



STUDI PEMANFAATAN LIMBAH BETON MUTU TINGGI PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE BINDER COURSE (AC-BC)

Ika Sulianti¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya, Jl. Srijaya Negara Bukit Besar, Palembang

Abstract

The purpose of this research is to find out whether the modification of asphalt used with high quality of concrete waste as coarse substitute aggregate of Asphalt Concrete - Binder Course (AC - BC). In this study, the researcher used high quality of concrete waste $fc' 42$, $fc' 47$, $fc' 50$, each waste concrete quality will be mixed with asphalt bitumen contents 5%, 5.5 %, 6 %, 6.5, and 7%. This research used the Marshall test method to determine stability value, flow value, Void In Mix (VIM), Void In Mineral Aggregate (VMA), Void Filled With Asphalt (VFA). AC - BC with high quality of concrete waste $fc'42$ obtained for the best bitumen content obtained is 7%, with a stability value of 1491.705 kg, flow 4.264 mm, MQ 343.465, VIM 9.190%, VFA 34.425%, VMA 15.067%. AC - BC with high quality of concrete waste $fc'47$ was obtained for the best asphalt content obtained was 7%, with stability values 1551.715 kg / mm, flow 4.587 mm, MQ 339.122, VIM 5.530%, VFA 63.308%, VMA 14.235%. The best results of the Marshall test were obtained at the high quality of concrete waste $fc'50$, asphalt content obtained is 7%, with the stability of 1616.145 kg, flow 4.859 mm, MQ 333.720, VIM 5.116%, VFA 55.597%, VMA 13.226%. Referring to the obtained research test, the values of stability match with Bina Marga standard value, namely 800 kg, but VFA value, VIM, and flow are not of Bina Marga standard values. In addition, VMA vales fulfilling Bina Marga standard values are concrete waste $fc'42$ and $fc'47$ with the scale 14%. The researcher hopes that this research will be the guideline in making a mixture of asphalt concrete binder courses with the replacement of coarse aggregate using concrete waste and to inspire people in utilizing concrete waste in technical aspects.

Key Word : *Asphalt Mixture, Concrete, Marshall Parameter, Waste*

1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana transportasi yang memegang peranan sangat penting dalam hal perhubungan darat terutama untuk menjaga keseimbangan distribusi barang dan jasa, untuk menunjang laju pertumbuhan ekonomi masyarakat. Perkerasan jalan merupakan bagian dari penampang melintang jalan yang berfungsi untuk menahan beban lalu lintas di atasnya kemudian meneruskan ke lapisan dibawahnya. Lapisan perkerasan jalan harus memiliki konstruksi perkerasan yang kuat dan mampu menerima beban dari penggunaan lalu lintas.

Konstruksi perkerasan jalan dibedakan berdasarkan bahan pengikatnya yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan komposit (Sukirman, 1999). Di era sekarang ini, perkerasan yang sering digunakan adalah perkerasan lentur (*flexibel pavement*). Perkerasan lentur memiliki sifat fleksibel dan dapat menyerap getaran dari kendaraan sehingga lebih nyaman untuk dilewati. Agregat halus, agregat kasar, aspal serta bahan pengisi (*filler*) merupakan bahan-bahan yang digunakan dalam campuran Lapisan aspal beton (Laston). Aspal merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai bahan pengikat dan pelapis agregat dalam

pekerasan lentur. Pemanfaatan limbah untuk perkerasan jalan merupakan salah satu teknologi daur ulang yang telah banyak dikembangkan guna mengurangi penggunaan agregat baru (*fresh aggregate*) dari alam.

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lain baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen (Sukirman, 2003). Aspal adalah suatu bahan bentuk padat atau setengah padat berwarna hitam sampai coklat gelap, bersifat perekat (*cementious*) yang akan melembek dan meleleh bila dipanasi. Aspal tersusun terutama dari sebagian besar bitumen yang kesemuanya terdapat dalam bentuk padat atau setengah padat dari alam atau hasil pemurnian minyak bumi, atau merupakan campuran dari bahan bitumen dengan minyak bumi atau derivatnya (ASTM, 1994). 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. Sedangkan beton adalah campuran antara agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil) dengan semen dan air terkadang ditambah additive yang bersifat kimiawi ataupun fisikal pada perbandingan tertentu, sampai menjadi satu kesatuan yang homogen.

Metode campuran yang biasa digunakan adalah:

1. Metode Perencanaan Campuran bertujuan untuk mendapatkan resep campuran aspal beton dari material yang terdapat di lokasi sehingga dihasilkan campuran yang memenuhi spesifikasi campuran yang ditetapkan.
2. Metode *Marshall* ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suatu perkerasan lentur. Metode *Marshall* ini terdiri dari Uji *Marshall* dan Parameter *Marshall* yaitu :
 - a. *Void in mix* (VIM) volume total udara yang berada di antara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dan dinyatakan dalam persen volume *bulk*.
 - b. *Void in mineral aggregate* (VMA) adalah volume rongga yang terdapat di antara partikel agregat suatu campuran yang telah dipadatkan, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji.
 - c. *Void filled with asphalt* (VFA) adalah bagian dari rongga yang berada di antara mineral agregat (VMA) yang terisi aspal efektif dinyatakan dalam persen.
 - d. Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban yang bekerja tanpa perubahan bentuk. Nilai stabilitas juga menunjukkan besarnya kemampuan perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja.
 - e. *Flow* (kelelahan plastis) adalah besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan maksimum sehingga sampel sampai batas runtuh. *Flow* merupakan indikator terhadap lentur. *Marshall Quotient* merupakan perbandingan antara stabilitas dengan kelelahan plastis (*flow*) dan dinyatakan dalam kg/mm. Besarnya *Quotient* merupakan indikator dari kelenturan yang potensial terhadap keretakan.

Lapisan *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus (*wearing course*) dan di atas lapisan pondasi (*base course*). Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekakuan yang cukup untuk mengurangi tegangan/regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan di bawahnya yaitu *base* dan *sub grade* (tanah dasar).

Syarat umum dari suatu jalan adalah dapat menyediakan lapisan permukaan yang selalu rata dan kuat, serta dapat menjamin keamanan yang tinggi untuk masa layanan yang lama dan memerlukan pemeliharaan yang minimal dalam berbagai cuaca. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat mengetahui sifat fisik aspal jika

penggantian agregat kasar dengan menggunakan limbah beton serta pengaruhnya pada karakteristik *Marshall*.

Bahan sisa berbentuk gas, debu, cair ataupun padat yang dihasilkan dari suatu kegiatan dan proses produksi dari berbagai skala atau bidang biasa disebut juga limbah. Ada beberapa jenis limbah yang mempunyai sifat berbahaya di lingkungan, contohnya yaitu limbah beton dari sisa-sisa reruntuhan bangunan, kegagalan proyek, sampel beton hasil pracetak, sisa pembangunan, dan kerusakan akibat gempa bumi, yang dalam jumlah banyak akan menimbulkan masalah baru. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka pada penelitian ini menggunakan limbah beton pracetak sebagai pengganti agregat baru (*fresh aggregate*).

Dari penjelasan di atas, perlu suatu inovasi pemanfaatan limbah beton agar menjadi suatu material yang mempunyai nilai lebih. Limbah beton memiliki sifat karakteristik yang menyerupai dengan batu alam sehingga limbah beton dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti batu alam yang biasa digunakan sebagai agregat kasar pada campuran aspal. Menurut Ansori (2017), campuran *asphalt concrete* dengan agregat batu nilai stabilitas akan naik saat kadar aspal ditambah sampai dengan titik puncak dan akan turun kembali saat kadar aspal terus ditambahkan. Hal ini terjadi karena agregat yang berasal dari limbah beton memiliki kadar penyerapan yang tinggi, porositas yang besar dan berat jenis kering yang kecil sehingga penyerapan aspal pada campuran AC-BC yang menggunakan limbah beton lebih besar dibanding penyerapan aspal pada campuran AC-BC dengan agregat batu alam.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana sifat fisik aspal jika dicampur dengan limbah beton dengan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%, bagaimana karakteristik limbah beton $fc' 42$, $fc' 47$, $fc' 50$ apabila digunakan sebagai agregat kasar untuk perkerasan jalan, apa pengaruh dari penggunaan aspal modifikasi dengan penggantian agregat kasar menggunakan limbah beton terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC).

Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menganalisis pengaruh persentase agregat limbah beton terhadap karakteristik *Marshall* pada tiap-tiap variasi presentasi agregat limbah beton sebagai agregat kasar.
- b. Mengetahui stabilitas yang dihasilkan dari campuran aspal dengan penambahan limbah beton sebagai agregat kasar
- c. Mengetahui perbandingan mutu antara agregat asli dengan agregat pengganti (limbah beton).

Tabel 1. Ukuran Fraksi Pengujian *Los Angeles*

Ukuran Saringan		Berat dan Gradasi Agregat			
Lewat (mm)	Tertahan (mm)	A	B	C	D
37.5	25	1250			
25	19	1250			
19	12.5	1250	2500		
12.5	9.5	1250	2500		
9.5	6.3			2500	
6.3	4.75			2500	
4.75	2.36				5000
Total		5000	5000	5000	5000
Jumlah Bola		12	11	8	6
Berat Bola			4584	3330	2500

sumber : SNI 2417:2008.

2. METODOLOGI

2.1 Material yang Digunakan

Material yang digunakan dalam penelitian mengenai pengaruh penggunaan Limbah Beton sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)* dengan kadar aspal 5% ; 5,5% ; 6% ; 6,5% ; 7% dengan metode *Marshall*. Material yang digunakan yaitu, aspal agregat kasar berupa batu pecah, pasir, abu batu dan limbah beton.

Limbah beton yang sudah dilakukan pengujian kuat tekan dan sudah tidak digunakan lagi. Limbah beton ini berasal dari PT. Waskita Beton Precast, Tbk. dengan mutu beton yaitu *fc 42, fc 47 dan fc 50* sebagai pengganti agregat kasar pada campuran laston *binder course* gradasi kasar. Batu pecah dan pasir didapat dari depot di Kota Palembang, sedangkan aspal didapat dari PT. Aspalindo Palembang.

2.2 Persiapan material

Sebelum membuat benda uji dilakukan persiapan material sebagai berikut:

1. Agregat kasar

Agregat kasar berupa batu pecah ukuran 1 : 2 dan agregat 1 : 1 diayak terlebih dahulu menggunakan saringan besar dengan saringan No 19 mm, No 12,5 mm dan No 9,5 mm.

2. Agregat halus

Agregat halus berupa abu batu pecah pasir.

3. Filler

Filler disini berupa semen Portland.

4. Aspal

Aspal yang digunakan adalah aspal padat penetrasi 60/70.

Setelah seluruh material disiapkan, dilakukan pengujian apakah material tersebut sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan dalam pembuatan suatu campuran benda uji.

2.3 Pengujian Sifat Fisik Agregat dan Aspal

Pengujian pengujian yang dilakukan adalah:

1. Analisa ayak agregat

Analisa saringan adalah kegiatan menganalisis bertujuan untuk menentukan ukuran agregat dengan menggunakan ukuran-ukuran saringan dengan standar tertentu.

2. Berat jenis dan penyerapan agregat

Berat jenis agregat adalah rasio antara massa padat agregat dan massa air dengan volume sama pada suhu yang sama.

3. Keausan agregat kasar dengan alat *Los angeles*

Keausan agregat adalah besarnya perbandingan antara bahan aus terhadap berat semula dalam persen.

4. Penetrasi aspal

Penetrasi dari aspal yang digunakan untuk perkerasan jalan menentukan penggunaan aspal itu sendiri.

Tabel 2. Ukuran Cawan Penetrasi

Penetrasi	Diameter	Dalam
Di bawah 200	55mm	35mm
200 sampai 300	70mm	45mm

sumber: SNI 06-2456-1991.

5. Titik Lembek Aspal

Titik lembek aspal adalah kondisi dimana bola baja dengan berat tertentu mendesak turun dan menyentuh pelat dasar yang terdapat di bawah cincin pada tinggi tertentu, dengan kecepatan dan suhu tertentu.

6. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal merupakan perbandingan berat aspal dan berat air dengan isi yang sama pada suhu tertentu.

7. Daktilitas Aspal

Penetrasi aspal mempunyai syarat daktilitas yang berbeda-beda, misalnya aspal penetrasi 60/70 mempunyai nilai daktilitas >100cm.

8. Berat Jenis Semen

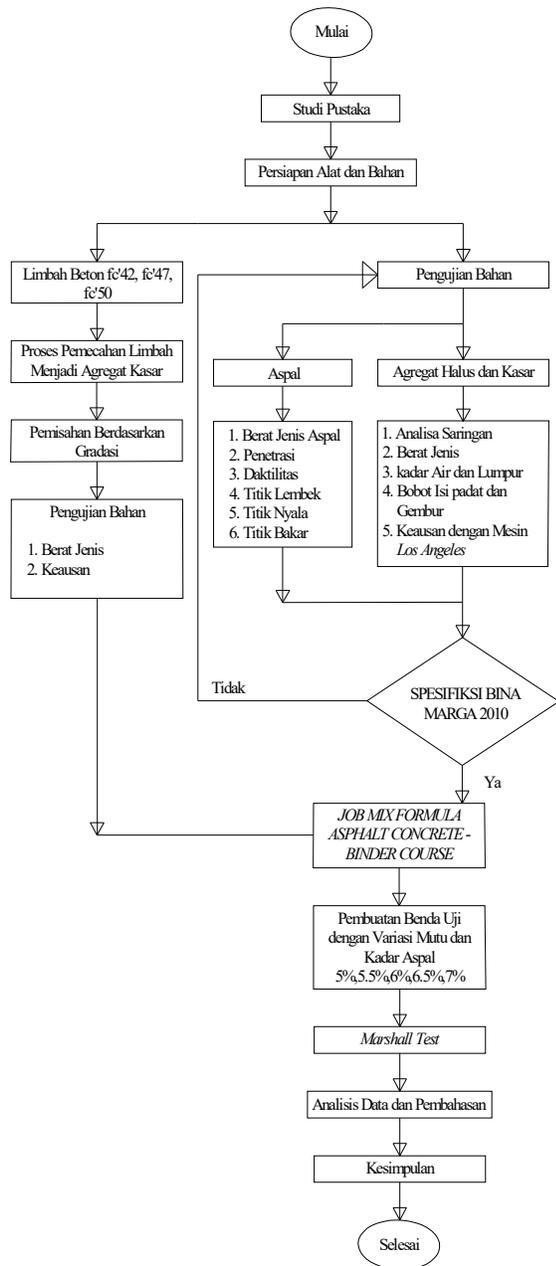
Berat jenis semen adalah perbandingan antara berat isi kering semen pada suhu kamar dengan berat kerosin.

2.4 Pembuatan Benda Uji

Berikutnya, benda uji dibuat dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Proses pemecahan limbah beton menjadi agregat kasar
2. Pemisahan limbah beton berdasarkan gradasi.
3. Pengujian material yang berasal dari limbah beton mutu tinggi (*fc'*)
4. Membuat Job Mix Formula Asphalt Concrete Binder Course.
5. Pembuatan benda uji dengan variasi mutu dan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%.

Bagan alir penelitian tersaji dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Agregat halus mempunyai nilai berat jenis *bulk* sebesar 2,452; sedangkan berat jenis semu dan berat jenis efektif yang diperoleh adalah 2,579 dan 2,642. Sedangkan agregat kasar mempunyai nilai berat jenis *bulk* sebesar 2,501, sedangkan berat jenis semu dan berat jenis efektif yang diperoleh adalah sebesar 2,602 dan 2,712. Pengujian keausan yang dilakukan mempunyai hasil 18,75%. Pada pengujian *filler* yang digunakan yaitu semen Portland Tipe 1 Baturaja.

Limbah beton *fc*'42 sebagai pengganti agregat kasar mempunyai nilai berat jenis *bulk* sebesar

2,210, sedangkan berat jenis semu dan berat jenis efektif yang diperoleh adalah 2,535 dan 2,373. Limbah beton *fc*'47 sebagai pengganti agregat kasar mempunyai nilai berat jenis *bulk* sebesar 2,199, sedangkan berat jenis semu dan berat jenis efektif yang diperoleh adalah sebesar 2,477 dan 2,338. Sedangkan limbah beton *fc*'50 sebagai pengganti agregat kasar mempunyai nilai berat jenis *bulk* sebesar 2,164, sedangkan berat jenis semu dan berat jenis efektif yang diperoleh adalah sebesar 2,550 dan 2,357.

Berikut ini pembahasan dari masing masing parameter *Marshall* yang telah diperoleh berdasarkan pengujian Limbah Beton *fc*'42, *fc*'47, dan *fc*'50 terhadap karakteristik *Marshall*.

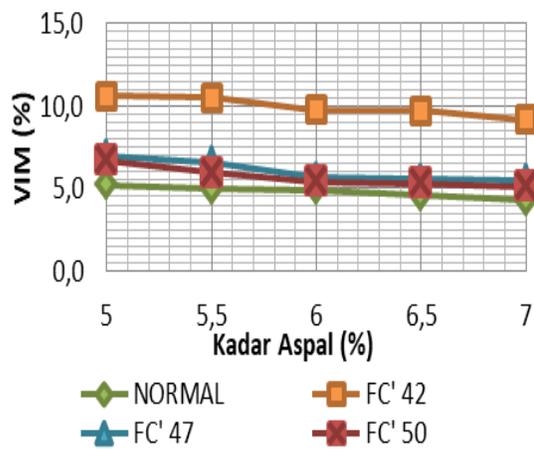
3.1 Hubungan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar dengan VIM

Voids In the Mix (VIM) adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal dinyatakan dengan persentase terhadap volume aspal padat. VIM berguna untuk tempat tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi dan juga akibat repetisi beban lalu lintas, atau tempat aspal menjadi lunak akibat meningkatnya suhu. Nilai VIM yang terlalu berakibat pada kurangnya kedekatan terhadap air dan udara sehingga akan mengakibatkan lapisan perkerasan mudah teroksidasi dan mengalami kerusakan, sedangkan nilai VIM yang terlalu kecil menyebabkan perkerasan mengalami *bleeding* jika suhu meningkat.

Tabel 3. Nilai Rekapitulasi VIM Limbah Beton Mutu Tinggi

No	Karakteristik Marshall	5	5.5	6	6.5	7	Spesifikasi
Fc'42		10.61	10.50	9.74	9.69	9.19	
Fc'47	VIM	6.98	6.60	5.66	5.54	5.53	3-5
Fc'50		6.67	5.93	5.39	5.31	5.11	

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 (Revisi 3), batasan nilai *Void In Mix* untuk AC-BC minimal 3% dan maksimal 5%. Berdasarkan grafik di atas nilai VIM seluruh campuran tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Namun ada beberapa campuran AC-BC dengan agregat limbah beton *fc*'47 dan *fc*'50 memiliki nilai VIM yang hampir mendekati nilai presentase maksimal. Ketiga campuran AC-BC memiliki tren yang sama yaitu semakin bertambah kadar aspal maka nilai VIM akan semakin turun (Gambar 2).



Gambar 2. Hubungan Kadar Aspal terhadap VIM

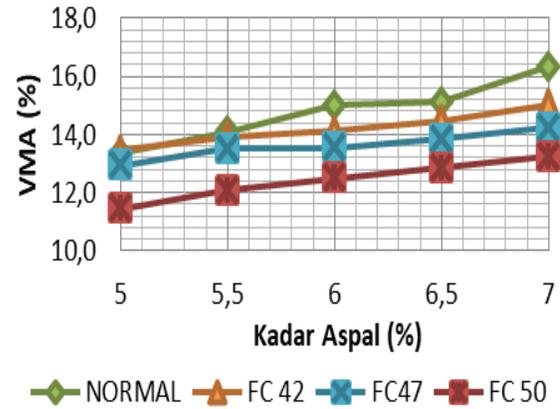
AC-BC dengan agregat limbah beton bermutu *fc'42* memiliki nilai VIM terendah pada kadar aspal 7% sebesar 9,190% dan nilai tertinggi terdapat pada kadar aspal 5% sebesar 10,612%. AC-BC dengan agregat limbah beton bermutu *fc'47* memiliki nilai VIM terendah pada kadar aspal 7% sebesar 5,530% dan nilai tertinggi terdapat pada kadar aspal 5% sebesar 6,984%. AC-BC dengan agregat limbah beton bermutu *fc'50* memiliki nilai VIM terendah pada kadar aspal 7% sebesar 5,116% dan nilai tertinggi terdapat pada kadar aspal 5% sebesar 6,677%. Nilai VIM sangat dipengaruhi oleh kadar penyerapan aspal pada agregat. Nilai penyerapan agregat limbah beton lebih dari 5% sehingga melebihi nilai penyerapan yang disyaratkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 (Revisi 3), yaitu sebesar 3%.

3.2 Hubungan Limbah Beton sebagai Pengganti Agregat Kasar dengan VMA

Voids in the Minerals Aggregate (VMA) adalah banyaknya pori-pori antara butir-butir agregat di dalam beton aspal pada dinyatakan dalam persentase dari volume campuran beton aspal. Nilai VMA ditentukan batas minimalnya oleh Departemen Pekerjaan Umum (2010b), yaitu 14% karena jika VMA terlalu rendah maka dapat *bleeding*.

Tabel 4. Nilai Rekapitulasi VMA Limbah Beton Mutu Tinggi

No	Karakteristik Marshall	5	5.5	6	6.5	7	Spesifikasi
Fc'42	VMA	13.08	13.92	13.11	14.46	15.06	> 14
Fc'47	VMA	12.94	13.50	13.55	13.84	14.23	> 14
Fc'50	VMA	11.44	12.07	12.50	12.84	13.22	> 14



Gambar 3. Hubungan Kadar Aspal terhadap VMA

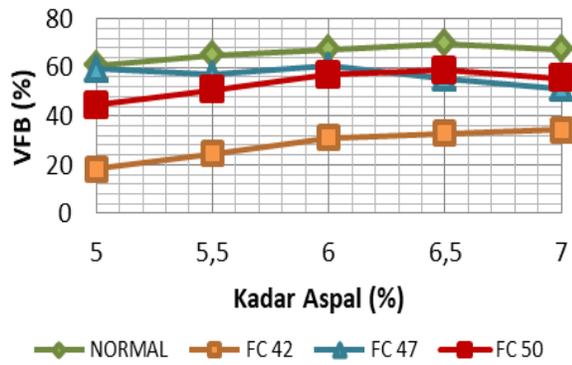
Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 (Revisi 3), batasan nilai *Void in Mineral Aggregate* untuk AC-BC minimal 14%. Nilai VMA untuk seluruh campuran sebagian memenuhi spesifikasi. Nilai VMA pada campuran AC-BC yang menggunakan agregat limbah beton dengan mutu *fc'42* memenuhi syarat spesifikasi pada kadar aspal 6%, 6,5%, dan 7%, sedangkan limbah beton dengan mutu *fc'47* memiliki nilai VMA yang memenuhi syarat spesifikasi hanya pada kadar aspal 7%, dan nilai VMA pada limbah beton dengan mutu *fc'50* tidak ada yang memenuhi syarat spesifikasi. Hal ini menunjukkan bahwa mutu agregat limbah beton pada *fc'42* memiliki nilai VMA yang cukup baik sedangkan agregat limbah beton *fc'47* dan *fc'50* memiliki hubungan yang sangat lemah dengan nilai VMA.

3.3 Hubungan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar dengan VFA

Voids Filled Asphalt (VFA) adalah volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal. VFA adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal tidak termasuk aspal yang terserap oleh agregat dengan demikian, aspal yang mengisi VFA adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat didalam beton aspal padat. Departemen Pekerjaan Umum (2010b) mensyaratkan nilai minimal yaitu 65%.

Tabel 5. Nilai Rekapitulasi VFA Limbah Beton Mutu Tinggi

No	Karakteristik Marshall	5	5.5	6	6.5	7	Spesifikasi
Fc'42	VFA	18.94	24.64	31.05	33.02	34.43	> 65
Fc'47	VFA	46.12	52.01	58.24	60.36	63.29	> 65
Fc'50	VFA	44.64	50.89	57.15	58.72	55.59	> 65



Gambar 4. Hubungan Kadar Aspal terhadap VFA

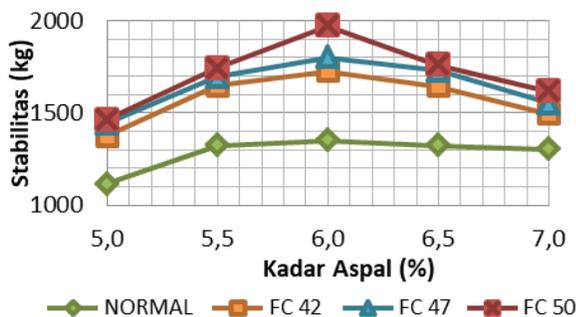
Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 (Revisi 3), batasan nilai VFA agregat untuk AC-BC minimal 65%. Nilai VFA sebagian besar campuran AC-BC tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan karena kadar aspal efektif yang seharusnya mengisi rongga dalam agregat (VMA) justru terserap ke dalam agregat limbah beton yang berdaya serap lebih dari 5%. Hal ini menunjukkan bahwa mutu agregat limbah beton memiliki hubungan yang sangat lemah dengan nilai VFA.

3.4 Hubungan Limbah Beton sebagai Pengganti Agregat Kasar dengan Stabilitas

Pemeriksaan stabilitas digunakan untuk mengukur kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis. Nilai stabilitas diperoleh dari pembacaan arloji ukur stabilitas yang dikalikan dengan nilai kalibrasi proving ring dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi tebal benda uji. Nilai stabilitas minimum yang diisyaratkan Bina Marga adalah 800 kg.

Tabel 6. Nilai Rekapitulasi Stabilitas Limbah Beton Mutu Tinggi

No	Karakteristik Marshall	5	5.5	6	6.5	7	Spesifikasi
Fc'42	Stabilitas	1374.3	1647.4	1723.3	1694.4	1493.7	> 800
Fc'47		1388.0	1693.9	1857.1	1726.6	1551.7	kg
Fc'50		1461.2	1743.1	1969.4	1759.6	1616.1	



Gambar 5. Hubungan kadar aspal terhadap stabilitas

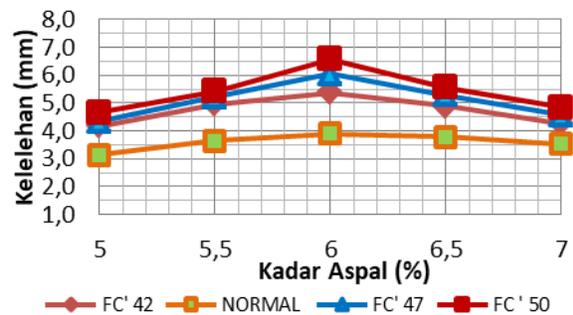
Gambar 5 menunjukkan bahwa bertambahnya kadar aspal sebagian besar maka akan semakin tinggi nilai stabilitasnya. Agregat limbah beton bermutu $fc'42$ menghasilkan stabilitas paling rendah, sedangkan agregat limbah beton bermutu $fc'50$ menghasilkan stabilitas paling tinggi. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga Tahun 2010 (Revisi 3), stabilitas AC-BC yang menggunakan agregat limbah beton bermutu $fc'42$, $fc'47$, dan $fc'50$ memenuhi spesifikasi. Pada campuran *asphalt concrete* dengan agregat batu nilai stabilitas akan naik saat kadar aspal ditambah sampai dengan titik puncak dan akan turun kembali saat kadar aspal terus ditambahkan. Sementara grafik pada campuran AC-BC dengan agregat kasar limbah beton stabilitas memenuhi syarat saat kadar aspal ditambahkan sampai dengan 7%. Hal ini terjadi karena agregat yang berasal dari limbah beton memiliki kadar penyerapan yang tinggi, porositas yang besar dan berat jenis kering yang kecil sehingga penyerapan aspal pada campuran AC-BC yang menggunakan limbah beton lebih besar dibanding penyerapan aspal pada campuran AC-BC dengan agregat batu alam. Hal ini menyebabkan kadar aspal efektif pada campuran dengan agregat kasar limbah beton menjadi kecil sehingga kadar aspal yang dibutuhkan tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa mutu agregat limbah beton memiliki hubungan berbanding terbalik yang lemah dengan nilai stabilitas.

3.5 Hubungan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar dengan Flow

Kelelahan (*Flow*) adalah besarnya deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi akibat beban. Nilai *Flow* diperoleh dari arloji *flowmeter* yang dinyatakan dalam satuan mm.

Tabel 7. Nilai Rekapitulasi *Flow* Limbah Beton Mutu Tinggi

No	Karakteristik Marshall	5	5.5	6	6.5	7	Spesifikasi
Fc'42	Flow	4.18	4.95	5.37	4.87	4.27	
Fc'47		4.32	5.20	6.03	5.28	4.57	2-4
Fc'50		4.66	5.76	6.56	5.54	4.84	



Gambar 6. Hubungan Kadar Aspal terhadap Kelelahan

Grafik pengaruh mutu agregat limbah beton dan kadar aspal terhadap flow, menunjukkan nilai flow dari ketiga campuran menunjukkan karakter yang sama yaitu dengan bertambahnya kadar aspal mengakibatkan nilai flow naik. Nilai flow berturut-turut dari nilai terendah sampai tertinggi adalah AC-BC dengan agregat limbah beton bermutu $fc'42$, AC-BC dengan agregat limbah beton bermutu $fc'47$ dan AC-BC dengan agregat limbah beton bermutu $fc'50$. AC-BC dengan agregat limbah beton bermutu $fc'42$, $fc'47$, dan $fc'50$ tidak ada yang memenuhi dikarenakan nilai *flow* yang lebih dari batas maksimal. Faktor penyebab tingginya nilai flow pada campuran AC-BC dengan agregat limbah beton adalah:

1. Daya lekat aspal dengan agregat limbah beton yang kurang karena permukaan agregat limbah beton cenderung berdebu dan sangat sulit untuk dibersihkan.
2. Butiran agregat limbah beton yang pecah saat dipadatkan menggunakan alat pemadat sehingga terdapat celah di antara pecahan butiran agregat yang tidak terisi oleh aspal.

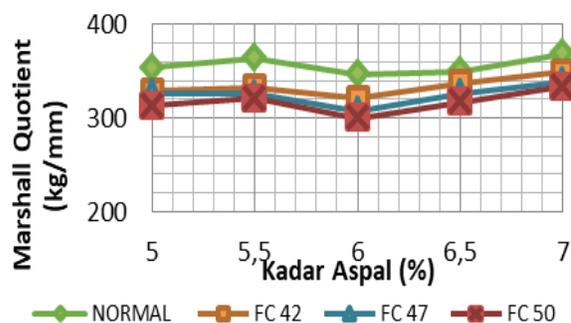
Hal ini menunjukkan bahwa mutu agregat limbah beton memiliki hubungan yang sangat lemah dengan nilai flow.

3.6 Hubungan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar dengan Marshall Quotient

Marshall Quotient (MQ) adalah rasio dari stabilitas terhadap kelelehan yang digunakan sebagai indikator kekakuan campur. Semakin tinggi nilai MQ semakin kaku suatu campuran. Faktor-faktor yang mempengaruhi Marshall Quotient (MQ) adalah pembagian butir agregat, bentuk butir, kadar aspal, kohesi, energy pemadatan, dan pemadatan.

Tabel 8. Nilai Rekapitulasi Marshall Quotient Limbah Beton Mutu Tinggi

No	Karakteristik Marshall	5	5,5	6	6,5	7	Spesifikasi
Fc'42	MQ	328.6	332.5	320.8	347.3	341.4	>
Fc'47		326.1	325.5	307.6	326.8	339.1	250
Fc'50		313.1	302.6	299.8	317.1	333.7	



Gambar 7. Hubungan Kadar Aspal terhadap Marshall Quotient

Grafik pengaruh mutu agregat limbah beton $fc'42$, $fc'47$, dan $fc'50$ dalam kadar aspal 5-7% menunjukkan nilai Marshall Quotient yang naik turun dikisaran 250 sampai dengan 350 kg/mm. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2010 (Revisi 3), agregat limbah beton mutu $fc'42$, $fc'47$, dan $fc'50$ memenuhi spesifikasi untuk nilai Marshall Quotient.

Dari hasil penelitian, didapatkan bahwa penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar dengan menggunakan $fc'42$, $fc'47$, dan $fc'50$ mempunyai nilai Marshall Quotient tertinggi yaitu: 341,4 kg/mm, 339,1 kg/mm dan 333,7 kg/mm. Sedangkan hasil Marshall Quotient terendah pada $fc'42$, $fc'47$, dan $fc'50$ yaitu: 320,8 kg/mm, 307,6 kg/mm dan 299,8 kg/mm.

Apabila dibandingkan dengan penelitian terdahulu, yaitu penelitian terdahulu (Ansori, 2017) yang menggunakan $fc'25$, $fc'35$ dan $fc'45$, nilai MQ tertinggi adalah: 214,31 kg/mm, 200,07 kg/mm dan 176,29 kg/mm, sedangkan untuk nilai terendahnya yaitu: 151,48 kg/mm, 142,20 kg/mm dan 130,14 kg/mm. Maka, dapat dibandingkan bahwa penelitian limbah beton sebagai pengganti agregat kasar yang dilakukan penulis mendapatkan hasil yang lebih baik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, analisis, dan pembahasan yang telah dilakukan pada campuran Laston (AC-BC) dengan menggunakan limbah beton bermutu $fc'42$, $fc'47$, dan $fc'50$ sebagai pengganti agregat kasar, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai Stabilitas tertinggi terhadap campuran AC –BC dengan agregat kasar limbah beton terdapat pada limbah beton $fc'50$, sebesar 1969,4 kg/mm dan terjadi pada kadar aspal 6%.
2. Nilai VIM terbaik terhadap campuran AC –BC dengan agregat kasar limbah beton terdapat pada limbah beton $fc'50$, dengan nilai sebesar 5,11% dan terjadi pada kadar aspal 7%.
3. Nilai VMA tertinggi terhadap campuran AC –BC dengan agregat kasar limbah beton terdapat pada limbah beton $fc'42$, sebesar 15,06% dan terjadi pada kadar aspal 7%.
4. Nilai MQ tertinggi terhadap campuran AC –BC dengan agregat kasar limbah beton terdapat pada limbah $fc'42$, sebesar 347,3 dan terjadi pada kadar aspal 6,5%.
5. Limbah beton mutu $fc'50$ dengan kadar aspal 7% memiliki kualitas terbaik di antara tiga variasi mutu beton dan memiliki nilai parameter Marshall yang mendekati pengujian marshall dengan agregat batu alam.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Ansori, B. A. (2017). Pengaruh Mutu Limbah Beton Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Kualitas Campuran Asphalt Concrete – Binder Course. *Jurnal Konstruksia*, 9(1), pp. 1-14.
- American Society for Testing and Materials (1994), *Annual Book of ASTM Standards*, Construction, Philadelphia, PA.
- Kementrian Pekerjaan Umum (2010a). *Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3*, Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Kementrian Pekerjaan Umum. (2010b). *Seksi 6.3 Spesifikasi Campuran Beraspal Panas*, Jakarta: Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. (2003). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Bandung: Nova.
- SNI 06-2456-1991. *Metode Pengujian Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 2417:2008. (2008). *Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.