan panjang (mm).

- e) Stabilitas (*Stability*) adalah beban tertinggi (kg) yang dapat ditahan oleh objek percobaan sebelum mengalami kerusakan permanen.  
f) *Flow* adalah deformasi plastis (mm) yang terjadi pada sampel uji ketika mencapai tekanan puncak.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Pengujian Agregat dan Aspal

Pengujian material dilakukan dengan tes aspal dan tes agregat. Tipe aspal yang digunakan adalah aspal Pertamina pen 60/70. Temuan dari pengujian material adalah:

**Tabel 1.** Hasil uji aspal pertamina penetrasi 60/70

No	Jenis Pengujian	Batas Tengah	Batas Bawah	Spesifikasi Pen. 60/70	Klasifikasi
a.	Penetrasi 25°C, 5 detik (0.1 mm)	66.0	65.10	60-70	Lolos spek.
b.	Titik Lembek (°C)	52.10	53.00	≥48	Lolos spek.
c.	Daktalitas 25°C (cm)	>100	>100	>100	Lolos spek.
d.	Berat Jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	1.0386	1.0211	≥1.0	Lolos spek.
e.	Kehilangan Berat 163° (%)	0.3001	0.4132	Maksimum. 0.8	Lolos spek.

Sumber: (Hasil Penelitian 2025)

Berdasarkan hasil uji yang tercantum dalam tabel, aspal Pertamina penetrasi 60/70 dinyatakan memenuhi semua standar teknis yang ditetapkan. Nilai penetrasi berada dalam rentang yang ditentukan (60–70), titik lembek melebihi batas minimal yang ditetapkan (≥48°C), daktalitas menunjukkan kelenturan yang memuaskan (>100 cm), berat jenisnya lebih dari persyaratan minimum (≥1,0 gr/cm<sup>3</sup>), dan kehilangan berat akibat pemanasan masih jauh di bawah batas yang diizinkan (0,8%). Ini menunjukkan bahwa aspal memiliki sifat kekerasan, elastisitas, stabilitas termal, dan densitas yang sesuai untuk digunakan dalam konstruksi jalan, sehingga cocok untuk proyek-proyek konstruksi yang memerlukan ketahanan yang baik terhadap lalu lintas serta kondisi iklim tropis di Indonesia.

**Tabel 2.** Hasil pengujian agregat

No	Riset	Batu Pecah (1-2)	Batu Pecah (0.5)	Abu Batu	Spesifikasi	Klasifikasi
1.	Massa jenis Curah	2.650	2.628	2.575	2.5%	Lolos spek.
2.	Massa jenis jenuh Permukaan	2.667	2.649	2.634	-	Lolos spek.
3.	Berat spesifik Semu	2.697	2.685	2.736	-	Lolos spek.
4.	Absorpsi Air	0.655	0.799	2.289	3%	Lolos spek.
5.	Abrasi dengan alat <i>los angeles</i>	30.20	-	-	40%	Lolos spek.

Sumber: (Hasil Penelitian 2025)

Hasil uji menunjukkan bahwa agregat kasar dan halus memenuhi spesifikasi. Berat jenis curah, jenuh permukaan, dan semu memiliki perbedaan di bawah 3%. Penyerapan air juga masih dalam batas wajar, jadi agregat dapat digunakan sebagai bahan campuran untuk perkerasan jalan.

Tabel 3. Hasil pengujian filler

No	Jenis fillerr	Pemeriksaan	Perolehan	Spesifikasi	Klasifikasi
a.	Abu batu	Mass jenis	2.513	-	Lolos spek.
b.		Melewati No. 200	100%	Min.75%	Lolos spek.

Sumber: (Hasil Penelitian 2025)

Hasil uji filler menunjukkan abu batu memiliki densitas 2.513 dan 100% melewati saringan No. 200, melebihi syarat minimum 75%. Abu batu ini sesuai dengan spesifikasi dan dapat digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran perkerasan jalan.

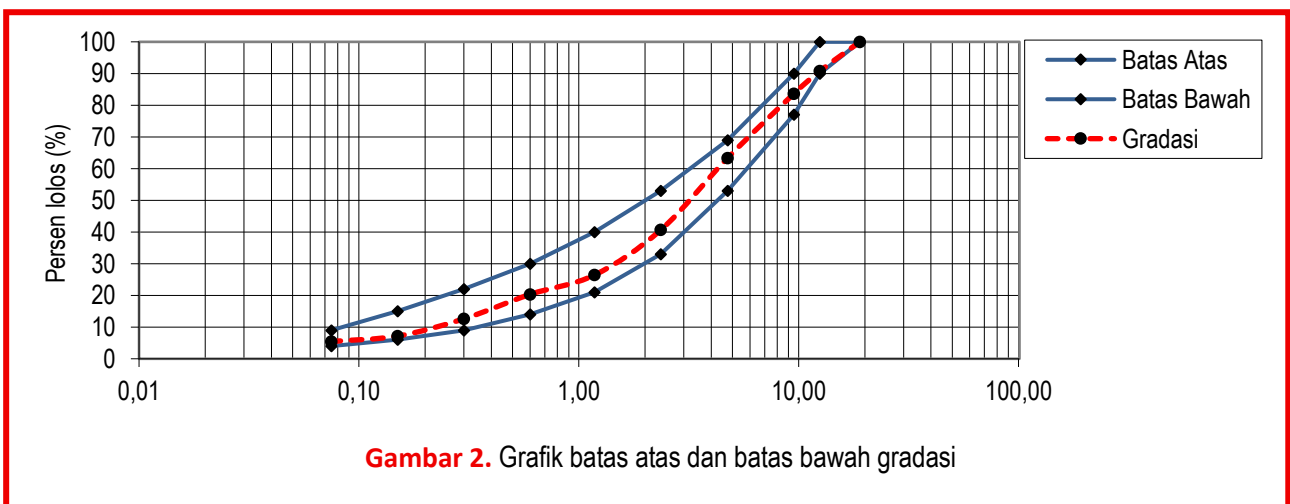
### 3.2 Desain Campuran

Studi ini menggunakan gradasi halus untuk Lapis Aspal Beton AC-WC mengikuti pedoman teknis Bina Marga 2018. Prosentase butiran material dalam campuran AC-WC ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Komposisi gradasi gabungan

Uraian	Ukuran Saringan									
	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200
Inci	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200
milimeter	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
Data Susunan										
CA 1-2	100.00	45.98	5.28	2.52	1.18	1.03	0.77	0.64	0.55	0.35
MA	100.00	100.00	98.72	21.02	3.23	2.54	2.12	1.27	0.96	0.59
FA	100.00	100.00	100.00	99.42	68.34	44.19	33.89	20.98	11.78	9.05
Kombinasi Agregat										
CA 1-2	17.00%	17.0	7.8	0.9	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
MA	25.00%	25.0	25.0	24.7	5.3	0.8	0.6	0.5	0.3	0.2
FA	58.00%	58.0	58.0	58.0	57.7	39.6	25.6	19.7	12.2	6.8
<b>Gradasi Gabungan</b>	<b>100.00%</b>	<b>100.0</b>	<b>90.8</b>	<b>83.6</b>	<b>63.3</b>	<b>40.6</b>	<b>26.4</b>	<b>20.3</b>	<b>12.6</b>	<b>7.2</b>
Spesifikasi gradasi										
maximal	100.0	100.0	90.0	69.0	53.0	40.0	30.0	22.0	15.0	9.0
minimal	100.0	90.0	77.0	53.0	33.0	21.0	14.0	9.0	6.0	4.0

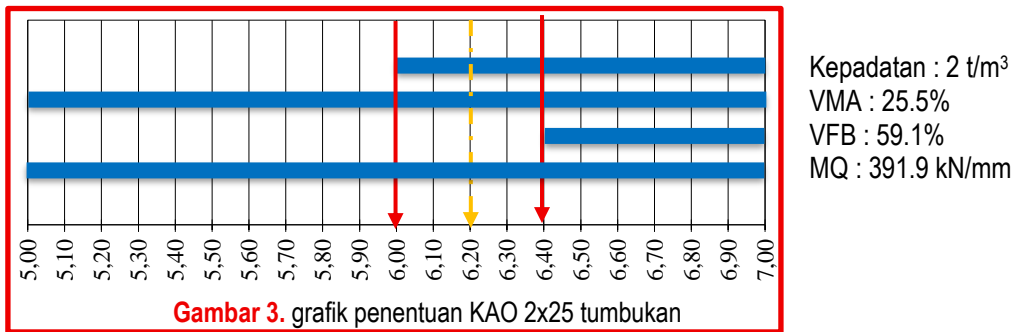
Sumber: Hasil Penelitian 2025



Gambar 2. Grafik batas atas dan batas bawah gradasi



mencapai maksimum pada 6,5% sebelum turun. Ini terjadi karena pada kadar aspal rendah, ikatan agregat lemah. Pada kadar optimal 6,0–6,5%, ikatan kuat terbentuk, menghasilkan stabilitas maksimum. Namun, pada kadar tinggi, campuran menjadi terlalu plastis, menurunkan stabilitas dan MQ.



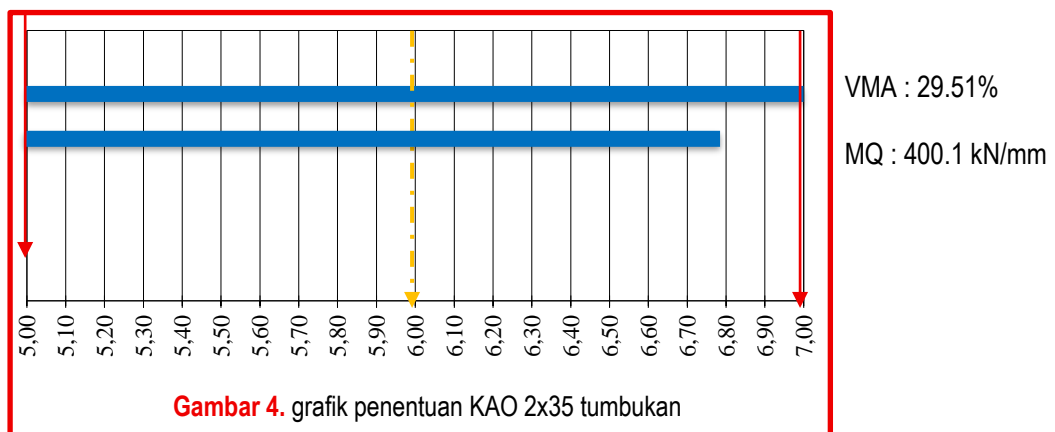
Parameter dalam grafik hanya mencakup yang memenuhi spesifikasi teknis untuk menentukan kadar aspal yang tepat, yaitu Kepadatan, VMA, VFB, dan MQ. VIM, Stabilitas, dan Flow tidak disajikan karena hasilnya tidak sesuai dengan spesifikasi campuran AC-WC. VIM melebihi standar, stabilitas tidak menunjukkan variasi yang tepat, dan flow tidak memenuhi persyaratan plastisitas. Ketiga parameter itu tidak dapat digunakan untuk menentukan kadar optimum, hanya sebagai kontrol tambahan. Sehingga nilai kadar aspal optimumnya (KAO) sebesar 6.20%

**Tabel 5.** Hasil uji Marshall variasi Pemadatan 2x35

Variasi Tumbukan	Kadar Aspal (%)	Kepadatan, gr/cc	VIM, %	VMA, %	VFB, %	Stabilitas, kg	Flow, mm	MQ, kg/mm
2x35	5.0	1.858	21.29	31.02	31.89	650.7	1.53	414.63
	5.5	1.859	20.73	31.36	34.18	716.1	1.57	414.04
	6.0	1.867	19.84	29.43	37.71	705.6	1.63	402.98
	6.5	1.958	16.21	27.18	48.07	722.5	1.77	392.55
	7.0	1.939	13.65	28.56	50.67	740.9	1.87	376.57

Sumber: Hasil Penelitian 2025

Uji Marshall dengan variasi aspal dan tumbukan 2x35 menunjukkan bahwa semakin banyak tumbukan, campuran semakin padat. Ini menghasilkan densitas lebih tinggi dibandingkan tumbukan 2x25. VIM dan VMA menurun, sedangkan VFB meningkat karena lebih banyak ruang terisi aspal. Stabilitas meningkat dengan lebih banyak tumbukan, tetapi bisa turun jika aspal terlalu banyak. Flow sedikit meningkat seiring tingginya kadar aspal, namun tetap stabil pada tumbukan 2x35. MQ lebih baik hingga kadar optimum, lalu menurun karena terlalu banyak aspal. Penggunaan tumbukan 2x35 membuat campuran lebih padat dan menurunkan kadar aspal optimal dibandingkan 2x25. Kemudian dilakukan penentuan KAO.



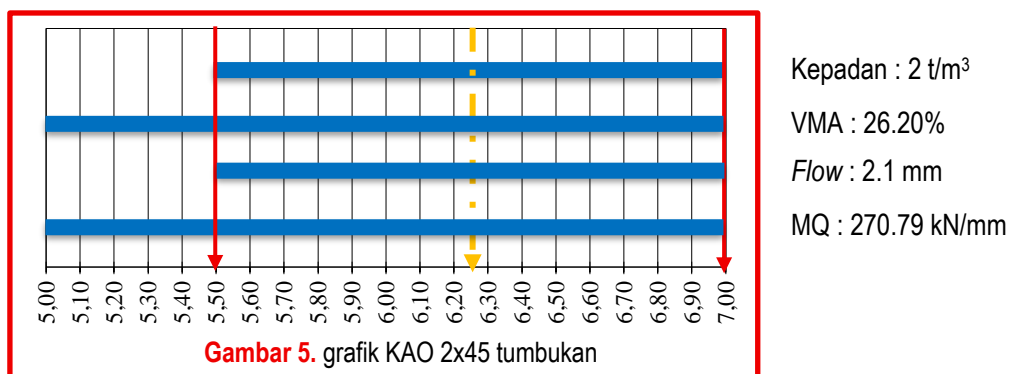
Berdasarkan hasil penentuan nilai kadar aspal optimum (KAO) sebesar 6%, pengujian menunjukkan bahwa dua parameter, VMA dan MQ, memenuhi kriteria optimal karena variasi tumbukan 2x35. Namun parameter lain seperti, nilai VIM terlalu tinggi, yang dapat mengurangi daya tahan campuran. Nilai *flow* meningkat dengan tambahan aspal, membuat campuran terlalu plastis. Stabilitas meningkat pada kadar aspal optimal tetapi menurun pada kadar yang lebih tinggi. Meskipun tumbukan 2x35 menghasilkan campuran lebih padat, penyesuaian kadar aspal masih diperlukan agar semua parameter *Marshall* memenuhi spesifikasi.

**Tabel 6.** Hasil Pengujian *Marshall* variasi Tumbukan 2x45

Variasi Tumbukan	Kadar Aspal (%)	Kepadatan, gr/cc	VIM, %	VMA, %	VFB, %	Stabilitas, kg	Flow, mm	MQ, kg/mm
2x45	5.0	1.950	25.67	26.40	24.19	391.5	1.93	264.32
	5.5	2.201	14.63	27.68	42.04	544.4	2.00	282.27
	6.0	2.000	12.56	25.60	46.87	545.7	2.07	279.02
	6.5	2.009	12.13	25.57	52.53	589.8	2.60	245.19
	7.0	2.012	10.46	10.46	25.78	54.05	643.0	2.37

Sumber: Hasil Penelitian 2025

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tumbukan 2x45 menghasilkan campuran yang lebih padat dan stabil, tetapi juga mengurangi nilai VIM dan meningkatkan kecenderungan *flow*. Ini berarti bahwa meskipun campuran lebih stabil, penggunaan aspal yang berlebihan bisa membuatnya terlalu plastis dan mudah deformasi. Nilai MQ terbaik didapat pada kadar aspal sekitar 5,5-6,0%, sementara kadar yang lebih tinggi cenderung menurun. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan penggunaan tumbukan 2x45 untuk mencapai kadar aspal optimal yang sesuai dengan semua parameter spesifikasi *Marshall*.



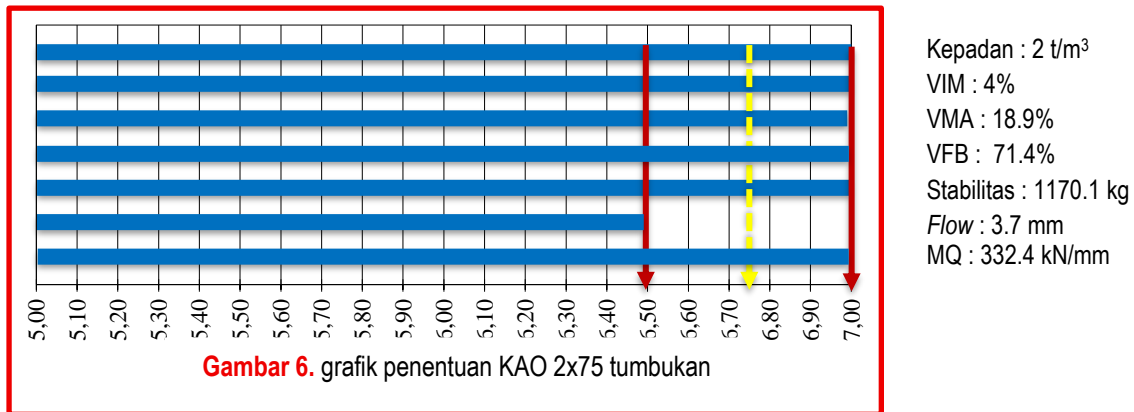
Pada variasi tumbukan 2x45, kombinasi ini menghasilkan kepadatan, VMA, *flow* dan MQ yang tinggi namun stabilitas yang kurang memadai, kemudian beberapa parameter *Marshall* tidak memenuhi standar. Penyebabnya adalah kadar aspal yang tinggi mengakibatkan nilai VIM terlalu tinggi dan *flow* cenderung meningkat, sehingga campuran menjadi terlalu padat dan plastis, yang meningkatkan risiko deformasi. Berdasarkan hasil uji tersebut nilai KAO diperoleh sebesar 6.25%.

**Tabel 7.** Hasil Pengujian *Marshall* variasi Tumbukan 2x75

Variasi Tumbukan	Kadar Bitumen (%)	Kepadatan, gr/cc	VIM, %	VMA, %	VFB, %	Stabilitas, kg	Flow, mm	MQ, kg/mm
2x45	5.0	2.185	4.27	18.15	62.69	1055.5	3.13	336.89
	5.5	2.190	4.83	18.39	67.78	1165.9	3.30	353.76
	6.0	2.191	3.97	18.79	71.98	1262.9	3.47	364.49
	6.5	2.192	3.63	19.21	75.95	1229.2	3.60	341.75
	7.0	2.184	3.42	19.90	78.33	1136.6	4.30	265.06

Sumber: Hasil Penelitian 2025

Pada tabel 7, hasil uji *Marshall* dengan tingkat pemadatan 2x75, terlihat bahwa kadar bitumen mempengaruhi parameter-parameter *Marshall*. Penambahan kadar aspal meningkatkan kepadatan campuran sampai titik tertentu, tapi jika berlebihan, kepadatan bisa menurun karena lapisan film aspal yang tebal. VIM berkurang dengan meningkatnya kadar aspal, sedangkan VMA meningkat karena lebih banyak rongga diisi aspal. Stabilitas bertambah dengan kadar aspal yang cukup, tetapi bisa turun jika kadar terlalu tinggi, menjadikan campuran plastis. *Flow* meningkat pada kadar aspal tinggi, namun MQ bisa turun karena keseimbangan kekakuan dan fleksibilitas terganggu.



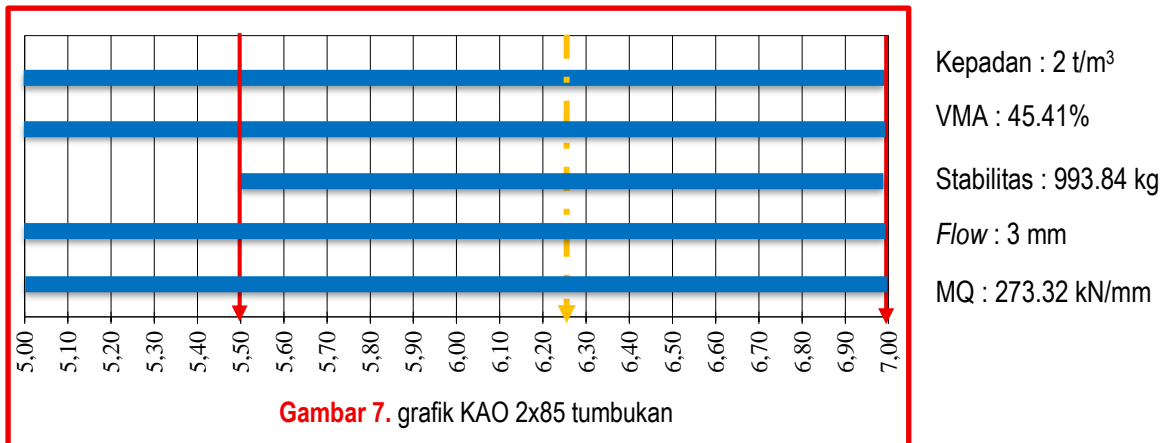
Hasil pengujian *Marshall* dengan tumbukan 2x75 sangat penting untuk menentukan kadar aspal terbaik (KAO) sebesar 6.75%. Perubahan kadar aspal mempengaruhi keseimbangan kualitas campuran. Ketika kadar bitumen meningkat, kepadatan campuran juga meningkat hingga mencapai titik tertentu sebelum stabil, sedangkan VIM menurun dan VMA meningkat. Stabilitas campuran akan paling baik pada kadar aspal yang tepat, tetapi terlalu banyak aspal membuat campuran plastis dan bisa deformasi. Nilai aliran meningkat dengan bertambahnya kadar aspal, tetapi MQ menurun pada kadar tinggi karena keseimbangan hilang. Grafik penetapan KAO menunjukkan titik optimum sesuai dengan standar teknis yang mencakup kepadatan, VIM sekitar 4%, dan stabilitas tinggi. KAO dari pengujian *Marshall* 2x75 adalah kadar aspal yang memberikan keseimbangan terbaik untuk kekuatan, kepadatan, dan fleksibilitas, sehingga campuran aspal berperformansi optimal di lapangan.

**Tabel 8.** Hasil Pengujian *Marshall* variasi Tumbukan 2x85

Variasi Tumbukan	Kadar Aspal (%)	Kepadatan, gr/cc	VIM, %	VMA, %	VFB, %	Stabilitas, kg	Flow, mm	MQ, kg/mm
2x85	5.0	2.023	22.24	39.58	20.70	747.2	2.19	209.20
	5.5	2.653	23.14	40.07	21.40	869.1	2.15	235.87
	6.0	2.115	23.12	42.17	15.87	894.5	3.11	266.15
	6.5	2.014	22.15	51.49	16.16	1256.0	3.37	349.28
	7.0	2.101	20.15	53.71	17.47	1202.4	3.47	306.10

Sumber: Hasil Penelitian 2025

Pada tabel uji *Marshall* dengan tumbukan 2x85, peningkatan tumbukan meningkatkan kepadatan lebih tinggi dibandingkan 2x75. Ini menyebabkan kenaikan kepadatan dan penurunan rongga udara. Namun, kadar aspal rendah membuat nilai VIM tinggi, menunjukkan rongga udara belum terisi. Saat kadar aspal meningkat, VIM berkurang, tetapi tidak mencapai spesifikasi standar. Tumbukan tinggi membuat agregat padat, tetapi rongga agregat meningkat. VFB juga rendah, menandakan persentase rongga terisi aspal tidak optimal. Beberapa parameter seperti VIM dan VFB tidak memenuhi standar meskipun stabilitas, aliran, dan MQ baik.



Pada grafik untuk penentuan KAO 2x85, terlihat penurunan kadar aspal optimum dibandingkan dengan tumbukan 2x75. Hasil pengujian Marshall menunjukkan tumbukan 2x85 berdampak pada KAO, meskipun energi pemadatan tinggi menciptakan kepadatan dan stabilitas yang baik, nilai VIM dan VFB tidak memenuhi spesifikasi. KAO tetap berada pada titik mendekati ketentuan teknis yaitu 6.25%, tetapi kualitasnya tidak seoptimal tumbukan 2x75 karena beberapa parameter melampaui batas. Ini menunjukkan bahwa peningkatan energi pemadatan tidak selalu menghasilkan campuran yang lebih baik.

### 3.3. Pembahasan

Variasi jumlah tumbukan saat pemadatan sangat mempengaruhi karakteristik campuran AC-WC, terutama pada parameter *Marshall*. Penelitian menunjukkan bahwa jumlah tumbukan terbaik adalah 2x75, menghasilkan kepadatan 2 t/cm<sup>3</sup>, VIM 4%, VMA 18.9%, VFB 71.4%, stabilitas 1170.1 kg, *flow* 3.7 mm, dan MQ 332.6 kN/mm. Kondisi ini sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, membuat campuran lebih padat, stabil, dan seimbang dalam kekakuan dan plastisitas. Sebaliknya, jumlah tumbukan yang rendah (2x25) membuat campuran longgar dengan stabilitas kurang, sedangkan jumlah tumbukan tinggi (2x85) menunjukkan tanda-tanda *over-compaction* yang dapat menyebabkan bleeding dan retakan.

Jika dibandingkan dengan studi sebelumnya, hasil penelitian ini menunjukkan adanya kesamaan dan perbedaan. Densitasnya adalah 2 t/cm<sup>3</sup>, lebih tinggi dari yang ditemukan oleh (Situmorang et al., 2023; Wiyono et al., 2020) dengan campuran aspal beton, serta lebih baik daripada (Yudianto., 2022). Parameter VIM (3.7%) sejalan dengan (Wiyono et al., 2020; Yudianto., 2022), tetapi lebih konsisten daripada (Situmorang et al., 2023) yang tidak selalu memenuhi spesifikasi. VMA (18.9%) lebih tinggi dibandingkan studi lain, menunjukkan ikatan antar partikel yang lebih baik. VFB (71.4%) hampir setara dengan yang dinyatakan oleh (Wiyono et al., 2020; Yudianto., 2022), menunjukkan kualitas campuran yang baik. *Flow* (3.7 mm) cocok dengan hasil sebelumnya, sedangkan stabilitas sebesar 1170.1 kg lebih tinggi dari (Yudianto., 2022) tetapi lebih rendah dari yang dicatat oleh (Fithra, 2020). Nilai MQ dalam penelitian ini lebih seimbang karena lebih fleksibel. Perbedaan hasil dipengaruhi oleh jenis campuran (AC-WC dibandingkan dengan AC-BC/HRS-WC), variasi tumbukan, bahan tambahan (*lateks*, *anti-stripping*), serta standar acuan yang digunakan.

### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa jumlah tumbukan berpengaruh langsung terhadap performa volumetrik dan mekanis campuran AC-WC. Energi pemadatan rendah (2x25 – 2x35) cenderung menghasilkan kepadatan rendah, VIM tinggi, dan stabilitas yang tidak memenuhi spesifikasi, sedangkan energi pemadatan terlalu tinggi (2x85) memperlihatkan kecenderungan *over compaction* yang menurunkan keseimbangan antar parameter *Marshall*. Berdasarkan hasil uji, variasi tumbukan 2x75 memberikan respon paling optimum karena mampu menghasilkan kepadatan 2,19 g/cc, VIM 3,97 %, VMA 18,79 %, VFB 71,98 %, stabilitas 1.262,9 kg, *flow* 3,47 mm, dan MQ 364,49 kg/mm, sehingga dapat dinyatakan bahwa energi pemadatan 2x75 adalah kondisi yang paling memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 untuk campuran AC-WC berbahan lokal Kolaka Utara.

Kemudian untuk penelitian lanjutan, disarankan agar dilakukan pengujian kinerja umur layanan (*durability*) seperti uji ITS / IKS, uji *wheel tracking*, serta simulasi variasi temperatur pencampuran dan pemadatan. Pada tahap selanjutnya material lokal sebaiknya diuji juga pada tipe campuran lain (AC-BC atau HRS-WC) dan diuji pada beberapa jenis aspal (60/70, 80/100, atau modifikasi polimer) untuk memastikan rekomendasi energi pemadatan dapat digeneralisasi, tidak hanya pada AC-WC berbahan lokal Kolaka Utara.

## 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada UPTD Laboratorium Konstruksi Dinas Sumber Daya Air dan Bina Marga Provinsi Sulawesi Tenggara atas fasilitas dan dukungan teknis yang diberikan selama pelaksanaan seluruh rangkaian pengujian laboratorium pada penelitian ini. Penghargaan juga disampaikan kepada mitra akademik dan reviewer SCEJ yang telah memberikan koreksi, masukan, serta penilaian ilmiah yang konstruktif sehingga artikel ini dapat disempurnakan dan memenuhi kelayakan publikasi. Segala pendapat, interpretasi hasil, serta kesimpulan yang disajikan dalam artikel ini sepenuhnya merupakan tanggung jawab penulis.

## Daftar Pustaka

- Bintang, A. et al. (2025). Analisis Campuran Agregat AC-BC dengan Substitusi Limbah Polyethylene Terephthalate dengan Filler Semen. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 8(3), 2479–2485. <https://doi.org/10.31004/jutin.v8i3.46045>
- Chairun, A. S. S. et al. (2025). Pengaruh Variasi Tumbukan Terhadap Stabilitas Campuran Aspal HRS-WC dengan Penggunaan Bubuk Kapur sebagai Filler. 7(2), 230–240.
- Fatardhoo, A. K. et al. (2024). Hubungan Antara Rasio Agregat dan Volumetrik dalam Menentukan Kualitas Perkerasan Jalan. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 7(1), 69–81. <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v7i1.5721>
- Fithra, H. (2020). Pengaruh Jumlah Tumbukan Pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) Tambahan Lateks Terhadap Sifat Marshall. *Teras Jurnal*, 7(1), 203–212.
- Makin, M. L. A. M. et al. (2023). Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan Terhadap Nilai Marshall Hasil Pemadatan Pada Aspal Hrs-Wc Secara Manual Dan Elektrik. *Eternitas: Jurnal Teknik Sipil*, 2(2), 27–37.
- Muhammad Riski, Heri Azwansyah, E. T. M. (2025). Effect of Number of Impacts on the Voids of AC-WC Mixture with Cement Additive as Filler. 25(1), 1859–1870.
- Mukhlis, M. et al. (2022). Kinerja Campuran Asphalt Concrete Wearing Course Menggunakan Aspal Modifikasi Dengan Limbah Plastik. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 267–280. <https://doi.org/10.29103/tj.v12i1.648>
- Pradana, M. A. et al. (2023). Analisis karakteristik Campuran AC-WC Menggunakan Aspal Polimer dengan Metode Marshall Test. *Jurnal Ilmiah Teknik Dan Manajemen Industri*, 3(2), 2023–1079.
- Situmorang, A. et al. (2023). Variasi Jumlah Tumbukan Terhadap Uji Karakteristik Marshall Untuk Campuran Laston (AC-BC). *Jrsdd*, 4(1), 89–98.
- Sulandari, E. et al. (2024). Analisis Pengaruh Sifat Volumetrik pada Campuran AC-WC. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, 5(2), 41–47. <https://doi.org/10.34010/crane.v5i2.14070>
- Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2  
<https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/987/spesifikasi-umum-bina-marga-2018-untuk-pekerjaan-konstruksi-jalan-dan-jembatan-revisi-2.pdf>
- Tipawel, S. B. et al. (2024). Karakteristik Marshall Campuran Aspal Buton Tipe CPHMA dengan Penambahan Abu Batu. *Jurnal Agregate Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Ambon*, 3 (1)(1), 37–42. <https://ejournal-polnam.ac.id/index.php/JA/article/view/2088/1054>
- Wiyono, E. et al. (2020). Variasi Jumlah Tumbukan Pada Pemadatan Campuran Beton Aspal Menggunakan Bahan Tambah Anti Strepping. 2(1), 3339. file:///C:/Users/asus/Downloads/04\_Variasi+Jumlah+Tumbukan+Pada+Pemadatan+Campura+Beto\_Eko&Anni.pdf
- Yudianto., A. R. M. M. E. E. A. (2022). Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan Pada Campuran Aspal HRS-WC dengan Penambahan Karet Alam (LATEKS). 9, 356–363.