



Research Articles

Pengaruh Kadar Aspal Efektif dan Tebal Selimut Aspal Terhadap Proporsi Rongga pada Campuran Laston

Influence of Effective Asphalt Content and Film Thickness on Voids Proportion of Asphalt Concrete

Ratna Yuniarti*, Made Mahendra, Hasyim, Rohani, I A O Suwati Sideman

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, INDONESIA

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

Manuscript received: 28-02-2023. Accepted: 29-03-2023

ABSTRAK

Pada proses pencampuran antara aspal dan agregat, terjadi penyerapan aspal oleh agregat melalui pori-pori agregat. Volume aspal yang tidak terserap oleh agregat merupakan kadar aspal efektif yang menentukan besarnya proporsi rongga yaitu ruang udara dalam campuran yang dipadatkan. Proporsi rongga yang terbentuk pada campuran memiliki peranan penting dalam menentukan daya tahan campuran terhadap temperatur dan cuaca. Tulisan ini ingin mengkaji pengaruh kadar aspal efektif dan ketebalan selimut aspal terhadap proporsi rongga pada campuran laston. Berdasarkan analisa yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa distribusi ukuran partikel agregat yang digunakan mempengaruhi total luas permukaan terselimuti aspal dan pori-pori agregat mempengaruhi kadar aspal efektif yang dihasilkan. Agregat dengan ukuran butiran yang kecil menghasilkan total luas permukaan terselimuti aspal yang lebih besar. Penggunaan agregat dengan pori-pori kecil menghasilkan kadar aspal efektif yang besar. Semakin besar kadar aspal efektif dan ketebalan selimut aspal, maka rongga antar mineral agregat dan rongga terselimuti aspal menjadi semakin besar sedangkan rongga dalam campuran semakin mengecil. Pada seluruh proporsi rongga yang dianalisa, kadar aspal efektif dan ketebalan selimut aspal berpengaruh sangat signifikan.

Kata kunci: kadar aspal efektif; ketebalan selimut aspal; rongga udara; laston

ABSTRACT

In the mixing process between asphalt and aggregate, absorption of asphalt by the aggregate occurs through the pores of the aggregate. The volume of asphalt not absorbed by the aggregate can be defined as effective asphalt content which determines the percentage of airspaces in the compacted mix. The proportion of voids formed in the mixture contributes to the durability of the mixture against temperature and climate conditions. This study aims to examine the effect of effective asphalt content and the asphalt film thickness on the voids proportion in asphalt mixture. Based on the analysis, it can be concluded that the particle size distribution of the aggregate affects the total surface area of the aggregate in the mixture and the pores of the aggregate affect the effective percent of asphalt content.

Aggregate with a small grain size produced a larger total surface area of aggregate. Meanwhile the use of aggregate with small pores produced a higher effective percent of asphalt content. The higher the effective asphalt content and the asphalt film thickness, the larger the voids in mineral aggregate and the voids filled with bitumen. In contrast, the voids in the mixture decreases with increase the effective asphalt content and the asphalt film thickness. In all the voids proportions analyzed, the effective asphalt content and the asphalt film thickness have a very significant effect.

Key words: effective asphalt content; asphalt film thickness; air voids; asphalt concrete

PENDAHULUAN

Fungsi aspal pada konstruksi perkerasan jalan adalah sebagai bahan pengikat yang menyatukan dan mengisi rongga-rongga di antara partikel agregat. Ketika agregat bercampur dengan aspal, sebagian aspal akan terserap masuk ke dalam agregat melalui pori-pori permukaan agregat. Penyerapan aspal oleh agregat pada *hot mix asphalt* memegang peranan yang sangat penting karena menentukan daya ikat antara komponen bahan perkerasan tersebut. Daya ikat yang kuat antara aspal dan agregat meningkatkan kemampuan campuran dalam memikul beban lalu lintas serta mempertinggi daya tahan campuran terhadap temperatur dan paparan sinar matahari.

Karena sebagian dari aspal meresap masuk ke dalam agregat, maka jumlah aspal pada permukaan agregat merupakan kadar aspal efektif yang dihitung dengan mengurangi total kadar aspal yang digunakan pada campuran dengan persen aspal terabsorpsi. Adapun menurut Chadbourn *et al.* (1999), perhitungan ketebalan selimut aspal dilakukan berdasarkan volume aspal pada permukaan agregat dan tidak termasuk aspal yang meresap masuk ke dalam pori-pori agregat. Ketebalan selimut aspal tersebut dinyatakan dalam satuan mikron yang perhitungannya dilakukan dengan membagi kadar aspal efektif dengan total estimasi luas permukaan butiran agregat (Transport Research Laboratory, 2002).

Penelitian yang dilakukan Robert *et al.* (1991) menyebutkan bahwa selimut aspal yang lebih tebal menghasilkan campuran yang tahan cuaca dan lebih lentur. Sebaliknya, selimut aspal yang lebih tipis menghasilkan campuran yang rapuh dan lebih mudah retak. Hal ini disebabkan oleh mudahnya air dan udara untuk masuk ke dalam campuran dan melepaskan ikatan antara agregat dan aspal. Karena itu, dibutuhkan daya ikat yang kuat dan ketebalan selimut aspal yang memadai agar perkerasan jalan dapat berfungsi dengan baik selama umur yang telah direncanakan (Airey & Choi, 2002; Miller & Bellinger, 2003; Collop *et al.*, 2004).

Ketebalan selimut aspal juga berpengaruh terhadap proporsi rongga yang terbentuk pada *hot mix asphalt*. Proporsi rongga berperan dalam menentukan keawetan campuran tersebut. Jika proporsi rongga pada campuran terlalu besar, perkerasan jalan mudah terkena oksidasi matahari, mempercepat penuaan (*aging*) sehingga menimbulkan berbagai jenis kerusakan. Sebaliknya bila proporsi rongga pada campuran terlalu kecil, rongga tersebut tidak cukup untuk memuat kadar aspal ketika rongga mengecil akibat pemadatan berulang oleh beban lalu lintas sehingga aspal meleleh keluar ke permukaan jalan (Kandhal and Chakraborty, 1996).

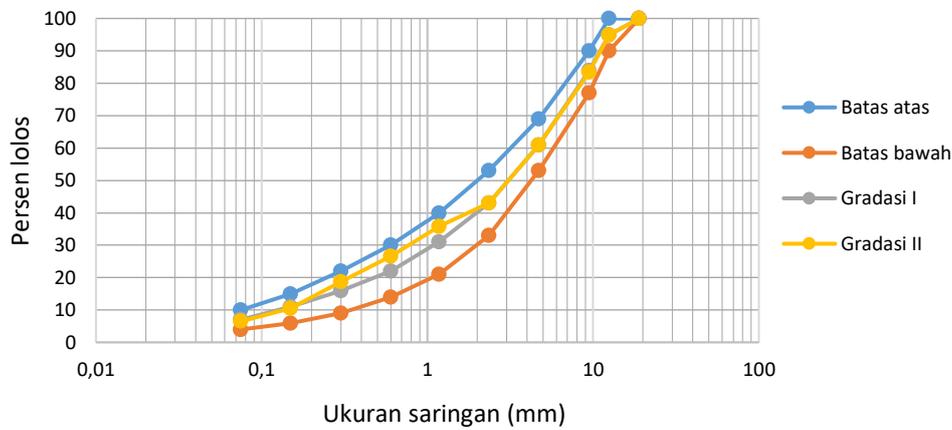
Mengingat pentingnya proporsi rongga pada campuran, tulisan ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kadar aspal efektif dan ketebalan selimut aspal terhadap proporsi rongga pada campuran tersebut. Distribusi ukuran partikel agregat yang digunakan untuk melakukan kajian merujuk pada spesifikasi yang telah ditetapkan Jenderal Direktorat Bina Marga, yaitu

Spesifikasi Umum Bina Marga Edisi 2010 Revisi 3 untuk lapis aspal beton (laston). Proporsi rongga yang dikaji adalah rongga dalam campuran, rongga antar partikel agregat dan rongga terselimuti aspal.

BAHAN DAN METODE

Pengkajian terhadap proporsi rongga pada campuran laston ini mengacu pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Arieska (2018) dan Ariestiani (2018). Pengujian tersebut memakai agregat kasar dan halus yang diambil dari Pringgabaya, Lombok Timur. Prosedur penelitian aspal dan agregat berpedoman pada Standar Nasional Indonesia (SNI). Pemeriksaan sifat fisik aspal terdiri dari uji penetrasi, titik lembek, titik nyala, daktilitas, kehilangan berat dan berat jenis, sedangkan pengujian agregat terdiri dari uji analisa saringan, keausan, berat jenis dan kelekatan agregat terhadap aspal.

Adapun distribusi ukuran partikel agregat yang digunakan ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Persentase ukuran partikel agregat

Kadar aspal yang digunakan berada pada kisaran 4.5%-6.5% terhadap berat campuran. Pencampuran laston dilakukan pada suhu 155°C sedangkan pemadatan dilakukan sebanyak 2 x 75 tumbukan. Selanjutnya perhitungan kadar aspal efektif dan ketebalan selimut aspal ditentukan dengan persamaan berikut (Radovskiy, 2003):

Kadar aspal efektif:

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

dengan:

P_{ae} = kadar aspal efektif yang menyelimuti butiran agregat (%)

P_a = kadar aspal (%)

P_{ab} = kadar aspal yang terabsorbsi ke dalam pori agregat (%)

P_s = kadar agregat (% total campuran)

Tebal selimut aspal:

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

dengan:

TF = ketebalan selimut aspal (μm)

P_{ae} = kadar aspal efektif yang menyelimuti butiran agregat (%)

G_a = berat jenis aspal

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

P_s = kadar agregat (% total campuran)

Berdasarkan distribusi ukuran butiran agregat yang digunakan, dianalisa hubungan antara kadar aspal efektif dan ketebalan selimut aspal dengan rongga dalam campuran, rongga antar partikel agregat dan rongga terselimuti aspal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel 1 disajikan sifat-sifat fisik aspal. Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa nilai penetrasi, titik lembek, titik nyala, daktilitas, berat jenis dan kehilangan berat aspal yang digunakan memenuhi standar spesifikasi. Selanjutnya sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 2, agregat kasar yang digunakan memenuhi persyaratan Direktorat Jenderal Bina Marga (2013). Nilai keausan *impact* yang jauh lebih kecil dari batas maksimal 30% menunjukkan bahwa agregat memiliki daya tahan yang baik terhadap pembebanan. Berat jenis bulk dan berat jenis semu yang lebih besar dari 2.5% juga sesuai dengan ketentuan. Penyerapan air lebih kecil dari 3% menunjukkan bahwa pori-pori agregat cukup kecil sehingga air tidak mudah masuk yang dapat mengakibatkan lepasnya ikatan antara agregat dan aspal. Adapun kelekatan agregat terhadap aspal di atas 95% menunjukkan bahwa permukaan agregat dapat diselimuti aspal dengan baik.

Tabel 1. Hasil pengujian aspal

Jenis pengujian	Hasil pengujian*)	Hasil pengujian**)	Persyaratan****)
Penetrasi (25°C, 5 detik, 0.1 mm)	62.9	68	60-70
Titik lembek (°C)	51.33	48.5	≥ 48
Titik nyala (°C)	≥ 232	> 300	≥ 232
Daktilitas (cm)	165	147.5	≥ 100
Berat jenis	1.043	1.054	≥ 1.00
Kehilangan berat (%)	0.66	0.20	≤ 0.8

Sumber: *) Arieska, 2018

**) Ariestiani, 2018

****) Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013

Tabel 2. Hasil pengujian agregat

Jenis pengujian	Agregat kasar*)	Agregat kasar**)	Agregat halus*)	Agregat halus**)	Persyaratan****)
Keausan <i>impact</i> (%)	8.3	8.58	-	-	Maks. 30
Berat jenis bulk	2.53	2.66	2.59	2.64	Min. 2.5
Berat jenis semu	2.72	2.79	2.79	2.84	Min. 2.5
Penyerapan terhadap air (%)	2.84	1.73	2.79	2.67	Maks. 3
Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	97	98	-	-	Min. 95

Sumber: *) Arieska, 2018

**) Ariestiani, 2018

****) Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013

Tabel 3. Hasil pengujian volumetrik campuran untuk gradasi I

Kadar aspal (%)	Rongga antar mineral agregat*)	Rongga dalam campuran*)	Rongga terselimuti aspal*)
4.5	14.46	7.54	47.90
5.0	14.11	6.02	57.31
5.5	14.29	5.07	64.52
6.0	15.23	4.91	67.81
6.5	15.27	3.78	75.63
Persyaratan**)	Min.15	3.0 - 5.0	Min. 65

Sumber: *) Arieska, 2018

***) Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013

Tabel 4. Hasil pengujian volumetrik campuran untuk gradasi II

Kadar aspal (%)	Rongga antar mineral agregat*)	Rongga dalam campuran *)	Rongga terselimuti aspal *)
4.5	13.66	5.96	56.37
5.0	13.83	4.98	64.01
5.5	14.49	4.49	69.03
6.0	14.62	3.43	76.55
6.5	15.57	3.29	78.86
Persyaratan**)	Min. 15	3.0 - 5.0	Min. 65

Sumber: *) Ariestiani, 2018

***) Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013

Pada Tabel 3 dan Tabel 4 disajikan besarnya rongga dalam campuran, rongga antar partikel agregat dan rongga terselimuti aspal untuk masing-masing gradasi pada berbagai kadar aspal. Proporsi rongga ini sangat tergantung dari distribusi ukuran partikel agregat yang selanjutnya menentukan luas permukaan agregat. Perhitungan luas permukaan agregat disajikan pada Tabel 5 dan Tabel 6 mengikuti ketentuan bahwa partikel dengan ukuran lebih besar dari 4.7 mm memiliki faktor luas permukaan 0.41 m²/kg (The Asphalt Institute, 1993). Agregat yang digunakan pada gradasi I memiliki distribusi partikel dengan ukuran lebih besar dibandingkan dengan agregat yang digunakan pada gradasi II. Gradasi agregat yang berukuran lebih kasar memiliki total luas permukaan lebih kecil, yaitu pada gradasi I menghasilkan total luas permukaan 6.78 m²/kg sedangkan pada gradasi II sebesar 6.94 m²/kg. Hal ini sesuai dengan Alkofahi and Khedaywi (2019) yang menyimpulkan bahwa semakin banyak agregat berukuran kecil yang digunakan, semakin luas total permukaan agregat yang terselimuti aspal.

Tabel 5. Luas permukaan agregat untuk gradasi I

No. saringan	Ukuran saringan (mm)	Gradasi terpakai	Faktor luas permukaan	Faktor luas permukaan x % lolos
¾"	19	100	0.41	0.41
½"	12.5	95	*	*
3/8"	9.5	84	*	*
No. 4	4.7	61	0.41	0.25
No. 8	2.36	43	0.82	0.35
No. 16	1.18	31	1.64	0.51
No. 30	0.6	22	2.87	0.63
No. 50	0.3	16	6.14	0.98
No. 100	0.15	11	12.29	1.35
No. 200	0.075	7	32.77	2.29
Luas permukaan total agregat (m ² /kg)				6.78

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 6. Luas permukaan agregat untuk gradasi II

No. saringan	Ukuran saringan (mm)	Gradasi terpakai	Faktor luas permukaan	Faktor luas permukaan x % lolos
¾"	19	100	0.41	0.41
½"	12.5	95	*	*
3/8"	9.5	83.5	*	*
No. 4	4.7	61	0.41	0.25
No. 8	2.36	43	0.82	0.35
No. 16	1.18	35.8	1.64	0.59
No. 30	0.6	26.6	2.87	0.76
No. 50	0.3	18.8	6.14	1.15
No. 100	0.15	10.5	12.29	1.29
No. 200	0.075	6.5	32.77	2.13
Luas permukaan total agregat (m ² /kg)				6.94

Sumber: Hasil perhitungan

Pada Tabel 7, disajikan kadar aspal efektif dan ketebalan selimut aspal dari campuran laston menggunakan gradasi I dan gradasi II pada masing-masing kadar aspal. Sesuai dengan formula yang disajikan pada Pers. (1), nilai kadar aspal efektif sangat tergantung dari kadar aspal yang terabsorpsi ke dalam pori agregat, sedangkan ketebalan selimut aspal dipengaruhi oleh faktor luas permukaan agregat. Hal tersebut juga sejalan dengan hasil studi yang dilaporkan oleh Kandhal and Khatri (1992). Berdasarkan Tabel 7, gradasi I menghasilkan kadar aspal efektif dan ketebalan selimut aspal yang lebih kecil dibandingkan dengan gradasi II.

Tabel 7. Kadar aspal efektif dan tebal selimut aspal

Kadar aspal (%)	Kadar aspal efektif (%)		Tebal selimut aspal (µm)	
	Gradasi I	Gradasi II	Gradasi I	Gradasi II
4.5	3.13	3.41	4.65	4.95
5.0	3.64	3.91	5.43	5.71
5.5	4.15	4.42	6.22	6.48
6.0	4.65	4.93	7.02	7.26
6.5	5.16	5.43	7.83	8.05

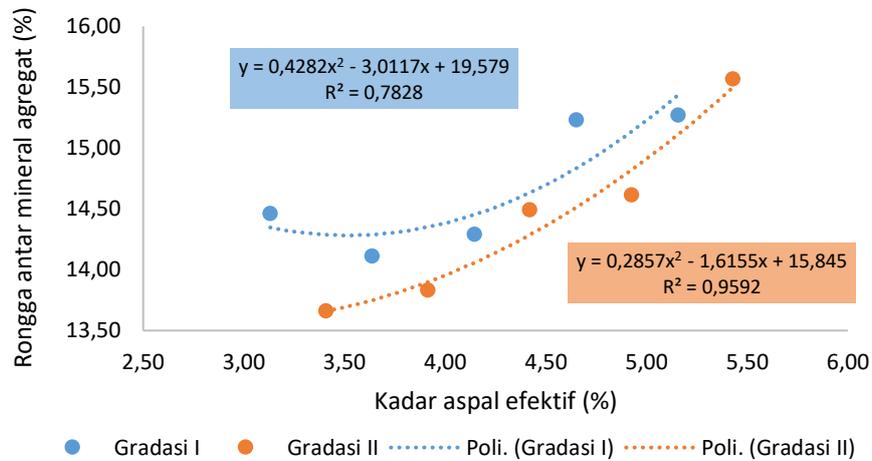
Sumber: Hasil perhitungan

Hubungan antara kadar aspal efektif dan ketebalan selimut aspal dengan proporsi rongga pada campuran laston disajikan pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 7.

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara kadar aspal efektif dengan proporsi rongga antar mineral agregat. Secara umum terlihat bahwa kadar aspal efektif yang semakin besar menghasilkan rongga antar mineral agregat yang semakin meningkat. Hal ini disebabkan peningkatan jumlah aspal yang digunakan menjadikan butiran partikel antar agregat semakin renggang sehingga meningkatkan nilai rongga antar mineral agregat tersebut.

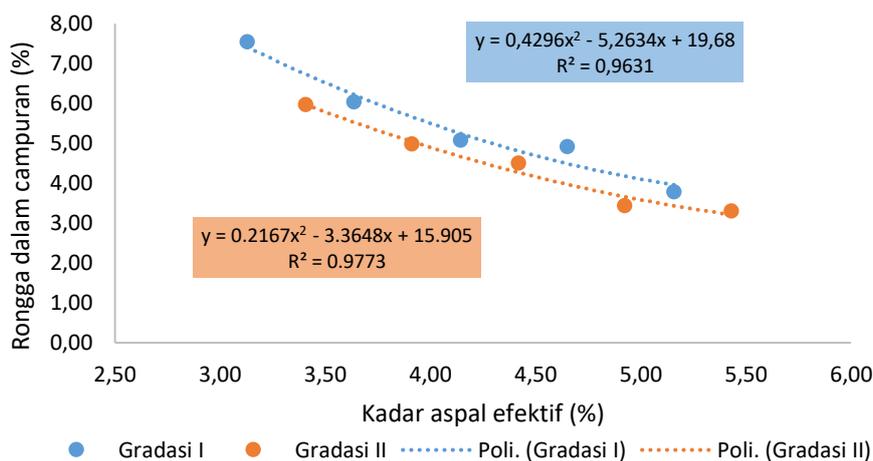
Dari Gambar 2 terlihat pula bahwa gradasi I menghasilkan rongga antar mineral agregat yang lebih besar dibandingkan dengan gradasi II. Sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 2, tingkat penyerapan air dari agregat pada gradasi I lebih besar dibandingkan dengan tingkat penyerapan air dari agregat pada gradasi II. Penyerapan air ini mengindikasikan bahwa pori-pori agregat pada gradasi I lebih besar sehingga prosentase aspal yang masuk ke dalam agregat (terabsorpsi) menjadi lebih besar dan menghasilkan kadar aspal efektif yang lebih kecil. Dengan kadar aspal efektif yang lebih kecil, maka ikatan antar partikel agregat menjadi kurang

kuat sehingga jarak antar partikel agregat lebih renggang dan memperbesar rongga antar mineral agregat tersebut.



Gambar 2. Hubungan kadar aspal efektif dan rongga antar mineral agregat

Hubungan antara kadar aspal efektif dan rongga dalam campuran disajikan pada Gambar 3. Semakin besar kadar aspal efektif, semakin banyak ruang yang terisi aspal sehingga rongga dalam campuran semakin kecil. Pada Gambar 3 terlihat pula bahwa gradasi I menghasilkan rongga dalam campuran yang lebih besar dibandingkan dengan gradasi II. Hal ini disebabkan agregat yang digunakan pada gradasi I lebih berpori dibandingkan dengan gradasi II. Agregat pada gradasi I lebih banyak menyerap aspal, memiliki kadar aspal efektif lebih sedikit dan menyelimuti partikel agregat lebih tipis. Dengan demikian, rongga dalam campuran yang terbentuk menjadi lebih besar.

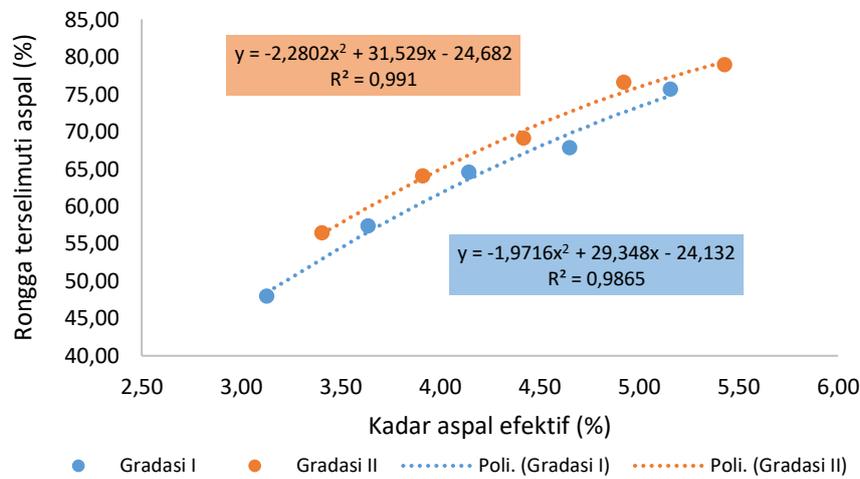


Gambar 3. Hubungan kadar aspal efektif dan rongga dalam campuran

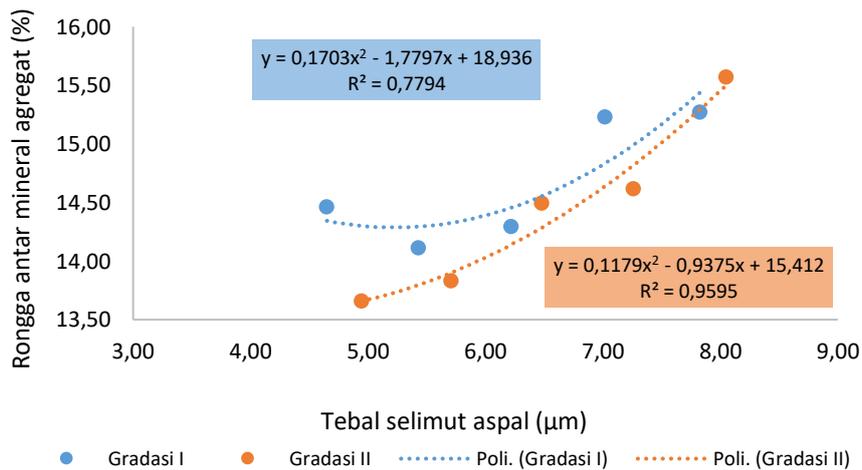
Gambar 4 menyajikan hubungan antara kadar aspal efektif dan rongga terselimuti aspal. Semakin besar kadar aspal efektif, persen rongga terselimuti aspal pada ruang antar partikel agregat menjadi semakin tinggi. Dibandingkan dengan gradasi II, gradasi I memiliki persen

rongga terselimuti aspal yang lebih kecil. Hal ini disebabkan jumlah kadar aspal efektif pada gradasi I lebih rendah dibandingkan gradasi II sehingga rongga terselimuti aspal yang terbentuk juga lebih kecil. Dengan nilai R^2 pada gradasi I dan gradasi II masing-masing sebesar 0.9865 dan 0.991 dapat dikatakan bahwa kadar aspal efektif berpengaruh sangat signifikan terhadap rongga terselimuti aspal.

Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa nilai rongga antar mineral agregat cenderung semakin meningkat dengan bertambahnya ketebalan selimut aspal. Karena rongga antar mineral agregat adalah jumlah pori yang dihitung tanpa menyertakan aspal, maka makin besar kadar aspal yang digunakan pada campuran, maka rongga antar mineral agregat juga menjadi semakin tinggi. Pada gradasi I, nilai $R^2 = 0.7794$ atau $R = 0.883$ sedangkan pada gradasi II, nilai $R^2 = 0.9595$ atau $R = 0.98$ yang mengindikasikan bahwa ketebalan selimut aspal dan rongga antar mineral agregat memiliki hubungan sangat kuat.



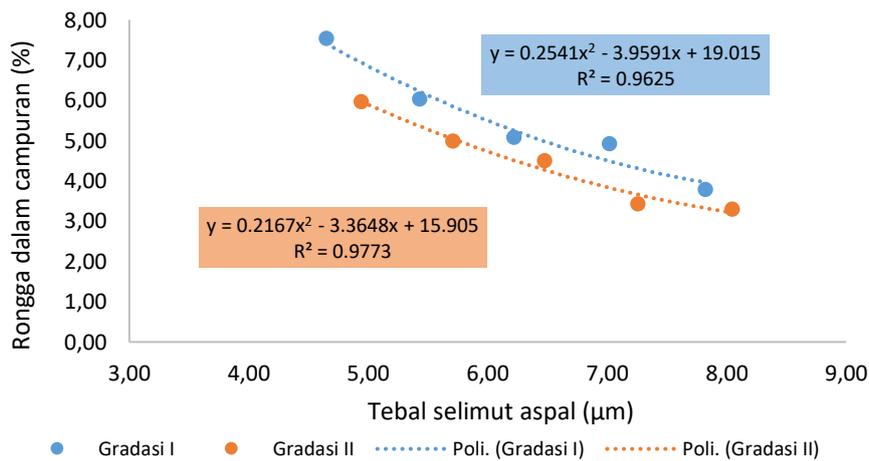
Gambar 4. Hubungan kadar aspal efektif dan rongga terselimuti aspal



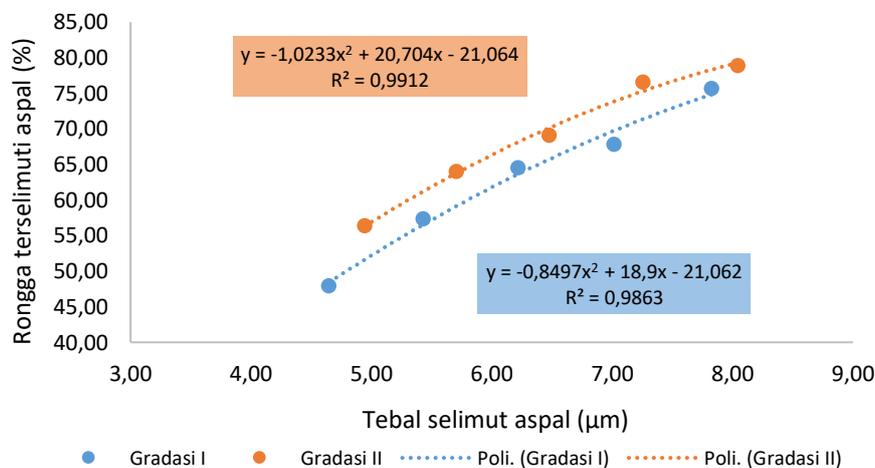
Gambar 5. Hubungan tebal selimut aspal dan rongga antar mineral agregat

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara ketebalan selimut aspal dan nilai rongga dalam campuran untuk masing-masing gradasi. Besarnya rongga dalam campuran yang dihasilkan

berbanding terbalik dengan ketebalan selimut aspal. Semakin tebal selimut aspal, semakin kecil rongga dalam campuran yang terbentuk. Pada Gambar 6 terlihat pula bahwa pada gradasi II yang lebih banyak menggunakan agregat halus, menghasilkan nilai rongga dalam campuran lebih kecil. Hal ini disebabkan karena pada gradasi II partikel agregat yang berukuran kecil berjumlah lebih banyak sehingga lebih banyak pula rongga pori yang dapat terisi oleh agregat. Dengan R^2 masing-masing sebesar 0.9625 dan 0.9773, terlihat bahwa tebal selimut aspal berpengaruh sangat signifikan terhadap nilai rongga dalam campuran.



Gambar 6. Hubungan tebal selimut aspal dan rongga dalam campuran



Gambar 7. Hubungan tebal selimut aspal dan rongga terselimuti aspal

Hubungan antara ketebalan selimut aspal dengan nilai rongga yang terselimuti aspal disajikan pada Gambar 7. Karena rongga terselimuti aspal adalah volume pori pada campuran yang terisi oleh aspal, maka tampak bahwa semakin tebal selimut aspal maka semakin besar pula rongga terselimuti aspal yang terbentuk. Dari Gambar 7 terlihat bahwa gradasi II menghasilkan rongga terselimuti aspal yang lebih besar dibandingkan dengan gradasi I. Baik pada gradasi I maupun pada gradasi II, ketebalan selimut aspal berpengaruh sangat signifikan terhadap besarnya rongga terselimuti aspal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari analisa yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa distribusi ukuran partikel agregat sangat menentukan total luas permukaan terselimuti aspal. Partikel agregat yang berukuran lebih kecil mempunyai total luas permukaan terselimuti aspal yang lebih besar. Pori-pori agregat menentukan jumlah aspal yang terabsorpsi sehingga berpengaruh terhadap kadar aspal efektif. Semakin besar kadar aspal efektif, maka rongga antar mineral agregat dan rongga terselimuti aspal menjadi semakin besar sedangkan rongga dalam campuran semakin mengecil. Kadar aspal efektif selanjutnya menentukan ketebalan selimut aspal. Semakin besar ketebalan selimut aspal, rongga di antara mineral agregat dan rongga terselimuti aspal pada campuran mengalami peningkatan sedangkan rongga dalam campuran mengalami penurunan. Agregat yang digunakan pada gradasi I menghasilkan rongga antar mineral agregat dan rongga dalam campuran yang lebih tinggi serta rongga terselimuti aspal yang lebih rendah dibandingkan dengan gradasi II. Pada seluruh proporsi rongga yang dianalisa, kadar aspal efektif dan ketebalan selimut aspal berpengaruh sangat signifikan.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Sdri. Deinna Arieska dan Prilia Esadiani Ariestiani atas penyediaan data sehingga artikel ini dapat terselesaikan.

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): 560-570.
- Arieska, A., 2018. Pengaruh Penggunaan Asbuton dan Abu Batu Sebagai Filler Pada Campuran AC - WC, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Ariestiani, P. E., 2018. Pengaruh Gradasi Agregat Pada Daerah Larangan Terhadap Kinerja Campuran Lapis Aspal Beton (Laston) Menggunakan Aspal Pen 60/70, Tugas Akhir, Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Chadboom, B. A.; Skok, E.L. Jr.; Newcomb, D.E.; Crow, B.L. and Spindle, S., 1999. The Effect of Voids in Mineral Aggregate (VMA) on Hot-Mix Asphalt Pavements, Minnesota Department of Transportation.
- 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.
- 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 Bellinger, W. 2003. Federal Highway Administration, McLean, VA: FHWA-RD-03-031.

- Radovskiy, B., 2003. Analytical Formulas for Film Thickness in Compacted Asphalt Mixture, TRR 1829, TRB, National Academies, USA, pp. 26-32.
- 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.
- 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.