

Analisis Pengaruh Variasi Gradasi Aspal Porus Terhadap Parameter Marshall dan Permeabilitas

Qurratul Ayun^{1*}, Catur Arif Prastyanto¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: qurratulayun733@yahoo.com

Info Artikel		Abstract
Diajukan	18 Januari 2021	<i>Stagnant water during the rainy season results in road damage because it loosens the bonds between the aggregate and the asphalt. It also endangers road users as the road becomes slippery and causes aquaplaning. To solve this problem, porous asphalt is needed for its skid resistance in reducing noise caused by friction between the wheels and the asphalt surface layer. In addition, the high cavity content of the asphalt layer is expected to function as a drainage layer for minimizing standing water. This research uses several variations of gradations based on Stone Matrix Asphalt (SMA) Bina Marga 2018. The SMA gradation requires a high percentage of coarse aggregate which is expectedly suitable for porous asphalt grading. The best variation for porous asphalt gradation is 73% of coarse aggregate, asphalt content 5.05%, stability value 835,667Kg, VIM 6,254%, VMA 17,638%, Flow 3,440 mm, MQ 242,926 kg/mm, permeability 0.211 cm / s.</i>
Diperbaiki	16 Februari 2021	
Disetujui	16 Februari 2021	

Keyword: porous asphalt, aquaplaning, variation of gradations, Marshall characteristics, permeability, Stone Matrix Asphalt (SMA)

Abstrak
Genangan air pada musim penghujan mengakibatkan terjadinya kerusakan jalan dikarenakan dapat melonggarkan ikatan antara agregat dengan aspal. Genangan air juga membahayakan pengguna jalan raya, karena jalan menjadi lebih licin dan menyebabkan *aquaplaning*. Untuk mengatasi masalah tersebut dibutuhkan aspal porus yang memiliki kekesatan permukaan (*skid resistance*), dapat mereduksi suara yang diakibatkan oleh gesekan antar roda dengan lapisan permukaan aspal. Selain itu, kadar rongga lapisan aspal yang tinggi diharapkan dapat berfungsi sebagai lapisan drainase agar genangan air diatas permukaan dapat diminimalisir. Penelitian ini menggunakan beberapa variasi gradasi berdasarkan *Stone Matrix Asphalt (SMA) Bina Marga 2018*. Gradasi SMA memiliki presentase agregat kasar yang tinggi, diharapkan dapat digunakan untuk gradasi aspal porus. Hasil dari pengujian yang menghasilkan gradasi yang paling baik untuk aspal porus adalah gradasi 73% kasar, kadar aspal 5.05% dengan nilai stabilitas 835.667 kg, VIM 6.254%, VMA 17.638%, *flow* 3.440 mm, MQ 242.926 kg/mm, permeabilitas 0.211 cm/dt.

Kata kunci: Aspal Porus, *aquaplaning*, variasi gradasi, karakteristik marshall, permeabilitas, *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

1. Pendahuluan

Salah satu penyebab yang dominan berpengaruh terhadap kerusakan jalan adalah karena adanya air yang menggenangi jalan pada saat curah hujan yang terlalu tinggi. Genangan air dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan jalan dikarenakan air dapat melonggarkan ikatan antara agregat dengan aspal [1]. Kerusakan perkerasan lentur maupun kaku sering disebabkan oleh air yang masuk kedalam struktur perkerasan. Dalam kasus seperti ini, selama air sebagai penyebab utama tidak ditangani, maka potensi kerusakan jalan akan berulang hingga menyebabkan kerusakan yang cukup besar walaupun telah melakukan bentuk penanganan struktur perkerasan dalam bentuk apapun [2].

Seiring kemajuan teknologi khususnya di bidang perkerasan jalan, salah satunya dengan adanya

perkembangan pada desain suatu perkerasan yang dikenal dengan aspal porus merupakan jenis perkerasan berpori dengan campuran agregat kasar yang lebih dominan untuk meningkatkan gaya gesek dan mencegah terjadinya genangan air di lapis permukaan jalan[3]. Sehingga dapat meminimalisir kerugian yang diakibatkan oleh air. Aspal porus merupakan salah satu jenis campuran yang memiliki agregat kasar berkisar 70-85%, agregat halus berkisar 15-30% [4]. Aspal porus ini dikembangkan untuk konstruksi lapis permukaan menggunakan gradasi terbuka. Keunggulan dari campuran aspal porus adalah memiliki kekesatan permukaan (*skid resistance*) untuk menghindari slip pada roda kendaraan dan dapat mencegah terjadinya *aquaplaning*. *Aquaplaning* yaitu peristiwa meluncurnya kendaraan tanpa dapat dikendalikan karena suatu lapis tipis air antar roda dan permukaan jalan pada saat jalan basah

[5],[6]. Selain itu kadar rongganya yang tinggi diharapkan dapat berfungsi sebagai drainase agar genangan air diatas permukaan jalan yang seringkali terjadi dapat diminimalisir [7]. Dengan memiliki permukaan yang lebih kasar aspal porous dapat mengurangi kebisingan (*noise reduction*) [8],[9].

Pembuatan aspal porous yang bersifat dapat ditembus oleh air (*permeable*)[6] didukung dengan adanya pengembangan sistem drainase bawah permukaan (*subdrain*) yang juga mulai dikembangkan di Indonesia. Dalam manual desain perkerasan jalan 2017 dijelaskan bahwa sistem drainase permukaan harus disediakan secara komprehensif. Drainase bawah permukaan (*subdrain*) perlu dipertimbangkan dalam beberapa hal salah satunya adalah terjadi kerusakan akibat air pada perkerasan eksisting dan terdapat aliran air ke perkerasan [2].

Pembuatan gradasi aspal porous dalam penelitian ini menggunakan gradasi *Stone Matrix Asphalt* (SMA) kasar bina marga 2018[10]. Penggunaan gradasi SMA karena memiliki presentase agregat kasar yang lebih banyak. Dengan menggunakan 3 variasi gradasi, diharapkan bahwa hasil pengujian karakteristik marshall khususnya stabilitas mencapai >800kg.

2. Metode Penelitian

Berdasarkan pengujian yang dilaksanakan di Laboratorium Perhubungan dan Bahan Konstruksi Jalan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Aspal pen 60/70 dan agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal dari PT. Pertamina penetrasi 60/70 yang didapatkan dari PT. Merakindo Mix yang berasal dari daerah Kejayan-Pasuruan. Gradasi agregat yang digunakan adalah gradasi *Stone matrix asphalt* (SMA) dengan menggunakan 3 variasi gradasi. Proses pembuatan dan pengujian melalui beberapa tahap, yaitu analisa saringan agregat dengan gradasi presentase agregat kasar, mencari dan menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dan pengujian untuk mencari karakteristik marshall dan pengujian permeabilitas.

2.1 Pengujian Bahan Penyusun Aspal Porus

Pengujian bahan penyusun aspal porous yang terdiri dari agregat dan aspal pen 60/70. Pengujian agregat meliputi berat jenis agregat kasar dan halus, penyerapan agregat dan abrasi agregat dengan mesin Los Angeles. Untuk pengujian aspal pen 60/70 meliputi penetrasi, titik lembek, daktilitas, titik nyala dan berat jenis.

2.2 Analisa Gradasi

Analisa ayakan dilakukan terlebih dahulu untuk menentukan proporsi agregat yang dapat digunakan dalam pembuatan benda uji. Sehingga akan didapatkan proporsi material dan presentase aspal yang akan digunakan dalam campuran aspal porous. Sehingga didapatkan presentase agregat yang memenuhi persyaratan dari *Stone matrix asphalt* (SMA) Bina Marga 2018 dengan batas gradasi dalam **Tabel 1**.

Tabel 1. Batas gradasi.

	Titik Kontrol (Spesifikasi)						
Max	100	100	88	60.0	28.0	24.0	11.0
Min	100	90	50.0	25.0	20.0	16.0	8.0
Tengah	100	95	69	43	24	20	9.50

2.3 Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dalam menentukan KAO, perhitungan komposisi aspal digunakan untuk mengetahui nilai aspal ideal dan sebagai perkiraan untuk mencari kadar aspal optimum. Kadar aspal ditentukan setelah kita melakukan analisa saringan. Rumus yang digunakan untuk perhitungan perkiraan kadar aspal optimum adalah sebagai berikut:

$$P = 0,035(\% CA) + 0,045(\% FA) + 0,18(\% \text{ filler}) + K \quad (1)$$

Dimana:

Pb = Kadar aspal rencana, persen terhadap berat campuran

CA = Agregat kasar, persen agregat tertahan saringan no. 8

FA = Agregat halus, persen agregat lolos saringan no. 8 dan tertahan saringan no. 200

FF = Agregat lolos ayakan no. 200

K = Konstanta (nilai K sekitar 0,5 sampai 1,0 untuk AC dan 2,0 – 3,0 untuk HRS).

2.3 Pengujian Marshall

Pengujian Marshall merupakan langkah penting dalam menentukan karakteristik suatu campuran aspal. Itu metode *marshall design* untuk campuran aspal berpori adalah yang paling banyak digunakan sebagai metode desain campuran studi laboratorium eksperimental saat ini. Karakteristik campuran aspal yaitu dengan parameter marshall adalah density, stabilitas, rongga dalam campuran (VIM), kekosongan dalam agregat mineral (VMA). Ketentuan *Stone matrix asphalt* (SMA) dapat dilihat dalam **Tabel 2**

Rumus Perhitungan parameter marshall

$$- \text{Stabilitas} = O \times E \times Q \quad (2)$$

Dimana:

Stabilitas = Stabilitas Marshall (kg)

O = Pembacaan Arloji (Lbf)

E = Angka Kolerasi Volume Benda Uji
 Q = Kalibrasi Alat Marshall

$$VMA = 100 - \frac{100-P}{Gsb} \times Gmb \quad (3)$$

Dimana:

VMA = Void in Mineral Aggregate
 Gmb = Berat Jenis Bulk dari Campuran
 Pb = Kadar Aspal
 Gsb = Berat Jenis Bulk Total Agregat

$$Density = \frac{Wdry}{(Ws-W)} \quad (4)$$

Dimana:

$Density$ = Densitas/berat isi
 $Wdry$ = Berat Kering/berat diudara (gr)
 Ws = Berat kering permukaan (gr)
 Ww = Berat Didalam Air (gr)

$$VIM = 100x \left(\frac{Gmm-G}{Gmm} \right) \quad (5)$$

Dimana:

VIM = Void in the Mix
 Gmm = Berat Jenis Maksimum dari Campuran
 Gmb = Berat Jenis Bulk dari Campuran

$$VFA = 100x \left(\frac{VMA-V}{VMA} \right) \quad (6)$$

Dimana:

VMA = Void in Mineral Aggregate
 VIM = Void in the Mix

Tabel 2. Ketentuan Gradasi SMA

Sifat-sifat Campuran		SMA Tipis, Halus dan Kasar	SMA Mod Tipis, Halus dan Kasar
Jumlah tumbukan per bidang		50	
Rongga dalam Campuran (%)	Min	4,0	
	Maks.	5,0	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	17	
Stabilitas Marshall (kg)	Min	600	750
Pelelehan (mm)	Min	2	
	Maks.	4,5	
Marshall Quotient (MQ)	-	-	

2.4 Pengujian Permeabilitas

Untuk pengujian dan perhitungan permeabilitas menggunakan rumus sebagai berikut [11]

$$K = 2.3 \frac{aL}{At} \times \left[\log \left(\frac{h1}{h2} \right) \right] \quad (7)$$

Dimana:

K = Koefisien permeabilitas air (cm/dt)

A = Luas potongan melintang tabung (cm²)

L = Tebal spesimen (cm),

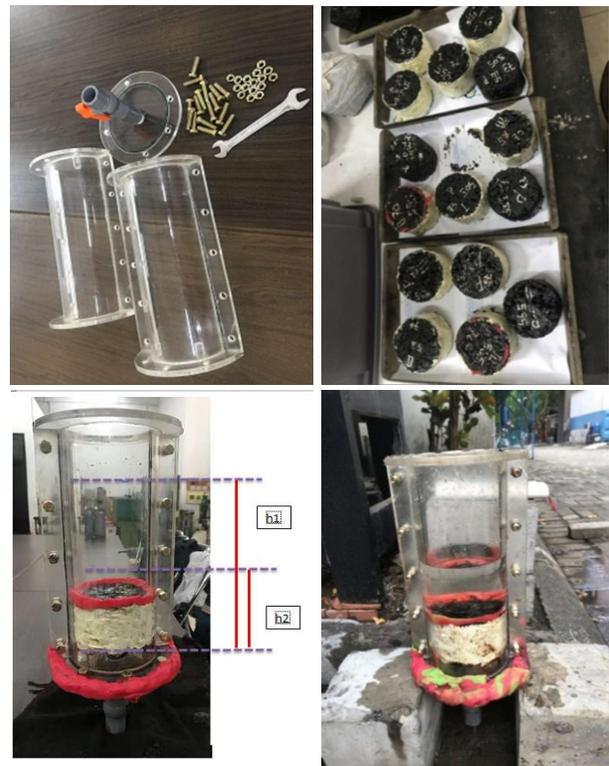
A = Luas potongan specimen (cm²)

T = Waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari $h1$ ke $h2$ (s)

$h1$ = Tinggi batas air paling atas pada tabung (cm)

$h2$ = Tinggi batas air paling bawah pada tabung (cm)

Proses pengujian permeabilitas dilakukan dengan menggunakan alat seperti **Gambar 1** yang dimodifikasi sesuai dengan ukuran benda uji aspal. Sebelum melakukan pengujian bagian luar benda uji aspal porus dilapisi dengan *silicone sealant* terlebih dahulu.



Gambar 1. Proses Pengujian Permeabilitas

2.5 Perhitungan Waktu Perembesan Air

- Distribusi Gumbel

Metode Gumbel [12] menggunakan harga ekstrim untuk menunjukkan bahwa dalam deret harga-harga ekstrim $X1, X2, X3, \dots, Xn$ mempunyai fungsi distribusi eksponensial ganda.

$$X_T = \bar{x} + s.K \quad (8)$$

Dimana

X_T = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan.

\bar{x} = nilai rata-rata hitung variat,

s = deviasi standar nilai variat,

K = faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi

$$y_T = - \left[\ln \left(\ln \frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (9)$$

Dimana

y_T = *Reduced variate*

$$K_T = \frac{y_T - y_n}{s_n} \quad (10)$$

y_n = *Reduced mean* yang tergantung jumlah sampel/data n,

s_n = *Reduced standard deviation* yang juga tergantung pada jumlah sampel/data n,

$$\sigma_{N-1} = \sqrt{\frac{\sum_0^N (x-\bar{x})^2}{N-1}} \quad (11)$$

$$R_{10} = \bar{x} + (K_T \times \sigma_{N-1}) \quad (12)$$

σ = standar deviasi (simpangan baku) = faktor probabilitas

Intensitas hujan (*Mononobe*) [13]

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (13)$$

Dimana:

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

T = Waktu hujan (jam)

R 24 = Tinggi hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

- Waktu konsentrasi (*Kerby*) [13]

$$t_0 = 1,44 \times (l_0 \times \frac{nd}{\sqrt{s_0}})^{0,467} \quad (14)$$

Dimana:

l_0 = Jarak dari titik terjauh ke inlet (m)

nd = Koefisien hambatan setara koefisien kekasaran

s_0 = Kemiringan daerah pengaliran

Debit lapangan (metode rasional) [13]

$$Q = 0.278 CIA \quad (15)$$

Dimana:

Q = Debit puncak banjir (m³/det)

A = Luas daerah aliran sungai (km)

C = Koefisien pengaliran

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

Teori tentang aliran air [14]

$$Q = K \times A \times \left(\frac{\Delta h}{L} \right) \quad (16)$$

Dimana:

Q = Volume aliran (cm³/detik)

K = Koefisien permeabilitas (cm/detik)

A = Luas penampang (cm²)

$\Delta h / L$ = Hidrolik gradien (tidak berdimensi)

- Gradient Hidrolik [15]

$$i = \Delta h / L \quad (17)$$

Dimana

i = Hidrolik gradien

ΔH = Perbedaan atau perubahan total potensial air antara titik-titik dalam tanah,

L = jarak antara titik-titik

$$\begin{aligned} \Delta h &= H_i - H_0 = H_{ip} + H_{ig} - 0 \\ &= H_{ip} + H_{ig} \end{aligned} \quad (18)$$

$$i = \frac{\Delta h}{L} = \frac{H_{ip} + H_{ig}}{L} \quad (19)$$

H_i dan H_0 adalah total pusat hidrolik pada masing-masing aliran ke dalam dan ke luar. Datum *plane* adalah pilihan pada keluaran $H_0 = 0$. Perbedaan antara H_0 dan H_i adalah ΔH . Untuk lubang vertikal dengan datum pada bagian bawah gravitasi (H_{ig}) dan panjang lubang (l) adalah sama Konskuensinya, keragaman adalah panjang (kedalaman) bawah permukaan (H_{ip}) mendapatkan tingkat aliran air yang efektif. Peningkatan panjang kedalaman bawah permukaan (H_{ip}) meningkatkan gradien, yang pada gilirannya meningkatkan kecepatan aliran air (*flux*).

Waktu rembes [1]

- Mencari kecepatan

$$V_s = \frac{k \times i}{n} \quad (20)$$

Dimana:

V_s = kecepatan aliran melalui pori di antara butiran material

K = koefisien Permeabilitas

I = Hidrolik gradien

$$t = \frac{s}{V_s} \quad (21)$$

Dimana:

T = waktu perjalanan

V_s = kecepatan aliran / *seepage*

S = jarak maksimum aliran / *seepage* pada lapisan drain

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengujian Agregat dan Aspal pen 60/70

Hasil pengujian untuk setiap agregat kasar, agregat halus dan aspal pen 60/70 dapat dilihat dalam **Tabel 3**, **Tabel 4** dan **Tabel 5**.

Tabel 3. Hasil pengujian agregat kasar

No	Pengujian	Persyaratan	Hasil Pengujian
1	Kasar	Berat Jenis Semu,	2.723 gr/cm ³
	15-10	gr/cm ³	
	Berat Jenis Bulk,	2.659 gr/cm ³	
	gr/cm ³	Min, 2.5	
2	Kasar	Berat Jenis Semu,	2.711 gr/cm ³
	10-5	gr/cm ³	
	Berat Jenis Bulk,	2.628 gr/cm ³	
	gr/cm ³		
3	Kasar		0.879 %
	15-10		
3	Kasar	Penyerapan Air, %	Maks. 3
	10-5		1.178 %
3	Abrasi dengan Mesin Los Angeles, %	Maks. 40	19.06 %

Tabel 4. Hasil pengujian agregat halus

No	Pengujian	Persyaratan	Hasil Pengujian
1	Berat Jenis Semu, gr/cm ³	Min, 2.5	2.697 gr/cm ³
	Berat Jenis Bulk, gr/cm ³		2.633 gr/cm ³
2	Penyerapan Air, %	Maks. 3	0.898 %

Hasil pengujian agregat dan aspal pen 60/70 telah memenuhi persyaratan yang ada sehingga bahan agregat dan aspal pen 60/70 dapat digunakan untuk pembuatan benda uji aspal porus.

Tabel 5. Hasil pengujian Aspal Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Persyaratan	Hasil Pengujian
1	Penetrasi Pada 25 °C (0.1mm)	60-70	63.30
2	Titik Lembek c	≥48	49.3 °C
3	Daktalitas pada 25 °C (cm)	≥100	140
4	Titik Nyala	≥232	298 °C
5	Berat Jenis	≥1,0	1.033

3.2 Variasi gradasi

Variasi gradasi yang didapatkan setelah melakukan analisis ayakan adalah 3 variasi gradasi yaitu gradasi dengan agregat kasar 70%, 73% dan 75%. Hasil analisis gradasi dapat dilihat dalam **Tabel 6**

Tabel 6. Hasil analisis variasi gradasi

Ukuran	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#200
Ayakan	25.4	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36	0.075
70%	100	100	80.53	57.49	22.34	19.89	8.18
73%	100	100	79.69	56.34	22.08	19.93	8.16
75%	100	100	79.14	55.57	21.92	19.95	8.14
Titik Kontrol (Spesifikasi)							
Max	100	100	88	60.0	28.0	24.0	11.0
Min	100	90	50.0	25.0	20.0	16.0	8.0
Tengah	100	95	69	43	24	20	9.50

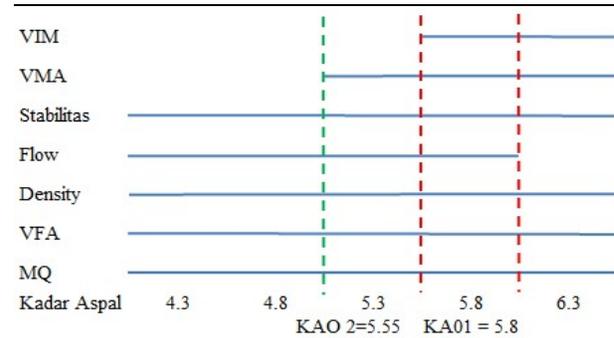
3.3 Pengujian Marshall untuk mencari Kadar Aspal Optimum (KAO) Setiap Variasi

Pengujian setiap kadar aspal yang telah ditentukan akan menghasilkan kadar yang paling baik. Kadar aspal yang paling baik adalah yang telah memenuhi persyaratan yang ada, yang diharapkan hasil yang didapatkan adalah hasil yang paling optimal. Dalam penelitian ini setiap variasi gradasi memiliki 5 kadar aspal dan setiap kadar aspal dibuat 5 benda uji. Kemudian dilakukan pembuatan benda uji mulai dari persiapan material, penimbangan material, pencampuran material dan aspal pen 60/70, pemadatan dan pengujian. Hasil pengujian untuk mencari KAO dapat dilihat pada **Tabel 7**, **Tabel 8** dan **Tabel 9**. Untuk gambar

penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat dalam **Gambar 2**, **Gambar 3** dan **Gambar 4**.

Tabel 7. Hasil pengujian Marshall variasi gradasi atas (70%kasar)

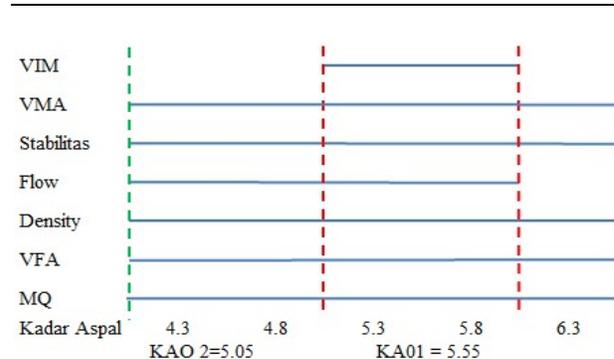
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	VIM (%)	VMA (%)	Flow (mm)	Density	MQ (kg/mm)
4.3	846.831	6.653	16.411	3.180	2.344	266.299
4.8	918.096	6.093	16.969	3.400	2.341	270.028
5.3	903.884	5.494	17.491	3.600	2.338	251.079
5.8	898.199	4.772	17.904	4.080	2.339	220.147
6.3	832.890	4.279	18.513	4.960	2.334	167.921



Gambar 2. Penentuan KAO variasi gradasi atas (70%kasar)

Tabel 8. Hasil pengujian Marshall variasi gradasi tengah (73%kasar)

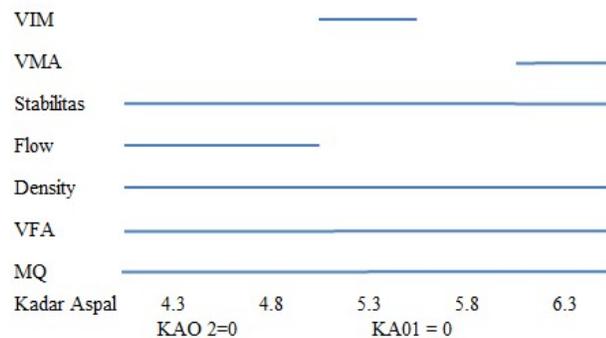
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	VIM (%)	VMA (%)	Flow (mm)	Density	MQ (kg/mm)
4.3	1091.483	8.719	18.263	4.060	2.293	268.838
4.8	1201.702	7.098	17.860	4.140	2.316	290.266
5.3	972.102	4.962	17.029	4.180	2.352	232.560
5.8	839.434	4.200	17.413	4.480	2.353	187.374
6.3	666.048	3.521	17.871	5.700	2.353	116.850



Gambar 3. Penentuan KAO variasi gradasi tengah (73% kasar)

Tabel 9. Hasil pengujian Marshall variasi gradasi bawah (75%kasar)

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	VIM (%)	VMA (%)	Flow (mm)	Density	MQ (kg/mm)
4.3	937.398	6.884	16.621	4.200	2.339	223.19
4.8	971.110	5.610	16.546	4.420	2.354	219.7082
5.3	839.434	4.725	16.824	4.680	2.358	179.3663
5.8	829.717	3.417	16.740	5.120	2.373	162.0542
6.3	700.487	3.748	18.066	5.740	2.348	122.0361

**Gambar 4.** Penentuan KAO variasi gradasi bawah (75% kasar)

Hasil pengujian diatas, didapatkan dari 5 buah benda uji yang kemudian diambil rata-ratanya, sehingga menghasilkan nilai karakteristik marshall yang terdiri dari nilai stabilitas, kepadatan (*Density*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), VIM (*Void in Mix*), dan VFWA (*Void Filled with Asphalt*), *Flow* dan *Marshall Quotient* (MQ).

Dari hasil pengujian setiap variasi gradasi memiliki Kadar Aspal Optimum (KAO) yang berbeda. Jenis campuran aspal yang direncanakan adalah campuran aspal porus dimana nilai VIM (*Void in Mix*) yang tinggi juga menjadi faktor utama[16],[11]. Sehingga Kadar Aspal Optimum (KAO) setiap variasi gradasi memperhatikan nilai VIM, sehingga didapatkan 2 macam KAO untuk setiap gradasi yaitu gradasi yang memiliki VIM kurang dari 5% yang masuk dalam spesifikasi *Stone Matrix Asphalt* (SMA) dan gradasi yang memiliki VIM (*Void in Mix*) diatas 5%.[17],[18].

3.4 Pengujian Marshall Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar Aspal optimum merupakan kadar aspal didalam campuran aspal yang memenuhi semua unsur dari parameter Marshall. Nilai kadar aspal optimum dapat dilihat dalam **Tabel 10** didasarkan yang memenuhi persyaratan pada

karakteristik Marshall diantaranya VMA (*Void in Mineral Aggregate*), VIM (*Void in The Mix*), VFWA (*Void Filled with Asphalt*), Stabilitas, Kelelahan (*Flow*), MQ (*Marshall Quotient*) Kepadatan (*Density*). Kadar Aspal Optimum dianalisis dengan cara memilih nilai tengah dari semua rentang kadar aspal pada masing-masing variasi campuran. Bentuk benda uji aspal porus dapat dilihat pada **Gambar 5**. Hasil penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat dalam **Tabel 10** dan hasil pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat dalam **Tabel 11**.

Tabel 10. Hasil KAO setiap gradasi

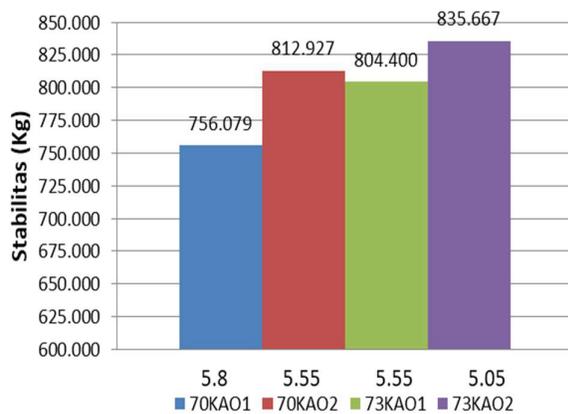
Variasi Campuran	Range - KAO	Nilai KAO
Gradasi 70% (atas)	5.8	5.8 (70KAO1)
	5.5-5.8	5.55 (70KAO2)
Gradasi 73% (tengah)	5.3-5.8	5.55 (73KAO1)
	4.3-5.8	5.05 (73KAO2)
Gradasi 75% (bawah)	-	-

**Gambar 5.** Benda uji campuran aspal porus

Tabel 11. Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO)

Variasi Gradasi	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	VIM (%)	VMA (%)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
70KAO1	5.8	756.079	4.188	17.400	3.860	195.87545
70KAO2	5.55	812.927	4.935	17.526	3.740	217.36024
73KAO1	5.55	804.400	4.702	17.326	3.760	213.9362
73KAO2	5.05	835.667	6.254	17.638	3.440	242.92632

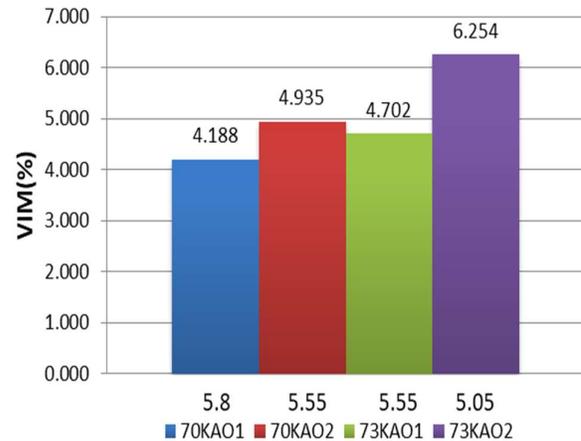
Penjelasan hasil pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO) pada **Tabel 11** dapat diuraikan sebagai berikut ini. Dari **Gambar 6** hasil pengujian marshall untuk benda uji Kadar Aspal Optimum (KAO), didapatkan nilai stabilitas dari yang paling tinggi sampai dengan paling rendah adalah dengan nilai 835.667 kg variasi 73KAO2 dengan kadar aspal 5.05%, 812.927 kg variasi 70KAO2 dengan kadar aspal 5.55%, 804.400 kg variasi 73KAO1 dengan kadar aspal 5.55% dan 756.079 kg variasi 70KAO1 dengan kadar aspal 5.8%. Nilai stabilitas yang memiliki hasil yang paling tinggi adalah dengan kadar aspal yang lebih rendah daripada kadar aspal KAO yang lainnya. Hal ini terjadi dikarenakan pada KAO variasi gradasi 73KAO2 memiliki campuran yang lebih baik, sehingga ikatan/interlocking agregat bisa mengikat dengan baik. Oleh karena hal tersebut nilai stabilitas yang dihasilkan lebih optimal [18],[19],[20].



Gambar 6. Hasil pengujian Stabilitas.

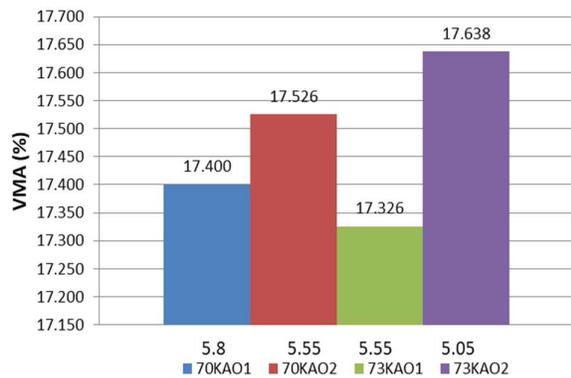
Dari **Gambar 7** hasil pengujian VIM (*Void in The Mix*) didapatkan nilai tertinggi sampai yang terendah 6.254% variasi 73KAO2 dengan kadar aspal 5.05%, 4.935% variasi 70KAO2 dengan kadar aspal 5.55%, 4.702 % variasi gradasi 73KAO1 dengan kadar aspal 5.55% dan 4.188% variasi gradasi 70KAO1 dengan kadar aspal 5.8%. Hasil pengujian VIM menunjukkan bahwa kadar aspal mempengaruhi nilai presentase VIM, dibuktikan dengan presentase kadar aspal terendah memiliki nilai VIM tertinggi[21]. Variasi gradasi berpengaruh dengan besarnya

nilai VIM yang dihasilkan. Dengan memiliki agregat kasar yang lebih tinggi variasi gradasi 73KAO2 memiliki nilai VIM yang tinggi juga, untuk variasi gradasi 70KAO1 dan 73KAO2 memiliki kadar aspal yang sama namun hasil pengujian berbeda. Hal ini disebabkan karena agregat penyerapan aspal lebih kecil dari gradasi 70KAO2. Serta menyebabkan nilai VIM gradasi 70KAO2 lebih kecil dari gradasi 70KAO1, meskipun memiliki agregat kasar lebih banyak dan dapat terjadi karena gradasi atas mempunyai campuran yang lebih halus sehingga dapat memperkecil rongga yang terbentuk. [18],[22].



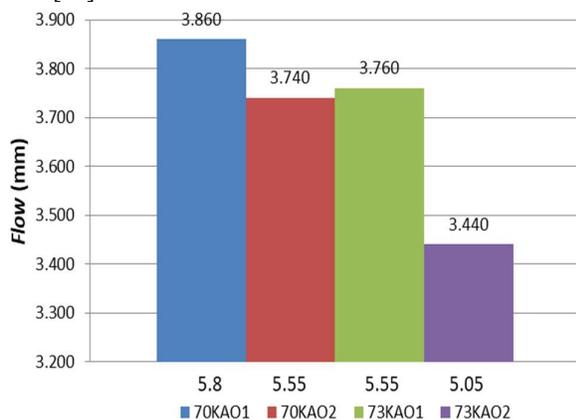
Gambar 7. Hasil pengujian VIM

Dari **Gambar 8** hasil pengujian didapatkan nilai VMA (*Void in Mineral Aggregate*), tertinggi sampai yang terkecil adalah 17.638% variasi gradasi 73KAO2 kadar aspal 5.05%, 17.526% variasi gradasi 70KAO2 kadar aspal 5.55%, 17.326% variasi gradasi 73KAO1 kadar aspal 5.55% dan 17.400% variasi gradasi 70KAO1 kadar aspal 5.8%. Dengan semakin meningkatnya kadar aspal, maka nilai VMA akan cenderung mengalami penurunan hingga mencapai titik minimum dan akan meningkat kembali sesuai penambahan kadar aspal yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena aspal akan mengisi rongga antar agregat terlebih dahulu sampai rongga sudah tidak dapat diisi oleh aspal, sehingga nilai VMA menjadi minimum.[18],[23],[22]



Gambar 8. Hasil pengujian VMA

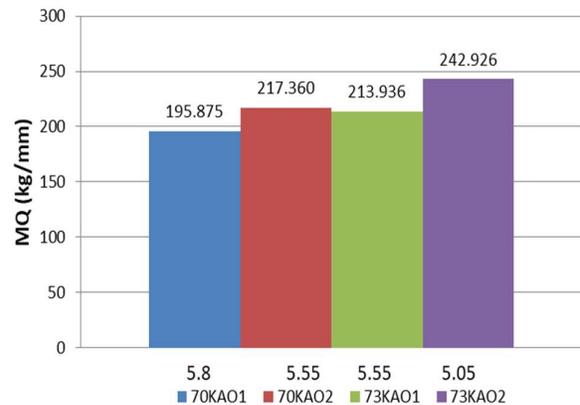
Dari Gambar 9 didapatkan nilai *flow* yang memiliki nilai paling tinggi adalah benda uji yang memiliki kadar aspal yang paling tinggi[24]. Nilai *flow* dari yang tertinggi sampai yang terendah adalah 3.860 variasi gradasi 70KAO1 kadar aspal 5.8%, 3.760 variasi gradasi 73KAO1 kadar aspal 5.55%, 3.740 variasi gradasi 70KAO2 kadar aspal 5.55% dan 3.440 variasi gradasi 73KAO2 kadar aspal 5.05%. Hasil pengujian setiap benda uji KAO masuk dalam spesifikasi. *Flow* yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah tidak baik bagi campuran aspal. Nilai *Flow* yang terlalu tinggi mengindikasikan campuran yang bersifat plastis, dan lebih mudah mengalami deformasi akibat beban. Sementara, *Flow* yang terlalu rendah mengisyaratkan campuran tersebut memiliki banyak rongga tidak terisi aspal melampaui batas normal. Hal ini terjadi jika kandungan aspal terlalu rendah sehingga berpotensi menimbulkan retak dini, dan durabilitas rendah[25]



Gambar 9. Hasil pengujian *Flow*

Dari Gambar 10 nilai *Marshall Quotient* (MQ) dipengaruhi oleh nilai stabilitas dan nilai kelelahan (*flow*). Nilai MQ dari yang tertinggi sampai yang terendah adalah 242.926 kg/mm gradasi 73KAO2 kadar aspal 5.05%,

217.360 kg/mm gradasi 70KAO2 kadar aspal 5.55%, 213.936 kg/mm gradasi 73KAO2 kadar aspal 5.55% dan 195.875 kg/mm gradasi 70KAO1 kadar aspal 5.8%.



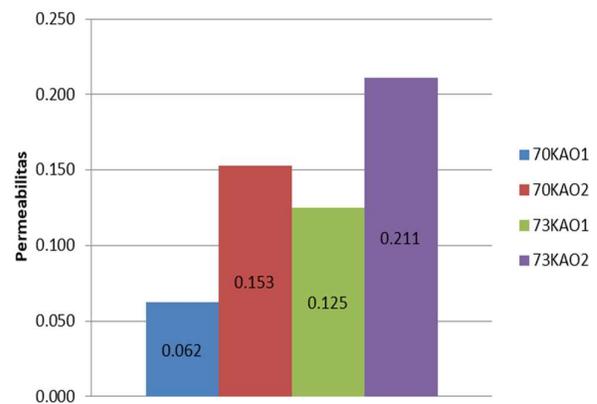
Gambar 10. Hasil pengujian MQ

3.4 Pengujian Permeabilitas

Hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat dalam Tabel 12 dan dalam Gambar 11 dibawah ini.

Tabel 12. Hasil Pengujian Permeabilitas

Variasi gradasi	Kadar Aspal (%)	K (cm/det)
70KAO1	5.8	0.062
70KAO2	5.55	0.153
73KAO1	5.55	0.125
73KAO2	5.05	0.211



Gambar 11. Hasil pengujian Permeabilitas

Dari Gambar 11 menunjukkan hasil pengujian permeabilitas dapat dilihat bahwa benda uji yang memiliki kadar aspal yang lebih rendah memiliki permeabilitas yang lebih tinggi, dikarenakan benda uji tersebut memiliki rongga atau presentase VIM yang lebih tinggi[18]. Hasil pengujian marshall KAO setiap variasi gradasi yang memiliki nilai VIM yang tinggi sampai terendah adalah KAO variasi gradasi 73% kasar dengan kadar aspal 5.05% (73KAO2),

variasi gradasi 70% kasar dengan kadar aspal 5.55% (70KAO2), variasi gradasi 73% kasar dengan kadar aspal 5.55% (73KAO1) dan yang terendah adalah variasi gradasi 70% kasar dengan kadar aspal 5.8% (70KAO1). Dengan hasil pengujian permeabilitas dari yang tertinggi sampai yang terendah adalah dengan KAO variasi gradasi 73KAO2 dengan nilai 0.211 cm/det, 70KAO2 dengan nilai 0.153 cm/det, 73KAO1 dengan nilai 0.125 cm/det dan 70KAO1 dengan nilai 0.062 cm/det.

- Perhitungan Waktu Perembesan

Penerapan perhitungan hasil dari permeabilitas dengan data curah hujan Surabaya selama 10 tahun terakhir dimulai tahun 2010-2019. Dalam perhitungan didapatkan waktu untuk air tidak tergenang dipermukaan jalan/aspal. Untuk hasil perhitungan waktu lamanya air tidak tergenang diatas permukaan aspal dapat dilihat dalam **Tabel 13**.

Tabel 13. Waktu rembesan air pada perkerasan aspal

No.	Variasi Gradasi	Nilai K (cm/det)	Intensitas Hujan (mm/jam)	Debit (lt/menit)	T (menit)
1	70KAO1,	0.062			2.51
2	70KAO2	0.152	884.003	7225.136	1.21
3	73KAO1	0.125			1.40
4	73KAO2	0.211			1.10

Presentase nilai VIM (*Void in The Mix*) yang semakin besar biasanya memiliki nilai koefisien permeabilitas yang lebih besar. Namun tidak menutup kemungkinan nilai koefisien permeabilitas menjadi lebih rendah dikarenakan tidak terlalu memperhatikan proses pencampurannya. Karena ada kemungkinan pori-pori yang terbentuk tidak semuanya saling berhubungan, sehingga apabila dilakukan test permeabilitas tidak terbentuk sistem drainase di dalam campuran. Oleh karena itu, saat perencanaan gradasi dan pencampuran pembuatan benda uji sangatlah penting dilakukan dengan baik. Sehingga campuran aspal porus dapat merata dan sehingga hasil yang didapatkan lebih optimum[11].

Pemilihan variasi gradasi yang paling baik untuk kadar aspal optimum untuk aspal porus adalah yang memiliki rongga yang paling tinggi dan stabilitas yang paling tinggi yaitu pada kadar aspal 5.05% dengan variasi gradasi 73% kasar (tengah). Dengan hasil stabilitas 835.667 kg dan permeabilitas 0.211 cm/dt dan nilai VIM 6.254%. Variasi gradasi 73% kasar memang memiliki nilai stabilitas yang tinggi dan nilai VIM yang tinggi semenjak pengujian mencari KAO dimana saat mencari KAO nilai stabilitas

paling tinggi untuk variasi gradasi 73% adalah 1201.702 kg dan VIM 7.098% dengan kadar aspal 4.8%. Oleh karena hal tersebut variasi gradasi yang baik untuk aspal porus adalah 73% kasar (tengah). Untuk penelitian selanjutnya diharapkan memiliki nilai VIM yang lebih tinggi, sehingga nilai permeabilitas menjadi lebih tinggi.

4. Simpulan

Dari hasil analisis dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil dari analisa gradasi agregat yang didapatkan dari analisa saringan, didapatkan 3 variasi gradasi yang digunakan yaitu, variasi gradasi dengan agregat kasar 70% (atas), agregat kasar 73% (tengah) dan agregat kasar 75% (bawah). Ketiga variasi tersebut masuk dalam spesifikasi batas maksimal dan minimal gradasi *Split Mastic Asphalt* kasar (SMA).
2. Variasi gradasi berpengaruh terhadap nilai parameter marshall adalah dengan perbedaan nilai mulai dari nilai VIM, VMA, *flow*, Stabilitas dan MQ. Gradasi tengah menghasilkan nilai stabilitas, VIM yang lebih tinggi dari gradasi atas dan gradasi bawah. Dengan nilai Stabilitas tertinggi 1.201,702 kg dan nilai VIM tertinggi 8.719%. namun untuk gradasi bawah tidak memenuhi spesifikasi untuk menentukan Kadar aspal optimum (KAO)
3. Variasi gradasi berpengaruh terhadap nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang dihasilkan. KAO variasi gradasi atas pada kadar aspal 5.8% dan 5.55%. Untuk gradasi tengah KAO dengan kadar aspal 5.55% dan 5.05%. sedangkan pada variasi gradasi bawah tidak didapatkan KAO hal ini dikarenakan hasil pengujian tidak masuk spesifikasi yang telah ditentukan. Hasil pengujian benda uji untuk KAO variasi gradasi atas adalah nilai stabilitas 56.079 Kg (5.8%) dan 812.927 Kg (5.55%), nilai VIM 4.188% (5.8%) dan 4.935% (5.55%), nilai VMA 17.400% (5.8%) dan 17.526% (5.55%), nilai *Flow* 3.860 (5.8%) dan 3.740 (5.55%), nilai MQ 195.875(5.8%) dan 217.360 (5.55%). Hasil pengujian KAO untuk variasi gradasi tengah adalah nilai stabilitas 804.400 Kg (5.55%) dan 835.667Kg (5.05%), nilai VIM 4.702% (5.55%) dan 6.254% (5.05%), nilai VMA 17.326% (5.55%) dan 17.638% (5.05%), nilai *Flow* 3.760 (5.55%) dan 3.440 (5.05%), nilai MQ 213.936(5.55%) dan 242.926(5.05%).
4. Kadar Aspal Optimum (KAO) setiap variasi gradasi campuran berpengaruh terhadap permeabilitas. Hal ini dikarenakan karena adanya perbedaan presentase jenis agregat yang digunakan, mengakibatkan presentase rongga dalam campuran berbeda. Hasil pengujian permeabilitas menunjukkan bahwa yang memiliki nilai

yang paling tinggi adalah kadar aspal optimum dari variasi gradasi agregat kasar 73% (tengah) dengan kadar aspal 5.05% dengan nilai 0.211 cm/dt dan untuk kadar aspal 5.55% dengan nilai 0.125 cm/dt. Untuk hasil pengujian permeabilitas lainnya adalah variasi gradasi agregat kasar 70% (atas) sebesar 0.153 cm/dt (5.55%) dan 0.062 cm/dt (5.8%).

Daftar Pustaka

- [1] A. Sulistiyatno and M. Dhanar, "Studi Pengaruh Genangan Air Terhadap Kerusakan Jalan Aspal dan Perencanaan Subdrain Untuk Ruas Jl. Rungkut Industri Raya, Jl. Rungkut Kidul Raya, Surabaya," *J. Tek. POMITS Vol. 1 No. 1*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2012.
- [2] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, "Manual Desain Perkerasan Jalan," p. 235, 2017, [Online]. Available: <https://ocw.upj.ac.id/files/Slide-CIV-314-modul-praktikum-jalan.pdf>.
- [3] W. C. Kamba, P. Herman, and T. M., "Karakteristik Aspal Porus Gradasi Australia Dengan Bahan Pengikat Substitusi Parsial Liquid Asbuton," pp. 1–10, 2014.
- [4] Djumari and D. Sarwono, "Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material Lokal Dengan Metode Pemampatan Kering," *Media Tek. Sipil*, 2009, doi: 10.3182/20100915-3-IT-2017.00072.
- [5] A. Selian, S. M. Saleh, and R. Faisal, "Campuran Aspal Porus dengan Pemanfaatan Gondorukem ke dalam Aspal," vol. 1, no. 3, pp. 8–14, 2019.
- [6] W. D. Martin, B. J. Putman, and A. I. Neptune, "Influence of Aggregate Gradation on Clogging Characteristics of Porous Asphalt Mixtures," *J. Mater. Civ. Eng.*, 2014, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000975.
- [7] N. Ali, "Studi Penggunaan Serat Ijuk Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal Porous Liquid Asbuton," *Mater. Konf. Nas. Tek. Sipil Univ. Sebel. Maret -Surakarta*, vol. 7, no. KoNTekS 7, pp. 24–26, 2013.
- [8] P. Herrington, S. Reilly, and S. Cook, "Porous Asphalt Durability Test," no. 265, 2005.
- [9] A. Setyawan, "Observasi Properties Aspal Porus Berbagai Gradasi Dengan Material Lokal," *Media Tek. Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 15–20, 2009.
- [10] Bina Marga, "Spesifikasi umum 2018," 2018.
- [11] D. Sarwono and A. K. Wardhani, "Pengukuran Sifat Permeabilitas Campuran Porous Asphalt," *Media Tek. Sipil*, vol. 7, no. 2, pp. 131–138, 2007.
- [12] T. C. Upomo and R. Kusumawardani, "Pemilihan Distribusi Probabilitas Pada Analisa Hujan Dengan Metode Goodness of Fit Test," *J. Tek. Sipil dan Perenc.*, vol. 18, no. 2, pp. 139–148, 2016, doi: 10.15294/jtsp.v18i2.7480.
- [13] P. Prameswari, *Perencanaan Drainase Jalan Lingkar Luar Barat Surabaya Tahap 3 (STA 4+000 Sampai Dengan STA 11+502.94)*. 2017.
- [14] I. W. Diana, "Studi Rongga Menerus Dan Kinerja Permeabilitas Perkerasan Aspal Porus Lapis Ganda," *Tek. Sipil*, 2004.
- [15] K. S. Lubis, "Keterhantaran Hidrolik dan Permeabilitas : Kaitan, Perumusan dan Perkembangan Penglom-pokan," pp. 1–15, 2007.
- [16] A. Zuliansyah and A. M. Zulkarnain, "Pengaruh Penggunaan Rubberized Asphalt Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus," 2015.
- [17] A. Nurcahya, B. S. Subagio, H. Rahman, and W. Weningtyas, "Analisis Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Pen 60/70 Dan Aspal Modifikasi Polimer Elvaloy," *J. UNILA*, 2015.
- [18] A. T. Aditama, *Analisis Gradasi Agregat sebagai Upaya Perbaikan Karakteristik Campuran Aspal Beton Geopolimer*, no. Rc 142501. 2017.
- [19] A. Sumarsono, S. Widyastuti, and A. Setyawan, "Perbandingan Karakter Aspal Porus Menggunakan Aggregate Gravel Dan Kerikil Merapi Dengan Agregat Konvensional," *Konf. Nas. Tek. Sipil 7*, vol. 7, no. KoNTekS 7, pp. 24–26, 2013.
- [20] M. Z. Arifin, H. Bowoputro, and F. Yuwananingtyas S, Amelia Rasfiah, "Pengaruh Penggunaan Komposisi Batu Pecah Dan Piro-pilit Sebagai Agregat Kasar Dengan Variasi Kadar Aspal Terhadap Stabilitas Dan Durabilitas Campuran HRS (Hot Rolled Sheet)," *Sci. China Life Sci.*, vol. 49, no. 4, pp. 69–73, 2008, [Online]. Available: http://www.ramr.org/articulos/volumen_8_numero_2/casuistica/casuisticas_emangioendotelioma_epitelioide_de_pleur_a.pdf%0Ahttps://www.hindawi.com/journals/crira/2017/5972940/%0Ahttp://www.echeat.com/free-essay/-Understanding-the-Basics-of-American-Football-31.
- [21] S. R. Bento, "Pengaruh Penggunaan Limbah Serbuk Batu Marmer Sebagai Bahan Pengisi (Filler) Pada Campuran Lapis Aus Permukaan Aspal Beton (AC-WC) Terhadap Persyaratan Parameter Marshall," *Stat. F. Theor.*, vol. 53, no. 9, pp. 1–27, 2019, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [22] G. M. B. Baskara, *Analisis Modulus Kekakuan Campuran Aspal Beton Dengan Penggunaan Agregat Buatan Berbahan Geopolimer.*, no. Rc 185401. 2019.
- [23] A. Efendy and E. Ahyudanari, "Analisis Perbandingan Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk Perbedaan Gradasi (BBA, FAA dan BM)," *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 17, no. 1, p. 7, 2019, doi: 10.12962/j2579-891x.v17i1.4706.
- [24] Misbah, "Pengaruh Variasi Kadar Aspal Terhadap Nilai Karakteristik Campuran Panas Aspal Agregat (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall," vol. 3, no. 1, pp. 40–48, 2015.
- [25] M. Machus, A. F. Mawardi, M. Khoiri, R. Basuki, and F. H. Akbar, "Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Pemadatan Campuran Laston Lapis Antara (AC-BC) dengan Menggunakan Aspal Modifikasi," *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 18, no. 1, p. 107, 2020, doi: 10.12962/j2579-891x.v18i1.6215.