

PENGARUH LIMBAH BETON (RCA) TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHAL PADA CAMPURAN ASPAL AC-BC

THE EFFECT OF WASTE CONCRETE (RCA) ON MARSHAL CHARACTERISTICS IN AC-BC ASPHALT MIXTURE

¹Wiwit Mely Yanti Jannah, ²Andri Dwi Cahyono, ³Imam Mustofa

^{1,2,3}Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kadiri.

^{1*}wiwitmelly92@gmail.com, ^{2*}adcahyono@unik-kediri.ac.id, ^{3*}imammustofa@unik-kediri.ac.id

Abstrak

Infrastruktur global berkembang pesat, termasuk jalan dan bandara, memacu pertumbuhan ekonomi dan akses layanan publik. Namun, peningkatan fasilitas infrastruktur memunculkan masalah limbah konstruksi. Sekitar 40-50% limbah global berasal dari konstruksi dan bangunan setiap tahunnya. Tingginya produksi limbah menciptakan masalah serius, seperti pencemaran lingkungan. Solusi potensial adalah memanfaatkan limbah beton bekas sebagai bahan tambahan dalam perkerasan jalan, mengurangi dampak negatif dan mendukung keberlanjutan. Tujuan dari penelitian ini digunakan sebagai landasan untuk mengembangkan campuran perkerasan jalan yang menggunakan limbah beton (RCA) sebagai bahan pengganti dan mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kinerja RCA dalam campuran lapis perkerasan jalan, terutama terkait dengan sifat karakteristik Marshall. Metode yang digunakan Experimental di laboratorium Universitas Kadiri. Dari hasil penelitian presentasi optimal pada campuran lapis perkerasan aspal beton AC-BC dengan menggunakan limbah beton yaitu campuran 30% RCA untuk pengganti Ag. Halus dengan nilai 17,03%, VIM 3,8%, VFB 77,8 Stabilitas 3548, Flow 2 mm, MQ 1826. Dapat ditarik bahwa kesimpulan presentasi optimal 30% pengganti Ag. Halus disebabkan hasil VMA, VIM, STABILITAS jauh lebih tinggi dari pada prosentase campuran pengganti ag.kasar dan Filler.

Kata Kunci: Aspal, Limbah Beton, Marshall.

Abstract

Global infrastructure is rapidly expanding, including roads and airports, spurring economic growth and access to public services. However, the improvement of infrastructure facilities raises the problem of construction waste. About 40-50% of global waste comes from construction and buildings annually. High waste production creates serious problems, such as environmental pollution. A potential solution is to utilize waste concrete as an additive in road pavements, reducing negative impacts and supporting sustainability. The purpose of this study is used as a foundation for developing road pavement mixtures that use waste concrete (RCA) as a substitute material and identify factors that affect RCA performance in road pavement layer mixtures, especially related to Marshall's characteristic properties. The method used is Experimental in the laboratory of Kadiri University. From the results of the study, the optimal presentation on the AC-BC asphalt pavement layer mixture using concrete waste, namely a mixture of 30% RCA for Ag replacement. Smooth with value 17.03%, VIM 3.8%, VFB 77.8 Stability 3548, Flow 2 mm, MQ 1826. It can be drawn that the conclusion of the optimal presentation of 30% replacement Ag. Smooth due to the results of VMA, VIM, STABILITY much higher than the percentage of mixtures of coarse ag. substitutes and fillers.

Keywords: Asphalt, Waste Concrete, Marshall.

PENDAHULUAN

Infrastruktur diseluruh dunia kini mengalami perkembangan yang pesat, meliputi sektor jalan raya hingga bandara, kemajuan tersebut tidak hanya mendorong pertumbuhan ekonomi tetapi juga mempermudah akses ke berbagai layanan public, dampak positif ini terutama terlihat di negara-negara berkembang, namun sering bertambahnya fasilitas infrastruktur perlu diperhatikan pula peningkatan limbah konstruksi (H. Haider et al., 2022). Berdasarkan data dari world Bank ditemukan bahwa limbah yang berasal dari konstruksi dan bangunan berkontribusi sekitar 40% hingga 50% dari total limbah global setiap tahunnya. Proses pembongkaran dan pengelolaan limbah juga mengindikasikan peningkatan stok bahan bangunan mencapai 142,31 juta ton pada tahun 2007, meningkat sebesar 69% dari tahun 2003 (J. Ma et al., 2019).

Tingginya produksi limbah konstruksi telah menciptakan masalah serius terutama karena pengelolaan yang tidak terkendali (J. Lim et al., 2020), (H. Taherkhani and R. Bayat, 2022), (A. Ossa et al., 2016). Dampak negatif dan situasi ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang merugikan. Untuk mengatasi berbagai masalah yang timbul akibat produksi limbah konstruksi, salahsatu pendekatan yang sangat berpotensi adalah dengan memanfaatkan limbah beton bekas (A. N. Zoure and P. V. Genovese, 2023), (E. H. Sanchez-Cotte et al., 2020), (M. Munhamir et al., 2023). Limbah beton bekas dapat diolah ulang untuk digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran perkerasan jalan (M. W. Purwoko Sidi Bambang et al., 2020) (M. Akbas et al., 2023). Perkerasan jalan merupakan suatu struktur yang terdiri dari campuran aspal, agregat halus dan agregat kasar, yang dirancang untuk memberikan dukungan yang optimal terhadap beban lalu lintas serta ketahanan terhadap pengaruh cuaca dan kondisi lingkungan sekitar (D. R. Junaedi, 2020). Aspal merupakan suatu bahan pengikat

yang umumnya digunakan dalam konstruksi jalan, berperan sebagai lapisan penutup yang memberikan kekuatan, elastisitas, dan ketahanan terhadap pengaruh lingkungan serta beban lalu lintas (A. Abdul, 2019), (M. Induwati et al., 2023).

Dari penelitian terdahulu Penggunaan RCA untuk pengganti sebagian agregat kasar sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100%, menunjukkan ternyata limbah beton dengan campuran 50% memberikan peningkatan stabilitas yang paling tinggi. Dalam kasus lain dengan pengantian 0%, 30%, 60% dan 100% hasil penelitian menunjukkan bahwa RCA berpori menghasilkan nilai penyerapan dan penghancuran air yang tinggi, namun stabilitas Marshall dan kekuatan pencampuran aspal yang mengandung RCA rendah.

Dari penelitian sebelumnya belum mengulas tentang RCA tiang pancang dengan mutu K-500 mpa yang akan digunakan sebagai bahan pengganti agregat halus dan kasar pada campuran aspal AC-BC. Tujuan dari penelitian ini digunakan sebagai landasan untuk mengembangkan campuran perkerasan jalan yang menggunakan limbah beton (RCA) sebagai bahan pengganti dan mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi kinerja RCA dalam campuran lapis perkerasan jalan, terutama terkait dengan sifat karakteristik Marshall.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah tempat atau wilayah penelitian di lakukan. Pengujian Perkerasan Jalan, bertempat di laboratorium Teknik Sipil Universitas Kadiri, Jawa Timur pada tanggal 8 Desember 2023

Pengambilan Sampel

Sampel Limbah Beton yang digunakan adalah bekas tiang pancang universitas kadiri memiliki Mutu K-500. Pengambilan sampel limbah beton dilakukan setelah proses pemancangan selesai, sampel yang akan di

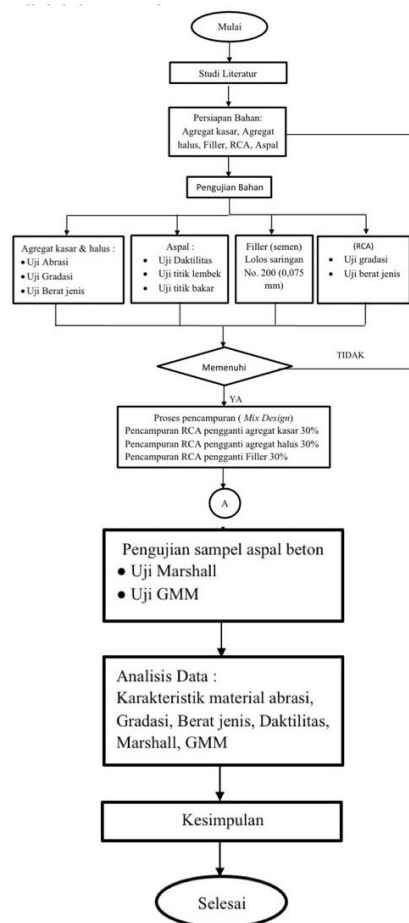
ambil akan menjadi bahan evaluasi untuk memahami lebih dalam limbah beton yang mempengaruhi karakteristik marshal pada perkerasan jalan, serta untuk memanfaatkan limbah beton sebagai aplikasi pengantian yang inovatif.

Metode Penelitian

Dalam bagan alir penelitian dibawah ini dijelaskan metode pelaksanaan persiapan bahan hingga pengumpulan data dan menganalisis data.



Gambar 1. Lokasi Penelitian
Sumber : Dokumentasi Penelitian, 2023



Gambar 2. Bagan Alir
Sumber: Laboratorium Universitas Kadiri, 2023

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Karakteristik

Data hasil pengujian karakteristik agregat meliputi data uji abrasi, uji gradasi ayakan, dan uji berat jenis. Pembahasan dari masing-masing pengujian akan dibahas pada perhitungan berikut ini:

1. Pengujian Abrasi

Berdasarkan ketentuan bina marga 2018 devisi 6 material abrasi dinyatakan lolos jika persentase abrasi tidak lebih dari 40%. Hasil pengujian akan dibahas pada perhitungan berikut ini:

Pengujian Agregat kasar

$$\text{Abrasi} = \frac{5000 - 3838}{5000} \times 100\% = 23,240$$

Pengujian RCA

$$\text{Abrasi} = \frac{5000 - 3939}{5000} \times 100\% = 21,220$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa uji abrasi Agregat kasar mencapai 23,240%, sementara RCA mengalami uji abrasi sebesar 21,220%. Dari hasil tersebut bahwa nilai uji abrasi RCA lebih baik dibandingkan dengan Agregat kasar. Standar bina marga 2018 telah menetapkan batas maksimum uji abrasi sebesar 40%, oleh karena itu kedua jenis agregat masih memenuhi persyaratan yang ditetapkan untuk digunakan pada lapis perkerasan aspal beton AC-BC.

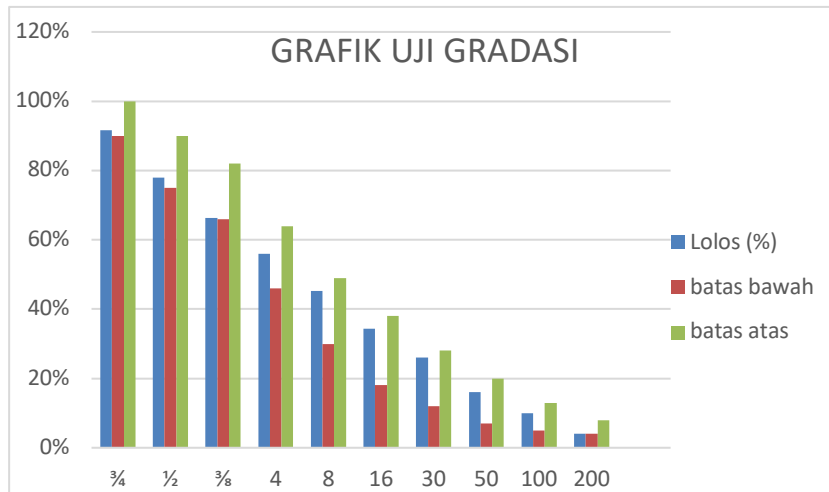
Pengujian Gradasi Ayakan

Agregat dinyatakan layak digunakan jika nilai agregat yang tertahan berada diantara batas atas dan batas bawah pengujian gradasi. Data hasil pengujian gradasi tertera pada Tabel 1. Berdasarkan tabel tersebut bahwa gradasi ayakan $\frac{3}{4}$ -200 sesuai dengan spesifikasi Bina Marga tahun 2018 Devisi 6.

Tabel 1. Analisa Saringan

No.	Saringan (inci)	Jumlah Tertahan Gram (gr)	Prosentase Kumulatif		Spesifikasi	
			Tertahan (%)	Lolos (%)		
1	$\frac{3}{4}$	250	8%	92%	Agregat Kasar	
2	$\frac{1}{2}$	410	14%	78%	Agregat Kasar	
3	$\frac{3}{8}$	350	12%	66%	Agregat Kasar	55%
4	4	310	10%	56%	Agregat Kasar	
5	8	320	11%	45%	Agregat Kasar	
6	16	330	11%	34%	Agregat Halus	
7	30	250	8%	26%	Agregat Halus	
8	50	300	10%	16%	Agregat Halus	42%
9	100	200	7%	9%	Agregat Halus	
10	200	180	6%	3,3%	Agregat Halus	
11	Pan	100	3%	0%	Filler	3%
Jumlah		3000	100%	-	-	

Sumber: Data Diolah, 2023



Gambar 3. Grafik Gradasi Ayakan

Sumber : Data Diolah, 2023

Tabel 2. Data Pengujian Berat Jenis Agregat

Pengujian	Agregat kasar	Agregat halus
a. Berat jenis curah kering	2,813	2,526
b. Berat jenis curah (jenuh kering permukaan)	2,841	2,551
c. Berat jenis semu	2,895	2,592
d. Penyerapan air	1,010	1,010

Sumber : Data Diolah, 2023

Berdasarkan Gambar 3, menunjukkan bahwa gradasi ayakan $\frac{3}{4}$ -200 sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018. Hasilnya ada diantara batas atas dan batas bawah yang diizinkan, jadi dapat dikatakan gradasi benar-benar sesuai dengan standart.

Pengujian Berat Jenis

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis yang telah dilakukan didapatkan data hasil pengujian dan data perhitungan dari agregat kasar dan agregat halus. Data perhitungan disajikan dalam bentuk Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2, diketahui berat jenis dari agregat kasar hasil berat jenis curah kering 2,813, berat jenis curah permukaan 2,841, berat jenis semu 2,889, penyerapan air 1,010, agregat halus hasil berat jenis curah kering 2,526, berat jenis curah permukaan 2,551, berat jenis semu 2,592, penyerapan air 1,010. Dari semua hasil berat jenis agregat kasar dan halus telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018

dimana batas minimum berat jenis 2,1 dan batas penyerapan air Maksimal 6%. Tujuan dari pengujian berat jenis perkerasan jalan adalah untuk memperoleh angka berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenis, berat jenis semu, serta besarnya angka penyerapan

Pengujian Aspal

Pengujian karakteristik aspal meliputi pengujian terhadap sifat fisik seperti pengujian daktalitas, titik lembek dan titik nyala. Untuk mempengaruhi kualitas perkerasan aspal campuran panas. Dari pengujian didapatkan data pada tabel 3. Dari tabel tersebut, didapatkan nilai daktalitas sebesar 125 termasuk dalam katagori elastis, sedangkan titik lembek mencapai 57° C, dan titik nyala mencapai $214,7^{\circ}$ C. Hasil ini memenuhi standar yang diatur dalam metode SNI-2432-2011.

Tabel 3. Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian	Metode	Syarat Karakteristik Aspal		Hasil
		Min	Max	
Daktilitas	Sifat Getas	SNI-2432-2011	0	100
	Sifat Elastis	SNI-2432-2011	100	200
Titik Nyala dan titik bakar	SNI-2432-2011	200	0	214,7° c

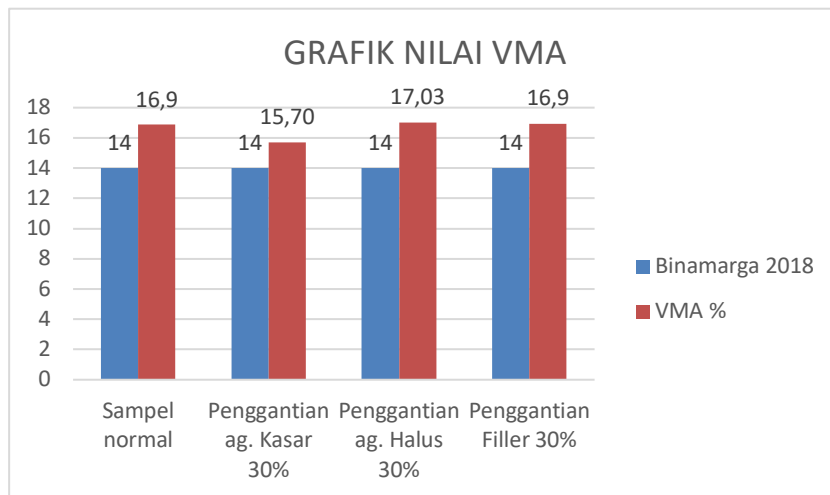
Sumber : Data Diolah, 2023

1. VMA

Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai VMA

Pengujian	Binamarga 2018		Sampel normal	Penggantian ag. Kasar 30%	Penggantian ag. Halus 30%	Penggantian Filler 30%
	Min	Max				
VMA %	14	-	16,9	15,7	17,0	16,9

Sumber : Data Diolah, 2023



Gambar 4. Grafik Nilai VMA

Sumber : Data Diolah, 2023

2. VIM

Tabel 5. Hasil Perhitungan Nilai VIM

Pengujian	Binamarga 2018		Sampel normal	Penggantian ag. Kasar 30%	Penggantian ag. Halus 30%	Penggantian Filler 30%
	Min	Max				
VIM %	3	5	3,6	3,7	3,8	3,6

Sumber : Data Diolah, 2023

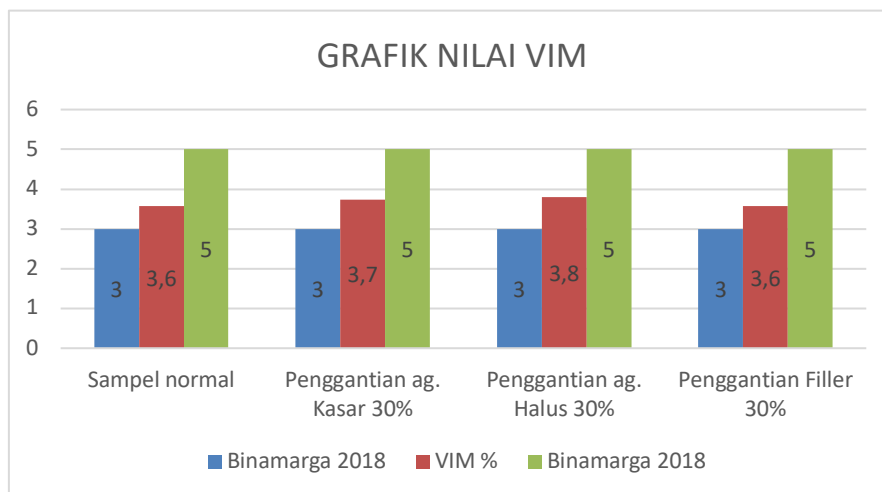
Nilai Volume Matrix Marshall

Berdasarkan Hasil penelitian yang sudah dilakukan data perhitungan volumetric meliputi Volume Pori Pada Agregat (VMA), Volume Pori Pada Agregat yang sudah tercampur aspal (VIM), dan volume pori beton

aspal padat yang terisi (VFB). Berdasarkan tabel diatas perhitungan rata-rata VMA disimpulkan bahwa sampel pengujian memenuhi syarat Bina marga 2018 dengan nilai VMA memenuhi batas minimum. Grafik nilai rata-rata VMA menunjukkan bahwa

dalam uji variasi penggantian 30% agregat kasar, halus, dan filler menggunakan RCA Mutu K-500, campuran masih memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga 2018, dimana nilai VMA memiliki batas minimum yaitu 14% . Nilai VMA salah satunya dipengaruhi oleh gradasi agregat, metode campuran, teknik pemadatan, dan jumlah aspal. Jika nilai VMA rendah, hal ini menandakan kurangnya aspal untuk mengisi rongga di antara agregat, yang dapat mengurangi daya tahan perkerasan jalan terhadap beban lalu lintas. Berdasarkan tabel perhitungan VMA dapat disimpulkan bahwa sampel pengujian memenuhi syarat Bina Marga 2018 dengan nilai VMA berada antara batas minimum dengan batas maksimum.

Grafik Rata-Rata VIM menunjukkan bahwa sampel dengan penggantian 30% pada Agregat kasar, halus, dan Filler menggunakan RCA Mutu K-500 memenuhi standar Bina Marga 2018, dimana nilai VIM memiliki batas minimum 3% batas maksimum 5%. Nilai VIM dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti gradasi agregat, metode campuran, teknik pemadatan dan jumlah aspal VIM yang terlalu tinggi dapat menandakan campuran kurang terisi aspal, berpotensi menyebabkan ketidakstabilan dan kerusakan perkerasan, sementara VIM yang terlalu rendah dapat menunjukkan kelebihan aspal atau pemadatan berlebihan, berpotensi menyebabkan deformasi plastis.



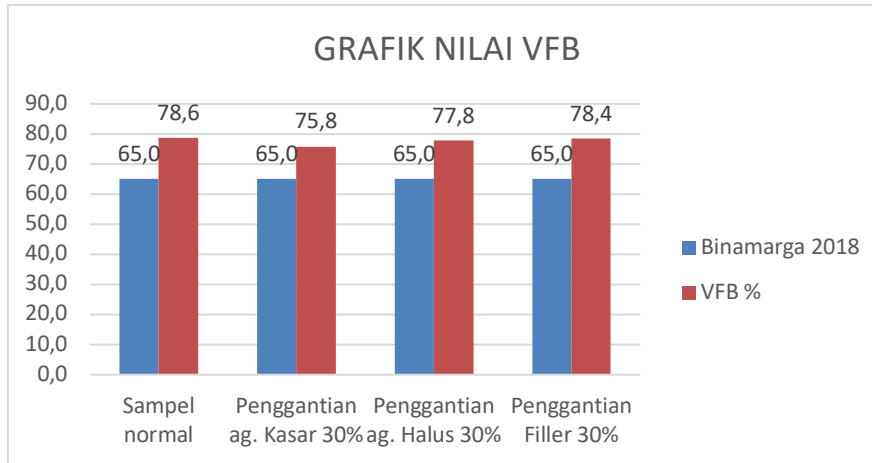
Gambar 5. Grafik Nilai VIM
Sumber : Data Diolah, 2023

3. FVB

Tabel 6. Hasil Perhitungan Nilai VFB

Pengujian	Binamarga 2018		Sampel normal	Penggantian ag. Kasar 30%	Penggantian ag. Halus 30%	Penggantian Filler 30%
	Min	Max				
VFB %	65	-	78,6	75,8	77,8	78,4

Sumber : Data Diolah, 2023



Gambar 6. Grafik nilai VFB
Sumber : Data Diolah, 2023

Tabel 7. Hasil Perhitungan Stabilitas

Pengujian	Binamarga 2018		Sampel normal	Penggantian ag. Kasar 30%	Penggantian ag. Halus 30%	Penggantian Filler 30%
	Min	Max				
Stabilitas (Kg)	1000	-	4012	2965	3548	3251

Sumber : Data Diolah, 2023

Berdasarkan tabel perhitungan VFB dapat disimpulkan bahwa sampel pengujian memenuhi syarat Bina Marga 2018 dengan nilai VFB memenuhi batas minimum.

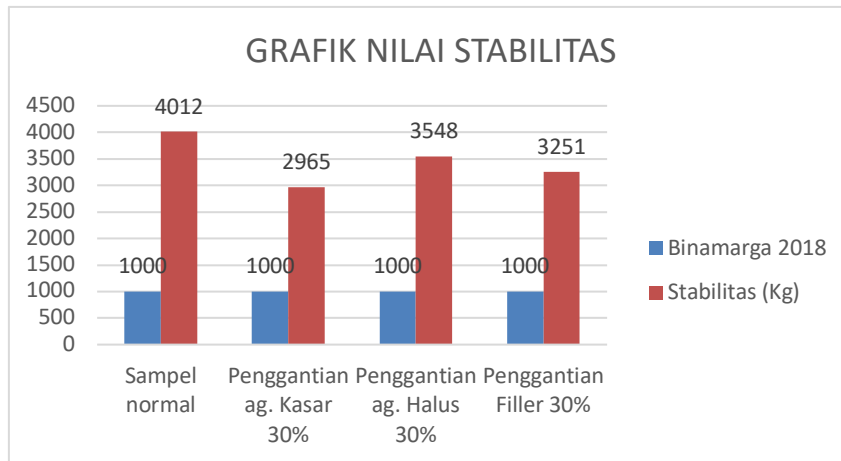
Berdasarkan Grafik Nilai Rata-rata VFB diatas menunjukkan bahwa sampel pengujian Variasi Penggantian 30% Agregat kasar, halus, Filler Menggunakan RCA Mutu K-500 masih memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018, dimana nilai VFB memiliki batas minimum yaitu 65%. Jika nilai VFB tidak sesuai oleh standar akan mempengaruhi kekuatan struktural.

Perhitungan Stabilitas

Berdasarkan pembacaan dial reading dari pengujian marshall didapatkan nilai stabilitas pada masing-masing sampel. Data

hasil perhitungan stabilitas disajikan dalam bentuk tabel dan kurva dibawah ini. Berdasarkan data perhitungan rata-rata stabilitas diatas dapat disimpulkan bahwa sampel tersebut memenuhi syarat bina marga 2018 dengan nilai stabilitas lebih besar dari 1000 kg yang merupakan batas minimum stabilitas.

Berdasarkan data perhitungan dan kurva stabilitas di atas, dapat disimpulkan bahwa sampel pengujian dengan variasi Pengantian RCA Mutu K-500 memenuhi syarat Bina Marga 2018. Nilai stabilitas lebih besar dari 1000 kg, yang merupakan batas minimum stabilitas. Hasil ini dipengaruhi oleh kualitas bahan dan perubahan suhu. jika stabilitas tidak sesuai dengan spesifikasi akan mempengaruhi perubahan bentuk.



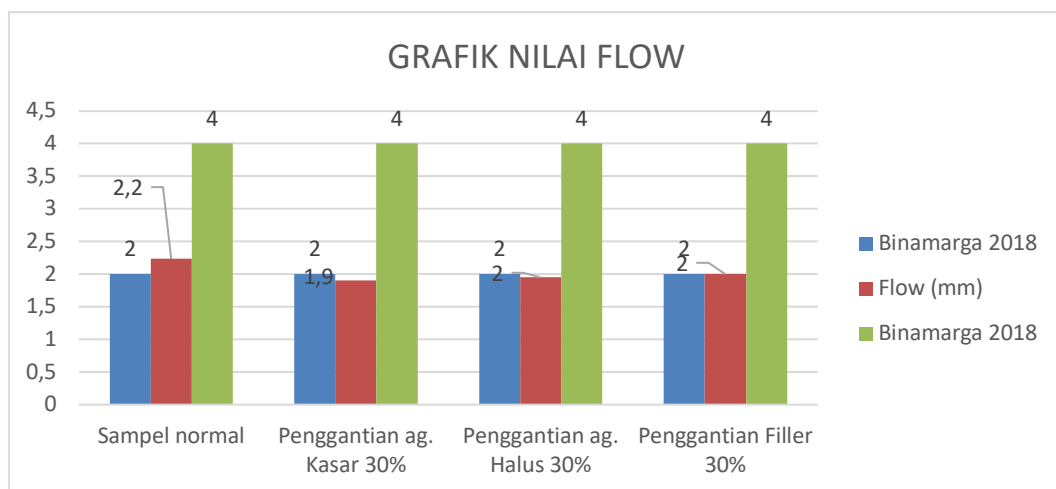
Gambar 7. Grafik Nilai Stabilitas

Sumber : Data Diolah, 2023

Tabel 9. Hasil Perhitungan Flow

Pengujian	Binamarga 2018		Sampel normal	Penggantian ag. Kasar 30%	Penggantian ag. Halus 30%	Penggantian Filler 30%
	Min	Max				
Flow (mm)	2	4	2,2	1,9	2	2

Sumber : Data Diolah, 2023



Gambar 8. Grafik Nilai Flow

Sumber : Data Diolah, 2023

Tabel 10. Hasil Perhitungan MQ

Pengujian	Binamarga 2018		Sampel normal	Penggantian ag. Kasar 30%	Penggantian ag. Halus 30%	Penggantian Filler 30%
	Min	Max				
MQ (Kg/mm)	250	-	2104	1761	1826	2032

Sumber : Data Diolah, 2023

Perhitungan Flow

Berdasarkan pembacaan dial reading dari pengujian marshall didapatkan nilai flow pada masing – masing sampel. Data hasil perhitungan flow disajikan dalam bentuk tabel dan kurva dibawah ini (Tabel 9 dan Gambar 8)

Berdasarkan data perhitungan dari nilai flow diatas dapat disimpulkan bahwa sampel pengujian normal dan filler memenuhi syarat binamarga 2018, namun penggantian ag. Kasar dan halus tidak memenuhi binamarga 2018.

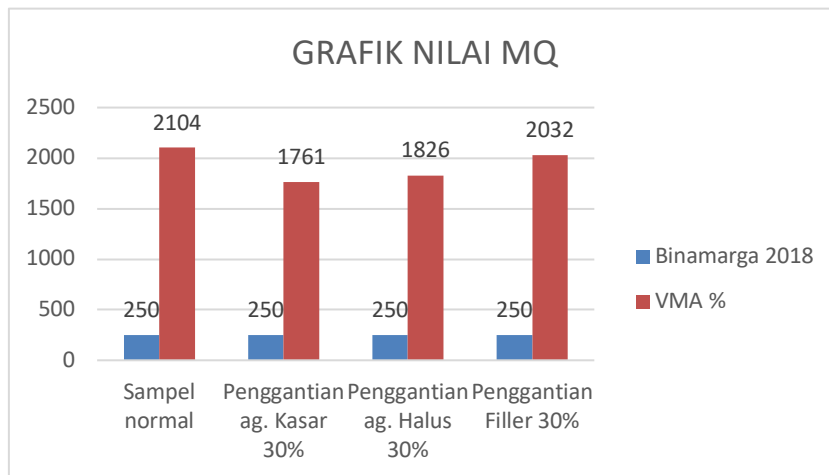
Berdasarkan data perhitungan Pada gambar grafik diatas dapat disimpulkan bahwa sampel pengujian Variasi normal terhadap Filler memenuhi syarat bina marga 2018, Tetapi dengan pengantian RCA Mutu K-500 terhadap agregat kasar dan halus tidak memenuhi standar binamarga, dimana Flow memiliki batas minimum 2 mm batas maksimum 4 mm. hal tersebut dipengaruhi oleh perubahan suhu dan prosentase material Job mix.

Pengujian MQ

Berdasarkan nilai stabilitas dan kelelahan yang telah hitung dapat ditentukan nilai marshall quotient dengan perhitungan sebagai berikut. Data yang digunakan adalah nilai rata – rata dari 3 variasi sampel.

Berdasarkan data perhitungan Marshall Quotient dapat disimpulkan bahwa sampel pengujian masih memenuhi syarat minimum Bina Marga 2018. Batas minimum MQ adalah 250 kg.

Berdasarkan data perhitungan dan kurva Marshall Quantion di atas didapat hasil sampel normal dan Variasi Pengantian RCA Mutu K-500 memenuhi syarat Bina Marga 2018. Nilai Marshall Quantion lebih besar dari batas minimum yang ditentukan yaitu 250 (kg/mm), hasil ini dipengaruhi oleh kualitas bahan dan perubahan suhu. jika stabilitas tidak sesuai dengan spesifikasi akan mempengaruhi perubahan bentuk.



Gambar 9. Grafik Nilai MQ

Sumber : Data Diolah, 2023

Tabel 11. Hasil Perhitungan GMM

Pengujian	Binamarga 2018		Sampel normal	Penggantian ag. Kasar 30%	Penggantian ag. Halus 30%	Penggantian Filler 30%
	Min	Max				
GMM	250	-	2,459	2,500	2,459	2,459

Sumber : Data Diolah, 2023

Pengujian GMM

Berdasarkan hasil pengujian Gmm yang telah dilakukan didapat data gmm dari masing – masing variasi perendaman. Data perhitungan disajikan dalam perhitungan dan tabel dibawah ini.

Berdasarkan dapat perhitungan di atas data perhitungan gmm dapat digunakan untuk menentukan volumetrik benda uji yang meliputi perhitungan VIM dan VFB. Jadi, Penggunaan RCA Mutu K-500 sebagai pengganti agregat kasar pada lapisan aspal beton AC-BC bisa digunakan karena untuk pengujian agregat dan pengujian benda uji dan hasilnya sudah memenuhi spesifikasi Bina marga tahun 2018.

SIMPULAN

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditentukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Penelitian ini menguji penggunaan limbah beton K-500 Mpa sebagai pengganti 30% aggregate kasar, halus, dan filler dalam campuran aspal dengan aspal 4%, dibandingkan dengan campuran aspal normal. Hasilnya menunjukkan peningkatan VMA dan VIM, namun menurunnya VFB, Stabilitas, Flow, dan MQ. Meskipun VMA rendah dapat mengurangi daya tahan perkerasan, VIM tinggi menandakan ketidakstabilan dan kerusakan, sementara VIM yang terlalu rendah berpotensi menyebabkan deformasi plastis. Dari hasil penelitian, presentasi optimal pada campuran lapis perkerasan aspal beton AC-BC dengan limbah beton adalah dengan menggunakan campuran 30% RCA untuk pengganti Ag. Halus, yang menghasilkan nilai VMA 17,03%, VIM 3,8%, VFB 77,8, Stabilitas 3548, dan Flow 2 mm. Kesimpulannya, penggunaan limbah beton sebagai substitusi agregat tidak menyebabkan penurunan signifikan pada karakteristik marshal, dengan presentasi optimal 30% karena hasil VMA, VIM, dan

Stabilitas yang jauh lebih tinggi daripada pada prosentase campuran pengganti agregat kasar dan filler.

DAFTAR PUSTAKA

- Haider, H. *et al.* Life Cycle Assessment of Construction and Demolition Waste Management in Riyadh, Saudi Arabia. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **19**, (2022).
- Ma, J. *et al.* Potential of recycled concrete aggregate pretreated with waste cooking oil residue for hot mix asphalt. *J. Clean. Prod.* **221**, 469–479 (2019).
- Lim, J., Bawono, A. T., Afla, M. N., Hartanto, V. & Krisniren, G. Analisis Limbah Konstruksi pada Real Estate. *J. Teknol. dan Desain* **2**, 71–85 (2020).
- Taherkhani, H. & Bayat, R. Investigating the properties of asphalt concrete containing recycled brick powder as filler. *Eur. J. Environ. Civ. Eng.* **26**, 3583–3593 (2022).
- Ossa, A., García, J. L. & Botero, E. Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry. *J. Clean. Prod.* **135**, 379–386 (2016).
- Zoure, A. N. & Genovese, P. V. Implementing natural ventilation and daylighting strategies for thermal comfort and energy efficiency in office buildings in Burkina Faso. *Energy Reports* **9**, 3319–3342 (2023).
- Sanchez-Cotte, E. H. *et al.* Influence of recycled concrete aggregates from different sources in hot mix asphalt design. *Constr. Build. Mater.* **259**, 120427 (2020).
- Munhamir, M. *et al.* MENGGUNAKAN AGREGAT LIMBAH BETON. **8**, 194–205 (2023).
- Purwoko Sidi Bambang; Erfan, Mohamad, M. W. Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Dalam Campuran Aspal Beton Lapis Aus (Ac-Wc). *Student J. Gelagar* **2**, 36–45 (2020).
- Akbas, M., Ozaslan, B. & Iyisan, R. Utilization of recycled concrete aggregates

- for developing high-performance and durable flexible pavements. *Constr. Build. Mater.* **407**, 133479 (2023).
- Junaedi, D. R. Jurnal Student Teknik Sipil AGREGAT HALUS UNTUK PERKERASAN LASTON AC-BC THE EFFECT OF USE OF QUARSA SAND AS A FINE AGGREGATE REPLACEMENT FOR THE PASTING OF LASTON AC-BC Keywords : Quartz Sand , Laston , Stability Marshall , Flow Latar Belakang Pembebanan. *J. Student Tek. Sipil Ed. Vol. 2 No. 2 Mei 2020* **2**, 109–117 (2020).
- Abdul, A. Evaluasi Tingkat Kerusakan Perkerasan Jalan pada Ruas Jalan Madura Kota Gorontalo. *RADIAL – J. Perad. sains, rekayasa dan Teknol.* **5**, 84–97 (2019).
- Induwati, M. *et al.* Identifikasi Karakteristik Agregat Terhadap Nilai Stabilitas Lapis Perkerasan Aspal Beton AC-BC (Laston) berkualitas maka perlu diberikan teknologi penanganan yang bernilai ekonomis menurun . Turunnya nilai stabilitas tersebut disebabkan oleh air yang m. **13**, 193–206 (2023).