

# Kinerja Campuran Aspal AC-WC dengan Limbah *Steel Slag* Ramah Lingkungan terhadap Dampak Rendaman Air Laut Pasang (ROB)

*The Performance of AC-WC Asphalt Mixture with Eco-Friendly Steel Slag Against Sea Tidal Impact*

**Nurul Firkhati Hidayah, Emil Adly**

*Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*

**Abstrak.** Jalan yang terletak disekitar pantai sering mengalami permasalahan dengan genangan air laut yang disebabkan oleh kondisi pasang surut atau yang dikenal dengan sebutan air rob. Maka dari itu, untuk menemukan alternatif agar menghindari kerusakan jalan, maka digunakan *steel slag* yang mempunyai mutu lebih tinggi dibandingkan dengan agregat biasa. Penelitian ini mengganti agregat dengan *steel slag* dengan presentase 100% agregat kasar no. ½” dan 50% agregat halus no. 30 yang akan direndam di dalam air laut selama 6 jam, 12 jam dan 24 jam. Dari penelitian yang dilakukan pada campuran beton aspal dapat diketahui bahwa semakin lama rendaman yang dilakukan maka akan memberikan pengaruh yang signifikan pada karakteristik *Marshall*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jika dilakukan perendaman selama kurang dari 24 jam menghasilkan aspal yang buruk yang ditandai dengan menurunnya nilai stabilitas, nilai *VFWA*, dan juga nilai *MQ*. Sedangkan untuk nilai *Flow*, *VITM* dan *VMA* cenderung naik.

Kata kunci: air laut, genangan air laut, *Marshall*, rendaman, *steel slag*.

**Abstract.** The roadways that located around the beach are often have some problems with puddle of the seawater caused by the condition tides or known as rob water. Therefore, to find alternative way due to prevent pavement damage, application of steel slag with higher quality is better to be used rather than ordinary aggregate. This research substitutes aggregate into the steel slag with 100% coarse aggregate number ½” and 50% fine aggregate number 30 that will be soaked in the seawater about 6 hours, 12 hours, and 24 hours. From this research, the longer this immersion is conducted, the more significant effects will affect marshall characteristic resulting poor quality of asphalt, marked by decline of stability value, *VFWA* value, and also *MQ* value. As for the value of flow, *VITM* and *VMA* tend to rise.

Keywords: immersion, Marshall, puddles sea, seawater, steel slag.

## 1 Pendahuluan

Jalan merupakan salah satu fasilitas yang sangat penting bagi manusia untuk menunjang kehidupan sehari-hari. Salah satu jenis perkerasan yang sangat umum digunakan di Indonesia adalah perkerasan lentur (Tora dkk., 2013). Perkerasan lentur adalah perkerasan yang bahan pengikatnya menggunakan aspal. Kontruksi perkerasan lentur diletakkan tepat diatas tanah yang sudah dipadatkan (Tahir, 2009). Perkerasan lentur memiliki beberapa jenis campuran, salah satunya laston.

Lapisan Beton Aspal (Laston) adalah beton aspal bergradasi menerus yang secara umum digunakan pada jalan yang mempunyai beban lalu lintas berat (Gunadi dkk., 2013). Kondisi perkerasan jalan akan selalu mengalami penurunan dari waktu ke waktu yang diakibatkan dari beban lalu lintas dan beberapa faktor seperti faktor lingkungan yang

mengharuskan adanya pemeliharaan secara berkala (Pramudya, 2013). Atau bisa juga dengan menggunakan agregat yang bagus dan kuat untuk menampung beban lalu lintas yang berat. Pada dasarnya, bahan-bahan yang digunakan pada campuran beton aspal adalah aspal, agregat kasar, agregat halus dan *filler*.

Pada penelitian ini penulis menggunakan campuran *steel slag* atau limbah baja sebagai agregat kasar dengan mengganti 100% saringan no. 1/2 dan agregat halus dengan mengganti 50% saringan no. 30. *Steel slag* merupakan sebuah produk yang berasal dari industri baja dan sangat berpotensi untuk dapat menggantikan agregat biasa di kontruksi jalan (Hainin dkk., 2012). *Steel slag* terbentuk dari mineral-mineral yang digunakan sebagai pemurnian baja dari dapur bersuhu sangat tinggi (Rahmawati, 2017). Batuan *steel slag* ini mempunyai tingkat kekerasan yang tinggi dan

juga mempunyai permukaan yang kasar sehingga batuan ini sangat menguntungkan untuk digunakan sebagai campuran pada perkerasan jalan (Hartati, 2009). Agregat *steel slag* yang jika digabungkan dengan agregat biasa akan dapat dimanfaatkan pada konstruksi perkerasan jalan dan dapat membuat perkerasan menjadi sangat kuat (Hainin dkk., 2013). Pemanfaatan *steel slag* juga dapat mengurangi limbah dan juga dapat mengurangi jumlah agregat konvensional pada konstruksi jalan raya sehingga dapat digunakan berkelanjutan dalam pembangunan jalan raya (Hainin dkk., 2012).

Di Indonesia, beberapa ruas jalan yang terletak didaerah yang berhubungan dengan pantai sering mengalami permasalahan dengan genangan air laut yang kebanyakan disebabkan oleh cuaca yang ekstrem, sehingga selalu mengakibatkan terjadinya banjir pasang-surut atau dengan istilah air rob, yaitu naiknya permukaan air laut yang menggenangi konstruksi jalan dengan perkerasan aspal (Muaya dkk., 2015). Pada umumnya kondisi perkerasan jalan semakin mengalami penurunan kinerja akibat beban lalu lintas dan kelembaban. Air dan udara dapat mempercepat proses umur rencana dai aspal, disamping itu juga air dapat menimbulkan efek pengelupasan (*stripping*) film aspal dari suatu permukaan agregat (Syaifuddin, 2010). Pada daerah pesisir ada ancaman lain yang menyebabkan kerusakan perkerasan jalan yaitu akibat pasang surut air karena adanya kandungan Klorida, Natrium, dan kadar sulfat yang tinggi (Setiadji dkk., 2017).

Dari penelitian yang dilakukan pada campuran beton aspal dapat diketahui bahwa semakin lama rendaman yang dilakukan maka akan memberikan pengaruh yang signifikan pada karakteristik *Marshall*.

## 2 Metode Penelitian

### *Tahap Persiapan*

Hal yang paling awal dilakukan adalah studi pustaka yang bertujuan untuk mendapatkan literatur-literatur sebagai dasar dari penelitian ini. Dilanjutkan dengan persiapan alat dan bahan. Bahan yang digunakan adalah aspal, agregat kasar, agregat halus, dan *steel slag*. Aspal yang digunakan aspal Pen 60/70 yang didapat dari PT. Pertamina, agregat kasar dan halus didapatkan di Clereng, Kulonprogo,

Yogyakarta, sedangkan *steel slag* didapatkan dari pabrik baja PT. Krakatau Steel (Persero) Tbk. Semua alat yang digunakan harus dalam keadaan kondisi bersih, baik dan terkalibrasi. Berikut gambar 1 sampai Gambar 3 menunjukkan bahan-bahan yang digunakan di dalam penelitian ini.



**Gambar 1.** Aspal Pen 60/70



**Gambar 2.** Agregat



**Gambar 3.** *Steel Slag*

### ***Pengujian Bahan***

Semua pengujian bahan dilakukan di dalam laboratorium. Sebelum bahan-bahan digunakan dalam pembuatan benda uji, maka bahan uji harus diuji sesuai dengan metode pengujian yang digunakan. Pengujian untuk aspal meliputi penetrasi, titik leleh, kehilangan berat, berat jenis dan daktilitas. Sedangkan pengujian pada agregat kasar dan *steel slag* kasar meliputi berat jenis, keausan menggunakan mesin *Los Angeles*, absorbsi air, dan kelekatan agregat.

### Perencanaan Campuran

Pada perencanaan campuran terlebih dahulu dilakukannya penentuan kadar aspal optimum dengan menggunakan kadar aspal sebesar 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% dari total jumlah agregat. jumlah sampel yang dibuat sebanyak 10 buah sampel dengan per masing-masing kadar aspal sebanyak 2 sampel. dari pengujian diatas, didapatkan kadar aspal optimum (KAO) yang akan digunakan untuk mendesain benda uji.

### Pembuatan Benda Uji

Pada tahap ini, agregat yang akan digunakan ditimbang sesuai dengan perencanaan gradasi campuran AC-WC di setiap fraksinya. Misal jumlah agregat yang tertahan pada saringan no. 1/2 sebesar 60 gram dari total berat agregat (1200 gram) yang nantinya akan diganti dengan *steel slag* sebanyak 100% pada saringan no. 1/2 dan 50% pada saringan no. 30. Persentase yang dibutuhkan harus sesuai dengan persentase jumlah agregat dengan ukuran tiap nomer saringan untuk membuat campuran AC-WC.

Setelah penimbangan selesai, agregat yang akan digunakan dipanaskan hingga mencapai suhu 160°C, lalu dicampurkan dengan aspal panas sampai dengan suhu 170°C. Aspal yang digunakan sesuai dengan KAO yang telah di dapatkan di awal tadi. Selanjutnya campuran dimasukkan kedalam cetakan yang telah dipanaskan dan ditumbuk sebanyak 2x75 kali. Pada saat penumbukan, suhu tidak boleh kurang dari 160°C. Benda uji dibuat sebanyak 2 buah setiap perencanaan perendaman yang digunakan. Total benda uji yang akan dibuat pada pengujian ini adalah sebanyak 18 benda uji (10 sampel untuk KAO dan 8 sampel untuk rendaman).

### Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji dilakukan dengan cara menggunakan metode *marshall*. Metode *Marshall* bertujuan untuk memeriksa nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta dapat menganalisis kepadatan serta pori-pori pada campuran padat yang terbentuk. Pengujian *Marshall* ini mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991. Dari hasil gambar hubungan anatara kadar aspal dan parameter *Marshall*, maka akan diketahui kadar aspal optimumnya.

## 3 Hasil Penelitian dan Pembahasan

### Hasil Pengujian Aspal

Penelitian ini menggunakan Aspal penetrasi 60/70 murni. Aspal yang digunakan harus diuji terlebih dahulu agar dapat mengetahui kelayakan dari aspal tersebut. Menurut spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Bina Marga 2010 (Revisi 3) maka dapat di lihat hasil pengujian aspal pada Tabel 1, yang menunjukkan bahwa aspal yang akan digunakan memenuhi persyaratan yang ditentukan sehingga layak untuk digunakan.

**Tabel 1.** Hasil pengujian aspal pen. 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Syarat	Hasil
1.	Penetrasi 25°C	60 – 70	64,4
2.	Titik Lembek (°C)	> 48	52,5
3.	Berat Jenis Aspal	> 1,0	1,08
4.	Kehilangan Berat	Maks 0,4	0,13
5.	Daktilitas	Min. 100	154,75

### Hasil Pengujian Agregat dan Filler

Pada Tabel 2, ditunjukkan hasil pengujian agregat dan *filler* yang digunakan dan telah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh SNI 03-1969-1990 dan SNI 03-2417-1991, sehingga agregat dapat digunakan dalam penelitian ini.

**Tabel 2.** Hasil pengujian agregat dan *filler*

No.	Pangujian	Spesifikasi	Hasil	Satuan
Agregat Kasar				
1.	Berat Jenis <i>Bulk</i>	≥ 2,5	2,515	-
2.	Berat Jenis <i>Apparent</i>	≥ 2,5	2,705	-
3.	Penyerapan Air	≤ 3	2,6	%
Agregat Halus				
1.	Berat Jenis <i>Bulk</i>	≥ 2,5	2,52	-
2.	Berat Jenis <i>Apparent</i>	≥ 2,5	2,72	-
3.	Penyerapan Air	≤ 3	3	%
Filler				
1.	Berat Jenis	≥ 2,5	2,56	-

### Hasil Pengujian Steel Slag

Hasil pengujian *steel slag* dapat ditunjukkan pada Tabel 3. Dari hasil pengujian *steel slag* didapatkan hasil bahwa *steel slag* memenuhi standar sebagai pengganti agregat dalam campuran perkerasan.

**Tabel 3.** Hasil pengujian *steel slag*

No.	Jenis Pemeriksaan	Syarat	Hasil	Satuan
<b>Steel Slag Kasar</b>				
1.	Berat Bulk	jenis $\geq 2,5$	2,9	-
2.	Berat Apparent	jenis $\geq 2,5$	3,05	-
3.	Penyerapan	$\leq 3$	1,67	%
<b>Steel Slag Halus</b>				
1.	Berat Bulk	jenis $\geq 2,5$	3,35	-
2.	Berat apparent	jenis $\geq 2,5$	3,59	-
3.	Penyerapan	$\leq 3$	1,98	%

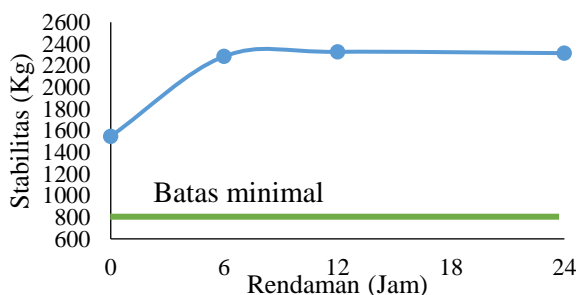
### Hasil Pengujian Marshall

#### Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan dari perkerasan jalan untuk menerima beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk yang tetap, seperti gelombang, alur, ataupun bleeding. Jika volume lalu lintas yang membebani sebuah jalan tinggi, maka akan semakin tinggi pula stabilitas yang dibutuhkan oleh sebuah perkerasan jalan.

**Tabel 4.** Hasil pengujian stabilitas untuk rendaman

Kadar Aspal	Nilai Stabilitas (Kg)			
	0 jam	6 jam	12 jam	24 jam
5A	1599,62	2200,24	2298,80	2298,53
5B	1494,87	2369,06	2355,56	2331,27
Rata	1547,24	2284,65	2327,18	2314,90



**Gambar 3.** Grafik hubungan stabilitas dengan waktu rendaman

Di lihat dari gambar 3 di atas, nilai stabilitas tertinggi terjadi pada rendaman ke 12 jam. Sedangkan nilai stabilitas terendah terjadi pada rendaman ke 0 jam. Nilai stabilitas naik dikarena *steel slag* mempunyai permukaan yang cukup kasar yang memberikan ikatan yang stabil serta tahan terhadap perubahan temperatur. Sedangkan saat dilakukannya perendaman selama 24 jam, nilai stabilitas menurun yang disebabkan dikarenakan sifat *steel slag* yang lebih cepat untuk menyerap suhu dibandingkan dengan batu pecah, sehingga pada perendaman selama 24 jam benda uji menjadi dingin dan keras.

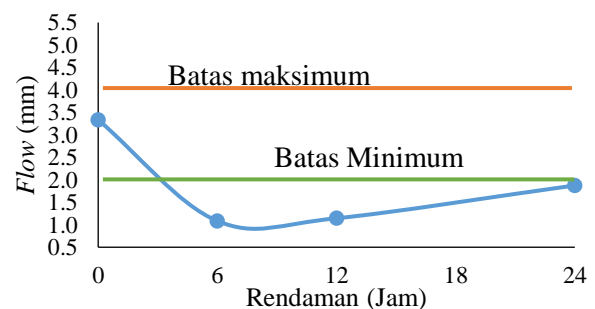
Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga 2010 (Revisi 3) tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston, nilai stabilitas minimum untuk lalu lintas berat yaitu 800 Kg, sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas semua rendaman memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.

### Flow (Kelelahan)

*Flow* atau kelelahan merupakan besarnya penurunan atau deformasi yang terjadi terhadap lapis keras akibat menahan beban yang diterimanya. Nilai kelelahan yang rendah dan stabilitas tinggi pada suatu campuran lapis keras cenderung bersifat kaku dan getas, sedangkan jika nilai kelelahan tinggi dengan stabilitas rendah pada campuran lapis keras cenderung bersifat plastis.

**Tabel 5.** Hasil pengujian *flow* untuk rendaman

Kadar Aspal	Nilai Flow (mm)			
	0 jam	6 jam	12 jam	24 jam
5A	4,65	0,27	1,16	2,55
5B	2,02	1,90	1,13	1,20
Rata	3,34	1,09	1,15	1,88



**Gambar 4.** Grafik hubungan *flow* dengan waktu rendaman

Pada penelitian ini nilai kelelahan cenderung memiliki nilai yang lebih kecil dari spesifikasi yang ditentukan, maka kemungkinan yang akan terjadi adalah aspal yang menggunakan agregat pengganti ini menjadi kaku dan akan mudah mengalami kerusakan pada jalan, seperti pelepasan agregat dan juga retak jika menerima beban yang melampaui daya dukungnya. Hal ini dapat disebabkan kelalaian peneliti atau juga karena faktor gradasi, kadar aspal, serta permukaan dari agregat. Maka diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui langkah selanjutnya dari penelitian ini.

Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga 2010 (Revisi 3), nilai kelelahan minimum adalah 2 mm sedangkan nilai kelelahan maksimalnya adalah sebesar 4 mm, sehingga dapat disimpulkan bahwa hanya nilai kelelahan di rendaman ke 0 jam yang memenuhi spesifikasi.

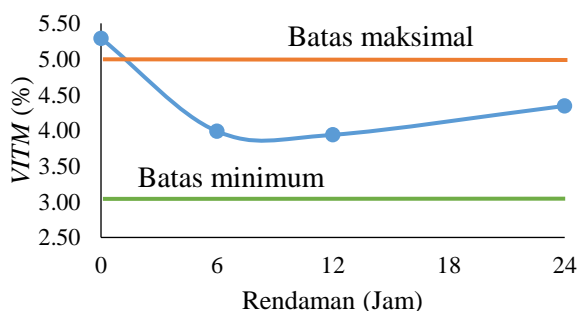
#### Void In The Mix (VITM)

VITM (*Void In the Mix*) adalah banyaknya rongga yang terdapat dalam campuran aspal panas yang dinyatakan dalam presentase. Di dalam campuran terdapat rongga udara yang dibutuhkan untuk ruang bergerak unsur-unsur campuran yang sesuai dengan sifat elastisnya.

**Tabel 6.** Hasil pengujian VITM untuk rendaman

Nilai VITM (%)				
Kadar Aspal	0 jam	6 jam	12 jam	24 jam
5A	5,43	3,69	3,79	4,13
5B	5,15	4,29	4,08	4,56
Rata	5,29	3,99	3,94	4,34

Nilai VITM dapat dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal dan *density*.



**Gambar 5.** Grafik hubungan VITM dengan waktu rendaman

Dari Gambar 5, berkurang nilai VITM di dalam campuran dapat disebabkan karena semakin banyaknya kadar aspal yang digunakan dan menyebabkan rongga dalam campuran juga semakin kecil. Maka dari itu, semakin lama rendaman yang dilakukan pada aspal campuran limbah slag ini maka akan semakin tinggi nilai VITM nya.

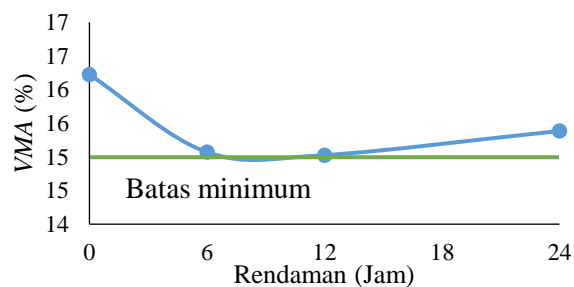
Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga 2010 (Revisi 3) tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston, nilai VITM yang memenuhi syarat adalah sebesar 3% - 5%. Berdasarkan spesifikasi tersebut, nilai VITM pada semua rendaman memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan.

#### Void In Mineral Agregate (VMA)

VMA (*Void in Mineral Agregate*) merupakan rongga-rongga udara yang berada diantara mineral agregat, termasuk ruang yang telah terisi oleh aspal. Nilai VMA sangat dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan juga suhu pemadatan.

**Tabel 7.** Hasil pengujian VMA untuk rendaman

Nilai VMA (%)				
Kadar Aspal	0 jam	6 jam	12 jam	24 jam
5A	16,35	14,81	14,90	15,19
5B	16,10	15,33	15,16	15,58
Rata	16,22	15,07	15,03	15,38



**Gambar 6.** Grafik hubungan VMA dengan waktu rendaman

Dari hasil Gambar 6, didapatkan nilai VMA cenderung mengalami kenaikan. Hal ini disebabkan oleh semakin lamanya rendaman yang dilakukan, maka akan semakin besar juga nilai VMA yang akan diperoleh. Nilai VMA sangat dipengaruhi oleh sifat *steel slag* yang memiliki banyak pori sehingga dapat menambah volume rongga yang ada.

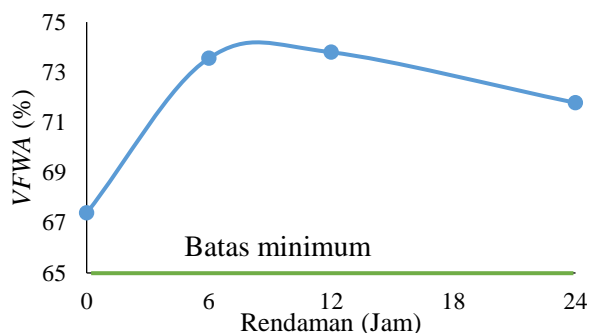
Menurut spesifikasi Bina Marga (Revisi 3), nilai *VMA* pada campuran laston minimal sebesar >15%, maka dari itu dapat disimpulkan bahwa nilai *VMA* pada semua benda uji ini memenuhi persyaratan yang ditentukan.

#### Void Filled With Asphalt (VFWA)

*VFWA* (Void Filled with Asphalt) merupakan persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (*VFWA*) yang di isi aspal namun tidak termasuk dengan aspal yang diserap agregat.

**Tabel 8.** Hasil pengujian *VFWA* untuk rendaman

Nilai <i>VFWA</i> (%)				
Kadar Aspal	0 jam	6 jam	12 jam	24 jam
<b>5A</b>	66,77	75,07	74,55	72,84
<b>5B</b>	68,01	72,05	73,05	70,72
<b>Rata</b>	67,39	73,56	73,80	71,78



**Gambar 7.** Grafik hubungan *VFWA* dengan waktu rendaman

Dari Gambar 7, nilai *VFWA* cenderung mengalami kenaikan pada perendaman selama 6 dan 12 jam dan mengalami penurunan saat perendaman selama 24 jam. Hal ini disebabkan oleh rongga yang terdapat di dalam campuran semakin mengecil yang dipengaruhi oleh nilai *VITM* yang merupakan nilai pembagi untuk mendapatkan nilai *VFWA*.

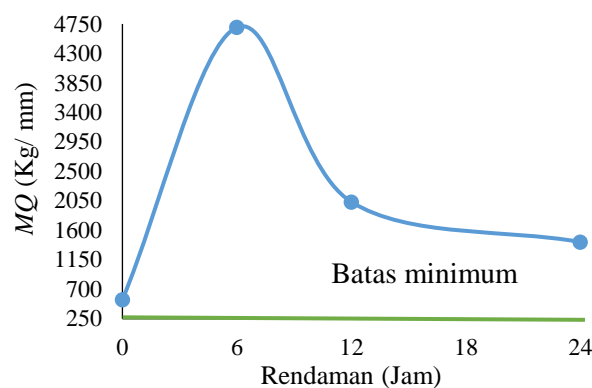
Berdasarkan dengan spesifikasi umum Bina Marga 2010 (Revisi 3), nilai *VFWA* yang memenuhi spesifikasi harus > 65%. Maka dapat disimpulkan, nilai *VFWA* dari semua variasi rendaman memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh spesifikasi umum Bina Marga 2010 (Revisi 3).

#### Marshall Quotient (MQ)

*Marshall Quotient* (*MQ*) didapatkan dari hasil bagi nilai stabilitas dengan kelelahan (*flow*). Perkerasan lapis keras akan semakin kaku jika nilai *Marshall Quotient* (*MQ*) besar dan jika perkerasan lapis keras akan semakin lentur jika nilai *Marshall Quotient* (*MQ*) kecil.

**Tabel 9.** Hasil pengujian *MQ* untuk rendaman Nilai *Marshall Quotient* (Kg/mm)

Kadar Aspal	0 jam	6 jam	12 jam	24 jam
<b>5A</b>	344	8149,05	1981,73	901,39
<b>5B</b>	740,04	1246,88	2048,57	1942,73
<b>Rata</b>	542,02	4697,96	2033,15	1422,06



**Gambar 8.** Grafik hubungan *MQ* dengan waktu rendaman

Kesimpulan Dari gambar 8 diatas, dapat dilihat bahwa nilai *MQ* mengalami kenaikan yang sangat signifikan pada saat rendaman ke 6 jam dikarenakan nilai *MQ* berasal dari perbandingan dari stabilitas terhadap kelelahan (*flow*).

Jika nilai *MQ* semakin besar maka dapat menyebabkan perkerasan menjadi semakin kaku dan nilai *MQ* semakin menurun dapat menyebabkan campuran perkerasan menjadi semakin lentur.

#### 4 Kesimpulan

Perbandingan nilai karakteristik *marshall* campuran AC-WC menggunakan *steel slag* sebagai pengganti 100% agregat kasar no. ½” dan 50% agregat halus no. 30 pada campuran AC-WC yang direndam secara kontinyu selama 6 jam, 12 jam dan 24 jam, sebagai berikut:

- a. Semakin lama rendaman yang dilakukan akan semakin membuat nilai stabilitas semakin menurun. Menurunnya nilai stabilitas campuran yaitu berkurangnya kemampuan campuran AC-WC untuk memikul beban lalu lintas yang lama kelamaan akan terjadi kelelahan plastis.
- b. Semakin lama rendaman yang dilakukan maka akan meningkatkan nilai kelelahan karena semakin lama rendaman maka akan membuat perkerasan menjadi tidak kaku dan tidak mudah terjadi kerusakan pada jalan.
- c. Perendaman yang lama pada campuran ini cenderung akan menaikkan nilai *VITM* yang membuat rongga di dalam campuran semakin besar.
- d. Penambahan waktu rendaman akan membuat nilai *VMA* cenderung naik, dikarenakan sifat dari steel slag yang memiliki banyak rongga.
- e. Penambahan waktu rendaman pada campuran akan membuat nilai *VFWA* cenderung turun.
- f. Perendaman yang lama pada campuran ini cenderung akan menurunkan nilai *MQ* yang membuat kemampuan kontruksi jalan dalam menerima beban semakin melemah dan akan membuat kontruksi tidak fleksibel dan tidak lentur lagi.
- g. Jika dilakukan perendaman selama 0 jam, 6 jam, 12 jam dan 24 jam akan menjadikan perkerasan menjadi lebih kaku atau lebih getas. Campuran dengan waktu perendaman selama kurang dari 24 jam menghasilkan aspal yang buruk.
- h. Campuran aspal modifikasi yang dibuat pada penelitian ini tidak layak untuk digunakan pada jalan, dikarenakan dapat membuat beberapa kerusakan seperti perubahan bentuk jalan atau mengalami deformasi dan kerusakan lainnya.

## 5 Daftar Pustaka

- BSN, 1990, SNI 03-1969-1990, *Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 1991, SNI 06-2489-1991, *Metode Pengujian Campuran*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Bina Marga, 2010, *Spesifikasi Umum Revisi 3*, Jakarta.
- Gunadi, M.A.D., Thanaya, I.N.A., Negara, I.N.W., 2013, Analisis Karakteristik Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Dengan Menggunakan Plastik Bekas Sebagai Bahan Pengganti Sebagian Agregat, *Jurnal Teknik Sipil*, 17(2), 191-201.
- Gunawan, G., Oetojo, P.D., Kusminingrum, N., Rahmawati, T., Leksmorningsih., 2011, Pemanfaatan Slag Baja Untuk Teknologi Jalan yang Ramah Lingkungan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan: Bandung.
- Hainin, M.R., Rusbintardjo, Gatot., Aziz, M.A.A., Hamim, A., Yusoff, N.I.M., 2013, Laboratory Evaluation on Steel Slag as Aggregate Replecement in Stone Mastic Asphalt Mixture, *Jurnal Teknologi*, 65(2), 13-19.
- Hainin, M.R., Yusoff, N.I.Md., Sabri, M.F.M., Aziz, M.A.A., Hameed, M.A.S., Reshi, W.F., 2012, Steel Slag an Aggregate Replacement In Malaysian Hot Mix Asphalt, *International Scholarly Research Network*, 10(1), 1-5.
- Hartati., M.F.Y., 2009, Studi Pengaruh *Steel Slag* Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Beton Terhadap Workabilitas dan Durabilitas, *Rekayasa Sipil*, 5(1), 20-28.
- Hayati, A.G., 2017, Pengaruh Penggunaan *Steel Slag* Sebagai Pengganti Agregat Tertahan Saringan no. 1/2" dan 3/8" Terhadap Karakteristik *Marshall* Pada Campuran AC-WC, Tugas Akhir, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Muaya, G.S., Kaseke, O.H., Manoppo, R.E., 2015, Pengaruh Terendamnya Perkerasan Aspal oleh Air Laut yang Ditinjau Terhadap Karakteristik *Marshall*, *Jurnal Sipil Statik*, 3(8), 562-570.
- Pramudya, A., Setyawan, A., Sarwono, D., 2013, Pengaruh Penambahan Limbah Bubutan Baja pada Lapis Tipis Campuran Aspal Panas Terhadap Karakteristik Kuat Tarik Tidak langsung, Kuat Tekan Bebas dan Permeabilitas, *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 1(4), 519-526.
- Rahmawati, A., 2017, Pengaruh Penggunaan Limbah *Steel Slag* Sebagai Pengganti

- Agregat Kasar Ukuran ½” dan 3/8” Pada Campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (HRS WC), *Dinamika Rekayasa*, 13(1), 10-17.
- Setiadji, B.H., Utomo,S., Nahyo., 2016, Effect of chemical compounds in tidal water on asphalt pavement mixture, *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10(1), 122-130.
- Syaifuddin, 2010, Studi Durabilitas Aspal Beton Terhadap Infiltrasi Air Laut, *Jurnal Portal*, 2(2), 60-68.
- Tahir, 2009, Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) dengan Menggunakan Variasi Kader Filler Abu Terbang Batu Bara, *Jurnal Sipil Mesin Arsitektur Elektro*, 7(4), 256-278.
- Tora, A., Setyawan, A., Sarwono, D., 2010, Pengaruh Penambahan Limbah Bubutan Baja pada Lapis Tipis Campuran Aspal Panas Terhadap Karakteristik Marshall, *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 1(4), 527-532.