

Pemanfaatan Kapur Padam Sebagai Substitusi *Filler* Pada Campuran AC-BC Menggunakan Agregat Sungai Salu Kula

Oschar Padallingan ^{*1a}, Charles Kamba ^{*2}, Ika Apriyani ^{*3}

Submit:

7 Februari 2024

^{*1} Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia, oscharpadallingan@gmail.com

Review:

28 Februari 2024

^{*2} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia kamba.charles@gmail.com

Revised:

15 Maret 2024

^{*3} Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia, ika.apriyani@gmail.com

Published :

15 September
2024

^aCorresponding Author: oscharpadallingan@gmail.com

Abstrak

Beton Aspal Lapis Antara (*Asphalt Concrete-Binder Course*) merupakan bagian dari struktur lapis permukaan yang terletak di antara lapis pondasi atas (*Base Course*) dan lapis aus (*Wearing Course*). Komposisi campuran ini melibatkan agregat dengan gradasi yang padat yang dicampur dengan aspal. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengkaji karakteristik campuran AC-BC menggunakan batu sungai kula dengan penggunaan kapur padam sebagai pengganti *filler* dalam pengujian Marshall Konvensional. Salah satu tujuan lainnya adalah untuk mengevaluasi dampak dari penambahan kadar kapur padam sebagai pengganti *filler* terhadap sifat-sifat campuran AC-BC. Hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium jalan dan aspal di Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar menunjukkan bahwa semua parameter karakteristik campuran seperti stabilitas, VFB, VIM, VMA, dan *flow* pada kadar aspal 5,0% dengan kombinasi kadar semen dan *filler* adalah sebagai berikut: 0%:100%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25%, dan 100%:0%.

Kata Kunci: AC-BC, agregat, karakteristik

Abstract

The Asphalt Concrete Intermediate Layer (AC-BC) serves as a component within the surface structure positioned between the upper foundational layer (Base Course) and the topmost wear layer (Wearing Course), comprising graded dense/continuous aggregate combinations. This study aims to evaluate the properties of the AC-BC blend utilizing Kula river stone alongside slaked lime as a substitute filler in conventional Marshall testing. Additionally, it seeks to assess the impact of incorporating slaked lime as a filler substitute on the AC-BC mixture's characteristics. Results from tests conducted at the road and asphalt laboratory within the Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Paulus Makassar Indonesian Christian University, indicate that all mixture characteristic parameters, including stability, VFB, VIM, VMA, and flow, remain consistent at an asphalt content of 5.0%, with varying cement and filler compositions: 0%:100%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25%, and 100%:0%.

Keywords: AC-BC, River, Characteristics

PENDAHULUAN

Campuran aspal panas, seperti yang ditemukan dalam jenis AC-BC, terdiri dari kombinasi agregat dan aspal yang dicampur bersama. Proses pencampuran dilakukan dengan pemanasan untuk memudahkan penggabungan aspal dengan agregat. Sifat campuran ini termasuk kestabilan yang tinggi, kemudahan pemeliharaan, serta karakteristik fleksibel yang memberikan kenyamanan bagi pengemudi. Salah satu tantangan utama yang dihadapi dalam penggunaan campuran aspal adalah kerusakan yang bisa timbul akibat air. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada meningkatkan kualitas lapisan atas (*wearing course*) untuk menjaga keawetan jalan. Kapur padam dipilih sebagai bahan pengisi karena sifatnya yang hidrolis, tahan terhadap pelapukan, dan mampu meningkatkan durabilitas campuran aspal terhadap beban lalu lintas dan gesekan. Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa penggunaan kapur padam sebagai *filler* dapat meningkatkan stabilitas dan keawetan campuran AC-BC. Dengan demikian, penelitian ini merupakan lanjutan dari upaya-upaya sebelumnya untuk meningkatkan kinerja perkerasan jalan menggunakan bahan pengisi yang lebih efektif dan ramah lingkungan.

Beberapa penelitian sejenis, yaitu Penelitian pengaruh penggunaan *filler* kapur dengan tambahan 10% terhadap variasi kadar aspal dalam campuran AC-BC, dengan hasil pengujian menggunakan Uji Marshall. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *filler* kapur sebesar 10% pada campuran Aspal AC-BC memiliki pengaruh terhadap karakteristik Marshall. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa dengan penambahan *filler* sebesar 10% dan kadar aspal sebesar 6%, stabilitas mencapai 3144,97 kg, *flow* sebesar 3,060 mm, modulus kekuatan (MQ) sebesar 1104,819 kg/mm, *Voids in Total Mix* (VITM) sebesar 4,366%, *Voids Filled with Asphalt* (VFWA) sebesar 74,788%, *Voids in Mineral Aggregate* (VMA) sebesar 16,820%, dan densitas sebesar 2,132 gram. Kadar aspal 6% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 1. Penelitian ini juga menemukan bahwa nilai kadar aspal optimum dalam campuran Aspal AC-BC dengan penggunaan kapur sebagai *filler* tambahan adalah 6%. Komposisi optimalnya mencakup agregat kasar sebesar 682,4 gram, agregat halus sebesar 377,9 gram, *filler* tambahan sebesar 10% (67,7 gram), dan aspal pen 60/70 sebesar 72 gram.[1] Pengujian menggunakan metode Marshall Konvensional dan Marshall Immersion telah memenuhi standar yang telah ditetapkan untuk komponen campuran AC-WC. Standar yang terpenuhi termasuk kandungan optimal aspal (KAO) sebesar 5,50%, persentase agregat kasar sebesar 37,2%, persentase agregat halus sebesar 51,4%, dan persentase bahan pengikat semen sebesar 5,4%.[2] Kapur sebagai *filler* dalam campuran aspal (AC-BC), ditemukan bahwa variasi *filler* antara 25% hingga 100% tidak menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam nilai parameter Marshall dan tidak memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 2. Parameter-parameter seperti nilai *Voids in Mineral Aggregate* (VMA) dan *Voids in Total Mix* (VITM) tidak sesuai dengan spesifikasi, meskipun nilai *Voids Filled with Asphalt* (VFWA), stabilitas, *flow*, dan modulus kekuatan (MQ) memenuhi standar. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan kapur sebagai pengganti sebagian *filler* tidak sesuai untuk digunakan dalam campuran aspal AC-BC. Meskipun terjadi peningkatan stabilitas Marshall dalam pengujian campuran aspal (AC-BC) dengan penambahan kapur untuk setiap variasinya melebihi 800 kg, namun nilai tersebut tidak dapat diandalkan sebagai hasil akhir karena beberapa parameter Marshall lainnya tidak memenuhi persyaratan spesifikasi yang telah ditetapkan.[3] Kinerja campuran AC-WC dengan menggunakan agregat dari batu kapur, kadar aspal memiliki dampak signifikan terhadap karakteristik Marshall. Pada kadar aspal antara 4,2% hingga 6,2%, nilai stabilitas berkisar antara 1293,72 kg hingga 1590,08 kg, sementara pada kadar aspal antara 7,2% hingga 8,2%, kinerja stabilitas menurun menjadi 1292,10 kg dan 1154,68 kg. Selain itu, semakin tinggi kadar aspal dari 4,2% hingga 8,2%, kinerja campuran juga menunjukkan peningkatan nilai *flow*, namun hanya dalam rentang kadar aspal tertentu.[4] Pemanfaatan batu Sungai Melli di Kabupaten Luwu Utara sebagai campuran material pada lapisan AC-WC, diperoleh hasil penelitian bahwa mutu batu Gunung Lakera Bum memenuhi spesifikasi sebagai batu pecah sesuai yang ditetapkan Bina Marga tahun 2018 yaitu SNI ASTM C136:2012. Komposisi optimum yang digunakan yaitu 50,30% agregat halus, 5,80% *filler* dan 5,80% agregat kasar dan ketentuan kadar aspal

minimum 7,00% [5]. Campuran perkerasan AC-WC dengan agregat dari Sungai Bittuang, diperoleh hasil pengujian dengan nilai perendaman untuk pengujian *Marshall Immersion* sebesar 95,03% [6]. Karakteristik campuran meliputi *flow*, VFB, VIM, dan VMA serta stabilitas telah memenuhi peraturan Bina Marga Tahun 2018 tentang pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan revisi 2 pada saat agregat Sungai Leoran dari Kabupaten Enrekang digunakan sebagai campuran lapisan AC-WC. [7]. Penggunaan material yang bersumber dari batu Sungai Lamasi Kabupaten Luwu sebagai material campuran AC-WC. Berdasarkan hasil uji pada kadar aspal optimum 7,50% diperoleh Indeks Perendama (IP)/Indeks Kekuatan Sisa (IKS) sebesar 95,37% [8]. Campuran AC-WC dengan material agregat yang bersumber dari Sungai Mawa berlokasi di Kecamatan Cendana. Dari hasil pemeriksaan laboratorium, dihasilkan nilai Indeks Perendaman/Indeks Kekuatan Sisa sebesar 94,81% [9]. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Wendani, dari uji Marshall konvensional, ditemukan bahwa beberapa karakteristik campuran aspal telah memenuhi persyaratan standar, seperti kestabilan, VIM, dan VFB. Namun, kadar VMA tidak mencapai target yang ditetapkan sebesar 5,00%. Selain itu, semua data yang diperoleh dari pengujian indeks kekuatan sisa pencampuran AC-WC menunjukkan hasil yang melebihi ambang batas, yakni sebesar 95,03%, yang lebih tinggi dari persyaratan minimal sebesar 90%. [10],

METODOLOGI

A. Persiapan Agregat

Material yang diambil dari Sungai Kula, terletak di Kecamatan Masamba, Kabupaten Luwu Utara. Material yang diambil adalah agregat kasar yang berasal dari batu sungai. Batu sungai yang diambil dari lokasi tersebut dipecah menjadi agregat, dan kemudian diuji di Laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar.



Gambar 1. Lokasi dan Proses Pengambilan Material

B. Komposisi Campuran AC-BC

Bahan yang akan dimasukkan dalam campuran AC-BC dalam penelitian ini terdiri dari agregat kasar, agregat halus, aspal penetrasi 60/70, dan kapur padam sebagai substitusi *filler*. Proses penambahan kapur padam akan dilakukan dengan proporsi sebagai berikut: 100% kapur padam tanpa semen, 75% kapur padam dan 25% semen, 50% kapur padam dan 50% semen, 25% kapur padam dan 75% semen, serta 0% kapur padam dan 100% semen dari total berat *filler* semen dalam komposisi campuran yang digunakan.

C. Komposisi Agregat, Aspal dan *Filler* pada Campuran AC-BC

Hasil penelitian menunjukkan gradasi agregat gabungan yang sesuai dengan komposisi Campuran AC-BC, mengacu pada standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6, dapat ditemukan dengan penggunaan kapur padam sebagai pengganti *filler*. Kadar kapur padam yang digunakan bervariasi mulai dari 0% hingga 100% dari total berat *filler* yang akan dimasukkan dalam komposisi campuran AC-BC.

D. Pengujian Benda Uji

Dalam proses pengujian Marshall ini, terdapat 15 sampel uji yang digunakan. Bahan yang dimasukkan dalam campuran AC-BC sesuai spesifikasi komposisi campuran yang telah disesuaikan dengan standar Direktorat Jenderal Bina Marga tahun 2018.



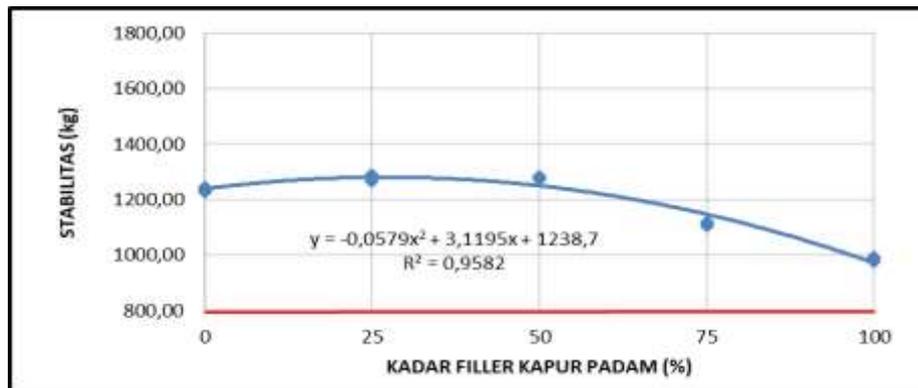
Gambar 2. Benda Uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Campuran AC-WC

1. Stabilitas

Dengan menggunakan kadar aspal sebesar 5,00% dan variasi substitusi *filler* semen dengan kapur padam sebesar 0%:100%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25%, dan 100%:0%, diperoleh nilai rata-rata stabilitas sebagai berikut: untuk kadar *filler* kapur padam 0%, stabilitas adalah 1235,29 kg; untuk kadar *filler* kapur padam 25%, terjadi peningkatan menjadi 1277,44 kg; untuk kadar *filler* kapur padam 50%, stabilitas meningkat menjadi 1280,08 kg; untuk kadar *filler* kapur padam 75%, terjadi penurunan menjadi 1110,08 kg; dan untuk kadar *filler* kapur padam 100%, stabilitas juga mengalami penurunan menjadi 985,33 kg. Meskipun demikian, semua kadar *filler* kapur padam dari 0% hingga 100% masih memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

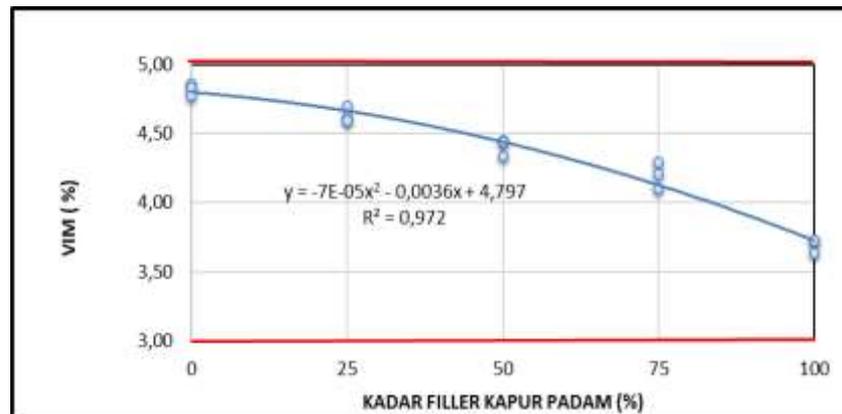


Gambar 3. Grafik Pengujian Stabilitas

Berdasarkan Gambar 3 di atas, dapat disimpulkan bahwa penambahan *filler* kapur padam sebagai pengganti *filler* semen, mulai dari kadar *filler* kapur padam 0% hingga 50%, dengan satu kadar aspal 5,00% dalam campuran, menghasilkan interlocking yang baik antara agregat, menyebabkan pengecilan rongga dalam campuran karena pengaruh *filler* kapur padam dan *filler* semen. Hal ini mengakibatkan padatan dan kekuatan campuran meningkat, sehingga nilai stabilitas benda uji meningkat secara signifikan. Pada kadar *filler* kapur padam 75% hingga 100%, campuran masih memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan nilai stabilitasnya masih lebih tinggi daripada campuran tanpa *filler* kapur padam. Namun, pada kadar *filler* kapur padam 75% hingga 100%, terjadi penurunan stabilitas seiring peningkatan kadar *filler* kapur padam yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kadar *filler* kapur padam yang berlebihan, yang membuat aspal sulit untuk mengikat agregat karena banyaknya rongga agregat yang terisi *filler* kapur padam, sehingga stabilitas campuran menurun. Nilai stabilitas tertinggi terjadi pada kadar *filler* kapur padam 50%. Dampak penambahan kadar *filler* kapur padam terhadap stabilitas dapat disimpulkan dari persamaan garis yang menggambarkan hubungannya, yaitu $y = -0,0579x^2 + 3,1195x + 1238,7$. Berdasarkan Gambar dan Tabel, terlihat bahwa peningkatan kadar *filler* kapur padam hingga 50% menyebabkan peningkatan stabilitas, namun ketika kadar *filler* mencapai 75% hingga 100%, stabilitas kembali menurun. Meskipun demikian, semua nilai stabilitas yang dihasilkan masih memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Analisis dari kurva garis menunjukkan bahwa nilai stabilitas tertinggi terjadi pada kadar *filler* kapur padam sebesar 47,67%, di mana stabilitas mencapai 1702,81 kg.

2. VIM

Dari hasil analisis dan perhitungan terhadap substitusi *filler* semen dengan kadar *filler* kapur padam, yaitu 0%:100%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25%, dan 100%:0%, diperoleh nilai VIM. Untuk kadar *filler* kapur padam 0%, nilai VIM adalah 4,82%. Pada kadar *filler* kapur padam 25%, terjadi penurunan menjadi 4,63%. Pada kadar *filler* kapur padam 50%, nilai VIM mengalami penurunan menjadi 4,41%. Pada kadar *filler* kapur padam 75%, nilai VIM turun menjadi 4,20%. Sedangkan pada kadar *filler* kapur padam 100%, terjadi penurunan signifikan menjadi 3,69%. Seluruh nilai VIM dengan kadar *filler* kapur padam 0% hingga 100% memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

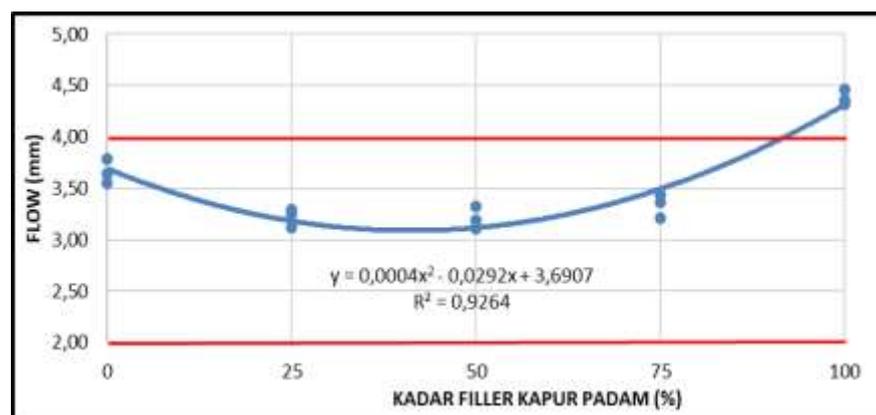


Gambar 4. Grafik VIM

Dari gambar di atas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar *filler* kapur padam yang digunakan, nilai VIM cenderung semakin rendah. Sebaliknya, jika kadar *filler* kapur padam yang digunakan lebih rendah atau *filler* semen digunakan lebih banyak daripada *filler* kapur padam, maka nilai VIM akan meningkat. Misalnya, nilai VIM pada kadar *filler* kapur padam 0% adalah 4,82%, sementara pada kadar *filler* kapur padam 100%, nilai VIM menjadi 3,69%. Ini menunjukkan bahwa *filler* kapur padam lebih efektif dalam mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran dibandingkan dengan *filler* semen.

3. Flow

Dari hasil analisis dan pengujian menggunakan campuran dengan kadar aspal sebesar 5,00%, serta substitusi *filler* semen dengan kadar *filler* kapur padam 0%:100%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25%, dan 100%:0%, didapat nilai *flow*. Untuk kadar *filler* kapur padam 0%, nilai *flow* adalah 3,66 mm. Pada kadar *filler* kapur padam 25%, terjadi penurunan menjadi 3,22 mm. Kadar *filler* kapur padam 50% mengalami peningkatan menjadi 3,21 mm, sedangkan pada kadar *filler* kapur padam 75% dan 100%, terjadi peningkatan yang sama menjadi 4,38 mm.

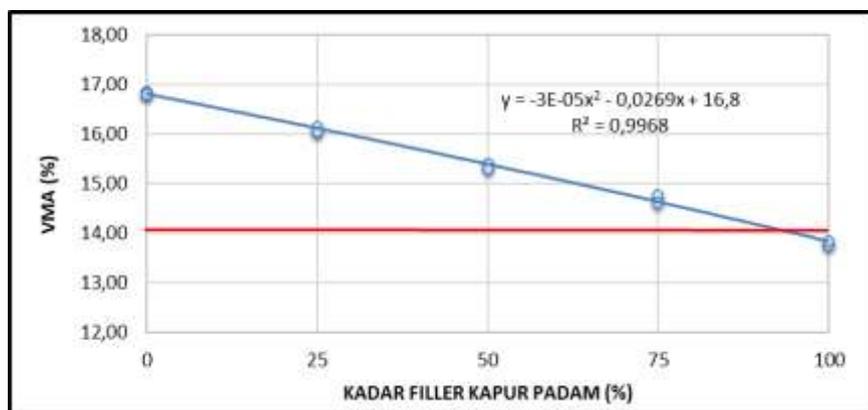


Gambar 5. Grafik Flow

Nilai *flow* untuk kadar *filler* kapur padam 0% hingga 75% memenuhi standar yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Namun, pada kadar *filler* kapur padam 100%, nilai *flow* yang tercatat tidak sesuai dengan persyaratan yang ada dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, di mana nilai *flow* mencapai 4,38 mm. Berdasarkan Gambar 7, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi penggunaan *filler* kapur padam dalam campuran aspal, nilai *flow* (kelelehan) akan cenderung meningkat. Hal ini mungkin disebabkan oleh kurangnya kemampuan *filler* (semen) untuk mengikat, serta kemungkinan kurangnya kadar aspal yang digunakan dalam campuran.

4. VMA

Hasil perhitungan dengan menggunakan kadar aspal 5,00% dan mengganti *filler* semen dengan kadar *filler* kapur padam 0%:100%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25%, dan 100%:0%, menghasilkan nilai VMA sebagai berikut: kadar *filler* kapur padam 0% memiliki nilai 16,82%, sementara pada kadar *filler* kapur padam 25%, terjadi penurunan menjadi 16,08%. Kadar *filler* kapur padam 50% mengalami penurunan menjadi 15,36%, sedangkan pada kadar *filler* kapur padam 75%, nilai VMA turun menjadi 14,69%. Pada kadar *filler* kapur padam 100%, terjadi penurunan signifikan menjadi 13,80%. Nilai VMA dengan kadar *filler* kapur padam 0% hingga 75% sesuai dengan persyaratan yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, namun pada kadar *filler* kapur padam 100%, tidak memenuhi spesifikasi. Penurunan nilai VMA seiring dengan peningkatan kadar *filler* kapur padam disebabkan oleh penyusutan rongga agregat karena diisi oleh *filler* kapur padam.



Gambar 6. Grafik VMA

Semakin tinggi kadar *filler* kapur padam yang digunakan, semakin mengecil rongga yang terisi oleh aspal di dalam agregat, sehingga nilai VMA cenderung menurun. Penyebabnya adalah *filler* kapur padam yang mengisi ruang antara agregat, menyebabkan pengecilan rongga tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan *filler* kapur padam yang berlebihan dapat membuat aspal sulit meresap ke dalam agregat.

5. VFB

Pada kadar aspal 5,00% dan penggantian *filler* semen dengan kadar *filler* kapur padam 0%:100%, 25%:75%, 50%:50%, 75%:25%, dan 100%:0%, diperoleh nilai VFB sebagai berikut: untuk kadar *filler* kapur padam 0%, nilai adalah 71,36%; pada kadar *filler* kapur padam 25%, terjadi penurunan menjadi 71,19%; untuk kadar *filler* kapur padam 50%, nilai turun menjadi 71,30%; pada kadar *filler* kapur padam 75%, nilai juga mengalami penurunan menjadi 71,43%; dan pada kadar *filler* kapur padam 100%, terjadi penurunan signifikan menjadi 73,23%. Seluruh nilai VFB dengan kadar *filler* kapur padam 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.



Gambar 7. Grafik VFB

Berdasarkan gambar di atas dapat disimpulkan bahwa penggunaan kadar *filler* kapur padam yang semakin bertambah mengakibatkan persentase nilai VFB menurun, dan sebaliknya semakin sedikit kadar *filler* kapur padam yang digunakan, maka persentase nilai VFB akan semakin meningkat. Dari sini dapat disimpulkan bahwa *filler* kapur padam padi dengan kadar aspal 5,00% kurang baik dibandingkan dengan *filler* semen yang dibuktikan dengan semakin menurunnya persentase rongga yang terisi seiring dengan bertambahnya kadar *filler* kapur padam yang digunakan.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian Marshall, disimpulkan bahwa campuran AC-BC dengan penggantian *filler* menggunakan kapur padam pada berbagai kadar *filler* kapur padam (0% hingga 100%) tidak sesuai dengan Standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Namun, perlu dicatat bahwa nilai rata-rata VMA (*Voids in Mineral Aggregate*) dan nilai flow pada kadar *filler* kapur padam 100% memenuhi Standar Spesifikasi Bina Marga 2018. Nilai rata-rata VMA mencapai 13,47, sedangkan nilai flow adalah 4,34 mm. Penambahan kadar *filler* kapur padam dari 25% memiliki dampak signifikan terhadap nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, dan VFB. Kenaikan kadar *filler* kapur padam berfungsi sebagai agen anti-stripping yang dapat meningkatkan ketahanan campuran aspal terhadap beban lalu lintas, termasuk gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan. Namun, penggunaan kadar *filler* kapur padam sebesar 75% dan 100%, di mana komposisi *filler* kapur padam melebihi semen, akan menghasilkan penurunan kualitas campuran karena rongga dalam campuran terisi oleh *filler* kapur padam. Hal ini menyebabkan kesulitan bagi aspal untuk mengikat agregat, yang berdampak pada penurunan kualitas campuran.

REFERENSI

- [1] I. Zulkarnain, M. Hidayat, U. Muhammadiyah, and K. T. Koresponden, "Pengaruh Penggunaan Kapur Sebagai Penambahan *Filler* Pada Campuran Aspal AC-BC," *JCEBT*, vol. 7, no. 1, 2023, [Online]. Available: <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- [2] M. Pampanglangi, Alpius, and C. Kamba, "Karakteristik Batu Gunung Posi'padang Balla Kabupaten Mamasa Yang Menggunakan Campuran Laston AC-WC," *pcej*, vol. 4, no. 3, pp. 479–487, Nov. 2022, doi: 10.52722/pcej.v4i3.525.
- [3] S. Jalalul Akbar and L. Ayu Widari, "Penggunaan Kapur Sebagai *Filler* Pada Campuran Aspal (Ac-Bc) Terhadap Parameter Marshall," *Teras Jurnal*, vol. 8, no. 1, 2018.
- [4] S. Y. Pomantow, F. Jansen, and J. E. Waani, "Kinerja Campuran Ac-Wc Dengan Menggunakan Agregat Dari Batu Kapur," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 7, no. 2, pp. 219–228, 2019.

- [5] Deamayes, Alpius, dan C. Kamba, “Pemanfaatan Batu Sungai Melli Kecamatan Baebunta Kabupaten Luwu Utara Dalam Campuran AC-WC,” *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 3, no. 1, hlm. 85–91, Feb 2021, doi: 10.52722/pcej.v3i1.210.
- [6] N. Wendani, M. Selintung, dan Alpius, “Studi Penggunaan Agregat Sungai Bittuang Sebagai Bahan Campuran AC-WC,” *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 2, no. 2, hlm. 138–144, Agu 2020, doi: 10.52722/pcej.v2i2.126.
- [7] T. Kanallo, R. Rachman, dan Alpius, “Pemanfaatan Batu Sungai Leoran Kecamatan Cendana Kabupaten Enrekang Sulawesi Selatan Pada AC-WC,” *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 4, no. 2, Jun 2022, doi: 10.52722/pcej.v4i2.454.
- [8] I. M. Batara, R. Mangontan, dan Alpius, “Pemanfaatan Agregat Sungai Lamasi Kabupaten Luwu Sebagai Campuran Lapisan Aspal Beton AC-WC,” *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 2, no. 3, hlm. 171–179, Okt 2020, doi: 10.52722/pcej.v2i3.144.
- [9] I. S. K. Sosang, Alpius, dan R. Rachman, “Pemanfaatan Agregat Sungai Mawa Kecamatan Cendana Dalam Campuran AC-WC,” *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 2, no. 1, hlm. 53–57, Agu 2020, doi: 10.52722/pcej.v2i1.121.
- [10] Merdi Indra Asrinto, Alpius, and Sufiati Bestari, “Characteristic Test of AC - WC Mixture Using Tambolang Rock, North Toraja Regency,” *pcej*, vol. 3, no. 2, pp. 183–190, Dec. 2021, doi: 10.52722/pcej.v3i2.322.