

Penggunaan Semen Portland Sebagai Bahan Pengganti Abu Batu/*Filler* terhadap Karakteristik Aspal AC-WC

Ade Arya Ma'ulva^{1*}, Ahmad Ridwan², Bobby Damara³
Universitas Islam Lamongan, Lamongan-62214, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

Aspal AC-WC, Karakteristik Campuran Aspal, Semen Portland

***Correspondence email:**

adearyamm12@gmail.com

Submitted: 24-06-2025

Revised: 08-07-2025

Accepted: 26-07-2025

Published: 04-08-2025

ABSTRAK

Kebutuhan akan infrastruktur jalan yang berkualitas mendorong peningkatan kinerja material perkerasan, khususnya campuran aspal beton. Salah satu komponen penting dalam campuran aspal beton jenis AC-WC adalah filler, yang berfungsi mengisi rongga antar agregat dan meningkatkan kestabilan campuran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan Semen Portland sebagai bahan pengganti abu batu (*filler*) terhadap karakteristik campuran aspal AC-WC. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Lamongan, dengan metode kuantitatif. Beberapa parameter yang diuji meliputi berat jenis, daktilitas, titik lembek, titik nyala dan titik bakar aspal, serta pengujian Marshall untuk mengetahui nilai stabilitas, flow, dan Marshall Quotient. Pada penelitian ini menggunakan *filler* Semen Portland dengan variasi 0%, 2%, 4%, dan 5%. Hasil penelitian menunjukkan nilai Marshall Properties yang paling tinggi terdapat pada variasi 5% dengan nilai stabilitas 1472,13 kg, nilai VMA 19,12%, nilai VFA 80,84%, nilai VIM 3,66%, nilai flow 3,10 mm, dan nilai MQ 474,88 kg/mm. Dengan demikian, Semen Portland dapat dijadikan alternatif filler dalam campuran aspal AC-WC guna mendukung kinerja lapisan perkerasan atas yang lebih baik.

ABSTRACT

Keywords:

AC-WC Asphalt, Asphalt Mixture Characteristics, Portland Cement

The need for high-quality road infrastructure encourages the improvement of pavement material performance, especially asphalt concrete mixtures. One of the important components in AC-WC asphalt concrete mixtures is filler, which functions to fill the voids between aggregates and increase mixture stability. This study aims to determine the effect of using Portland cement as a substitute for stone ash (filler) on the characteristics of AC-WC asphalt mixture. Tests were conducted at the Civil Engineering Laboratory of Lamongan Islamic University, using quantitative methods. Some of the parameters tested included specific gravity, ductility, softening point, flash point, and asphalt burn point, as well as Marshall testing to determine the values of stability, flow, and Marshall Quotient. This research used Portland cement filler with variations of 0%, 2%, 4%, and 5%. The results showed that the highest Marshall Properties value was found in the 5% variation with a stability value of 1472.13 kg, VMA value of 19.12%, VFA value of 80.84%, VIM value of 3.66%, flow value of 3.10 mm, and MQ value of 474.88 kg/mm. Thus, Portland cement can be used as an alternative filler in AC-WC asphalt mixtures to support better performance of the top pavement layer.

PENDAHULUAN

Campuran aspal panas (hot mix asphalt) adalah material konstruksi jalan yang disiapkan, diangkut, dan dipadatkan pada suhu tinggi. Proses pemadatan dilakukan segera setelah keluaran pabrik agar aspal masih mempertahankan suhu optimal untuk perlekatan dan kepadatan maksimum (Irwansyah et al., 2022). Berdasarkan spesifikasi Direktorat Jenderal Jalan Kementerian Pekerjaan Umum. Salah satu jenis campuran panas yang umum digunakan di Indonesia adalah aspal beton (AC). AC atau beton aspal sendiri terbentuk dari agregat kasar, agregat halus, aspal sebagai perekat, dan *filler* sebagai bahan pengisi (Abdillah & Kartikasari, 2018).

Filler merupakan material halus yang berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga antar agregat dalam campuran aspal (A'yuni, 2024). Keberadaan filler tidak hanya meningkatkan kepadatan campuran, tetapi juga berperan penting sebagai media pelumas yang membantu penyebaran aspal pada permukaan agregat, sehingga memperkuat ikatan antarpartikel dalam campuran (Adi, 2011). Meskipun proporsi filler dalam campuran relatif kecil, kontribusinya terhadap sifat mekanis campuran sangat signifikan. Studi menunjukkan bahwa penambahan filler dapat memengaruhi

parameter Marshall Stability, Flow, dan Void in Mineral Aggregate (VMA), yang secara keseluruhan mencerminkan kinerja campuran terhadap beban lalu lintas (Ayzadt et al., 2024).

Kerusakan pada perkerasan jalan merupakan permasalahan yang sering dijumpai di berbagai wilayah dan memerlukan penanganan yang tepat serta berkelanjutan. Jalan yang mengalami kerusakan tidak hanya menurunkan kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan, tetapi juga berdampak pada efisiensi transportasi dan biaya pemeliharaan jangka panjang (Choirunnisa, 2025). Terdapat berbagai faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya kerusakan pada perkerasan jalan. Beberapa di antaranya meliputi rendahnya kualitas konstruksi jalan, sistem drainase yang tidak memadai, serta kurang optimalnya proses pelaksanaan dan pengawasan selama tahap pembangunan. Selain itu, penggunaan material campuran pada struktur perkerasan yang tidak memenuhi standar teknis juga menjadi salah satu penyebab utama kerusakan jalan (Gunawan et al., 2023).

Penggunaan Semen Portland sebagai bahan pengganti filler dalam campuran aspal didasarkan pada pemahaman terhadap karakteristik material tersebut serta pengaruhnya terhadap kinerja campuran aspal, terutama pada temperatur tinggi (Jebur et al., 2024). Dalam konteks perkerasan lentur, Semen Portland digunakan sebagai bahan pengisi alternatif pada campuran (AC-WC), yang berfungsi sebagai lapisan aus paling atas dari struktur perkerasan jalan (Rian Putrojiwo, 2006).

METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan hasil yang disajikan dalam bentuk data numerik dan analisis statistik. Metode ini digunakan untuk menjelaskan dan mengevaluasi pengaruh penggunaan Semen Portland sebagai bahan pengganti filler (abu batu) terhadap karakteristik campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC). Selain itu Penelitian ini difokuskan pada pengujian laboratorium untuk mengevaluasi karakteristik Marshall dari campuran aspal AC-WC. Seluruh proses pengujian dilakukan berdasarkan acuan spesifikasi umum Bina Marga yang berlaku, sebagai standar nasional untuk pekerjaan konstruksi jalan di Indonesia (Bina Marga, 2018). ujian dilakukan menggunakan metode Marshall Test, yang bertujuan untuk mengetahui performa mekanis campuran aspal meliputi, Stabilitas, Flow, VIM, VFA, VMA, dan *Marshall Qoutient* (Prasetyo & Arif, 2018).

1. Stabilitas

Stabilitas merupakan salah satu parameter utama dalam pengujian Marshall yang digunakan untuk mengevaluasi performa campuran beton aspal. Parameter ini menggambarkan kemampuan maksimum benda uji dalam menahan beban vertikal sebelum mengalami kelelahan plastis (Septiawan, 2018), Untuk memperoleh nilai yang akurat, hasil uji stabilitas perlu disesuaikan dengan faktor koreksi yang mempertimbangkan ketebalan benda uji.

$$S = p \times q$$

Keterangan :

P = arloji stabilitas

Q = koreksi benda uji

2. VMA

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah besaran yang menunjukkan jumlah rongga yang terdapat di antara partikel agregat dalam suatu campuran aspal padat, sebelum diisi oleh aspal. VMA dinyatakan dalam bentuk persentase terhadap volume total campuran aspal menggunakan metode Marshall (Septiawan, 2018).

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb}$$

Keterangan :

Gmb = berat jenis bulk campuran

Gsb = berat jenis agregat

Ps = jumlah agregat, % terhadap total berat campuran

3. VIM

Void in Mix (VIM), atau rongga dalam campuran, adalah persentase volume rongga udara yang terdapat di antara partikel agregat yang telah dilapisi oleh aspal dalam campuran beton aspal padat. VIM dihitung berdasarkan volume total campuran dan dinyatakan dalam satuan persen (%) (Sulandari et al., 2024).

$$VIM = 100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm}$$

Keterangan :

Gmm = berat jenis maksimum campuran

Gmb = berat jenis bulk campuran

4. VFA

Void Filled with Asphalt (VFA) atau rongga terisi aspal adalah persentase dari rongga di antara partikel agregat (Void in Mineral Aggregate/VMA) yang telah terisi oleh aspal (bitumen) dalam campuran beton aspal padat. VFA dihitung berdasarkan volume total beton aspal padat dan dinyatakan dalam satuan persen (%) (Putra et al., 2023).

$$VFA = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA}$$

Keterangan :

VMA = rongga diantara mineral agregat

VIM = rongga dalam campuran

5. Flow

Flow adalah besaran yang menunjukkan deformasi plastis dari benda uji campuran aspal sebagai respons terhadap pembebanan selama pengujian Marshall. Nilai flow diperoleh dari hasil pembacaan dial gauge (arloji ukur) pada alat Marshall, yang awalnya ditunjukkan dalam satuan inci, kemudian dikonversi ke dalam satuan milimeter (mm) untuk analisis lebih lanjut (Febrianto et al., 2014).

6. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient merupakan rasio antara nilai stabilitas terhadap flow dari suatu benda uji campuran aspal. MQ dihitung dengan membagi nilai stabilitas (dalam satuan kilogram atau Newton) dengan nilai flow (dalam satuan milimeter), dan digunakan sebagai indikator keseimbangan antara kekuatan dan fleksibilitas campuran aspal (Fatmawati, 2013).

$$MQ = \frac{S}{R}$$

Keterangan :

S = nilai stabilitas

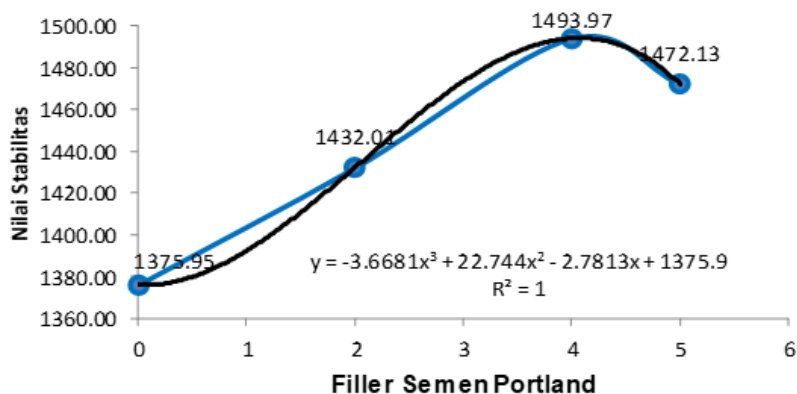
R = nilai flow

Metode yang digunakan dalam proses pencampuran agregat (blending) adalah metode trial and error, yaitu pendekatan eksperimental yang dilakukan secara bertahap dan berulang-ulang hingga diperoleh kombinasi komposisi agregat yang menghasilkan gradasi campuran sesuai dengan spesifikasi teknis yang ditetapkan.

Penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk memperoleh landasan teori dan pemahaman terkait bahan dan metode yang digunakan. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan terhadap tiga komponen utama yaitu agregat, aspal, dan semen portland. Pemeriksaan agregat meliputi analisa saringan, pengujian berat jenis agregat kasar, dan berat jenis agregat halus. Untuk bahan aspal, dilakukan pengujian penetrasi, titik nyala dan titik bakar, titik lembek, serta perencanaan desain campuran (mix design). Sementara itu, semen portland disiapkan sebagai bahan tambahan dalam campuran. Hasil dari pemeriksaan dan persiapan bahan tersebut digunakan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO). Setelah KAO ditetapkan, dilakukan analisis data yang kemudian dijadikan dasar untuk penyusunan Job Mix Formula. Campuran yang telah diformulasikan selanjutnya diuji menggunakan metode Marshall untuk mengetahui karakteristik dan kestabilan campuran. Hasil dari uji Marshall dianalisis, dan menjadi dasar dalam menarik kesimpulan. Tahapan penelitian ini berakhir setelah seluruh hasil diperoleh dan dievaluasi.

HASIL

1. Variasi Semen Portland Terhadap Nilai Stabilitas



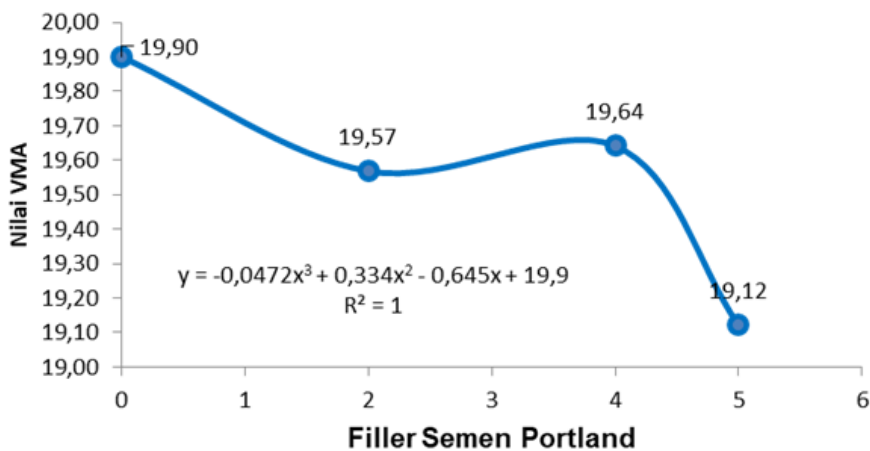
Grafik 1. Grafik Nilai Stabilitas

Sumber : Grafik Hasil Penelitian (Microsoft Excel 2010) (2022)

Nilai stabilitas minimum yang ditentukan untuk campuran Laston (Asphalt Concrete/AC) sebesar 800 kg. Nilai stabilitas ini merupakan salah satu parameter penting dalam menilai kemampuan campuran aspal dalam menahan beban lalu lintas sebelum mengalami deformasi plastis. Kadar aspal dan jenis filler yang digunakan dalam campuran sangat memengaruhi besar kecilnya nilai stabilitas. Nilai stabilitas tertinggi adalah pada variasi

campuran *filler* Semen Portland 4 % dengan nilai stabilitas sebesar 1493,97 kg, dan nilai terendah terdapat pada variasi campuran *filler* Semen Portland 0 % dengan nilai stabilitas sebesar 1375,95 kg.

2. Variasi Semen Portland Terhadap Nilai VMA

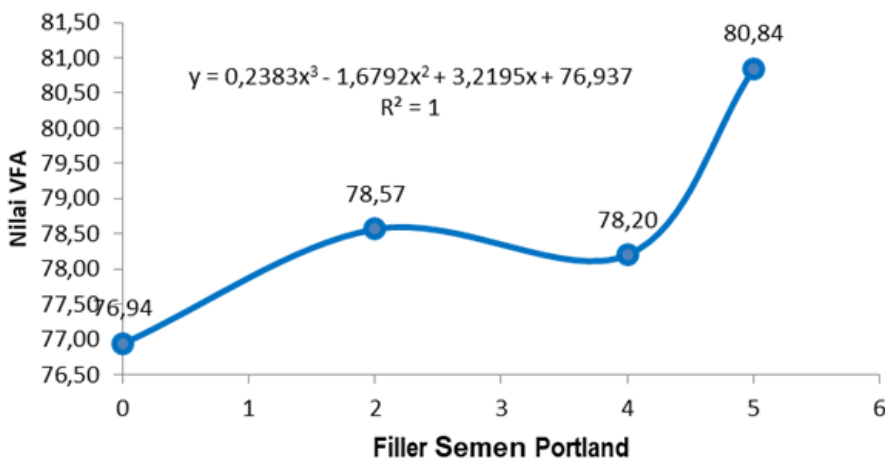


Grafik 2. Grafik Nilai VMA

Sumber : Grafik Hasil Penelitian (Microsoft Excel 2010) (2022)

VMA adalah salah satu parameter penting dalam desain campuran aspal, yang mencerminkan volume rongga antar agregat yang diisi oleh aspal dan udara. Nilai VMA memiliki pengaruh langsung terhadap stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas campuran aspal. VMA yang ideal dapat memberikan keseimbangan antara kekuatan struktural dan kemampuan deformasi campuran. Sebaliknya jika nilai VMA terlalu tinggi dapat menyebabkan ketidakstabilan pada campuran perkerasan. Nilai VMA yang disyaratkan sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 adalah minimal 15%. Nilai VMA tertinggi pada variasi 0% dengan nilai 19,90% dan pada terendah pada variasi 5% sebesar 19,12%. Jadi nilai VMA terbesar diperoleh dari campuran tanpa kadar campuran *filler* Semen Portland.

3. Variasi Semen Portland Terhadap Nilai VFA

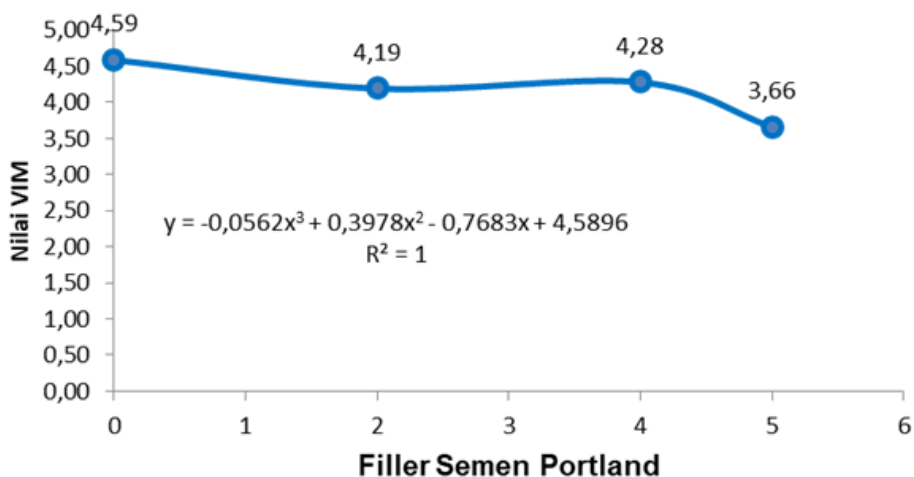


Grafik 3. Grafik Nilai VFA

Sumber : Grafik Hasil Penelitian (2025)

Nilai VFA yang terlalu tinggi mengindikasikan bahwa rongga dalam agregat terlalu banyak diisi oleh aspal, yang dapat menyebabkan bleeding atau keluarnya aspal ke permukaan akibat tekanan atau suhu tinggi. Sebaliknya, nilai VFA yang terlalu rendah menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil rongga yang terisi aspal, sehingga campuran menjadi kurang kedap air dan udara. Kondisi ini dapat menyebabkan oksidasi dini terhadap aspal dan menurunkan daya tahan (durabilitas) campuran dalam jangka panjang, Nilai VFA yang direkomendasikan adalah minimum 65%. Nilai VFA paling tinggi terdapat pada variasi *filler* Semen Portland 5% dengan nilai 80,84%, nilai VFA terendah terdapat pada kadar variasi 0% dengan nilai 76,94%.

4. Variasi Semen Portland Terhadap Nilai VIM

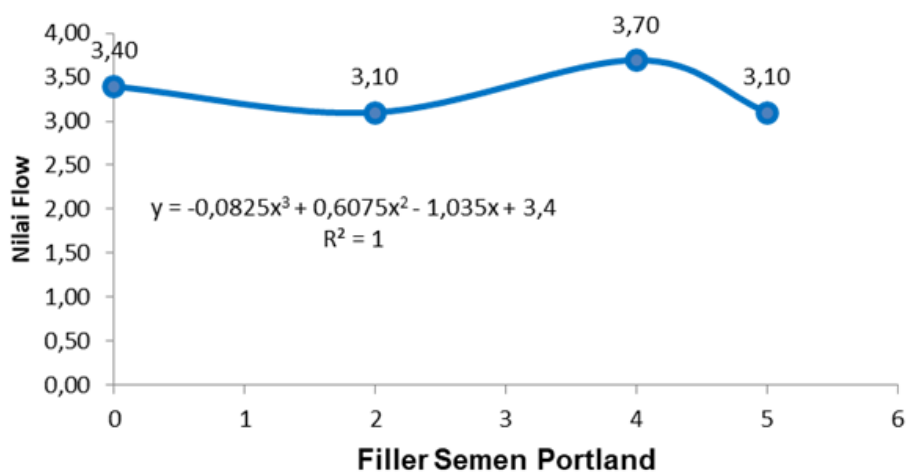


Grafik 4. Grafik Nilai VIM

Sumber : Grafik Hasil Penelitian (2025)

Nilai VIM terlalu rendah, maka rongga udara dalam campuran sangat sedikit, sehingga aspal tidak memiliki ruang yang cukup untuk berpenetrasi secara optimal ke dalam pori-pori agregat, Sebaliknya, nilai VIM yang terlalu tinggi menandakan banyaknya rongga udara yang tidak terisi, yang menyebabkan campuran menjadi tidak kedap air dan udara. Kondisi ini meningkatkan risiko terjadinya oksidasi aspal, kurangnya lekatan antar agregat, serta munculnya kerusakan permukaan seperti releveling (terlepasnya butiran agregat) dan stripping (pengelupasan ikatan antara aspal dan agregat akibat infiltrasi air). Nilai VIM minimal yang telah ditentukan yaitu 3% dan maksimal 5%. Nilai VIM tertinggi terdapat pada variasi 0% dengan nilai 4,59% dan nilai VIM terendah pada variasi 5% dengan nilai VIM 3,66%. Jadi nilai VIM terbesar diperoleh dari campuran tanpa kadar *filler* Semen Portland.

5. Variasi Semen Portland Terhadap Nilai Flow

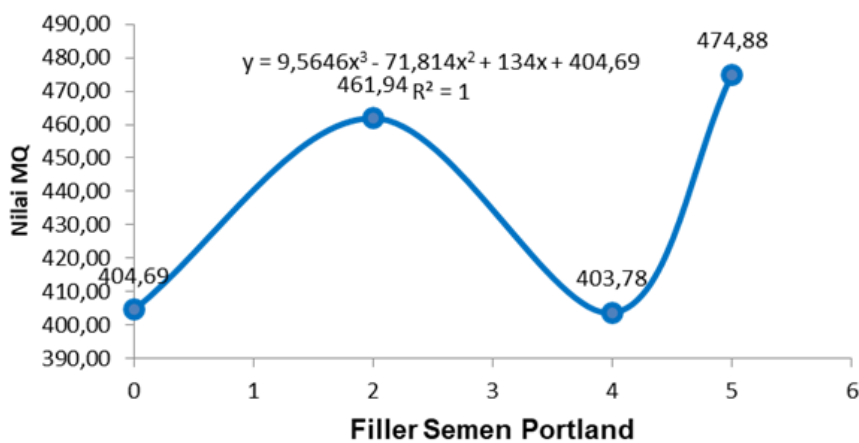


Grafik 5. Grafik Nilai Flow

Sumber : Grafik Hasil Penelitian (2025)

Nilai flow yang tinggi menandakan bahwa campuran memiliki sifat plastis yang berlebihan, sehingga mudah mengalami perubahan bentuk (deformasi) ketika menerima beban lalu lintas, terutama dalam kondisi suhu tinggi, Sebaliknya, nilai flow yang terlalu rendah menandakan bahwa campuran dengan tingkat kekakuan yang tinggi, yang memang dapat menghasilkan nilai stabilitas tinggi, tetapi berisiko menyebabkan retak-retak (cracking) karena campuran menjadi terlalu kaku dan kurang fleksibel dalam merespons beban berulang maupun perubahan suhu. Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) mensyaratkan bahwa nilai flow harus berada dalam rentang 2–4 mm. Nilai Flow tertinggi terdapat pada variasi 4% dengan nilai 3,70 mm, sedangkan nilai Flow terendah terdapat pada variasi 2% dan 5% dengan nilai flow 3,10 mm.

6. Variasi Semen Portland Terhadap Nilai MQ



Grafik 6 Grafik Nilai MQ

Sumber : Grafik Hasil Penelitian (2025)

Nilai MQ minimal yang telah ditentukan sebesar 250 kg/mm. Semakin besar nilai MQ maka semakin kaku perkerasan, dan semakin kecil nilai MQ maka semakin lentur perkerasan. Nilai dari MQ tertinggi terdapat pada variasi 5% sebesar 474,88 kg/mm, sedangkan nilai terendah terdapat pada variasi 4% sebesar 403,78 kg/mm.

Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan penggunaan *filler* Semen Portland dapat digunakan dengan beberapa pertimbangan dan terdapat kelebihan dan kekurangan, antara lain :

1. Kelebihan

Dapat meningkatkan stabilitas dan kekuatan campuran aspal, meningkatkan daya lekat antara agregat dan aspal sehingga mengurangi resiko *stripping* (lepasnya aspal dari agregat akibat air), meningkatkan ketahanan terhadap air dan cuaca, dan mengurangi penggunaan *filler* lain yang sulit didapat.

2. Kekurangan

Meningkatkan kekakuan campuran aspal sehingga berpotensi membuat perkerasan lebih getas dan retak pada suhu rendah, bias mengganggu kinerja aspal jika terlalu banyak atau bisa menyebabkan campuran lebih sulit dikerjakan dan tidak fleksibel, dan biaya yang lebih mahal karena Semen Portland umumnya lebih mahal dibanding *filler* konvensional seperti abu batu.

SIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan filler Semen Portland berpengaruh terhadap karakteristik campuran aspal AC-WC. Hasil pengujian Marshall Properties menunjukkan bahwa pada variasi 0% diperoleh nilai stabilitas sebesar 1375,95 kg, nilai VMA sebesar 19,90%, VFA sebesar 76,94%, VIM sebesar 4,59%, flow sebesar 3,40 mm, dan nilai Marshall Quotient (MQ) sebesar 404,69 kg/mm. Pada variasi 2%, terjadi peningkatan nilai stabilitas menjadi 1432,01 kg, VMA sebesar 19,57%, VFA sebesar 78,57%, VIM sebesar 4,19%, flow sebesar 3,10 mm, dan MQ sebesar 461,94 kg/mm. Selanjutnya, variasi 4% menghasilkan nilai stabilitas tertinggi yaitu 1493,97 kg, dengan VMA sebesar 19,67%, VFA sebesar 78,20%, VIM sebesar 4,28%, flow sebesar 3,70 mm, dan MQ sebesar 403,78 kg/mm. Pada variasi 5%, meskipun nilai stabilitas sedikit menurun menjadi 1472,13 kg, hasil parameter lainnya menunjukkan kinerja campuran yang lebih baik, yaitu VMA sebesar 19,12%, VFA sebesar 80,84%, VIM sebesar 3,66%, flow sebesar 3,10 mm, dan MQ tertinggi sebesar 474,88 kg/mm.

Berdasarkan hasil dari keempat variasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa penambahan filler Semen Portland sebanyak 5% merupakan kadar yang paling efektif. Hal ini dikarenakan nilai-nilai dari Marshall Properties pada variasi tersebut tidak hanya memenuhi spesifikasi teknis, tetapi juga menunjukkan keseimbangan yang baik antara stabilitas, kelenturan, serta kekuatan struktural campuran aspal AC-WC.

DAFTAR PUSTAKA

- A'yuni, H. E. P., & Widayanti, A. (2024). Pengaruh Pemanfaatan Abu Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Pengisi (Filler) pada Campuran Aspal Lapis AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course). *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*, 1(April), 107–119. <https://doi.org/10.26740/mitrans.v1n1.p107-119>
- Abdillah, M. Z., & Kartikasari, D. (2018). Substitusi Filler Pada Campuran Aspal Dengan Fly Ash Dan Serbuk Batu Bata. *Jurnal CIVILA*, 3(1), 124. <https://doi.org/10.30736/cv1.v3i1.219>

- Adi, H. (2011). The executioners. *KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN PENGGUNAAN ABU VULKANIK DAN ABU BATU SEBAGAI FILLER*, 15(Jurnal Rekayasa).
- Ayzadt, M., Nurdin, A., & Bahar, F. F. (2024). Analisis Kandungan Material Campuran Aspal Panas Mix Design AC-WC terhadap Rekonstruksi Jalan Ruas N-029.1 Bts. Kab. Muaro Jambi / Kab. Tanjabtim-Bts. Kab. Tanjabbar. *Jurnal Talenta Sipil*, 7(2), 550. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v7i2.517>
- Bina, M. (2018). SPESIFIKASI UMUM 2018, DIVISI 6. *Military Engineer*, 77(502), 428–429. <https://doi.org/10.1201/b17043-19>
- Choirunnisa, DhyvaWidayanti, A. (2025). *Analisis Kerusakan Jalan dan Penentuan Penanganannya dengan Aplikasi Pada Analysis Of Road Damage and Determination Of Treatments With Application On Link 166 In Jombang Regency*. 3(1), 36–45.
- Fatmawati, L. (2013). Karakteristik Marshall Dalam Aspal Campuran Panas AC-WC Terhadap Variasi Temperatur Perendaman. *Jurnal Wahana Teknik Sipil*, 18(2), 88–94.
- Febrianto, N., Setyawan, A., & Sarwono, D. (2014). Sifat-Sifat Marshall Pada Lapis Tipis Campuran Aspal Panas Dengan Penambahan Crumb Rubber. *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 748–758.
- Gunawan, F., Nugroho, M. W., Sipil, T., Hasyim, U., & Jombang, T. (2023). *Evaluasi Nilai Stabilitas Pada Aspal AC-WC Dengan Metode SNI 06-2489-1991 maka perlu digunakannya bahan tambahan dalam komposisi campuran aspal*. 1(2), 90–100.
- Irwansyah, S. S. A., Desembardi, F., & Sukowati, D. G. (2022). Pengaruh Temperatur Pada Campuran Aspal AC-WC Dengan Parameter Marshall-Test. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil : JIMATS*, 1(1), 13–18.
- Jebur, Y. M., Falah, M. W., Kadhim, M. A., Imran, M. K., Hashim, T. M., Obeid, Z. S., Hussien, S. A., & Kadhim, R. H. (2024). Effect of Filler Type and Content on The Mechanical Properties of Asphalt Mixtures. *AIP Conference Proceedings*, 3009(1). <https://doi.org/10.1063/5.0190471>
- Prasetyo, H., & Arif, S. (2018). Studi Pencampuran Serat Eceng Gondok Sistem Hot Rolled Sheet Bc Spesifikasi Seksi-6 : 2010 Bina Marga. *Jurnal CIVILA*, 3(2), 146. <https://doi.org/10.30736/cvl.v3i2.256>
- Putra, M. T., Destania, H. R., & Febryandi, F. (2023). Analisis Karakteristik Marshall Campuran Aspal Modifikasi pada Asphalt Concrete – Wearing Course (AC – WC) dengan Penambahan Serbuk Ban Kendaraan. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(2), 335–350. <https://doi.org/10.28932/jts.v19i2.5580>
- Septiawan, T. D. (2018). Pengaruh Penggunaan Bahan Tambah Serbuk Karet Ban Pada Campuran Lapis Aspal Beton. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 1(1), 9–17. <http://www.riset.unisma.ac.id/index.php/ft/article/view/1088>
- Sulandari, E., Lestyowati, Y., Felderika, F., & Sutarno, S. (2024). Analisis Pengaruh Sifat Volumetrik pada Campuran AC-WC. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, 5(2), 41–47. <https://doi.org/10.34010/crane.v5i2.14070>