

PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH BETON SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT DALAM CAMPURAN ASPAL BETON LAPIS AUS (*ASPHALT CONCRETE -WEARING COURSE, AC-WC*)

Mohamad Purwoko Sidi¹, Bambang Wedyantadji², Mohammad Erfan³

¹*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur.*

Email: purwoko.12345@gmail.com

²*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur.*

³*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura-gura No.2 Malang, Jawa Timur.*

Semakin berkembangnya era pertumbuhan transportasi di Indonesia, maka dibutuhkan sarana dan prasarana yang baik untuk mendukung transportasi yang lancar. Jalan yang baik dipengaruhi oleh perkerasannya. Salah satu jenis perkerasan yang digunakan di Indonesia adalah perkerasan lentur. Salah satu upaya untuk memperbaiki kerusakan jalan raya adalah pengembangan teknologi *recycling* terhadap perkerasan jalan raya. Disisi lain, limbah beton merupakan hasil buangan yang mudah sekali dijumpai di Indonesia. Memanfaatkan material limbah beton sehingga dapat digunakan kembali dengan nilai struktur yang lebih tinggi. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen yang dilakukan di laboratorium. Pada penelitian ini menggunakan variasi kadar aspal 5,5%, 6% dan 6,5%. Sampel benda uji yang dibuat berjumlah 5 benda uji tiap kadar aspal dan didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,89% pada agregat alami dan 5,94% pada limbah beton kemudian di variasikan dengan campuran 25% alami 75% limbah, 50% alami 50% limbah dan 75% alami 25% limbah. Penelitian ini dilakukan di laboratorium Bahan Konstruksi ITN Malang. Hasil pengujian mendapatkan variasi yang terbaik pada variasi 29%. Dari variasi tersebut didapatkan nilai Stabilitas 1093,7 kg, *Flow* 3,31%, VIM 4,09%, VMA 16,36%, *Marshall Quotient* 328,73 kg/mm, VFA 74,96%. Semua hasil pengujian pada variasi memenuhi persyaratan spesifikasi AC-WC yang telah ditetapkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga 2018.

Kata kunci : Limbah Beton, Agregat Alami, AC-WC.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin berkembangnya era pertumbuhan transportasi di Indonesia, maka dibutuhkan sarana dan prasarana yang baik untuk mendukung transportasi yang lancar. Khusus prasarana untuk transportasi adalah jalan raya. Jalan yang baik dipengaruhi oleh perkerasannya. Kerusakan pada lapis permukaan jalan yang diakibatkan oleh beban lalu lintas yang berlebihan, maupun dari penggunaan material yang berkualitas rendah. Karena itu jalan harus dibangun dengan kualitas yang tinggi tetapi dalam batas wajar ekonomis.

Perkembangan kehidupan sehari-hari manusia akan bangunan yang lebih baik mengakibatkan semakin banyak bangunan lama yang tidak lagi memenuhi standar kelayakan. Sisa-sisa atau limbah beton dari reruntuhan bangunan akibat gempa, bongkaran bangunan, akibat kebakaran maupun limbah beton yang berasal dari pabrik beton pracetak dibiarkan tanpa ada penanganan dapat menimbulkan masalah tersendiri bagi lingkungan. Pembuangan limbah beton pun memerlukan biaya dan tempat pembuangan khusus.

Salah satu material yang paling banyak digunakan dalam campuran adalah agregat. Seiring dengan

penggunaan agregat alami yang terlalu banyak tentu juga dapat menimbulkan masalah lingkungan disekitarnya. Limbah beton juga memungkinkan untuk digunakan sebagai pengganti agregat dalam campuran perkerasan jalan.

Upaya untuk memperbaiki kerusakan jalan raya adalah pengembangan teknologi *recycling* terhadap perkerasan jalan raya. Disisi lain, limbah beton merupakan hasil buangan yang mudah sekali dijumpai di Indonesia. Memanfaatkan material limbah beton sehingga dapat digunakan kembali dengan nilai struktur yang lebih tinggi. Dilihat dari kualitas dan kuantitas bahan dalam pembuatan campuran perkerasan jalan maka dilakukan penelitian terkait dalam campuran aspal dengan menggunakan limbah beton sebagai pengganti agregat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan beberapa uraian permasalahan yang telah diidentifikasi diatas, maka dirumuskan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Apakah limbah beton dapat digunakan sebagai bahan pengganti agregat pada campuran AC-WC?

- Berapakah nilai variasi optimum pemakaian limbah beton sebagai pengganti agregat dalam parameter uji *Marshall* pada perkerasan AC-WC?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan dan Manfaat dari penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut :

- Mengetahui limbah beton memenuhi persyaratan sebagai bahan pengganti agregat dalam campuran AC-WC.
- Mengetahui nilai variasi optimum yang menghasilkan nilai parameter *Marshall* yang maksimal pada perkerasan AC-WC.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini bisa berjalan secara efektif dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian dibatasi sebagai berikut :

- Mutu limbah beton yang digunakan dalam campuran AC - WC adalah K 350.
- Penelitian ini hanya mengukur nilai stabilitas dan parameter-parameter *Marshall* pada campuran AC-WC.
- Variasi campuran yang digunakan adalah 25%, 50%, 75% dan 100%.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Agregat

Menurut Hendarsin, Shirley L (2000:192) berpendapat bahwa agregat adalah material perkerasan berbutir yang digunakan untuk lapisan perkerasan jalan, terdiri dari tiga kelompok berdasarkan mutu, yaitu kelas A kelas B dan kelas C, dibedakan dari gradasi dan sifat material. Menurut Sukirman, S (1999, p. 41) agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95% berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Berdasarkan besar ukuran ayakan agregat dibedakan menjadi tiga macam yaitu :

- Agregat halus adalah agregat yang lolos ayakan No.8 atau 2,38 mm.
- Agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada ayakan No. 8 atau 2,38 mm.
- Bahan pengisi/*filler* adalah bahan berbutir halus yang lolos ayakan No. 30 dimana persentase berat butir yang lolos ayakan No. 200 minimum 65%.

2.2 Bahan pengisi (*filler*)

Bahan pengisi (*filler*) merupakan material yang harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan merupakan bahan yang 75% lolos ayakan No. 200 dan mempunyai sifat non plastis. Filler yang digunakan pada penelitian ini adalah portland cement. Berikut ini adalah Tabel 1 yang berisi tentang ketentuan mengenai Bahan Pengisi (*filler*).

Tabel 1. Syarat gradasi bahan pengisi (*filler*)

Ukuran Saringan	% Lolos
No. 30 (0,59 mm)	100
No. 50 (0,279 mm)	95 – 100
No. 100 (0,149 mm)	90 – 100
No. 200 (0,075 mm)	65 – 100

(Sumber: Bina Marga, 1995)

2.3 Gradasi campuran beton aspal

Menurut Sukirman, S (1992) gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa ayakan dengan menggunakan satu set ayakan dimana ayakan yang paling kasar diletakkan di atas dan yang paling halus diletakkan paling bawah. Menurut Spesifikasi Umum Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur 2018, rancangan dan perbandingan campuran untuk gradasi agregat gabungan mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2. sebagai berikut :

Tabel 2. Gradasi Agregat Campuran Gabungan Untuk Campuran Aspal

Ukuran Saringan		Persen Berat Lolos
(mm)	(ASTM)	AC
37,5	1,5"	-
25,0	1"	-
19,0	3/4"	100
12,7	1/2"	90-100
9,5	3/8"	60-85
4,75	#4	38-55
2,36	#8	27-40
1,18	#16	17-30
0,600	#30	14-24
0,300	#50	9-18
0,150	#100	5-12
0,075	#200	2-8

(Sumber Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur, 2018)

2.4 Aspal

Menurut Sukirman, S (1992) aspal didefinisikan sebagai material perekat yang berwarna hitam pekat atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Bitumen terutama mengandung senyawa hidrokarbon. Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk pampat sampai agak pampat, dan akan bersifat termoplastis. Jadi aspal akan mencair jika dilakukan pemanasan sampai pada temperatur tertentu, dan akan kembali membeku jika temperaturnya turun, bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10 % berdasarkan berat campuran, atau 10-15 % berdasarkan volume campuran. Aspal minyak yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan merupakan proses dari destilasi minyak bumi, sering disebut aspal semen.

Aspal semen bersifat mengikat agregat pada campuran aspal beton dan memberikan lapisan kedap air, serta tahan terhadap pengaruh asam, basa, dan garam

Beberapa jenis aspal yang biasa digunakan sebagai material perkerasan jalan yaitu :

- a. Aspal alam
Aspal alam di Indonesia ditemukan di P.Buton, Sulawesi Tenggara (Asbuton).
- b. Bitumen (Aspal Buatan)
Aspal buatan adalah bitumen yang merupakan jenis aspal hasil penyulingan minyak bumi yang mempunyai kadar parafin yang rendah dan disebut dengan *paraffin base crude oil*. Aspal buatan terdiri dari berbagai bentuk, yaitu bentuk padat, cair dan emulsi.
- c. Ter
Ter adalah istilah umum untuk cairan yang diperoleh dari mineral organik seperti kayu atau batu bara melalui proses pemijaran atau destilasi pada suhu tinggi tanpa zat asam.

Menurut Spesifikasi Umum Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur (2018) menyatakan tentang Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Lapis Aspal. Berikut ini adalah Tabel 3. Ketentuan Spesifikasi Campuran Laston (AC-WC):

Tabel 3. Spesifikasi Campuran Laston (AC-WC)

Sifat Campuran	Spesifik asi	
	AC-WC	
Kadar Aspal Efektif	Min	6
Kadar Penyerapan Aspal	Max	1,7
Kadar Aspal Total (% terhadap berat total)	Min	7,3
Kadar Rongga Udara Dari Campuran Padat (% terhadap volume total campuran)	Min	3
	Max	5
Rongga Diantara Mineral Agregat (VMA) (%)	Min	15
Rongga Terisi Aspal (VFA) (%)	Min	65
Stabilitas Marshall (Kg)	Min	800
Pelelehan (Flow), mm	Min	2
	Max	4
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250

(Sumber Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur, 2018)

2.5 Limbah Beton

Limbah beton adalah material yang sudah tidak dipakai lagi untuk konstruksi. Limbah beton merupakan sisa-sisa atau limbah dari reruntuhan bangunan akibat gempa, bongkaran bangunan, akibat

kebakaran, hasil dari pengujian laboratorium teknik sipil maupun limbah beton yang berasal dari pabrik beton pracetak. Limbah beton dengan pori - pori yang padat dan tingkat kekerasan yang tinggi tergantung dengan mutu dari beton yang direncanakan.

2.6 Karakteristik campuran

Menurut Sukirman (1999, p. 178) karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton campuran panas adalah :

- a. Stabilitas
Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun bleeding.
- b. Durabilitas (keawetan/daya tahan)
Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan kendaraan.
- c. Fleksibilitas (kelenturan)
Fleksibilitas pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa menimbulkan retak dan perubahan volume.
- d. Tahanan geser (*skid resistance*)
Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan atau basah maupun diwaktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antar permukaan jalan dan kendaraan.
- e. Kedap air
Kedap air adalah kemampuan lapisan untuk menahan air agar tidak menembus pori-pori lapisan.
- f. Kemudahan pekerjaan (*workability*)
Yang dimaksud dengan kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan.
- g. Ketahanan kelelahan (*fatigue resitance*)
Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (ruting) dan retak.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi penelitian

Tempat penelitian pemeriksaan agregat bahan dan pengujian campuran aspal beton ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi ITN Malang Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Malang.

3.2 Persiapan penelitian

Persiapan penelitian pada pengujian bahan campuran dilakukan terhadap agregat dan aspal yang bertujuan untuk mendapatkan mutu campuran beraspal yang sesuai dan memenuhi standar campuran aspal, pengujian agregat dan aspal sebagai bahan campuran *Asphalt Concrete - Wearing Course*. Pengujianya mengacu kepada standar AASHTO (*The American Association of State Highway and Transportation Officials*), BS (*British Standard*) dan ASTM (*American Society for Testing and Materials*). Pengujian tersebut meliputi tabel 4. dan tabel 5. sebagai berikut :

Tabel 4. Pengujian Benda Uji Agregat

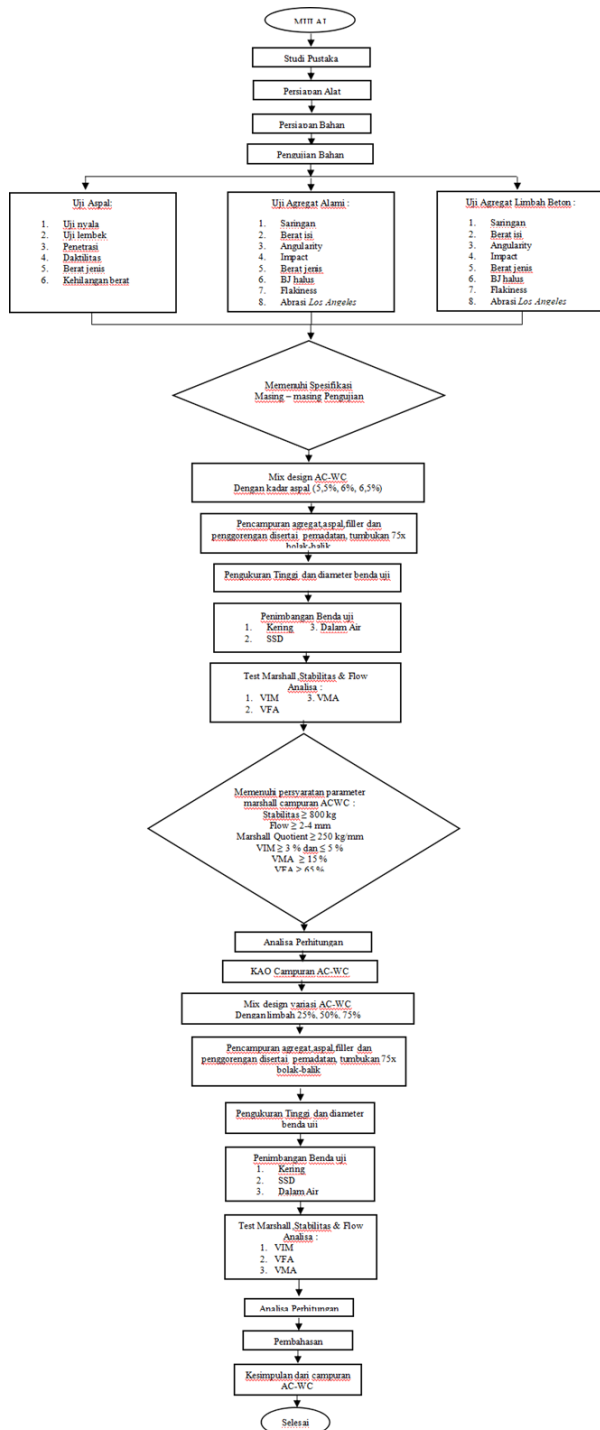
NO.	PENGUJIAN AGREGAT	STANDAR ACUAN PENGUJIAN
1	Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar	AASHTO T-27-82 ASTM C-136-46
2	Berat Isi Agregat	AASHTO T-19-80 ASTM-C-29-71
3	Angka Angularitas (<i>Anglarity Number</i>)	BS 812 : Part 1 : 1975
4	Indeks Kepipihan (<i>Flakines Index</i>)	BS 812 : Part 1 : 1975
5	Kekuatan Agregat Terhadap Tumbukan (<i>Agregat Impact Value</i>)	BS 812 : Part 3 : 1975)
6	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat halus	AASHTO T-84-81
7	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar	AASHTO T-85-81
8	keausan Agregat dengan Menggunakan Alat Abrasi Los Angeles	AASHTO T-96-77 1982

Tabel 5. Pengujian Benda Uji Aspal

NO.	PENGUJIAN ASPAL	STANDAR ACUAN PENGUJIAN
1	Pemeriksaan Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen	AASHTO T-49-80 ASTM D-5-71
2	Pemeriksaan Titik Nyala dan bakar	AASHTO T-48-81 ASTM D-92-52
3	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal dan Ter	AASHTO T-53-89
4	Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen Keras dan Ter	AASHTO T-226-79
5	Penurunan Berat Minyak aspal	AASHTO T-47-82
6	Daktalitas Bahan-bahan Bitumen	AASHTO T-51-81

3.3 Prosedur penelitian

Metode penelitian disusun untuk memberikan kemudahan dalam pelaksanaan sebuah penelitian sehingga berjalan lebih tepat efektif dan efisien. Tahapan prosedur pelaksanaan ini tergambar dalam suatu bagan alir metode penelitian. Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3.4 Pembuatan sampel benda uji

Dala suatu penelitian, populasi sampel sangat penting untuk tingkat ketelitian dalam pengujian. Untuk penelitian ini direncanakan jumlah sampel sebagai tabel 6 berikut:

Tabel 6. Jumlah Sampel pada Pembuatan Benda Uji

Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Limbah Beton	Jumlah
1	5,5%	0%	5
2	6%	0%	5
3	6,5%	0%	5
4	5,5%	100%	5
5	6%	100%	5
6	6,5%	100%	5
7	KAO Limbah Beton	0%	5
8	KAO Agregat Alami	100%	5
9	Variasi Limbah Beton 25%	25%	5
10	Variasi Limbah Beton 50%	50%	5
11	Variasi Limbah Beton 75%	75%	5
Total Sampel			55

3.5 Pengumpulan data

Data dikumpulkan dari hasil pengujian terhadap aspal, agregat, campuran antara aspal dan agregat untuk perkerasaan *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC). Berdasarkan persyaratan dan spesifikasi yang telah ditentukan dan dilakukan pengujian terhadap nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA, dan *Marshall Quotient* terhadap seluruh benda uji dengan menggunakan alat *marshall*. Pengambilan data pada alat *marshall* dilakukan dengan mencatat besarnya gaya yang didapat menghancurkan benda uji tersebut. Dari pengujian *marshall*, akan didapatkan campuran yang optimum.

3.6 Mencari kadar aspal rencana (tengah)

Kadar aspal total dalam campuran beton aspal adalah kadar aspal efektif yang membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antar agregat, ditambah dengan kadar aspal yang akan terserap masuk ke dalam pori masing-masing butir agregat. Untuk rancangan campuran di laboratorium dipergunakan kadar aspal tengah/ideal. Kadar aspal tengah yaitu nilai tengah dari rentang kadar aspal dalam spesifikasi campuran. Kadar aspal tengah dapat pula ditentukan dengan mempergunakan rumus dari spesifikasi Depkimpraswil 2002 di bawah ini :

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (FF) + K$$

Keterangan :

P_b : Kadar aspal rencana (tengah/ideal), persen terhadap berat campuran

CA : Agregat kasar, persen agregat tertahan saringan No. 8

FA : Agregat halus, persen agregat lolos saringan No. 8 dan tertahan

saringan No. 200

FF : Persen agregat minimal 75% lolos saringan No. 200

K : Konstanta (0,5-1 untuk laston)

Jika kadar aspal rencana (tengah/ideal) diperoleh adalah $a\%$, maka benda uji dibuat untuk kadar aspal masing-masing berbeda 0,5% dimana 2 variasi kurang dari nilai kadar aspal tengah. Contoh, jika kadar aspal tengah adalah 7,5%, maka dibuat variasi campuran 7%, 7,5%, 8%.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil pengujian agregat

Dari hasil pengujian agregat di Laboratorium Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura – gura No.2 Malang, Jawa Timur, diketahui bahwa agregat dari desa Danuredjo memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk digunakan sebagai bahan material perkerasan jalan untuk campuran beraspal panas seperti pada tabel 7 dan 8. berikut ini:

Tabel 7. Hasil Pengujian Agregat Alami Terhadap Spesifikasi

No.	Pengujian	Hasil	Spesifikasi Umum Binda Marga 2018	Keterangan
1	Berat Isi Agregat 10/10	1,44 gr/cm ³		
		1,45 gr/cm ³		
		1,44 gr/cm ³		
2	Berat Isi Agregat 5/10	1,41 gr/cm ³		
		1,41 gr/cm ³		
		1,42 gr/cm ³		
3	Berat Isi Agregat 0/5	1,46 gr/cm ³		
		1,49 gr/cm ³		
		1,45 gr/cm ³		
4	Angka Angularitas Agregat 10/10	5,75	0 - 12	Memenuhi
5	Flakiness	18,96 %	Maks 25%	Memenuhi
6	Impact Value 10/10	7,830 %	Maks. 30%	Memenuhi
7	Berat Jenis Agregat 10/10	2,67 gr/cm ²	Min. 2,5	Memenuhi
		Penyerapan Agregat 10/10	1,99 %	Maks. 3%
8	Berat Jenis Agregat 5/10	2,53 gr/cm ²	Min. 2,5	Memenuhi
		Penyerapan Agregat 5/10	2,56 %	Maks. 3%
9	Berat Jenis Agregat 0/5	2,60 gr/cm ²	Min. 2,5	Memenuhi
		Penyerapan Agregat 0/5	6,38 %	Maks. 3%
10	Keausan Agregat 10/10	28,31 %	Maks. 30%	Memenuhi

Tabel 7 Lanjutan

	Penyerapan Agregat 0/5	2,56 %	Maks. 3%	Memenuhi
10	Kekekalan Agregat Halus	0,196 %	Maks. 18%	
		Kekekalan Agregat Kasar	0,096 %	Maks. 12%
11	Keausan Agregat 10/10	16,22 %	Maks. 30%	Memenuhi

Tabel 8. Hasil Pengujian Agregat Limbah Beton Terhadap Spesifikasi

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi Umum Binda Marga 2018	Keterangan
1	Berat Isi Agregat 10/10	1,13 gr/cm ³		
		1,20 gr/cm ³		
		1,22 gr/cm ³		
2	Berat Isi Agregat 5/10	1,08 gr/cm ³		
		1,21 gr/cm ³		
		1,13 gr/cm ³		
3	Berat Isi Agregat 0/5	1,33 gr/cm ³		
		1,90 gr/cm ³		
		1,45 gr/cm ³		
4	Angka Angularitas Agregat 10/10	9,62	0 - 12	Memenuhi
5	Flakiness	23,37 %	Maks 25%	Memenuhi
6	Impact Value 10/10	13,36 %	Maks. 30%	Memenuhi
7	Berat Jenis Agregat 10/10	2,51 gr/cm ²	Min. 2,5	Memenuhi
8	Penyerapan Agregat 10/10	6,48 %	Maks. 3%	Tidak Memenuhi
		Berat Jenis Agregat 5/10	2,56 gr/cm ²	Min. 2,5
9	Penyerapan Agregat 5/10	7,04 %	Maks. 3%	Tidak Memenuhi
		Berat Jenis Agregat 0/5	2,53 gr/cm ²	Min. 2,5
10	Keausan Agregat 10/10	6,38 %	Maks. 3%	Tidak Memenuhi
		28,31 %	Maks. 30%	Memenuhi

4.2 Hasil pengujian aspal

Dari hasil pengujian aspal pertama penetrasi 60/70 yang di uji di Laboratorium Bahan Konstruksi, Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Malang, Jalan Bendungan Sigura – gura No.2 Malang, Jawa Timur, dapat di lihat dalam tabel 9 bahwa aspal pertama dengan penetrasi 60/70 memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 sebagai bahan pengikat yang dicampur dengan agregat sehingga menjadi campuran beraspal. Pengujian aspal yang dilakukan meliputi pengujian penetrasi aspal, titik nyala dan titik bakar aspal, titik lembek aspal, daktilitas, berat jenis dan kehilangan berat minyak dan aspal.

Tabel 9. Hasil Pengujian Aspal Keras Penetrasi 60/70 Terhadap Spesifikasi

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018	Keterangan
1	Penetrasi Sebelum Kehilangan Berat	69,70 10^{-1} mm	60 - 70	Memenuhi
2	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat	68,60 10^{-1} mm	Min. 54	Memenuhi
3	Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	314/319 $^{\circ}$ c	Min. 232	Memenuhi
4	Titik Lembek Aspal dan Ter Sebelum Kehilangan Berat	54,5 $^{\circ}$ c	Min. 48	Memenuhi
5	Titik Lemebk Aspal dan Ter Setelah Kehilangan Berat	53,5 $^{\circ}$ c	Min. 48	Memenuhi
6	Berat Jenis Aspal Keras	1,125 gr/cm^2	Min. 1	Memenuhi
7	Kehilangan Berat Minyak	0,187 %	Maks. 0,8	Memenuhi
8	Daktilitas Sebelum Kehilangan Berat	150 cm	Min. 100 cm	Memenuhi
9	Daktilitas Setelah Kehilangan Berat	122,5 cm	Min. 100 cm	Memenuhi

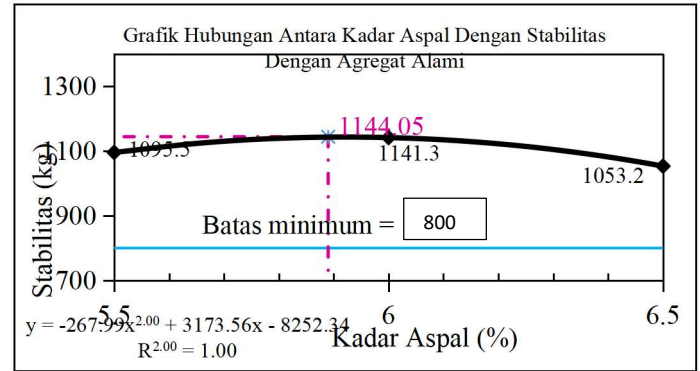
4.3 Analisa pembahasan

4.3.1 Campuran kadar optimum

Menentukan campuran kadar yang optimum dengan cara mengambil nilai parameter marshall yaitu stabilitas dengan nilai yang tertinggi dan dari nilai parameter marshall seperti Flow, VIM, VMA, Marshall Quotient, dan VFA memenuhi syarat DPU Bina Marga 2018.

Tabel 10. Data Pengujian Stabilitas Agregat Alami Campuran AC-WC Kadar Aspal 5,5%

No	Stabilitas (Kg)
1	1086,24
2	1077,54
3	1057,22
4	1122,12
5	1134,46



Grafik 1. Hubungan Kadar Aspal Agregat Alami Dengan Stabilitas

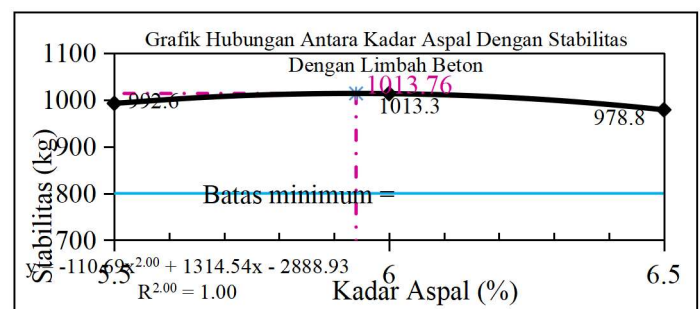
Nilai KAO pada campuran agegat alami pada titik 5,89%, ditinjau dari stabilitas tertinggi.

Tabel 11. Nilai Parameter Karakteristik Marshall Agregat Alami Dengan Campuran AC-WC

Karakteristik Marshall	Hasil Penelitian	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018	Keterangan
Stabilitas (kg)	1144,05	Min. 800	Memenuhi
Flow (mm)	3,15	2-4	Memenuhi
VIM (%)	4,47	3-5	Memenuhi
VMA (%)	16,62	Min. 15	Memenuhi
MQ (kg/mm)	365,83	Min. 250	Memenuhi
VFA (%)	73,08	Min. 65	Memenuhi

Tabel 12. Data Pengujian Stabilitas Agregat Limbah Beton Campuran AC-WC Kadar Aspal 6%

No	Stabilitas (Kg)
1	1009,43
2	1004,44
3	1010,07
4	1021,17
5	1021,55



Grafik 2. Hubungan Kadar Aspal Agregat Limbah Beton Dengan Stabilitas

Nilai KAO pada campuran agegat alami pada titik 5,94%, ditinjau dari stabilitas tertinggi.

Tabel 13. Nilai Parameter Karakteristik *Marshall* Agregat Limbah Beton Dengan Campuran AC-WC

Karakteristik Marshall	Hasil Penelitian	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018	Keterangan
Stabilitas (kg)	1013,76	Min. 800	Memenuhi
Flow (mm)	3,13	2-4	Memenuhi
VIM (%)	4,26	3-5	Memenuhi
VMA (%)	16,26	Min. 15	Memenuhi
MQ (kg/mm)	322,59	Min. 250	Memenuhi
VFA (%)	73,69	Min. 65	Memenuhi

4.3.2 Perbandingan Antara Campuran AC-WC Dengan Limbah Beton dan Dengan Agregat Alami

Untuk perbandingan dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

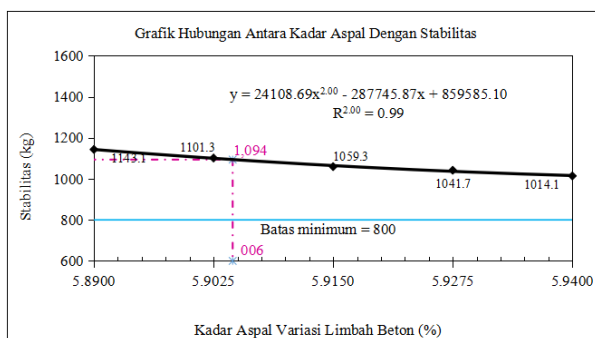
Tabel 14. Perbandingan Antara Campuran AC-WC Dengan Limbah Beton dan Dengan Agregat Alami

Karakteristik Campuran	Variasi Agregat Campuran Terhadap Limbah (%)						Persyaratan
	0	25	29	50	75	100	
Stabilitas (kg)	1143,1	1101,3	1093,7	1059,3	1041,7	1014,1	> 800
Flow (mm)	3,16	3,30	3,31	3,33	3,30	3,15	2 – 4
VIM (%)	4,12	4,13	4,09	4,14	4,17	4,48	3 – 5
VMA (%)	16,31	16,35	16,36	16,38	16,43	16,44	> 15%
VFA (%)	74,71	74,69	74,96	74,65	74,57	72,66	> 65
Marshall Quotient (kg/mm)	360,09	342,40	328,73	303,09	318,88	321,98	-

4.3.3 Pengaruh Penggunaan Limbah Beton pada Campuran AC-WC

• Stabilitas

Grafik hubungan kadar campuran variasi limbah beton dapat dilihat pada grafik 3 dibawah ini:



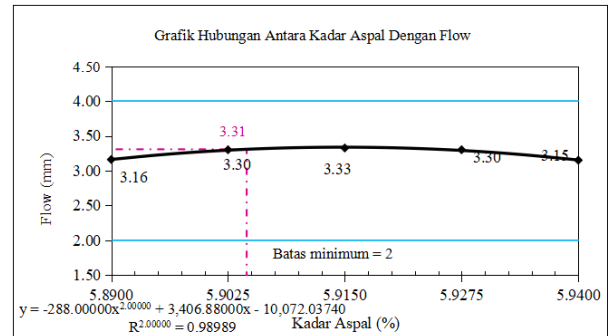
Grafik 3. Hubungan Variasi Limbah Beton Dengan Stabilitas

Pada grafik 3 terlihat bahwa stabilitas penggunaan limbah beton dari 25% mengalami penurunan ketika penambahan variasi limbah beton semakin besar. Nilai stabilitas pada variasi limbah beton 25% sebesar 1101,3 kg lebih tinggi dibandingkan dengan variasi limbah beton 100% dengan nilai 1014,1 kg. Penurunan nilai stabilitas dikarenakan perbedaan

kualitas antara agregat limbah beton dan agregat alami, dimana semakin banyak limbah beton yang digunakan mengurangi nilai stabilitas juga. Nilai stabilitas dari semua benda uji dengan menggunakan limbah beton dan tanpa menggunakan limbah beton memenuhi persyaratan DPU Bina Marga 2018.

• Flow (Kelelahan)

Grafik hubungan kadar campuran variasi limbah beton dapat dilihat pada grafik 4 dibawah ini :

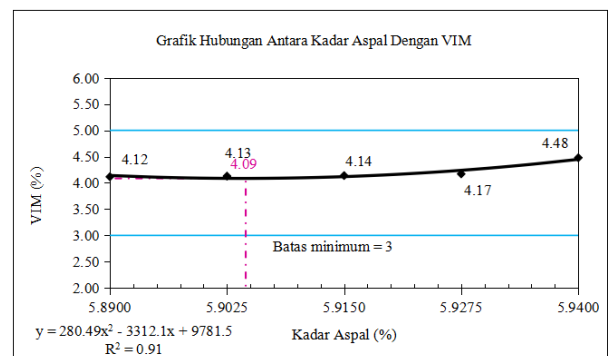


Grafik 4. Hubungan Variasi Limbah Beton Dengan Flow

Pada grafik 4 penggunaan variasi campuran limbah beton 25% meningkatkan nilai *flow* dari 3,30 (mm) hingga variasi campuran 50% sebesar 3,33 (mm), lalu turun pada variasi campuran 75% dengan sebesar 3,30 (mm), sampai dengan variasi campuran 100% dengan nilai 3,15 (mm). Variasi campuran dengan 100% limbah beton memiliki nilai *flow* yang lebih kecil dibandingkan dengan variasi 25% yang memiliki stabilitas lebih besar. Nilai *flow* dari semua benda uji dengan penggunaan limbah beton dan tanpa menggunakan limbah beton memenuhi persyaratan DPU Bina Marga 2018.

• Void In The Mix (VIM) / Rongga Udara Dalam Campuran

Grafik hubungan kadar limbah beton dengan nilai VIM pada campuran AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) dengan penggunaan limbah beton dapat dilihat pada grafik 5 dibawah ini :

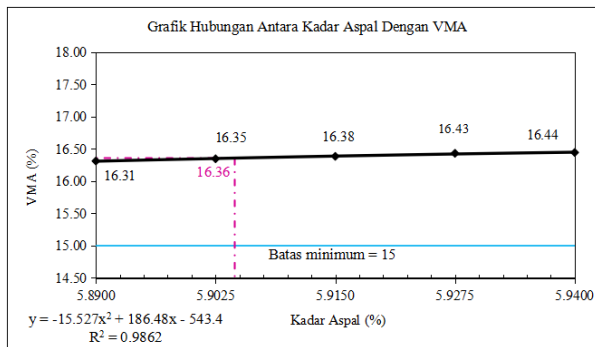


Grafik 5. Hubungan Variasi Limbah Beton Dengan VIM

Nilai VIM (*Void in the Mix*) merupakan nilai yang menunjukkan jumlah rongga dalam campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan dari campuran aspal tersebut, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran, sehingga campuran bersifat porous (*impermeable*). Sedangkan nilai VIM yang kecil akan memberikan campuran yang lebih kedap air sehingga akan meningkatkan kemampuan campuran. Namun nilai VIM harus sesuai dengan persyaratan yaitu 3-5 % pada grafik 5 menunjukkan bahwa dengan penggunaan limbah beton, semakin bertambah ketika penggunaan limbah beton semakin besar. Dimana pada penggunaan limbah beton 25% dengan nilai VIM 4,13% dan semakin bertambah 4,48% pada penggunaan limbah beton 100%. Variasi campuran dengan 25% limbah beton lebih kecil dibandingkan dengan variasi 100%. Berdasarkan analisa regresi untuk VIM didapatkan persamaan $y = 9781,5-3312,1x+280,49x^2$ dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,91. Untuk nilai VIM yang optimum pada variasi campuran agregat limbah beton terdapat pada kondisi campuran 29% dengan kadar aspal 5,9045% sebesar 4,09%. Nilai VIM dari semua benda uji dengan penggunaan limbah beton dan tanpa menggunakan limbah beton memenuhi persyaratan DPU Bina Marga 2018.

- **Void In Mineral Agregat (VMA) / Rongga Diantara Mineral Agregat**

Grafik hubungan kadar campuran variasi limbah beton dapat dilihat pada grafik 6 dibawah ini :

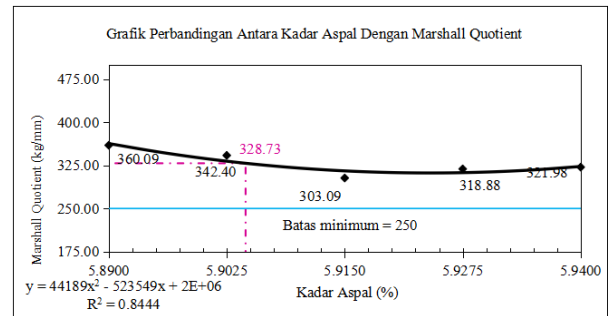


Grafik 6. Hubungan Variasi Limbah Beton Dengan VMA

Nilai VMA (*Voids in the Mineral Agregat*) merupakan nilai yang menyatakan banyaknya rongga diantara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, yang dinyatakan dalam nilai prosen. Namun nilai VIM harus sesuai dengan persyaratan batas minimum yaitu 15 % berdasarkan grafik 6, menunjukkan nilai VMA semakin bertambah ketika penggunaan limbah beton semakin besar, dimana pada penggunaan limbah beton 25% dengan nilai VMA sebesar 16,35% dan menjadi 16,44% pada penambahan limbah beton 100%. Nilai VMA dari semua benda uji dengan penggunaan limbah beton dan tanpa menggunakan limbah beton memenuhi persyaratan DPU Bina Marga 2018.

- **Marshall Quotient (MQ)**

Grafik hubungan kadar campuran variasi limbah beton dapat dilihat pada grafik 7 dibawah ini :



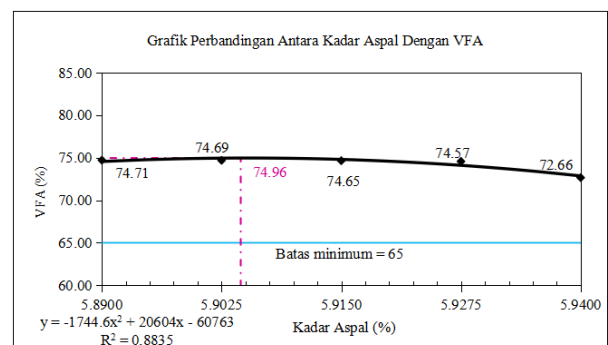
Grafik 7. Hubungan Variasi Limbah Beton Dengan Marshall Quotient

Pada grafik 7 nilai MQ pada variasi limbah beton 25% mengalami penurunan terhadap variasi campuran limbah beton 50%. Penggunaan limbah beton pada variasi campuran 75% menaikkan kembali nilai *Marshall Quotient* hingga variasi campuran limbah beton 100%.

Dari grafik 4.11.1.5. diatas dapat dilihat bahwa pada penggunaan limbah beton 25% nilai MQ sebesar 342,40 kg/mm dan menurun sampai pada penggunaan limbah beton sebesar 50% dengan nilai MQ sebesar 303,09 kg/mm. Nilai MQ kembali peningkatan pada variasi campuran 75% dengan nilai 318,88 hingga variasi limbah beton 100% dengan nilai 321,98kg/mm. Nilai MQ masih memenuhi syarat dengan nilai tidak ada batas minimum. Nilai *Marshall quotient* dari semua benda uji dengan penggunaan limbah beton dan tanpa menggunakan limbah beton memenuhi persyaratan DPU Bina Marga 2018.

- **Void Filled With Asphalt (VFA) / Rongga Terisi Aspal**

Grafik hubungan kadar campuran variasi limbah beton dapat dilihat pada grafik 8 dibawah ini :



Grafik 8. Hubungan Variasi Limbah Beton Dengan VFA

Pada grafik 8 penggunaan limbah beton dari 25% dengan nilai VFA 74,69% mengalami penurunan sampai dengan penggunaan variasi limbah beton 100%

dengan nilai 72,66%. Berdasarkan analisa regresi untuk VFA didapatkan persamaan $y = -60763 + 20604x - 1744,6x^2$ dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,8835. Untuk nilai VFA optimum pada variasi agregat campuran limbah beton terdapat pada kondisi campuran 29% dengan kadar aspal 5,9045% sebesar 74,96%. Nilai VFA dari semua benda uji dengan penggunaan limbah beton dan tanpa menggunakan limbah beton memenuhi persyaratan DPU Bina Marga 2018.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- Limbah beton memenuhi persyaratan sebagai pengganti agregat ditinjau dari hasil pemeriksaan agregat berupa flakiness indeks, impact, abrasi, berat jenis dan angularitas.

A. Flakiness	= 23,37%	(Syarat maks 25%)
B. Impact value	= 13,36%	(Syarat maks 30%)
C. Abrasi agregat	= 28,31%	(Syarat maks 30%)
D. Berat jenis		
Agregat 10/10	= 2,51 gr/cm ²	(Syarat min 2,5)
Agregat 5/10	= 2,56 gr/cm ²	(Syarat min 2,5)
Agregat 0/5	= 2,53 gr/cm ²	(Syarat min 2,5)
E. Angularitas	= 9,62	(Syarat 0-12)
- Nilai optimum variasi campuran limbah beton pada kondisi campuran AC-WC adalah 29%, dengan nilai parameter *Marshall*:

A. Stabilitas	= 1093,70 kg	(Syarat > 800)
B. Flow	= 3,31 mm	(Syarat 2 – 4)
C. VIM	= 4,09%	(Syarat 3 – 5)
D. VMA	= 16,36%	(Syarat > 15)
E. MQ	= 328,73 kg/mm	(Tidak ada ketentuan)
F. VFA	= 74,96%	(Syarat > 65)

Limbah beton variasi masih dapat digunakan sebagai bahan pengganti agregat campuran AC-WC dikarenakan dari hasil pengujian test *Marshall* hasil dari limbah beton sudah dapat memenuhi dari persyaratan dari DPU Bina Marga.

5.2 Saran

- Penelitian terhadap karakteristik campuran yang lebih bervariasi, misalnya membandingkan antara campuran HRS atau ATB.
- Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan variasi campuran limbah beton diantara 0% - 30%.
- Penelitian terhadap karakteristik campuran beton aspal, dalam penggunaan aspal di coba dengan aspal yang lebih bervariasi, misalnya membandingkan antara penetrasi 60/70 dengan aspal penetrasi 80/100.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainurrahman, Eros, 2013, *Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pengganti Pada Lapis Perkerasan Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)*.
- Andhikatama, Arys, 2013, *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course Gradasi Kasar*.
- Anonim, 2018, *Spesifikasi Umum Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur*.
- Laboratorium Struktur dan Jalan Raya, 2008, *Buku Petunjuk Praktikum Jalan Raya*. Malang : Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan : ITN Malang.
- Prawiro, Bangun, 2014, *Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Porus Dengan Tambahan Gilsonite*.
- Susanto, Andriyas, 2016, *Pengaruh Limbah Beton Dan Marmer Pada Campuran Aspal Porus Dengan Bahan Tambahan Gilsonite*.
- Sukirman, S, 1992, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova, Bandung
- Sukirman, S, 1999, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova, Bandung
- Sukirman, S, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*. Granit, Jakarta
- Yasra, Selvi, 2014, *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Agregat Pengganti Pada Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)*