

PEMANFAATAN LIMBAH MARMER SEBAGAI BAHAN PENGGANTI AGREGAT HALUS PADA PERKERASAN LAPIS ASPAL BETON (LASTON)

Annisa Dini Nadhila¹, dan Subarkah²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email : 14511243@students.uii.ac.id

²Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email : 865110101@staf.uii.ac.id

Abstract

There are some damage road surface in Indonesia that caused of the puddle and lead to a damage structure of the asphalt pavement. One mixture of asphalt pavement which has an important role is the fine aggregate or sand, but in long term period sand will be thinned and not renewable. Alternative substitute for sand is marble waste because it has CaO content which can increase the binder distribution in asphalt mixture. The purpose of this study was to determine the effect of marble waste as a fine aggregate dial with immersion duration on the characteristic mixture of LASTON AC-WC with Marshall and Immersion. The research start from the physical quality of material subsequently decide the KAO's value and continued with the testing of Marshall and Immersion. The standard used refers to Bina Marga 3rd Revision and AASHTO. The result of that test show there is an increase value of the stability, flow, MQ, and VFWA. Increase of stability occur 50 % to marble's content and decrease 75% to the content in the amount of 26,50% after 0 hours soaking, 18,46% after 48 hours soaking, and 23,31% after 96 hours soaking. Flow's value has increase in the amount of 7, 19% after 0 hours soaking, 9,35% after 48 hours soaking, and 5,96% after 98 hours soaking. MQ's value has the increase up to 50% marble's content and has the decrease of 75% marble's content in the amount of 34,32% after 0 hours soaking, 28,82% after 48 hours soaking, and 29,68% after 96 hours soaking. Waste marble IRS's value in the duration of soaking that fulfill Bina Marga 2010 3rd revision specification is >90% is 0% until 100% marble's content after 0 hours soaking, 0% until 50% marble's content after 48 hours soaking, 0% until 25% marble's content after 96 hours soaking.

Keywords : *Marble Waste, Soaked, Mix Asphalt Concrete, Marshall, Immersion.*

1. PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan bagian dari sarana transportasi yang memiliki peranan penting, karena jalan merupakan fasilitas penting bagi manusia untuk menghubungkan suatu tempat ke tempat yang lain. Di Indonesia terdapat beberapa permukaan jalan yang kondisinya kurang baik karena adanya genangan air pada permukaan jalan tersebut yang menyebabkan struktur perkerasan akan terkikis.

Lapis Aspal Beton (LASTON) merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan raya

yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal keras. Agregat kasar dan agregat halus pada umumnya menempati 60% - 75% dari volume beton.

Agregat halus merupakan salah satu material penting pada lapis aspal beton (LASTON) yang berfungsi sebagai bahan pengisi rongga kosong pada campuran. Pasir merupakan sumber daya alam yang semakin lama akan habis dan tidak dapat diperbaharui. Sehingga dibutuhkan alternatif lain sebagai bahan pengganti agregat halus.

Limbah marmer adalah sisa limbah yang dihasilkan pada saat proses pengolahan pembuatan marmer yang tidak dimanfaatkan lagi. Oleh karena itu diperlukan suatu upaya pemanfaatan limbah marmer menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat, salah satunya digunakan sebagai bahan alternatif pengganti agregat halus. Material ini terus menerus akan semakin meningkat seiring banyaknya pabrik yang memproduksi marmer. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan adanya pengaruh penggunaan limbah marmer sebagai salah satu bahan pengganti campuran aspal. Oleh karena itu, penelitian saat ini ingin mengetahui pengaruh limbah marmer sebagai bahan pengganti agregat halus pada ketahanan perkerasan aspal terhadap genangan air. Adapun tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui karakteristik *Marshall* dan nilai *IRS* pada campuran LASTON AC-WC menggunakan variasi limbah marmer sebagai bahan pengganti agregat halus dengan durasi rendaman 0jam, 48jam, 96jam.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh limbah marmer saat digunakan sebagai bahan pengganti pada campuran beton aspal. Menurut penelitian Zulkifli, dkk (2012) bahwa penggunaan limbah marmer sebagai pengganti *filler* pada campuran AC-BC menunjukkan semakin tinggi marmer yang digunakan nilai *VIM* dan *flow* meningkat.

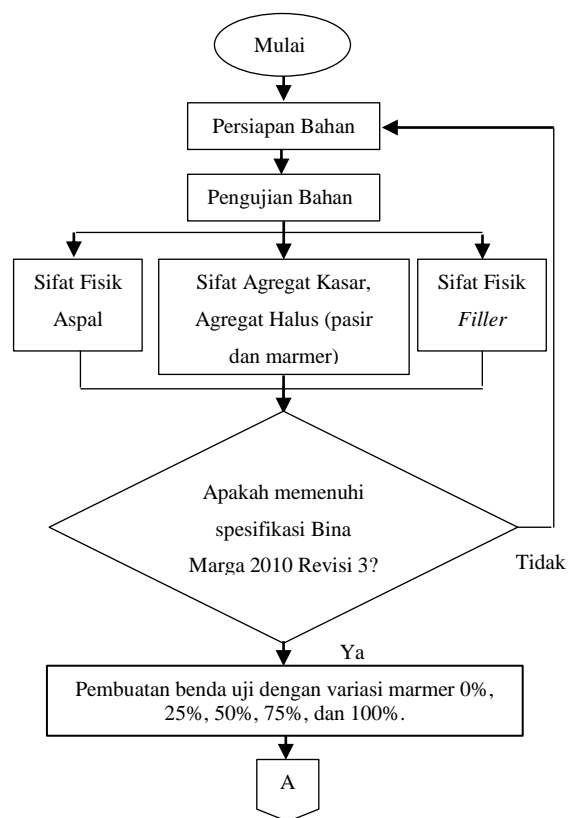
Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Ermitha (2007) mengkaji tentang penggunaan limbah marmer sebagai agregat kasar dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% pada campuran HRS-BC menghasilkan variasi I (100% marmer) memiliki nilai *VMA* dan *VIM* paling rendah, sedangkan variasi IV (25% marmer) memiliki nilai *VMA* dan *VIM* tertinggi.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh limbah marmer dengan durasi perendaman terhadap karakteristik campuran Lapis Aspal Beton (LASTON AC-WC).

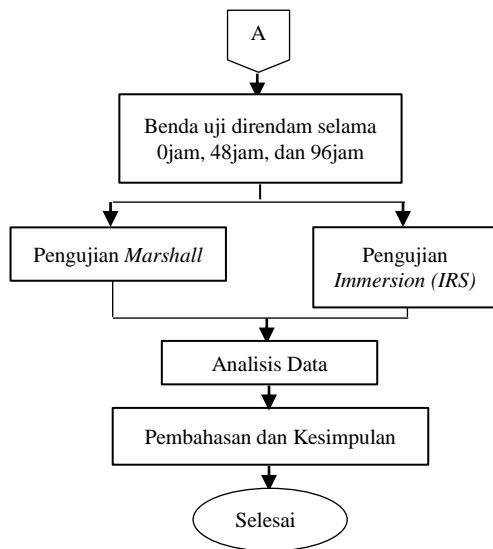
2. METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen. Metode eksperimen adalah metode yang dilakukan dengan cara percobaan terhadap benda yang akan diteliti. Persyaratan dan prosedur mengacu pada peraturan *American Association of State Highway and Transport (AASHTO)* dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.

Limbah marmer yang digunakan dari Kalasan, Yogyakarta. Aspal yang digunakan adalah Pertamina Pen 60/70. Pemeriksaan diawali dengan persiapan bahan kemudian pengujian bahan, dilanjutkan pembuatan benda uji untuk pengujian kadar aspal optimum. Tahap selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji sesuai kadar aspal optimum untuk dilakukan pengujian *Marshall* dan *IRS*. Total benda uji yang digunakan 105 buah. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Bagan Alir



Lanjutan Gambar 1. Bagan Alir

3. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

Penguujian *Marshall* dan *IRS* penguujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia Yogyakarta yang mengacu pada peraturan *AASHTO* dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Revisi 3.

3.1 Sifat fisik Material

Penguujian sifat fisik material terdiri dari penguujian karakteristik agregat kasar dan agregat halus, penguujian aspal dan penguujian berat jenis limbah marmer dapat dilihat pada Tabel 1., Tabel 2., dan Tabel 3. berikut ini

Tabel 1. Hasil Penguujian Agregat Kasar dan Agregat Halus

| No | Jenis Penguujian | Spesifikasi | Hasil | Keterangan |
|----|---------------------------------------------|-------------|-------|------------|
| 1 | Berat Jenis Agregat Kasar | > 2,5 | 2,65 | Memenuhi |
| 2 | Berat Jenis Agregat Halus | > 2,5 | 2,81 | Memenuhi |
| 3 | Penyerapan Agregat Kasar Terhadap Air (%) | < 3 | 2,01 | Memenuhi |
| 4 | Penyerapan Agregat Halus Terhadap Air (%) | < 3 | 2,65 | Memenuhi |
| 5 | Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%) | > 95 | 97 | Memenuhi |
| 6 | Keausan dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%) | < 40 | 19,02 | Memenuhi |
| 7 | <i>Sand Equivalent</i> (%) | > 50 | 76,15 | Memenuhi |

Tabel 2. Hasil Penguujian Marmer

| No | Jenis Penguujian | Spesifikasi | Hasil | Keterangan |
|----|---------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------|------------|
| 1 | Berat Jenis a. Berat Jenis Bulk b. Berat Jenis SSD c. Berat Jenis Semu | > 2,5 | a. 2,57 b. 2,62 c. 2,72 | Memenuhi |
| 2 | Penyerapan Agregat Halus Terhadap Air (%) | < 3 | 2,10 | Memenuhi |

Tabel 3. Hasil Penguujian Aspal Pertamina Pen 60/70

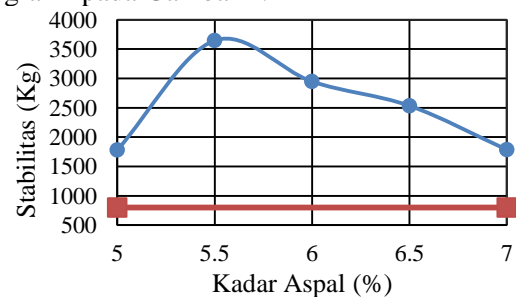
| No | Jenis Penguujian | Spesifikasi | Hasil | Keterangan |
|----|-------------------------------------|-------------|-------|------------|
| 1 | Berat Jenis Aspal | $\geq 1,0$ | 1,07 | Memenuhi |
| 2 | Penetrasi | 60-70 | 61,8 | Memenuhi |
| 3 | Daktalitas (cm) | ≥ 100 | 164 | Memenuhi |
| 4 | Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$) | ≥ 232 | 290 | Memenuhi |
| 5 | Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$) | ≥ 48 | 48,75 | Memenuhi |
| 6 | Kelarutan CCL4 (%) | ≥ 99 | 99,21 | Memenuhi |

3.2 Hasil Pemeriksaan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum campuran LASTON AC-WC ditentukan berdasarkan parameter dengan nilai stabilitas min. 800 kg, *flow* bersyarat 2-4 mm, *MQ* min. 200 kg/mm, *VITM* bersyarat 3-5%, *VFWA* min. 65% dan *VMA* min. 15%

1. Stabilitas

Stabilitas merupakan indikator kekuatan lapis perkerasan dalam menahan beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk seperti gelombang atau alur. Semakin tinggi nilai stabilitas maka semakin besar pula beban yang mampu ditahan oleh perkerasan tersebut. Berikut ini adalah hasil nilai stabilitas yang dapat dilihat dalam bentuk grafik pada Gambar 2.

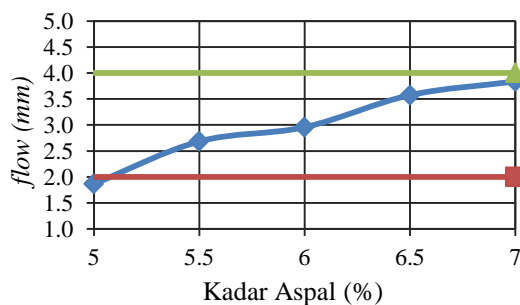


Gambar 2 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas

Nilai stabilitas naik sampai pada titik optimum pada kadar 5,5% kemudian mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena semakin bertambahnya kadar aspal yang diberikan akan menyebabkan semakin tebal lapisan selimut aspal.

2. Flow

Flow adalah besarnya penurunan pada campuran akibat suatu beban yang diterima sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan mm. Berikut adalah grafik nilai flow yang dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini.

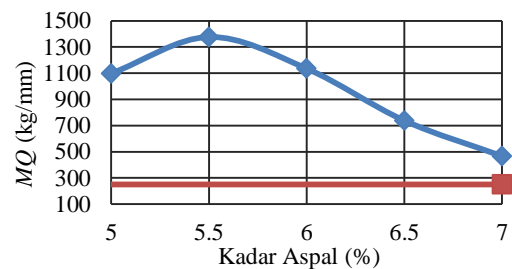


Gambar 3 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Flow

Pada Gambar 3 didapatkan nilai flow cenderung meningkat seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena semakin meningkatnya kadar aspal maka campuran tersebut akan bersifat plastis sehingga mudah terjadi perubahan bentuk (deformasi plastis) akibat beban lalu lintas

3. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient merupakan rasio perbandingan antara nilai stabilitas dan flow pada suatu campuran. Nilai Marshall Quotient ini diperlukan untuk mengetahui kekakuan dari suatu campuran. Hasil perhitungan MQ dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 4 berikut ini.

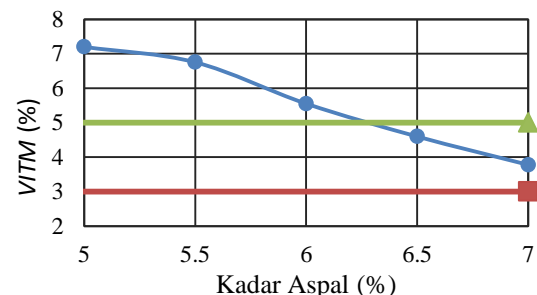


Gambar 4 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai MQ

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai MQ tertinggi berada pada kadar aspal 5,5%. Hal ini terjadi karena nilai stabilitas yang tinggi namun tidak diiringi nilai flow yang tinggi pula.

4. Void in The Total Mix (VITM)

Void in The Total Mix (VITM) adalah rongga udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam sesuatu campuran yang telah dipadatkan. Grafik nilai VITM dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.

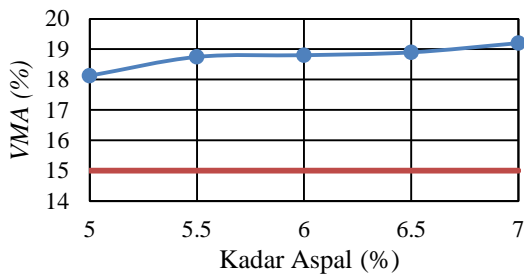


Gambar 5 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai VITM

Nilai VITM cenderung menurun seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena semakin bertambahnya kadar aspal, maka jumlah aspal yang mengisi rongga antar butiran agregat semakin bertambah, sehingga volume rongga dalam campuran menurun setelah dipadatkan.

5. Void in Mineral Aggregate (VMA)

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah volume rongga antar butiran agregat dalam campuran beraspal yang dinyatakan dalam satuan persen. Berikut ini adalah hasil nilai VMA yang disajikan dalam grafik pada Gambar 6.

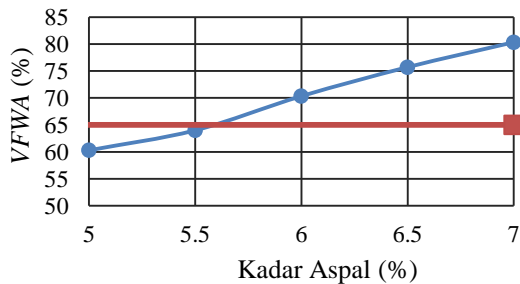


Gambar 6 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai VMA

Nilai *VMA* cenderung meningkat setiap penambahan kadar aspal. Hal ini disebabkan rongga antar agregat semakin terisi aspal sehingga pori semakin kecil.

6. Void Filled With Asphalt (VFWA)

Void Filled With Asphalt adalah volume rongga campuran yang terisi aspal atau biasa disebut dengan selimut aspal. Pada umumnya nilai *VFWA* akan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal karena rongga pada campuran yang terisi aspal akan semakin banyak. Grafik nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai VFWA

Nilai *VFWA* cenderung naik seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan semakin terisinya rongga oleh aspal.

3.3 Tinjauan Karakteristik Marshall Test pada Kadar Aspal Optimum dengan Variasi Lama Perendaman

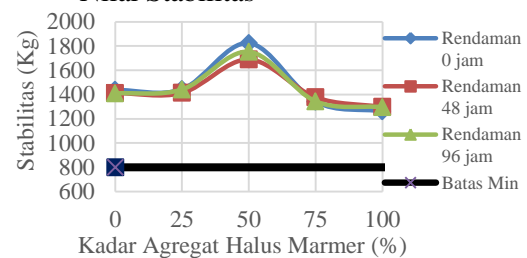
Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* untuk mencari nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) diperoleh nilai sebesar 6,65%, lalu benda uji dibuat sebanyak 90 sampel dengan masing-masing variasi agregat halus marmer yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan

100%. Benda uji kemudian direndam dengan lama perendaman 0 jam, 48 jam, dan 96 jam. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil seperti berikut.

1. Stabilitas

Grafik hasil nilai stabilitas pada pengaruh penggunaan limbah marmer sebagai agregat halus dan pengaruh perendaman adalah sebagai berikut.

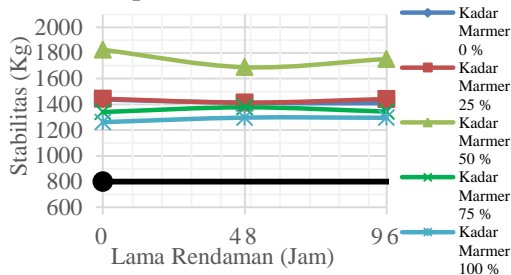
a. Pengaruh Variasi Marmer Terhadap Nilai Stabilitas



Gambar 8 Hubungan Grafik Agregat Halus Marmer Terhadap Stabilitas

Hubungan stabilitas terhadap variasi marmer menunjukkan adanya peningkatan pada kadar marmer 0% hingga 50%. Sedangkan untuk kadar marmer 75% dan kadar marmer 100% menunjukkan nilai stabilitas yang menurun. Semakin bertambahnya kadar marmer dengan penyerapan yang lebih kecil dari agregat halus batu pecah mengakibatkan daya ikat antar agregat semakin lemah, hal ini karena aspal optimum dengan penambahan kadar marmer membuat proporsi aspal meningkat dan dapat menyebabkan campuran *bleeding* sehingga nilai stabilitas menurun.

b. Pengaruh Durasi Perendaman Terhadap Nilai Stabilitas



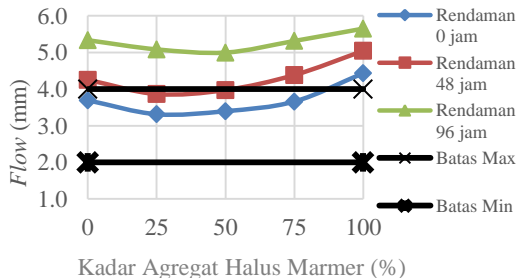
Gambar 9 Hubungan Grafik Lama Rendaman Terhadap Stabilitas

Nilai stabilitas dengan kadar marmer yang sama dan dengan durasi perendaman yang semakin lama cenderung menurunkan nilai stabilitas. Hal ini dikarenakan air yang masuk kedalam campuran mengurangi kelekatan antar agregat.

2. Flow

Grafik hasil nilai *flow* pada pengaruh penggunaan limbah marmer sebagai agregat halus dan pengaruh perendaman adalah sebagai berikut.

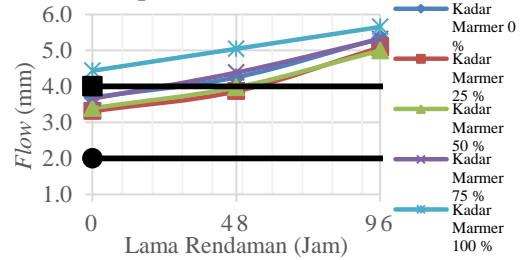
a. Pengaruh Variasi Marmer Terhadap Nilai Flow



Gambar 10 Hubungan Grafik Agregat Halus Marmer Terhadap Flow

Hasil diatas menunjukkan cenderung meningkat nilai *flow* setiap penambahan kadar marmer. Hal ini disebabkan semakin bertambahnya kadar marmer yang cenderung berlebih membuat campuran semakin plastis, sehingga stabilitas semakin menurun setiap penambahan kadar marmer yang menyebabkan campuran tidak tahan terhadap deformasi ketika menerima beban.

b. Pengaruh Durasi Perendaman Terhadap Nilai Flow



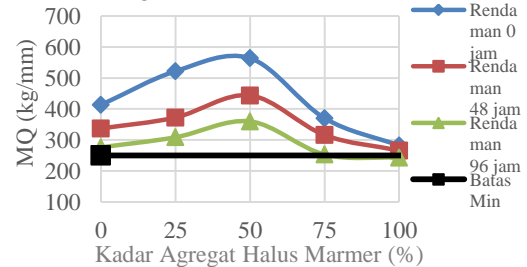
Gambar 11 Hubungan Grafik Lama Rendaman Terhadap Flow

Nilai *flow* yang cenderung meningkat setiap penambahan kadar marmer dengan durasi rendaman yang sama. Hal ini disebabkan agregat tidak melekat dengan baik karena pengaruh durasi perendaman membuat kelekatan menjadi rapuh dalam campuran tersebut sehingga campuran tidak memiliki aspal yang baik untuk merekatkan antar agregat.

3. Marshall Quotient (MQ)

Grafik hasil nilai *MQ* pada pengaruh penggunaan limbah marmer sebagai agregat halus dan pengaruh perendaman adalah sebagai berikut.

a. Pengaruh Variasi Marmer Terhadap Nilai MQ

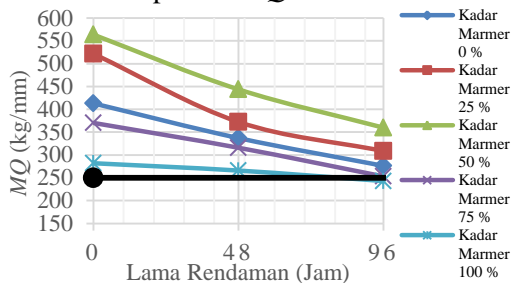


Gambar 12 Hubungan Grafik Agregat Halus Marmer Terhadap MQ

Nilai *MQ* cenderung meningkat sampai kadar marmer 50% dan turun kembali pada kadar marmer 75%. Penurunan *MQ* pada campuran menunjukkan bahwa semakin bertambahnya marmer pada agregat halus menyebabkan campuran tersebut kurang stabil. Nilai *MQ* merupakan hasil dari stabilitas dengan *flow* yang digunakan sebagai

pendekatan terhadap tingkat kekakuan suatu campuran.

b. Pengaruh Durasi Perendaman Terhadap Nilai MQ



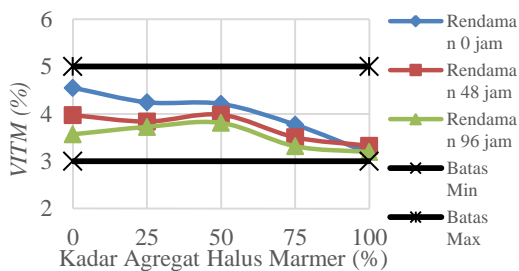
Gambar 13 Hubungan Grafik Lama Rendaman Terhadap MQ

Nilai MQ semakin menurun pada setiap penambahan kadar marmer dengan durasi rendaman yang sama. Penurunan nilai MQ pada setiap durasi perendaman karena meningkatkan nilai $flow$ yang membuat campuran tidak stabil akibat pengaruh air dalam jangka waktu yang lama.

4. *Void in The Total Mix (VITM)*

Grafik hasil nilai $VITM$ pada pengaruh penggunaan limbah marmer sebagai agregat halus dan pengaruh perendaman adalah sebagai berikut.

a. Pengaruh Variasi Marmer Terhadap Nilai $VITM$



Gambar 14 Hubungan Grafik Agregat Halus Marmer Terhadap $VITM$

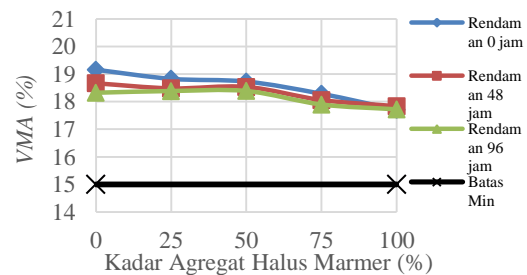
Nilai $VITM$ cenderung menurun dari kadar marmer 0% hingga kadar marmer 100%. Penurunan nilai $VITM$ dikarenakan limbah marmer memiliki tekstur permukaan yang relatif halus dan penyerapan yang lebih kecil dibandingkan dengan agregat halus batu pecah, sehingga marmer mempunyai kemampuan mengisi

rongga yang lebih baik daripada agregat halus pasir yang membuat campuran semakin padat.

5. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Grafik hasil nilai VMA pada pengaruh penggunaan limbah marmer sebagai agregat halus dan pengaruh perendaman adalah sebagai berikut.

a. Pengaruh Variasi Marmer Terhadap Nilai VMA



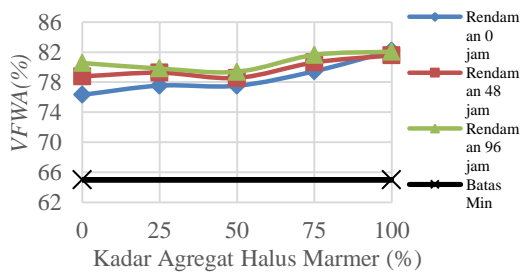
Gambar 15 Hubungan Grafik Agregat Halus Marmer Terhadap VMA

Pada Gambar 5.16 menunjukkan bahwa penambahan kadar marmer mengakibatkan nilai VMA mengalami penurunan pada kadar marmer 0% sampai 100%, dapat dilihat pada nilai $VITM$ yang semakin kecil. Hal ini disebabkan karena penambahan limbah marmer membuat ruang yang tersedia untuk menampung volume rongga udara yang terdapat dalam campuran semakin banyak sehingga pori antar agregat semakin kecil.

6. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

Grafik hasil nilai $VFWA$ pada pengaruh penggunaan limbah marmer sebagai agregat halus dan pengaruh perendaman adalah sebagai berikut.

a. Pengaruh Variasi Marmer Terhadap Nilai $VFWA$



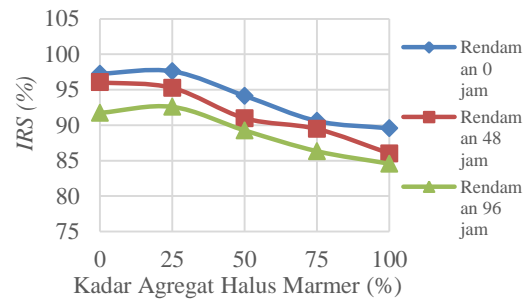
Gambar 16 Hubungan Grafik Agregat Halus Marmer Terhadap VFWA

Nilai VFWA cenderung meningkat seiring dengan penambahan kadar marmer 0% hingga 100%. Hal ini disebabkan limbah marmer memiliki nilai penyerapan yang rendah dibandingkan agregat halus pasir yang akan mempengaruhi besarnya rongga pada campuran yang terisi aspal.

Tinjauan Karakteristik *Immersion Test*

Durabilitas atau keawetan merupakan kemampuan perkerasan dalam menerima repetisi beban lalu lintas, gesekan antar roda kendaraan dengan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim seperti udara, air, dan perubahan temperatur. Berikut ini adalah hasil dari pengujian *Immersion* untuk campuran LASTON AC-WC berbahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70.

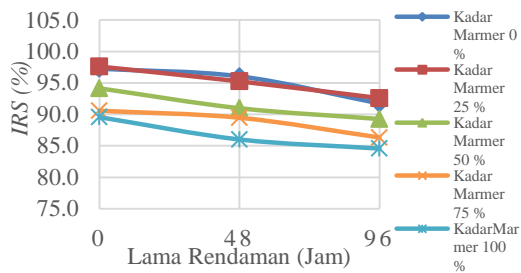
1. Analisis Pengaruh Kadar Agregat Halus Marmer terhadap Nilai Stabilitas Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan dalam menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk (deformasi). Nilai stabilitas yang disyaratkan pada Bina Marga 2010 Rev. 3 dengan batas minimum 800 kg



Gambar 17 Hubungan Grafik Agregat Halus Marmer Terhadap IRS

Pada Gambar 5.20 didapatkan penurunan nilai stabilitas *marshall* 24 jam dari *marshall* 0,5 jam untuk setiap variasi marmer dengan durasi rendaman yang sama. Didapatkan nilai IRS yang semakin menurun setiap bertambahnya kadar marmer seiring penambahan durasi perendaman. Nilai IRS yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Rev. 3 yaitu minimum 90% adalah kadar marmer 0% sampai 100% pada rendaman 0 jam, kadar marmer 0% sampai 50% pada rendaman 48 jam, kadar marmer 0% sampai 25% pada rendaman 96 jam, namun hasil tersebut masih memenuhi spesifikasi *Asphalt Institute*, MS-2 (1983) yaitu 75%. Hal ini disebabkan perubahan temperatur yang lebih tinggi membuat campuran menjadi lembek sehingga stabilitas turun. Penurunan stabilitas juga terjadi karena air yang masuk pada campuran mengurangi daya lekat antar agregat.

2. Analisis Pengaruh Lama Rendaman terhadap Nilai *Index of Retained Strength (IRS)*
Index of Retained Strength didapatkan dari proses perendaman, untuk mengevaluasi keawetan pada suatu campuran setelah mengalami proses perendaman selama 24 jam pada suhu 60°C terhadap perendaman selama 30 menit dengan suhu 60°C. Grafik nilai IRS dapat dilihat pada Gambar 5.21 dibawah ini.



Gambar 18 Hubungan Grafik Lama Rendaman Terhadap IRS

Nilai *IRS* mengalami penurunan seiring bertambahnya durasi perendaman. Hal ini dipengaruhi oleh tekstur permukaan marmer yang lebih halus serta mudah dipadatkan, sehingga ketika terkena pengaruh suhu pada air dengan durasi yang lama menyebabkan campuran lebih cepat rapuh dibandingkan dengan campuran agregat halus batu pecah.

Nilai *IRS* yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Rev. 3 yaitu minimum 90% adalah kadar marmer 0% sampai 100% pada rendaman 0 jam, kadar marmer 0% sampai 50% pada rendaman 48 jam, kadar marmer 0% sampai 25% pada rendaman 96 jam, namun hasil tersebut masih memenuhi spesifikasi *Asphalt Institute*, MS-2 (1983) yaitu 75%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan dan saran sebagai berikut.

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Pengaruh variasi kadar marmer pada pengujian *Marshall* cenderung terjadi peningkatan pada nilai *flow*, *MQ*, dan *VFWA*, sedangkan pada nilai stabilitas, *VITM* dan *VMA* cenderung mengalami penurunan. Peningkatan terjadi karena limbah marmer memiliki nilai penyerapan yang rendah daripada batu pecah sehingga mempengaruhi besarnya rongga pada campuran yang terisi aspal serta membuat campuran akan semakin plastis, sedangkan dengan nilai penyerapan yang kecil dan tekstur

permukaan marmer yang halus menyebabkan stabilitas, *VITM* dan *VMA* menurun. Campuran *LASTON AC-WC* pada kadar marmer 50% menghasilkan campuran yang stabil dan tidak getas ketika menerima beban.

2. Pengaruh durasi rendaman pada pengujian *Marshall* mengalami peningkatan pada nilai *flow*, serta mengalami penurunan pada nilai stabilitas dan *MQ*. Peningkatan pada nilai *flow* terjadi karena agregat tidak melekat dengan baik membuat kelekatan menjadi rapuh dalam campuran, sedangkan penurunan pada nilai stabilitas dan *MQ* terjadi karena air yang masuk ke dalam campuran mengurangi kekuatan dan membuat campuran tidak stabil.
3. Penggunaan variasi kadar marmer dengan durasi rendaman pada campuran *LASTON AC-WC* yang menggunakan bahan ikat *Pertamina Pen 60/70* memiliki nilai *IRS* yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu minimum 90% adalah kadar marmer 0% sampai 100% pada rendaman 0 jam, kadar marmer 0% sampai 50% pada rendaman 48 jam, kadar marmer 0% sampai 25% pada rendaman 96 jam. Penambahan kadar marmer dengan durasi rendaman yang semakin lama menyebabkan nilai *IRS* terjadi penurunan, hal ini disebabkan agregat halus marmer memiliki tekstur permukaan yang lebih halus serta mudah dipadatkan dibandingkan agregat halus batu pecah.

4.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat dikemukakan saran-saran sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian dengan gradasi campuran yang berbeda (*LATASTON*, *HRS*, *LASTON AC-BC*).
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mencari bagaimana pengaruh ikatan kimia limbah marmer dengan aspal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ermitha, 2007, Kajian Laboratorium Pemanfaatan Limbah Pecahan Marmer Sebagai Agregat Kasar Untuk Bahan Perkerasan Jalan Pada Campuran *Hot Roller Sheet-Binder Course*, *Jurnal Teknik Sipil*, Universitas Gajah Mada, Yogya karta.
- Zukifli, dkk., 2012, Kajian Laboratorium Limbah Marmer Sebagai Filler Dalam Campuran Aspal Beton Lapis Antara (*AC-BC*)