



Analisis Pengaruh Penggunaan Limbah Kaca Soda-Lime Terhadap Saringan No. 50 Tertahan Saringan No.100 Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Terhadap Aspal Campuran AC-WC Menggunakan Material Dari Quarry Kakaskasen

Matthew A. D. Sajow^{#a}, Lucia G. J. Lalamentik^{#b}, Mecky R. E. Manoppo^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^asajow05@gmail.com, ^blucia.lalamentik@unsrat.ac.id, ^cmeckymanoppo@yahoo.com

Abstrak

Perkerasan jalan menggunakan campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) memerlukan agregat dengan kualitas baik agar mampu menahan beban lalu lintas serta memberikan stabilitas yang tinggi. Namun ketersediaan agregat alami semakin terbatas, sehingga diperlukan material alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan substitusi sebagian agregat. Salah satu material yang berpotensi dimanfaatkan adalah limbah kaca soda-lime yang banyak ditemukan sebagai limbah rumah tangga dan industri. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan limbah kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC. Variasi penambahan limbah kaca yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari berat agregat halus. Pengujian dilakukan dengan metode Marshall Test untuk memperoleh parameter stabilitas, flow, VIM, VMA, dan VFB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah kaca memberikan pengaruh terhadap karakteristik Marshall campuran aspal. Nilai stabilitas cenderung meningkat pada variasi tertentu namun menurun pada kadar limbah kaca yang lebih tinggi. Nilai VIM dan VMA menunjukkan perubahan yang dipengaruhi oleh bentuk dan tekstur permukaan partikel kaca. Secara umum, penggunaan limbah kaca sebagai substitusi sebagian agregat halus masih dapat digunakan dalam campuran AC-WC pada variasi tertentu dengan tetap memenuhi spesifikasi yang berlaku.

Kata kunci: AC-WC, soda-lime glass, karakteristik Marshall, kadar aspal optimum

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Kota Manado, sebagai salah satu pusat pertumbuhan ekonomi utama di Sulawesi Utara, menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan limbah, terutama limbah kaca. Limbah kaca merupakan salah satu jenis sampah non-biodegradable yang membutuhkan waktu sangat lama untuk terurai, bahkan hingga ± 4.000 tahun, sehingga apabila tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan dampak lingkungan yang serius (Mear et al., 2006; EPA, 2016).

Berdasarkan laporan Dinas Lingkungan Hidup Kota Manado tahun 2023, jumlah limbah kaca yang dihasilkan mencapai ± 200 ton per tahun, namun hanya sekitar 15% yang berhasil didaur ulang atau dimanfaatkan kembali. Sisanya berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA) atau mencemari lingkungan sekitar, yang berpotensi merusak ekosistem dan mengganggu kesehatan masyarakat (DLH Manado, 2023).

Salah satu sumber limbah kaca berasal dari aktivitas pemotongan kaca di toko-toko bangunan. Berdasarkan hasil observasi lapangan pada salah satu toko pemotongan kaca di Kota Manado, limbah kaca yang dihasilkan mencapai sekitar 30 karung per tahun dengan berat masing-masing karung berkisar 30–40 kg. Sebagian kecil limbah ini dapat dimanfaatkan kembali, sementara selebihnya biasanya dikirim ke Surabaya untuk pengolahan lebih lanjut (Observasi Penulis, 2024).

Salah satu material yang berpotensi dimanfaatkan adalah limbah kaca, khususnya kaca

soda-lime non-tempered yang banyak ditemukan sebagai limbah botol dan produk rumah tangga. Kaca soda-lime merupakan jenis kaca yang paling umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari dan memiliki sifat keras, tidak menyerap air, serta memiliki berat jenis yang relatif mendekati agregat halus alami. Berbeda dengan kaca tempered yang telah melalui proses perlakuan panas sehingga memiliki kekuatan mekanis lebih tinggi dan sulit dihancurkan, kaca non-tempered lebih mudah diolah menjadi butiran halus sehingga lebih sesuai untuk digunakan sebagai bahan substitusi dalam campuran aspal.

Pemanfaatan limbah kaca sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam campuran AC-WC tidak hanya bertujuan untuk mengurangi penggunaan agregat alam, tetapi juga sebagai upaya pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan. Limbah kaca merupakan material yang sulit terurai secara alami dan jumlahnya terus meningkat setiap tahun. Dengan memanfaatkannya dalam konstruksi perkerasan jalan, diharapkan dapat memberikan nilai tambah dari sisi teknis maupun lingkungan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis pengaruh penggunaan limbah kaca soda-lime sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC dan menentukan apakah campuran yang dihasilkan masih memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan.

1.2. Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh penambahan limbah kaca jenis Soda-Lime sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap sifat mekanis campuran aspal AC-WC.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mengukur pengaruh substitusi limbah kaca Soda-Lime dan mengetahui manfaat penambahan limbah kaca Soda-Lime sebagai bahan alternatif pengganti sebagian agregat halus untuk perkerasan AC-WC.

1.4. Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh manfaat sebagai berikut:

1. Menilai kelayakan limbah kaca Soda-Lime sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus dalam campuran aspal AC-WC, sehingga dapat menjadi alternatif dalam pemanfaatan material daur ulang pada konstruksi jalan raya.
2. Meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dalam industri konstruksi dengan mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya alam, seperti pasir.
3. Mengurangi dampak lingkungan dari limbah kaca dengan memanfaatkan kembali material yang sulit terurai secara alami, sehingga membantu mengurangi jumlah sampah anorganik.
4. Menilai pengaruh limbah kaca soda-lime terhadap karakteristik campuran aspal, seperti stabilitas, daya tahan terhadap deformasi, ketahanan terhadap retak, serta performa dalam berbagai kondisi cuaca dan lalu lintas.
5. Memberikan wawasan baru dalam bidang teknik transportasi, khususnya dalam inovasi material alternatif yang berpotensi meningkatkan kualitas dan umur layanan perkerasan jalan.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini terbatas pada:

1. Perencanaan campuran menggunakan campuran perkerasan untuk lapis AC-WC,
2. Penelitian dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado,
3. Aspal yang digunakan adalah aspal Pertamina penetrasi 60/70,
4. Jenis limbah kaca yang digunakan adalah limbah pecahan botol, pecahan kaca jendela, dan pecahan cermin yang akan dihaluskan sehingga lolos saringan 100,
5. Kadar penambahan kaca dengan variasi 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% dari total berat *agregat halus* setelah mendapatkan KAO sebelum penggunaan limbah kaca *Soda-Lime*,
6. Metode pengujian yang digunakan adalah Marshall Test,
7. Menggunakan material dari Quarry Kakaskasen.

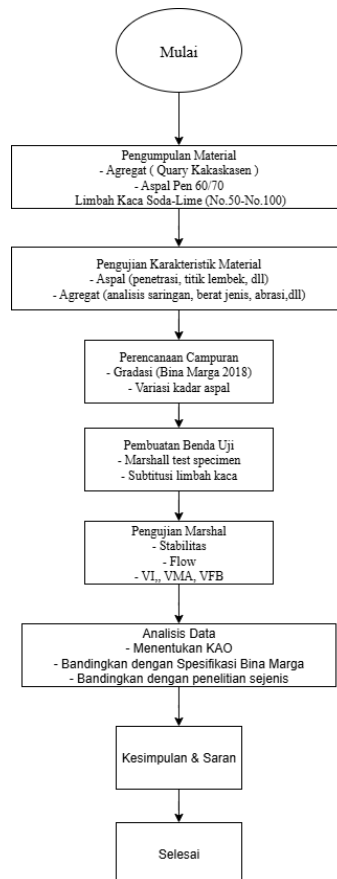
2. Metode Penelitian

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian akan dilakukan di Laboraturium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi. Sedangkan waktu pelaksanaan penelitian yang direncanakan akan berjalan kurang lebih tiga bulan terhitung sejak bulan Maret 2025 sampai dengan bulan Juni 2025.

2.2 Alur Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan menurut alur yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pemeriksaan Material

Pemeriksaan hasil dari analisa seluruh agregat yakni agregat kasar, agregat sedang dan agregat halus agar dapat digunakan dalam pembuatanbn benda uji. Agregat yang dipakai berasal dari AMP Sea dilakukan berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2).

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

No.	Jenis Pengujian		Standard	Syarat	Hasil
1	Pemeriksaan Keausan (Abrasi)		SNI 03 – 2417 – 2008	Maks.40%	35,45
2	Berat Jenis Kasar	Bulk	SNI 03-1969-2016		2,17 (gr/cc)
		SSD			2,27 (gr/cc)
		Semu			2,41 (gr/cc)

	Berat Jenis Sedang	Penyerapan		Maks.3%	4,5 %
		Bulk			2,20 (gr/cc)
		SSD			2,35 (gr/cc)
		Semu			2,59 (gr/cc)
	Berat Jenis Halus	Penyerapan	SNI 03-1970-2016	Maks.3%	6,7 %
		Bulk			2,59 (gr/cc)
		SSD			2,62 (gr/cc)
		Semu			2,67 (gr/cc)
		Penyerapan		Maks.3%	1.13 %

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan

No Saringan	Agregat Kasar	Agregat Sedang	Agregat Halus
1"	100,00	100,00	100,00
3/4"	100,00	100,00	100,00
1/2"	52,02	98,17	100,00
3/8"	14,44	94,83	100,00
No. 4	0,43	40,16	98,26
No. 8	0,36	16,20	77,20
No. 16	0,31	10,64	49,27
No. 30	0,30	8,02	32,00
No. 50	0,29	6,02	19,44
No. 100	0,24	3,81	10,71
No. 200	0,08	3,50	6,48

Hasil pemeriksaan aspal pertamina pen 60/70 yang tersedia di laboratorium Perkerasan Jalan Universitas Sam Ratulangi Manado dilakukan berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2).

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Aspal Pen 60/70

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe Aspal Pen.60/70	Hasil Pengujian
Berat Jenis	SNI 2441-2011	>1,0	1,04
Penetrasi Pada Suhu 25°C (0,1 mm)	SNI 2456-2011	60-70	67,28 mm
Titik Lembek	SNI 243-2011	>48	48,5°C

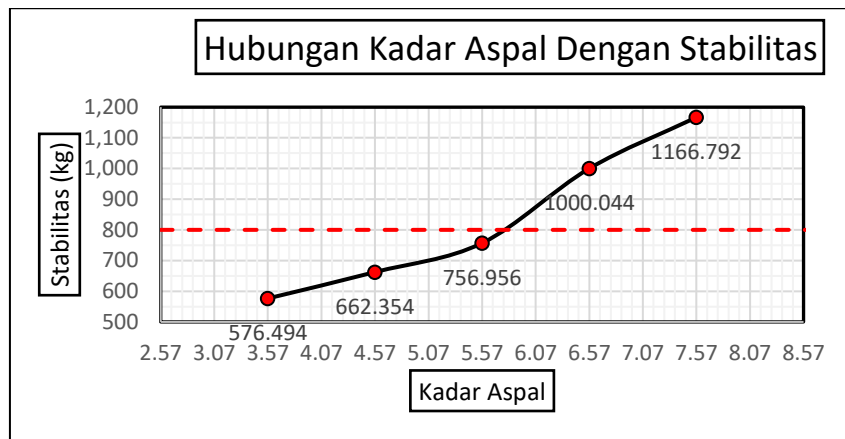
3.2. Hasil Pengujian Marshall

a. Hasil Pengujian Campuran Aspal

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai kriteria *Marshall* untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) dengan variasi kadar aspal 3,5%, 4,5%, 5,5%, 6,5% dan & 7,5%.

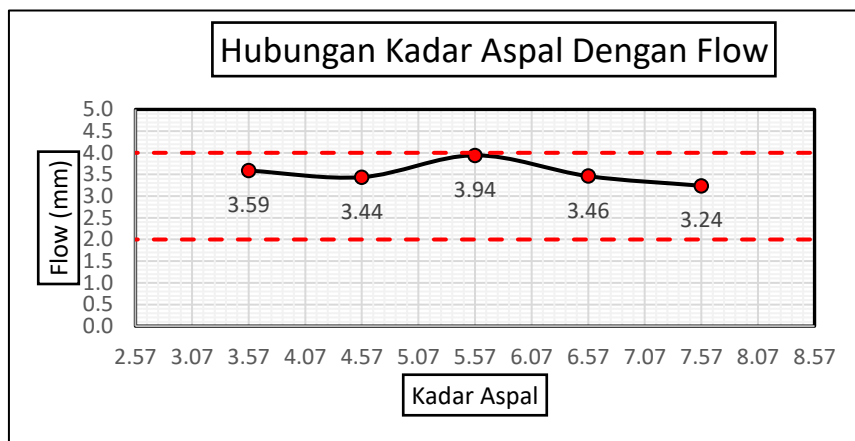
Tabel 6. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis

Karakteristikk	Syarat	Kadar Aspal (%)				
		3,57%	4,57%	5,57%	6,57%	7,57%
Stabilitas	Min. 800	576,49	662,35	756,95	1000,04	1166,79
Flow	2 – 4	3,59	3,44	3,94	3,46	3,24
VMA	Min. 14	25,67	25,05	20,48	18,00	18,57
VIM	3 – 5	21,03	18,38	11,25	6,21	4,55
VFB	Min. 65	18,06	26,64	45,21	65,53	75,56
FF / Kadar aspal efektif	0,6 – 1,6	1,78	1,25	0,95	0,77	0,64



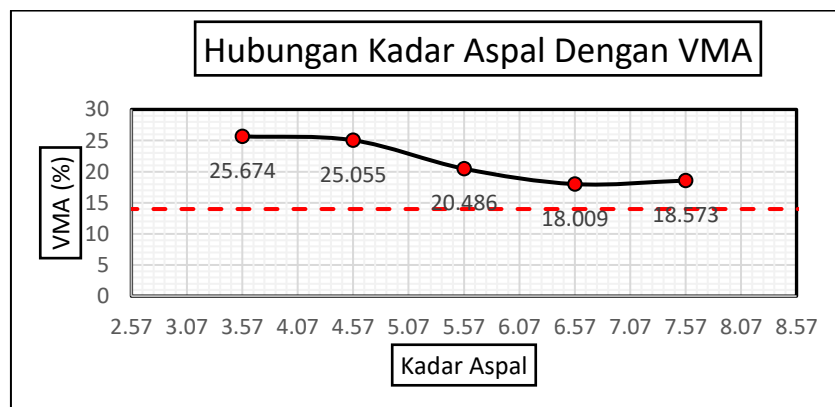
Gambar 2. Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan didapatkan nilai stabilitas pada kadar aspal 3,5%, 4,5%, 5,5%, 6,5% dan 7,5% yaitu 576,49 kg, 662,35 kg, 756,95 kg, 1000,04 kg dan 1166,79 kg. Berdasarkan spesifikasi nilai stabilitas disyaratkan minimal 800 kg.



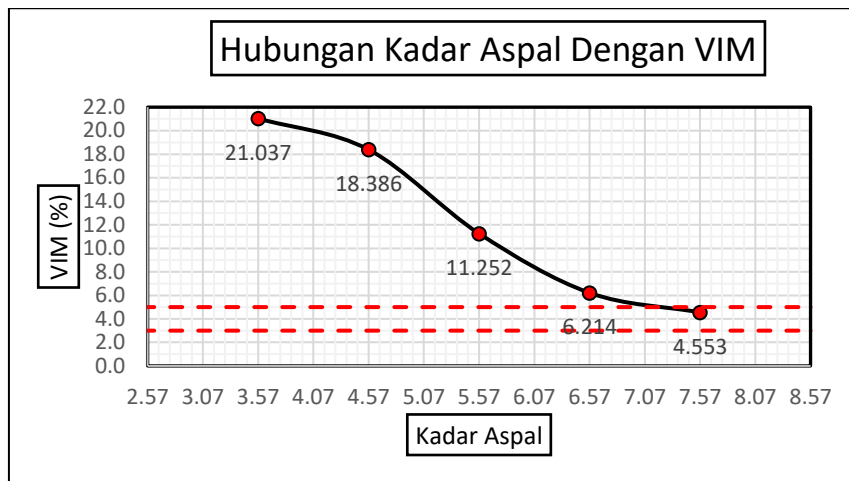
Gambar 3. Hubungan Kadar Aspal dengan Flow

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan didapatkan nilai flow pada kadar aspal 3,5%, 4,5%, 5,5%, 6,5% dan 7,5% yaitu 3,59 mm, 3,44 mm, 3,94 mm, 3,46 mm dan 3,24 mm. Berdasarkan spesifikasi nilai flow disyaratkan minimal 2 mm dan maksimal 4 mm.



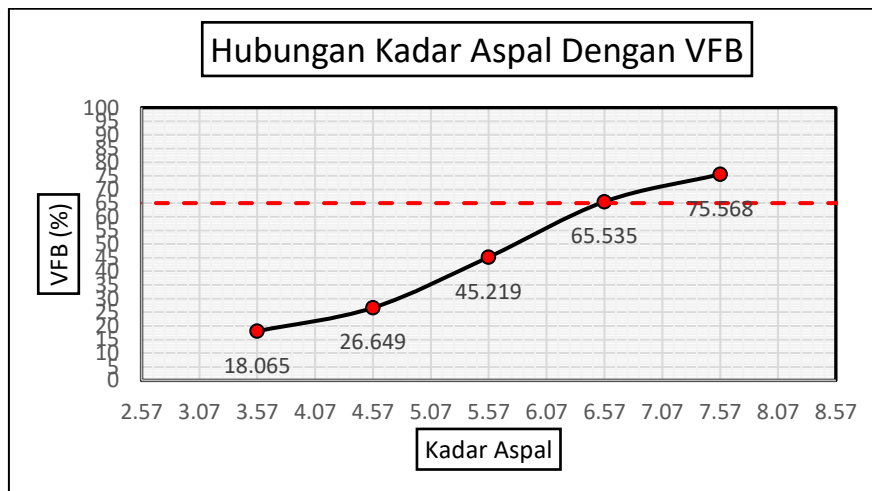
Gambar 4. Hubungan Kadar Aspal dengan VMA

Berdasarkan Hasil pengujian yang dilakukan didapatkan nilai VMA pada kadar aspal 3,5%, 4,5%, 5,5%, 6,5% dan 7,5% yaitu 25,67%, 25,05%, 20,48%, 18,00% dan 18,57%. Berdasarkan spesifikasi nilai VMA disyaratkan minimal 14%.



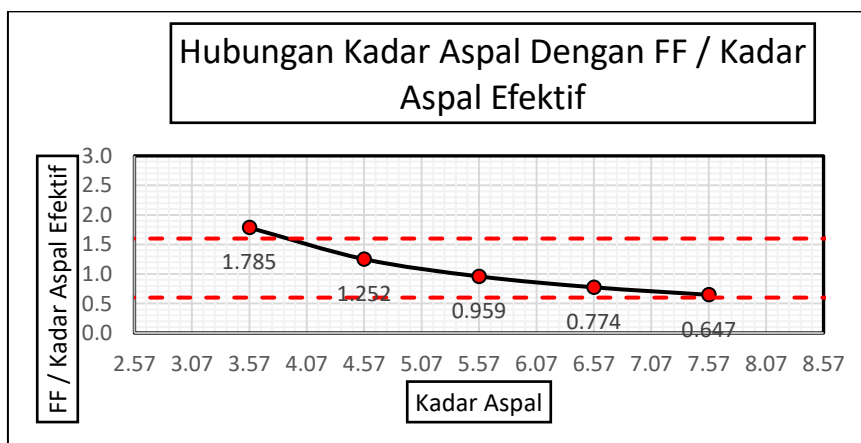
Gambar 5. Hubungan Kadar Aspal dengan VIM

Berdasarkan Hasil pengujian yang dilakukan didapatkan nilai VIM pada kadar aspal 3,5%, 4,5%, 5,5%, 6,5% dan 7,5% yaitu 21,03%, 18,38%, 11,25%, 5,21%, dan 4,55%. Berdasarkan Spesifikasi nilai VIM disyaratkan minimal 3% dan maksimal 5%.



Gambar 6. Hubungan Kadar Aspal dengan VFB

Berdasarkan Hasil pengujian yang dilakukan didapatkan nilai VFB pada kadar aspal 3,5%, 4,5%, 5,5%, 6,5% dan 7,5% yaitu 18,06%, 26,64%, 45,21%, 65,53% dan 75,56%. Berdasarkan spesifikasi nilai VFB disyaratkan minimal 65%.

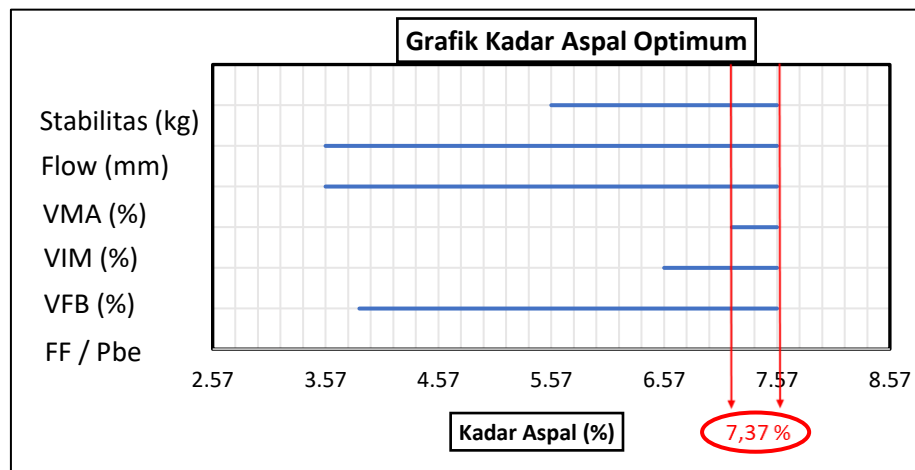


Gambar 7. Hubungan Kadar Aspal dengan FF / Kadar Aspal Efektif

Berdasarkan Hasil pengujian yang dilakukan didapatkan nilai VFB pada kadar aspal 3,5%, 4,5%, 5,5%, 6,5% dan 7,5% yaitu 1,78, 1,25, 0,95, 0,77, dan 0,64. Berdasarkan spesifikasi nilai FF disyaratkan minimal 0,6 dan maksimal.

b. Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan hasil pengujian *Marshal* didapatkan kadar aspal optimum (KAO) adalah 7,23% berdasarkan karakteristik *Marshal* yang memenuhi spesifikasi campuran AC – BC. Penggunaan kadar aspal 7,23% diambil dari nilai rata rata dari hasil karakteristik *Marshall* yang memenuhi spesifikasi yaitu antara 7,01% - 7,45%.



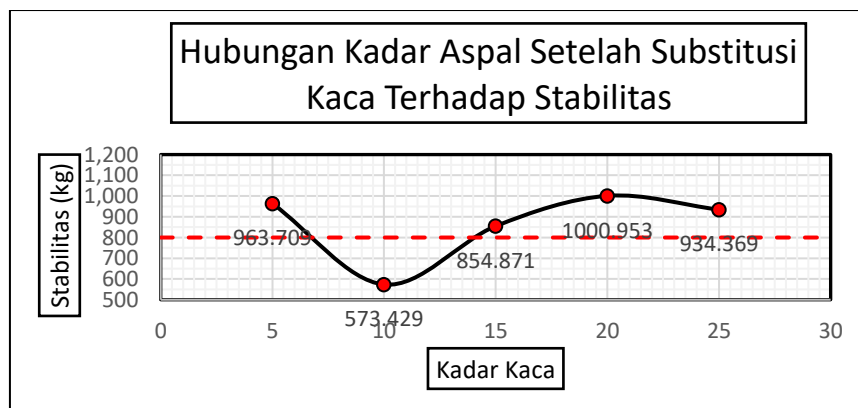
Gambar 8. Kadar Aspal Optimum

c. Hasil Pengujian Marshal dengan Substitusi Limbah Kaca Soda-Lime pada Sebagian Agregat Halus

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai karakteristik Marshall dengan substitusi limbah kaca soda-lime pada sebagian agregat halus dengan variasi 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%.

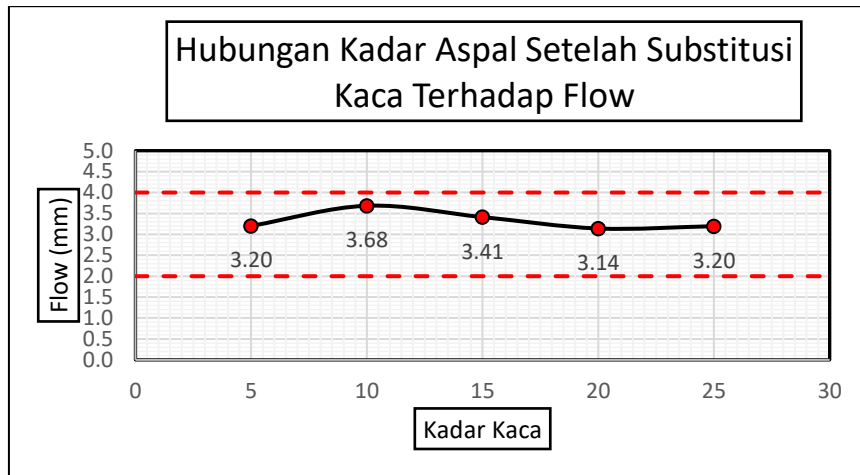
Tabel 7. Hasil Pengujian *Marshall* Kaca Soda-Lime

Karakteristikk	Syarat	Kadar Kaca (%)				
		5%	10%	15%	20%	25%
Stabilitas	Min. 800	963,71	573,43	854,87	1000,95	934,37
Flow	2 – 4	3,20	3,68	3,41	3,14	3,20
VMA	Min. 14	25,63	27,34	27,22	27,51	28,26
VIM	3 – 5	12,99	14,73	14,32	14,40	15,02
VFB	Min. 65	49,33	46,21	47,39	47,66	46,88
FF / Kadar aspal efektif	0,6 – 1,6	0,66	0,65	0,65	0,64	0,63



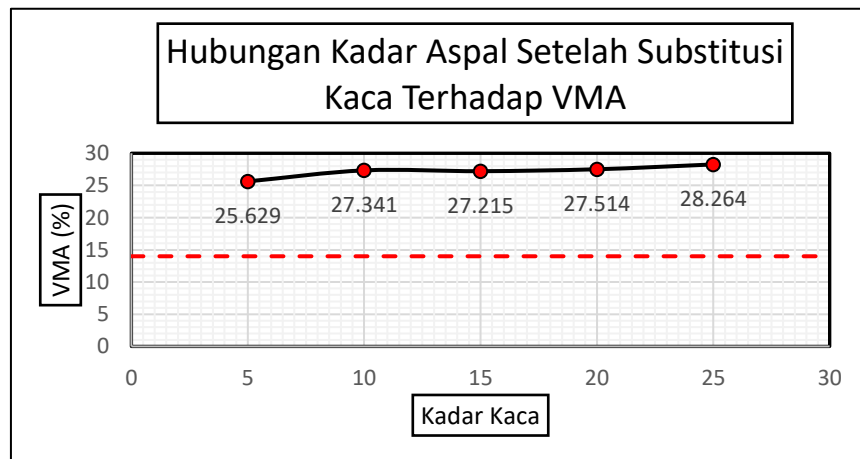
Gambar 9. Hubungan Kadar Aspal Setelah Substitusi Kaca Terhadap Stabilitas

Berdasarkan Hasil pengujian yang dilakukan didapatkan nilai Stabilitas pada kadar kaca 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% yaitu 963,71 kg, 573,43 kg, 854,87 kg, 1000,95 kg, dan 934,37 kg. Berdasarkan spesifikasi nilai stabilitas disyaratkan minimal 800 kg.



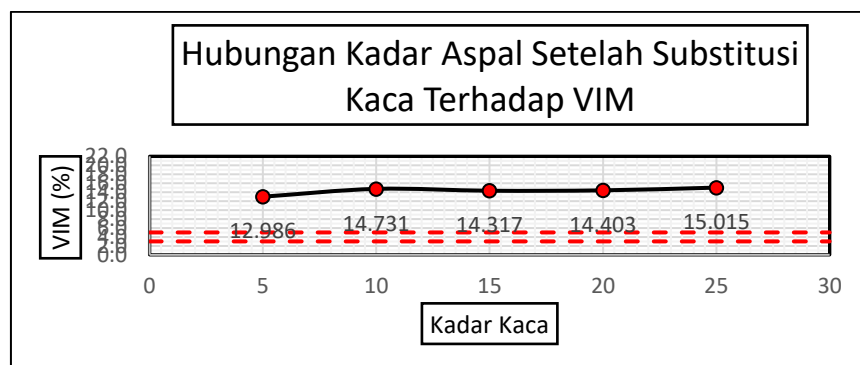
Gambar 10. Hubungan Kadar Aspal Setelah Substitusi Kaca Terhadap Flow

Berdasarkan Hasil pengujian yang dilakukan didapatkan nilai Flow pada kadar kaca 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% yaitu 3,20 mm, 3,68 mm, 3,41 mm, 3,14 mm dan 3,20 mm. Berdasarkan spesifikasi nilai flow disyaratkan minimal 2 mm dan maksimal 4 mm.



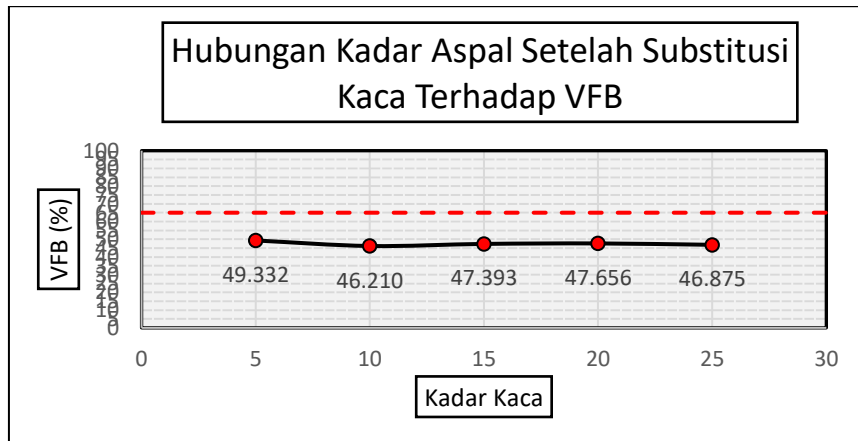
Gambar 11. Hubungan Kadar Aspal Setelah Substitusi Kaca Terhadap VMA

Berdasarkan Hasil pengujian yang dilakukan didapatkan nilai VMA pada kadar kaca 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% yaitu 25,63%, 27,34%, 27,22%, 27,51% dan 28,26%. Berdasarkan spesifikasi nilai VMA disyaratkan minimal 14%.



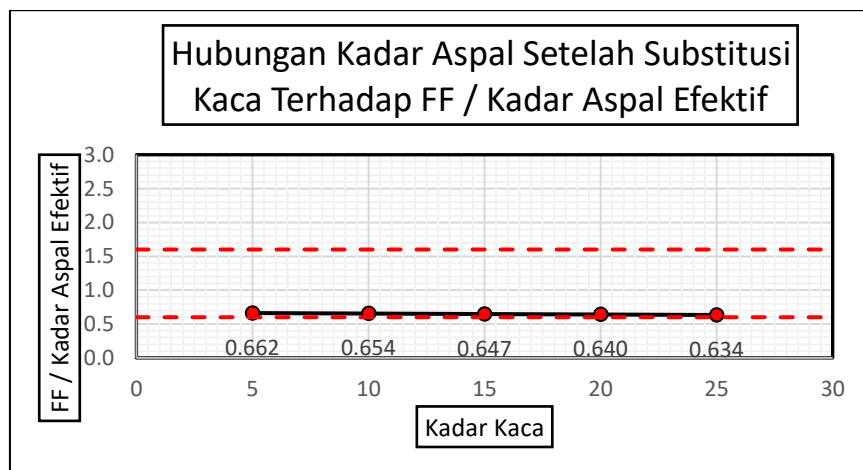
Gambar 12. Hubungan Kadar Aspal Setelah Substitusi Kaca Terhadap VIM

Berdasarkan Hasil pengujian yang dilakukan didapatkan nilai VIM pada kadar kaca 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% yaitu 12,99%, 14,73%, 14,32%, 14,40% dan 15,02%. Berdasarkan Spesifikasi nilai VIM disyaratkan minimal 3% dan maksimal 5%.



Gambar 13. Hubungan Kadar Aspal Setelah Substitusi Kaca Terhadap VFB

Berdasarkan Hasil pengujian yang dilakukan didapatkan nilai VFB pada kadar kaca 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% yaitu 49,33%, 46,21%, 47,34%, 47,66% dan 46,88%. Berdasarkan spesifikasi nilai VFB disyaratkan minimal 65%.



Gambar 14. Hubungan Kadar Aspal Setelah Substitusi Kaca Terhadap FF / Kadar Aspal Efektif

Berdasarkan Hasil pengujian yang dilakukan didapatkan nilai FF / Kadar Aspal Efektif pada kadar kaca 5%, 10%, 15%, 20% dan 25% yaitu 0,66, 0,65, 0,65, 0,64 dan 0,63 Berdasarkan spesifikasi nilai FF disyaratkan minimal 0,6 dan maksimal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, penggunaan limbah kaca soda-lime sebagai pengganti sebagian agregat halus berpengaruh terhadap karakteristik Marshall campuran Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC). Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh adalah sebesar 7,37%. Penambahan limbah kaca pada kadar 10–15% menunjukkan peningkatan nilai stabilitas dan kepadatan campuran serta penurunan nilai VIM menuju batas yang lebih ideal. Namun pada kadar di atas 15%, nilai stabilitas dan kepadatan cenderung menurun sedangkan nilai flow dan VIM meningkat akibat rendahnya daya lekat antara aspal dan permukaan kaca yang relatif licin. Oleh karena itu, limbah kaca soda-lime berpotensi digunakan sebagai substitusi sebagian agregat halus pada campuran AC-WC, terutama pada kadar terbatas, dengan tetap memperhatikan batas optimum agar karakteristik campuran tetap memenuhi spesifikasi teknis.

Referensi

- Sukirman, S. (1999). *Beton Aspal Campuran Panas*. Yogyakarta: Kanisius. (Referensi utama tentang perkerasan jalan dan campuran aspal.)
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (Panduan spesifikasi teknis untuk AC-WC.)
- Mahardika, S. D. (2019). *Analisis Pengaruh Penambahan Limbah Kaca pada Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) terhadap Karakteristik Marshall*. Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Suryandari, F. (2020). *Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Kaca sebagai Filler Material Pengisi pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*. Skripsi, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran".
- Yusuf, W. (2021). *Pengaruh Penggunaan Limbah Kaca sebagai Substitusi Sebagian Agregat Halus terhadap Karakteristik Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*. Skripsi, Universitas Muhammadiyah Mataram.
- Hartini. (2021). *Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Panas (AC-WC)*. Penelitian Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Unidayan Baubau.
- Imron . A . R . (2013). *Pemanfaatan Serbuk Kaca Sebagai Filler Pada Campuran Perkerasan Jalan HRS-WC* . Laporan Proyek Akhir. Universitas Jember.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2023). *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional*. Jakarta: KLHK. Diakses dari <https://sipsn.menlhk.go.id> (Statistik limbah kaca di Indonesia.)
- ASTM International. (2021). *ASTM C131-21: Standard Test Methods for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Ferdous, W., & Rahman, M. (2021). Global Trends in Glass Recycling: Challenges and Opportunities. *Journal of Environmental Science*, 12(4), 345-358. <https://doi.org/10.1016/j.jenvsci.2021.05.009>
- Arulrajah, A., Yaghoubi, M., Imteaz, M., & Horpibulsuk, S. (2015). Engineering and environmental properties of foamed recycled glass as a lightweight geomaterial. *Journal of Cleaner Production*, 94, 369–375. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.095>
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Manado. (2023). *Laporan Tahunan Pengelolaan Sampah Kota Manado 2023*. Pemerintah Kota Manado.
- Jamshidi, A., Kurumisawa, K., Tani, T., & Nawa, T. (2019). A review on the use of waste materials in pavement engineering. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97, 273–284. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.034>
- Mear, F., Yot, P., Cambon, M., & Ribes, M. (2006). The characterization of waste glass for reuse in concrete. *Waste Management*, 26(7), 747–755. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.10.017>
- Nassar, A. I., Mohammed, M. K., Thom, N., & Parry, T. (2016). Mechanical performance of asphalt mixtures containing recycled materials. *Construction and Building Materials*, 114, 676–684. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.190>
- Observasi Penulis. (2024). *Data lapangan di toko pemotongan kaca Kota Manado*.
- Pasandín, A. R., & Pérez, I. (2015). The influence of waste glass on the mechanical properties of asphalt mixtures. *Materials & Design*, 74, 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.03.037>
- Saha, P., Suman, S. K., & Kumar, P. (2018). Use of waste glass in asphalt concrete: A review. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 11(6), 564–572. <https://doi.org/10.1016/j.ijprt.2018.08.003>
- United States Environmental Protection Agency. (2016). *Advancing Sustainable Materials Management: 2014 Fact Sheet*. EPA, Washington DC.
- Tushar, Q., et al. (2023). Application of recycled crushed glass in road pavements: wearing course case studies. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/.com>