



Research Articles

Pengaruh Tebal Film Aspal terhadap Kinerja Campuran Bergradasi FAA Berdasarkan Variasi Ukuran Maksimum Agregat

Influence of Asphalt Film Thickness on Performance of FAA-Graded Mixtures Based on Variations in Maximum Aggregate Size

Ratna Yuniarti*, Rohani, Hasyim, Made Mahendra, Fera Fitri Salsabila

Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, INDONESIA

*corresponding author, email : ratna_yuniarti@unram.ac.id

Manuscript received: 26-02-2026. Accepted: 21-06-2026

ABSTRAK

Perkerasan lentur pada bandar udara harus didesain untuk mampu memikul pembebanan pesawat terbang yang berat dan berulang. Karena itu, *hot mix asphalt* pada perkerasan lentur bandar udara harus sesuai dengan persyaratan yang tercantum dalam dokumen FAA Advisory Circular AC 150/5370-10. Kajian ini mengevaluasi pengaruh dari ketebalan film aspal dari campuran bergradasi FAA dengan tiga ukuran maksimum agregat yaitu 25 mm, 19 mm dan 12.5 mm terhadap sifat mekanisnya. Berdasarkan analisa, disimpulkan bahwa ukuran maksimum agregat pada gradasi FAA berperan dalam menentukan luas permukaan terselimuti aspal dan tebal film aspal yang dihasilkan. Ketebalan film aspal sangat mempengaruhi nilai Marshall, *flow* (kelelehan), dan Marshall Quotient. Tebal film aspal yang lebih besar menghasilkan nilai indeks kekuatan sisa lebih tinggi yang berarti bahwa campuran lebih mampu menahan resiko terjadinya pelepasan butiran. Gradasi dengan ukuran maksimum agregat lebih kecil menghasilkan film aspal lebih tipis, sehingga lapisan aspal lebih rentan terhadap kerusakan akibat penetrasi air. Uji ketahanan campuran terhadap rendaman air melalui *indirect tensile strength* menunjukkan bahwa nilai TSR pada ketiga variasi ukuran maksimum agregat memenuhi standar FAA yaitu lebih besar dari 75%.

Kata kunci : ukuran maksimum agregat, tebal film aspal, gradasi FAA, campuran aspal panas

ABSTRACT

Flexible pavements at airports must be designed to withstand heavy and repeated aircraft loadings. Therefore, the hot mix asphalt for airport flexible pavements must comply with the specifications outlined in the FAA Advisory Circular AC 150/5370-10. This study evaluated the effect of asphalt film thickness on the mechanical properties of FAA-graded mixtures with three maximum aggregate sizes: 25, 19, and 12.5 mm. The analysis concluded that the maximum aggregate size in FAA gradations plays a role in determining the surface area covered by asphalt and the resulting asphalt film thickness. Asphalt film thickness significantly influenced the Marshall value, flow, and Marshall Quotient. A thicker asphalt film results in a higher retained stability index, indicating that the mixture is more capable of withstanding stripping. Gradation with a smaller maximum aggregate size results in a thinner asphalt film, making the asphalt layer more susceptible to damage owing to water penetration. The test of the mixture's resistance to water immersion through indirect tensile strength showed that the TSR value for the three variations of the maximum aggregate size met the FAA standard, which was greater than 75%.

Keywords: maximum aggregate size, asphalt film thickness, FAA graded, hot mix asphalt

PENDAHULUAN

Perkerasan lentur pada bandar udara seperti *runway* dan *taxiway* harus didesain untuk mampu memikul pembebanan pesawat terbang yang berat dan berulang. Campuran beraspal panas (*hot mix asphalt*, HMA) untuk lapis permukaan bandar udara diatur oleh Federal Aviation Administration (FAA) dalam dokumen spesifikasi FAA Advisory Circular AC 150/5370-10 (FAA, 2014). Spesifikasi ini merupakan panduan yang menetapkan standar kualitas aspal, agregat dan parameter kinerja campuran.

Salah satu parameter agregat yang berpengaruh terhadap struktur campuran adalah ukuran maksimum agregat (*maximum aggregate size*, MAS). Pada perkerasan lentur bandar udara, terdapat tiga variasi gradasi berdasarkan ukuran maksimum agregat, yaitu 25 mm, 19 mm dan 12.5 mm. Ukuran maksimum agregat mempengaruhi nilai volumetrik seperti rongga dalam campuran dan rongga antar mineral agregat (Hmoud, 2011). Ukuran maksimum berkaitan dengan gradasi atau distribusi ukuran agregat yang selanjutnya menentukan durabilitas (keawetan) dari campuran tersebut. Di samping itu, karakteristik *rutting* akibat pembebanan pada campuran *stone matrix asphalt* juga ditentukan oleh ukuran maksimum agregat (Liu *et al.*, 2017).

Ukuran maksimum agregat menentukan total luas permukaan agregat yang terselimuti aspal. Campuran dengan ukuran maksimum agregat lebih kecil, mempunyai total luas lebih besar pada penggunaan aspal dengan persentase yang sama. Luas permukaan agregat terselimuti aspal dihitung dengan mengalikan persentase agregat yang lolos untuk saringan tertentu dengan faktor luas permukaan saringan tersebut (The Asphalt Institute, 1993).

Total luas permukaan agregat menentukan ketebalan film aspal. Tebal film aspal adalah ketebalan rata-rata lapisan aspal yang melapisi agregat dan dapat dihitung berdasarkan kadar aspal efektif dan luas permukaan agregat. Khan *et al.*, (2025) melakukan analisa proporsi aspal dan agregat yang membentuk tebal film aspal, menyimpulkan bahwa *binder film thickness* berpengaruh signifikan terhadap stabilitas dan durabilitas campuran secara keseluruhan.

Ketebalan selimut aspal semakin berkurang dengan meningkatnya luas permukaan agregat. Luas permukaan yang lebih besar menghasilkan ketebalan film aspal yang lebih tipis. Sebaliknya, pada campuran yang menggunakan ukuran maksimum agregat lebih besar, menghasilkan film aspal yang lebih tebal.

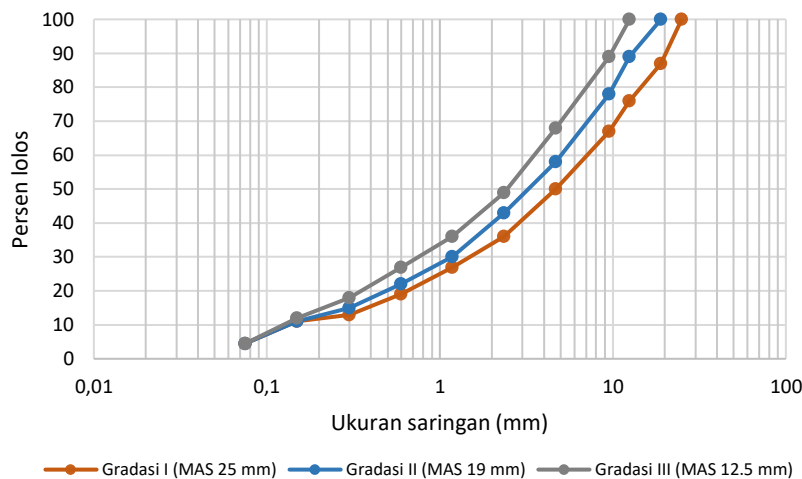
Karim *et al.*, (2021) melaporkan bahwa ketebalan film aspal dipengaruhi oleh ukuran maksimum agregat. Tebal film aspal tersebut berperan penting dalam menentukan stabilitas dan durabilitas campuran. Film aspal yang terlalu tipis mudah menyebabkan pengelupasan butiran, penurunan stabilitas, rentah terhadap kelembaban dan paparan sinar matahari (Robert *et al.*, 1991). Film yang terlalu tebal dapat menyebabkan deformasi plastis. Temuan yang sama juga dilaporkan oleh Lin *et al.*, (2023) bahwa tidak memadainya tebal film aspal mengurangi ikatan antara aspal dan agregat, sedangkan tebal yang berlebihan mengurangi kekakuan sehingga rentan terhadap deformasi. Al-khateeb (2016) menyebutkan bahwa tebal film aspal merupakan aspek kunci dari durabilitas campuran.

Hubungan kuantitatif antara ukuran maksimum agregat dan tebal film aspal terhadap kinerja campuran pada gradasi FAA masih terbatas pengkajiannya. Karena itu, tulisan ini mengulas pengaruh tebal film aspal terhadap kinerja campuran bergradasi FAA dengan tiga variasi ukuran maksimum agregat sebagaimana yang tertuang dalam FAA Advisory Circular AC 150/5370-10 (FAA, 2014).

BAHAN DAN METODE

Analisis campuran bergradasi FAA ini didasarkan hasil penelitian Ramadhani (2025). Pada penelitian tersebut, digunakan agregat yang berasal dari Praya Timur, Lombok Tengah. Pengujian aspal terdiri dari uji penetrasi aspal, daktilitas, titik lembek, titik nyala, berat jenis dan kehilangan berat. Adapun uji agregat kasar terdiri dari keausan, analisa saringan, berat jenis, penyerapan air, dan kelekatan agregat pada aspal. Uji agregat halus terdiri dari analisa saringan, berat jenis, dan penyerapan air.

Gradasi agregat yang mempunyai ukuran maksimum masing-masing 25 mm, 19 mm dan 12.5 mm disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Gradasi FAA dengan ukuran maksimum 25 mm, 19 mm dan 12.5 mm

Persentase aspal yang dipakai adalah 4.5-6.5% terhadap berat campuran. Aspal dan agregat selanjutnya dicampur pada suhu 160°C kemudian dipadatkan 75 kali pada masing-masing sisi. Kadar aspal efektif dapat dihitung dengan pers. 1.

Kadar aspal efektif:

$$P_{ae} = P_a - \frac{P_{ab} \times P_s}{100} \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

P_{ae} = kadar aspal efektif (%)

P_a = persentase penggunaan aspal dalam campuran (%)

P_{ab} = persentase aspal yang masuk melalui pori agregat (%)

P_s = persentase agregat terhadap total campuran (%)

Tebal film aspal:

$$TF = \frac{P_{ae}}{G_a} \times 1000 \times \frac{1}{LP \times P_s \times 1000} \dots\dots\dots (2)$$

dengan:

TF = tebal film aspal (μm)

P_{ae} = kadar aspal efektif (%)

G_a = berat jenis aspal

LP = luas permukaan agregat (m^2/kg)

P_s = persentase agregat terhadap campuran (%)

Berdasarkan gradasi FAA dengan ukuran maksimum 25 mm, 19 mm dan 12.5 mm sebagaimana disajikan pada Gambar 1, dianalisa pengaruh tebal film aspal terhadap stabilitas, kelelahan, Marshall Quotient, Marshall *immersion* dan *indirect tensile strength*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil pemeriksaan aspal

Jenis pemeriksaan	Metode	Hasil pemeriksaan ^{*)}
Penetrasi (0.1 mm)	AASHTO T 49	68.6
Titik lembek (°C)	AASHTO T 53	49.5
Titik nyala (°C)	AASHTO T 48-89	350
Daktilitas (cm)	AASHTO T 51	135.5
Berat jenis	AASHTO T 228-90	1.078
Kehilangan berat (%)	AASHTO T 179-88	0.146

Sumber: ^{*)} Ramadhani (2025)

Tabel 2. Hasil pemeriksaan agregat

Jenis pemeriksaan	Metode	Agregat kasar ^{*)}	Agregat halus ^{*)}
Keausan <i>impact</i> (%)	BS 812	21.57	-
Berat jenis bulk		2.769	2.731
Berat jenis semu	AASHTO T 85-88	2.970	2.793
Penyerapan terhadap air (%)	AASHTO T 84-88	2.430	0.820
Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	AASHTO T 182-84	100	-

Sumber: ^{*)} Ramadhani (2025)

Tabel 3. Hasil uji Marshall

Kandungan aspal (%)	Stabilitas Marshall (kg)		
	Gradasi I (MAS 25 mm)	Gradasi II (MAS 19 mm)	Gradasi III (MAS 12.5 mm)
4.5	1799	1757	1957
5.0	2157	2114	2235
5.5	2459	2351	2342
6.0	2180	2304	2248
6.5	1614	1845	2071
Persyaratan²⁾	Minimal 2150 lbs (976 kg)		

Sumber: ¹⁾ Ramadhani (2025)

²⁾ FAA Advisory Circular AC 150/5370-10G (2014)

Tabel 4. Hasil uji *flow*

Kandungan aspal (%)	Flow (mm)		
	Gradasi I (MAS 25 mm)	Gradasi II (MAS 19 mm)	Gradasi III (MAS 12.5 mm)
4.5	3.77	3.63	3.70
5.0	3.07	3.07	2.77
5.5	2.39	2.56	2.54
6.0	3.06	2.87	3.13
6.5	4.68	3.60	3.85
Persyaratan²⁾	10-16 (0.01 in) = 2.5-4 mm		

Sumber: ¹⁾ Ramadhani (2025)

²⁾ FAA Advisory Circular AC 150/5370-10G (2014)

Tabel 5. Hasil uji Marshall Quotient

Kandungan aspal (%)	Marshall Quotient (kg/mm)		
	Gradasi I (MAS 25 mm)	Gradasi II (MAS 19 mm)	Gradasi III (MAS 12.5 mm)
4.5	499	485	514
5.0	703	693	810
5.5	1028	922	922
6.0	714	811	727
6.5	372	514	538
Persyaratan²⁾	-		

Sumber: ¹⁾ Ramadhani (2025)

²⁾ FAA Advisory Circular AC 150/5370-10G (2014)

Tabel 6. Hasil uji Marshall *immersion*

Ukuran maksimum agregat	Marshall (kg)	Marshall <i>immersion</i> (kg)	Indeks kekuatan sisa (%)
Gradasi I (MAS 25 mm)	2459	2324	94.491
Gradasi II (MAS 19 mm)	2351	1953	83.094
Gradasi III (MAS 12.5 mm)	2342	1837	78.436
Persyaratan²⁾	-		

Sumber: ¹⁾ Ramadhani (2025)

²⁾ FAA Advisory Circular AC 150/5370-10G (2014)

Tabel 7. Hasil uji *indirect tensile strength*

Ukuran maksimum agregat	ITS <i>dry</i> (kPa)	ITS <i>wet</i> (kPa)	<i>Tensile Strength Ratio</i> (%)
Gradasi I (MAS 25 mm)	589	578	98.2
Gradasi II (MAS 19 mm)	540	507	93.8
Gradasi III (MAS 12.5 mm)	508	463	91.1
Persyaratan²⁾	Minimal 75		

Sumber: ¹⁾ Ramadhani (2025)

²⁾ FAA Advisory Circular AC 150/5370-10G (2014)

Stabilitas Marshall adalah kemampuan campuran untuk memikul pembebanan tanpa terjadi perubahan bentuk. Sebagaimana yang disajikan pada Tabel 3, pada seluruh variasi ukuran maksimum agregat, nilai Marshall mencapai maksimum pada proporsi aspal 5.5%. Di bawah kadar 5.5%, jumlah aspal kurang memberikan ikatan dengan agregat. Sebaliknya pada persentase yang melebihi kadar optimum, proporsi aspal yang terlalu tebal mengurangi *interlocking* antara partikel-partikel agregat sehingga mengurangi stabilitasnya.

Nilai *flow* yang dihasilkan mencapai minimum pada proporsi aspal 5.5%. Nilai *flow* merupakan indikator dari lendutan yang terjadi ketika campuran diberi pembebanan. Hal tersebut berarti bahwa campuran lebih stabil ketika nilai stabilitasnya mencapai nilai tertinggi. Adapun Marshall Quotient (MQ) adalah hasil bagi antara Marshall dan *flow*, sebagai parameter dari kekakuan empiris. Seperti juga nilai Marshall, nilai MQ mencapai maksimum pada kadar aspal 5.5% pada seluruh variasi ukuran maksimum agregat.

Sebagaimana yang disajikan pada Tabel 6, terjadi penurunan nilai stabilitas Marshall campuran akibat rendaman air (Marshall *immersion*). Dari perbandingan nilai Marshall dan Marshall *immersion*, dapat diketahui indeks kekuatan sisa (IKS). Nilai IKS tertinggi dicapai pada campuran dengan ukuran maksimum 25 mm. Adapun Tabel 7 menyajikan nilai *tensile strength ratio* yang juga mencapai tertinggi pada campuran dengan ukuran maksimum 25 mm.

Ukuran maksimum agregat berpengaruh langsung terhadap total luas permukaan agregat. Semakin kecil ukuran maksimum agregat, semakin besar luas permukaan yang perlu diselubungi aspal. Dengan ukuran maksimum pada masing-masing gradasi adalah 25 mm, 19 mm dan 12.5 mm, hasil perhitungan total luas permukaan disajikan pada Tabel 8. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa gradasi III yang menggunakan ukuran maksimum 12.5 mm, menghasilkan luas permukaan terbesar, yaitu 6.51 m²/kg. Hal ini sejalan dengan Alkofahi and Khedaywi (2019) yang melaporkan bahwa semakin banyak digunakan agregat halus, permukaan agregat yang terlapisi oleh aspal akan semakin besar.

Tabel 8. Hasil perhitungan luas permukaan agregat

Ukuran Saringan (mm)	Faktor Luas Permukaan (FLP)	Persen lolos saringan			FLP x % lolos		
		Gradasi I (MAS 25 mm)	Gradasi II (MAS 19 mm)	Gradasi III (MAS 12.5 mm)	Gradasi I (MAS 25 mm)	Gradasi II (MAS 19 mm)	Gradasi III (MAS 12.5 mm)
25	0.41	100			0.41		
19	0.41	87	100		*	0.41	
12.5	0.41	76	89	100	*	*	0.41
9.5	0.41	67	78	89	*	*	*
4.75	0.41	50	58	68	0.21	0.24	0.28
2.36	0.82	36	43	49	0.30	0.35	0.40
1.18	1.64	27	30	36	0.44	0.49	0.59
0.6	2.87	19	22	27	0.55	0.63	0.77
0.3	6.14	13	15	18	0.80	0.92	1.11
0.15	12.29	11	11	12	1.35	1.35	1.47
0.075	32.77	4.5	4.5	4.5	1.47	1.47	1.47
Luas permukaan total agregat (m ² /kg)					5.52	5.87	6.51

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 9. Hasil perhitungan kadar aspal efektif

Kandungan aspal (%)	Kadar aspal efektif (%)		
	Gradasi I (MAS 25 mm)	Gradasi II (MAS 19 mm)	Gradasi III (MAS 12.5 mm)
4.5	3.55	3.61	3.66
5	4.06	4.12	4.17
5.5	4.56	4.62	4.67
6	5.07	5.13	5.18
6.5	5.57	5.63	5.68

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 10. Hasil perhitungan tebal film aspal

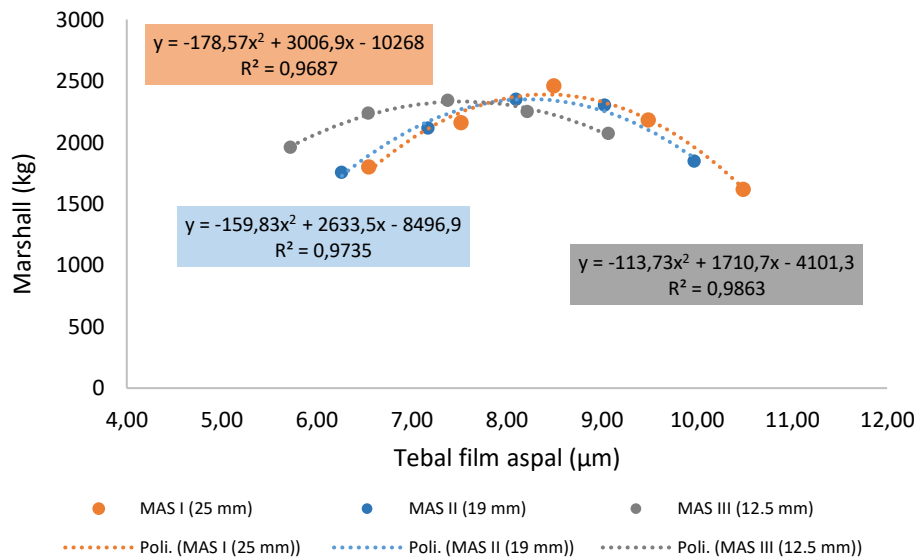
Kandungan aspal (%)	Tebal film aspal (µm)		
	Gradasi I (MAS 25 mm)	Gradasi II (MAS 19 mm)	Gradasi III (MAS 12.5 mm)
4.5	6.55	6.26	5.72
5	7.52	7.18	6.55
5.5	8.50	8.10	7.38
6	9.49	9.03	8.22
6.5	10.49	9.97	9.07

Sumber: Hasil perhitungan

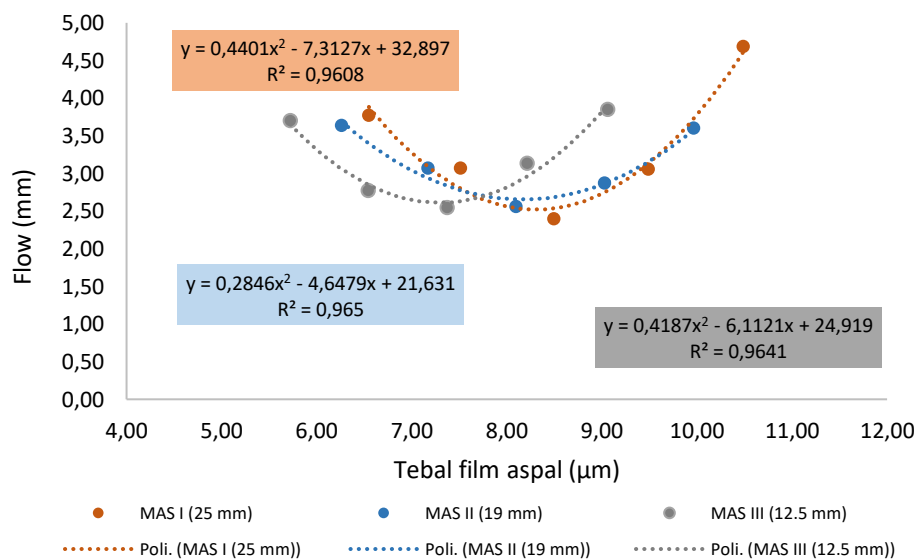
Distribusi susunan butiran serta ukuran maksimum agregat mempengaruhi kadar aspal yang terabsorpsi, kadar aspal efektif dan tebal film aspal. Tabel 10 menunjukkan bahwa film

aspal menjadi menjadi lebih tipis pada gradasi III yang ukuran maksimumnya 12.5 mm akibat semakin luasnya permukaan agregat yang ditutupi aspal. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kandhal and Khatri (1992) bahwa semakin kecil butiran agregat, semakin tipis ketebalan film aspal pada campuran.

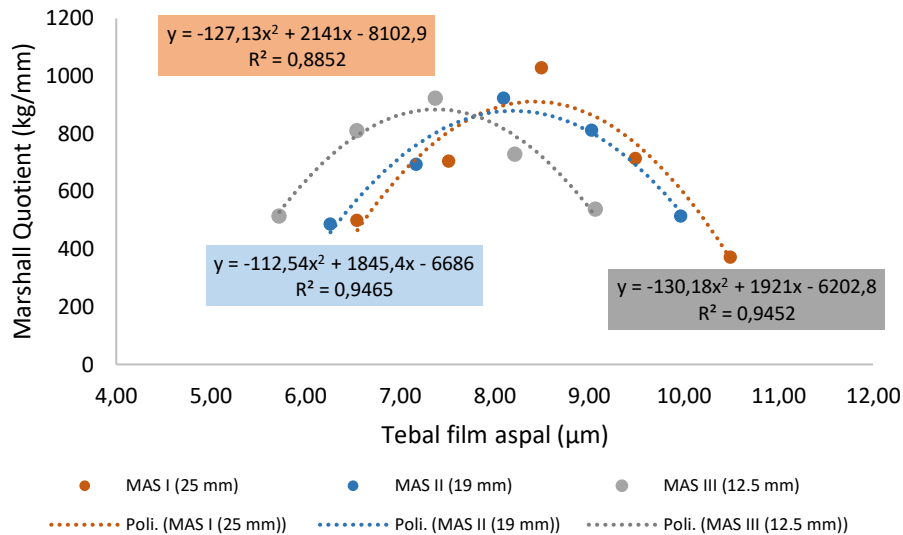
Hubungan antara tebal film aspal dengan stabilitas Marshall dan durabilitas campuran ditampilkan pada Gambar 2-6.



Gambar 2. Hubungan tebal film aspal dengan Marshall



Gambar 3. Hubungan tebal film aspal dengan flow



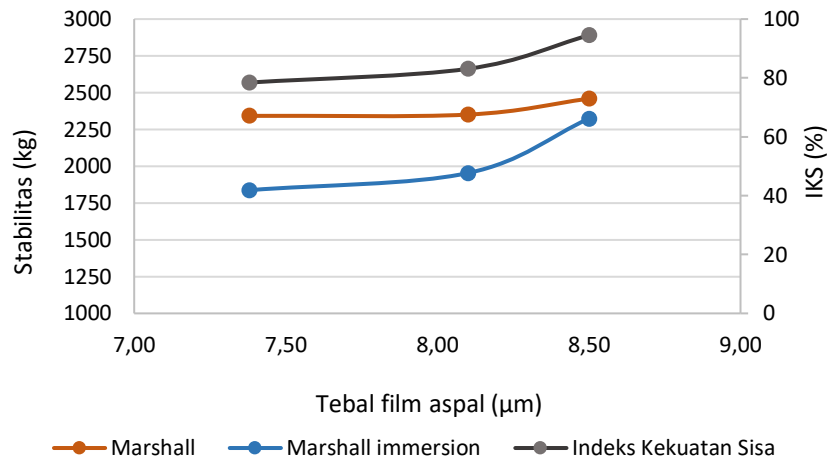
Gambar 4. Hubungan tebal film aspal dengan Marshall Quotient

Dilihat dari Gambar 2, tebal film aspal dengan stabilitas Marshall menunjukkan hubungan yang tidak linier. Pada film aspal yang relatif tipis, aspal tidak cukup kuat mengikat partikel-partikel agregat sehingga stabilitas Marshall tidak maksimal. Lapisan tipis tersebut berpotensi menurunkan kemampuan campuran untuk menahan pembebanan. Pada ketebalan yang lebih besar, film aspal berpotensi meningkatkan deformasi plastis sehingga kemampuan menahan pembebanan menjadi menurun. Bila dikaitkan dengan ukuran maksimum agregat, nilai stabilitas Marshall yang paling tinggi diperoleh pada campuran dengan ukuran maksimum 25 mm. Hal ini disebabkan karena agregat dengan ukuran maksimum lebih besar membentuk struktur rangka yang lebih kuat dan meningkatnya kontak antar partikel agregat.

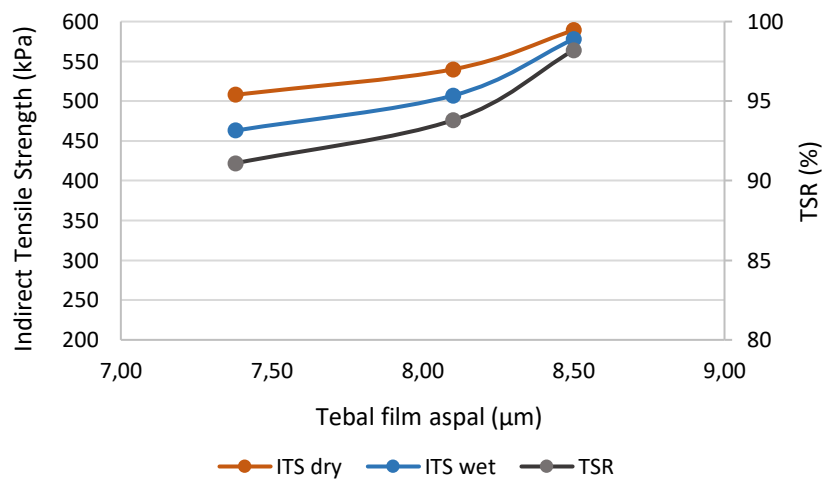
Berdasarkan Gambar 3, nilai *flow* juga dipengaruhi oleh tebal film aspal. Tebal film aspal yang kecil berisiko terhadap durabilitas campuran, yaitu ikatan dengan agregat mudah terlepas, rentan mengalami pelapukan akibat paparan sinar matahari akibat tipisnya lapisan pelindung. Sebaliknya film aspal yang terlalu besar meningkatkan deformasi plastis sehingga nilai *flow* menjadi lebih tinggi.

Pada ukuran maksimum 25 mm dan tebal film aspal 8.5 µm, nilai *flow* mencapai angka paling rendah yang berarti bahwa campuran tersebut lebih kaku dibandingkan campuran dengan ukuran maksimum yang lebih kecil. Pada seluruh ukuran maksimum agregat, nilai R^2 berada pada rentang 0.9608-0.965, yang berarti bahwa tebal film aspal mempunyai pengaruh yang sangat signifikan terhadap nilai *flow*.

Sebagai parameter yang diperoleh dari hasil bagi Marshall dan *flow*, nilai MQ juga mencapai tertinggi pada campuran dengan ukuran maksimum agregat 25 mm dan tebal selimut aspal 8.5 µm. Adapun pada campuran yang ukuran maksimum agregatnya kecil, aspal tersebar tipis dan kohesi *binder* kurang optimal. Kondisi ini mengakibatkan stabilitas yang dihasilkan menjadi lebih rendah yang berdampak pada rendahnya nilai MQ.



Gambar 5. Hubungan tebal film aspal dengan Marshall immersion



Gambar 6. Hubungan tebal film aspal dengan indirect tensile strength

Marshall immersion menunjukkan ketahanan campuran terhadap rendaman air, sebagai tolok ukur durabilitas campuran. Dari Gambar 5 terlihat bahwa hasil uji Marshall immersion menunjukkan perbedaan pada tiga gradasi FAA dengan ukuran maksimum 25 mm, 19 mm, dan 12.5 mm. Campuran yang menggunakan ukuran maksimum agregat lebih besar menghasilkan ketebalan film aspal lebih tebal. Lapisan aspal tersebut mampu menahan pelepasan aspal dari permukaan agregat dan melindungi agregat dari pengaruh air dengan lebih baik. Hal ini terlihat pada nilai immersion yang relatif lebih tinggi. Sebaliknya, gradasi dengan ukuran maksimum lebih kecil, memiliki ketebalan yang lebih tipis, sehingga lapisan aspal lebih rentan terhadap kerusakan akibat penetrasi air.

Gambar 6 menunjukkan hasil uji indirect tensile strength (ITS) pada kondisi kering dan basah serta rasio dari kedua kondisi tersebut. ITS merupakan tolok ukur dari ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat air (khususnya stripping, yaitu lepasnya ikatan antara aspal dan agregat) dengan menggunakan beban tarik tidak langsung. Ketentuan dalam dokumen FAA Advisory Circular AC 150/5370-10 (FAA, 2014) menyebutkan bahwa nilai minimum TSR adalah 75%, di mana persyaratan ini terpenuhi pada seluruh ukuran maksimum butiran.

Campuran yang menggunakan ukuran maksimum lebih besar sehingga ketebalan film aspal menjadi lebih tebal, mempunyai nilai TSR tinggi. Nilai TSR yang tinggi menunjukkan resistensi yang baik terhadap rendaman air. Hasil ini menegaskan bahwa ukuran maksimum agregat dalam gradasi FAA berpengaruh terhadap tebal film aspal dan mempunyai implikasi langsung terhadap stabilitas dan durabilitas campuran.

KESIMPULAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa ukuran maksimum agregat berpengaruh terhadap luas permukaan agregat, kadar aspal efektif, dan tebal film aspal pada campuran bergradasi FAA. Gradasi dengan ukuran maksimum agregat 25 mm menghasilkan luas permukaan agregat terkecil, yaitu 5,52 m²/kg, sehingga membentuk film aspal yang lebih tebal dibandingkan gradasi dengan ukuran maksimum 19 mm dan 12,5 mm. Sebaliknya, gradasi dengan ukuran maksimum agregat 12,5 mm menghasilkan luas permukaan agregat terbesar, yaitu 6,51 m²/kg, sehingga film aspal yang terbentuk menjadi lebih tipis pada kadar aspal yang sama.

Ketebalan film aspal terbukti memengaruhi kinerja mekanis campuran, terutama stabilitas Marshall, *flow*, dan Marshall Quotient. Hubungan antara tebal film aspal dan kinerja campuran bersifat tidak linier, karena film aspal yang terlalu tipis dapat menurunkan ikatan antara aspal dan agregat, sedangkan film aspal yang terlalu tebal berpotensi meningkatkan deformasi plastis. Pada pengujian durabilitas, campuran dengan ukuran maksimum agregat 25 mm menunjukkan ketahanan terbaik terhadap rendaman air, yang ditunjukkan oleh nilai indeks kekuatan sisa tertinggi sebesar 94,491% dan nilai TSR tertinggi sebesar 98,2%.

Secara keseluruhan, ketiga variasi ukuran maksimum agregat memenuhi persyaratan FAA untuk nilai TSR, yaitu lebih besar dari 75%. Namun, gradasi dengan ukuran maksimum agregat 25 mm memberikan performa paling baik dalam hal tebal film aspal, stabilitas, dan ketahanan terhadap kerusakan akibat air. Temuan ini menunjukkan bahwa pengendalian ukuran maksimum agregat dan tebal film aspal perlu diperhatikan dalam perancangan campuran beraspal panas bergradasi FAA untuk meningkatkan stabilitas dan durabilitas perkerasan lentur bandar udara

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Sdri. Sagita Nurul Ramadhani atas data-data yang dikumpulkan untuk menunjang artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkofahi, N. and Khedaywi, T., 2019. Evaluation the Effect of Asphalt Film Thickness on Stripping Resistance, *International Journal of Applied Engineering Research*, 14(2): 560-570.
- Al-khateeb, G. G., 2016. Conceptualizing the Asphalt Film Thickness to Investigate the Superpave VMA Criteria, *International Journal of Pavement Engineering*, <https://doi.org/10.1080/10298436.2016.1224414>
- Federal Aviation Administration, 2014. Advisory Circular No. 150/5370-10G, Standards for Specifying Construction of Airport, Washington, D.C.
- Hmoud, H. R., 2011. Evaluation of VMA and Film Thickness Requirements in Hot-Mix

- Asphalt. *Modern Applied Science*, 5(4): 166–176.
- Kandhal, P.S. and Khatri, M.A., 1992. Relating Asphalt Absorption to Properties of Asphalt Cement and Aggregate, in *Transportation Research Record 1342*, TRB, National Research Council, Washington, D.C.
- Karim, F., Hussain, J., & Hafeez, I., 2021. Estimating the Asphalt Binder Film Thickness Using Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy. *Advances in Materials Science and Engineering*, <https://doi.org/10.1155/2021/8894970>
- Khan, M.A., Khan, M.S., Nasir, B., Khan, A., Muayad, M., Sabri, S., Ahmad, M., Qamar, W., & Gonzalez-lezcano, R.A., 2025. Performance Optimization of Asphalt Pavements Using Binder Film Thickness as A Criterion in Innovative Mix Design Compared to Marshall and Superpave Methods, *Frontiers in Materials*, <https://doi.org/10.3389/fmats.2024.1488310>
- Lin, P., Liu, X., Ren, S., Xu, J., Li, Y., & Li, M., 2023. Effects of Bitumen Thickness on the Aging Behavior of High-Content Polymer-Modified Asphalt Mixture, *Polymers*, 15, 2325, <https://doi.org/10.3390/polym15102325>
- Liu, H., Hao, P., & Xu, J., 2017. Effects of Nominal Maximum Aggregate Size on the Performance of Stone Matrix Asphalt, *Applied Sciences*, 7, 126, <https://doi.org/10.3390/app7020126>
- Ramadhani, S.N., 2025. Analisis Kinerja Hot Mix Asphalt Menggunakan Aspal Modifikasi Crumb Rubber Berdasarkan Variasi Ukuran Maksimum Agregat, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Roberts, F.L., Kandhal, P.S., Brown, E.R., Lee, D. and Kennedy, T.W., 1991. *Hot-Mix Asphalt Materials, Mix Design, and Construction*, NAPA Education Foundation, Lanham, Maryland.
- The Asphalt Institute, 1993. *Mix Design Method for Asphalt Concrete and Other Hot Mix Types*, Manual Series No. 2 (MS-2), Sixth Edition, Lexington, Kentucky.