



*Research Articles*

## **Analisis Karakteristik Volumetrik Campuran Laston Berdasarkan *Dust Binder Ratio* dan Ketebalan Film Aspal**

### ***Analysis of Volumetric Properties of Asphalt Mixtures Based on Dust Binder Ratio and Asphalt Film Thickness***

**Ratna Yuniarti\*, Desi Widianty, Rohani, Hasyim, Made Mahendra**

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, INDONESIA. Tel. +62-0370 636126

*\*corresponding author, email: ratna\_yuniarti@unram.ac.id*

Manuscript received: 10-09-2024. Accepted: 15-12-2024

#### **ABSTRAK**

Perbandingan bahan pengisi dengan kandungan aspal efektif (*dust binder ratio*) mempengaruhi ikatan antara partikel-partikel halus dengan aspal pada campuran lapis aspal beton (laston). *Dust binder ratio* juga mempengaruhi ketebalan film aspal yang dihasilkan, di mana ketebalan film aspal tersebut memegang peranan penting untuk meningkatkan ketahanan campuran laston terhadap kelembaban dan temperatur. Studi ini menganalisis efek *dust binder ratio* dan tebal film aspal terhadap karakteristik volumetrik pada laston dengan berbagai distribusi ukuran partikel agregat. Berdasarkan hasil analisa, disimpulkan bahwa *dust binder ratio* berbanding terbalik dengan tebal film aspal. *Dust binder ratio* dan tebal film aspal mempunyai pengaruh yang sangat signifikan terhadap sifat volumetrik campuran. Semakin besar nilai *dust binder ratio*, rongga dalam campuran (*voids in mix* = VIM) semakin meningkat sedangkan rongga di antara mineral agregat (*voids in mineral aggregate* = VMA) dan rongga terselimuti aspal (*voids filled with bitumen* = VFB) semakin menurun. Semakin tebal film aspal, VIM semakin menurun sedangkan VMA dan VFB semakin meningkat. Pada penelitian ini, karakteristik volumetrik campuran yang memenuhi spesifikasi Bina Marga diperoleh melalui penggunaan bahan pengisi dan aspal dengan nilai *dust binder ratio* antara 1.2-1.32.

**Kata kunci:** *dust binder ratio*, tebal film aspal, sifat volumetrik

#### **ABSTRACT**

The ratio of filler material to the effective asphalt content (*dust binder ratio*) affects the bond between fine particles and asphalt in asphalt concrete. The *dust binder ratio* also influences the asphalt film thickness, which plays an important role in increasing the resistance of asphalt mixture to humidity and temperature. The aim of this study was to analyze the effects of the *dust binder ratio* and asphalt film thickness on the volumetric properties of mixtures with various aggregate particle size distributions. Based on the analysis results, it was concluded that the *dust binder ratio* is inversely proportional to the thickness of the asphalt film. The *dust binder ratio* and asphalt film thickness had a significant effect on the volumetric properties of the mixture. The greater the value of the *dust binder ratio*, the more voids in the mixture, whereas the voids in the mineral aggregates and the voids filled with bitumen decreased. The thicker the asphalt film, the fewer the voids in the mix, and the voids in the mineral aggregates and

those filled with bitumen increased. In this study, the volumetric properties of the mixture that met the Bina Marga specifications were obtained through the use of filler and asphalt with a dust binder ratio value between 1.2-1.32.

**Key words:** dust binder ratio, asphalt film thickness, volumetric properties

## PENDAHULUAN

Lapis aspal beton (laston) merupakan campuran bergradasi rapat dengan pengikat aspal yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi berupa partikel berukuran  $< 0.075$  mm atau “*dust*”. *Dust binder ratio* adalah perbandingan antara bahan pengisi tersebut dengan kandungan aspal efektif dalam campuran. *Dust binder ratio* sangat penting karena mempengaruhi ketahanan campuran terhadap pelapukan akibat kelembaban dan temperatur (John *et al.*, 2021).

Pada proses pencampuran agregat dengan aspal, sejumlah tertentu dari aspal tersebut akan masuk ke dalam agregat melalui lubang (pori) pada permukaan agregat. Kandungan aspal efektif adalah jumlah aspal yang tidak diserap oleh agregat. Kandungan aspal efektif dihitung dengan cara mengurangi kandungan aspal yang digunakan dengan jumlah aspal yang terserap masuk ke dalam agregat. Persentase kandungan aspal efektif tersebut sangat mempengaruhi ketebalan film aspal dalam campuran.

Menurut Transport Research Laboratory (2002), ketebalan film aspal dihitung dengan cara membagi kandungan aspal efektif dengan total perkiraan luas permukaan partikel agregat dalam satuan mikron. Ketebalan film aspal yang lebih besar menghasilkan campuran yang lebih lentur dan lebih awet. Sebaliknya, ketebalan film aspal yang lebih tipis mengakibatkan campuran menjadi lebih mudah retak dan mudah rapuh (Robert *et al.*, 1991). Untuk melindungi campuran dari kelembaban dan paparan sinar matahari, dibutuhkan ketebalan film aspal dalam jumlah yang memadai. Ketebalan film aspal dapat memperkuat ikatan antara aspal dan agregat sehingga perkerasan jalan dapat berfungsi dengan baik (Airey & Choi, 2002; Collop *et al.*, 2004; Miller & Bellinger, 2003).

Pada campuran dengan *dust binder ratio* yang lebih tinggi, terdapat lebih banyak partikel halus  $< 0.075$  mm dibandingkan dengan aspal. Partikel-partikel halus ini menyerap lebih banyak aspal, menyisakan lebih sedikit aspal yang tersedia untuk membentuk lapisan di permukaan partikel agregat. Hal ini menghasilkan film aspal yang lebih tipis. Adapun pada campuran dengan *dust binder ratio* yang lebih rendah, lebih sedikit partikel halus yang dapat menyerap aspal, sehingga terdapat lebih banyak aspal yang membentuk lapisan lebih tebal dan memberikan perlindungan yang lebih baik pada agregat.

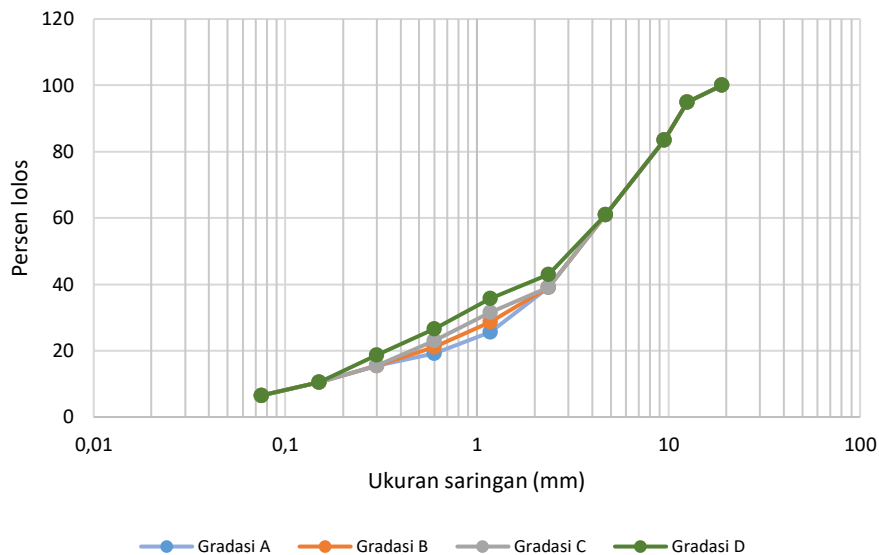
*Dust binder ratio* juga berpengaruh terhadap karakteristik volumetrik pada campuran, antara lain proporsi rongga pada campuran tersebut. Kandhal and Chakraborty (1996) menyatakan bahwa rongga dalam campuran yang tidak memadai berdampak pada tidak cukupnya rongga untuk menampung jumlah aspal ketika rongga menjadi lebih kecil akibat pemadatan oleh lalu lintas sehingga terjadi *bleeding* atau aspal meleleh keluar. Namun sebaliknya apabila rongga dalam campuran melebihi ketentuan yang dipersyaratkan, perkerasan jalan mudah mengalami *aging* (penuaan) dan menimbulkan kerusakan baik retak-retak, pengelupasan butiran, lubang, dan sebagainya.

Studi ini bertujuan untuk menganalisis dampak *dust binder ratio* dan ketebalan film aspal terhadap sifat volumetrik campuran laston, sehingga *dust binder ratio* yang menghasilkan campuran dengan kinerja yang memenuhi persyaratan volumetrik dapat direkomendasikan. Analisis yang dilakukan berpedoman pada standar yang telah ditetapkan Ditjen Bina Marga yaitu Spesifikasi Umum Edisi 2010 Revisi 3.

### BAHAN DAN METODE

Analisis karakteristik campuran ini merujuk pada hasil pengujian Setiabudi (2018). Penelitian tersebut menggunakan agregat kasar dan agregat halus yang berasal dari kecamatan Pringgabaya kabupaten Lombok Timur. Dengan berpedoman pada Standar Nasional Indonesia (SNI), dilakukan pengujian aspal yang meliputi penetrasi, daktilitas, titik nyala, titik lembek, kehilangan berat, dan berat jenis. Adapun pengujian terhadap agregat kasar meliputi berat jenis, analisa saringan, keausan, dan kemampuan agregat untuk melekat pada aspal.

Distribusi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi yang digunakan terdiri dari 4 (empat) gradasi sebagaimana yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Gradasi agregat yang digunakan

Kandungan aspal yang dipakai sebesar 4.5%-6.5% terhadap berat campuran laston. Proses pencampuran pada suhu 155°C sedangkan pemadatan dilakukan dengan 75 tumbukan pada masing-masing sisi sampel. *Dust binder ratio*, kandungan aspal efektif, dan ketebalan film aspal dihitung dengan persamaan 1-3:

*Dust binder ratio*:

$$Dbr = \frac{\% \text{ passing no. 200}}{P_{ae}} \dots\dots\dots (1)$$

dengan:

$P_{ae}$  = kandungan aspal efektif (%)

Kandungan aspal efektif:

$$P_{ae} = P_a - \frac{P_{ab} \times P_s}{100} \dots\dots\dots (2)$$

dengan:

$P_a$  = kandungan aspal yang digunakan (%)

$P_{ab}$  = kandungan aspal yang terserap ke dalam agregat (%)

$P_s$  = kandungan agregat (% terhadap total campuran)

Ketebalan film aspal:

$$TF = \frac{P_{ae}}{G_a} \times 1000 \times \frac{1}{LP \times P_s \times 1000} \dots\dots\dots (3)$$

dengan:

TF = tebal film aspal,  $\mu m$

$P_{ae}$  = kandungan aspal efektif, %

$G_a$  = berat jenis aspal

LP = luas permukaan agregat,  $m^2/kg$

$P_s$  = kandungan agregat, % terhadap total campuran

Berdasarkan gradasi agregat pada Gambar 1, dianalisa pengaruh *dust binder ratio* dan tebal film aspal terhadap sifat volumetrik campuran laston, yaitu besarnya rongga di antara mineral agregat (*voids in mineral aggregate* = VMA), rongga dalam campuran (*voids in mix* = VIM), dan rongga terselimuti aspal (*voids filled with bitumen* = VFB).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil pemeriksaan aspal

Jenis pemeriksaan	Hasil pemeriksaan <sup>1)</sup>	Persyaratan <sup>2)</sup>
<b>Penetrasi (0.1 mm)</b>	67.6	60 - 70
<b>Titik lembek (°C)</b>	48.8	≥ 48
<b>Titik nyala (°C)</b>	≥ 300	≥ 232
<b>Daktilitas (cm)</b>	160	≥ 100
<b>Berat jenis</b>	1.045	≥ 1.00
<b>Kehilangan berat (%)</b>	0.215	≤ 0.8

Sumber: <sup>1)</sup> Setiabudi (2018)  
<sup>2)</sup> Direktorat Jenderal Bina Marga (2013)

Tabel 2. Hasil pemeriksaan agregat

Jenis pemeriksaan	Agregat kasar <sup>1)</sup>	Agregat halus <sup>1)</sup>	Persyaratan <sup>2)</sup>
<b>Keausan <i>impact</i> (%)</b>	8.58	-	≤ 30
<b>Berat jenis bulk</b>	2.66	2.64	≥ 2.5
<b>Berat jenis semu</b>	2.79	2.84	≥ 2.5
<b>Penyerapan terhadap air (%)</b>	1.73	2.67	≤ 3
<b>Kelekatan agregat terhadap aspal (%)</b>	98	-	≥ 95

Sumber: <sup>1)</sup> Setiabudi (2018)  
<sup>2)</sup> Direktorat Jenderal Bina Marga (2013)

Hasil uji pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai penetrasi, daktilitas, titik lembek, titik nyala, berat jenis, dan kehilangan berat pada aspal sesuai dengan persyaratan. Hal tersebut

berarti bahwa tingkat kekerasan aspal, kelenturan, dan jumlah fraksi yang kemungkinan hilang akibat pemanasan memenuhi kriteria yang berlaku. Persyaratan keamanan terhadap bahaya kebakaran ketika dilakukannya proses pembuatan campuran aspal dan agregat pada suhu tinggi di pabrik pencampur aspal juga memenuhi ketentuan. Adapun Tabel 2 menunjukkan bahwa agregat kasar yang digunakan memenuhi syarat keausan *impact* yaitu lebih rendah dari batas maksimum 30%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa agregat kasar memiliki ketahanan yang kuat terhadap pembebanan. Hasil uji berat jenis yang melebihi 2.5% memenuhi persyaratan, dan pori-pori pada permukaan agregat juga relatif kecil sehingga tidak mudah dimasuki air yang menyebabkan terjadinya pengelupasan butiran. Selanjutnya kelekatan agregat terhadap aspal yang melebihi 95% menunjukkan bahwa agregat dapat terselimuti aspal dengan baik.

Pada Tabel 3 sampai dengan Tabel 5 disajikan besarnya sifat volumetrik campuran laston untuk masing-masing gradasi agregat pada kandungan aspal 4.5%-6.5%.

Tabel 3. Hasil uji rongga antar mineral agregat

Kandungan aspal (%)	Rongga antar mineral agregat, %			
	Gradasi A	Gradasi B	Gradasi C	Gradasi D
4.5	13.59	12.96	13.51	<b>13.46</b>
5.0	13.90	13.91	13.58	<b>13.56</b>
5.5	14.79	14.84	14.26	<b>14.34</b>
6.0	15.19	15.26	15.25	<b>15.27</b>
6.5	15.45	15.39	15.57	<b>15.54</b>
<b>Persyaratan<sup>2)</sup></b>	<b>Minimal 15</b>			

Sumber: <sup>1)</sup> Setiabudi (2018)

<sup>2)</sup> Direktorat Jenderal Bina Marga (2013)

Tabel 4. Hasil uji rongga dalam campuran

Kandungan aspal (%)	Rongga dalam campuran, %			
	Gradasi A	Gradasi B	Gradasi C	Gradasi D
4.5	5.82	5.12	5.72	<b>5.67</b>
5.0	4.95	4.95	4.59	<b>4.57</b>
5.5	4.70	4.76	4.12	<b>4.21</b>
6.0	3.96	4.04	4.02	<b>4.05</b>
6.5	3.04	3.11	3.18	<b>3.15</b>
<b>Persyaratan<sup>2)</sup></b>	<b>3 - 5</b>			

Sumber: <sup>1)</sup> Setiabudi (2018)

<sup>2)</sup> Direktorat Jenderal Bina Marga (2013)

Tabel 5. Hasil uji rongga terselimuti aspal

Kandungan aspal (%)	Rongga terselimuti aspal, %			
	Gradasi A	Gradasi B	Gradasi C	Gradasi D
4.5	57.23	60.50	57.66	<b>57.89</b>
5.0	64.45	64.44	66.20	<b>66.35</b>
5.5	68.20	67.92	71.13	<b>70.67</b>
6.0	73.94	73.55	73.61	<b>73.50</b>
6.5	80.33	79.82	79.61	<b>79.77</b>
<b>Persyaratan<sup>2)</sup></b>	<b>Minimal 65</b>			

Sumber: <sup>1)</sup> Setiabudi (2018)

<sup>2)</sup> Direktorat Jenderal Bina Marga (2013)

Tabel 6. Hasil perhitungan luas permukaan agregat

No. saringan	Faktor luas permukaan (FLP)	FLP x % lolos			
		Gradasi A	Gradasi B	Gradasi C	Gradasi D
¾"	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41
½"	*	*	*	*	*
3/8"	*	*	*	*	*
No. 4 (4.75 mm)	0.41	0.25	0.25	0.25	0.25
No. 8 (2.36 mm)	0.82	0.32	0.32	0.32	0.35
No. 16 (1.18 mm)	1.64	0.42	0.47	0.52	0.59
No. 30 (0.6 mm)	2.87	0.55	0.61	0.66	0.76
No. 50 (0.3 mm)	6.14	0.95	0.95	0.95	1.15
No. 100 (0.15 mm)	12.29	1.29	1.29	1.29	1.29
No. 200 (0.075 mm)	32.77	2.13	2.13	2.13	2.13
Luas permukaan total agregat (m <sup>2</sup> /kg)		6.32	6.43	6.53	6.93

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 7. Hasil perhitungan *dust binder ratio* dan ketebalan film aspal

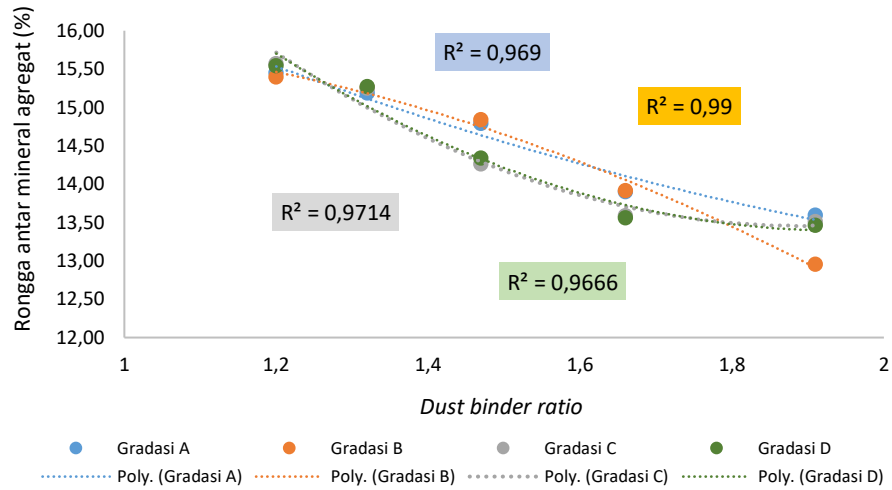
Kandungan aspal (%)	<i>Dust binder ratio</i>	Ketebalan film aspal (µm)			
		Gradasi A	Gradasi B	Gradasi C	Gradasi D
4.5	1.91	5.40	5.30	5.22	4.92
5	1.66	6.23	6.12	6.03	5.68
5.5	1.47	7.07	6.95	6.85	6.45
6	1.32	7.93	7.79	7.67	7.23
6.5	1.20	8.79	8.64	8.50	8.01

Sumber: Hasil perhitungan

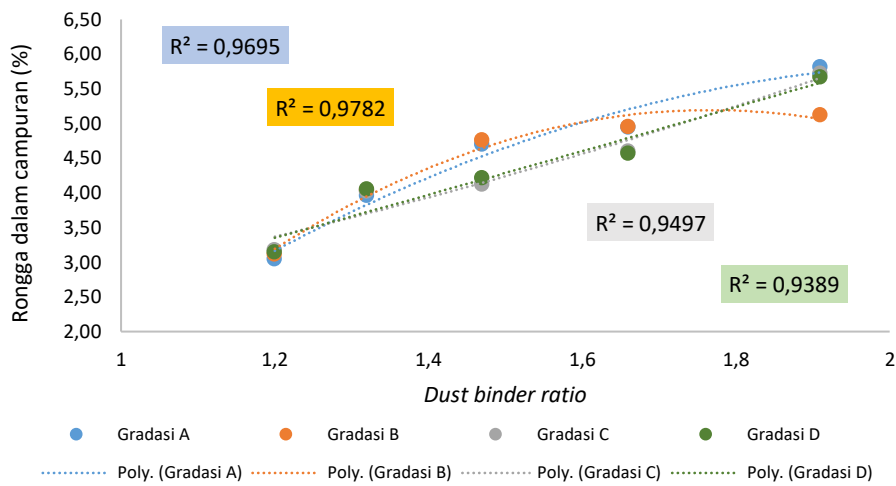
Rongga yang dihasilkan pada campuran sangat tergantung dari gradasi agregat, di mana gradasi tersebut menentukan luas permukaan agregat. Perhitungan luas permukaan agregat sesuai dengan ketentuan bahwa partikel berukuran  $\geq 4.7$  mm memiliki FLP sebesar 0.41 m<sup>2</sup>/kg (The Asphalt Institute,1993). Semakin banyak agregat halus yang digunakan, total luas permukaan menjadi lebih besar, yaitu pada gradasi A, B, C dan D menghasilkan luas permukaan total masing-masing 6.32 m<sup>2</sup>/kg, 6.43 m<sup>2</sup>/kg, 6.53 m<sup>2</sup>/kg, dan 6.93 m<sup>2</sup>/kg. Alkofahi and Khedaywi (2019) juga menyebutkan bahwa penggunaan agregat halus yang semakin banyak menghasilkan luas permukaan agregat tertutupi aspal yang semakin besar.

Tabel 7 menyajikan hasil perhitungan *dust binder ratio* dan ketebalan film aspal. Tabel tersebut menunjukkan hubungan yang berkebalikan antara *dust binder ratio* dengan ketebalan film aspal. Semakin kecil nilai *dust binder ratio*, ketebalan film aspal semakin besar karena hanya sedikit aspal yang terserap oleh partikel-partikel halus. Adapun ketebalan film aspal menjadi semakin besar akibat meningkatnya luas permukaan agregat. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang disimpulkan Kandhal and Khatri (1992). Merujuk pada Gambar 1 dan Tabel 7, semakin banyak agregat dengan butiran halus yang digunakan, semakin tipis ketebalan film aspal yang dihasilkan.

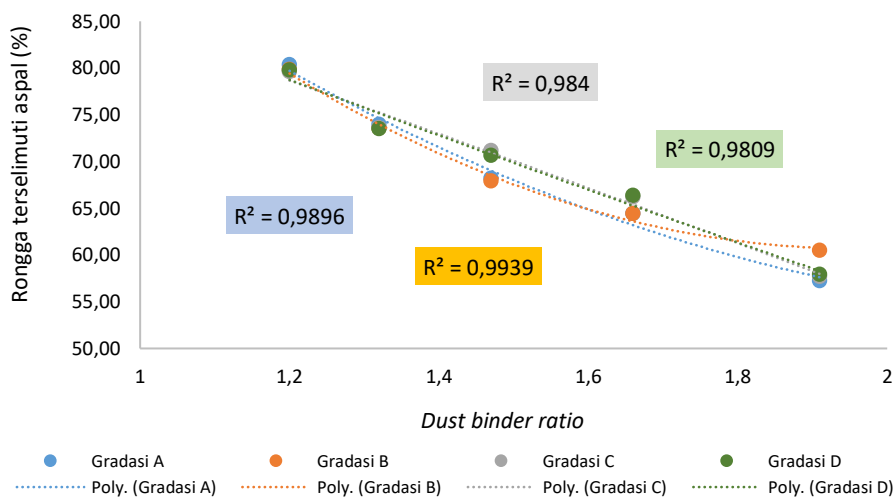
Hubungan antara *dust binder ratio* dan ketebalan film aspal dengan karakteristik volumetrik disajikan pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 7.



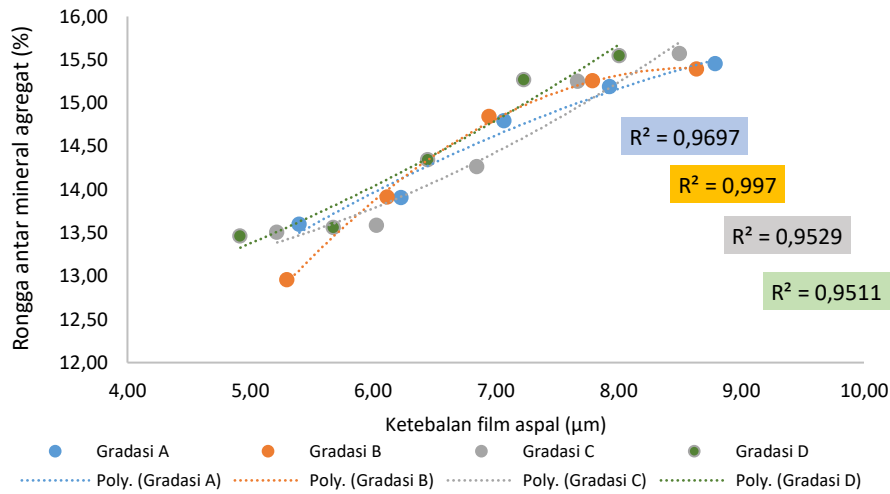
Gambar 2. Grafik hubungan *dust binder ratio* dengan VMA (rongga antar mineral agregat)



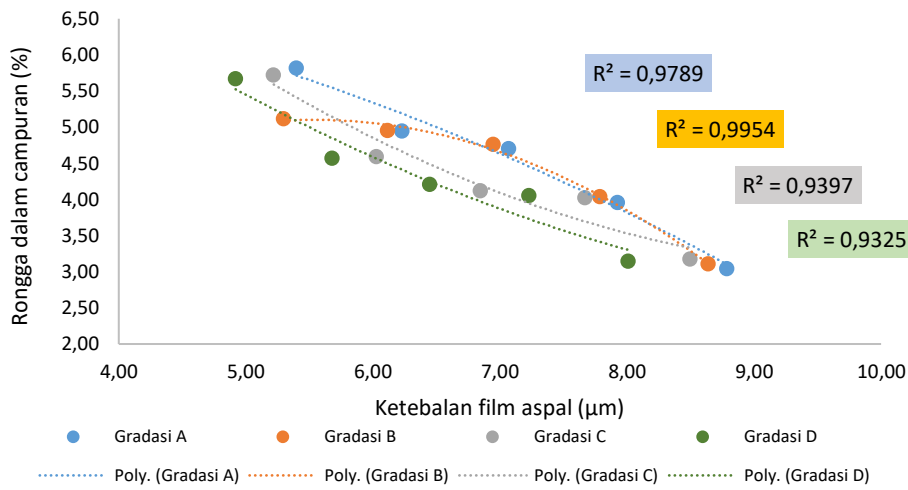
Gambar 3. Grafik hubungan *dust binder ratio* dengan VIM (rongga dalam campuran)



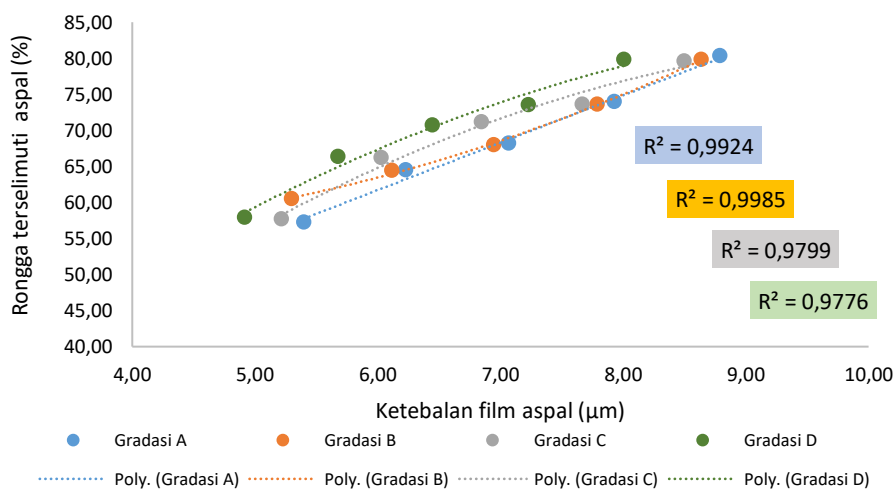
Gambar 4. Grafik hubungan *dust binder ratio* dengan VFB (rongga terselimuti aspal)



Gambar 5. Grafik hubungan tebal film aspal dengan VMA (rongga antar mineral agregat)



Gambar 6. Grafik hubungan tebal film aspal dengan VIM (rongga dalam campuran)



Gambar 7. Grafik hubungan tebal film aspal dengan VFB (rongga terselimuti aspal)



Gambar 2 menyajikan hubungan *dust binder ratio* dengan VMA (rongga antar mineral agregat). Secara umum terlihat bahwa semakin besar nilai *dust binder ratio* maka rongga di antara mineral agregat cenderung menurun. Nilai *dust binder ratio* yang besar dapat disebabkan oleh lebih kecilnya kandungan aspal efektif sehingga butiran antar partikel agregat menjadi lebih rapat dan menurunkan nilai VMA tersebut.

Gambar 2 menunjukkan pula bahwa penurunan nilai VMA akibat bertambahnya nilai *dust binder ratio* terlihat pada seluruh gradasi agregat. Dengan nilai  $R^2$  pada rentang 0.9666-0.99 dapat disimpulkan bahwa *dust binder ratio* mempunyai pengaruh yang sangat signifikan terhadap VMA. Ditinjau dari persyaratan spesifikasi Bina Marga bahwa rongga antar mineral agregat minimal sebesar 15%, maka nilai *dust binder ratio* yang direkomendasikan pada studi ini berada pada rentang 1.2-1.32.

Grafik hubungan antara *dust binder ratio* dan VIM (rongga dalam campuran) disajikan di Gambar 3. Nilai *dust binder ratio* berbanding lurus dengan rongga dalam campuran. Proporsi kandungan aspal yang semakin besar memperkecil nilai *dust binder ratio* sehingga lebih sedikit *filler* yang diserap aspal dan VIM yang terbentuk menjadi semakin kecil. Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai  $R^2$  berada pada kisaran 0.9389-0.9782 yang berarti bahwa *dust binder ratio* mempunyai pengaruh yang sangat signifikan terhadap besarnya nilai VIM. Sesuai dengan persyaratan Bina Marga bahwa nilai rongga dalam campuran berada pada rentang 3-5%, maka hal tersebut terpenuhi pada *dust binder ratio* 1.2-1.32.

Gambar 4 menampilkan hubungan *dust binder ratio* dan VFB (rongga terselimuti aspal). Semakin besar *dust binder ratio*, rongga terselimuti aspal menjadi semakin rendah. Campuran dengan nilai *dust binder ratio* yang tinggi antara lain disebabkan jumlah kandungan aspal yang lebih sedikit, sehingga ruang antar partikel-partikel agregat yang terisi aspal menjadi lebih kecil. Fenomena penurunan VFB yang semakin mengecil akibat penambahan *dust binder ratio* terjadi pada seluruh jenis gradasi yang diujikan. Dengan nilai  $R^2$  sebesar 0.984-0.9939 dapat disimpulkan bahwa VFB sangat dipengaruhi oleh nilai *dust binder ratio*.

Berdasarkan Gambar 5, nilai VMA (rongga antar mineral agregat) semakin besar seiring dengan bertambahnya tebal film aspal. VMA merupakan pori-pori pada campuran dengan tidak memperhitungkan aspal. Semakin banyak jumlah aspal yang digunakan, *dust binder ratio* menjadi lebih kecil dan film aspal menjadi lebih tebal sehingga VMA cenderung semakin besar. Sesuai dengan persyaratan Bina Marga bahwa rongga antar mineral agregat adalah minimal 15%, maka hal tersebut tercapai pada campuran dengan ketebalan film aspal minimal 7.23  $\mu\text{m}$ .

Pada Gambar 6, disajikan hubungan tebal film aspal dengan nilai VIM (rongga dalam campuran) untuk setiap distribusi ukuran partikel atau gradasi agregat. Nilai VIM berbanding terbalik dengan ketebalan film aspal. Pada gradasi agregat yang jumlah agregat halus lebih banyak, nilai VIM lebih kecil. Hal tersebut disebabkan karena campuran dengan agregat halus lebih banyak memiliki total luas permukaan agregat lebih besar sehingga ketebalan film aspal menjadi lebih tipis dan VIM yang terbentuk menjadi lebih besar. Dengan  $R^2$  pada rentang 0.9325-0.9954, dapat dikatakan bahwa ketebalan film aspal berpengaruh secara sangat signifikan terhadap besarnya nilai VIM.

Gambar 7 menyajikan hubungan tebal film aspal dengan nilai VFB (rongga terselimuti aspal). VFB merupakan pori-pori pada campuran yang diisi aspal. Karena itu, semakin besar ketebalan film aspal, semakin besar pula nilai VFB. Pada campuran dengan proporsi agregat

halus lebih banyak, nilai VFB yang dihasilkan menjadi lebih kecil. Dari Gambar 7 dapat dilihat pula bahwa pada seluruh jenis gradasi agregat yang diujikan, besarnya rongga terselimuti aspal dipengaruhi sangat signifikan oleh ketebalan film aspal.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai *dust binder ratio* berbanding terbalik dengan dengan ketebalan film aspal. Ketebalan film aspal menjadi semakin kecil pada campuran laston yang lebih banyak menggunakan agregat halus akibat meningkatnya faktor luas permukaan agregat. *Dust binder ratio* dan tebal film aspal mempunyai pengaruh yang sangat signifikan terhadap seluruh sifat volumetrik campuran. Semakin besar nilai *dust binder ratio*, nilai VIM semakin meningkat sedangkan VMA dan VFB semakin menurun. Dengan meningkatnya ketebalan film aspal, nilai VIM semakin menurun sedangkan VMA dan VFB semakin meningkat. Pada penelitian ini, karakteristik volumetrik campuran yang memenuhi spesifikasi Bina Marga diperoleh melalui penggunaan bahan pengisi dan aspal dengan rasio antara 1.2-1.32.

### Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Sdr. Roni Setiabudi atas data-data yang disediakan untuk menunjang penulisan artikel ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Airey, G.D. & Choi, Y.K., 2002. State of The Art Report on Moisture Sensitivity Test Methods for Bituminous Pavement Materials, Road Materials and Pavement Design, 3(4): 355-372.
- Alkofahi, N. and Khedaywi, T., 2019. Evaluation the Effect of Asphalt Film Thickness on Stripping Resistance, International Journal of Applied Engineering Research, 14(2): 60-570.
- Collop, A.C.; Choi, Y.K.; Airey, G.D. and Elliott, R.C., 2004. Development of The Saturation Ageing Tensile Stiffness Test, Proceedings of the ICE-Transport, 157(3): 163-171.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013. Spesifikasi Umum Edisi 2010 Revisi 3, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta.
- John, I.; Bangi, M.R. and Lawrence, M., 2021. Effect of Filler and Binder Contents on Air Voids in Hot-Mix Asphalt for Road Pavement Construction, Open Journal of Civil Engineering, 11: 255-289.
- Kandhal, P.S. and Chakraborty, S., 1996. Evaluation of Voids in the Mineral Aggregate for HMA Paving Mixtures, National Center for Asphalt Technology Auburn University, Alabama.
- 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.
- Miller, J. and Bellingier, W. 2003. Federal Highway Administration, McLean, VA: FHWA-RD-03-031.
- 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.
- Setiabudi, R., (2018). Pengaruh Gradasi Agregat Pada Daerah Larangan Terhadap Kinerja Campuran Lapis Aspal Beton (Laston) Menggunakan Aspal Yang Dimodifikasi Dengan

Gondorukem, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Mataram.  
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.  
Transport Research Laboratory, 2002. A Guide to the Design of Hot Mix Asphalt in Tropical and Sub-Tropical Countries, Overseas Road Note 19, TRL Limited, Berkshire