

Karakteristik Campuran Laston Lapis Aus yang Menggunakan Agregat Limbah Beton

Yanti¹, Rais Rachman², Alpius³

*1 *Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia*
anthyyanti4@gmail.com

*2,3 *Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar, Indonesia*
rais.sipilukip@gmail.com *2 dan alpiusnini@gmail.com *3

Corresponding Author : alpiusnini@gmail.com

Abstrak

Tujuan penelitian berfokus pada pengujian karakteristik campuran Laston Lapis Aus, Agregat yang diambil kemudian yang akan dikaji ialah agregat dari Limbah Beton. Metode yang digunakan dalam penelitian ini antara lain menguji sifat agregat kasar, agregat halus dan filler, setelah itu dilakukan perancangan campuran Laston Lapis Aus setelah itu dilakukan pengujian Marshall adapun pengujian marshall yang dilakukan yaitu Marshall konvensional untuk mendapat nilai karakteristik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik bahan perkerasan berupa agregat dari Limbah beton memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 sebagai lapisan jalan. Melalui pengujian Marshall diperoleh karakteristik campuran Laston Lapis Aus dengan Kadar aspal 5.50%, 6.00%, 6.50%, 7.00%, dan 7.50%.

Kata kunci: Limbah, Karakteristik, AC-WC, Marshall.

Abstract

The research objective focuses on testing the characteristics of the Laston Lapis Aus mixture, the aggregate taken later to be studied is the aggregate of Concrete Waste. The method used in this study included testing the properties of coarse aggregate, fine aggregate and filler, after that the Laston Lapis Aus mixture design was carried out after that the marshall test was carried out while the marshalltest was carried out namely the conventional marshall to get the characteristic value.

The results showed that the characteristics of the pavement material in the form of aggregates from Concrete Waste tested the 2018 Bina Marga General Specifications as road layers. Through Marshall testing, the characteristics of the Laston Lapis Aus mixture were obtained with asphalt levels of 5,50%, 6,00%, 6,50%, 7,00%, and 7,50%.

Keywords: *Characteristics, Asphalt Concrete-Wearing Course, AC – WC, Marshall Test.*

PENDAHULUAN

Dalam pengerjaan suatu perkerasan jalan memerlukan agregat yang cukup banyak sedangkan agregat merupakan hasil alam yang tidak dapat diperbaharui. Penggunaan beton sebagai bahan bangunan sudah lama dikenal dan semakin berkembang sehingga begitu banyak bangunan-bangunan tua diruntuhkan dan mengakibatkan limbah beton yang berlimpah dan semakin banyak pemakaian campuran yang siap pakai yang melewati persediaan, hingga akan terbuang sia-sia di tanah dan dapat menurunkan kesuburan tanah.

Limbah atau buangan merupakan benda yang dibuang baik berasal dari alam ataupun dari hasil proses teknologi yang tidak dibutuhkan karena tidak memiliki nilai ekonomis. Limbah beton dapat ditemukan di beberapa tempat seperti laboratorium pemeriksaan beton, dan pembongkaran struktur bangunan gedung bertingkat, sehingga limbah beton tersebut semakin hari semakin banyak sehingga dapat mengganggu lingkungan. Limbah beton adalah sisa-sisa dari reruntuhan bangunan akibat gempa bumi, hasil dari reruntuhan bangunan-bangunan maupun limbah beton yang berasal dari hasil pemeriksaan di laboratorium.

Penggunaan bahan limbah beton pada konstruksi jalan dapat menghemat sumber daya alam dan biaya dibandingkan dengan pekerjaan konstruksi yang menggunakan bahan baru serta perlu dilakukan pengembangan teknologi infrastruktur jalan dengan mendaur ulang limbah beton sebagai agregat kasar dan agregat halus dalam konstruksi jalan. Limbah beton di daur ulang menjadi agregat yang dilakukan dengan cara menghancurkan limbah beton menjadi bagian-bagian yang lebih kecil sehingga dihasilkan agregat dari daur ulang limbah beton. Lapis aspal beton (LASTON) merupakan salah satu jenis lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur, yang memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi sehingga penempatan langsung di atas lapisan permukaan seperti lapisan aus membuat lapisan ini rentan terhadap kerusakan akibat perubahan cuaca. Beton Aspal Lapisan Aus (AC-WC) adalah lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air dan tahan terhadap cuaca. Berdasarkan latar belakang diatas maka dalam penelitian ini menguji apakah agregat Limbah Beton dapat digunakan untuk lapisan permukaan campuran Laston Lapis Aus serta tugas akhir yang berjudul : “ Karakteristik Campuran Laston Lapis Aus Yang Menggunakan Agregat Limbah Beton “.

Lapisan permukaan adalah bagian lapisan perkerasan yang paling atas yang langsung memikul beban lalu lintas. Perkerasan laston berada pada lapisan paling atas yang langsung bersentuhan dengan roda kendaraan dan berfungsi juga sebagai penghambat air yang akan masuk ke lapisan perkerasan. Sebagai lapisan structural langsung menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya berupa muatan kendaraan (gaya vertikal) gaya rem (Horizontal) dan pukulan roda kendaraan (getaran) sedangkan sebagai non structural adalah lapisan anti air yang berfungsi untuk mengalirkan air ke saluran samping jalan dan selain sebagai lapisan anti air, lapisan ini juga berfungsi sebagai lapisan tahan aus yang harus menahan gesekan dari pengereman kendaraan [1] [2] .

Agregat adalah material yang digunakan dalam campuran aspal beton dalam porsi besar, sehingga agregat dapat dikatakan sebagai bahan utama penyusun komponen campuran adapun komposisi agregat sendiri biasanya terdiri dari batu yang diambil dari sungai maupun gunung karena mempunyai kualitas yang bagus dan tahan lama. Adapun agregat terdiri dari dua bagian Agregat Kasar dan Agregat Halus [3].

Dalam fungsinya filler digunakan sebagai bahan tambah perekat seperti semen atau pun di jadikan bahan pengganti dalam suatu campuran atau biasa dinamakan modifikasi filler merupakan bahan tambah yang diperoleh dari penyaringan yang lolos saringan No. 200 ataupun yang tertahan di pan ataupun biasanya diganti dengan semen atau bahan pengganti seperti bahan kimia industry [3] [4].

Pemeriksaan Karakteristik Agregat halus Dan kasar. Memakai SNI ASTM C136 : 2012 sebagai patokan untuk menganalisa percobaan analisa saringan ada dua jenis analisa yang dilakukan yaitu terhadap agregat kasar dan agregat halus. Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air, Standar Rujukan/Acuan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar.SNI 1969 – 2016. Menganalisis kadar lumpur atau sekarang lebih dikenal dengan nilai setara pasir dengan ketentuan SNI 03-4428-1997. Pengujian Keausan merupakan pengujian yang mana untuk mengetahui ketahanan suatu agregat terhadap abrasi yang terjadi yang cara mengetahui menggunakan mesin los angeles dengan dasar ketentuan SNI 2417-2008. Pengujian untuk kepipihan dan kelonjongan pada karakteristik agregat untuk mengetahui batas

kepipihan dan kelonjong yang di tetapkan seperti yang ada pada ketentuan ASTM D-4791-10. Pengujian agregat lolos ayakan no.200 Standar mengacu pada standar rujukan SNI ASTM C117:2012 [5]

Berbagai penelitian yang dilakukan untuk menhuji penggunaan limbah sebagai bahan campuran AC-WC diantaranya Karakteristik Campuran AC-WC dan AC-BC Menggunakan Bahan Tambah Serat Ijuk [6]. Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Additive pada Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC) terhadap Karakteristik Marshall [7]. Studi Karakteristik Campuran AC-BC Menggunakan Limbah Kantong Plastik Sebagai Bahan Tambah [8]. Kajian Penggunaan Ampas Tebuu sebagai Pengganti Filler Terhadap Karakteristik Aspal Beton [9]. Pengaruh Penambahan Serat Aren Terhadap Durabilitas Campuran AC-WC [10]

Tujuan penelitian berfokus pada pengujian karakteristik campuran Laston Lapis Aus, Agregat yang diambil kemudian yang akan dikaji ialah agregat dari Limbah Beton

METODOLOGI

1. Tahapan penelitian

Pada saat memulai tahapan penelitian terlebih dahulu penulis mencari studi literatur/referensi terkait penelitian Laston Lapis Aus, kemudian dilakukan pengambilan/persiapan bahan (agregat). Setelah pengambilan/persiapan bahan (agregat) dilakukan 3 (tiga) tahapan penelitian yaitu penelitian karakteristik aspal (data primer), penelitian karakteristik agregat (data primer), dan penelitian berat jenis filler (data primer). jika penelitian memenuhi Standar Spesifikasi Bina Marga 2018 maka dilakukan pembuatan komposisi rancangan pada perkerasan Laston Lapis Aus, dilakukan pengujian Marshall konvensional, apabila semua memenuhi hasil diharapkan dan tidak terdapat nilai yang tidak memenuhi bisa dilanjutkan pada teknis pembahasan hasil dan kemudian menarik kesimpulan apakah layak digunakan atau tidak kemudian apabila tidak memenuhi tentunya akan dilakukan pengulangan analisis dan apabila hasilnya kembali tidak memenuhi maka langsung masuk pada kesimpulan dan saran bahwa benda uji tidak layak untuk perkerasan.

2. Lokasi Penelitian

Lokasi tempat pengambilan material dari laboratorium bahan dan struktur beton, Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar. Bahn limbah beton seperti terlihat pada Tabel 1. Kemudian untuk persiapannya pertama-tama limbah beton hasil pengujian diambil kemudian di lakukan pemecahan di Laboratorium kemudian memeriksa karakteristik apakah memenuhi ketentuan-ketentuan yang telah di tetapkan



Gambar 1. Limbah Beton hasil buangan laboratorium

3. Karakteristik Agregat

Adapun metode dalam melakukan penelitian untuk di uji terdiri dari beberapa pengujian antara lain:

- a. Menganalisa agregat dengan menggunakan saringan untuk mengetahui distribusi agregat yang lolos baik agregat kasar dan agregat halus menggunakan SNI/ASTM 136:2012
- b. Pemeriksaan berat jenis tujuannya ialah memeriksa nilai berat jenis agregat yang akan digunakan.
- c. Menguji nilai kadar lumpur atau nilai setara pasir.
- d. Pengujian keausan atau abrasi dengan menggunakan mesin Los Angeles dengan membagikan kedalam 4 fraksi yaitu A,B,C dan D.
- e. Pemeriksaan agregat terhadap kepipihan dan kelonjongan ukuran agregat.
- f. Pengujian kelekatan agregat terhadap Aspal
- g. Pemeriksaan agregat dari kotoran-kotoran pada agregat halus menggunakan saringan no.200.

4. Karakteristik aspal

- a. Daktalitas pada 25°C Tujuan dari pemeriksaan ini adalah melihat ke elastilitas aspal apabila di Tarik sepanjang 100 cm apabila melewati maka dianggap memenuhi.
- b. Penetrasi pada suhu 25 ° C (0,1 mm) untuk pengujian penetrasi dilakukan dengan cara memasukkan jarum pada suhu dan suhu tertentu untuk waktu tertentu dan memasukkan aspal pada suhu tertentu dengan menggunakan alat penetrasi atau penetrometer. Hal tersebut dapat dijadikan acuan dalam penggunaan aspal di lapangan. SNI 2456 : 2011.
- c. Titik lembek (°C) sedangkan untuk pengujian titik lembek untuk menguji apakah aspal yang digunakan memiliki tekstur yang kasar atau lembek dengan menggunakan alat pengujian titik lembek dengan cara dipanaskan yang akan dijadikan acuan di lapangan.SNI 2434 – 2011.
- d. Titik nyala (°C) Tujuan dari pemeriksaan titik nyala adalah untuk mengetahui pada suhu berapa aspal akan mulai mengeluarkan nyala api dan terbakar akibat pemanasan.SNI 2433-2011.
- e. Berat jenis aspal (mengacu pada SNI 2441-2011) Tujuan pengujian berat jenis aspal adalah untuk mengetahui berat jenis aspal relatif terhadap berat jenisnya dengan mengacu pada bina marga 2018. SNI 2441 – 2011.
- f. berat yang hilang (%) Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kehilangan terhadap aspal yang di panaskan pada suhu tertentu, untuk mendapat nilai hilang beratnya . SNI 06-2441 – 1991.
- g. Permeabilitas aspal (%) di suhu 25 °C berdasarkan TFOT pada SNI 2456 - 2011 Tujuan dari pengujian penetrasi pada TFOT adalah untuk mendapatkan kekerasan aspal dengan menggunakan alat ukur permeabilitas untuk melakukan pengujian penetrasi, dan pengujian tersebut menjadi acuan dalam penggunaan aspal.

5. Karakteristik filler

Pemeriksaan berat jenis filler bertujuan untuk mengetahui apakah filler atau semen yang digunakan kualitasnya baik atau tidak dan apakah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 agar nantinya pada saat digunakan dalam pencampuran daya lekat terhadap agregat serta aspal bisa maksimal dan sebaliknya. SNI ASTM C 136 : 2012.

6. Rancangan benda uji

Dalam pelaksanaannya pada penelitian benda uji yang digunakan ada 15 sampel untuk pengujian marshall konvensional.

Tabel 1. Rancangan Jumlah Benda Uji Campuran

Kadar aspal %	Jumlah benda uji
5.5	3 sampel
6	3 sampel
6.5	3 sampel
7	3 sampel
7.5	3 sampel
Total	15 sampel

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Agregat

Berdasarkan uji karakteristik agregat kasar dan halus dari limbah beton serta karakteristik semen, agregat dan filler dilihat di bawah.

- Abrasi dengan Mesin Los Angeles adalah Fraksi A = 22.04%, Fraksi B = 19.8%, Fraksi C = 28.26 dan Fraksi D = 26.4 %.
- Berat Jenis Agregat Kasar adalah Bulk = 2.52, SSD = 2.58, Apparent = 2.67 dan Penyerapan = 2.21%
- Berat jenis Agregat Halus adalah Bulk = 2.50, SSD = 2.55, Apparent = 2.64 dan Penyerapan = 2.15%
- Analisa Saringan adalah lolos Saringan 3/4' = 100%; saringan 1/2' = 94.47%, saringan 3/8' = 82.40%, saringan No.4' = 64.22%, saringan No.8' = 47.29%, saringan No.16' = 34.77%, saringan No.30' = 24.96, saringan No.50' = 16.42%, saringan No.100' = 8.11, saringan No.200' = 2.53% dan PAN = 0.00%
- Material Lolos Ayakan No.200 = 7.8%
- Nilai Setara Pasir yaitu Sand Equivalent = 98.39% dan Kadar Lumpur = 1.61%
- Partikel Pipih adalah saringan 3/4' = 6.50%, saringan 1/2' = 6.10%, saringan 3/8' = 3.70% dan saringan 1/4' = - sedangkan Partikel lonjong yang lolos saringan 3/4' = 7.20%, saringan 1/2' = 6.90%, saringan 3/8' = 4.50% dan saringan 1/4' = -
- Kelekatan Agregat Terhadap Aspal > 97%
- Pemeriksaan Berat Jenis Filler (semen) = 3.03

2. Analisis Karakteristik Aspal

Pada penelitian ini aspal yang digunakan untuk membuat campuran aspal berbahan dasar batu adalah aspal penetrasi 60/70, dan dapat diketahui karakteristik hasil pengujian.

- Penetrasi Pada 250C = 67.9 mm
- Daktilitas Pada 250C = 144 cm
- Titik Lembek (0C) = 55.5°C
- Titik Nyala °C = 270°C
- Berat Jenis Aspal = 1.017
- Berat Yang Hilang (%) = 0.349%
- Penetrasi Pada 250C Thin Film Oven Test = 82.5°C

3. Komposisi Campuran

Setelah melakukan pemeriksaan terhadap agregat dan aspal dan juga telah menentukan kadar aspal yang akan digunakan, kemudian melakukan penghitungan komposisi campuran yang akan digunakan pada setiap kadar aspal adapun komposisi yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Material	Kadar aspal (%)				
	5.5	6	6.5	7.0`	7.5
Berat agregat (gram)	1134	1128	1122	1116	1110
Berat aspal (gram)	62	72	78	84	90
Berat campuran (gram)	1200	1200	1200	1200	1200

4. Hasil perhitungan Bulk Specific Gravity dan Effective Specific Gravity

Adapun nilai berat jenis yang di peroleh di dalam Tabel 3:

Tabel 3 Bulk Specific Gravity Dan Effective Specific Gravity

Berat jenis	Kadar aspal (%)				
	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50
<i>Bulk Spesific Gravity Agregat</i>	2,76	2,77	2,79	2,80	2,82
<i>Effective Spesific Gravity Agregat</i>	2,79	2,81	2,82	2,84	2,85

5. Hasil Pengujian Marshall Konvensional

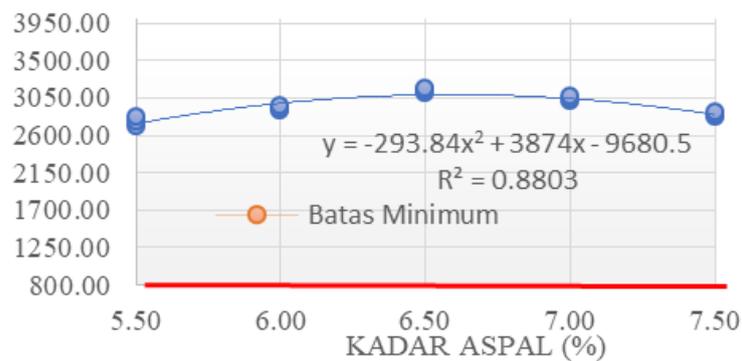
Berdasarkan hasil pengujian Marshall Konvensional karakteristik campuran Laston Lapis Aus dapat dilihat pada Tabel 4 bawah ini:

Tabel 4. Hasil Pengujian Karateristik Campuran Laston Lapis Aus

Kadar Aspal (%)	<i>Stabilitas</i>	VIM	<i>Flow</i>	VMA	VFB
5,50	2760,54	4,77	3,00	16,79	71,62
6,00	2922,93	4,54	2,50	17,75	74,45
6,50	3139,44	4,38	2,30	18,77	76,67
7,00	3031,18	3,84	2,60	19,47	80,27
7,50	2841,74	3,75	3,10	20,54	81,74
Persyaratan	Min 800 (kg)	3-5 (%)	2-4 (m)	Min 15 (%)	Min 65 (%)

a. Stabilitas

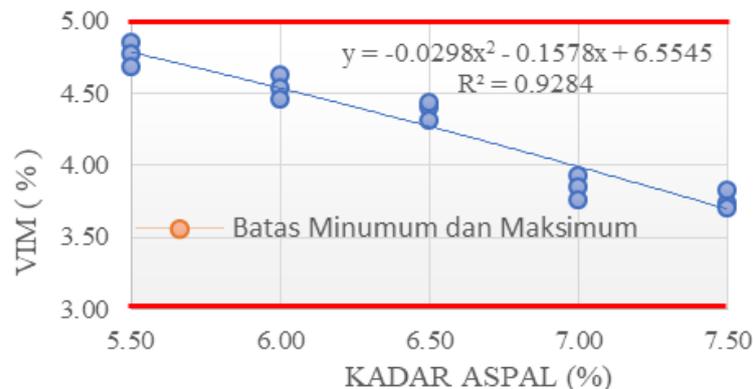
Pengujian analisis terhadap stabilitas pada Tabel 4 dapat dilihat di Gambar 2. : Dengan menggunakan kadar aspal 5,5%-7,5% untuk campuran Lasto lapis aus dengan hasil pengujian yaitu 2760,54 kg - 3139,44 kg, Sehingga dapat dilihat bahwa nilai stabilitas dengan Ka 5,5% - 7,5% semuanya sudah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dari grafik diatas dapat ditarik kesimpulan jika dalam sebuah campuran laston lapis aus kadar aspal yang digunakan sedikit maka yang akan dihasilkan yaitu stabilitas aspal menjadi kecil akibat selimut aspal yang dihasilkan tipis namun apabila ikatan antara agregat bertambah maka yang dihasilkan ikatan antara agregat menjadi kuat dan akan menjadi besar



Gambar 2. Grafik Hubungan kadar aspal dengan Stabilitas

b. VIM (Void in Mix)

Pengujian terhadap VIM dapat dilihat pada Tabel 4 dan grafik pada Gambar 3. Penggunaan dari kadar aspal 5,5%-7,5% laston lapis aus didapatkan nilai VIM, kadar aspal 5,5% sebesar 4,77%, dan untuk kadar aspal 6,0%- 7,5% terjadi penurunan dari 4,54%-3,75%. Dari persyaratan grafik tersebut ditarik kesimpulan jika kadar aspal yang dipergunakan semakin tinggi rongga yang ada didalam campuran tersebut akan semakin kecil begitupun juga sebaliknya. Nilai VIM dengan kadar aspal 5,5%-7,5% semuanya memenuhi persyaratan yang telah ditentukan

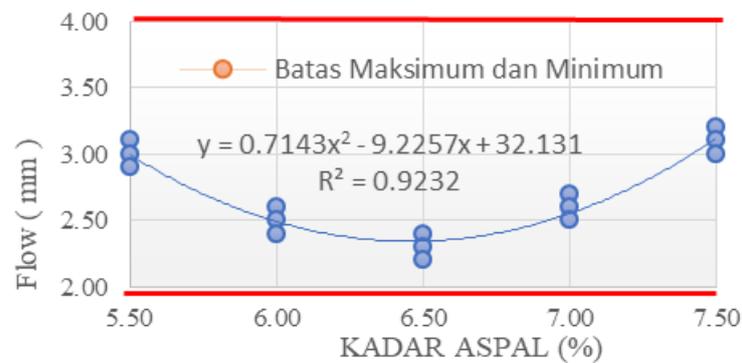


Gambar 3. Hubungan kadar aspal dengan VIM

c. Flow

Hasil data pengujian terhadap Flow dapat di lihat pada Gambar 4. Pada penggunaan kadar aspal 5,5%-7,5% dihasilkan nilai flow antara 3,0 mm – 3,10 mm. Dilihat pada grafik diatas dapat di Tarik kesimpulan

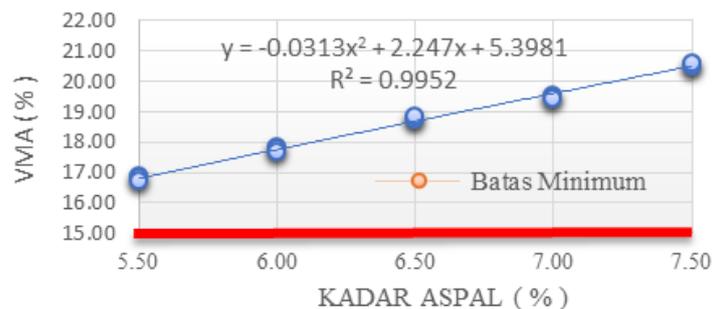
dimana penggunaan kadar aspal kecil maka yang dihasilkan pula ikatan agregatnya berkurang dan dapat menyebabkan kelenturan besar. Hasil dari nilai flow kadar aspal 5,5%-7,5% untuk campuran dari laston lapis aus semua memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018



Gambar 4. Grafik hubungan kadar aspal dengan Flow

d. VMA (Void in Mineral Aggregate)

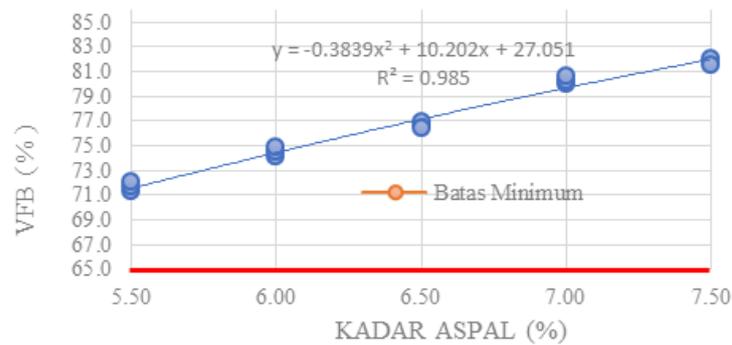
Hasil data dari pengujian terhadap VMA dapat dilihat pada Gambar 5. Penggunaan dengan kadar aspal dari 5,5%-7,5% dalam campuran laston lapis aus didapatkan nilai dari VMA dimana kadar aspal 5,5% menghasilkan nilai 16,79%, kadar aspal 6,0% - 7,5% terjadi kenaikan antara 17,75%-20,54%. Hal tersebut dipengaruhi karena semakin banyak aspal yang digunakan maka nilai VMA akan meningkat. Dalam campuran laston lapis aus pada kadar aspal 5,5%-7,5% semua memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018



Gambar 5. Hubungan antara kadar aspal dengan VMA

e. VFB

Gambar pengujian analisis terhadap VFB dapat dilihat pada Gambar 5. Penggunaan kadar aspal 5,5%-7,5% untuk laston lapis aus diperoleh nilai VFB antara 71,62%-81,74%.



Gambar 6. Grafik hubungan kadar aspal dengan VFB

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa kadar aspal yang digunakan kurang dapat mengurangi nilai VFB, namun jika kadar aspal yang dipergunakan berlebihan dapat memperbesar VFB, dan begitu sebaliknya dimana aspal akan mengisi semua rongga yang ada dalam campuran. Untuk kadar aspal 5,5%-7,5% nilai VFB yang diperoleh semua memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

KESIMPULAN

Hasil uji karakteristik agregat dari limbah beton, Aspal Penetrasi 60/70, Berat Jenis filler untuk campuran Laston Lapis Aus memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

Hasil uji karakteristik untuk Marshall Konvensional yang memenuhi syarat sesuai dengan spesifikasi yang dikeluarkan oleh Dirjen Bina Marga nilai stabilitas, flow, VIM, VMA, dan VFB semua memenuhi spesifikasi dalam spesifikasi umum Bina Marga Tahun 2018 Divisi 6.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Rachman, "The Effect of Immersion and Humidification Toward Performance of Hot Rolled Asphalt Mixture," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 15, no. 5, hlm. 503–509, 2020.
- [2] R. Rachman, "Karakteristik Campuran HRS – BASE Menggunakan Bubuk Dolomit Sebagai Filler," dalam *Konfrensi Nasional Teknik Sipil Ke 13*, Banda Aceh, Sep 2019, vol. 1, hlm. 420–430.
- [3] G. Rusbintardjo, *Aspal- Bahan Perkerasan Jalan*, 1 ed. Semarang: UNISSULA Press, 2013.
- [4] R. Rachman, "Pemanfaatan Batu Gunung Bottomale Toraja Utara sebagai Campuran Laston," *J. Tek. Sipil Dan Teknol.*, vol. 6, no. 1, hlm. 20–30, 2020.
- [5] Direktorat Jenderal Bina Marga, *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Divisi 6*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018.
- [6] Yudi. I, Angga I, Elizabeth, dan Alpius, "Karakteristik Campuran AC-WC dan AC-BC Menggunakan Bahan Tambah Serat Ijuk," *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 1, no. 2, hlm. 1–9, 2019.
- [7] R. Hermawan dan A. F. Ismaili, "Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Additive pada Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC) terhadap Karakteristik Marshall," Skripsi, Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta, 2019.
- [8] S. Yuniarti, R. Rachman, dan Alpius, "Studi Karakteristik Campuran AC-BC Menggunakan Limbah Kantong Plastik Sebagai Bahan Tambah," *Paulus Civ. Eng. J.*, vol. 2, no. 2, hlm. 70–76, 2020.

- [9] Sumardi, R. Rachman, dan J. Tanijaya, "Study of the Use Bagasse Ash as a Filler Replacement to Characteristics Asphalt Concrete," *Int. J. Sci. Eng. Sci.*, vol. 3, no. 8, hlm. 65–70, 2019, doi: 10.5281/zenodo.3408011.
- [10] S. A. Datu, R. Rachman, dan M. Selintung, "The Effect of Additional Sugar Palm Fibers on the Durability of Mixed Laston AC-WC," dalam *The 3rd International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICCEE)*, Bali, Indonesia, 2020, vol. 419. doi: 10.1088/1755-1315/419/1/012063.