

# Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) Dengan Pencampuran Minyak Solar Terhadap Parameter Marshall

Endra<sup>1</sup>, Munirul Hady<sup>2</sup>, Rafiqa Muqhnita Yusputri<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Iskandar Muda, Banda Aceh, Indonesia

\*Koresponden email: munirulhady@unida-aceh.ac.id

Diterima: 25 Juli 2022

Disetujui: 29 Juli 2022

## Abstract

Asphalt concrete used for road pavement consists of several types, namely: foundation layer, first wear layer, and second wear layer. Petroleum materials contained in the AC-WC asphalt concrete mixture can affect the stability of the mixed pavement, such as diesel oil. The purpose of this study was to determine how the effect of the diesel content contained in the laston mixture on the road surface layer. The test method is in the form of testing the Marshall characteristics using the Indonesian National Standard (SNI) and Bina Marga 2018. The Marshall test show that for variations in the ideal asphalt content for the test object with the number of collisions 2 x 75, the stability, flow, density, VIM values are obtained. , VMA, VFB, and Marshall Quotient (MQ) the percentage of diesel spraying was 0%, 1.5%, 2.5%, 3.5%, and 4.5% and the total number of specimens was 30 specimens. The results of the Marshall characteristic performance test on the laston mixture with diesel oil content of 0%, 1.5%, 2.5% still meet the specifications, whereas the variation of 3.5%, and 4.5% do not meet the specification requirements. The diesel content contained has a bad influence on the asphalt concrete surface layer.

**Keywords:** *Asphalt concrete, AC-WC, Diesel Oil, Marshall, Bina Marga.*

## Abstrak

Aspal beton yang dipergunakan untuk lapis perkerasan jalan terdiri dari beberapa jenis, yaitu: lapis pondasi, lapis aus satu, dan lapis aus dua. Bahan minyak bumi yang terkandung pada campuran beton aspal AC-WC dapat berpengaruh terhadap stabilitas perkerasan campuran, seperti minyak solar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh kadar solar yang terkandung pada campuran laston terhadap lapis permukaan jalan. Metode pengujian berupa pengujian karakteristik *Marshall* dengan menggunakan metode Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Bina Marga 2018. Dari hasil pengujian *Marshall* yang dilakukan pada variasi kadar aspal ideal untuk benda uji dengan jumlah tumbukan 2 x 75, maka diperoleh nilai stabilitas, *flow*, *density*, *VIM*, *VMA*, *VFB*, dan *Marshall Quotient (MQ)* persentase penyemprotan solar sebesar 0%, 1,5%, 2,5%, 3,5%, dan 4,5% dan jumlah total benda uji 30 buah. Hasil uji kinerja karakteristik *Marshall* pada campuran laston dengan kandungan minyak solar sebesar 0%, 1,5%, 2,5% masih memenuhi syarat spesifikasi, sedangkan untuk variasi 3,5%, dan 4,5% tidak memenuhi syarat spesifikasi Sehingga kadar solar yang terkandung memberikan pengaruh buruk terhadap lapis permukaan aspal beton.

**Kata Kunci:** *Aspal Beton, AC-WC, Minyak Solar, Marshall, Bina Marga.*

## 1. Pendahuluan

Jalan adalah infrastruktur utama masyarakat untuk melakukan pergerakan dari suatu tempat ke tempat yang lain dengan menggunakan moda transportasi. Semakin berkembangnya jumlah pengguna jalan maka beban yang diterima jalan akan semakin meningkat dan mengakibatkan konstruksi jalan mengalami kerusakan [1]. Lapisan perkerasan berfungsi untuk menerima dan menyebarkan beban lalu lintas tanpa menimbulkan kerusakan yang berarti pada konstruksi jalan itu sendiri yang dapat memberikan keamanan kepada pengemudi selama masa pelayanan tersebut [2].

Konstruksi perkerasan jalan pada umumnya terbagi menjadi dua yaitu perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan lentur (*flexible pavement*). Salah satu jenis perkerasan lentur yang biasa

digunakan adalah lapisan aspal beton (Laston), dimana konstruksi perkerasan ini terdiri dari 3 bagian yaitu lapis aus atau permukaan (AC-WC), Lapis antara (AC-BC) dan lapis pondasi (AC-Base) [3]. Konstruksi perkerasan jalan terdiri dari beberapa lapis, antara lain: *Subgrade*, *Sub Base Course*, *Base Course*, dan *Surface*, dimana *surface* merupakan lapisan permukaan pada jalan harus memiliki kekuatan dalam menahan beban lalu lintas [4].

Keawetan suatu perkerasan jalan berhubungan dengan ketahanan permukaan perkerasan yang dapat dipengaruhi oleh beban lalu lintas, perubahan cuaca, material konstruksi, serta ketidaksengajaan akibat tumpahan produk minyak bumi khususnya bensin, solar, dan oli yang diangkut oleh kendaraan yang mengangkutnya ataupun tumpahan dari kendaraan – kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin dan solar yang melalui jalan tersebut yang akan menyebabkan terjadinya kerusakan – kerusakan dini pada permukaan jalan aspal, sehingga dapat mengurangi umur rencana dan masa pelayanan jalan [5]. Berdasarkan hal tersebut peneliti ingin mengetahui pengaruh bahan minyak bumi solar terhadap karakteristik marshall.

Minyak bumi merupakan campuran berbagai macam zat organik, tetapi komponen pokoknya adalah hidrokarbon. Minyak bumi disebut juga minyak mineral karena diperoleh dalam bentuk campuran dengan mineral lain [6]. Salah satu contoh minyak bumi yaitu solar dimana solar merupakan hasil dari pemanasan minyak bumi antara 250-340°C, dan merupakan bahan bakar mesin diesel [7]. Solar tidak dapat menguap pada suhu tersebut dan bagian minyak bumi lainnya akan terbawa ke atas untuk diolah kembali. Umumnya solar mengandung belerang dengan kadar yang cukup tinggi [8].

Karakteristik Marshall merupakan nilai lapisan perkerasan dipengaruhi oleh susunan dan kualitas dari bahan-bahan penyusunnya [9]. Adapun karakteristik yang harus dimiliki oleh beton aspal campuran antara lain adalah kepadatan (*density*), stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), rongga diantara Mineral Agregat / *Void in Mineral Agregat* (VMA), rongga dalam campuran / *Void in the Mix* (VIM), rongga terisi aspal / *voids filled with Asphalt* (VFA), *Marshall Quotient* (MQ) [10].

Rongga dalam agregat (*Void in mineral aggregate/VMA*) merupakan rongga yang terisi aspal dengan perbandingan volume benda uji. Perhitungan VMA dapat menggunakan persamaan (1).

$$VFA = \frac{100 \times (VMA - Va)}{VMA} \quad (1)$$

Di mana:

Va = Rongga didalam campuran

VMA = Rongga didalam mineral agregat.

Rongga dalam campuran (*void in mix/VIM*) merupakan banyaknya pori dalam beton aspal yang menyelimuti agregat dan aspal yang telah dipadatkan [11]. Perhitungan VIM dapat menggunakan persamaan (2).

$$n = 100 - 100 \times \frac{g}{h} \quad (2)$$

Di mana :

N = Kadar VIM (%) ;

g = Density benda uji (gram/cm<sup>3</sup>);

h = Berat jenis maksimal (%).

= 100 : (% agregat/Bj + % aspal/Bj + % Filler/Bj)

Bj = Berat jenis

Rongga terisi aspal (*Void Filled by Asphalt/VFA*) merupakan perbandingan rongga yang terselimuti dengan aspal [12]. Perhitungan VMA dapat menggunakan persamaan (3).

$$VFA = \frac{100 \times (VMA - Va)}{VMA} \quad (3)$$

Di mana:

Va = Rongga didalam campuran

VMA = Rongga didalam mineral agregat.

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan untuk tidak mengalami perubahan bentuk berlebihan selama melayani kendaraan yang lewat. Stabilitas campuran tergantung pada gaya gesek internal dan kohesitas. Gaya gesek antar butir-butir agregat berhubungan dengan sifat agregat seperti gradasi, bentuk dan tekstur permukaan, sedangkan kohesitas merupakan gaya ikat yang dimiliki aspal dan dipengaruhi oleh tipe dan jumlah bahan pengisi yang ditambahkan. Daya ikat dan gaya gesek akan menahan perpindahan antar butiran agregat akibat beban lalu lintas [13].

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi atau perubahan bentuk permanen seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk butir, kualitas, tekstur permukaan, dan gradasi agregat yaitu pada gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar butir agregat (*interlocking*), daya lekat, dan kadar aspal dalam campuran [14]. Perhitungan stabilitas dapat menggunakan persamaan (4).

$$S = p \times q \times r \quad (4)$$

Di mana :

- S = Nilai stabilitas;
- p = Kalibrasi alat;
- q = Pembacaan dial *marshall*;
- r = Koreksi benda uji.

Kelelahan plastis (*plastic flow*) adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan. Nilai *flow* dibaca pada dial *flow* alat *marshall* dinyatakan dalam 0,01 cm [15]. *Marshall Quotient* (MQ) adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*, yang dipakai sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan campuran. Bila campuran aspal agregat mempunyai angka kelelahan rendah dan stabilitas tinggi menunjukkan sifat kaku, sebaliknya bila nilai kelelahan tinggi dan stabilitas rendah maka campuran cenderung plastis [16]. Perhitungan stabilitas dapat menggunakan persamaan (5).

$$MQ = \frac{Ns (kg)}{Nf (mm)} \quad (5)$$

Di mana:

- MQ* = *marshall Quotient* (kg/mm)
- Ns* = Nilai stabilitas
- NF* = Nilai *flow* (mm)

Dalam rancangan campuran beraspal dibutuhkan nilai kadar aspal awal perencanaan sebelum kadar aspal optimum (KAO) didapatkan [17]. Kadar aspal awal atau kadar aspal perkiraan ini merupakan kadar aspal tengah/ideal (a%) yang nantinya divariasikan menjadi 5 variasi kadar aspal awal perencanaan, yaitu: (a-1)%, (a-0,5)%, a%, (a+0,5)%, dan (a+1)%. Kadar aspal (pb) dapat dihitung dengan persamaan (6).

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18 (\%Filler) + K \quad (6)$$

Di mana:

- Pb = kadar aspal perkiraan, persen terhadap berat campuran;
- CA = persen agregat kasar tertahan saringan No. 4;
- FA = persen agregat halus lolos saringan No. 4 dan tertahan No. 200;
- Filler = persen agregat minimal 75% lolos saringan No. 200;
- K = nilai konstanta sekitar 0,5 – 1,0 untuk AC;

## 2. Material dan Metodologi

Penelitian ini dilaksanakan pada Laboratorium Bahan Bangunan dan Transportasi Fakultas Teknik Universitas Iskandarmuda Banda Aceh dengan metode yang digunakan adalah Bina Marga 2010 revisi 4 (2018) dan *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) serta Standar Nasional Indonesia (SNI).

## 2.1 Material

Bahan/Material yang digunakan untuk penelitian ini terdiri dari aspal, agregat kasar, agregat halus serta *filler*. Agregat yang digunakan adalah agregat batu pecah dan agregat halus berupa pasir dan abu batu (*dust*) yang diambil dari AMP PT. Dawood Bintang Perkasa. Jenis bahan pengikat/aspal menggunakan aspal Pen 60/70 yang digunakan merupakan produksi Pertamina, bahan *filler* yang digunakan berupa semen *Portland* dari Andalas dan produk olahan minyak bumi yaitu solar yang biasa digunakan untuk bahan bakar mobil.

## 2.2 Pengumpulan Data Primer

Data primer yang diambil yaitu data dari hasil pengamatan atau pemeriksaan dilaboratorium yang meliputi pengujian analisa saringan, pengujian keausan agregat (*los angelest test*), pengujian kelekatan agregat terhadap aspal, pengujian berat jenis aspal, pengujian penetrasi aspal, pengujian titik lembek aspal dan pengujian marshall [18]. Adapun pengujian marshall yang disemprotkan dengan minyak solar dengan persentase kadar solar yaitu 0%, 1,5%, 2,5%, 3,5% dan 4,5% serta kadar solar diambil dari berdasarkan berat benda uji secara keseluruhan 1200 gram.

## 2.3 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung dimana data sekunder merupakan data yang diambil dari literatur seperti angka koreksi benda uji, daftar spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 4 Tahun 2018 dan angka kalibrasi alat.

## 2.4 Perencanaan Campuran Agregat dengan Aspal

Setelah pemeriksaan sifat-sifat fisis material dan aspal dilakukan dilanjutkan perencanaan campuran benda uji dimana menghitung perkiraan kadar awal aspal optimum ( $P_b$ ) menggunakan persamaan (1) kemudian dilakukan campuran dengan 5 variasi kadar aspal yaitu  $P_b - 1\%$ ,  $P_b - 0,5\%$ ,  $P_b$ ,  $P_b + 0,5\%$ ,  $P_b + 1\%$  dengan jumlah benda uji 15 buah benda uji.

## 2.5 Perencanaan Campuran Agregat dengan Aspal dan Solar

Setelah diperoleh nilai kadar aspal optimum (KAO) maka dilanjutkan pembuatan campuran agregat dengan aspal dan solar dimana jumlah benda uji yang direncanakan adalah 15 buah benda uji dengan persentase kadar solar 0%, 1,5%, 2,5%, 3,5% dan 4,5% dimana solar tersebut disemprotkan ke benda uji.

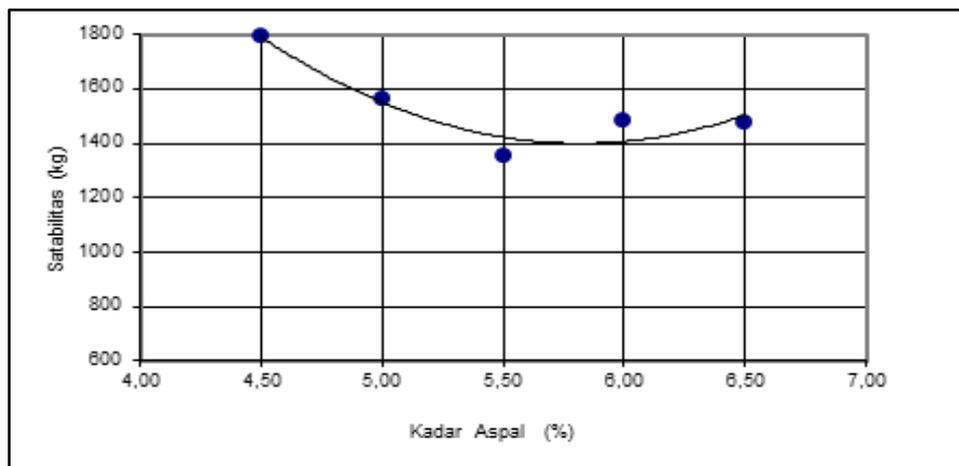
## 3. Hasil Penelitian dan Diskusi

Dari hasil pengujian Marshall untuk 15 buah benda uji yang dilakukan dengan jumlah tumbukan 2 x 75 maka diperoleh nilai stabilitas, *flow*, *density*, VIM, VMA, VFB dan *Marshall quotient* (MQ). Variasi kadar aspal dilakukan untuk pencampuran aspal adalah 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0% dan 6,5%. Rekapitulasi hasil pengujian Marshall diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan marshall dengan variasi kadar aspal

Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi BM (2018)
	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	
<i>Density</i>	2,326	2,344	2,321	2,311	2,312	-
VIM (%)	5,0	3,5	3,8	3,5	2,8	3 – 5
VMA (%)	13,9	13,7	15,0	15,8	16,2	Min. 15
VFA (%)	81,1	82,8	81,3	80,7	81,0	Min. 65
Stabilitas (Kg)	1797	1565	1354	1484	1477	Min. 800
<i>Flow</i> (mm)	7,1	3,7	3,7	3,5	7,3	2 – 4
MQ (kg/mm)	253,1	434,3	387,5	464,3	205,7	Min. 250

Dari grafik hasil pengujian marshall campuran normal yang akan di ambil untuk perbandingan dalam menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO) adalah yang dilihat dari nilai stabilitas. Kemudian dibuat grafik untuk menentukan kadar aspal optimumnya, dapat dilihat pada gambar 1 berikut:



Gambar 1. Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan dari gambar grafik 1, hasil uji marshall dengan KAO yang memenuhi nilai 7 parameter marshall yaitu VIM, VMA, VFA, stabilitas, MQ, flow dan density sesuai persyaratan bina marga 2018 yaitu kadar aspal 5,75%, maka dilakukan pencampuran dengan persentase kadar solar.

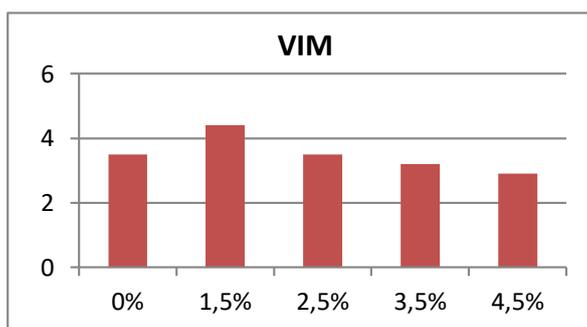
Setelah didapat nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,75%, dibuat benda uji sebanyak 15 buah yang masing-masing benda uji akan dicelupkan kedalam solar. Lalu dilakukan pengujian Marshall untuk diketahui karakteristik Marshall dan penurunan kinerja benda uji tersebut akibat pengaruh bahan bakar minyak solar. Adapun hasil pengujian Marshall dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Nilai Parameter Marshall berdasarkan persentase kadar solar

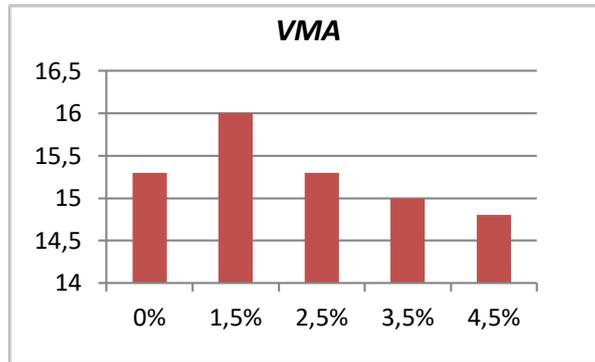
Kadar Solar (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Marshall Quotient (Kg/mm)	Density (gr/cm <sup>3</sup> )
0%	1766	3,6	15,3	3,5	81,2	507,7	2,31
1,5%	1688	3,5	16,0	4,4	79,6	497,7	2,29
2,5%	1671	3,3	15,3	3,5	81,1	518,9	2,31
3,5%	1413	5,2	15,0	3,2	81,8	277,9	2,32
4,5%	1290	5,3	14,8	2,9	82,3	246,1	2,33
Spesifikasi 2018	Min. 800	2 – 4	Min. 15	3 – 5	Min. 65	Min. 200	-

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa campuran yang memiliki kadar solar yang terbaik yaitu pada 1,5% dengan nilai stabilitas yaitu 1688 kg dan rongga dalam campuran adalah 4,4% serta pada kadar solar 1,5% memenuhi 7 (tujuh) nilai parameter Marshall yang disyaratkan oleh Bina Marga 2010 (2018).

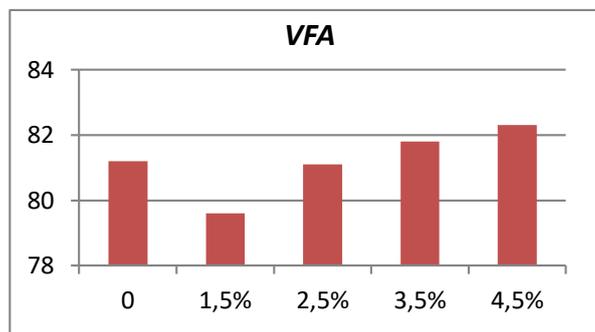
Setelah didapat rata-rata dari parameter Marshall benda uji pengaruh minyak bumi, VIM, VMA, VFA, stabilitas, kelelahan (*flow*), dan *Marshall Quotient* (MQ), selanjutnya hasil rata-rata tersebut dibandingkan dengan parameter Marshall campuran normal. Dapat dilihat pada grafik pada gambar 2 sampai gambar 5 berikut:



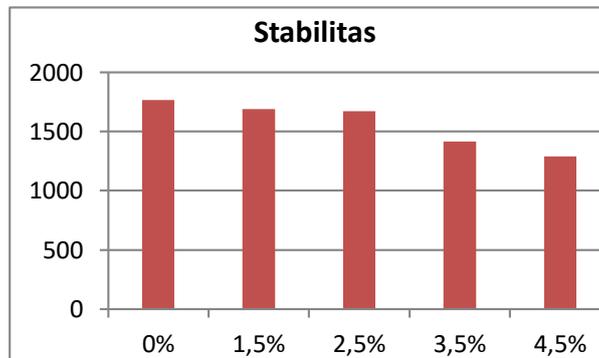
Gambar 2. Grafik Uji Parameter VIM



Gambar 3. Grafik Uji Parameter VMA



Gambar 4. Grafik Uji Parameter VFA



Gambar 5. Grafik Uji Parameter Stabilitas

**Pembahasan Hasil Pengujian**

Berdasarkan hasil pengujian, nilai stabilitas pada kadar solar 0% memiliki nilai stabilitas sebesar 1766 kg, kadar solar 1,5% memiliki nilai stabilitas sebesar 1688 kg, pada kadar solar 2,5% memiliki nilai stabilitas sebesar 1671 kg dan pada kadar solar 3,5% memiliki nilai stabilitas 1413 kg dan pada kadar solar 4,5% memiliki nilai stabilitas 1290 kg. Menunjukkan bahwa semakin besar kadar solar yang terkandung di dalam campuran laston maka nilai stabilitas yang diperoleh semakin mengalami penurunan.

Nilai *flow* (kelelahan) dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar solar dalam campuran maka semakin besar pula nilai *flow* yang diperoleh dan nilai *flow* tertinggi berada pada kadar solar 4,5% dengan nilai sebesar 5,3 mm.

Rongga dalam agregat atau butir agregat / *Void in Mineral Aggregate* (VMA) yang berdasarkan hasil pengujian yang memenuhi spesifikasi bina marga pada kadar solar 0% sampai 3,5% dengan nilai VMA tertinggi pada kadar solar 1,5% yaitu 16,0% dan menunjukkan bahwa nilai VMA cenderung menurun akibat adanya campuran solar.

Rongga udara dalam campuran/ *Void In Mix* (VIM) merupakan pori yang terdapat dalam campuran pada penelitian ini nilai VIM cenderung mengalami penurunan sehingga jika temperature meningkat apabila nilai VIM terlalu kecil akan mengakibatkan perkerasan tersebut menjadi *bleeding* dan VIM tertinggi pada campuran kadar solar 1,5% yaitu 4,4%.

Rongga terisi aspal / *Void Filled With Asphalt* (VFA) yaitu rongga yang terdapat diantara partikel agregat yang terisi oleh aspal, dima apada penelitian ini VFA tertinggi yaitu 82,3% pada kadar campuran solar 4,5%. Dengan adanya penambahan kadar solar membuat nilai VFA semakin meningkat dan meemnuhi batas yang disyaratkan oleh bina marga.

*Marshall quotient* (MQ) merupakan hasil dari nilai stabilitas dan *flow* dimana nilai mQ tertinggi diperoleh 518,9 kg/mm pada kadar campuran solar 2,5%.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang karakteristik campuran beton aspal (AC-WC) dengan pencampuran minyak solar terhadap pamaeter marshall dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian pembuatan benda uji aspal dengan variasi campuran ideal (Pb 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0% dan 6,5%) diperoleh kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,75% yang digunakan sebagai rancangan benda uji aspal dan solar.
2. Berdasarkan hasil marshall bahwa campuran dengan kadar solar terbaik berada pada campuran kadar solar 1,5% dengan nilai stabilitas yaitu 1688 kg, *flow* yaitu 3,5 mm, VMA yaitu 16,0%, VIM dengan nilai 4,4%, VFA yaitu 79,6% dan mQ adalah 497,7 kg/mm.
3. Berdasarkan keseluruhan data hasil nilai parameter Marshall pada setiap variasi kadar solar untuk campuran aspal beton yang menggunakan aspal pen 60/70 sebagai bahan pengikat lapisan permukaan jalan, dapat diambil kesimpulan bahwa kadar solar yang terkandung pada campuran laston sangat berakibat buruk pada lapis permukaan jalan.

#### 5. Saran

Adapun saran yang dikemukakan berdasarkan hasil penelitian yaitu mencari variasi terbaru sebagai bahan pengganti solar sebagai pembanding nilai marshall dan dicoba untuk lapisan permukaan jalan yang lainnya seperti pada *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC).

#### 6. References

- [1] A. Nugroho and N. Nicholas, "Kinerja Pelayanan Infrastruktur Jalan Nasional Di Kawasan Wisata," *J. Proy. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 15–20, 2018.
- [2] N. K. Nur *et al.*, *Perancangan Perkerasan Jalan*. Yayasan Kita Menulis, 2021.
- [3] F. Ramdhani, "Analisa Perbandingan Biaya Konstruksi Jalan Perkerasan Lentur dan Perkerasan Kaku Pada Jalan Maredean Provinsi Riau," *J. Saintis*, vol. 16, no. 1, pp. 63–75, 2016.
- [4] K. G. Putri, E. Sulandari, and others, "UJI NILAI KEKESATAN PERMUKAAN JALAN BERDASARKAN JENIS PADA LAPISAN PERMUKAAN PADA PERKERASAN LENTUR," *JeLAST J. PWK, Laut, Sipil, Tambang*, vol. 5, no. 2.
- [5] H. Haris, "Analisis Pengujian Stabilitas dan Durabilitas Campuran Aspal dengan Tes Perendaman," *J. Linears*, vol. 2, no. 1, pp. 33–47, 2019.
- [6] P. Jurdilla, N. Azizah, A. F. Wati, and others, "Industri Pengolahan Minyak Bumi Di Indonesia," 2019.
- [7] T. Kausar and others, "Kajian Minyak Solar Dari Hasil Penyulingan Tradisional (Studi kasus pertambangan minyak tradisional di Desa Pasir Putih Aceh Timur)," *J. Mekanova Mek. Inov. dan Teknol.*, vol. 4, no. 1, 2018.
- [8] M. Pataras, I. F. Astira, and F. H. Kurniawan, "PENGARUH TUMPAHAN BAHAN BAKAR MINYAK DAN OLI TERHADAP KINERJA CAMPURAN LATASTON-WC DENGAN MENGGUNAKAN METODE MARSHALL," *Cantilever J. Penelit. dan Kaji. Bid. Tek. Sipil*, vol. 6, no. 2, 2017.
- [9] S. Suhardi, P. Pratomo, and H. Ali, "Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik," *J. Rekayasa Sipil dan Desain*, vol. 4, no. 2, pp. 284–293, 2016.
- [10] I. Sulianti, I. Ibrahim, A. Subrianto, A. Monita, and M. Medici, "Karakteristik Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete--Wearing Course (AC-WC) Dengan Penambahan Styrofoam," in *Forum Mekanika*, 2019, vol. 8, no. 2, pp. 51–62.
- [11] R. Yuniarti, H. Hasyim, H. Hariyadi, and T. Handayani, "Penggunaan Limbah Kaca Sebagai Filler

- Pada Campuran Perkerasan Aspal Panas,” *J. Tek. Sipil*, vol. 26, no. 3, p. 265, 2019.
- [12] M. Karami, “Evaluasi terhadap penggunaan aspal Buton sebagai bahan tambah terhadap karakteristik dan parameter campuran-beraspal modifikasi,” *J. Kelitbangan Inov. Pembang. Badan Penelit. dan Pengabd. Drh. Lampung*, vol. 5, no. 01, pp. 20–29, 2017.
- [13] S. Arliningtyas and N. Nadia, “Analisa Kelayakan Limbah Keramik sebagai Pengganti Agregat Halus untuk Campuran Aspal Beton Ditinjau dari Nilai Stabilitas Marshall,” *Konstruksia*, vol. 8, no. 1, pp. 47–59, 2016.
- [14] I. G. N. Widyantara, L. B. Suparma, and I. Muthohar, “Stabilitas Marshall dan Ketahanan Deformasi Warm Mix Asphalt Menggunakan Aditif Zycotherm,” *INERSIA INformasi dan Ekspose Has. Ris. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 14, no. 1, pp. 48–61, 2018.
- [15] S. Diansari and J. Sipil, “ASPAL MODIFIKASI DENGAN PENAMBAHAN PLASTIK LOW LINEAR DENSITY POLY ETHYLENE (LLDPE) DINTINJAU DARI KARAKTERISTIK MARSHALL DAN UJI PENETRASI PADA LAPISAN ASPAL ASPAL BETON (AC-BC),” *Skripsi, Jur. Tek. Sipil, Fak. Tek. Univ. Lampung, Lampung*, 2016.
- [16] M. S. Nugroho, “Karakteristik Marshall Quotient Pada Hot Mix Asphalt Menggunakan Agregat Alam Sungai Opak,” *INERSIA INformasi dan Ekspose Has. Ris. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 15, no. 2, pp. 84–91, 2019.
- [17] A. Efendy and E. Ahyudanari, “Analisis Perbandingan Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk Perbedaan Gradasi (BBA, FAA dan BM),” *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 17, no. 1, pp. 7–12, 2019.
- [18] Z. Abidin, B. Bunyamin, and F. D. Kurniasarir, “Uji Marshall Pada Campuran AC-WC Dengan Substitusi Filler,” *J. Serambi Eng.*, vol. 6, no. 1, 2021.