

Analisis Pengaruh Penambahan *Crumb Rubber* dan *Filler* Abu Tempurung Kelapa Terhadap Nilai Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal Lapis Aus (AC-WC)

MUHAMMAD FADHILAH RASHIF¹, SARTIKA NISUMANTI^{1*},
KHODIJAH AL QUBRO¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Indo Global Mandiri, Palembang, Indonesia
Email: sartika.nisumanti@uigm.ac.id

ABSTRAK

Lapis aus merupakan lapisan perkerasan jalan yang rentan mengalami kerusakan seperti retak (cracking) dan deformasi permanen, sehingga diperlukan inovasi pada campuran material. Penelitian ini bertujuan menentukan kadar aspal optimum (KAO) menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan penambahan crumb rubber (2,5%, 3%, 3,5%) sebagai aditif serta abu tempurung kelapa sebagai filler. Pengujian Marshall digunakan untuk mengevaluasi karakteristik campuran. Hasil penelitian menunjukkan penambahan crumb rubber dan filler berpengaruh signifikan terhadap sifat campuran. Pada kadar 3,5% crumb rubber diperoleh kepadatan 2,514 t/m³ dan VFA 78,038%, sedangkan stabilitas tertinggi 1.572,082 kg dan flow 4,490 mm terjadi pada kadar 3%. Nilai kepadatan dan VFA tinggi menunjukkan rongga udara kecil yang berpotensi menimbulkan bleeding dan rutting. Sebaliknya, kombinasi crumb rubber dan abu tempurung kelapa menurunkan kepadatan serta stabilitas, tetapi meningkatkan VIM 4,998% dan VMA 18,051%, sehingga campuran lebih fleksibel namun berisiko stripping.

Kata kunci: *crumb rubber, abu tempurung kelapa, ac-wc, marshall test, aditif*

ABSTRACT

The surface layer is a layer of road pavement that is prone to damage such as cracking and permanent deformation, necessitating innovation in material mixtures. This study aims to determine the optimum asphalt content (OAC) using 60/70 penetration asphalt with the addition of crumb rubber (2.5%, 3%, 3.5%) as an additive and coconut shell ash as a filler. Marshall testing was used to evaluate the characteristics of the mixture. The results show that the addition of crumb rubber and filler significantly affects the properties of the mixture. At a crumb rubber content of 3.5%, a density of 2.514 t/m³ and VFA of 78.038% were obtained, while the highest stability of 1,572.082 kg and flow of 4.490 mm occurred at a content of 3%. The high density and VFA values indicate small air voids that could potentially lead to bleeding and rutting. Conversely, the combination of crumb rubber and coconut shell ash reduces density and stability but increases VIM to 4.998% and VMA 18,051%, making the mixture more flexible but at risk of stripping.

Keywords: *crumb, rubber, coconut shell ash, ac-wc, marshall test, aditif*

1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan salah satu infrastruktur konstruksi yang memiliki peran penting dalam menunjang pertumbuhan dan aktivitas ekonomi pada suatu wilayah [1]. Dalam konstruksi perkerasan jalan, lapis aspal beton merupakan jenis campuran yang paling banyak diaplikasikan pada proyek pembangunan jalan di Indonesia [2]. Campuran ini diperoleh dengan mencampurkan agregat dan aspal sebagai bahan pengikatnya [3]. Lapis aspal beton terdiri dari lapis aus (AC-WC), lapis antara (AC-BC) dan lapis Fondasi (AC-Base) [4]. Berdasarkan letak dan fungsinya, lapisan AC-WC rentan mengalami kerusakan seiring bertambahnya umur layanan perkerasan. Kerusakan umumnya ditandai dengan menurunnya tingkat pelayanan akibat dari beban lalu lintas serta perubahan kondisi cuaca yang ekstrim [5]. Untuk memperoleh perkerasan yang baik perlu adanya upaya inovasi guna meningkatkan kualitas campuran material AC-WC. Pemanfaatan *crumb rubber* sebagai bahan aditif campuran sebagai salah satu langkah dalam meminimalisasi limbah ban bekas yang dapat mencemari lingkungan [6]. *Crumb rubber* adalah produk olahan karet alam, material ini memiliki elastisitas dan fleksibilitas yang tinggi, tahan terhadap panas, serta tidak rentan mengalami kerusakan [7]. Sifat elastomer ini sangat cocok dicampurkan kedalam aspal yang berdampak positif pada peningkatan elastisitas, kekuatan dan durabilitas campuran aspal [8]. Penambahan *crumb rubber* dengan kadar 1,5% terhadap total berat benda uji dapat meningkatkan nilai stabilitas dan VFA [9]. Arang tempurung kelapa di manfaatkan sebagai filler pada campuran aspal, hal ini dapat mengurangi dampak buruk dari limbah pertanian [10]. Abu arang tempurung kelapa memiliki kandungan karbon yang membantu meningkatkan ketahanan struktural dan kekuatan campuran, penambahan abu tempurung kelapa dapat meningkatkan nilai stabilitas [11]. Abu tempurung kelapa mempunyai kandungan silika (SiO_2) yang mempunyai sifat sama seperti semen, kandungan silika dalam abu tempurung kelapa ini berperan dalam melapisi partikel agregat sehingga rongga – rongga kosong pada campuran aspal dapat tertutupi dengan baik [12]. Penggunaan abu tempurung kelapa dengan kadar 3,5% sebagai filler pada campuran AC-WC mengindikasikan bahwa semua parameter karakteristik marshall memenuhi syarat yang telah ditentukan pada Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018 rev. II.

2. METODOLOGI

2.1 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Universitas Indo Global Mandiri Palembang dengan menggunakan pendekatan eksperimental. Tahapan penelitian diawali dengan pemeriksaan sifat fisik material, yaitu agregat halus, agregat kasar, dan aspal penetrasi, yang diperoleh dari PT. HAKAASTON. Selanjutnya dilakukan perencanaan campuran, pembuatan benda uji, serta pengujian menggunakan Marshall Test. Pengujian sifat fisik material mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Tabel 1. Pemeriksaan Sifat fisik Aspal Penetrasi 60/70

No	Jenis Pengujian	Satuan	Metoda Pengujian	Nilai
1.	Penetrasi	0,1 mm	SNI 2456:2011	60-70
2.	Viskositas	(cST)	SNI 7729:2011	≤ 300
3.	Titik Lembek	C	SNI 2434:2011	≤ 48
4.	Daktilitas	cm	SNI 2432:2011	≤ 100
5.	Berat Jenis	kg/m^3	SNI 2441:2011	$\leq 1,0$

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga 2018

Tabel 2. Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

Agregat Kasar				
No	Jenis Pengujian	Satuan	Metoda Pengujian	Nilai
1.	Berat Jenis & Penyerapan Agregat Kasar	%	SNI 1969:2016	
2.	Abrasi Dengan Mesin Los Angeles	%	SNI 7729:2011	≥ 40
3.	Material Lolos Ayakan No. 200	%	SNI 2434:2011	≥ 1
Agregat Halus				
No	Jenis Pengujian	Satuan	Metoda Pengujian	Nilai
1.	Berat Jenis & Penyerapan Agregat Halus	%	SNI 1970:2016	
2.	Material Lolos Ayakan No.200	%	SNI ASTM C 177:2012	≥ 10

Sumber: Direktorat Jendral Bina Marga (2018)

Tahapan penelitian dilakukan meliputi:

1. Tahapan Persiapan Material
Pada penelitian ini material yang dimanfaatkan berupa, aspal dengan penetrasi 60/70, agregat kasar, agregat halus yang berasal dari PT. HAKAASTON, *crumb rubber* dan *filler* abu tempurung kelapa.
2. Perencanaan Campuran
Bahan tambah yang digunakan adalah *crumb rubber* dengan kdar variasi 2,5%; 3%; dan 3,5% serta penggunaan abu tempurung kelapa sebagai pengganti *filler*.
3. Pembuatan Benda Uji
Sampel yang di buat dalam penelitian ini sebanyak 27 buah, dengan ditambahkan kadar variasi *crumb rubber* 2,5%; 3%; dan 3,5%.

Jumlah komposisi dan sampel campuran dapat dilihat pada **Tabel 3.**

Tabel 3. Campuran Sampel

Campuran Konvensional			
No	Kadar Aspal	Jumlah Sampel	
1.	Pb-1,0	3	
2.	Pb-0,5	3	
3.	Pb	3	
4.	Pb+0,5	3	
5.	Pb+1,0	3	
Total		15	
Campuran KAO dan <i>Crumb Rubber</i>			
No	Kadar Aspal	Kadar <i>Crumb Rubber</i>	Jumlah Sampel
1.	5,55%	2,5%	2
2.	5,55%	3 %	2
3.	5,55%	3,5 %	2
Total			6
Campuran KAO <i>Crumb Rubber</i> dan <i>Filler</i> Abu Tempurung Kelapa			
No	Kadar Aspal	Kadar <i>Crumb Rubber</i>	Jumlah Sampel
1.	5,55%	2,5%	2
2.	5,55%	3 %	2
3.	5,55%	3,5 %	2
Total			6

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Agregat

Tujuan proses pengujian ini adalah untuk mengetahui kualitas sebuah agregat sebagai bahan pengisi dalam campuran aspal. Hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.**

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Sifat fisik Aspal Penetrasi 60/70

Agregat Kasar			
No	Parameter Pengujian	Hasil Pengujian	Syarat
1.	Berat Jenis Bulk	2,85%	$\leq 2,50\%$
2.	Berat Jenis SSD	2,88%	$\leq 2,50\%$
3.	Berat Jenis Semu	2,90%	$\leq 2,50\%$
4.	Penyerapan Air	0,51%	$\leq 3\%$
5.	Abrasi Dengan Mesin Los Angeles	5,20%	$\geq 40\%$
6.	Material Lolos Ayakan No. 200	0,64%	$\geq 1\%$
Agregat Halus			
No	Parameter Pengujian	Hasil Pengujian	Syarat
1.	Berat Jenis Bulk	2,71	$\leq 2,50$
2.	Berat Jenis SSD	2,74	$\leq 2,50$
3.	Berat Jenis Semu	2,79	$\leq 2,50$
4.	Penyerapan Air	1,61	≤ 3
5.	Material Lolos Ayakan No. 200	3,73%	≥ 10

Berdasarkan **Tabel 4** Hasil menunjukkan bahwa setiap pengujian material agregat memenuhi spesifikasi, sehingga material dapat digunakan untuk campuran.

3.2 Hasil Pengujian Aspal

Pengujian aspal penetrasi 60/70 bertujuan untuk mengetahui kualitas sebuah aspal sebagai bahan pengikat dalam sebuah campuran. Berikut data hasil pengujian aspal penetrasi 60/70 dapat dilihat pada **Tabel 5**.

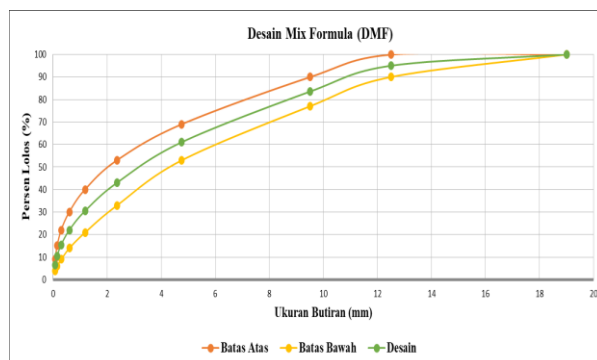
Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Sifat fisik Aspal Penetrasi 60/70

No	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat
1.	Penetrasi	64 mm	60-70 mm
2.	Viskositas	740 (cST)	≤ 300 (cST)
3.	Titik Lembek	53°C	$\leq 48^\circ\text{C}$
4.	Daktilitas	118 cm	≤ 100 cm
5.	Berat Jenis	1,011 kg/m ³	$\leq 1,0$ kg/m ³

Berdasarkan **Tabel 5** Menunjukkan bahwa setiap pengujian aspal penetrasi 60/70 memenuhi spesifikasi, sehingga material dapat digunakan untuk campuran.

3.3 Komposisi Campuran

Penelitian ini diawali dengan penentuan kadar aspal optimum (KAO) yang merupakan salah satu tahapan penting. Nilai KAO diperoleh melalui perhitungan kadar aspal awal (Pb) yang selanjutnya digunakan pada proses pengujian. Berdasarkan hasil uji Marshall, kadar aspal optimum ditentukan dari nilai yang menghasilkan karakteristik campuran terbaik sesuai dengan parameter yang disyaratkan. Adapun perhitungan komposisi pembuatan benda uji dilampirkan pada **Gambar 1**.

**Gambar 1. Gradasi campuran AC-WC**

Pada **Gambar 1** menjelaskan hasil pengujian gradasi bahwa komposisi campuran telah sesuai dengan spesifikasi, berikut perhitungan penentuan nilai (Pb) yang pakai untuk mentukan komposisi campuran.

$$P_b = 0,035 (39\%) + 0,045 (54,5\%) + 0,18 (6,5\%) + 1 = 6\%$$

3.4 Pengujian Marshall

Marshall *test* dilakukan untuk mengevaluasi kinerja campuran aspal sehingga dapat diketahui tingkat kelayakan campuran terhadap ketentuan spesifikasi. Parameter pengujian marshall yaitu stabilitas, *flow*, VIM dan VMA [13].

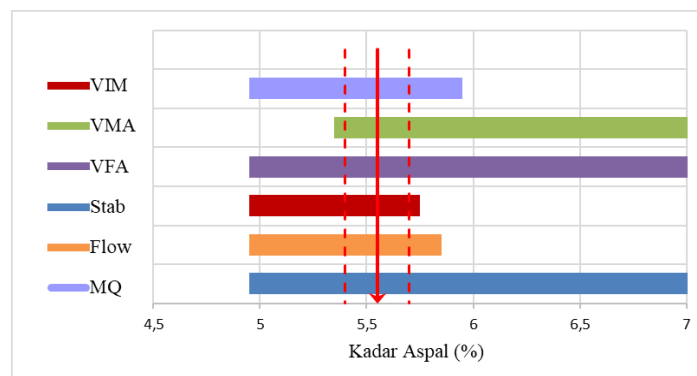
1. Campuran Konvensional

Pengujian pada campuran konvesional menggunakan metode Marshall *test* bertujuan tuntut mendapatkan nilai kadar aspal optimum. Berikut hasil pengujian disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Parameter Marshall Campuran 0% *Crumb Rubber* dan Abu Tempurung Kelapa

No	Parameter	Spesifikasi	Kadar Aspal				
			5%	5,5%	6%	6,5%	7%
1.	Kepadatan	-	2,510	2,544	2,544	2,506	2,468
2.	VMA	≤ 15%	16,63	15,95	16,38	18,07	19,75
3.	VIM	3-5%	4,80	2,69	1,86	2,52	3,21
4.	VFA	≤ 65%	72,05	83,11	88,66	86,47	83,90
5.	Stabilitas	≤ 800 kg/mm	893	1427	1333	1370	847
6.	Flow	2-4 mm	3,26	5,31	6,56	6,48	5,92
7.	MQ	≤ 250 kg/mm	341,02	271,00	215,34	214,04	145,95

Dari **Tabel 6** pengujian campuran konvensional digunakan sebagai penentu nilai KAO, seperti dilampirkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Kadar aspal optimum

Berdasarkan **Tabel 10** dan **Gambar 2** menunjukkan hasil pengujian Marshall pada campuran aspal konvensional bahwa nilai kepadatan cenderung menurun pada kondisi kadar aspal yang tinggi akibat kelebihan aspal mengisi rongga. Nilai VMA relatif tinggi menandakan adanya ruang antar agregat yang membutuhkan aspal dengan jumlah lebih untuk mengisinya. Hal ini berdampak pada VIM yang cenderung rendah di hampir semua variasi, sehingga VFA menjadi sangat tinggi. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sebagian besar rongga dalam agregat terisi oleh aspal, sehingga campuran lebih plastis yang menyebabkan tingginya nilai *flow*. Namun perlu diingat bahwa campuran yang terlalu plastis akan menyebabkan deformasi dan *bleeding* pada campuran. Pengujian Marshall didapati KAO sebesar 5,5%.

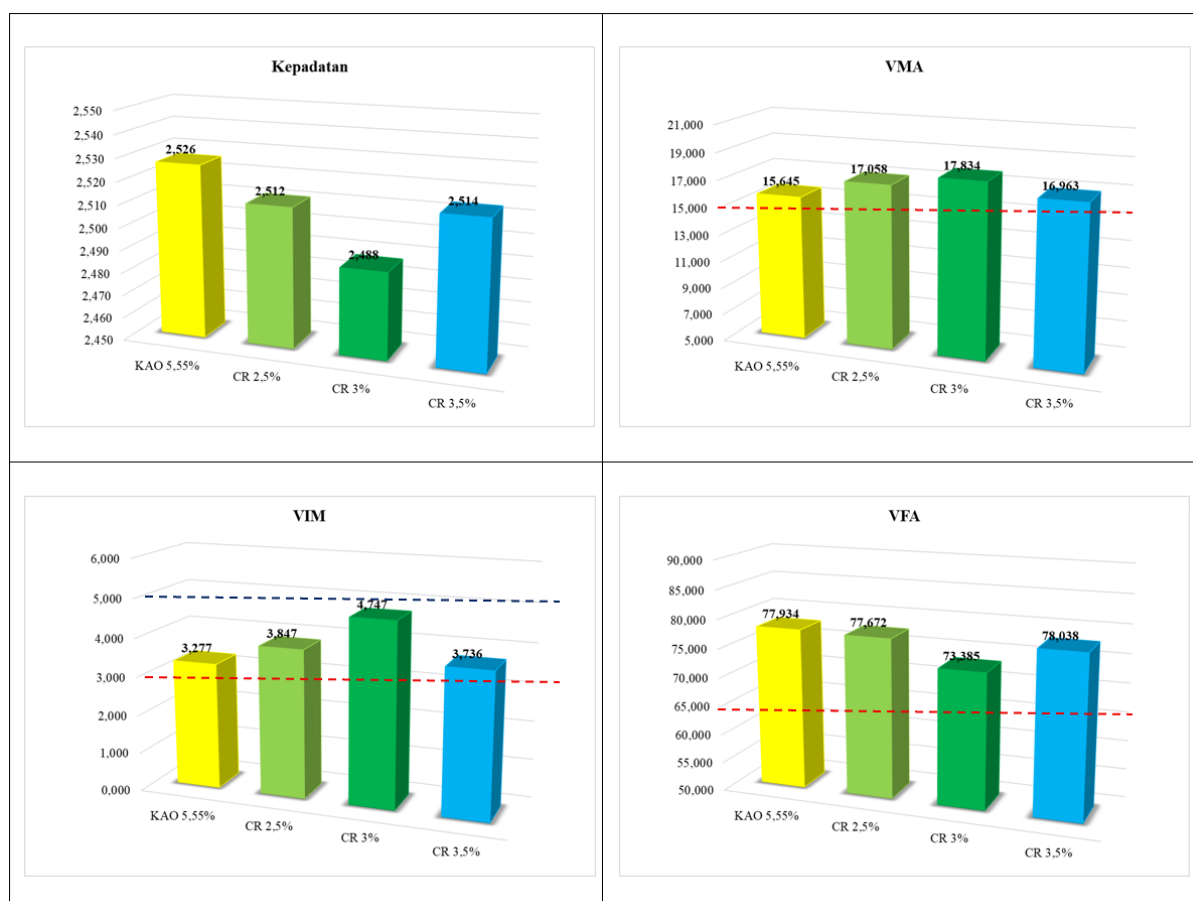
2. Pengujian Marshall dengan *Crumb Rubber*

Hasil pengujian marshall disajikan pada **Tabel 11** dan **Gambar 3**.

Tabel 11. Parameter Marshall Kadar Aspal Optimum dengan *Crumb Rubber*

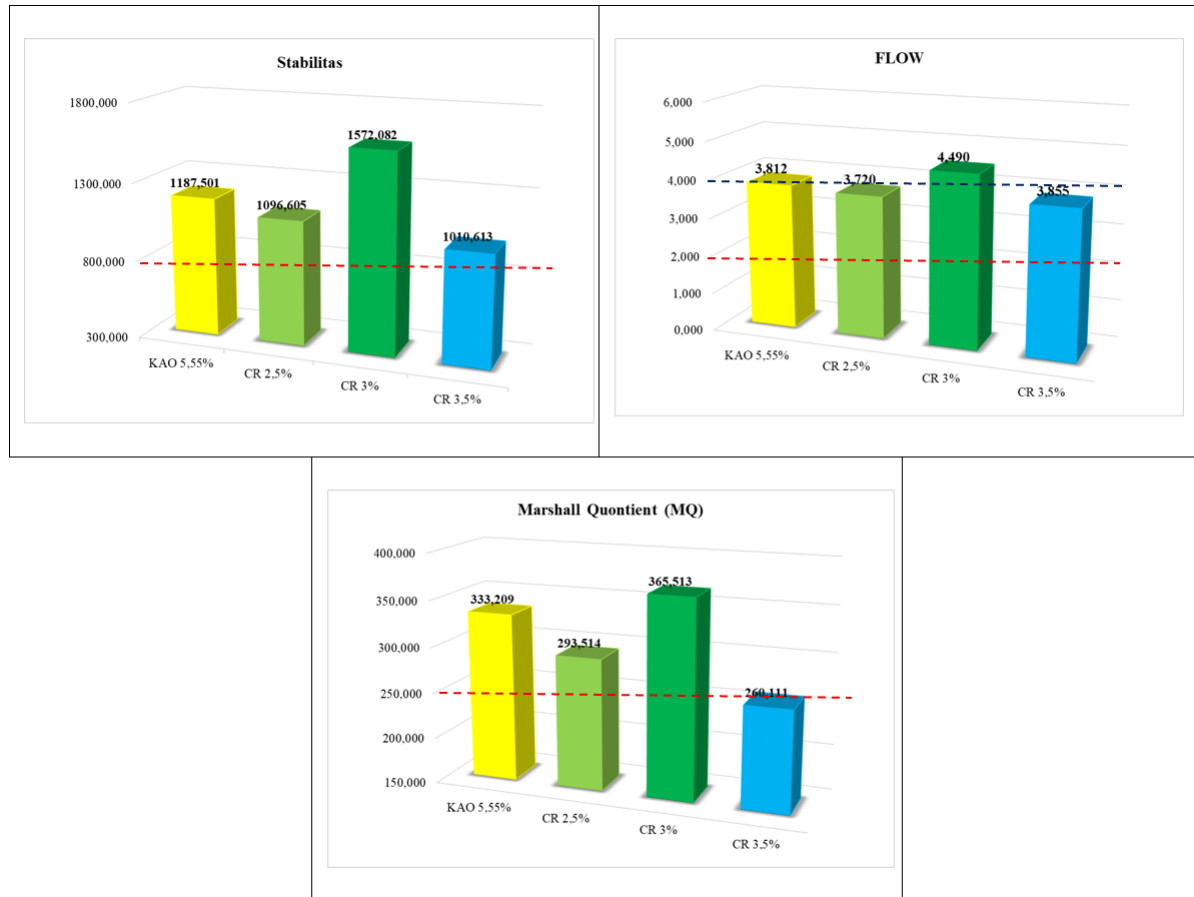
No	Parameter	Syarat	Kadar <i>Crumb Rubber</i>		
			2,5%	3%	3,5%
1.	Kepadatan	-	2,512	2,488	2,514
2.	VMA	≤ 15%	17,06	17,83	16,96
3.	VIM	3-5%	3,85	4,75	3,74
4.	VFA	≤ 65%	77,67	73,38	78,04
5.	Stabilitas	≤ 800 kg/mm	1097	1572	1011
6.	Flow	2-4 mm	3,72	4,49	3,86
7.	MQ	≤ 250 kg/mm	293,51	365,51	260,11

Berdasarkan **Tabel 11** dan **Gambar 3** menunjukkan hasil pengujian marshall pada campuran aspal dengan penambahan kadar variasi *crumb rubber* 2,5%; 3%; dan 3,5% bahwa didapati nilai kepadatan relatif stabil, sedangkan parameter VMA, VFA, dan VIM umumnya masih berada dalam batas spesifikasi. Nilai stabilitas dan Marshall Quotient (MQ) tertinggi diperoleh pada kadar *crumb rubber* 3% yang mengindikasikan kondisi optimum. Namun, pada kadar 2,5% dan 3,5% kinerja campuran menurun akibat stabilitas yang lebih rendah atau sifat plastis yang berlebihan. Selain itu, pada kadar *crumb rubber* 3% nilai *flow* cenderung tinggi, yang dapat berdampak pada meningkatnya risiko terjadinya deformasi permanen (*rutting*), *bleeding*, serta berkurangnya umur layanan perkerasan.



Gambar 2. Kadar aspal optimum

Analisis Pengaruh Penambahan Crumb Rubber dan Filler Abu Tempurung Kelapa Terhadap Nilai Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal Lapis Aus (AC-WC)



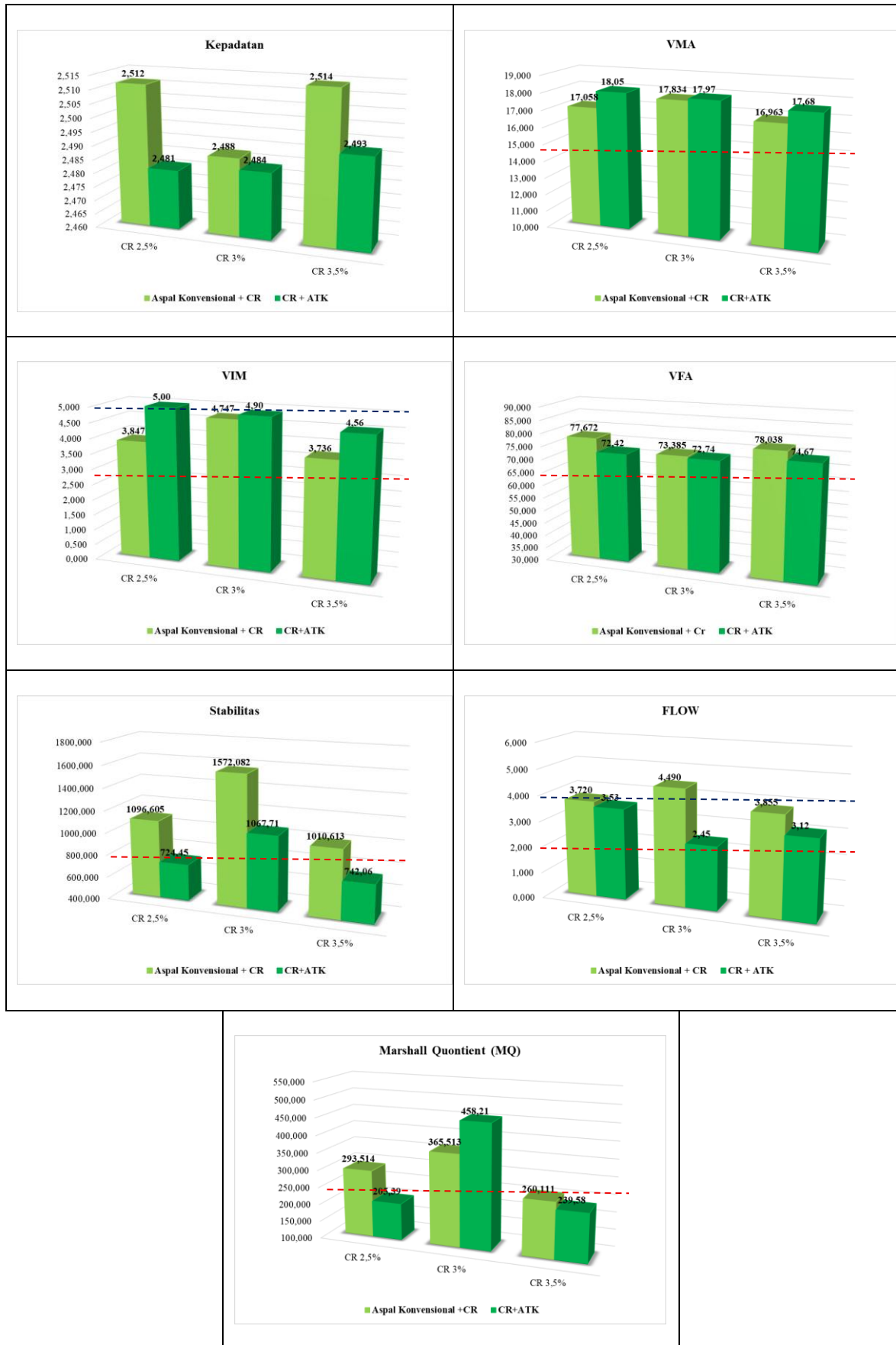
Gambar 2. Kadar aspal optimum lanjutan

3. Pengujian Marshall Dengan *Crumb Rubber* dan Filler Abu Tempurung Kelapa
Hasil pengujian marshall disajikan pada **Tabel 12** dan **Gambar 4**.

Tabel 12. Parameter Marshall Kadar Aspal Optimum dengan Campuran *Crumb Rubber* dan Filler Abu Tempurung Kelapa

No	Parameter	Syarat	Kadar <i>Crumb Rubber</i>		
			2,5%	3%	3,5%
1.	Kepadatan	-	2,481	2,484	2,493
2.	VMA	≤ 15%	18,05	17,97	17,68
3.	VIM	3-5%	5,00	4,90	4,56
4.	VFA	≤ 65%	72,42	72,74	74,06
5.	Stabilitas	≤ 800 kg/mm	724,45	1067,71	742,06
6.	Flow	2-4 mm	3,72	2,45	3,12
7.	MQ	≤ 250 kg/mm	293,51	458,21	239,58

Berdasarkan **Tabel 12** dan **Gambar 4** menunjukkan hasil pengujian Marshall pada campuran aspal melalui penambahan *crumb rubber* dan *filler* tempurung kelapa menunjukkan bahwa kadar 3% memberikan kinerja paling optimum, ditunjukkan oleh nilai stabilitas dan Marshall Quotient (MQ) yang tertinggi serta nilai *flow* yang masih berada dalam batas spesifikasi. Pada kadar 2,5%; campuran cenderung lebih plastis dengan stabilitas yang relatif rendah; sedangkan pada kadar 3,5% meskipun nilai kepadatan cukup baik; namun stabilitas mengalami penurunan sehingga kinerjanya tidak sebaik pada kadar 3%. Nilai stabilitas yang rendah mengindikasikan ketidak mampuan daya dukung campuran aspal terhadap beban lalu lintas, hal ini dapat meningkatkan resiko deformasi permanen (*rutting*) serta dapat memperpendek umur layanan perkerasan.



Gambar 4. Grafik perbandingan campuran

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis, dapat ditarik kesimpulan bahwa kadar aspal optimum (KAO) campuran aspal konvensional didapati sebesar 5,55%. Pada campuran yang hanya ditambahkan *crumb rubber* dapat meningkatkan karakteristik marshall pada campuran. Hal ini dibuktikan dengan didapati nilai kepadatan tertinggi 2,514 t/m³ dan VFA 78,038% pada CR 3,5%, serta stabilitas maksimum 1.572,082 kg dan *flow* 4,490 mm pada CR 3%. Sementara itu, kombinasi *crumb rubber* dan *filler* abu tempurung kelapa menurunkan kepadatan dan stabilitas, namun meningkatkan nilai VIM sebesar 4,998% dan VMA sebesar 18,051%. pada CR 3% dengan ATK, menghasilkan nilai MQ tertinggi sebesar 458,21 kg/mm menunjukkan kekakuan dan ketahanan deformasi terbaik, menjadikannya formulasi yang potensial secara struktural.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Nisumanti and D. Prawinata, "Penilaian Kondisi Jalan Menggunakan Metode International Roughness Index (IRI) Dan Surface Distress Index (SDI) Pada Ruas Jalan Akses Terminal Alang-Alang Lebar (Studi Kasus: Sp. Soekarno Hatta – Bts. Kota Palembang Km 13)," vol. 09, no. 2, 2020.
- [2] S. Nisumanti, G. Amalia, and S. Putri, "The Effect of Latex on The Characteristics of Asphalt Concrete Wearing Course," *ICCAUA*, vol. 5, no. 1, pp. 937–945, May 2022, doi: 10.38027/ICCAUA2022EN0146.
- [3] S. Nisumanti and S. Dwi, "The Effect of Warm Mixture Asphalt for Asphalt Concrete (AC-WC) with the added of Asbuton on Asphalt Quality," vol. 03, no. 1, 2020.
- [4] W. P. Maryunani and M. Amin, "PENAMBAHAN LIMBAH BAN KARET SEBAGAI CAMPURAN ASPAL MODIFIKASI PADA LAPIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-," vol. 8, no. 2, 2024.
- [5] S. Nisumanti and M. Yusuf, "Pengaruh Arang Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti Filler Aspal Penetrasi 60/70," *JTG*, vol. 8, no. 2, Jan. 2020, doi: 10.36982/jtg.v8i2.900.
- [6] J. Suryono, "PENGARUH CRUMB RUBBER DENGAN MATERIAL LOKAL SERTA FILLER BATU LATERIT TERHADAP NILAI MARSHALL ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)," 2019.
- [7] D. Sari Dewi, H. Eko Prasetyo, and E. Karnadeli, "PENGOLAHAN AIR LIMBAH INDUSTRI KARET REMAH (CRUMB RUBBER) DENGAN MENGGUNAKAN REAGEN FENTON," *Redoks*, vol. 5, no. 1, p. 47, May 2020, doi: 10.31851/redoks.v5i1.4120.
- [8] S. M. Saleh, M. Isya, Y. Darma, A. Salmannur, and F. Ramadhana, "Asphalt Concrete Mixtures with Coal Bottom Ash as Fine Aggregate Substitution and Crumb Rubber as Asphalt Substitution," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 2916, no. 1, p. 012030, Dec. 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2916/1/012030.
- [9] L. R. Putri, M. Widiastuti, and M. J. Alkas, "PENGARUH PENGGUNAAN CRUMB RUBBER DENGAN MATERIAL SENONI DAN FILLER BATU SENONI TERHADAP NILAI KARAKTERISTIK MARSHALL ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)," *JTS*, vol. 6, no. 1, p. 21, Jun. 2022, doi: 10.30872/ts.v6i1.7720.
- [10] S. Nisumanti, Y. E. Putri, F. Desromi, K. A. Qubro, S. Saripudin, and M. Fikri, "Inovasi Material Berkelanjutan: Optimasi Penggunaan Abu Sabut Kelapa sebagai Alternatif Filler pada Aspal Beton," *talentasipil*, vol. 8, no. 1, p. 379, Feb. 2025, doi: 10.33087/talentasipil.v8i1.861.
- [11] D. B. Hartadi and P. Mahardi, "ANALISIS KARAKTERISTIK MARSHALL PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE-BINDER COURSE (AC-BC) MENGGUNAKAN LIMBAH PLASTIK HIGH- DENSITY POLYTHYLENE (HDPE) DAN SERBUK ABU TEMPURUNG KELAPA SEBAGAI FILLER," 2018.

- [12] S. Widyastuti and A. Widayanti, "Pemanfaatan Abu Tempurung Kelapa Sebagai Substitusi Filler pada Campuran Perkerasan Asphalt Concrete – Binder Course," *publ. ris. n.a. politek. n.a. prot.*, vol. 5, no. 2, pp. 134–140, Dec. 2023, doi: 10.26740/proteksi.v5n2.p134-140.
- [13] K. A. Qubro, M. Fauzi, S. Nisumanti, F. Febryandi, and S. Hendarto, "Kinerja Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) Menggunakan Aspal Modifikasi Asbuton Murni Lawele," *talentasipil*, vol. 8, no. 2, p. 885, Aug. 2025, doi: 10.33087/talentasipil.v8i2.1014.
- [14] Kementerian Pekerjaan Umum. (2018). Spesifikasi Umum Bina Marga, Revisi 2.