

PENGUNAAN LIMBAH BETON DAN ASBUTON BGA DALAM PEMBUATAN ASPHALT CONCRETE WEARING COARSE (AC-WC)

Raden Faiz Raditya Kamil

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
E-mail : faizraditya14@gmail.com

Yogie Risdianto, S.T., M.T.

Dosen S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
E-mail : yogierisdianto@unesa.ac.id

Abstrak

Perkerasan lentur ada beberapa macam, salah satunya adalah jenis *Asphalt Concrete (AC)* yaitu campuran aspal, agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. AC biasanya menggunakan batu pecah sebagai agregat kasar. *Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC)* adalah lapis aspal beton yang letaknya di bagian paling atas lapis perkerasan dan berhubungan langsung dengan roda kendaraan.

Batu pecah yang terus menerus digunakan dalam jumlah yang besar dapat menimbulkan kerusakan lingkungan di sekitar tempat penambangan. Diperlukan adanya penelitian mengenai penggantian agregat kasar batu pecah pada campuran AC, salah satunya menggunakan limbah beton mutu tinggi yang berasal dari bekas tiang pancang yang dihancurkan pada bagian yang tidak tertanam dalam tanah.

Bahan lokal yang belum dimanfaatkan secara optimal adalah aspal alam dari pulau Buton yang sering disebut Aspal Buton (Asbuton). Penyelidikan Mc. Namara Consultant (Ismail, AG, 1997) menyatakan bahwa cadangan aspal di pulau Buton mencapai 200 juta ton. Oleh karena itu banyak penelitian dilakukan untuk mencoba memanfaatkan aspal Buton ini secara optimal. Asbuton yang digunakan pada penelitian ini ialah jenis Buton *Granular Asphalt (BGA)*. Pemanfaatan BGA sebagai agregat pada penelitian ini didasari pada penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya.

Campuran agregat untuk membuat AC-WC yang paling efektif ialah dengan komposisi agregat bin 1 (BGA) 45%, agregat bin 2 (limbah beton) 34%, agregat bin 3 (limbah beton) 20% dan *filler (flyash)* 1%. Hasil pengujian komposisi tersebut didapat nilai stabilitas sebesar 1701,9 kg, *flow* sebesar 2,03 mm, *void in mix (vim)* sebesar 3,47%, *void filled with bitumen (vfb)* sebesar 70,83%, dan *marshal quotinet (mq)* sebesar 867,55 kg/mm.

Kata Kunci: *Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC)*, Limbah beton, Asbuton BGA, Komposisi AC-WC yang efektif.

Abstract

There are several kinds of flexible pavement, one of which is the type of Asphalt Concrete (AC), which is a mixture of asphalt, coarse aggregate, fine aggregate, and filler. Air conditioners usually use broken stones as coarse aggregates. Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC) is a layer of asphalt concrete which is located at the very top of the pavement layer and is directly related to the wheels of the vehicle.

Continuous crushed stone used in large quantities can cause damage to the environment around the mine. There needs to be research on the replacement of coarse aggregate in a mixture of crushed stone AC, one of which uses high-strength concrete waste from the former piling destroyed in parts that are not embedded in the soil.

Local materials that have not been used optimally are natural asphalt from the island of Buton which is often called Asphalt Buton (Asbuton). Investigation of Mc. Namara Consultant (Ismail, AG, 1997) stated that asphalt reserves on the island of Buton reached 200 million tons. Therefore a lot of research has been done to try to make optimum use of this Buton asphalt. Asbuton used in this study is a type of Buton Granular Asphalt (BGA). The use of BGA as an aggregate in this study is based on research that has been done before.

The most effective mixture of aggregates to make AC-WC is 45% bin 1 (BGA) aggregate, bin 2 aggregate (concrete waste) 34%, bin 3 aggregate (concrete waste) 20% and filler (flyash) 1%. The composition test results obtained stability values of 1701.9 kg, flow of 2.03 mm, void in mix (vim) of 3.47%, void filled with bitumen (vfb) of 70.83%, and marshal quotinet (mq) amounting to 867.55 kg / mm.

Keywords: *Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC)*, Concrete waste, Buton Asphalt BGA, Effective AC-WC composition.

PENDAHULUAN

Jalan merupakan sarana yang penting bagi masyarakat untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain. Perencanaan Perkerasan jalan perlu memperhatikan aspek-aspek jalan seperti kenyamanan bagi pengguna jalan, kekuatan jalan, keamanan, dll. Perkerasan jalan terdapat dua macam yaitu perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Perkerasan yang paling banyak digunakan di Indonesia ialah perkerasan lentur karena lebih nyaman dilalui.

Perkerasan lentur ada beberapa macam, salah satunya adalah jenis *Asphalt Concrete* (AC) yaitu campuran aspal, agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. AC biasanya menggunakan batu pecah sebagai agregat kasar. Lapisan yang terdapat pada AC yaitu AC-WC, AC-BC, AC-Base. Penelitian ini akan fokus membahas pada lapisan *Asphalt Concrete Wearing Coarse* (AC-WC) yang letaknya terdapat di bagian paling atas lapisan dan berhubungan langsung dengan roda kendaraan.

Batu pecah yang terus menerus digunakan dalam jumlah yang besar dapat menimbulkan kerusakan lingkungan di sekitar tempat penambangan. Diperlukan adanya penelitian mengenai penggantian agregat kasar batu pecah pada campuran AC, salah satunya menggunakan limbah beton mutu tinggi yang berasal dari bekas tiang pancang yang dihancurkan pada bagian yang tidak tertanam dalam tanah.

Berdasarkan uraian diatas dapat disimpulkan bahwa limbah yang dihasilkan cukup banyak karena pada dasarnya 1 – 10 persen dari material yang digunakan dalam pekerjaan konstruksi akan menjadi limbah (Suprpto, Heri, 2009). Berdasarkan penelitian jumlah limbah padat yang dihasilkan dalam pembangunan proyek konstruksi mencapai 20-30% di Brazil dan 1-10% di Belanda (Ekayanake, 2000). Limbah ini jika tidak segera ditangani akan menyebabkan masalah baru, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian agar dapat mengurangi jumlah limbah beton di dunia dan dapat membuat limbah beton memiliki nilai ekonomis.

Campuran *Asphalt concrete* juga terdiri dari *filler* yang dalam penelitian kali ini menggunakan *fly ash*. *Fly ash* merupakan sisa pembakaran batu bara pada pembangkit listrik. *Fly ash* mudah didapat dan harganya terjangkau, selain itu *Fly ash* dapat meningkatkan daya ikat aspal beton, dan diharapkan dapat meningkatkan stabilitas pada campuran AC.

Di antara bahan lokal yang belum dimanfaatkan secara optimal adalah aspal alam dari pulau Buton yang sering disebut Aspal Buton (Asbuton). Proses terjadinya Asbuton karena adanya gerakan kulit bumi yang menyebabkan terjadinya penurunan dan retak-retak pada kulit bumi. Akibat adanya tekanan di dalam kulit bumi menyebabkan minyak bumi keluar melalui batuan yang porous bersama aspal, sehingga aspal bersama minyak bumi akan meresap ke lapisan batuan tersebut (Totomihardjo, 1995). Menurut penyelidikan Mc. Namara Consultant (Ismail, AG, 1997) cadangan aspal di pulau Buton mencapai 200 juta ton. Oleh karena itu banyak penelitian dilakukan untuk mencoba memanfaatkan aspal Buton ini secara optimal.

Asbuton yang digunakan pada penelitian ini ialah jenis Buton *Granular Asphalt* (BGA). Pemanfaatan BGA sebagai agregat pada penelitian ini didasari pada penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya.

KAJIAN PUSTAKA

Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur adalah perkerasan yang menggunakan bahan campuran beraspal sebagai lapisan permukaan serta bahan berbutir sebagai lapisan dibawahnya.

Lapis Aspal Beton

Lapis aspal beton (Laston) biasa juga disebut sebagai Asphalt Concrete (AC). AC adalah salah satu jenis campuran beraspal yang digunakan sebagai lapis permukaan pada perkerasan lentur. Campuran AC adalah campuran beraspal yang terdiri dari agregat yang merupakan komposisi pembagian butiran yang merata mulai dari ukuran yang terbesar sampai ukuran yang terkecil dan aspal yang kemudian dicampur pada suhu tertentu sesuai dengan jenis aspal yang digunakan, diamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu.

AC terdiri dari tiga macam campuran, yaitu Laston Lapis Aus AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Coarse*), Laston Lapis Pengikat AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Coarse*) dan Laston Lapis Pondasi AC-Base (*Asphalt Concrete Base*). (Menurut spesifikasi campuran beraspal Kementerian Pekerjaan Umum 2010).

Agregat Kasar

Agregat kasar adalah material yang tertahan pada saringan no.8 (2,36 mm).

Agregat Halus

Agregat halus merupakan hasil desintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Agregat halus adalah material yang lolos saringan no.8 (2,36mm).

Filler (pengisi)

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 *Fly ash*.

Asbuton BGA (*Buton Granular Asphalt*)

Buton Granular Asphalt (BGA) adalah produk aspal alam yang siap pakai dengan mutu yang terjaga serta telah diproses sedemikian rupa sehingga bitumennya keluar ke permukaan butiran. BGA mengandung Kurang Lebih 25% bitumen dan berbentuk butiran halus dengan ukuran maksimal 2,36 mm (lolos saringan No.8).

Void In Mix (VIM)

Void In Mix (VIM) adalah volume rongga terhadap volume total sehingga dapat menunjukkan banyaknya rongga dalam campuran agregat.

$$VIM = 100 - \frac{100 \times \text{berat volume } b.u}{BJ \text{ max teoritis}} \quad (\text{SNI } 06-2489-1991)$$

Keterangan :

Void In Mix : rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

BJ max teoritis : berat jenis campuran maximum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

Void Filled with Bitumen (VFB)

Void Filled with Bitumen (VFB) adalah rongga dalam benda uji yang terisi aspal (dalam %).

$$VFB = 100 \times \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \quad (\text{SNI } 06-2489-1991)$$

Keterangan :

VFB : rongga udara terisi aspal (%)

VMA: rongga udara mineral agregat (%)

VIM : rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

Void in Mineral Agregate (VMA)

Void in Mineral Agregate (VMA) menunjukkan besarnya pori-pori diantara butir agregat (dalam %)

$$VMA = 100 - \frac{(100 - \% \text{aspal}) \times \text{berat volume b.u}}{BJ \text{ agregat}} \quad (\text{SNI } 06-2489-1991)$$

Keterangan :

- VMA : rongga uadara pada mineral agregat (%)
- % aspal : kadar aspal terhadap campuran (%)
- BJ agregat : berat jenis efektif

Flow (kelelahan)

Menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada suatu lapis perkerasan akibat menahan beban.

Stabilitas

Menunjukkan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa adanya perubahan bentuk seperti bleeding.

Marshall Quotient (MQ)

Menunjukkan hasil bagi stabilitas dan flow dinyatakan dalam kg/mm.

$$MQ = \frac{MS}{MF} \quad (\text{SNI } 06-2489-1991)$$

Keterangan :

- MQ : marshall quotient (kg/mm)
- MS : marshall stability (kg)
- MF : flow marshall (mm)

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental atau penelitian yang dilakukan di laboratorium AMP PT. Merakindo mix dan labolatorium Universitas Negeri Surabaya. Metode penelitian eksperimental merupakan suatu penelitian yang dilakukan untuk mencari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel yang lain dengan kondisi yang terkontrol secara ketat dan dilakukan di laboratorium dengan urutan kegiatan yang sistematis untuk memperoleh data yang berguna sebagai dasar pembuatan kesimpulan. Jenis penelitian yang akan dilakukan adalah penelitian kuantitatif, merupakan bentuk penelitian yang spesifikasinya sistematis, terencana dan terstruktur dengan jelas dari awal sampai pembuatan mix design penelitian. Berikut ini urutan metode penelitian yang dilakukan :

A. Subjek Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan penggunaan limbah beton dan asbuton BGA sebagai agregat dalam campuran AC-WC. Sehingga diharapkan dapat memberikan alternatif penggunaan agregat dari batu pecah dan dapat memberikan manfaat material limbah yang semula tidak memiliki nilai menjadi material yang bernilai dan memberikan hasil kinerja jalan yang baik pada perkerasan jalan.

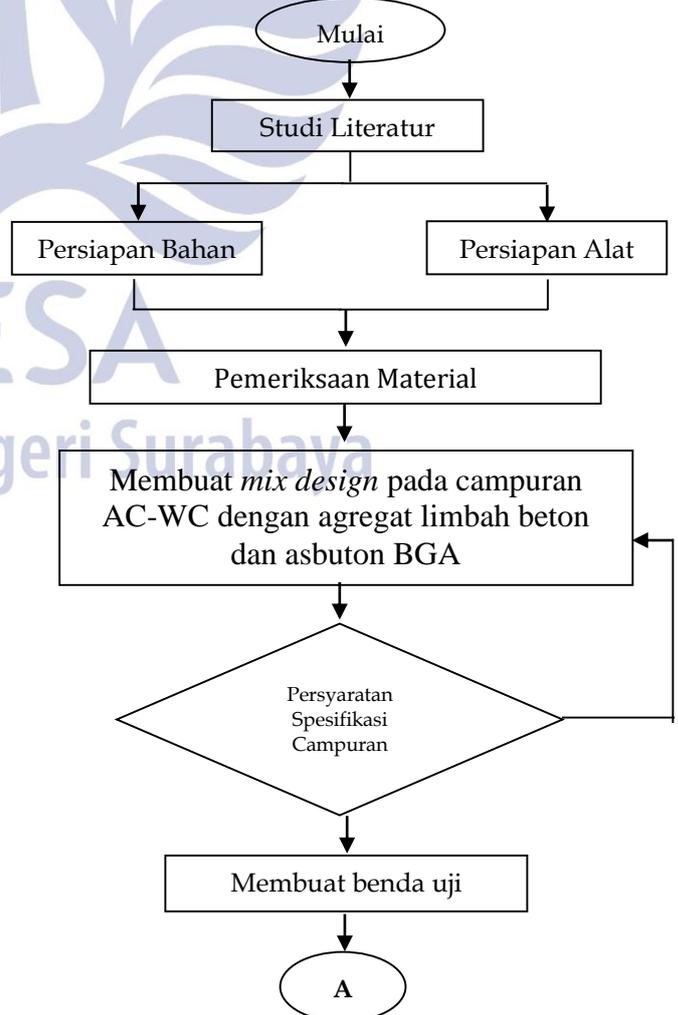
B. Rancangan Penelitian

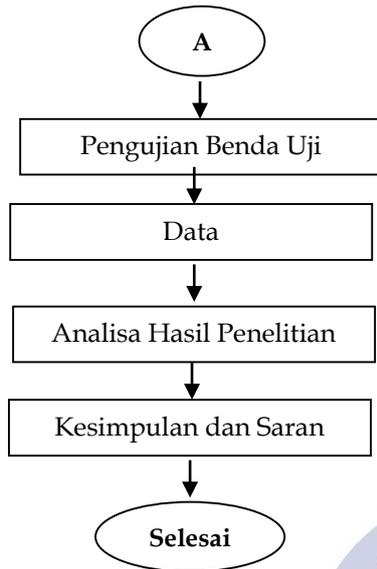
Bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian campuran AC-WC diuji terlebih dahulu karakteristik material mulai dari agregat yaitu limbah beton dan asbuton BGA, pengujian terhadap karakteristik aspal pen 60/70. Pengujian agregat adalah

pengujian gradasi butiran dan pengujian berat jenis yang menggunakan acuan spesifikasi bina marga divisi 6 2010, sedangkan pengujian karakteristik aspal 60/70 yaitu penetrasi pengujian penetrasi, titik lembek, penurunan berat aspal, daktilitas yang mengacu pada spesifikasi SNI divisi 6 2010.

Setelah dilakukan pengujian material, langkah pertama yaitu *trial and error* 9 komposisi gradasi agregat limbah beton sebagai bin 2 dan bin 3, asbuton BGA sebagai bin 1, dan *fly ash* sebagai *filler*, kemudian 9 komposisi tersebut diuji dengan menggunakan kadar aspal sebanyak 5,2% yang merupakan kadar aspal efektif untuk campuran AC-WC bergradasi halus menurut spesifikasi umum bina marga divisi 6 2010 perkerasan jalan untuk menentukan komposisi gradasi terbaik dari 9 komposisi tersebut. Setelah mendapat komposisi gradasi terbaik maka selanjutnya dibuat campuran AC-WC dengan 7 variasi kadar aspal pen 60/70 yang berbeda mulai dari 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%. Pembuatan benda uji untuk menentukan kadar aspal optimum berjumlah 14 buah.

Menganalisis data dengan mengidentifikasi hasil dari pengujian benda uji menurut parameter marshall dan menentukan KAO. Pengujian marshall menggunakan alat marshall test menghasilkan nilai berat benda uji, *dial* stabilitas, dan *dial flow*. Selanjutnya nilai-nilai yang didapat tersebut dihitung menggunakan rumus VIM, VMA, VFB, MQ sesuai dengan standart SNI 06 1991 dan ASTM D 1559-76.





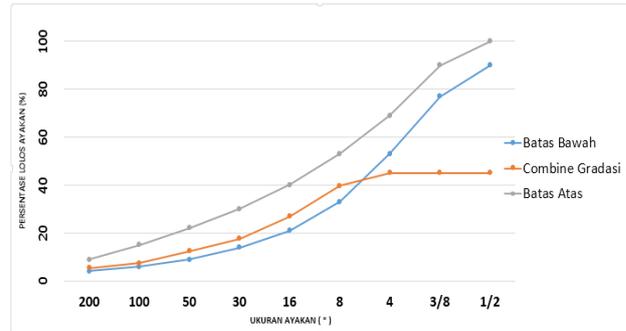
Gambar 1. Bagan Alur Penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah menyiapkan alat dan bahan kemudian melakukan uji bahan yaitu uji gradasi dan berat jenis untuk agregat limbah beton dan asbuton BGA, sedangkan untuk uji pada aspal pen 60/70 adalah uji penetrasi untuk mengetahui karakteristik dari aspal tersebut. Campuran AC-WC terdiri dari agregat halus, agregat sedang dan agregat kasar. Berikut adalah hasil ayakan yang menentukan posisi limbah beton dan asbuton BGA sebagai agregat sesuai dengan spesifikasi batas atas dan bawah ayakan pada bina marga divisi 6 tahun 2010.

Tabel 1. Gradasi Asbuton BGA

Ukuran saringan	BGA (BIN 1)		Limbah Beton (BIN 2)		Limbah Beton (BIN 3)		Total	Spesifikasi
	Lolos	45%	Lolos	0%	Lolos	0%		
3/4"	100	45,0	100	0,00	100	0,00	45,0	100
1/2"	100	45,0	100	0,00	81,2	0,00	45,0	90 - 100
3/8"	100	45,0	86,6	0,00	44,7	0,00	45,0	77 - 90
4	100	45,0	32,4	0,00	11,6	0,00	45,0	53 - 69
8	88,20	45,0	8,6	0,00	1,6	0,00	39,7	33-53
16	59,84	39,7	3,1	0,00	1,1	0,00	26,9	21-40
30	39,29	26,9	1,4	0,00	0,00	0,00	17,7	14-30
50	27,77	17,7	0,00	0,00	0,00	0,00	12,5	9-22
100	16,58	12,5	0,00	0,00	0,00	0,00	7,5	6-15
200	11,94	7,5	0,00	0,00	0,00	0,00	5,4	4-9

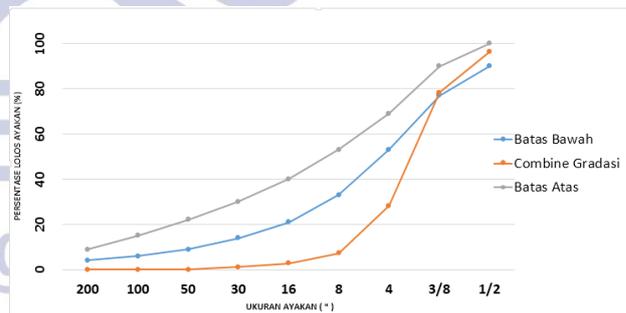


Gambar 2. Grafik Gradasi Asbuton BGA.

Dilihat dari grafik diatas bahwa asbuton BGA dapat menempati posisi agregat halus pada campuran AC-WC karena pada posisi lolos ayakan nomor 8 tidak keluar dari batas atas dan bawah spesifikasi bina marga divisi 6 tahun 2010.

Tabel 2. Gradasi Limbah Beton

Ukuran saringan	BGA (BIN 1)		Limbah Beton (BIN 2)		Limbah Beton (BIN 3)		Total	Spesifikasi
	Lolos	0%	Lolos	80%	Lolos	20%		
3/4"	100	0,00	100	80,0	100	20,0	100,0	100
1/2"	100	0,00	100	80,0	81,2	16,24	96,24	90 - 100
3/8"	100	0,00	86,6	69,28	44,7	8,94	78,22	77 - 90
4	100	0,00	32,4	25,92	11,6	2,32	28,24	53 - 69
8	88,20	0,00	8,6	6,88	1,6	0,32	7,20	33-53
16	59,84	0,00	3,1	2,48	1,1	0,22	2,70	21-40
30	39,29	0,00	1,4	1,12	0,00	0,0	1,12	14-30
50	27,77	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	9-22
100	16,58	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	6-15
200	11,94	0,00	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	4-9



Gambar 3. Grafik Gradasi Limbah Beton

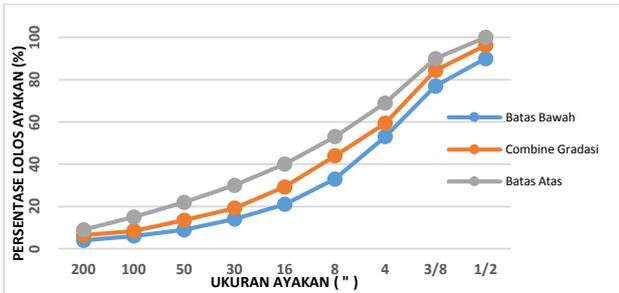
Dilihat dari gambar 3 bahwa limbah beton dapat menempati posisi agregat kasar pada campuran AC-WC karena pada posisi lolos ayakan nomor 1/2 dan 3/8 tidak keluar dari batas atas dan bawah spesifikasi bina marga divisi 6 tahun 2010. Komposisi rancangan campuran terbagi menjadi 4 fraksi yaitu :

- 1) Agregat kasar limbah beton (10mm-15mm)
- 2) Agregat medium limbah beton (5mm-10mm)
- 3) Agregat halus asbuton BGA (0mm-5mm)
- 4) *Filler fly ash*

Dilakukan 9 kali *trial and error* untuk menentukan proporsi komposisi yang baik dari setiap fraksi agregat yang memenuhi spesifikasi bina marga divisi 6 tahun 2010. Berikut adalah hasil komposisi terbaik dari *trial and error* yang dilakukan:

Tabel 3. Komposisi Gradasi Agregat Limbah beton dan Asbuton BGA Pada AC-WC

Uk. saringan	Limbah Beton Bin 3		Limbah Beton Bin 2		BGA Bin 1		Fly Ash Filler		Total
	Lolos	20%	Lolos	34%	Lolos	45%	Lolos	1%	
3/4"	100	20,00	100	34,00	100	45,0	100	8,0	100
1/2"	81,20	16,24	100	34,00	100	45,0	100	8,0	94
3/8"	44,70	8,94	86,60	29,44	100	45,0	100	8,0	72
4	11,60	2,32	32,40	11,02	100	45,0	100	8,0	53
8	1,60	0,32	8,60	2,92	88,20	39,7	100	8,0	35
16	1,10	0,22	3,10	1,05	59,84	26,9	100	8,0	24
30	0,00	0,00	1,40	0,48	39,29	17,7	100	8,0	19
50	0,00	0,00	0,00	0,00	27,77	12,5	100	8,0	15
100	0,00	0,00	0,00	0,00	16,58	7,5	99,25	7,9	11
200	0,00	0,00	0,00	0,00	11,94	5,4	99,1	7,9	9



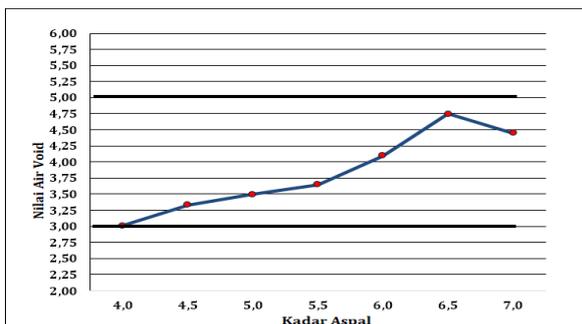
Gambar 4. Grafik Komposisi Gradasi Agregat campuran AC-WC

Tabel 3 dan gambar 4 diatas menunjukkan komposisi campuran AC-WC menggunakan limbah beton dan asbuton BGA sebagai agregat dengan prosentase agregat halus asbuton BGA 45%, agregat sedang limbah beton 34%, agregat kasar limbah beton 20%, dan filler fly ash 1%. Campuran dengan komposisi tersebut memenuhi spesifikasi gradasi ayakan bina marga divisi 6 tahun 2010 karena tidak lebih atau kurang dari batas atas dan bawah spesifikasi.

Selanjutnya adalah pembuatan benda uji menggunakan komposisi agregat diatas dengan 7 variasi kadar aspal mulai dari 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Nilai-nilai yang perlu diperhatikan untuk mengetahui kinerja benda uji dengan limbah beton dan asbuton LGA sebagai agregat antara lain adalah stabilitas, flow, VIM, VMA, VFB, dan MQ. Pengujian yang dilakukan terhadap benda uji adalah pengujian marshall untuk mengetahui karakteristik dari campuran tersebut.

A. Hasil Analisis Terhadap Nilai VIM

Nilai VIM (*Void In Mix*) merupakan nilai banyaknya rongga dalam campuran beraspal yang sudah dipadatkan. *Air Void* dinyatakan dalam presentase terhadap volume campuran aspal padat. Lengkung grafik *Air Void* atau VIM akan terus menurun dengan bertambahnya kadar aspal sampai secara ultimit mencapai nilai minimum atau tidak mengalami kenaikan secara drastis sehingga terbentuk garis konstan.

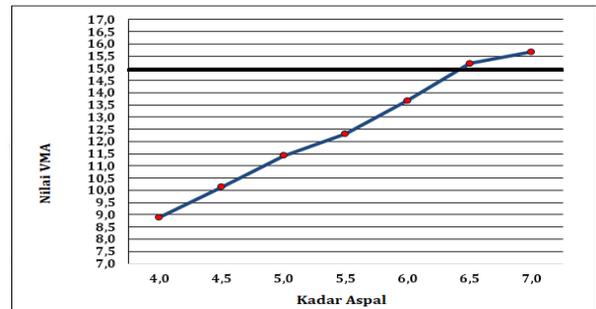


Gambar 5. Grafik Nilai VIM

Gambar 5 menunjukkan lapisan aspal beton AC-WC dengan menggunakan asbuton butir Tipe BGA dan limbah beton sebagai pengganti agregat kadar aspal 4,0% sampai dengan 7,0% sesuai dengan spesifikasi yang dikeluarkan oleh bina marga 2010 divisi 6 yaitu dengan nilai minimum 3 dan maksimal 5.

B. Hasil Analisis Terhadap Nilai VMA

VMA (*Voids in the Mineral Agregate*) menjelaskan banyaknya pori di antara butir-butir agregat di dalam campuran aspal padat, dinyatakan dalam presentase.

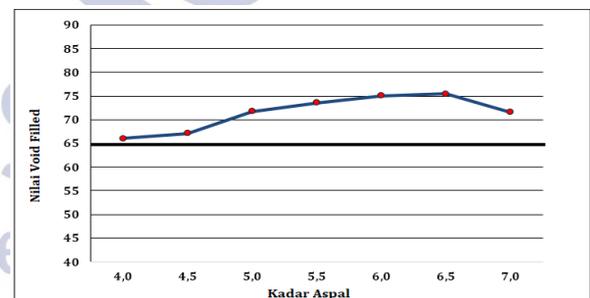


Gambar 6. Grafik Nilai VMA

Gambar 6 menunjukkan lapisan aspal AC-WC dengan menggunakan Asbuton Butir Tipe BGA dan limbah beton sebagai pengganti Agregat kadar aspal 4,0 % sampai dengan 6,0% kurang dari Batas minimum VMA yaitu minimal 15% sesuai dengan spesifikasi yang dikeluarkan oleh bina marga 2010 divisi 6. Sehingga hanya kadar aspal 6,5% dan 7,0% yang memenuhi spesifikasi.

C. Hasil Analisis Terhadap Nilai VFB

VFB (*Void Filled with Bitumen*) adalah rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi nilai VFB antara lain adalah kadar aspal, gradasi agregat, energi pematat (jumlah dan temperatur pemadatan), dan absorpsi agregat.

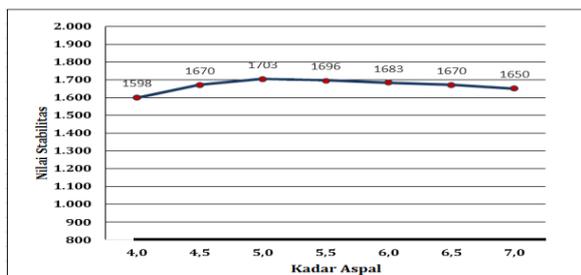


Gambar 7. Grafik Nilai VFB

Gambar 7 menunjukkan campuran AC-WC dengan agregat limbah beton dan asbuton BGA memiliki nilai VFB dari kadar aspal 4,0% sampai dengan 7,0% telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 Revisi 6 dengan nilai minimum 65% yang telah ditetapkan oleh Bina Marga.

D. Hasil Analisis Terhadap Nilai Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun bleeding. Kemampuan tersebut terjadi sebagai hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari aspal.

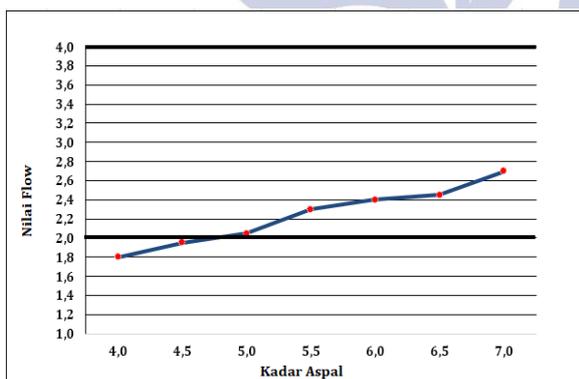


Gambar 8. Grafik Nilai Stabilitas

Gambar 8 di atas menjelaskan hubungan antara presentase kadar aspal dengan nilai stabilitas, jika dilihat dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa pada lapisan aspal beton AC-WC dengan menggunakan asbuton butir Tipe BGA dan limbah beton sebagai pengganti agregat nilai stabilitas yang memenuhi persyaratan standar spesifikasi Bina Marga 2010 Divisi 6 yaitu nilai stabilitas minimal 800 Kg adalah mulai dari kadar aspal 4,0 % sampai dengan 7,0 %.

E. Hasil Analisis Terhadap Nilai Flow

Kelelahan (*flow*) adalah deformasi vertikal yang terjadi mulai awal pembebanan sampai kondisi stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya apabila nilai *flow* tinggi menunjukkan campuran bersifat plastis dan akan menyebabkan deformasi permanen ketika di beri pembebanan lalu lintas. Lain halnya dengan nilai *flow* rendah akan mengakibatkan aspal mudah retak atau getas dan memiliki keawetan yang kurang baik.



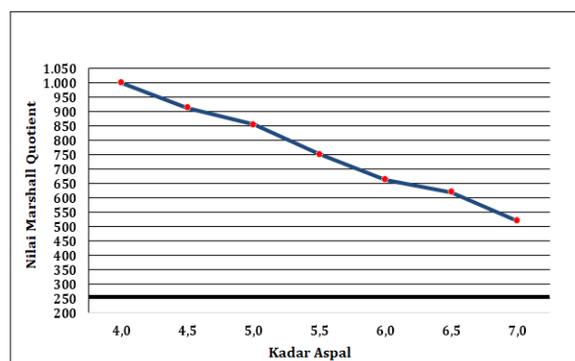
Gambar 9. Grafik Nilai Flow

Gambar 9 menjelaskan hubungan antara presentase kadar aspal dengan nilai *flow*, jika dilihat dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa pada lapisan aspal beton AC-WC dengan menggunakan Asbuton Butir Tipe BGA dan limbah beton sebagai pengganti Agregat nilai *flow* tertinggi didapati pada kadar aspal 7,0% begitu juga sebaliknya nilai *flow* terendah didapati pada kadar aspal 4,0% . Nilai *flow* mulai dari kadar aspal 4,0% sampai dengan 7% memenuhi persyaratan standar spesifikasi Bina Marga 2010 Divisi 6 yaitu kelelahan atau *flow* minimal 2 mm dan maksimal 4 mm.

F. Hasil Analisis Terhadap Nilai Marshall Quotient

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara nilai stabilitas terhadap nilai kelelahan atau *flow*. Adapun kelebihan dari nilai MQ yang terlampau tinggi dengan nilai MQ yang kecil, semakin tinggi nilai MQ maka aspal akan menjadi kaku, mudah retak tapi memiliki stabilitas yang

tinggi. Begitu juga sebaliknya aspal akan lebih rentan berubah bentuk akibat beban lalu lintas dalam keseharian.

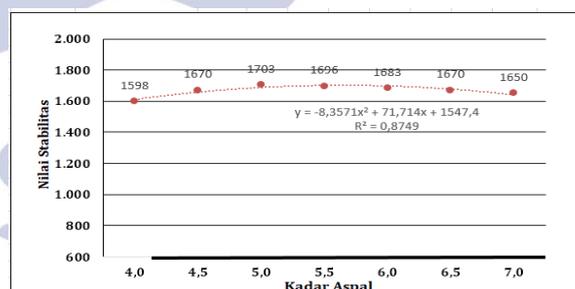


Gambar 10. Grafik Nilai Marshall Quotient

Gambar 10 menunjukkan nilai MQ pada campuran aspal AC-WC dengan menggunakan asbuton butir tipe BGA dan limbah beton sebagai pengganti agregat mengalami penurunan pada rentang kadar aspal 4,0% sampai dengan 7,0% namun masih memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 Divisi 6, Adapun batas MQ minimal adalah 250 kg.

G. Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal terbaik adalah campuran dengan nilai stabilitas yang berada di puncak maksimum. Hal itu dikaitkan dengan proses *interlocking* dan kepadatan antara agregat dengan aspal pada komposisi terbaik, begitu juga dengan kelebihan atau kekurangan kadar aspal akan menurunkan nilai stabilitas dan proses *interlocking* menjadi berkurang atau rendah. Dilihat dari grafik stabilitas gambar 8 di cari ya maximum untuk mengetahui pada kadar aspal berapa stabilitas tertinggi dalam penelitian. Untuk mencari y maximum terlebih dahulu di cari y dengan cara membuat garis polinomial seperti berikut :



Gambar 11. Grafik Polinomial Stabilitas

Setelah diketahui $y = -8,3571x^2 + 71,714x + 1547,4$ maka dapat di cari y max dengan rumus :

$$y \text{ max} = -D/4a = -b^2 - 4ac / 4a$$

$$y \text{ max} = 1701,3$$

dari perhitungan diatas didapatkan y maximum adalah 1701,3 yang berada pada posisi kadar aspal 4,9% dibulatkan menjadi 5%. Nilai stabilitas pada kadar aspal 5% adalah nilai stabilitas tertinggi dibandingkan dengan kadar aspal lainnya.

Setelah didapatkan nilai kadar aspal optimum dari perhitungan garis polinomial maka dilakukan analisis terhadap hasil VIM,VMA,VFB, stabilitas, flow dan MQ pada campuran dengan kadar aspal optimum (KAO) 5,0% untuk mengetahui kinerja asbuton BGA dan limbah beton sebagai pengganti agregat.

Tabel 4. Rekapitulasi hasil uji *marshall*

Parameter Marshall	Spesifikasi		Perencanaan Campuran
	Minimum	Maximum	AC-WC Asbuton BGA + Beton + filler + aspal 5,0%
Stabilitas	800kg	-	1703 Kg
Kelelahan (<i>Flow</i>)	2mm	4mm	3,4 mm
VIM (<i>Void In Mix</i>)	3,00%	5,00%	3,5 %
VMA (<i>Void Mineral Agregat</i>)	15%	-	11,41 %
VFB (<i>Void Filled Bitumen</i>)	65%	-	71,77 %
MQ (<i>Marshall Quotient</i>)	250kg/mm	-	856,1 kg/mm

1) Stabilitas

Hasil dari pengujian stabilitas untuk AC-WC dengan menggunakan asbuton butir tipe BGA dan limbah beton sebagai pengganti agregat dengan kadar aspal optimum 5,0% adalah 1701,3 Kg memenuhi kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding* sebanding dengan kebutuhan jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat yang membutuhkan nilai stabilitas tinggi.

Stabilitas juga dipengaruhi oleh VIM, VMA, dan VFB karena keempatnya saling berkaitan. Semakin tinggi nilai rongga udara atau VIM maka nilai stabilitas akan rendah karena banyaknya rongga udara dalam campuran akan mengurangi kemampuan perkerasan dalam menerima beban lalu lintas. Semakin tinggi nilai VMA atau rongga diantara butir agregat akan semakin tinggi pula nilai stabilitas karena semakin tinggi VMA maka aspal akan semakin mudah mengisi celah dan campuran akan semakin kaku ketika dipadatkan. Nilai rongga yang terisi aspal atau VIM juga berpengaruh pada stabilitas karena VIM yang terlalu sedikit atau kurang dari 65% maka campuran akan mengalami perubahan bentuk seperti *rutting*.

Gradasi butiran juga penting adanya dalam mempengaruhi stabilitas karena hal ini dikaitkan dengan proses *interlocking* dan kepadatan antara agregat dengan aspal pada komposisi terbaik. Butiran pada setiap ukuran bin material pada campuran haruslah memiliki proporsi yang baik. Apabila butiran material ukuran bin 3 banyak maka ukuran bin 2 dan bin 1 haruslah lebih banyak karena untuk mengisi rongga dalam campuran, begitu juga dengan kelebihan atau kekurangan kadar aspal akan menurunkan nilai stabilitas dan proses *interlocking* menjadi berkurang atau rendah.

2) *Flow* (Kelelahan)

Hasil dari pengujian kelelahan atau *flow* untuk AC-WC dengan menggunakan asbuton butir tipe BGA dan limbah beton sebagai pengganti agregat dengan kadar aspal optimum 5,0% adalah 3,4 mm. Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-WC dengan menggunakan asbuton butir tipe BGA sebagai pengganti agregat memiliki nilai kelelahan atau *flow* 3,4 mm yang menunjukkan campuran bersifat plastis tetapi juga tetap elastis agar memenuhi kemampuan perkerasan jalan untuk menerima beban lalu lintas secara merata. Lapisan aspal beton AC-WC memiliki sifat elastisitas yang lebih tinggi tetapi juga tetap memenuhi nilai kelelahan atau *flow* yang ada didalam persyaratan standar spesifikasi Bina Marga 2010.

3) VIM (*Void In Mix*)

Hasil dari kadar aspal optimum 5,0% pada pengujian VIM untuk AC-WC dengan menggunakan asbuton butir tipe BGA dan limbah beton sebagai pengganti agregat adalah 3,5%. Ukuran

dan gradasi butiran penyusun dalam campuran berpengaruh pada VIM karena semakin besar rongga diantara agregat maka akan semakin besar pula rongga udara yang ada dalam campuran sehingga dapat mengurangi kepadatan.

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-WC dengan menggunakan asbuton butir tipe BGA dan limbah beton sebagai pengganti agregat menunjukkan campuran mempunyai pori udara di antara butir agregat dan aspal yang lebih banyak dikarenakan ukuran gradasi yang lebih senjang untuk campuran sehingga campuran AC-WC dengan menggunakan asbuton butir tipe BGA dan limbah beton sebagai pengganti agregat memerlukan aspal untuk bahan pengikat yang lebih banyak, sedangkan lapisan aspal beton AC-WC mempunyai pori udara di antara butir agregat dan aspal yang lebih sedikit dikarenakan ukuran material agregat yang lebih rapat tetapi juga tetap memenuhi nilai VIM yang ada didalam persyaratan standar spesifikasi Bina Marga 2010.

4) VMA (*Void in Mineral Aggregate*)

Hasil dari pengujian VMA untuk AC-WC dengan menggunakan asbuton butir tipe BGA dan limbah beton sebagai pengganti agregat dengan kadar aspal optimum 5,0% adalah 11,41%. Proporsi gradasi butiran sangatlah berpengaruh pada nilai VMA karena apabila gradasi butiran penyusunnya terlalu rapat dikarenakan butiran material agregat halus terlalu banyak sehingga mengisi rongga maka akan menyulitkan untuk aspal menyerap dan mengisi rongga sebagai perekat dan ketika dipadatkan campuran akan mudah mengalami perubahan bentuk akibat kurangnya kadar aspal sebagai bahan pengikat. Maka dari itu proporsi gradasi butiran haruslah tepat sehingga tidak terlalu rapat ataupun besar yang akan mempengaruhi kepadatan dari campuran itu sendiri.

Dapat disimpulkan bahwa asbuton butir tipe LGA dan limbah beton sebagai pengganti agregat mempunyai pori udara di antara butir agregat yang lebih kecil dikarenakan ukuran gradasi yang lebih rapat.

5) VFB (*Void Filled with Bitumen*)

Hasil dari pengujian VFB untuk lapisan aspal beton AC-WC dengan menggunakan Asbuton Butir Tipe BGA dan limbah beton sebagai pengganti Agregat dengan kadar aspal optimum 5,0% adalah 71,77%.

Gradasi butiran, VMA, dan VIM juga mempengaruhi nilai VFB. Campuran agregat yang terlalu banyak agregat halusnya maka gradasi agregatnya akan rapat sehingga VMA atau rongga diantara campuran akan kecil yang akan membuat aspal sulit untuk menyerap diantara rongga tersebut sehingga kadar aspal yang terisi tidak memenuhi syarat dan akan mempengaruhi kekakuan dari campuran tersebut.

Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-WC dengan menggunakan asbuton butir tipe BGA dan limbah beton sebagai pengganti agregat yang memiliki nilai 71,77% memenuhi persyaratan dari Bina Marga Divisi 6. Kriteria VFB ini membantu agar campuran tidak mudah *ruttin* gatau berubah bentuk bila menerima beban lalu lintas.

6) *Marshall Quotient* (MQ)

Hasil dari pengujian MQ (*Marshall Quotient*) untuk lapisan aspal beton AC-WC dengan menggunakan Asbuton Butir Tipe BGA sebagai pengganti Agregat kadar aspal optimum 5,0% adalah 856,1 Kg/mm. Dapat disimpulkan bahwa lapisan aspal beton AC-WC dengan menggunakan Asbuton Butir Tipe BGA sebagai pengganti Agregat memiliki nilai MQ (*Marshall Quotient*) yaitu 856,1 Kg/mm yang menunjukkan campuran mempunyai sifat kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan aspal beton AC-WC tetapi juga tetap memiliki sifat lentur dan stabil karena masih dalam ketentuan standart spesifikasi Bina Marga 2010.

SIMPULAN

Simpulan dari hasil penelitian dan pembahasan karakteristik Marshall lapisan aspal beton AC-WC yang menggunakan aspal pen 60/70 dengan asbuton butir tipe BGA dan limbah beton sebagai pengganti agregat dengan tambahan *fly-ash* sebagai *filler*, maka diperoleh kesimpulan, diantaranya :

1. Pengaruh penggunaan limbah beton dan asbuton BGA sebagai pengganti agregat dengan tambahan *fly ash* sebagai *filler* adalah terpenuhinya parameter pengujian marshall pada benda uji AC-WC dengan KAO 5,0% diantaranya nilai *Void in Mix* (VIM) atau *air void* yaitu 3,5%, nilai *flow* yaitu 3,4 mm, nilai stabilitas yaitu 1703 kg, nilai *Void Filled with Bitumen* (VFB) yaitu 71,77% dan nilai marshall quotient yaitu 856,1 kg/mm. Sedangkan parameter yang tidak memenuhi syarat adalah nilai *Void in Mineral Agregat* (VMA) yaitu 11,41%. Stabilitas merupakan kekakuan campuran dipengaruhi oleh VIM, VMA, VFB, dan gradasi butiran penyusun. VIM berbanding lurus dengan VMA, semakin besar rongga diantara agregat maka semakin besar pula rongga dalam campuran. VMA juga mempengaruhi VFB karena apabila rongga diantara agregat terlalu rapat atau kecil maka aspal yang mengisi rongga akan semakin sedikit pula sehingga campuran akan mudah retak atau berubah bentuk akibat kurangnya aspal sebagai bahan pengikat. VMA dipengaruhi oleh gradasi butiran penyusunnya karena apabila gradasi butiran penyusunnya terlalu banyak agregat kasar maka rongga diantara agregat akan besar dan terjadi kurangnya interlocking antar agregat, sehingga komposisi gradasi pada campuran haruslah tepat.
2. Berdasarkan hasil *trial and error* 9 macam *mix design* dipilih variasi agregat bin 1 (BGA) 45%, agregat bin 2 (limbah beton) 34%, agregat bin 3 (limbah beton) 20% dan filler (*flyash*) 1%.
3. Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) yang menggunakan asbuton butir tipe BGA dan limbah beton sebagai pengganti agregat dengan tambahan *fly-ash* sebagai *filler* dan menggunakan aspal pen 60/70 yaitu 4,9% didapat dari nilai *y* maximum atau puncak tertinggi dari garis polynominal grafik stabilitas. Pada persentase aspal 4,9% terjadi penguncian antar partikel agregat yang baik dan daya ikat aspal terhadap agregat menjadi lebih kuat sehingga tidak menyebabkan aspal meleleh keluar (*bleeding*) jika terkena beban lalu-lintas.

DAFTAR PUSTAKA

- Andhikatama, Arys. 2013 . *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Coarse Gradasi Kasar*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Anonimus. 2010 . *Spesifikasi umum 2010 Divisi 6*. Jakarta : Direktorat Jendral Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Ma'aruf , Mohammad Yusup. 2017 . *Pengaruh Penggunaan BGA (Buton Granular Asphalt) Pada Perencanaan Aspal Beton AC-WC Pen 60/70 Dengan Menggunakan Fly ash sebagai filler*. Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Vol. 1, No. 1.
- Saodang, Hamirhan. 2005 . *Perancangan Perkerasan Jalan Raya*. Bandung : Nova.
- Sukirman, Silvia. 2003 . *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit.