

PENGARUH PENAMBAHAN ASPAL DENGAN ROSIN (GONDORUKEM) DAN VARIASI SUHU PENCAMPURAN TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL ASPAL BETON LAPIS AUS (AC-WC)

Tiara Azmi Nabilah¹, Sugeng Riyanto², Agus Sugiarto³

Mahasiswa Teknologi Rekayasa Kontruksi Jalan dan Jembatan¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang³

Email : tiaraazminabilah@gmail.com¹ , sugeng.riyanto@polinema.ac.id² , agus.sugiarto@polinema.ac.id

ABSTRACT

As the pavement layer that directly bears traffic loads and weathering, AC-WC frequently experiences performance degradation owing to the thermoplastic nature of asphalt under temperature fluctuation. Rosin (gondorukem), a bio-based binder chemically comparable to penetration-60 asphalt, offers potential as a partial asphalt substitute, yet its influence on the Marshall characteristics of AC-WC across varying contents and mixing temperatures remains scarcely investigated. This experimental study, conducted at the Materials Testing Laboratory, Civil Engineering Department, State Polytechnic of Malang, examined the effect of gondorukem content (4%, 6%, 8%) and mixing temperature (120°C, 140°C, 160°C) on stability, flow, Marshall Quotient, VIM, VMA, and VFA, in accordance with SNI standards and the 2018 Bina Marga General Specifications, with statistical evaluation via two-way ANOVA. Gondorukem content significantly affected all Marshall parameters ($P < 0.05$) – lowering stability and VFA while raising VIM – whereas mixing temperature and the interaction between both factors showed no significant effect ($P > 0.05$). The combination of 4% content at 140°C-160°C produced the most balanced outcome and is proposed as the optimum substitution level, although most other variations fell short of full specification compliance. Laboratory-scale research costs totaled IDR 234,344.58, while construction-scale application increased production costs per ton relative to the conventional mixture.

Keywords: AC-WC, rosin (gondorukem), mixing temperature, Marshall characteristics, two-way ANOVA.

ABSTRAK

Sebagai lapisan yang menerima beban lalu lintas dan paparan cuaca secara langsung, AC-WC kerap mengalami penurunan kinerja akibat sifat termoplastis aspal terhadap perubahan suhu. Rosin (gondorukem), bahan pengikat berbasis hayati dengan karakteristik kimia mendekati aspal penetrasi 60, berpotensi sebagai substitusi sebagian aspal, meski pengaruhnya terhadap karakteristik

Article History

Received: September 2026
Reviewed: September 2026
Published: September 2026

Plagiarism Checker No
237.u873247.fh8374

Copyright : Author
Publish by : Kohesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Marshall AC-WC pada berbagai kadar dan suhu pencampuran masih jarang dikaji. Studi eksperimental ini dilakukan di Laboratorium Uji Bahan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang untuk menganalisis pengaruh kadar gondorukem (4%, 6%, 8%) dan suhu pencampuran (120°C, 140°C, 160°C) terhadap stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient*, VIM, VMA, dan VFA, mengacu pada SNI dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, dengan pengujian statistik menggunakan ANOVA dua arah. Kadar gondorukem terbukti memengaruhi seluruh parameter Marshall secara signifikan ($P < 0,05$) – menurunkan stabilitas dan VFA, meningkatkan VIM – sedangkan suhu pencampuran dan interaksi kedua faktor tidak signifikan ($P > 0,05$). Kombinasi kadar 4% pada suhu 140°C-160°C memberikan hasil paling seimbang dan diusulkan sebagai substitusi optimum, kendati sebagian besar variasi lain belum memenuhi seluruh batas spesifikasi. Biaya penelitian skala laboratorium tercatat Rp234.344,58, sementara penerapan gondorukem pada skala konstruksi menaikkan biaya produksi per ton dibanding campuran konvensional.

Kata kunci: AC-WC, rosin (gondorukem), suhu pencampuran, karakteristik Marshall, ANOVA dua arah.

PENDAHULUAN

Perkerasan Lapisan Aus (Asphalt Concrete-Wearing Course/AC-WC) merupakan lapisan permukaan perkerasan jalan yang berhubungan langsung dengan roda kendaraan dan cuaca, sehingga membutuhkan campuran aspal dengan stabilitas dan durabilitas yang baik. Aspal sebagai bahan pengikat pada campuran AC-WC umumnya berasal dari sumber daya tidak terbarukan (minyak bumi), sehingga diperlukan alternatif bahan tambah atau substitusi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Gondorukem (rosin) merupakan hasil olahan getah pinus yang memiliki sifat perekat dan tersedia melimpah di Indonesia sebagai negara penghasil getah pinus, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan substitusi sebagian aspal pada campuran AC-WC.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji pemanfaatan gondorukem pada campuran beraspal, di antaranya penggunaan gondorukem sebagai bahan tambah pada campuran AC-WC dan aspal porus, serta penggunaan bio-aspal berbahan dasar tar residu dan gondorukem. Namun demikian, kajian mengenai kombinasi pengaruh kadar substitusi gondorukem dan variasi suhu pencampuran secara bersamaan terhadap karakteristik Marshall AC-WC, disertai analisis kebutuhan biayanya, masih perlu dikaji lebih lanjut.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh variasi kadar gondorukem dan suhu pencampuran terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC. Variasi kadar gondorukem yang digunakan adalah 0%, 4%, 6%, dan 8% pada suhu pencampuran 120°C, 140°C, dan 160°C. Parameter yang

dievaluasi meliputi stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), Void in Mix (VIM), Void in Mineral Aggregate (VMA), dan Void Filled with Asphalt (VFA). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai variasi campuran yang menghasilkan kinerja Marshall terbaik serta menjadi referensi dalam pengembangan material perkerasan yang lebih ramah lingkungan.

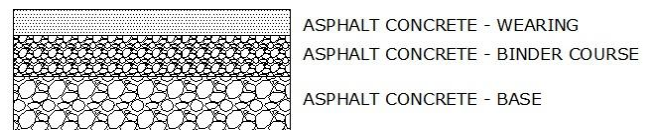
TINJAUAN PUSTAKA

AC-WC merupakan lapisan atas pada perkerasan lentur yang berfungsi menahan beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan, sehingga harus memiliki stabilitas tinggi, ketahanan aus, dan tekstur permukaan yang baik. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga (2018), campuran AC-WC harus memenuhi persyaratan *Marshall*, meliputi stabilitas minimum 800 kg, *flow* 2,0-4,0 mm, Marshall Quotient (MQ) minimum 250 kg/mm, VIM 3,5-5,0%, VMA minimum 15%, dan VFA minimum 65%.

Gondorukem (*gum rosin*) merupakan residu padat hasil distilasi getah pinus (*Pinus merkusii*) yang memiliki sifat termoplastik, yaitu melunak pada suhu tinggi dan mengeras pada suhu rendah. Karakteristik tersebut menjadikan gondorukem berpotensi sebagai bahan aditif untuk meningkatkan kinerja aspal terhadap perubahan suhu [1], [2]

Lapis Aspal Beton (Laston)

Laston (*asphalt concrete*) adalah campuran agregat dan binder yang disusun untuk berbagai fungsi struktural, jenis umum meliputi AC-WC (wearing course), AC-BC (binding course), dan AC-Base (base course). Perbedaan utama terletak pada kebutuhan mekanik dan gradasi agregat tiap lapisan.[3]



Gambar 1. Susunan Lapis Aspal Beton

Pengujian Marshall

Karakteristik campuran AC-WC umumnya dievaluasi menggunakan uji Marshall melalui parameter stabilitas, flow, MQ, serta parameter volumetrik berupa VIM, VMA, dan VFA. Stabilitas menunjukkan kemampuan campuran menahan beban, flow menggambarkan deformasi plastis, sedangkan MQ mencerminkan kekakuan campuran. Sementara itu, VIM, VMA, dan VFA digunakan untuk menilai kepadatan, durabilitas, serta ketahanan campuran terhadap masuknya air[4]



Gambar 2. Pengujian Marshall



METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilaksanakan di Laboratorium Uji Bahan Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang. Objek penelitian adalah campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) dengan bahan pengikat aspal keras penetrasi 60/70 produksi Pertamina, agregat kasar dan agregat halus, pengii atau filler abu batu, serta gondorukem (rosin) sebagai bahan penambahan aspal.

Pengujian Sifat Fisik

Tahap pertama penelitian adalah pengujian sifat fisik seluruh material penyusun, meliputi berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan agregat halus, berat jenis filler, serta penetrasi, titik lembek, dan berat jenis aspal, mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Gondorukem yang digunakan juga diuji berat jenisnya untuk keperluan perhitungan volumetrik Marshall. Tujuan pengujian sifat fisik material berfungsi untuk memastikan semua bahan material telah memenuhi ketentuan Bina Marga 2018 sehingga benda uji dapat memperoleh hasil yang baik.

Pembuatan Benda Uji KAO

Tahap kedua adalah penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) melalui pengujian Marshall pada variasi kadar aspal 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8%, masing-masing 3 benda uji, total benda uji sebanyak 18

benda uji, dan mengacu pada SNI 06-2489-1991. KAO ditentukan dari rentang kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter Marshall (stabilitas, flow, MQ, VMA, VIM, dan VFA) sesuai spesifikasi.

Pembuatan Benda Uji Variasi

Tahap ketiga adalah pembuatan benda uji pada KAO dengan variasi kadar substitusi gondorukem 0% (kontrol), 4%, 6%, dan 8% terhadap berat aspal, pada tiga variasi suhu pencampuran, yaitu 120°C, 140°C, dan 160°C. Rancangan benda uji disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan Jumlah Benda Uji

Suhu Pencampuran	0%	4 %	6 %	8 %	Juml ah
120°C	3	3	3	3	12
140°C	3	3	3	3	12
160°C	3	3	3	3	12
Total	9	9	9	9	36

Rancangan percobaan disusun secara faktorial lengkap antara empat tingkat kadar gondorukem dan tiga variasi suhu pencampuran, menghasilkan 12 kombinasi perlakuan. Setiap kombinasi dibuat sebanyak tiga benda uji (replikasi), sehingga total benda uji yang dibuat dan diuji dengan metode Marshall (SNI 06-2489-1991) adalah 36 benda uji.

Setiap benda uji diuji dengan alat Marshall untuk memperoleh nilai stabilitas dan flow, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung *Marshall Quotient* (MQ), *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA),

dan *Void Filled with Asphalt* (VFA). Seluruh hasil pengujian dibandingkan dengan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 [4].

Analisis statistik dilakukan menggunakan uji ANOVA dua arah (*two-way analysis of variance*) dengan bantuan Microsoft Excel untuk mengetahui pengaruh kadar gondorukem, suhu pencampuran, serta interaksi keduanya terhadap masing-masing parameter Marshall, pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$. Hipotesis nol (H_0) ditolak apabila nilai F hitung lebih besar dari F tabel atau P-value $< 0,05$. Selain itu, disusun pula Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk tahap penelitian skala laboratorium dan estimasi biaya produksi skala konstruksi berdasarkan Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bina Marga.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil pengujian sifat fisik material, penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO), hasil pengujian Marshall pada campuran dengan penambahan gondorukem dan variasi suhu pencampuran, serta hasil analisis statistik ANOVA dua arah.

A. Sifat Fisik Material

Hasil pengujian menunjukkan seluruh material memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 [4]. Agregat kasar memiliki berat jenis bulk $2,678 \text{ gr/cm}^3$, penyerapan $1,845\%$, dan keausan Los

Angeles $20,4\%$ (syarat maksimum 40%). Agregat halus memiliki berat jenis bulk $2,678 \text{ gr/cm}^3$ dan penyerapan $0,645\%$. Aspal Pertamina Pen 60/70 memiliki nilai penetrasi 62,143, titik lembek 49°C , dan berat jenis 1,035. Gondorukem memiliki berat jenis rata-rata $1,09 \text{ gr/cm}^3$, yang digunakan sebagai dasar perhitungan volumetrik campuran bergondorukem.

B. Kadar Aspal Optimum (KAO)

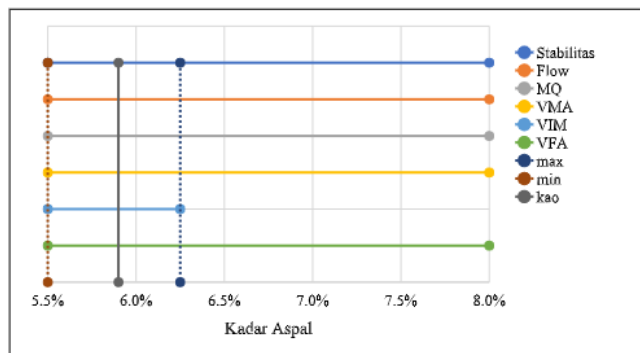
Hasil pengujian Marshall pada variasi kadar aspal untuk penentuan KAO ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum

Indikator	Spesifikasi	5.5 %	6 %	6.5 %	7 %	7.5 %	8 %
Stabilitas (kg)	Min	10	11	12	12	11	84
	.	15.	85	43	43	56	6.
	800	12	.6	.4	.4	.1	9
				3		6	
Flow (mm)	2,0	2.0	2.	2.	2.	2.	3.
	-	3	05	34	0	2	1
	4,0						
MQ (kg/m ³)	Min	66	59	48	65	42	29
	.	2.6	8.	9.	0.	9.	5.
	250	9	91	07	87	77	19
VMA (%)	Min	19.	21	21	21	20	23
	. 14	6	.1	.5	.5	.9	.2
			4	3	3	8	

VIM	3,0	4.9	4.	2.	2.	1.	1.
(%)	-		7	3	4	8	3
	5,0						
VFA	Min	77.	78	89	89	92	94
(%)	. 65	7	.7	.0	.5	.0	.5

Sumber: Hasil perhitungan



Gambar 3. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan Tabel 2, nilai VIM hanya memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 5,5% dan 6%, sedangkan parameter lain umumnya memenuhi syarat pada rentang 5,5%-8%. Dengan pendekatan grafik gabungan seluruh parameter, diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,75%, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar pembuatan benda uji dengan variasi gondorukem.

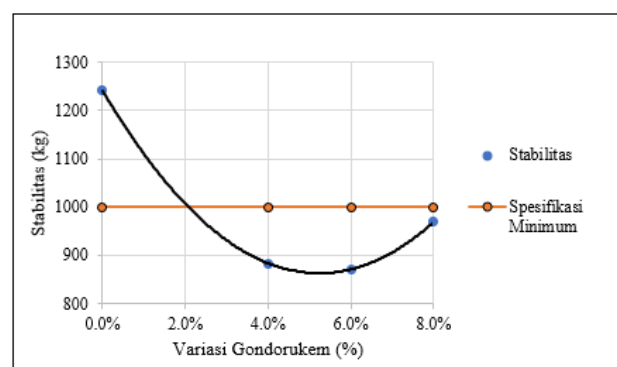
C. Karakteristik Marshall Campuran dengan Penambahan Gondorukem

Hasil pengujian Marshall pada kadar gondorukem 0%, 4%, 6%, dan 8% pada masing-masing suhu pencampuran ditampilkan pada Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

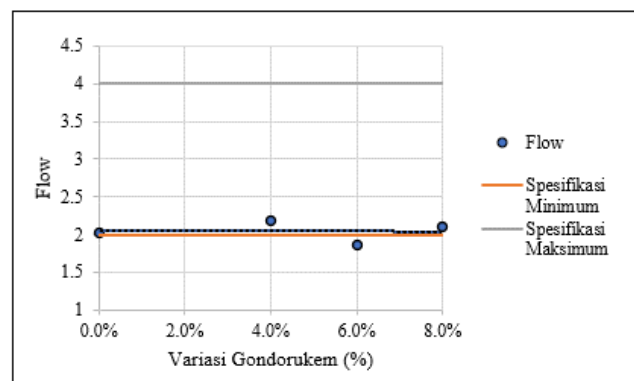
Tabel 3. Rekapitulasi Pengujian Marshall 120 °C

No	Karakteristik	Spesifikasi	Kadar Substitusi Gondorukem (%)			
			0%	4%	6%	8%
1	Stabilitas (kg)	Min. 1000	1241.07	883.46	871.28	968.97
2	Flow (mm)	2,0 - 4,0	2.02	2.18	1.86	2.11
3	MQ (kg/mm)	Min. 250	734.50	472.62	440.50	557.12
4	VMA (%)	Min. 14	17.18	19.82	18.65	19.18
5	VIM (%)	3,0 - 5,0	6.15	9.15	7.83	8.43
6	VFA (%)	Min. 65	64.19	54.25	59.57	56.28

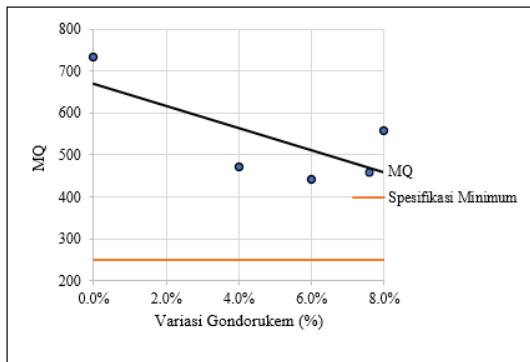
Sumber : Hasil Perhitungan



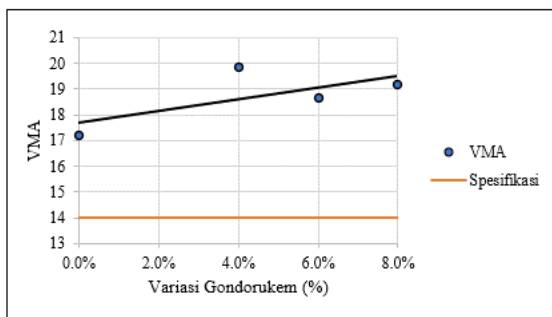
Gambar 4. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai Stabilitas pada Suhu Pencampuran 120 °C



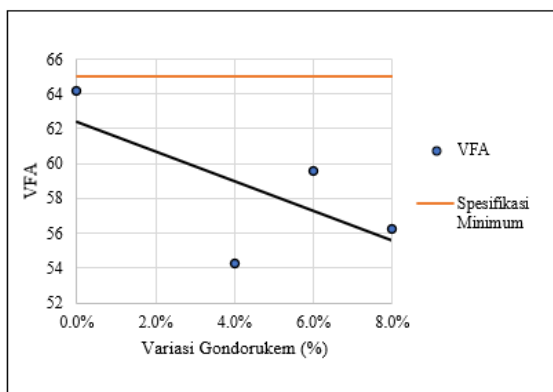
Gambar 5. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai Flow pada Suhu Pencampuran 120 °C



Gambar 6. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai MQ pada Suhu Pencampuran 120°C



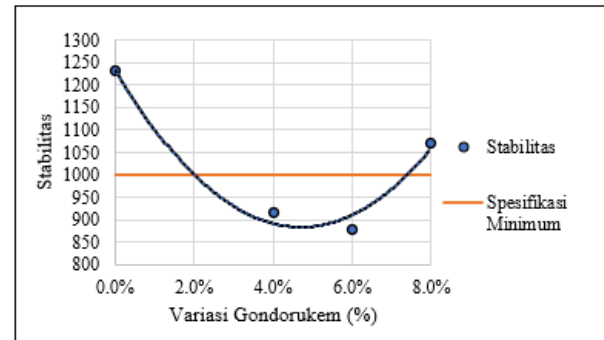
Gambar 7. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai VMA pada Suhu Pencampuran 120°C



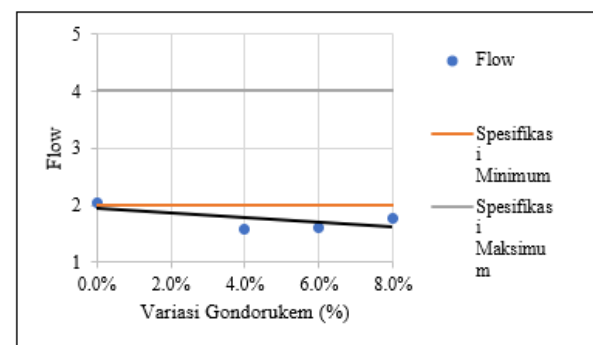
Gambar 8. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai VFA pada Suhu Pencampuran 120°C

No	Karakteristik	Spesifikasi	Kadar Substitusi Gondorukem (%)			
			0%	4%	6%	8%
140°C	1 Stabilitas (kg)	Min. 1000	1231.90	914.82	880.10	1070.90
	2 Flow (mm)	2,0 - 4,0	2.05	1.59	1.60	1.77
	3 MQ (kg/mm)	Min. 250	679.74	641.47	499.46	720.39
	4 VMA (%)	Min. 14	15.66	20.79	19.47	19.36
	5 VIM (%)	3,0 - 5,0	4.44	9.15	8.75	8.62
	6 VFA (%)	Min. 65	72.01	50.75	55.20	56.20

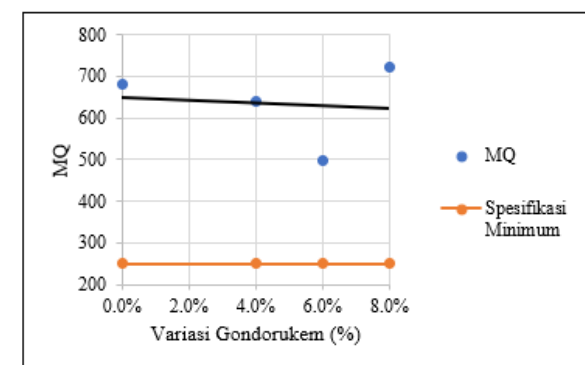
Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 9. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai Stabilitas pada Suhu Pencampuran 140°C

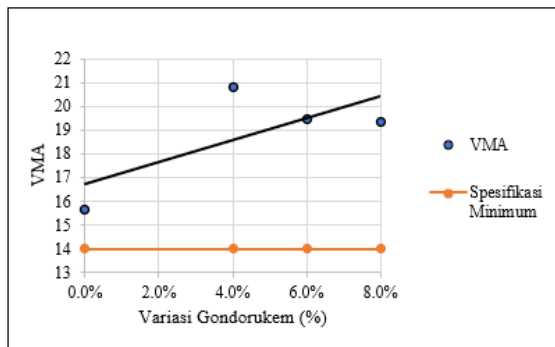


Gambar 10. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai Flow pada Suhu Pencampuran 140°C

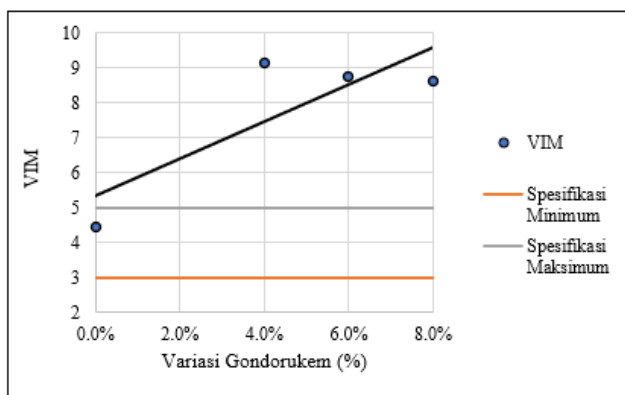


Gambar 11. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai MQ pada Suhu Pencampuran 140°C

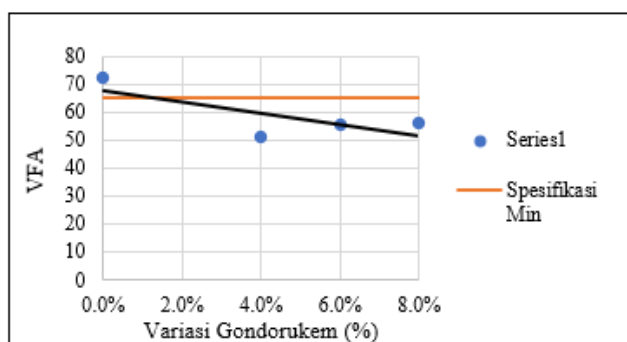
Tabel 4. Rekapitulasi Pengujian Marshall 140°C



Gambar 12. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai VMA pada Suhu Pencampuran 140°C



Gambar 13. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai VIM pada Suhu Pencampuran 140°C

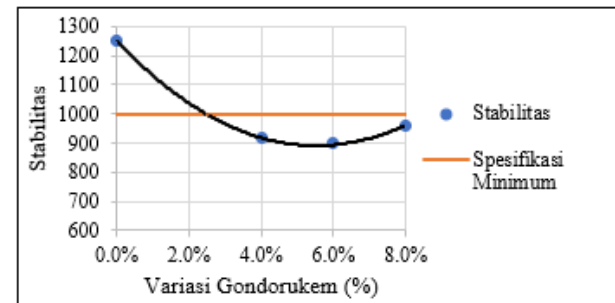


Gambar 14. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai VFA pada Suhu Pencampuran 140°C

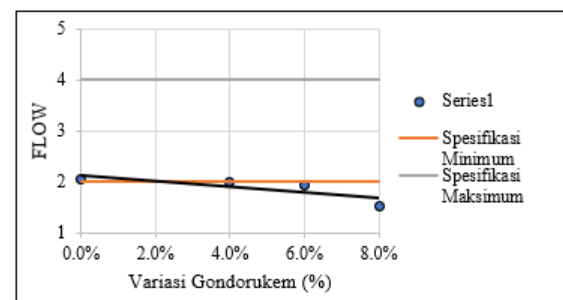
Tabel 5. Rekapitulasi Pengujian Marshall 160°C

No	Karakteristik	Spesifikasi	Kadar Substitusi Gondorukem (%)			
			0%	4%	6%	8%
1	Stabilitas (kg)	Min. 1000	1248.28	914.82	897.79	960.40
2	Flow (mm)	2,0 - 4,0	2.04	1.99	1.94	1.53
3	MQ (kg/mm)	Min. 250	690.47	478.78	532.31	681.38
4	VMA (%)	Min. 14	14.47	17.71	18.99	17.90
5	VIM (%)	3,0 - 5,0	3.08	6.97	8.21	6.76
6	VFA (%)	Min. 65	65.18	49.66	56.88	63.91

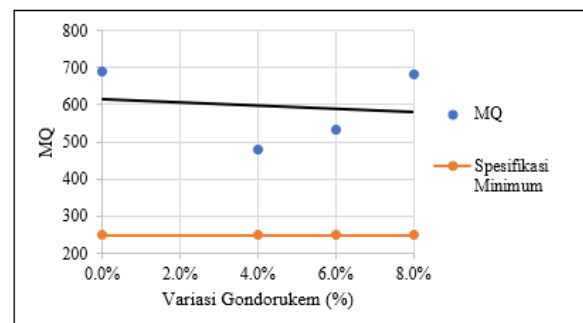
Sumber : Hasil Perhitungan



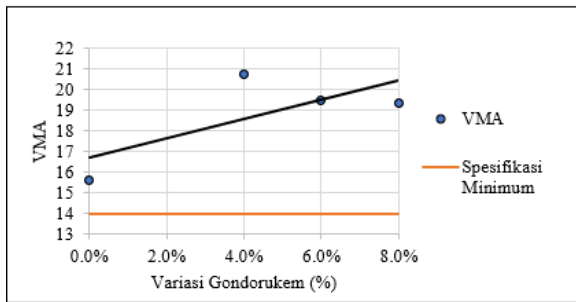
Gambar 15. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai Stabilitas pada Suhu Pencampuran 160°C



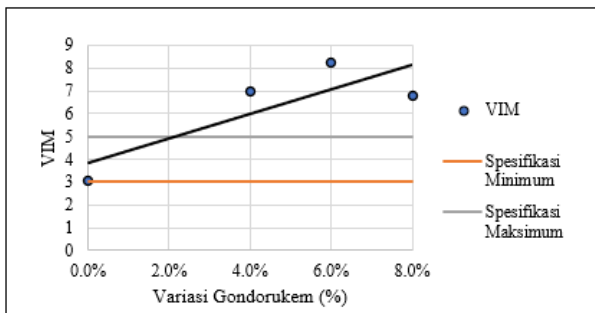
Gambar 16. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai Flow pada Suhu Pencampuran 160°C



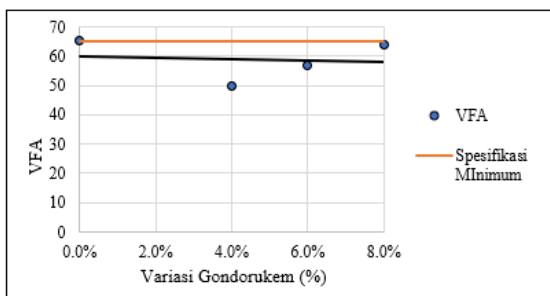
Gambar 17. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai MQ pada Suhu Pencampuran 160°C



Gambar 18. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai VMA pada Suhu Pencampuran 160°C



Gambar 19. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai VIM pada Suhu Pencampuran 160°C



Gambar 20. Hubungan Variasi Kadar Gondorukem terhadap Nilai VFA pada Suhu Pencampuran 160°C

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan sebagai berikut : Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) seluruh material dasar penyusun campuran, yaitu agregat kasar, agregat halus, filler, aspal, dan rosin (gondorukem), telah memenuhi persyaratan spesifikasi teknis yang berlaku; (2) kadar aspal optimum (KAO) yang diperoleh adalah 5,75%; (3) penambahan gondorukem menurunkan nilai stabilitas dari rata-rata 1.240,42 kg (0%) menjadi 883,06-1.000,10 kg (4-8%) dan meningkatkan nilai VIM dari 4,559% menjadi 7,938-8,788%, sementara nilai flow, MQ, dan VMA pada sebagian besar variasi masih memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018; (4) berdasarkan uji ANOVA dua arah, kadar gondorukem berpengaruh signifikan ($P\text{-value} < 0,05$) terhadap seluruh parameter Marshall, sedangkan suhu pencampuran dan interaksi kedua faktor tidak berpengaruh signifikan ($P\text{-value} > 0,05$); (5) berdasarkan keseimbangan seluruh parameter Marshall pada suhu 140°C dan 160°C, kadar gondorukem 4% direkomendasikan sebagai kadar substitusi optimum; dan (6) total biaya penelitian skala laboratorium adalah Rp234.344,58, sedangkan pada skala produksi konstruksi, penambahan gondorukem meningkatkan harga satuan pekerjaan AC-WC dari Rp1.740.575,01/ton



menjadi Rp1.813.684,53-Rp1.886.794,05/ton pada kadar 4-8%, sehingga penerapannya perlu mempertimbangkan aspek ekonomi selain kinerja teknis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SNI 1969-2016, Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2016.
- [2] SNI 1970-2016, Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2016.
- [3] SNI 03-6723-2002, Spesifikasi Bahan Pengisi untuk Campuran Beraspal. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2002.
- [4] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan, Divisi 6 - Perkerasan Aspal. Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018.
- [5] SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 1991.
- [6] T. Hidayat, S. Widyaningrum, Y. Idrus, and A. Massara, "Analisis Karakteristik Marshall Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Menggunakan Bahan Tambah Gondorukem," *J. Ilm. Mhs. Tek. Sipil*, vol. 4, no. 1, 2022.
- [7] E. E. Putri, T. Kurniati, Y. Yosritzal, and A. D. E. Putra, "Effects of Gondorukem addition on AC-WC pavement containing reclaimed asphalt pavement," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 933, no. 1, 2020.
- [8] S. Corraliza, M. Serra, A. R. Pasandín, I. Pérez, and P. Prendes-González, "Characterization of sustainable emulsions made from resin-based biobinder for road pavement applications," *J. Clean. Prod.*, vol. 453, 2024.
- [9] R. A. Yamin, Z. A. Nurhidayati, L. F. Hidayatiningrum, and D. Hamdani, "Gopal as a Sustainable Alternative: Chemical, Rheological, and Mechanical Insights," *Constr. Mater.*, vol. 4, no. 4, pp. 777-786, 2024.
- [10] E. Savitri, E. Purwanto, R. K. Widi, A. Y. Widiyanto, R. S. Pratama, and Y. G. T. Harijono, "Eco-friendly durable asphalt using maleic-modified rosin ester," *Int. J. Adv. Appl. Sci.*, vol. 14, no. 3, pp. 793-803, 2025.
- [11] M. A. Muhtaibillah, Jasman, Hamsyah, and Adnan, "Variasi Temperatur Pencampuran terhadap Parameter Marshall pada Campuran Lapis Aspal AC-BC," *Konstruksi J. Ilmu Tek. Perenc. Tata Ruang dan Tek. Sipil*, vol. 2, no. 4, pp. 69-80, 2024.
- [12] Ikhlaz Zai and F. S. L. D. P., "Studi Eksperimental Nilai Marshall pada Campuran AC-WC Menggunakan Aspal Modifikasi Karet Alam Terhadap Variasi Suhu Pemadatan," 2025.
- [13] M. T. Putra, H. R. Destania, and F. Febryandi, "Analisis Karakteristik Marshall Campuran Aspal Modifikasi pada Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) dengan



Penambahan Serbuk Ban Kendaraan," J. Tek. Sipil, vol. 19, no. 2, pp. 335-350, 2023.

[14] E. E. Putri, F. M. R. Kasyafi, and F. Ahmad, "Performance of rubber asphalt in split mastic asphalt mixture," E3S Web Conf., vol. 464, 2023.

[15] A. R. Harahap, S. Wiyono, and A. Puri, "Pengaruh Rendaman Air Gambut terhadap Durabilitas AC-WC," Media Komun. Tek. Sipil, vol. 28, no. 2, 2022.

[16] B. D. Afrah, J. F. Delli Saputri, T. M. Ramona Putri, M. Ihsan Riady, and A. N. Muzzaki, "Pemanfaatan Tar Residu Bio-Oil Limbah Tempurung Kelapa dengan Aditif Biochar dan Gondorukem Menjadi Bio-Aspal," Cantilever J. Penelit. dan Kaji. Bid. Tek. Sipil, vol. 14, no. 1, pp. 61-68, 2025.

[17] Arie Rafiani, "Pengaruh Penggunaan Gondorukem (Resina Colophium) sebagai Ganti Sebagian Aspal pada Campuran Aspal Porus terhadap Karakteristik Marshall," 2024.

[18] A. Syaifuddin, K. Sa'diyah, and D. E. D. Prasetya, "Peningkatan Kualitas Gondorukem dengan Variasi Konsentrasi Terpentin pada Pencucian Getah Pinus," J. Penelit. Hasil Hutan, vol. 43, no. 1, pp. 10-20, 2025.