

PEMANFAATAN LIMBAH BETON SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT KASAR PADA PERKERASAN LASTON ASPHALT CONCRETE – WEARING COARSE (AC-WC)

Fakultas Teknik Universitas Tidar

Naufal Imannurrohman¹, Sudarno¹, Muhammad Amin¹
naufalrohman87@gmail.com

ABSTRAK

Meningkatnya pembangunan infrastruktur seperti gedung, jembatan, jalan, dan berbagai fasilitas publik lainnya yang banyak menggunakan bahan beton dapat mengakibatkan kerusakan lingkungan akibat limbah beton yang tidak dilakukan penanganan dengan serius. Untuk membatasi penggunaan agregat baru (*fresh aggregate*) dari alam ini sudah banyak dikembangkan teknologi daur ulang untuk perkerasan jalan. Tujuan penelitian ini untuk Mengetahui pengaruh limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran laston (AC-WC) untuk perkerasan jalan raya terhadap nilai karakteristik *marshall*.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan pengujian *marshall* dengan percobaan serta perbandingan sesuai dengan kadar variasi limbah beton sebagai pengganti agregat kasar 0%, 10%, 15%, dan 20% dan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5% sesuai Spesifikasi Bina Marga Revisi 3 (2010). Metode analisis data pada penelitian ini menggunakan analisis ANOVA (*Analysis of Variance*) satu arah.

Hasil yang didapat dari pengujian ini dihasilkan pengaruh nilai karakteristik *marshall* dengan kadar aspal optimum 6% menggunakan limbah beton optimum 15% yang berpengaruh baik terhadap nilai karakteristik *marshall* seperti nilai stabilitas sebesar 1869,30 kg, *Flow* sebesar 3,33 mm, *VFB* sebesar 76,97%, *VMA* sebesar 16,64 %, *VIM* sebesar 3,83% dan *MQ* sebesar 590,97 kg/mm. Dengan demikian campuran tersebut sesuai dengan persyaratan Spesifikasi Teknis Bina Marga 2010, Revisi 3.

Kata Kunci : Limbah Beton, Karakteristik *Marshall*, Laston (AC-WC)

ABSTRACT

Increased infrastructure development such as buildings, bridges, roads, and various other public facilities that use a lot of concrete materials can cause environmental damage due to concrete waste that is not taken seriously. To limit the use of new aggregates from the nature, many recycling technologies for road pavement have been developed. The purpose of this study was to determine the effect of concrete waste as a substitute for coarse aggregate in the laston mixture (AC-WC) for road pavement on the characteristic value of Marshall.

This research uses marshall experimental and testing methods with experiments and comparisons according to the levels of concrete waste variations as a substitute for coarse aggregate of 0%, 10%, 15%, and 20% and variations in asphalt content of 5%, 5.5%, 6%, 6.5% according to the Bina Marga Specification (2010) revision 3. Data analysis method in this study uses one-way ANOVA (Analysis of Variance) analysis.

The results obtained from this test produced the effect of Marshall characteristics with an optimum asphalt content of 6% using optimum concrete waste 15% which has a good effect on the Marshall characteristics values such as stability values of 1869.30 kg, Flow of 3.33 mm, VFB of 76, 97%, VMA 16.64%, VIM 3.83% and MQ 590.97 kg / mm. Therefore the mixture is in accordance with the requirements of the Technical Specifications of Bina Marga 2010, Revision 3.

Keyword: Waste Concrete, Marshall Characteristic, Laston (AC-WC)

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkerasan jalan adalah suatu struktur perkerasan diletakkan diatas tanah yang berfungsi untuk menampung beban lalu lintas yang melintasi diatasnya. Secara struktural lapisan perkerasan jalan harus dapat menerima dan meyebarkan beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti pada konstruksi jalan itu sendiri. Bila ditinjau dari bahan campurannya, perkerasan jalan terbagi menjadi tiga macam, yaitu Perkerasan lentur (*flexible pavement*), Perkerasan kaku (*rigid pavement*), Perkerasan gabungan (*composite pavement*) (Djoko Sulistiono, 2005).

Pertumbuhan ekonomi di Indonesia yang signifikan membawa konsekuensi terhadap pendapatan per kapita dalam jumlah besar. Dalam keadaan ini yang mengakibatkan meningkatnya pembangunan infrastruktur seperti gedung, jembatan, jalan, dan berbagai fasilitas publik lainnya yang banyak menggunakan bahan beton (Selvy Yasra, 2014). Penggunaan bahan limbah beton dapat menghemat sumber

daya alam dan biaya sekitar 20 untuk 40 persen dibandingkan dengan pekerjaan konstruksi dengan bahan baru serta penggunaan bahan bangunan yang tepat, efisien, dan ramah lingkungan, dan perlu dilakukan pengembangan teknologi infrastruktur jalan dengan menggunakan daur ulang dengan memanfaatkan limbah beton sebagai agregat daur ulang (Sudarno, 2015).

Untuk membatasi penggunaan agregat baru (*fresh aggregate*) dari alam ini sudah banyak dikembangkan teknologi daur ulang untuk perkerasan jalan. Penggunaan bahan limbah untuk perkerasan jalan yang baru sudah banyak dilakukan (Arys Andhikatama, 2013). Dari permasalahan tersebut timbullah pemikiran untuk melakukan penelitian dalam inovasi beton yang di manfaatkan sebagai penambahan campuran laston untuk perkerasan jalan raya dengan adanya penelitian tersebut diharapkan dapat mengurangi limbah beton yang ada dimasyarakat dan dapat hasilkan stabilitas perkerasan jalan raya yang baik (Heru Hariyadi, dkk., 2018)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka timbul rumusan masalah yang akan diteliti yaitu bagaimanakah Pengaruh limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran laston (AC-WC) untuk perkerasan jalan raya terhadap nilai karakteristik *marshall* serta berapakah nilai komposisi limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran laston (AC-WC) yang akan menghasilkan campuran optimum

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran laston (AC-WC) untuk perkerasan jalan raya terhadap nilai karakteristik *marshall*
2. Mengetahui nilai komposisi limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada campuran laston (AC-WC) yang akan menghasilkan campuran optimum

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mengurangi masalah mengenai limbah beton yang dihasilkan dari reruntuhan bangunan yang sudah tidak terpakai sebagai pengganti agregat kasar pada campuran laston (AC-WC) untuk perkerasan jalan raya.
2. Dapat menjadi referensi ataupun acuan dalam penelitian-penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan pengaruh limbah beton sebagai pengganti kasar pada campuran laston (AC-WC) untuk perkerasan jalan raya.
3. Mengetahui nilai karakteristik *marshall* yang memiliki nilai stabilitas dan *marshall quotient* yang baik sehingga bisa dimanfaatkan sebagai campuran laston (AC-WC) untuk perkerasan jalan raya.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini agar tidak terjadi perluasan dalam pembahasan, maka diberikan batasan-batasan secara teknis sebagai berikut:

1. Aspal yang digunakan adalah aspal pertamina pen 60/70.
2. Menggunakan limbah beton dengan kadar 0%, 10%, 15%, 20%
3. Limbah beton yang digunakan dari *batching plant* PT. Armada Hada Graha
4. Agregat halus menggunakan pasir dari Sungai Progo
5. Menggunakan agregat kasar dari *stone crusher* yang diambil dari Sungai Progo
6. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3
7. Perubahan kimiawi tidak ditinjau

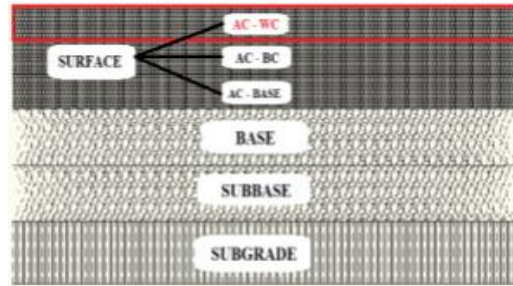
LANDASAN TEORI

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat yang dipakai adalah batu pecah, batu belah batu kali ataupun hasil samping peleburan baja. Bahan ikat yang dipakai diantara aspal, semen ataupun tanah liat (Heru Hariyadi, 2018). perkerasan jalan pun bertujuan untuk melayani secara aman dan nyaman pada kondisi yang dipersyaratkan selama umur rencananya.

2.2 Lapis Aspal Beton (Laston)

Lapis aspal beton adalah campuran yang terdiri dari atas agregat yang mempunyai gradasi menerus dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu yang umum digunakan pada lalu-lintas berat. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3 pada Divisi VI, lapis aspal beton mempunyai 3 macam yaitu AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC), AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*). Untuk lebih jelasnya seperti Gambar 1



Gambar 1. Struktur perkerasan lentur

2.3 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya berupa hasil alam atau buatan (Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2010). Berdasarkan ukuran butir agregat dibagi dalam 3 jenis yaitu:

1. Agregat kasar
Fraksi agregat kasar untuk agregat ini adalah agregat yang tertahan di atas saringan 2,36 mm (No.8), menurut saringan ASTM.
2. Agregat halus
Agregat halus adalah material yang lolos saringan No.8 (2,36mm) dan tertahan saringan no.200 (0,075mm).
3. Bahan pengisi (*Filler*)
Bahan pengisi (*filler*) merupakan bahan yang 75% lolos ayakan no. 200, dapat terdiri dari abu batu, abu batu kapur, kapur padam, semen (PC) atau bahan non plastis lainnya

2.3 Limbah Beton

Menurut Arys Andhikatama (2013) 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 limbah beton adalah material beton dari hasil penghancuran beton struktur yang sudah tidak terpakai lagi yang diambil dari pembangunan konstruksi atau renovasi gedung. Meminimalkan limbah beton yang berkelanjutan dapat mengurangi limbah beton yang dapat merusak lingkungan (Sudarno, 2017).

2.5 Gradasi Agregat

Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase berat masing-masing contoh yang lolos pada saringan tertentu. Persentase ini ditentukan dengan menimbang agregat yang lolos atau tertahan pada masing-masing saringan. Batasan untuk gradasi campuran agregat Laston AC-WC ditunjukkan pada Tabel 1

Tabel.1. Spesifikasi Gradasi Agregat Laston AC-WC

Ukuran Ayakan		% Berat yang lolos AC - WC	
ASTM	(mm)	Gradasi Halus	Gradasi Kasar
1	25		
¾	19	100	100
½	12,5	90 – 100	90 – 100
3/8	9,5	72 – 90	72 – 90
No 4	4,75	54 – 69	43 – 63
No 8	2,36	39,1 – 40	28 – 39,1
No 16	1,18	31,6 – 40	19 – 25,6
No 30	0,6	23,1 – 30	13 – 19,1
No 50	0,3	15,5 – 22	9 – 15,5
No 100	0,15	9 – 15	6 – 13
No 200	0,075	4 – 10	4 – 10

2.6 Aspal

Aspal adalah material utama pada konstruksi lapis permukaan lentur (*flexible pavement*) jalan raya, yang berfungsi sebagai bahan pengikat karena mempunyai daya lekat yang kuat, mempunyai sifat adhesif, kedap air dan mudah dikerjakan. Aspal didefinisikan sebagai material perekat berwarna hitam atau coklat tua dengan unsur utama bitumen.

Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi (Silvia Sukirman, 2003).

2.7 Job Mix Formula (JMF)

Job Mix Formula atau komposisi campuran didasarkan pada fraksi *Coarse agregat 3/4"*, *Medium agregat 1/2"*, Pasir, dan Filler. Dari analisa komposisi gradasi diperoleh komposisi campuran agregat sebagai campuran benda uji. Untuk mengetahui besarnya kadar aspal optimum untuk suatu campuran aspal dilakukan dengan membuat aspal variasi (Yudhi Pratama, 2018)

2.8 Volumetrik Campuran

Volumetrik campuran aspal beton yang dimaksud adalah volume benda uji campuran setelah dipadatkan. Perhitungan volume campuran beraspal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut :

1 Berat jenis bulk

adalah perbandingan antara berat bahan di udara (termasuk rongga yang cukup kedap dan yang menyerap air) pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air suling serta volume yang sama pada suhu tertentu pula.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- Gsb = Berat jenis *bulk* total agregat
- P₁, P₂, ... P_n = Persentase masing-masing fraksi agregat
- G₁, G₂, ... G_n = Berat jenis bulk masing-masing fraksi agregat

2 Berat jenis efektif agregat

Berat jenis efektif adalah perbandingan antara berat bahan di udara (tidak termasuk rongga yang menyerap aspal) pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air destilasi dengan volume yang sama dan suhu, tertentu pula

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

- Gse = Berat jenis efektif agregat
- P_{mm} = Persentase berat total campuran (=100)
- G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara 0 (Nol)
- P_b = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum
- G_b = Berat jenis aspal

3 Berat jenis campuran maksimum

Berat jenis maksimum campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung dengan menggunakan berat jenis efektif (Gse)

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

- G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara 0 (Nol).
- P_{mm} = Persentase berat total campuran (=100), P berdasarkan berat jenis maksimum.
- P_s = Kadar agregat persen terhadap berat total campuran.
- G_{se} = Berat jenis efektif agregat.
- G_b = Berat jenis aspal.

4 Penyerapan aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total tidak terhadap campuran

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} - G_b \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

- P_{ba} = Penyerapan aspal, persen total agregat
- G_{sb} = Berat jenis *bulk* agregat
- G_{se} = Berat jenis efektif agregat
- G_b = Berat jenis aspal

2.9 Pengujian Marshall

Pengujian Marshall dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas dan nilai kelelahan (flow), serta analisa kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Pengujian Marshall pada campuran AC-WC digunakan untuk mencari data dari persyaratan campuran dan memperoleh hasil perhitungan akhir dari sifat-sifat Marshall seperti:

1 Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani.

2 Kelelahan (flow)

Ketahanan terhadap kelelahan (flow) merupakan kemampuan beton aspal dalam menerima lendutan berulang akibat dari repetisi beban, tanpa terjadi kerusakan kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai apabila mempergunakan kadar aspal yang optimal

3 Voids Filled Bitumen (VFB)

Voids Filled Bitumen (VFB), menyatakan prosentase rongga udara yang terisi aspal pada campuran yang sudah mengalami pemadatan.

$$VFB = 100 - \frac{VMA - VIM}{VMA} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

- VFB = Volume Pori Antar Butir Agregat
- VMA = Volume Pori Antar Agregat didalam Campuran
- VIM = Voids In the Mix

4 Voids In Mineral Aggregate (VMA)

Voids In Mineral Aggregate (VMA) adalah rongga udara yang ada diantara mineral agregat diantara campuran aspal yang sudah dipadatkan. Nilai VMA dinyatakan dalam persen (%).

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

- VMA = Volume Pori Antar Agregat didalam Campuran
- G_{mb} = Berat Jenis *Bulk* Campuran
- P_s = Kadar Agregat
- G_{sb} = Berat Jenis *Bulk* dari Agregat

5 Voids In Mix (VIM)

Voids In Mix (VIM) merupakan banyaknya rongga di antara butir – butir agregat yang doselimuti aspal. VIM dinyatakan dalam presentase terhadap volume beton aspal

$$VIM = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan :

- VIM = Void in the Mix
- G_{mm} = berat jenis maksimum campuran
- G_{mb} = Berat jenis *Bulk* Campuran

6 Marshall Quotient (MQ)

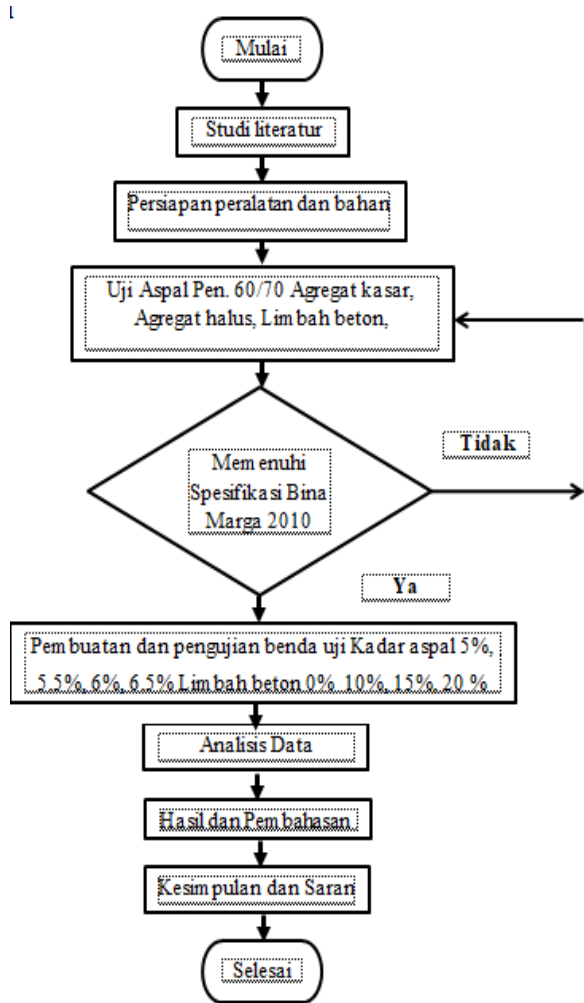
Nilai Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan(flow) dan merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas campuran.

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} \dots\dots\dots(8)$$

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bagan Alur Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 2 Bagan alur penelitian

3.2 Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan Laboratorium DPUPR Kabupaten Magelang dengan metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode desain empiris secara eksperimen yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan percobaan guna mendapatkan data. Data tersebut diolah untuk mendapat suatu hasil perbandingan perbandingan dengan syarat-syarat yang ada dan dianalisis berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3. Penyelidikan eksperimen dapat dilakukan diluar ataupun didalam laboratorium. Tujuan utama dari penelitian adalah menentukan kadar campuran optimum limbah beton yang digunakan sebagai pengganti agregat kasar pada campuran laston (AC-WC).

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan metode eksperimen terhadap beberapa benda uji dari berbagai kondisi perlakuan dilaboratorium. Teknik pengumpulan data mencakup pengumpulan data primer dan data sekunder.

Data primer yaitu data yang diperoleh secara langsung dari pelaksanaan penelitian di laboratorium yaitu :

1. Uji aspal
 - a. Uji Penetrasi Aspal
 - b. Uji Titik Lembek
 - c. Uji Berat Jenis

2. Uji agregat
 - a. Agregat kasar, meliputi analisa saringan, penyerapan, dan keausan agregat
 - b. Agregat halus, meliputi analisa saringan dan penyerapan
3. Uji *Marshall*

Data sekunder yang diperoleh dari data yang telah ada dan dari buku-buku ilmiah yang masih berhubungan dengan penelitian ini.

3.4. Prosedur Pelaksanaan

1. Pemeriksaan bahan agregat
Pemeriksaan yang dilakukan pada material agregat yaitu meliputi pemeriksaan keausan agregat, berat jenis agregat, dan gradasi agregat.
2. Pemeriksaan bahan aspal
Aspal yang akan digunakan perlu dilakukan pemeriksaan agar diketahui kualitasnya. Adapun pemeriksaan terhadap aspal yaitu pengujian penetrasi, pengujian titik lembek, dan berat jenis
3. Pembuatan *Job Mix Formula*
Pada tahap ini akan dihasilkan kadar komposisi yang optimum. Berpedoman pada kadar aspal yang sudah disyaratkan dalam Spesifikasi Teknis Bina Marga 2010. Kadar aspal yang digunakan sebesar 5%, 5,5%, 6%, 6,5%.. Kemudian penambahan limbah beton kadar 0%, 10%, 15%, 20% sesuai prosentase jumlah campuran agregat kasar. Penambahan persentase kadar aspal, bahan pengisi (filler) dan limbah beton dihitung berdasarkan berat campuran benda uji sebesar 1200 gr.
4. Pembuatan benda uji

Berdasarkan komposisi optimum atau komposisi yang terpilih sesuai Spesifikasi Teknis Bina Marga 2010 kemudian dibuat masing-masing 5 benda uji. Adapun kebutuhan benda uji tersebut seperti ditunjukkan pada Tabel.2.

Tabel.2. Variasi Benda Uji

Kadar aspal	Kadar limbah beton				Jumlah benda uji
	0%	10%	15%	20%	
5 %	5	5	5	5	20
5,5 %	5	5	5	5	20
6 %	5	5	5	5	20
6,5 %	5	5	5	5	20
Jumlah total					80 buah

5. Pengujian Marshall

Dilakukan uji Marshall untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (flow) benda uji sesuai Spesifikasi Teknis Bina Marga Tahun 2010. Parameter Marshall yang dihitung antara lain: VIM, VMA, VFB, berat volume serta parameter sesuai yang terdapat pada spesifikasi campuran.

6. Analisis Anova Satu Arah

Metode yang akan digunakan adalah metode anova satu arah. Anova digunakan untuk melihat perbandingan rata-rata beberapa kelompok biasanya lebih dari dua kelompok. Anova satu arah digunakan pada kelompok yang digunakan berasal dari sampel yang berbeda tiap kelompok.

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

1. Pengujian Aspal

Pengujian yang dilakukan pada aspal dengan menggunakan aspal pertamina penetrasi 60/70. Hasil yang didapatkan dari pemeriksaan aspal dapat ditunjukkan pada Tabel 3

Tabel 3 Pengujian Aspal

No	Jenis Pemeriksaan	Syarat		Nilai Karakteristik
		Min	Maks	
1	Penetrasi, 10gr, 25°C 5 detik	60 mm	70 mm	66,5 mm
2	Titik Lembek	≥48°C		53°C
3	Berat jenis (25°C)	≥1,0 gr/cc		1,028 gr/cm ³

2. Pengujian agregat kasar

Hasil pemeriksaan agregat kasar (CA) ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5

Tabel 4 pengujian agregat kasar $\frac{3}{4}$

No	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat
1	Berat Jenis <i>Bulk</i> (gr/cc)	2,559	Min. 2,500
2	Berat Jenis SSD (gr/cc)	2,615	Min. 2,500
3	Berat Jenis Semu (gr/cc)	2,711	Min. 2,500
4	Penyerapan air	2,192	Maks 3%
5	Keausan	25,08	Maks 40%

Tabel 5 pengujian agregat kasar $\frac{1}{2}$

No	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat
1	Berat Jenis <i>Bulk</i> (gr/cc)	2,571	Min. 2,500
2	Berat Jenis SSD (gr/cc)	2,630	Min. 2,500
3	Berat Jenis Semu (gr/cc)	2,734	Min. 2,500
4	Penyerapan air	2,314	Maks 3%
5	Keausan	33,96	Maks 40%

3. Pengujian limbah beton

Hasil pemeriksaan limbah beton ditunjukkan pada Tabel 6

Tabel 6 pengujian limbah beton

No	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat
1	Berat Jenis <i>Bulk</i> (gr/cc)	2,593	Min. 2,500
2	Berat Jenis SSD (gr/cc)	2,669	Min. 2,500
3	Berat Jenis Semu (gr/cc)	2,805	Min. 2,500
4	Penyerapan air	2,921	Maks 3%
5	Keausan	29,152	Maks 40%

4. Pengujian agregat halus

Hasil pemeriksaan agregat halus (FA) ditunjukkan pada Tabel 7

Tabel 7 pengujian agregat halus

No	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat
1	Berat Jenis <i>Bulk</i> (gr/cc)	2,569	Min. 2,500
2	Berat Jenis SSD (gr/cc)	2,622	Min. 2,500
3	Berat Jenis Semu (gr/cc)	2,725	Min. 2,500
4	Penyerapan air	2,239	Maks 3%

5. Pengujian Marshall

Pengujian *Marshall* terhadap campuran beton aspal AC-WC disajikan sebagai berikut

A. Nilai Stabilitas

hasil dari pengujian dengan nilai stabilitas pada setiap kadar aspal yang sudah ditentukan seperti ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8 Nilai Stabilitas

Kadar aspal	Kadar Limbah Beton				Syarat (min) kg
	0 %	10 %	15 %	20 %	
5 %	1389,42	1579,14	1674,00	1880,46	800
5,5 %	1417,32	1629,36	1740,96	1919,52	
6 %	1461,96	1785,60	1869,30	2070,18	
6,5 %	1422,90	1707,48	1830,24	1969,74	

B. Nilai Kelelahan (flow)

Berdasarkan hasil didapatkan hasil nilai kelelahan seperti ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9 Nilai Kelelahan (flow)

Kadar aspal	Kadar Limbah Beton				Syarat (mm)
	0 %	10 %	15 %	20 %	
5 %	3,50	3,22	3,25	3,05	2 - 4
5,5 %	3,42	3,08	3,17	2,88	
6 %	3,63	3,32	3,33	3,13	2 - 4
6,5 %	3,72	3,52	3,42	3,32	

C. Nilai *Voids Filled Bitumen* (VFB)

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* pada penelitian yang sudah dilaksanakan di laboratorium didapatkan hasil nilai *Voids Filled Bitumen* seperti tertera dalam Tabel 10.

Tabel 10 Nilai VFB

Kadar aspal	Kadar Limbah Beton				Syarat (min) %
	0 %	10 %	15 %	20 %	
5 %	73,61	71,84	69,87	67,87	65 %
5,5 %	76,49	75,45	73,39	71,18	
6 %	78,66	78,91	76,97	74,28	
6,5 %	81,58	80,32	79,17	77,46	

D. Nilai *Voids Mineral Aggregate* (VMA)

Hasil yang didapatkan pada pengujian nilai *Voids In Mineral Aggregate* (VMA) pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11 Nilai VMA

Kadar aspal	Kadar Limbah Beton				Syarat (min) %
	0 %	10 %	15 %	20 %	
5 %	14,40	14,81	15,21	15,64	15 %
5,5 %	15,26	15,55	15,96	16,43	
6 %	16,19	16,25	16,64	17,18	
6,5 %	16,99	17,25	17,50	17,86	

E. Nilai *Voids In Mix* (VIM)

Pengujian *Voids In Mix* (VIM) untuk mengetahui besar nilai persentase rongga yang terdapat dalam campuran. Ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12 Nilai VIM

Kadar aspal	Kadar Limbah Beton				Syarat %
	0 %	10 %	15 %	20 %	
5 %	3,80	4,17	4,58	5,08	3 - 5
5,5 %	3,59	3,82	4,25	4,73	
6 %	3,45	3,43	3,83	4,42	
6,5 %	3,13	3,39	3,65	4,03	

F. Nilai *Marshall Quotient* (MQ)

Pengujian nilai *Marshall Quotient* (MQ) bertujuan untuk mengetahui hasil bagi yang diperoleh antara nilai stabilitas dibagi dengan nilai kelelahan (*flow*). Ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13 Nilai *Marshall Quotient*

Kadar aspal	Kadar Limbah Beton				Syarat (min) kg
	0 %	10 %	15 %	20 %	
5 %	373,90	449,27	490,14	567,23	250
5,5 %	390,59	492,44	522,52	613,43	
6 %	428,13	580,15	590,97	719,53	
6,5 %	406,71	531,10	564,12	646,85	

4.2. Pembahasan

1. Pengujian Aspal

Pengujian penetrasi didapatkan nilai sebesar 66,5 mm dengan rentang pengujian penetrasi persyaratan minimal sebesar 60 mm dan maksimal sebesar 70 mm, sehingga untuk hasil dari pengujian penetrasi aspal penetrasi 60/70 sudah **memenuhi persyaratan**.

Pengujian titik lembek aspal didapatkan nilai titik lembek didapat sebesar 53°C dengan persyaratan minimal sebesar ≥ 48 °C sehingga untuk hasil dari pengujian uji titik lembek aspal penetrasi 60/70 tersebut **memenuhi persyaratan**.

Pengujian berat jenis aspal didapatkan sebesar 1,028 gr/cm³ dengan persyaratan minimal sebesar $\geq 1,0$ gr/cc sehingga untuk hasil dari pengujian berat jenis aspal penetrasi 60/70 tersebut **memenuhi persyaratan**.

2. Pengujian Agregat Kasar

Berdasarkan Tabel 4 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar ¾ (CA), pengujian agregat kasar didapatkan hasil sebagai berikut:

- a Berat Jenis Bulk (gr/cc) diketahui sebesar 2,559 gr/cc dengan persyaratan minimal sebesar 2,5 gr/cc, berarti **memenuhi**.
- b Berat Jenis SSD (gr/cc) diketahui sebesar 2,615 gr/cc dengan persyaratan minimal sebesar 2,5 gr/cc, berarti **memenuhi**.
- c Berat Jenis Semu (gr/cc) diketahui sebesar 2,711 gr/cc dengan persyaratan minimal sebesar 2,5 gr/cc, berarti **memenuhi**.
- d Penyerapan air diketahui sebesar 2,192 % dengan persyaratan maksimal sebesar 3%, berarti **memenuhi**
- e Keausan agregat diketahui sebesar 25,08 % dengan persyaratan maksimal sebesar 40%, berarti **memenuhi**

Berdasarkan Tabel 5 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar ½ (CA), pengujian agregat kasar didapatkan hasil sebagai berikut:

- a Berat Jenis Bulk (gr/cc) diketahui sebesar 2,571 gr/cc dengan persyaratan minimal sebesar 2,5 gr/cc, berarti **memenuhi**.
- b Berat Jenis SSD (gr/cc) diketahui sebesar 2,630 gr/cc dengan persyaratan minimal sebesar 2,5 gr/cc, berarti **memenuhi**.
- c Berat Jenis Semu (gr/cc) diketahui sebesar 2,734 gr/cc dengan persyaratan minimal sebesar 2,5 gr/cc, berarti **memenuhi**.
- d Penyerapan air diketahui sebesar 2,314 % dengan persyaratan maksimal sebesar 3%, berarti **memenuhi**
- e Keausan agregat diketahui sebesar 33,96 % dengan persyaratan maksimal sebesar 40%, berarti **memenuhi**

3. Pengujian Limbah Beton

Berdasarkan Tabel 6 Hasil Pemeriksaan Limbah Beton, didapatkan hasil sebagai berikut:

- a Berat Jenis Bulk (gr/cc) diketahui sebesar 2,593gr/cc dengan persyaratan minimal sebesar 2,5 gr/cc, berarti **memenuhi**.
- b Berat Jenis SSD (gr/cc) diketahui sebesar 2,669 gr/cc dengan persyaratan minimal sebesar 2,5 gr/cc, berarti **memenuhi**.
- c Berat Jenis Semu (gr/cc) diketahui sebesar 2,805 gr/cc dengan persyaratan minimal sebesar 2,5 gr/cc, berarti **memenuhi**.
- d Penyerapan air diketahui sebesar 2,921 % dengan persyaratan maksimal sebesar 3%, berarti **memenuhi**
- e Keausan agregat diketahui sebesar 29,15 % dengan persyaratan maksimal sebesar 40%, berarti **memenuhi**

4. Pengujian Agregat Halus

Berdasarkan Tabel 4.5 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus didapatkan hasil sebagai berikut:

- a. Berat Jenis Bulk (gr/cc) diketahui sebesar 2,569 gr/cc dengan persyaratan minimal sebesar 2,5 gr/cc, berarti **memenuhi**.
- b. Berat Jenis SSD (gr/cc) diketahui sebesar 2,622 gr/cc dengan persyaratan minimal sebesar 2,5 gr/cc, berarti **memenuhi**.
- c. Berat Jenis Semu (gr/cc) diketahui sebesar 2,725 gr/cc dengan persyaratan minimal sebesar 2,5 gr/cc, berarti **memenuhi**.
- d. Penyerapan air diketahui sebesar 2,239 % dengan persyaratan maksimal sebesar 3%, berarti **memenuhi**

5. Pengujian Marshall

Pengujian Marshall terhadap campuran beton aspal AC-WC disajikan sebagai berikut

A. Nilai Stabilitas

Berdasarkan Tabel 8 Hasil pengujian stabilitas didapatkan hasil bahwa nilai stabilitas pada kadar aspal yang sudah ditentukan **memenuhi** syarat Spesifikasi Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3 dengan nilai stabilitas minimal sebesar 800 Kg.

B. Nilai Kelehan (Flow)

Berdasarkan Tabel 9 Hasil pengujian kelelahan (*flow*) menunjukkan bahwa nilai kelelahan (*flow*) pada semua kadar aspal yang sudah ditentukan mampu **memenuhi** syarat semua sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3 dengan rentang nilai kelelahan (*flow*) minimal sebesar 2,00 mm dan maksimal 4,00 mm.

C. Voids Filled Bitumen (VFB)

Berdasarkan Tabel 10 hasil pengujian *Voids Filled Bitumen* (VFB) menunjukkan bahwa pada semua kadar aspal yang sudah ditentukan mampu **memenuhi** syarat semua sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3 dengan rentang nilai minimum VFB sebesar 65%.

D. Voids Mineral Aggregate (VMA)

Berdasarkan Tabel 11 didapatkan hasil bahwa nilai *Voids In Mineral Aggregate* (VMA) pada kadar limbah beton 0% dan 10%, dan kadar aspal 0% sebesar 14,40% dan 14,81% **tidak memenuhi** syarat sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010, Revisi 3, yaitu dengan nilai minimal Nilai *Voids In Mineral Aggregate* (VMA) sebesar 15%.

E. Voids In Mix (VIM)

Berdasarkan Tabel 12 didapatkan hasil pengujian untuk penelitian ini pada campuran limbah beton 20 % dengan kadar aspal 5% didapatkan nilai *Voids In Mix* (VIM) sebesar 5,03% **tidak memenuhi** syarat sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010, Revisi 3 yaitu dengan rentang nilai *Voids In Mix* (VIM) minimal sebesar 3% dan maksimal 5%.

F. Marshall Quotient (MQ)

Berdasarkan Tabel 13 Hasil pengujian *Marshall Quotient* (MQ) didapatkan bahwa nilai MQ pada kadar aspal yang sudah ditentukan **memenuhi** syarat semua sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 Revisi 3 dengan nilai stabilitas minimal sebesar 250 Kg/mm.

Pembahasan dari hasil pengujian-pengujian terhadap beberapa kadar aspal yang telah dilaksanakan pada penelitian ini apabila diubah dalam bentuk grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 3 Grafik Kadar Aspal Optimu dengan kadar aspal optimum didapat dari rentang kadar aspal sebesar 5 % sampai dengan kadar aspal sebesar 6,5 %. Dengan kadar kadar limbah beton 15% dan kadar aspal sebesar 6% didapatkan nilai – nilai marshall yang sesuai syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2010, Revisi 3.



Gambar 3 Grafik Kadar Aspal Optimum

Sehingga hasil uji marshall yang menghasilkan campuran optimum ditunjukkan pada Tabel 14

Tabel 14 Hasil Uji Marshall Optimum

NO	Pengujian	Syarat Spesifikasi	Kadar Aspal 6 % + limbah beton 15 %	Keterangan
1.	Stabilitas	Min 800 kg	1869,30 kg	Memenuhi
2.	Kelelahan (Flow)	2 – 4 mm	3,33 mm	Memenuhi
3.	Voids Filled Bitumen	Min 65 %	76,97 %	Memenuhi
4.	Voids In Mineral Aggregate (VMA)	Min 15 %	16,64 %	Memenuhi
5.	Voids In Mix (VIM)	3 – 5 %	3,83 %	Memenuhi
6.	Marshall Quotient (MQ)	250 kg/mm	590,97 kg/mm	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 14 Hasil Uji Marshall dengan kadar aspal optimal sebesar 6% didapatkan hasil dengan nilai stabilitas sebesar 1869,30 kg sehingga sudah melampaui nilai minimum sebesar 800 kg, stabilitas sudah **memenuhi** syarat spesifikasi. Nilai kelelahan (*flow*) didapatkan hasil sebesar 3,33 mm dengan syarat spesifikasi dari 2 – 4 mm, kelelahan (*flow*) sudah **memenuhi** syarat spesifikasi. Nilai *Voids Filled Bitumen* (VFB) atau rongga terisi aspal didapatkan hasil sebesar 76,97 % sehingga sudah melampaui nilai minimum yang disyaratkan sebesar 65 %, *Voids Filled Bitumen* (VFB) sudah **memenuhi** syarat spesifikasi. Nilai *Voids In Mix* (VIM) atau rongga dalam campuran didapatkan hasil sebesar 3,83 % dengan syarat spesifikasi dari 3 – 5 %, sehingga *Voids In Mix* (VIM) sudah **memenuhi** syarat spesifikasi. Nilai *Voids In Mineral Aggregate* (VMA) atau rongga di antara mineral agregat didapatkan hasil sebesar 16,64 % sehingga sudah melampaui nilai minimum yang disyaratkan sebesar 15 %, *Voids In Mineral Aggregate* (VMA) sudah **memenuhi** syarat spesifikasi. Nilai *Marshall Quotient* (MQ) didapatkan hasil sebesar 542,44kg/mm sehingga sudah melampaui nilai minimum yang disyaratkan sebesar 250 kg/mm, *Marshall Quotient* (MQ) sudah **memenuhi** syarat spesifikasi. Jadi, hasil uji *Marshall* dalam penelitian ini seluruhnya memenuhi persyaratan Spesifikasi Teknis Bina Marga Tahun 2010, Revisi 3.

6. Metode Anova Satu Arah

Hasil dari analisa metode *ANOVA* (*Analysis of Variance*) satu arah dapat dilihat pada Tabel 15

Tabel 15 Hasil Anova Satu Arah

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	603273,6	3	201091,2	34,13754	3,72E-06	3,490295
Within Groups	70687,41	12	5890,618			
Total	673961	15				

Berdasarkan Tabel 4.13 Analisa Metode *ANOVA* (*Analysis of Variance*) satu arah didapatkan hasil dengan

tingkat kepercayaan sebesar 95 %. Tabel uji *ANOVA* terdapat 7 kolom dan 3 baris. Kolom pertama adalah *Source of Variation* yaitu sumber variasi yang terdiri *Between Groups* yang menunjukkan perlakuan dan *Within Groups* yang menunjukkan galat serta jumlah dari keduanya. Kolom kedua adalah *SS* (*Sum Of Square*) atau jumlah dari kuadrat, untuk baris pertama atau regresi mempunyai nilai 603273,6 dan untuk baris kedua atau sisa *SS* (*Sum Of Square*) sebesar 70687,41 sedangkan total adalah 673961. Kolom ketiga adalah *df* atau derajat kebebasan, untuk baris pertama nilainya 3, baris kedua nilainya 12, dan total pada baris ketiga adalah 15. Kolom keempat adalah *MS* (*Mean Square*) atau rata-rata kuadrat, untuk baris-baris pertama (regresi) nilai *MS*-nya pada 201091,2 baris kedua (sisa) 5890,618. Kolom kelima adalah *F* hitungan sebesar 34,13754 dan didapat nilai *p-value* atau probabilitas dan didapat 3,72E-06 atau 0,0000372. Kolom ketujuh adalah *F* critical atau *F* tabel, didapatkan nilai sebesar 3,490295.

Berdasarkan Tabel 4.13 Analisa Metode *ANOVA* Satu Arah ditunjukkan nilai $F > F_{crit}$ maka H_0 diterima dan H_a ditolak, maka rata-rata hasil benda uji dengan penambahan limbah beton menjadikan nilai stabilitas *Marshall* pada benda uji semakin besar, dengan demikian penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar yang digunakan sangat berpengaruh terhadap dicapainya nilai stabilitas *Marshall* pada campuran AC – WC dari hasil uji *Marshall*.

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian serta analisis data dan pembahasan yang sudah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan limbah beton pada perkerasan laston AC-WC mempengaruhi karakteristik Marshall yaitu pada nilai Stabilitas, Flow, VIM, VFB, VMA, dan MQ hasil analisis statistik. Dengan hasil sebagai berikut : nilai stabilitas yang dicapai pada kadar aspal optimum 6% tanpa limbah beton sebesar **1461,96 kg**, sedangkan dengan limbah beton 15% sebesar **1869,30 kg**. Nilai flow yang dicapai pada kadar aspal optimum 6% tanpa limbah beton sebesar **3,42 mm**, sedangkan dengan limbah beton 15% sebesar **3,17 mm**. Nilai VIM yang dicapai pada kadar aspal optimum 6% tanpa limbah beton sebesar **3,45%**, sedangkan dengan limbah beton 15% sebesar **3,83%**. Nilai VFB yang dicapai pada kadar aspal optimum 6% tanpa limbah beton sebesar **78,66%**, sedangkan dengan limbah beton 15% sebesar **76,97%**. Nilai VMA yang dicapai pada kadar aspal optimum 6% tanpa limbah beton sebesar **16,19%**, sedangkan dengan limbah beton 15% sebesar **16,64%**. Nilai MQ yang dicapai pada kadar aspal optimum 6% tanpa limbah beton sebesar **428,13 kg/mm**, sedangkan dengan limbah beton 15% sebesar **590,97 kg/mm**.
2. Berdasarkan nilai karakteristik *Marshall* kadar optimum campuran AC-WC didapatkan pada kadar limbah beton 15% dengan menggunakan aspal pertamina pen 60/70 kadar aspal sebesar 6% berpengaruh baik terhadap nilai karakteristik *marshall* seperti Stabilitas sebesar 1869,30 kg, *Flow* sebesar 3,17 mm, VFB sebesar 76,97%, VMA sebesar 16,64 %, VIM sebesar 3,83% dan MQ sebesar 590,97 kg/mm. dengan demikian campuran tersebut sesuai dengan persyaratan Spesifikasi Teknis Bina Marga 2010, Revisi 3.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang sudah dilaksanakan dapat dikemukakan beberapa saran guna mendapat hasil yang lebih akurat pada penelitian berikutnya:

1. Masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pemanfaatan limbah beton dengan kadar dan metode yang berbeda

2. Perlu dilakukan penelitian dengan lebih memperhatikan limbah beton yang digunakan dengan mutu beton tinggi.
3. Penelitian dapat dikembangkan dengan penambahan bahan aditif ataupun dengan perlakuan yang berbeda sehingga dapat memperbaiki nilai karakteristik *marshall* pada campuran AC-WC dengan limbah beton.
4. Adanya hasil penelitian pada campuran lain juga dibutuhkan agar dapat digunakan sebagai pembanding.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainurrahman, Eros. 2013. *Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pengganti Pada Lapis Perkerasan Asphaltic Concrete – Wearing Course (Ac-Wc)*. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta
- Anas Tahir, 2009, *Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara*, Universitas Tadulaka, Palu.
- Andhikutama, Arys. 2013. *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course Gradasi Kasar*. Universitas Muhammadiyah Surakarta: Surakarta
- Bardosono, Hari, dkk. 2010. *Pemanfaatan Beton Daur Ulang Sebagai Substitusi Agregat Kasar Pada Beton Mutu Tinggi*. Institut Teknologi Nasional: Bandung
- Bina Marga, 2010, *Spesikasi Umum 2010 (Revisi 2)*.
- Bina Marga, 2010, *Spesikasi Umum 2010 (Revisi 3)*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. (2010). *Lapis Resap Pengikat dan Lapis Perekat*, Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta, Indonesia.
- Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. *Divisi VI Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3*. Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum : Jakarta
- Fuad Izzatur Rahman, dkk. 2015. *Kajian Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Material Cement Treated Base (CTB)*. Universitas Brawijaya: Malang
- Hariyadi, Heru, dkk. 2018. *Pengaruh Ukuran Crumb Rubber Mesh #80 dan Mesh #120 (Serbuk Limbah Ban Karet) pada Penambahan Campuran Laston untuk Perkerasan Jalan*. Universitas Tidar: Magelang
- Hariyadi, Heru. 2019. *Pengaruh Kadar Bottom Ash Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Halus Pada Campuran Laston (AC-WC)*. Universitas Tidar: Magelang
- Mirka Pataras, dkk. 2017. *Pengaruh Tumpahan Bahan Bakar Minyak Dan Oli Terhadap Kinerja Campuran Laston-WC Dengan Menggunakan Metode Marshall*. Universitas Sriwijaya: Palembang
- Pratama, Yudhi. 2019. *Pengaruh Campuran Limbah Abu Terbang Batu Bara (Fly Ash) Sebagai Filler Pada Asphalt Concrete – Wearing Course*. Universitas Tidar: Magelang
- Prawiro, Bangun., dkk. 2014. *Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Porus Dengan Tambahan Gilsonite*. Universitas Brawijaya: Malang
- Rahmanto, Agus 2018. *Penggunaan Material Daur Ulang Ruas Jalan Muntilan Dukun Pada Campuran Lapis Pondasi Atas Asphalt Treated Base (ATB)*. Universitas Tidar: Magelang.
- Rum, Harnaeni Senja, dkk. 2013. *Tinjauan Stabilitas Pada Lapisan Aus Dengan Menggunakan Limbah Beton Sebagai Pengganti Sebagian Agregat Kasar*. Universitas Muhammadiyah Surakarta: Surakarta
- Sudarno, 2015. *Influence of Virgin Material on Cement Treated Recycling Base (CTRB) Construction*. International Journal of Applied Engineering Research.
- Sudarno. 2017. *Analysis Influence Of Cement Of The Asphalt Pavement Demolition Material On Roads Semarang-Demak-Indonesia*. Journal of Urban and Environmental Engineering.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova, Bandung.
- Sukirman, 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.
- Suprpto, Heri. 2009. *Studi Sumber Agregat Halus Dan Pengaruhnya Dalam Pembuatan Beton Normal*. Universitas Gunadarma: Jakarta
- Utomo, Budi. 2017. *Analisis Marshall Properties Asphalt Concrete Dan Hot Rolled Sheet Menggunakan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar*. Universitas Muhammadiyah Surakarta: Surakarta
- Yasra, Selvi. 2014. *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Agregat Pengganti Pada Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (Ac-Bc)*. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta