

PEMANFAATAN LIMBAH BETON SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT DALAM CAMPURAN LAPIS TIPIS ASPAL BETON (HOT ROLLED SHEET-WEARING COURSE,HRS-WC)

Pande Made Wisudawan Suwastika¹, Bambang Wedyantadji², dan Mohammad Erfan³

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

Email: wisuda05@gmail.com

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

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

ABSTRAK

Pembangunan di Indonesia telah meliputi seluruh bidang infrastruktur salah satunya transportasi, 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 yang lebih ekonomis. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen yang dilakukan di laboratorium. Pada penelitian ini menggunakan variasi kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, 8%. Sampel benda uji yang dibuat berjumlah 5 benda uji tiap kadar aspal dan didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 7,13% pada agregat alami dan 7,08% 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 52% limbah. Dari variasi tersebut didapatkan nilai Stabilitas 1011,64 kg, Flow 3,36%, VIM 5,65%, VMA 21,15%, Marshall Quotient 306,01 kg/mm, VFA 72,84%. Semua hasil pengujian pada variasi memenuhi persyaratan spesifikasi HRS-WC yang telah ditetapkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga 2018.

Kata Kunci :Limbah Beton, Agregat Alami, HRS-WC.

1. PENDAHULUAN

Pembangunan di Indonesia telah meliputi seluruh bidang infrastruktur salah satunya transportasi, Transportasi adalah salah satu bidang terpenting dalam pembangunan, karena bila bidang transportasi tidak diperhatikan maka semua kegiatan akan terhambat. Khusus prasarana untuk transportasi adalah jalan raya. Jalan yang baik dipengaruhi oleh perkerasannya. Karena itu jalan harus dibangun dengan kualitas yang tinggi tetapi dalam batas wajar ekonomis.

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. Sisa-sisa atau limbah beton dari reruntuhan bangunan akibat gempa, bongkaran bangunan, maupun limbah beton yang berasal dari pabrik beton pracetak dibiarkan tanpa ada penanganan dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan. Dari limbah beton dapat dibuat sebuah inovasi sebagai bahan dalam pekerjaan prasarana transportasi. Dalam penelitian ini digunakan limbah beton yang berasal dari pembongkaran gedung MX Mall, Malang.

Jenis perkerasan yang digunakan adalah perkerasan lentur, sedangkan jenis campurannya menggunakan Hot Rolled Sheet (HRS) atau di Indonesia sering di sebut sebagai Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) yang di buat sebagai campuran panas (Hot Mix). Lataston (HRS) terdiri dari HRS Lapis Permukaan (Hot Rolled Sheet Wearing Course, HRS-WC) dan HRS Lapis Pondasi (Hot Rolled Sheet Base, HRS-Base). Bila dikaji sifat-sifat fisik beton hampir sama dengan sifat fisik batuan.

Dari uraian diatas maka peneliti mengambil judul Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Dalam Campuran Lapis Tipis Aspal Beton (Hot Rolled Sheet – Wearing Course, HRS-WC). Dengan harapan memenuhi nilai parameter marshall sehingga menghasilkan lapisan perkerasan HRS-WC yang optimum dan dapat mencegah kerusakan jalan yang tidak semestinya

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah limbah beton dapat memenuhi persyaratan sebagai pengganti agregat (kasar, sedang, dan halus) pada campuran HRS-WC ?

- Berapakah nilai variasi optimum pemakaian limbah beton sebagai pengganti agregat dalam parameter Marshall pada campuran HRS-WC ?

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- Mengetahui apakah limbah beton dapat memenuhi persyaratan sebagai bahan pengganti agregat.
- Mengetahui nilai variasi optimum yang menghasilkan nilai parameter Marshall yang maksimal pada campuran lapisan perkerasan HRS-WC menggunakan agregat limbah beton dan agregat alami.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konstruksi Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah suatu sistem yang terdiri dari beberapa lapis material yang diletakkan pada tanah dasar (subgrade). Tujuan utama dari dibangunnya perkerasan adalah untuk memberikan permukaan yang rata dengan kekesatan tertentu, dengan umur layanan cukup panjang, serta pemeliharaan yang minimum. Perkerasan dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu :

- Perkerasan Kaku**
Perkerasan kaku atau perkerasan beton semen portland, umumnya terdiri hanya dua lapis, yaitu: pelat beton dan pondasi bawah (subbase).
- Perkerasan Lentur**
Perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapis permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan di bawahnya.
- Perkerasan Komposit**
Perkerasan komposit adalah gabungan perkerasan kaku dan perkerasan lentur dimana kedua perkerasan ini bekerjasama untuk memikul beban.

2.2 Lapisan Aspal Beton

Beton aspal (asphalt concrete) adalah campuran yang terdiri dari aspal keras sebagai bahan pengikat dan agregat-agregat kasar, halus dan pengisi, dengan cara pencampuran dan pemadatan dalam kondisi panas dan suhu tertentu. Campuran semen aspal dengan agregat berkualitas tinggi ini stabilitasnya dikembangkan dengan cara memvariasikan ukuran butiran agregat agar terdapat hubungan satu sama lain saling mengunci. Beton aspal biasanya digunakan untuk lapis permukaan (surface course), lapis perata (lavelling) dan lapis pengikat (binder).

2.3 Campuran HRS-WC

Menurut Sukirman (2003), Lataston (Lapisan Tipis Aspal Beton) adalah beton aspal bergradasi senjang. Latason juga sering disebut dengan HRS (Hot Rolled Sheet). Karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah durabilitas, dan fleksibilitas. Sesuai dengan fungsinya lataston mempunyai 2 macam campuran yaitu lataston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama HRS-WC (Hot Rolled Sheet-Wearing Course) dengan tebal nominal minimum adalah 3 cm, lataston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama

HRS-Base (Hot Rolled Sheet-Base) dengan tebal minimum adalah 3,5 cm.

Tabel 1. Spesifikasi Campuran Lataston (HRS-A)

Sifat Campuran	Spesifikasi	
	HRS-A	
Kadar Aspal Efektif	Min	6,3
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	4
	Max	6
Rongga Diantara Mineral Agregat (VMA) (%)	Min	18
Rongga Terisi Aspal (VFA) (%)	Min	68
Stabilitas Marshall (Kg)	Min	450
Pelelehan (Flow), mm	Min	3
	Max	-
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250

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

2.4 Agregat

Agregat/batuan didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan penyal (solid). ASTM (1974) mendefinisikan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen (Silvia Sukirman, 1999)

Berdasarkan proses pengolahannya agregat yang dipergunakan pada perkerasan lentur dapat dibedakan atas agregat alam, agregat yang mengalami proses pengolahan terlebih dahulu dan agregat buatan. (Silvia Sukirman, 1999)

2.5 Agregat Limbah Beton

Limbah adalah benda yang dibuang baik berasal dari alam ataupun dari hasil proses teknologi yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak dikehendaki karena tidak memiliki nilai ekonomis. Limbah Beton merupakan sisa-sisa atau limbah dari runtuhnya bangunan akibat gempa, bongkaran bangunan, akibat kebakaran maupun limbah beton yang berasal dari pabrik beton pracetak dengan pori - pori yang padat dengan tingkat kekerasan yang tinggi tergantung dengan mutu dari beton yang direncanakan. Limbah beton yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah limbah beton yang berasal dari bongkaran gedung MX Mall Malang.

2.6 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 2. yang berisi tentang ketentuan mengenai Bahan Pengisi (filler).

Tabel 2. Gradasi Bahan Pengisi

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

(Sumber: Bina Marga 1995)

2.7 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak / cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan atau penyiraman pada perkerasan macadam ataupun pelaburan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (Silvia Sukirman, 1999). 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.

2.8 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 di waktu 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 resistance*)
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 Operasional Penelitian

Penelitian ini dengan pemanfaatan limbah beton sebagai pengganti agregat dalam campuran perkerasan HRS-WC (Hot Rolled Sheet - Wearing Course) dengan panduan pengujian mengacu standar AASHTO (The American Association of State Highway and Transportation Officials), BS (British Standard), ASTM (American Society for Testing and Materials).

3.2 Tahap studi

Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan limbah beton sebagai pengganti agregat. Maka dari itu, perlu diadakannya penelitian untuk mengetahui kualitas mutu campuran aspal dengan agregat limbah beton. Pada tahap studi literatur, referensi didapatkan dari laporan penelitian dan jurnal-jurnal penelitian terdahulu yang pernah dilakukan dengan topik penelitian yang berkaitan.

3.3 Tempat Penelitian

Tempat Penelitian pemeriksaan bahan dan pengujian stabilitas campuran aspal beton ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional Malang.

3.4 Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode cara basah, yaitu dengan cara pencampuran agregat limbah beton dengan agregat alami, dan sudah ditambahkan bitumen/aspal panas. Penelitian ini menggunakan variasi kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, 8%, untuk mencari nilai KAO dan variasi pengganti agregat limbah beton 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dari berat total benda uji. Rancangan penelitian ini bertujuan agar pelaksanaan penelitian nantinya dapat terarah dan sesuai dengan yang direncanakan.

3.5 Populasi dan Sampel

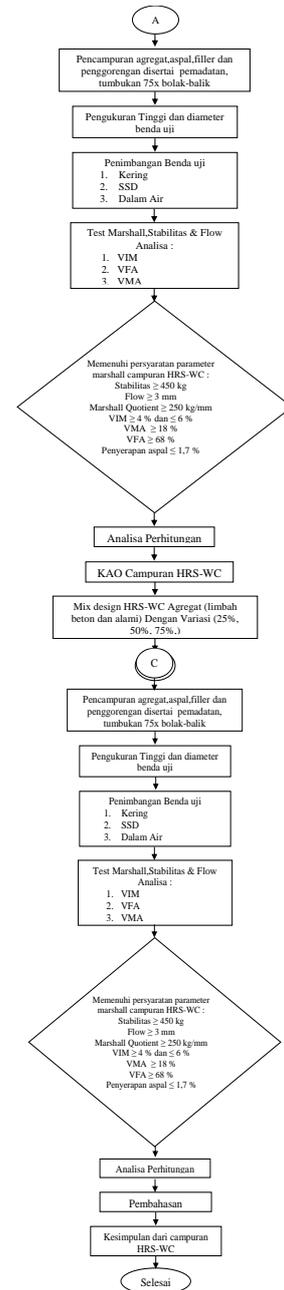
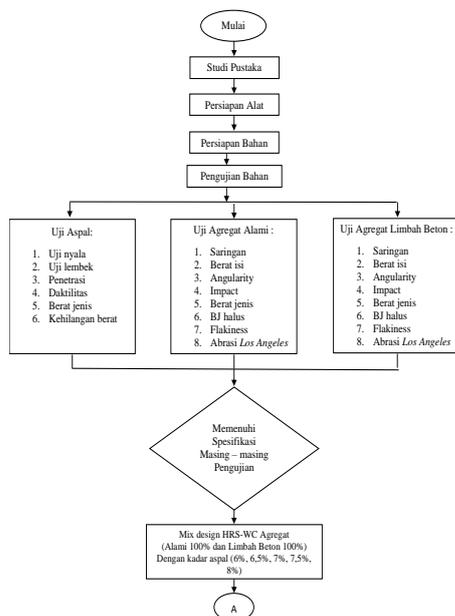
Dala suatu penelitian ini setiap variasi menggunakan 5 sampel benda uji sebagai berikut :

Tabel 3. Jumlah Sampel pada Kadar agregat limbah beton 0%, 100%

Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Limbah Beton	Filler	Jumlah
1	6 %	0%	3,84%	5
2	6,5 %	0%	3,84%	5
3	7 %	0%	3,84%	5
4	7,5 %	0%	3,84%	5
5	8%	0%	3,84%	5
6	6 %	100%	3,24%	5
7	6,5 %	100%	3,24%	5
8	7 %	100%	3,24%	5
9	7,5 %	100%	3,24%	5
10	8%	100%	3,24%	5
Total Sampel				50

Tabel 4. Jumlah Sampel pada Kadar variasi agregat limbah beton 0%, 25%, 50%, 75%, 100%

Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar Limbah Beton	Filler	Jumlah
1	7,13 %	0%	3,84%	5
2	7,1175 %	25%	3,54%	5
3	7,105 %	50%	3,54%	5
4	7,0925 %	75%	3,54%	5
5	7,08 %	100%	3,24%	5
Total Sampel				25



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

3.8 Pengumpulan data

Data dikumpulkan dari hasil pengujian terhadap aspal, agregat, campuran antara aspal dan agregat untuk perkerasan *Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)*. Berdasarkan persyaratan dan spesifikasi yang telah ditentukan dan dilakukan pengujian terhadap nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA, dan *Marshall Quotient* dan indeks peredaman 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 kadar aspal optimum (KAO).

3.10 Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Sebelum menentukan kadar aspal optimum (KAO), menentukan kadar aspal total dalam campuran. 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 (2-3 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%, maka dibuat variasi campuran 6%, 6,5%, 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 10. berikut ini:

Tabel 5. Hasil Pengujian Agregat alami Terhadap Spesifikasi

No.	Pengujian	Hasil	Spesifikasi Umum Binda Marga 2018	Keterangan
1	Berat Isi Agregat 10/10	1,37 gr/cm ³		
		1,45 gr/cm ³		
		1,48 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	3,95	0 - 12	Memenuhi
5	Flakiness	19,80 %	Maks 25%	Memenuhi

6	Impact Value 10/10	8,56 %	Maks. 30%	Memenuhi
7	Berat Jenis Agregat 10/10	2,68 gr/cm ²	Min. 2,5	Memenuhi
	Penyerapan Agregat 10/10	2,50 %	Maks. 3%	Memenuhi
8	Berat Jenis Agregat 5/10	2,61 gr/cm ²	Min. 2,5	Memenuhi
	Penyerapan Agregat 5/10	2,25 %	Maks. 3%	Memenuhi
9	Berat Jenis Agregat 0/5	2,60 gr/cm ²	Min. 2,5	Memenuhi
	Penyerapan Agregat 0/5	2,35 %	Maks. 3%	Memenuhi
10	Keausan Agregat 10/10	24,76 %	Maks. 30%	Memenuhi

Tabel 6. 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		
		1,20 gr/cm ³		
		1,14 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
	Penyerapan Agregat 10/10	6,48 %	Maks. 3%	Tidak Memenuhi
8	Berat Jenis Agregat 5/10	2,56 gr/cm ²	Min. 2,5	Memenuhi
	Penyerapan Agregat 5/10	7,04 %	Maks. 3%	Tidak Memenuhi
9	Berat Jenis Agregat 0/5	2,53 gr/cm ²	Min. 2,5	Memenuhi
	Penyerapan Agregat 0/5	6,38 %	Maks. 3%	Tidak Memenuhi

10	Keausan Agregat 10/10	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 4.15 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 7. 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 °C	Min. 232	Memenuhi
4	Titik Lembek Aspal dan Ter Sebelum Kehilangan Berat	54,5 °C	Min. 48	Memenuhi
5	Titik Lemebk Aspal dan Ter Setelah Kehilangan Berat	53,5 °C	Min. 48	Memenuhi
6	Berat Jenis Aspal Keras	1,125 gr/c m 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.

Nilai campuran optimum agregat alami yang diperoleh dari stabilitas tertinggi yaitu sebesar 1140,2 kg. Pada campuran kadar aspal 7,13 dan nilai campuran optimum agregat limbah beton yang diperoleh dari

stabilitas tertinggi yaitu 993,3kg pada campuran kadar aspal 7,08. Nilai parameter karakteristik *Marshall* pada campuran optimum yang telah didapatkan dapat dilihat di tabel 8 dan 9 sebagai berikut:

Tabel 8. Nilai Parameter Karakteristik *Marshall* Dengan Agregat alami Campuran HRS-WC

Karakteristik Marshall	Hasil Penelitian	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018	Keterangan
Stabilitas (kg)	1140,2	Min. 450	Memenuhi
Flow (mm)	3,80	Min. 3	Memenuhi
VIM (%)	4,94	4-6	Memenuhi
VMA (%)	20,6	Min. 18	Memenuhi
MQ (kg/mm)	314,7	Min. 250	Memenuhi
VFA (%)	75,95	Min. 68	Memenuhi

Tabel 9. Nilai Parameter Karakteristik *Marshall* Dengan Agregat limbah beton Campuran HRS-WC

Karakteristik Marshall	Hasil Penelitian	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018	Keterangan
Stabilitas (kg)	993,3	Min. 450	Memenuhi
Flow (mm)	3,76	Min. 3	Memenuhi
VIM (%)	6,03	4-6	Memenuhi
VMA (%)	21,41	Min. 18	Memenuhi
MQ (kg/mm)	281,57	Min. 250	Memenuhi
VFA (%)	71,79	Min. 68	Memenuhi

4.3.2 Perbandingan antara campuran HRS-WC dengan limbah beton dan alami

Untuk perbandingan dapat dilihat pada tabel 10 dibawah ini :

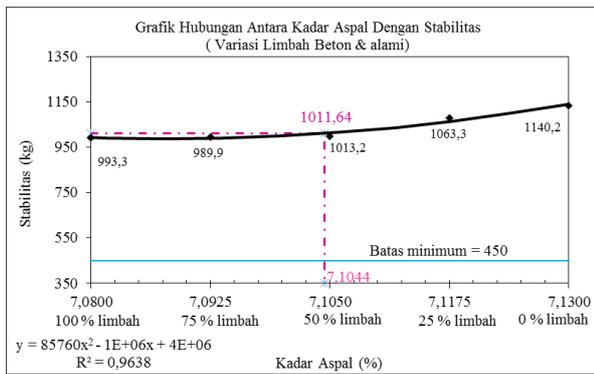
Tabel 10. Perbandingan Antara Campuran HRS-WC Dengan Agregat Limbah Beton Dan Dengan Agregat Alami

Karakteristik Campuran	Variasi Agregat Campuran Terhadap Limbah (%)						Persyaratan
	0	25	50	52	75	100	
Stabilitas (kg)	1140,2	1063,3	1013,2	1011,64	989,9	993,3	> 450
Flow (mm)	3,80	3,47	3,35	3,36	3,45	3,76	3 - 4
VIM (%)	4,94	5,33	5,64	5,65	5,87	6,03	4 - 6
VMA (%)	20,6	20,9	21,13	21,15	21,32	21,41	> 18%
VFA (%)	75,95	74,16	72,88	72,84	72,09	71,79	> 68
Marshall Quotient (kg/mm)	314,7	312,59	306,37	306,01	296,03	281,57	250

4.3.3 Pengaruh Penggunaan Limbah Beton pada Campuran HRS-WC

• Stabilitas

Grafik hubungan kadar campuran limbah beton antara nilai stabilitas pada campuran HRS-WC (*Hot Rolled Sheet - Wearing Course*) dapat dilihat pada grafik 1 dibawah ini:

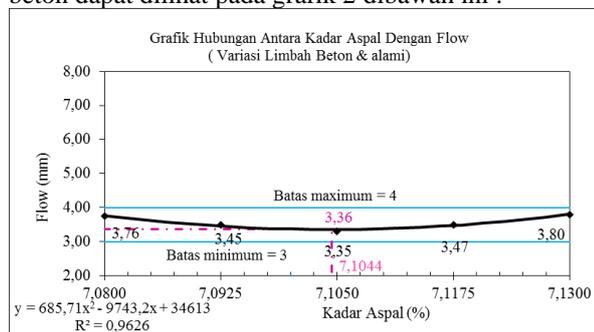


Grafik 1. Hubungan Variasi Limbah Beton Dengan Stabilitas

Mengacu pada grafik 1, penggunaan limbah beton dari variasi 0% sampai 100% akan menurunkan nilai stabilitas suatu campuran dari 1134,6 kg sampai dengan 993,6 kg. Nilai stabilitas cenderung bertambah pada kadar limbah beton lebih kecil, penambahan stabilitas ini disebabkan karena kualitas dari agregat limbah beton dan agregat alami, dimana semakin bagus agregat semakin meningkat nilai stabilitas. Semakin banyak kadar limbah beton akan semakin mengurangi nilai stabilitas. Nilai stabilitas dari semua benda uji dengan menggunakan limbah beton dan tanpa limbah beton memenuhi persyaratan DPU Bina Marga 2018.

- **Flow (Kelelahan)**

Grafik hubungan kadar variasi campuran limbah beton dapat dilihat pada grafik 2 dibawah ini :

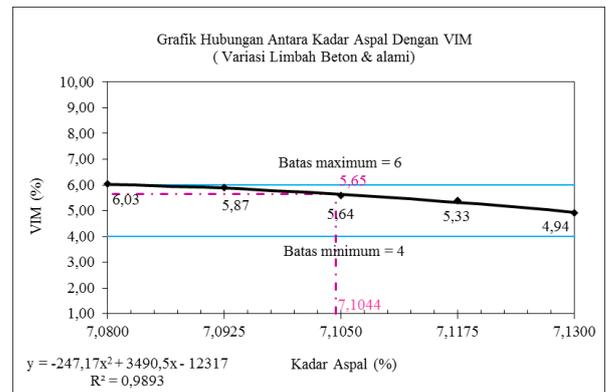


Grafik 2. Hubungan Variasi Limbah Beton Dengan Flow

Mengacu pada grafik 2, pada kadar variasi limbah beton 100% sampai 50% nilai flow mengalami penurunan dari 3,75 sampai 3,3 lalu naik pada kadar variasi 25% sampai 0% dengan nilai 3,5 sampai dengan 3,8. Berdasarkan analisa regresi untuk Flow didapatkan persamaan $y = 685,71x^2 - 9743,2x + 34613$ dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,9626. Untuk nilai Flow maksimum pada kadar aspal optimum 7,1044% sebesar 3,36. Nilai flow dari semua benda uji dengan penambahan variasi limbah beton dan tanpa penambahan variasi limbah beton memenuhi persyaratan DPU Bina Marga 2018.

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

Grafik hubungan kadar variasi limbah beton dengan nilai VIM pada campuran HRS-WC (*Hot Rolled Sheet – Wearing Course*) dapat dilihat pada grafik 3 dibawah ini:

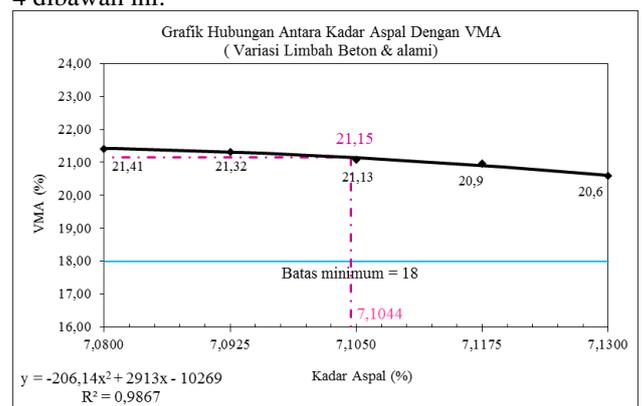


Grafik 3 Hubungan Kadar Variasi Dengan VIM

Mengacu pada grafik 3, 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. Penambahan kadar variasi limbah beton dari 0% sampai dengan 100%, akan meningkatkan nilai VIM dari 4,92% hingga 6,03%. Hal ini disebabkan karena rongga udara yang terisi aspal semakin berkurang pada prosentase limbah beton yang lebih besar, sehingga setelah dipadatkan masih tersisa banyak rongga udara dalam campuran. Nilai VIM dari semua benda uji dengan penambahan karet alam dan tanpa penambahan karet alam memenuhi persyaratan DPU Bina Marga 2018.

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

Grafik hubungan kadar campuran variasi limbah beton dengan nilai VMA pada campuran HRS-WC (*Hot Rolled Sheet – Wearing Course*) dapat dilihat pada grafik 4 dibawah ini:



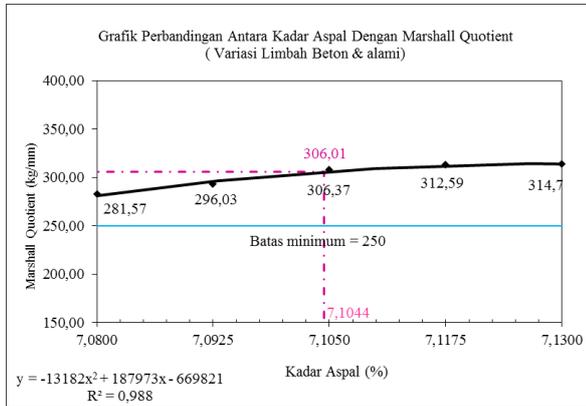
Grafik 4 Hubungan variasi limbah beton Dengan VMA

Mengacu pada grafik 4, menunjukkan bahwa nilai void in mineral agregat (VMA) cenderung semakin bertambah pada kadar limbah beton yang lebih besar. Penambahan kadar variasi limbah beton dari 0% sampai dengan 100%, akan meningkatkan nilai VMA dari 20,58% hingga 21,42%. Hal ini disebabkan karena agregat

limbah beton memiliki nilai penyerapan lebih besar dan berat jenis yang lebih kecil dari pada agregat alami. Nilai VMA dari semua benda uji dengan penambahan variasi limbah beton dan tanpa penambahan variasi limbah beton memenuhi persyaratan DPU Bina Marga 2018.

- **Marshall Quotient (MQ)**

Grafik hubungan variasi limbah beton pada campuran HRS-WC (*Hot Rolled Sheet – Wearing Course*) dapat dilihat pada grafik 5 dibawah ini:

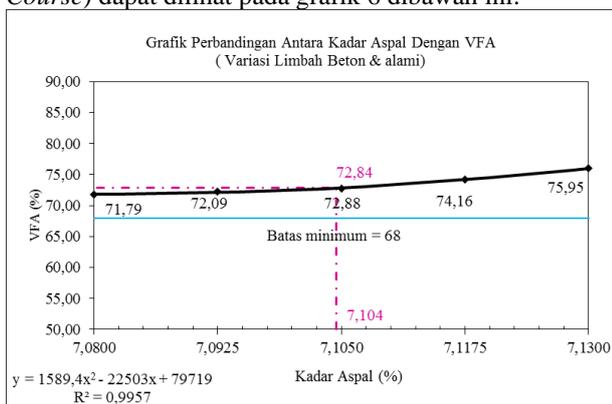


Grafik 5 Hubungan variasi limbah beton Dengan MQ

Mengacu pada grafik 5, penambahan kadar variasi limbah beton dari 0% sampai dengan 100% akan menurunkan nilai Marshall quotient dari 314,17 (kg/mm) hingga 282,75 (kg/mm). Hal ini disebabkan karena pada kadar variasi limbah beton yang lebih besar nilai stabilitasnya kecil. Nilai Marshall quotient dari semua benda uji dengan penambahan variasi limbah beton dan tanpa penambahan variasi limbah beton memenuhi persyaratan DPU Bina Marga 2018.

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

Grafik hubungan variasi limbah beton dengan VFA pada campuran HRS-WC (*Hot Rolled Sheet – Wearing Course*) dapat dilihat pada grafik 6 dibawah ini:



Grafik 6 Hubungan Variasi Limbah Beton Dengan VFA

Mengacu pada grafik 6, penambahan kadar variasi limbah beton dari 0% sampai dengan 100% akan menurunkan nilai VFA dari 75,98% hingga 71,73%. Hal ini disebabkan karena aspal yang seharusnya mengisi rongga terabsorpsi oleh agregat limbah beton yang

memang memiliki nilai penyerapan yang lebih besar. Nilai VFA dari semua benda uji dengan penambahan variasi limbah beton dan tanpa penambahan variasi limbah beton memenuhi persyaratan DPU Bina Marga 2018.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- 1) Limbah beton memenuhi persyaratan sebagai pengganti agregat ditinjau dari hasil pengujian agregat berupa flakiness indeks, impact, abrasi, berat jenis, angularitas.
 - Flakiness = 23,37% (Syarat maks 25%)
 - Impact value = 13,36% (Syarat maks 30%)
 - Abrasi agregat = 28,31% (Syarat maks 30%)
 - Berat jenis
 - Agregat 10/10 = 2,51 gr/cm² (Syarat min 2,5)
 - Agregat 5/10 = 2,56 gr/cm² (Syarat min 2,5)
 - Agregat 0/5 = 2,53 gr/cm² (Syarat min 2,5)
 - Angularitas = 9,62 (Syarat 0 – 12)
- 2) Nilai variasi optimum campuran limbah beton yang terbaik pada campuran HRS-WC adalah 52% agregat limbah beton, dengan nilai parameter Marshall:
 - a) Stabilitas = 1011,64 Kg (Syarat Min. 450 Kg)
 - b) Flow = 3,36 mm (Syarat Min. 3 mm)
 - c) VIM = 5,65 % (Syarat 4–6 %)
 - d) VMA = 21,15 % (Syarat Min. 18%)
 - e) MQ = 306,01 Kg/mm (Syarat Min. 250 Kg/mm)
 - f) VFA = 75,84% (Syarat Min. 68%)

Berdasarkan nilai parameter *marshall* diatas dapat dinyatakan bahwa agregat limbah beton dapat dicampurkan ke campuran HRS-WC, karena masih berada pada syarat minimum dan maksimum yang ditentukan pada Spesifikasi Umum DPU Bina Marga 2018.

5.2 Saran

- 1) Penelitian terhadap karakteristik campuran yang lebih bervariasi, misalnya membandingkan antara campuran AC atau ATB.
- 2) Penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan variasi campuran limbah beton diantara 0% - 25%.
- 3) Penelitian terhadap karakteristik campuran beton aspal, dalam penggunaan aspal di coba dengan aspal yang lebih bervariasi, misalnya membandingkan antara penetrasi 60/7- 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)*