

Analisis Variasi Gradasi Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) Terhadap Parameter Marshall dan Permeabilitas

Wiranata, Muhammad Adam, Abd Karim Hadi, St Fauziah Badaron, Salim*

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar

*wirankkonco@gmail.com

Diajukan: 25 Maret 2024, Revisi: 01 April 2025, Diterima: 10 April 2025

Abstract

Stone Matrix Asphalt (SMA) is a mixture of hot asphalt concrete that is graded open with a fairly high crude aggregate content, containing a high aggregate content. The purpose of this study is to analyze the Variation of Gradation of Stone Matrix Asphalt (SMA) mixture on marshall characteristics and permeability. From the marshall test results the upper gradation (65% Rough) yields a stability value, which is higher than the ideal gradation (70% Rough) and the lower gradation (75% Rough). With the highest stability value of 805.67 kg while the lower gradation has a higher VIM value than the upper gradation (65% Rough) and the ideal gradation (70% Rough) with the highest VIM value of 7.16%. From the results of the permeability coefficient of the lower gradation 0.2794, the ideal gradation is 0.2515 and the upper gradation is 0.2398. From the three gradation variations, it was found that the lower gradation (75% Rough) had a higher permeability coefficient than the upper gradation (65% Rough) and the Ideal Gradation (70% Rough).

Keywords: Gradient, Marshall Testing, Permeability Testing, Stone Matrix Asphalt (SMA), Variation

Abstrak

Stone Matrix Asphalt (SMA) adalah suatu campuran beton aspal panas yang memiliki gradasi terbuka dengan kandungan agregat kasar lebih dominan. Tujuan Penelitian ini Untuk menganalisa Variasi Gradasi Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) terhadap karakteristik marshall dan Permeabilitas. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini ialah metode eksperimen. Dari Hasil Pengujian marshall Gradasi atas (65 % Kasar) menghasilkan nilai stabilitas, yang lebih tinggi dari gradasi ideal (70 % Kasar) dan gradasi bawah (75% Kasar). Dengan nilai Stabilitas tertinggi 805,67 kg sedangkan gradasi bawah memiliki nilai VIM lebih tinggi dibandingkan gradasi atas (65% Kasar) dan gradasi ideal (70 % Kasar) dengan nilai VIM tertinggi 7.16%. Dari Hasil koefisien permeabilitas gradasi bawah 0.2794, gradasi ideal 0.2515 dan gradasi atas 0.2398. dari ketiga variasi gradasi di dapatkan bahwa gradasi bawah (75% Kasar) memiliki koefisien permeabilitas yang tinggi Daripada Gradasi atas (65 % Kasar) dan Gradasi Ideal (70 % Kasar).

Kata Kunci: Gradasi, Pengujian Marshall, Pengujian Permeabilitas, *Stone Matrix Asphalt (SMA)*, Variasi

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkerasan lentur ialah perkerasan jalan yang membutuhkan aspal sebagai bahan pengikat agregat. Aspal adalah zat yang memiliki sifat termoplastis yang konsistensinya akan berubah mempengaruhi karakteristik campuran (Asmidar et al., 2022). Akan tetapi, perkerasan aspal juga perlu didesain agar memiliki ketahanan terhadap cuaca mengingat secara geografis Indonesia memiliki iklim dua musim yaitu Kemarau dan Hujan (Handayasari et al., 2023). Pembaharuan terus dilakukan guna meningkatkan kualitas pada perkerasan dan mengantisipasi kerusakan pada jalan sebelum waktunya, Kerusakan pada perkerasan jalan dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis utama berdasarkan gejala dan penyebabnya. Ada banyak jenis beton aspal campuran panas, salah satunya adalah Stone Matrix Asphalt (SMA), yaitu memiliki gradasi senjang (Alirusi et al., 2023). Istilah SMA di bidang perkerasan jalan raya memiliki dua kepanjangan yang berbeda di Amerika dan Eropa campuran SMA di Amerika dikenal dengan singkatan dari Stone Matrix Asphalt, sedangkan di Eropa adalah Split Mastic Asphalt (Muhammad et al., 2023).

Salah satu faktor dampak yang mempengaruhi kerusakan jalan ialah karena adanya air yang menggenangi jalan pada saat curah hujan yang terlalu tinggi. Air dapat merusak jalan karena dapat melonggarkan ikatan antara agregat dengan aspal (Ayun & Prastyanto, 2021). Permeabilitas adalah kemampuan bahan untuk memungkinkan cairan (biasanya air) mengalir melaluinya, pengujian permeabilitas pada Stone Matrix Asphalt (SMA) digunakan untuk menentukan seberapa baik campuran tersebut dalam mencegah masuknya air, yang dapat mempengaruhi daya tahan dan kinerja perkerasan jalan (Mochamad Faizal, 2021). Oleh karena itu, pengujian permeabilitas sangat penting dalam memastikan campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) memiliki kinerja yang optimal dan tahan lama dalam berbagai kondisi lingkungan dan beban lalu lintas.

B. Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisa Variasi Gradasi Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) terhadap karakteristik marshall.
2. Untuk menganalisa Variasi Gradasi Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) terhadap Permeabilitas.

2. METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini ialah metode eksperimen. yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Perkerasan Jalan yang Ditinjau dari tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui Variasi gradasi Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) terhadap parameter marshall dan permeabilitas.

B. Teknik Pengumpulan Data

Data primer adalah data yang didapatkan melalui pengujian di Laboratorium mengenai karakteristik aspal beton (Studi & Jalan, 2017). Sedangkan data sekunder ialah data yang didapatkan pada berbagai referensi dan jurnal serta dari peraturan pengujian sesuai SNI (Pradana & Hartatik, 2023).

C. Pengujian Marshall

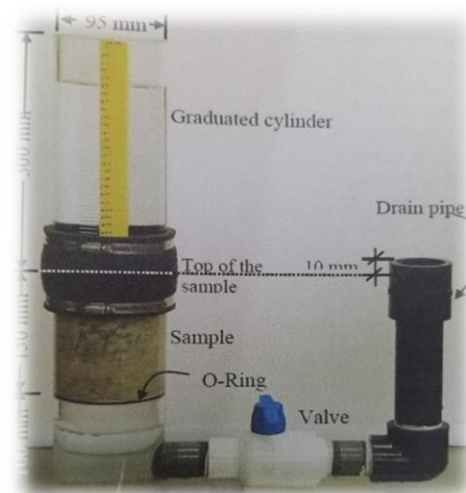
Langkah awal pada pengujian Marshall Test adalah pengerjaan sampel dengan kadar aspal rencana yang sudah didapatkan (Hamzah et al., 2016). Kemudian aspal dan material dipanaskan dan diaduk sampai halus sesuai proporsi masing-masing dan suhu pencampuran sesuai spesifikasi (Anggraini et al., 2020). Massa tersebut kemudian diaduk lebih lanjut agar aspal dapat mengisi rongga-rongga pada agregat. Setelah itu aspal dimasukan ke dalam cetakan lalu benda uji ditumbuk sebanyak 75 kali pada setiap sisinya agar menjadi padat. Benda uji kemudian dikeluarkan, didinginkan selama 24 jam, dan tinggi sampel diukur dengan ketelitian 0,1 mm. Selanjutnya diukur berat isinya setelah dikeringkan, kemudian rendam selama 24 jam, timbang kembali airnya, dan biarkan permukaannya mengering. Sampel harus dikeringkan dalam kondisi kering permukaan sebelum pengujian Marshall (Nanggar & Harahap, 2023).



Gambar 1 Alat Marshall Test

D. Pengujian Permeabilitas

Proses pengujian permeabilitas dari sampel di lakukan sehari sebelum Marshall. Kemudian Sediakan falling head permeability set-up, dengan kondisi keran tertutup hitung diameter pada pipa di falling head permeability, kemudian Pasang sampel pada ring karet Masukan air pada pipa di falling head permeability set-up dengan ketinggian yang telah di tentukan, lalu catat ketinggian air pada pipa Buka keran air pada alat, diwaktu yang sama nyalakan stopwatch, hitung waktu sampai permukaan air sama tinggi dengan permukaan sampel uji catat waktunya, lalu untuk mencari Koefisien permeabilitas aspal didapatkan dengan persamaan Hukum *Darcy*.



Gambar 2 Alat Permeabilitas Test

E. Metode Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode analisa regresi, dimana analisa statistik dilakukan guna mencari korelasi antara dua variabel yang ada (Pangesti et al., 2021). Jika terdapat hubungan maka dapat ditulis dalam rumus matematik serta akan digunakan sebagai bagian dari perhitungan. Seberapa valid hubungan tersebut, tergantung dari keeratan hubungan tiap variabel pada rumus matematik yang digunakan. (Walpole,1995) dikutip dari (Almayana Alwi et al., 2022).

Rumus regresi bertujuan untuk mencari pola atau hubungan tiap variabel terikat dan bebas namun sedikit kemungkinan kesalahan akan terjadi. Hubungan yang dihasilkan biasanya berbentuk persamaan matematik dan telah mewakili hubungan iap variabel.(Syarif et al., 2022).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemeriksaan Aspal Pen 60/70

Tabel 1 Hasil Pemeriksaan Aspal Pen 60/70

Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi
Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	61	55-68
Titik Lembek (°C)	52	≥ 49
Daktilitas pada 25°C (cm)	146	≥ 100
Titik Nyala (°C)	270	≥ 232
Titik Bakar (°C)	275	≥ 200
Berat Jenis	1,030	≥ 1.0

B. Hasil dan Analisis Pengujian Marshall Campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Tabel 2 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik Marshall Campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) Gradasi Atas (65 % Kasar)

Sifat-sifat Campuran	Hasil Pengujian					Spesifikasi
Kadar Aspal (%)	5	5.5	6	6.5	7	
Stabilitas; kg	711.00	780.33	805.67	751.33	695.67	≥ 600 kg
Flow; mm	2.83	2.40	2.33	2.47	2.80	2-4 mm
VIM (%)	6.58	5.11	4.91	4.22	3.84	3-5%
VMA (%)	16.72	16.89	16.97	17.65	18.80	≥ 15%
VFA (%)	60.61	69.71	71.05	76.06	79.54	≥ 63%
Density	2.23	2.24	2.25	2.24	2.22	≥ 2.2 kg/mm ³
MQ kg/mm	252.20	325.14	345.38	304.69	246.2	Min. 250 kg/mm

Tabel 3 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik Marshall Campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) Gradasi Bawah (75 % Kasar)

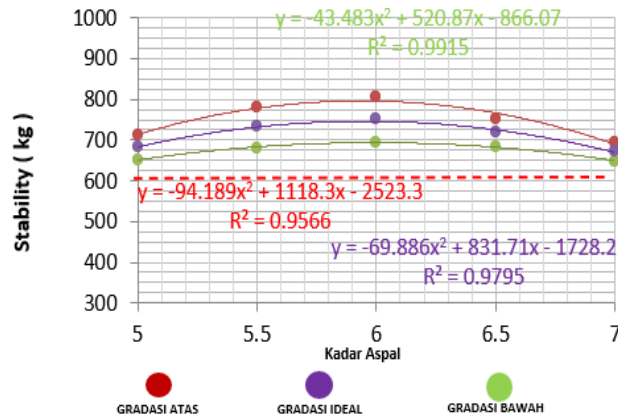
Sifat-sifat Campuran	Hasil Pengujian					Spesifikasi
Kadar Aspal (%)	5	5.5	6	6.5	7	
Stabilitas kg	681.57	733.97	750.50	717.65	672.44	≥ 600 kg
Flow mm	3.27	2.85	2.56	2.75	3.19	2-4 mm
VIM (%)	6.86	5.66	4.95	4.52	4.21	3-5%
VMA (%)	17.05	17.12	17.16	18.22	19.20	≥ 15%
VFA (%)	59.75	67.04	71.16	75.14	78.05	≥ 63%
Density	2.23	2.23	2.24	2.27	2.28	≥ 2.2 kg/mm ³
MQ kg/mm	213.54	266.85	296.16	265.87	214.40	Min. 250 kg/mm

Tabel 4 Rekapitulasi Pengujian Karakteristik Marshall Campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA) Gradasi Ideal (70 % Kasar)

Sifat-sifat Campuran	Hasil Pengujian					Spesifikasi
Kadar Aspal (%)	5	5.5	6	6.5	7	
Stabilitas kg	652.47	680.39	695.19	683.54	648.59	≥ 600 kg
Flow mm	3.73	3.27	2.82	3.03	3.57	2-4 mm
VIM (%)	7.16	5.03	4.85	4.51	4.22	3-5%
VMA (%)	17.38	17.38	17.48	18.75	19.39	≥ 15%
VFA (%)	58.77	71.23	72.26	75.91	78.27	≥ 63%
Density	2.22	2.23	2.24	2.22	2.21	≥ 2.2 kg/mm ³
MQ kg/mm	174.84	208.51	247.10	225.67	181.96	Min. 250 kg/mm

C. Analisis Dan Hasil Pengujian Marshall Terhadap Gradasi Atas (65 % Kasar) Gradasi Bawah (75 % Kasar) Dan Gradasi Ideal (70 % Kasar)

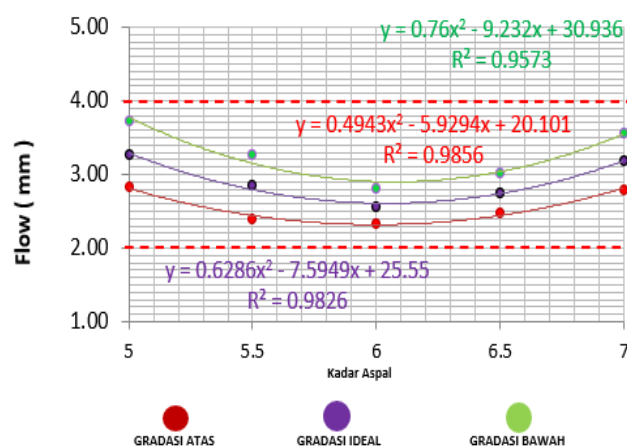
a) Hubungan Stabilitas Terhadap Variasi Gradasi



Gambar 3 Grafik Hubungan Stabilitas Terhadap Variasi Gradasi

Dari hasil Grafik menunjukkan angka stabilitas meningkat bersamaan dengan bertambahnya variasi kadar aspal 5.5% sampai 6% dan 6.5% mengalami kenaikan stabilitas dikarenakan aspal yang digunakan akan meningkatkan ketahanan dari campuran dan pada variasi 7% kadar aspal mengalami penurunan. Nilai stabilitas pada gradasi atas (65 % Kasar) yang lebih tinggi dibandingkan dengan gradasi bawah (75 % Kasar) dan gradasi ideal (70 % Kasar) dikarenakan ketahanan pada campuran yang bergradasi atas (65 % Kasar) yang dominan pada agregat halus memiliki rongga yg lebih sedikit dibandingkan gradasi bawah dan gradasi ideal yang dominan pada agregat kasar.

b) Hubungan Flow Terhadap Variasi Gradasi

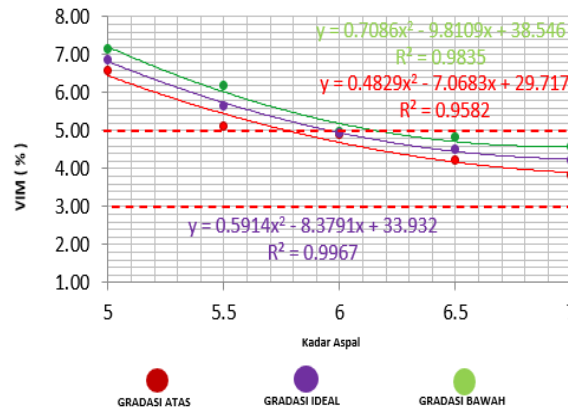


Gambar 4 Grafik Hubungan Flow Terhadap Variasi Gradasi

Dari hasil Grafik menunjukkan bahwa nilai flow memperoleh penurunan bersamaan dengan pertambahan kadar aspal yakni, didapatkan jika flow menghasilkan penurunan hingga titik tertentu atau titik di mana stabilitas mencapai titik optimum berikutnya pada kadar aspal flow mengalami peningkatan. nilai flow yang dihasilkan pada gradasi atas ini lebih rendah dibandingkan nilai flow pada gradasi bawah (75 % Kasar) dan gradasi ideal (70 % Kasar). Hal ini dikarenakan pada campuran gradasi atas (65 % Kasar) mendapatkan

nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan gradasi bawah dan gradasi ideal, inilah yang menyebabkan nilai keruntuhan atau flownya rendah.

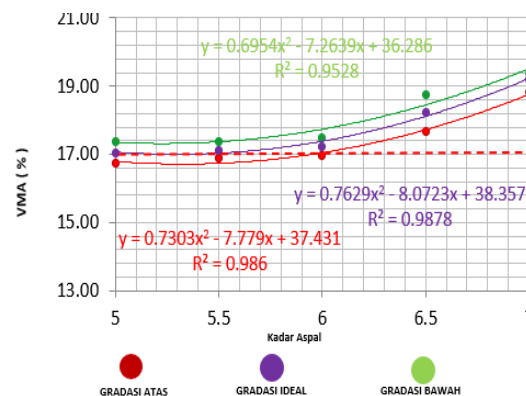
c) Hubungan Void in Mix (VIM) Terhadap Variasi Gradasi



Gambar 5 Grafik Hubungan Void in Mix (VIM) Terhadap Variasi Gradasi

Dari hasil Grafik menunjukkan bahwa kadar aspal yang dihasilkan menurun dengan nilai persentase volume rongga campuran sampai pada kadar aspal berikutnya. Pada campuran gradasi atas (65 % Kasar) dengan kadar aspal 5% dan 5.5% tidak mencapai spesifikasi sedangkan pada campuran gradasi bawah (75 % Kasar) kadar aspal 5%, dan 5.5% demikian pula gradasi ideal (70 % Kasar) kadar aspal 5% dan 5.5 % tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan pada Bina Marga yaitu 3-5%. Nilai VIM atau rongga dalam campuran pada gradasi atas (65% Kasar) lebih rendah dibandingkan dengan gradasi bawah (75 % Kasar) hal ini disebabkan oleh rongga yang tercipta pada gradasi atas yang dominan pada agregat halus lebih sedikit dibandingkan dengan gradasi bawah dan Gradasi Ideal yang dominan pada agregat kasar.

d) Hubungan Voids in Mineral Aggregate (VMA) Terhadap Variasi Gradasi

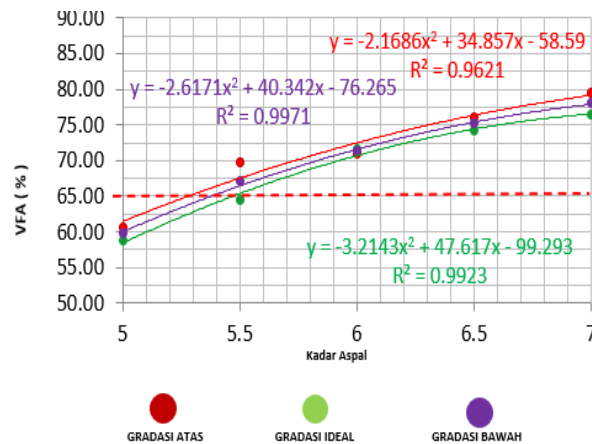


Gambar 6 Grafik Hubungan Voids in Mineral Aggregate (VMA) Terhadap Variasi Gradasi

Dari hasil Grafik data maka didapatkan, semua variasi kadar aspal pada campuran telah mencapai nilai VMA berdasarkan spesifikasi Bina Marga yaitu 15%. Nilai VMA yang didapatkan pada gradasi atas (65 % Kasar) lebih rendah dibandingkan dengan nilai VMA

pada gradasi bawah (75 % Kasar) dan gradasi ideal (70 % Kasar) hal ini menunjukkan bahwa gradasi agregat juga mempengaruhi besar nilai pada VMA.

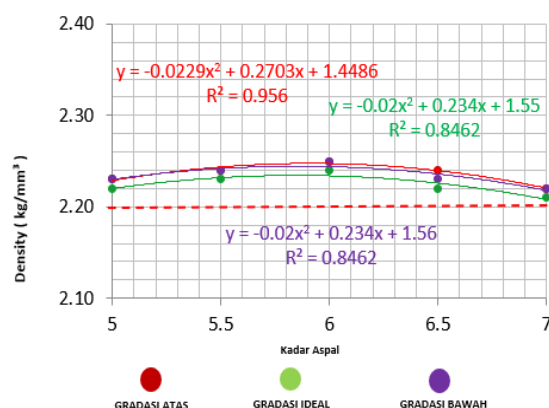
e) Hubungan Void filled with Asphalt (VFA) Terhadap Variasi Gradasi



Gambar 7 Grafik Hubungan Void filled with Asphalt (VFA) Terhadap Variasi Gradasi

Dari hasil Grafik menunjukkan bahwa pada campuran gradasi atas (65 % Kasar) persentase aspal 6% nilai VFA mengalami kenaikan sampai persentase aspal 7%. Begitupun dengan campuran gradasi bawah (75 % Kasar) kadar aspal 6% nilai VFA mengalami kenaikan sampai persentase kadar aspal 7% dan campuran gradasi ideal (70 % Kasar) kadar aspal 6% nilai VFA mengalami kenaikan sampai kadar aspal 7%. Semakin tinggi kadar aspal dalam campuran maka berbanding lurus dengan nilai VFA. Pada kadar campuran gradasi atas aspal 5% persentase VFA tidak memenuhi spesifikasi dan pada campuran gradasi bawah aspal 5% VFA tidak memenuhi spesifikasi demikian pula gradasi ideal aspal 5% VFA sampai spesifikasi artinya persentase kadar aspal yang dipakai kurang hingga menghasilkan volume rongga yang terisi aspal menjadi kurang.

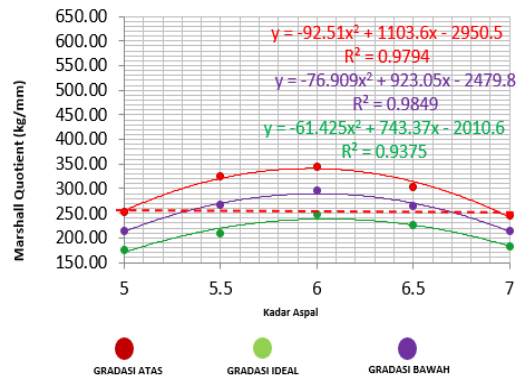
f) Hubungan Density Terhadap Variasi Gradasi



Gambar 8 Grafik Hubungan Density Terhadap Variasi Gradasi

Pada Grafik menjelaskan bahwa setiap penambahan kadar aspal nilai density mengalami kenaikan, kemudian mengalami penurunan pada kadar aspal optimum. Hasil analisis yang diperoleh pada campuran gradasi atas (65 % Kasar) gradasi bawah (75 % Kasar) dan gradasi ideal (70 % Kasar) memenuhi spesifikasi yaitu min 2.2 kg/mm². Nilai density pada gradasi atas lebih tinggi dibanding dengan gradasi bawah dan gradasi ideal. Karena ukuran butir agregat yang kecil pada gradasi atas dapat memberikan kontribusi pada peningkatan density campuran aspal karena mengurangi rongga.

g) Hubungan Marshall Quotient Terhadap Variasi Gradasi



Gambar 9 Grafik Hubungan Marshall Quotient Terhadap Variasi Gradasi

Pada Grafik menunjukkan jika nilai Marshall Quotient bertambah dengan bertambahnya kadar aspal mulai dari 5.5 % sampai 6.5 % kemudian menurun pada angka 7%. Hingga membantu mengidentifikasi kadar aspal optimal untuk mencapai keseimbangan antara kekakuan dan fleksibilitas campuran. Marshall Quotient memetakan kinerja yang baik dari campuran aspal sehingga menghindari masalah seperti retak atau deformasi berlebih serta memastikan umur panjang dari perkerasan jalan.

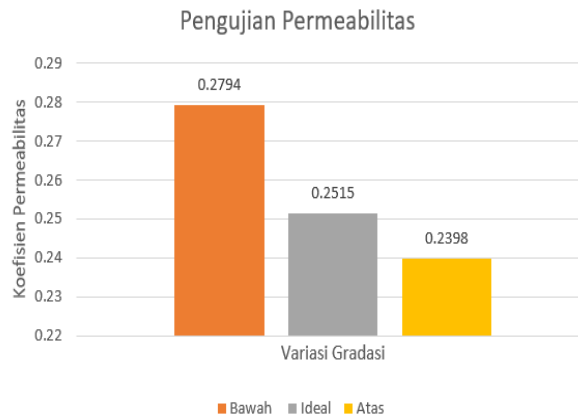
D. Analisis Dan Hasil Pengujian Permeabilitas Terhadap Gradasi Gradasi Atas (65 % Kasar) Gradasi Bawah (75 % Kasar) Dan Gradasi Ideal (70 % Kasar)

Tabel 5 Rekapitulasi Pengujian Permeabilitas Terhadap Gradasi Atas (65% Kasar) Gradasi Bawah (75% Kasar) dan Gradasi Ideal (70 % Kasar)

Variasi Gradasi	Volume Air (V)	Waktu (s)	Debit (Q)	Tinggi Sampel (L)	Luas Penampang (A)	Tinggi Air (h)	Koefisien Permeabilitas (K)
Bawah (75 % Kasar)	2000	12.5	90.48	6.65	8.614	20	0.2794
Ideal (70 % Kasar)	2000	13.8	89.93	6.65	8.614	20	0.2515
Atas (65 % Kasar)	2000	14.3	88.86	6.65	8.614	20	0.2398

Dari hasil Tabel Hasil Pengujian permeabilitas gradasi atas (65 % Kasar) gradasi bawah Bawah (75 % Kasar) dan gradasi ideal Ideal (70 % Kasar). Dengan proporsi agregat kasar sebesar 75%, permeabilitas material akan lebih tinggi, karena semakin banyak agregat kasar dalam campuran, semakin banyak ruang antar partikel yang tersedia. Ketika proporsi

agregat kasar meningkat, distribusi ukuran partikel menjadi lebih tidak seimbang, yang berarti partikel-partikel halus yang dapat mengisi ruang antar partikel kasar berkurang. Ini menyebabkan peningkatan jumlah dan ukuran pori-pori yang tidak terisi, meningkatkan permeabilitas.



Gambar 10 Grafik Hasil Pengujian Permeabilitas

Dari hasil permeabilitas Menunjukan koefisien permeabilitas gradasi bawah 0.2794, gradasi ideal 0.2515 dan gradasi atas 0.2398. dari ketiga variasi gradasi di dapatkan bahwa gradasi bawah (75% Kasar) memiliki koefisien permeabilitas yang tinggi Daripada Gradasi atas (65 % Kasar) dan Gradasi Ideal (70 % Kasar).

4. PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Dari Hasil Pengujian marshall Variasi gradasi berbeda mulai dari nilai Stabilitas, Flow, VIM, VMA, VFA, Density, dan MQ. Gradasi atas (65 % Kasar) menghasilkan nilai stabilitas, yang lebih tinggi dari gradasi ideal (70 % Kasar) dan gradasi bawah (75% Kasar). Dengan nilai Stabilitas 805,67 kg sedangkan gradasi bawah memiliki nilai VIM lebih tinggi dibandingkan gradasi atas (65% Kasar) dan gradasi ideal (70 % Kasar) dengan nilai VIM tertinggi 7.16%.
2. Dari Hasil Pengujian permeabilitas gradasi atas (65 % Kasar) gradasi bawah Bawah (75 % Kasar) dan gradasi ideal Ideal (70 % Kasar). Dengan proporsi agregat kasar sebesar 75%, permeabilitas material akan lebih tinggi, karena semakin banyak agregat kasar dalam campuran, semakin banyak ruang antar partikel yang tersedia. Ketika proporsi agregat kasar meningkat, distribusi ukuran partikel menjadi lebih tidak seimbang, yang berarti partikel-partikel halus yang dapat mengisi ruang antar partikel kasar berkurang. Ini menyebabkan peningkatan jumlah dan ukuran pori-pori yang tidak terisi, meningkatkan permeabilitas. koefisien permeabilitas gradasi bawah 0.2794, gradasi ideal 0.2515 dan gradasi atas 0.2398. dari ketiga variasi gradasi di dapatkan bahwa gradasi bawah (75% Kasar) memiliki koefisien permeabilitas yang tinggi Daripada Gradasi atas (65 % Kasar) dan Gradasi Ideal (70 % Kasar).

B. Saran

1. Penelitian ini bisa dikembangkan lebih lanjut untuk penelitian lebih mendalam mengenai variasi gradasi atas gradasi bawah dan gradasi ideal terhadap berbagai jenis variasi kadar aspal.
2. Penelitian ini bisa menjadi referensi agar penelitian selanjutnya menggunakan jenis aspal yang lebih banyak untuk membandingkan antara variasi gradasi dengan campuran yang menggunakan aspal yang berbeda.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Alirusi, R., Maryam H, S., & Massara, A. (2023). Studi Experimental Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) Dengan Penambahan Zat Aditif Polyurethane Terhadap Ketahanan Deformasi Dan Modulus Elastis. *Innovative*, 3(Journal Of Social Science Research), 5001–5053.
- Almayana Alwi, Lambang Basri Said, & Andi Alifuddin. (2022). Analisis Uji Ketahanan Deformasi pada Campuran Aspal Beton dengan Bahan Tambah Anti Stripping Astive-05 terhadap Variasi Temperatur. *Jurnal Flyover (JFO)*, 02(02), 111–122.
- Anggraini, Y., Malik, A., & Sebayang, M. (2020). Analisa Kinerja Campuran AC-WC dengan Pemanfaatan Kombinasi Limbah Abu Bata dan Abu Serbuk Kayu Sebagai Filler. *Sainstek (e-Journal)*, 8(2), 70–80. <https://doi.org/10.35583/js.v8i2.122>
- Asmidar, Putri, R. S. A., Massara, A., Syarkawi, M. T., & Alifuddin, A. (2022). Pengaruh Temperatur Pemasatan terhadap Parameter Marshall Test dan Tegangan Tarik pada Campuran Split Mastic Asphalt. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil*, 4(1), 78–89. <https://jurnal.ft.umi.ac.id/index.php/JILMATEKS/article/view/510>
- Ayun, Q., & Prastyanto, A. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Gradasi Aspal Porus Terhadap Parameter Marshall dan Permeabilitas. In *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil* (Vol. 19, Issue 1).
- Hamzah, R. A., Kaseke, O. H., & Manopo, M. M. (2016). “Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi Terhadap Kriteria Marshall Pada Campuran Beraspal Panas Jenis Lapis Tipis Aspal Beton – Lapis Aus Gradasi Senjang.” *Jurnal Sipil Statik*, 4(7), 447–452.
- Handayasari, I., Sepriyanna, I., & Wulandari, S. H. (2023). Kajian Laboratorium Penggunaan Serat Daun Nanas dan Serat Ijuk Pada Campuran Stone Matrix Asphalt. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 379. <https://doi.org/10.29103/tj.v13i2.877>
- MOCHAMAD FAIZAL. (2021). Studi Pemanfaatan Serat Ijuk Pada Campuran Asphalt Concrete Terhadap Nilai-Nilai Marshall Properties. *Universitas Islam Lamongan*, 5–24.
- Muhammad, L., Said, L. B., & Massara, A. (2023). Kajian Penambahan Bahan Anti Stripping Wet Fix-Pada Campuran Split Mastic Asphalt Be Terhadap Jumlah Tumbukan. *Asma Massara INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 3, 8870–8885.
- Nanggar, D., & Harahap, P. (2023). Pengaruh Peremajaan Aspal Menggunakan Bahan Tambah Solar Dengan Pengujian Marshall. *Jtsip*, 2(2), 2023.

- Pangesti, R. D., Mahbub, J., & Rahmawati, R. (2021). Penilaian Kondisi Jalan Menggunakan Asphalt Paser (Pavement Surface Evaluation and Rating) Dan Iri (International Roughness Index) Roadroid. *Bangun Rekaprima*, 7(1), 36. <https://doi.org/10.32497/bangunrekaprima.v7i1.2589>
- Pradana, M. A., & Hartatik, N. (2023). *Analisis Karakteristik Aspal Polimer Elastomer Metode Pengujian Aspal Bina Marga*. 16(1), 131–135.
- Studi, G., & Jalan, K. (2017). “ *ANALISIS KERUSAKAN JALAN ASPAL DI KOTA*. 6(2), 158–161.
- Syarif, M., Maryam H, S., & Massara, A. (2022). Studi Experimental Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) Dengan Substitusi Polimer Elvaloy Terhadap Nilai Durabilitas Dengan Modulus Elastisitas. *Jurnal Konstruksi*, 1(7), 11–21.