

STUDI EKSPERIMENTAL KOMPOSISI LIMBAH HASIL *CRUSHING TEST* SEBAGAI PENGANTI AGREGAT PADA CAMPURAN BERASPAL

Gita Tresna Wiguna

Teknik Sipil Universitas Pradita
Jln. Gading Serpong No. 1
Kabupaten Tangerang
gita.tresna@student.pradita.ac.id

Amelia Makmur¹

Teknik Sipil Universitas Pradita
Jln. Gading Serpong No. 1
Kabupaten Tangerang
amelia.makmur@pradita.ac.id
amelia@ukrida.ac.id

Bella Koes Paulina Cantik

Teknik Sipil Universitas Pradita
Jln. Gading Serpong No. 1
Kabupaten Tangerang
bella.paulina@pradita.ac.id

Haykel Marcelinus Arapenta

Teknik Sipil Universitas Pradita
Jln. Gading Serpong No. 1
Kabupaten Tangerang
haykel.marcelinus@student.pradita.ac.id

Wike Permata Puspita D

Teknik Sipil Universitas Pradita
Jln. Gading Serpong No. 1
Kabupaten Tangerang
wike.permata@student.pradita.ac.id

Julius Andrew

Teknik Sipil Universitas Pradita
Jln. Gading Serpong No. 1
Kabupaten Tangerang
julius.andrew@student.pradita.ac.id

Abstract

The increase in construction projects has resulted in an increasing demand for concrete. This can potentially increase crushing test waste, becoming an environmental issue as it can create large landfills and pollute the environment. Therefore, this research aims to develop an effective and innovative solution for managing crushing test waste by reusing it in infrastructure as an aggregate substitution in asphalt mixtures. The method used was an experimental study of AC-BC paved mixtures, starting with finding the Optimum Asphalt Content (KAO), then aggregate substitution with percentages of 25%, 50%, 75%, and 100 at $fc'25$ concrete grade. Marshall testing was conducted on all test specimens to obtain the parameters for assessing the asphalt mixture. The research shows that adding a crushing test to the waste can change the Marshall parameters by asphalt mixtures. Thus, this solution will result from the negative effect of crushing test waste on the environment and improve material use efficiency in the construction industry.

Keywords: Asphalt, concrete, crushing test, waste

Abstrak

Peningkatan jumlah proyek pembangunan berdampak pada permintaan beton yang semakin meningkat. Hal ini berpotensi meningkatkan limbah *crushing test*, dan menjadi masalah lingkungan karena dapat menciptakan tempat pembuangan sampah yang besar dan berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengembangkan solusi efektif serta inovatif dalam pengelolaan limbah *crushing test* dengan memanfaatkannya kembali pada infrastruktur sebagai substitusi agregat pada campuran beraspal. Metode yang dipakai yaitu studi eksperimental campuran beraspal AC-BC yang dimulai dengan mencari Kadar Aspal Optimum (KAO), lalu dilakukan substitusi agregat dengan persentase 25%, 50%, 75%, dan 100 pada mutu beton $fc'25$. Pengujian Marshall dilaksanakan pada seluruh benda uji untuk mendapatkan parameter penilaian campuran beraspal. Dari hasil penelitian ini, terbukti bahwa penambahan limbah *crushing test* mempengaruhi parameter Marshall pada campuran beraspal. Dengan demikian, diharapkan solusi ini dapat mengurangi dampak negatif limbah *crushing test* terhadap lingkungan dan meningkatkan penggunaan material dalam industri konstruksi.

Kata Kunci: Aspal, beton, *crushing test*, limbah

¹ Corresponding author: amelia.makmur@pradita.ac.id

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, pembangunan infrastruktur di sejumlah negara telah mengalami peningkatan yang signifikan. Permintaan akan bahan bangunan seperti beton juga meningkat seiring dengan pembangunan infrastruktur yang pesat salah satunya terjadi di negara Indonesia. Peningkatan pembangunan infrastruktur berdampak pada peningkatan produksi beton sebagai bahan konstruksi utama. Dengan demikian, hal ini akan berdampak pada peningkatan beton uji untuk keperluan konstruksi yang dikenal sebagai beton hasil *crushing test*. *Crushing test* beton merupakan proses untuk menilai kualitas dan kekuatan beton. Namun, setelah pengujian selesai, beton yang diuji akan menjadi limbah.

Peningkatan limbah *crushing test* beton ini menjadi masalah lingkungan karena dapat. Jika limbah beton ini tidak dikelola dengan cara yang tepat, maka akan berdampak negatif bagi lingkungan. Oleh karena itu, penting untuk melakukan upaya efektif dalam pengelolaan limbah beton hasil dari pengujian *crushing test*.

Pemanfaatan limbah sebagai pengganti agregat dapat menjadi solusi karena dengan memanfaatkan limbah tersebut dapat mengurangi sumber daya alam agregat yang jumlahnya sangat terbatas. Agregat adalah gabungan dari bahan material seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan material tambahan lainnya yang digunakan sebagai bahan konstruksi dalam pembuatan beton, aspal, dan campuran lainnya. Proses terbentuknya agregat melalui proses alami yang melibatkan pemecahan batuan besar menjadi ukuran yang lebih kecil melalui erosi, pengikisan, dan patahan (Nur, et al., 2021).

Menurut Damdelen (2018), menyatakan bahwa sumber daya alam yang kian berkurang perlu diimbangi dengan pemanfaatan yang cerdas dan efisien. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya melakukan daur ulang limbah beton guna menjaga keberlanjutan sumber daya alam dan mengganti sebagian agregat dengan bahan daur ulang. Dalam situasi seperti ini, memanfaatkan limbah *crushing test* sebagai bahan substitusi agregat dalam campuran beraspal mungkin merupakan langkah efektif dan mendukung keberlanjutan di industri konstruksi.

Limbah beton memiliki keunggulan dan kelemahan dalam penggunaannya. Keunggulan limbah beton terletak pada tingkat kuat tekan yang tinggi karena bahan penyusunnya, seperti agregat, semen, dan air, membentuk material yang keras seperti batuan. Hal ini menjadi keuntungan saat digunakan sebagai pengganti agregat alam dalam campuran beraspal. Namun, limbah beton juga memiliki kelemahan. Kehadiran semen dalam limbah beton dapat menyebabkan agregat ini lebih berpori serta memiliki kapasitas penyerapan yang besar dibandingkan dengan agregat alam. (Prasetyo et al., 2020). Hal tersebut dapat menyebabkan agregat limbah beton cenderung mengalami penurunan secara kualitas, sehingga faktor penurunan tersebut dapat mempengaruhi kinerja campuran beraspal. Maka komposisi dan stabilitas agregat limbah beton dalam campuran beraspal perlu diperhatikan.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk memahami pengaruh penambahan limbah hasil *crushing test* pada campuran beraspal AC-BC terhadap nilai stabilitas. Dengan melakukan percobaan langsung di laboratorium, yaitu metode eksperimental. Penelitian ini dilaksanakan dengan melakukan beberapa tahapan, pada tahap awal yang dilakukan adalah

persiapan bahan untuk membuat benda uji campuran beraspal, meliputi penggunaan agregat, aspal penetrasi 60/70, dan limbah beton hasil *crushing test* dengan mutu minimal fc'25. Persiapan bahan yaitu pengambilan material agregat dan aspal dari PT. Subur Brothers, pembobokan limbah beton bekas pengujian. Pertama, dilakukan pengujian bahan aspal dan agregat untuk menentukan nilai material terhadap spesifikasi yang digunakan. Selanjutnya, dilakukan pengujian keausan pada limbah hasil *crushing test* dengan metode *Los Angeles Abrasion Test* untuk mendapatkan nilai ketahanan agregat.

Dalam penelitian ini, dilakukan pengujian dengan berbagai beberapa kadar aspal rencana, yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO). Dalam menentukan KAO yang tepat, perlu dilakukan pengujian Marshall yang melibatkan uji kompresi pada silinder campuran beraspal yang dicetak pada suhu tertentu untuk mendapatkan nilai stabilitas (Weimintoro, Farid, Azmi, & S., 2022). Untuk menghasilkan nilai stabilitas dalam uji Marshall, beberapa parameter perlu diperiksa, termasuk *Void in Total Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Volume of Voids in the Filled Asphalt* (VFA), serta stabilitas, aliran (*flow*), dan *Marshall Quotient* (MQ). Nilai-nilai yang telah diperoleh kemudian dilakukan pengolahan data dan membandingkan hasilnya dengan standar spesifikasi peraturan Bina Marga (2018) sebagai panduan. Setelah KAO teridentifikasi, dilakukan kombinasi komposisi dengan menyubstitusi limbah beton menggunakan variasi kadar 25%, 50%, 75%, dan 100% pada total agregat terhadap campuran beraspal.

Sejumlah peneliti telah melakukan penelitian mengenai pemanfaatan limbah *crushing test* sebagai pengganti sebagian agregat dalam campuran beraspal. Temuan dari penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan limbah beton dalam campuran beraspal dapat meningkatkan nilai VIM, VFB, dan VMA. Namun, nilai stabilitas, *flow*, dan MQ cenderung menurun ketika limbah beton digunakan sebagai pengganti agregat (Wirahaji & Laintarawan, 2019). Studi lain oleh Subagyo & Indramaha (2020) menemukan bahwa penggunaan limbah beton dengan mutu K-250 dapat meningkatkan nilai stabilitas, VMA, VIM, dan MQ dengan penambahan kadar limbah beton, sementara nilai *flow* dan VFB mengalami penurunan.

Dengan demikian, diharapkan penelitian ini akan memberikan manfaat yang signifikan bagi industri konstruksi dalam mengurangi pengambilan agregat dari sumber daya alam yang semakin berkurang dan mengurangi dampak negatif pada lingkungan akibat limbah beton yang tidak dikelola dengan baik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyajian hasil dan analisis data dalam studi eksperimental komposisi limbah beton sebagai pengganti agregat pada campuran beraspal terdiri atas serangkaian pembahasan mengenai hasil pengujian bahan, proses penentuan KAO, pengujian stabilitas dan pengujian Marshall. Semua pengujian pada penelitian ini harus memenuhi persyaratan pada Standar Nasional Indonesia (SNI), kemudian data akan dikomparasikan dengan

standar umum yang ditetapkan oleh Bina Marga. Hasil pengujian pada agregat kasar dan halus terkait berat jenis dan penyerapan dapat ditemukan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Agregat

Pengujian Agregat	Standar	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
Agregat Kasar				
Berat jenis <i>Bulk</i> Penyerapan	SNI-1969-2016	Min. 2,5	2,628	Memenuhi
		Maks. 3%	2,164	Memenuhi
Agregat Halus				
Berat jenis <i>Bulk</i> Penyerapan	SNI-1970-2016	Min. 2,5	2,552	Memenuhi
		Maks. 3%	2,302	Memenuhi

Tabel 1. menunjukkan hasil semua pengujian agregat kasar dan halus sudah memenuhi standar dan spesifikasi untuk pengujian berat jenis serta penyerapan. Adapun data lain mengenai hasil pengujian abrasi *Los Angeles*, agregat alami memiliki tingkat abrasi sebesar 16,67%, sementara agregat limbah *crushing test* memiliki tingkat abrasi sebesar 38,24%. Kedua agregat tersebut memenuhi spesifikasi maksimum dengan persentase abrasi di bawah 40%. Campuran beraspal selain mengandung agregat juga mengandung aspal. Pengujian aspal dilakukan dengan penetrasi 60-70, hasil dapat ditemukan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Aspal

Pengujian Aspal	Standar	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
Penetrasi	SNI 2456-1991	60-70	66,00	Memenuhi
Berat Jenis	SNI 2441-2011	> 1,0	1,03	Memenuhi
Titik Nyala (°C)	SNI 2434-2011	> 232	364	Memenuhi
Titik lembek (°C)		> 48	48,8	Memenuhi
Daktalitas 25°C, (cm)	SNI 2432-1991	> 100	150	Memenuhi

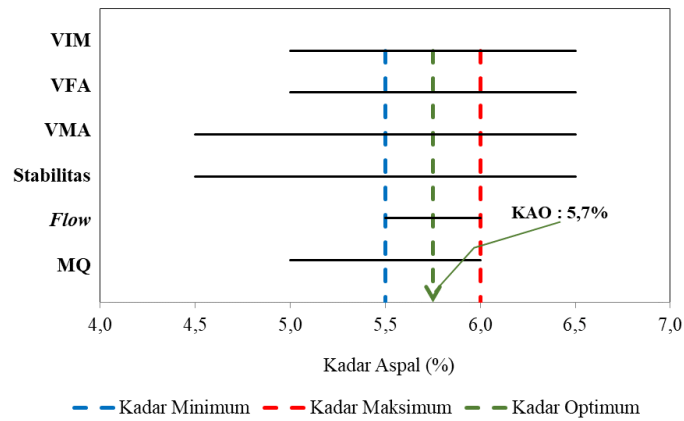
Dalam Tabel 2 di atas menunjukkan hasil pengujian aspal secara keseluruhan. Dapat dilihat hasil tersebut menyatakan bahwa aspal sudah memenuhi syarat spesifikasi, sehingga cocok atau sesuai untuk digunakan sebagai campuran aspal.

Penelitian ini akan membuat sampel uji sebanyak 5 buah dengan kadar aspal yang direncanakan yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%, kemudian dilanjutkan pengujian Marshall untuk memperoleh nilai parameter Marshall dalam campuran beraspal guna menghasilkan Kadar Aspal Optimum (KAO), artinya kadar aspal yang menghadirkan performa terbaik untuk campuran beraspal. Rekapitulasi hasil pengujian Marshall secara menyeluruh ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Uji Marshall (KAO)

Parameter campuran	Spesifikasi Bina Marga (2018)	Kadar Aspal (%)				
		4,5	5	5,5	6	6,5
VIM (%)	3-6	8,626	4,483	4,059	3,449	2,645
VFA (%)	Min. 65	41,86	70,75	73,75	78,04	83,21
VMA (%)	Min. 14	14,70	14,73	15,25	15,42	15,60
Stabilitas (Kg)	Min. 800	897,48	999,38	982,58	1001,94	1292,43
Flow (mm)	2-4	5,00	4,80	4,00	4,00	4,80
MQ (kg/mm)	Min. 250	189,86	212,99	250,27	263,25	272,16

Dalam Tabel 3 menunjukkan bahwa dari parameter Marshall yang didapat kemudian dibandingkan dengan nilai parameter Marshall pada spesifikasi dan kadar aspal yang diuji. Dari hasil pengujian parameter Marshall kemudian dibuat grafik untuk mengidentifikasi nilai KAO seperti dalam Gambar 1.



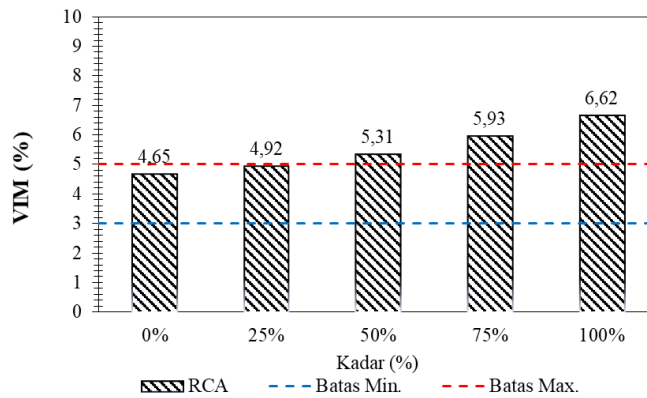
Gambar 1. Grafik Penentuan KAO

Gambar 1 menunjukkan bahwa tidak semua kadar aspal pada benda uji memenuhi semua parameter yang telah ditetapkan. Nilai yang memenuhi spesifikasi terletak pada kadar aspal minimum 5,5% dan kadar aspal minimum 6% yang kemudian di ambil rata-ratanya adalah 5,7% yang dinyatakan sebagai KAO. Dari hasil tersebut selanjutnya akan digunakan pada campuran beraspal dengan tambahan agregat limbah *crushing test*. Selain itu, hasil pada sampel pengujian Marshall yang menggunakan KAO dan berbagai kadar limbah beton dapat ditemukan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Data Hasil Uji Marshall Dengan Limbah

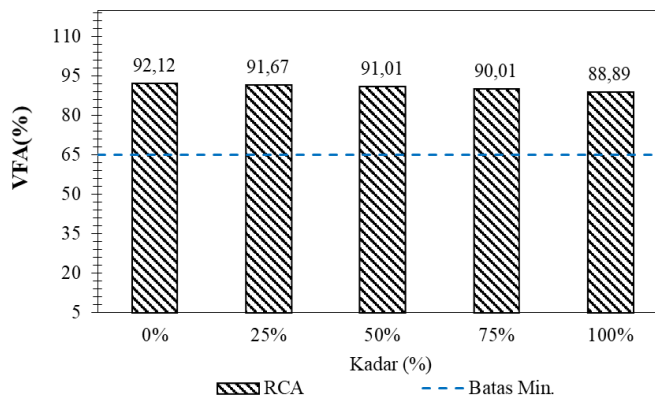
Parameter campuran	Spesifikasi Bina Marga (2018)	Kadar Limbah (%)				
		0	25	50	75	100
VIM (%)	3-6	4,65	4,92	5,31	5,93	6,62
VFA (%)	Min. 65	92,12	91,67	91,01	90,01	88,89
VMA (%)	Min. 16	58,95	58,96	59,08	59,28	59,44
Stabilitas (Kg)	Min. 800	1342,09	1292,59	1104,86	1072,45	1062,07
Flow (mm)	2-4	4,00	4,00	4,60	4,60	4,80
MQ (kg/mm)	Min. 250	341,85	332,40	248,79	239,29	227,46

Pembuatan campuran beraspal dengan menggunakan limbah *crushing test* menunjukkan bahwa pada saat penambahan limbah dengan kadar yang bervariasi menghasilkan karakteristik campuran yang berbeda. Terdapat peningkatan dan penurunan nilai karakteristik pada kadar limbah tertentu sehingga nilai yang paling memenuhi untuk semua parameter yang diuji yaitu pada kadar limbah 25%. Pada kadar limbah 25%, diperoleh nilai VIM sebesar 4,92%, VFA sebesar 91,67%, VMA sebesar 58,96% stabilitas sebesar 1292,59 kg, *flow* sebesar 4 mm, dan MQ sejumlah 332,40 kg/mm. Berdasarkan Tabel 4, kemudian dijadikan grafik dan diuraikan dalam bentuk persentase untuk menggambarkan pengaruh nilai KAO terhadap variasi kadar limbah beton. Untuk grafik perbandingan antara nilai KAO terhadap nilai VIM dapat ditemukan dalam Gambar 2.



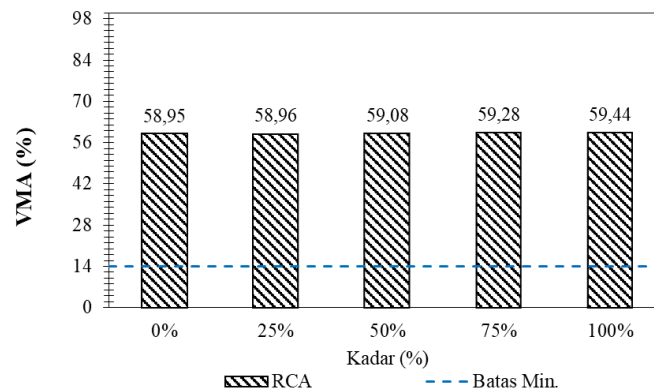
Gambar 2. Grafik Perbandingan VIM

Pada hasil nilai VIM, menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar limbah *crushing test* dalam campuran, maka nilai VIM semakin meningkat. Dimana penggunaan limbah *crushing test* pada kadar 25% naik sebesar 5,59%, sedangkan pada kadar limbah 50%, 75% dan 100%, nilai VIM mengalami peningkatan namun tidak memenuhi spesifikasi dengan nilai masing-masing sebesar 7,42%, 10,43%, dan 10,36% secara berturut-turut. Nilai VIM yang tidak memenuhi persyaratan terjadi karena agregat limbah *crushing test* memiliki kandungan semen sehingga menghadirkan lebih banyak rongga dalam campuran. Grafik perbandingan nilai VFA tersaji pada Gambar 3.



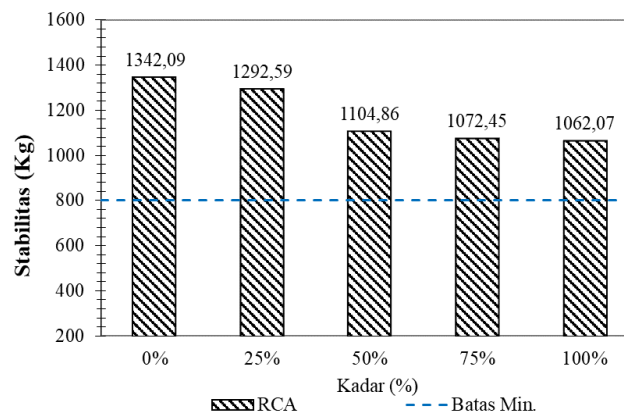
Gambar 3. Grafik Perbandingan VFA

Pada grafik VFA di bawah ini, dapat dilihat nilai VFA menurun seiring dengan peningkatan penggunaan limbah *crushing test*. Pada penggunaan limbah *crushing test* sejumlah 25%, 50%, 75%, dan 100% menghasilkan penurunan hasil VFA masing-masing sejumlah 0,50%, 0,72%, 1,11%, dan 1,25%. Hal tersebut terjadi karena semakin besar persentase kadar limbah *crushing test* sebagai pengganti agregat dalam campuran maka dapat mengurangi jumlah pori, sehingga rongga udara yang ada pada campuran semakin kecil karena sudah terisi oleh aspal. Gambar 4 menunjukkan hubungan antara limbah *crushing test* terhadap nilai VMA dalam campuran.



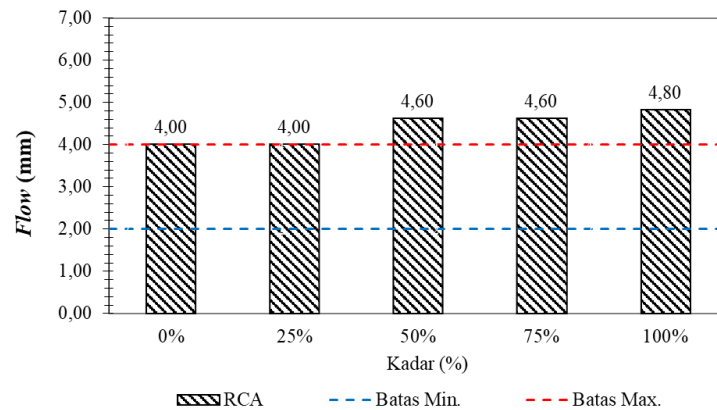
Gambar 4. Grafik Perbandingan VMA

Pada grafik VMA, dapat dilihat nilai VMA meningkat seiring dengan peningkatan penggunaan limbah *crushing test*. Pada penggunaan limbah *crushing test* sebesar 25%, terjadi peningkatan nilai VMA sebesar 0,02%, sedangkan penambahan limbah *crushing test* pada kadar 50%, 75%, dan 100% menghasilkan peningkatan nilai VMA masing-masing sebesar 0,20%, 0,33%, dan 0,28%. Hal tersebut terjadi karena semakin besar persentase kadar limbah *crushing test*, berat aspal semakin berkurang sehingga rongga udara yang ada pada campuran semakin kecil karena sudah terisi oleh aspal. Gambar 5 menunjukkan hubungan antara limbah *crushing test* terhadap nilai stabilitas pada campuran beraspal.

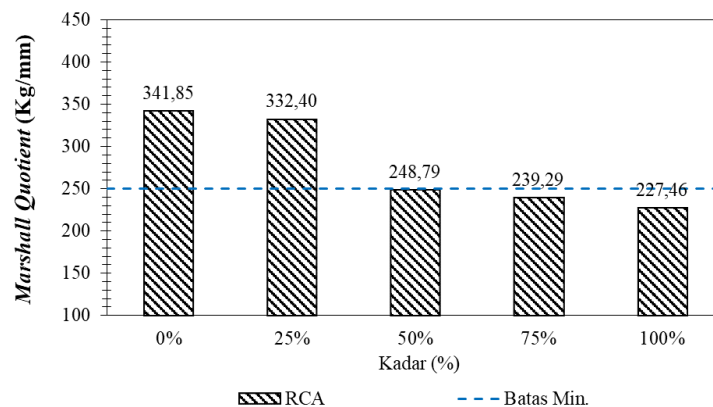


Gambar 5. Grafik Perbandingan Stabilitas

Dari grafik nilai stabilitas, terlihat bahwa semakin tinggi kadar limbah *crushing test*, maka stabilitas campuran juga semakin menurun. Pada kadar limbah *crushing test* 25%, terdapat nilai stabilitas sebesar 3,83%. Pada kadar limbah *crushing test* 50%, 75%, dan 100% terjadi penurunan stabilitas secara berurutan sebanyak 16,99%, 3,02% dan 0,98%. Sifat limbah *crushing test* yang mempunyai tingkat keausan yang tinggi dapat menjadi penyebab terjadinya penurunan stabilitas. Hal ini disebabkan oleh kehadiran partikel-partikel beton dalam campuran beraspal, yang dapat mengurangi kualitas ikatan antara agregat dan aspal. Hubungan antara limbah *crushing test* terhadap nilai *flow* pada campuran beraspal disajikan pada Gambar 6.

Gambar 6. Grafik Perbandingan *Flow*

Dari hasil pengujian nilai *flow*, terlihat bahwa pada kadar limbah *crushing test* 25%, nilai *flow* telah memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Namun, pada kadar *crushing test* beton 50%, 75%, dan 100%, terjadi peningkatan nilai *flow* secara berturut-turut sebesar 13,04% hingga 4,17%. Peningkatan nilai *flow* tersebut disebabkan oleh perubahan karakteristik fisik limbah *crushing test* yang menghasilkan peningkatan kemampuan pengisian rongga dalam campuran aspal. Pada Gambar 7 terlihat grafik hubungan antara limbah beton terhadap nilai MQ.



Gambar 7. Grafik Perbandingan MQ

Berdasarkan grafik, terlihat bahwa semakin tinggi kadar limbah *crushing test*, nilai MQ semakin menurun. Pada kadar limbah *crushing test* 25%, 50%, 75%, dan 100%, terjadi penurunan masing-masing sebesar 2,84%, 33,61%, 3,97%, dan 5,20% secara berurutan. Penurunan nilai MQ pada penggunaan limbah beton dalam campuran beraspal, menyebabkan penurunan kualitas ikatan antara agregat dan aspal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terhadap campuran beraspal dengan pemanfaatan limbah hasil *crushing test* dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas terjadi penurunan kadar 25%

stabilitas sebanyak 3,83% kemudian pada penambahan kadar limbah *crushing test* 50%, 75%, dan 100% terjadi penurunan stabilitas masing-masing sebesar 16,99%, 3,02% dan 0,98%. Ada kemungkinan terjadi karena nilai abrasi yang cukup tinggi dari material limbah *crushing test* yaitu sejumlah 38,24%, sehingga agregat tidak cukup kuat dan menurunkan nilai stabilitas.

Selain itu, dengan memanfaatkan limbah hasil *crushing test* sebagai pengganti sebagian agregat dapat memberikan pengaruh terhadap nilai parameter Marshall yaitu VIM, VMA, stabilitas, *flow* dan MQ. Pada kadar 50%, 75%, dan 100%, terdapat beberapa parameter Marshall yang tidak memenuhi persyaratan, seperti VIM, *flow* dan MQ. Sedangkan, pada kadar limbah 25%, semua parameter Marshall terpenuhi. Berdasarkan temuan ini, dapat disimpulkan bahwa kadar limbah beton optimum sebagai bahan pengganti agregat dalam campuran beraspal AC-BC adalah 25%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami berterima kasih kepada PT. Subur Brothers yang sudah memberikan dukungan dalam penyediaan kebutuhan material. Begitu juga kepada Pradita *Research and Innovation Center* atas fasilitas laboratorium yang telah menunjang pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Álvarez, D. A., Aenlle, A. A., Tenza-Abril, A. J., & Ivorra, S. 2020. *Influence of partial coarse fraction substitution of natural aggregate by recycled concrete aggregate in hot asphalt mixtures*. Sustainability (Switzerland), 12(1). <https://doi.org/10.3390/SU12010250>
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. SNI 1969: 2008. Jakarta
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. SNI 1970: 2008. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. SNI 2417: 2008. Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2018). *SNI-2489-2018. Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Damdelen, O. 2018. *Investigation Of 30% Recycled Coarse Aggregate Content In Sustainable Concrete Mixes*. Science Direct: Elsevier. 184:408-418. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.149>.
- Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Jakarta
- Maulana, A., Amaliah, M., & Utami, R. 2020. *Pemanfaatan Limbah Beton Sisa Pengujian Sebagai Substitusi Agregat Pada Campuran AC-WC*. Potensi. 22:1.
- Nur, K. N., Mahyuddin, Bachtiar, E., Tumpu, M., Mukhrim, M. I., Irianto, Kadir, Y., Ariffin, T. S. P., Ahmad, S. N., Masdiana, Halim, H., & Syukuriah. (2021). *Perancangan Perkerasan Jalan*. Yayasan Kita Menulis.

- Prasetyo, L., Rizal Andardi, F., Prima, N. H., Kunci, K., Beton, L., & Agregat, P. 2020. *Pengujian Limbah Beton Sebagai Bahan Alternatif Agregat Berdasarkan Grafik Fuller*. Seminar Nasional Teknologi Dan Rekayasa (SENTRA).
- Subagyo, G. W., & Indramaha, I. 2020. *Kinerja Marshall Campuran Beraspal Panas Lapis (AC-BC) Menggunakan Limbah Beton*. Indonesian Journal of Construction Engineering and Sustainable Development (Cesd), 2(2), 80–86.
- Wirahaji, I. B., & Laintarawan, I. P. 2019. *Karakteristik Marshall Ac-Bc Dengan Substitusi Limbah Beton Pada Agregat Kasar*. 012.