

# KAJIAN PASIR SILIKA SEBAGAI AGREGAT HALUS PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC – WC) BERDASARKAN UJI MARSHALL

Hendri Nofrianto<sup>1)\*</sup>, Septiana Dwi Astika<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Dosen Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung

<sup>2)</sup> Mahasiswi Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Gedung  
Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Padang

\*Correspondent Author E-mail: [hendrinofrianto63@gmail.com](mailto:hendrinofrianto63@gmail.com)

## Abstract

Aggregate is the main component in the formation of asphalt mixtures, in which the weight of aggregate ranges from 90%-95% of the total weight of the asphalt mixture. Usually, the aggregate used is obtained directly from nature and is a non-renewable material so that its availability continues to decrease. One of the alternative aggregates utilized is silica sand which is a waste originating from Karang Putih Hill, Padang City, West Sumatra, it is hoped that this silica sand waste can be used as an alternative aggregate in asphalt mixtures on flexible pavements. This research aims to analyze the characteristics of asphalt mixtures using silica sand as fine aggregate and further review the effect of water on the durability of the mixture through immersion tests with variations of immersion of 0 hours, 24 hours, 48 hours, 72 hours and 96 hours based on marshall testing. The results of this study indicate that silica sand can be used as an alternative aggregate in road pavements, this can be concluded based on the values of the marshall parameters of silica sand within the specifications used, the use of silica sand in the Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC) mixture has an optimum asphalt content value of 5.7%. Durability of asphalt mixtures with silica sand seen from the results of the immersion test decreases as the immersion duration increases, the Residual Strength Index (IKS) value meets the requirements of Bina Marga 2018 Revision 2 specifications up to a 24-hour immersion duration with a value of 93.94%.

**Keywords:** silica sand, marshall parameters, durability, immersion test

## Abstrak

Agregat merupakan komponen utama dalam pembentukan campuran beraspal, dalam campuran tersebut berat agregat berkisar antara 90% -95% dari total berat campuran aspal. Biasanya, agregat yang digunakan diperoleh langsung dari alam dan merupakan material yang tidak dapat diperbaharui sehingga ketersediaannya terus berkurang. Salah satu agregat alternatif yang dimanfaatkan adalah pasir silika yang merupakan limbah yang berasal dari Bukit Karang Putih, Kota Padang, Sumatera Barat, diharapkan limbah pasir silika ini dapat digunakan sebagai agregat alternatif dalam campuran aspal pada perkerasan lentur jalan raya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa karakteristik campuran aspal yang menggunakan agregat halus pasir silika serta meninjau lebih jauh pengaruh air terhadap durabilitas pada campuran tersebut melalui uji perendaman dengan variasi perendaman 0 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 96 jam berdasarkan pengujian marshall. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pasir silika dapat digunakan sebagai alternatif agregat pada perkerasan jalan, hal ini dapat disimpulkan berdasarkan nilai – nilai parameter marshall pasir silika berada dalam spesifikasi yang digunakan, Penggunaan pasir silika dalam campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) gradasi halus mempunyai nilai kadar aspal optimum 5,7%. Durabilitas campuran aspal dengan pasir silika dilihat dari hasil uji perendaman mengalami penurunan seiring bertambahnya durasi perendaman, nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 hingga durasi perendaman 24 jam dengan nilai 93,94%.

**Kata Kunci :** pasir silika, parameter marshall, durabilitas, uji perendaman

## 1. PENDAHULUAN

Konstruksi perkerasan lentur atau biasa disebut dengan campuran panas aspal agregat merupakan campuran dari agregat kasar, agregat halus, serta filler dan aspal sebagai pengikat dengan rasio tertentu dalam keadaan panas. Dalam konstruksi perkerasan lentur, agregat kasar dan halus memberikan kontribusi yang sangat penting, sifat bahan yang tahan lama dan kuat menjadi kekuatan utama dalam memikul beban. (Irawan, 2010). Biasanya, aspal dari distilasi minyak bumi digunakan dalam produksi campuran aspal panas, dan agregat yang digunakan diperoleh langsung dari alam.

Apabila dikaitkan dengan perkembangan pembangunan di setiap wilayah, maka akan mengakibatkan peningkatan jumlah kebutuhan material. Sedangkan aspal dan agregat merupakan material alam yang tidak dapat diperbaharui sehingga ketersediaan jumlahnya terus berkurang. Dalam upaya mengatasi hal tersebut, mulai dilakukan pertimbangan penggunaan material baru untuk pembangunan jalan dalam rangka mencapai pembangunan jalan yang ramah lingkungan. Tar atau *bio-aspal*, serat alami, agregat dari pengolahan limbah dan komposit adalah beberapa contoh material mutakhir yang dapat digunakan sebagai material konstruksi jalan. (Haryanto dan Utomo, 2012:19)

Salah satu material alam yang banyak dimiliki oleh Indonesia adalah pasir silika. Madiadipoera (dalam Haryadi, 2010) menyatakan bahwa Indonesia memiliki cadangan pasir silika yang sangat banyak, dengan mayoritas berada di 11 provinsi. Perkiraan total ketersediaan pasir silika adalah 4,48 miliar ton, dengan rincian 66,7 juta ton ketersediaan dapat diukur, 12,8 juta ton terindikasi, 17,1 juta ton dugaan, dan 4,4 miliar ton ketersediaan hipotetis. Pasir silika memiliki permukaan yang kasar serta tingkat kekerasan yang baik, dimana material dengan permukaan yang kasar dan kekerasan yang baik akan mempunyai kelekatan terhadap aspal yang baik pula. Pasir silika juga memiliki bentuk seperti kristal dimana bentuk partikel dengan banyak sudut akan memberikan *interlocking* yang baik antar agregat sehingga dapat mengurangi *stripping* pada lapis perkerasan. Berdasarkan hal tersebut peneliti mencoba melakukan penelitian terhadap limbah pasir silika, sebagai pengganti agregat halus pada campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC - WC)*.

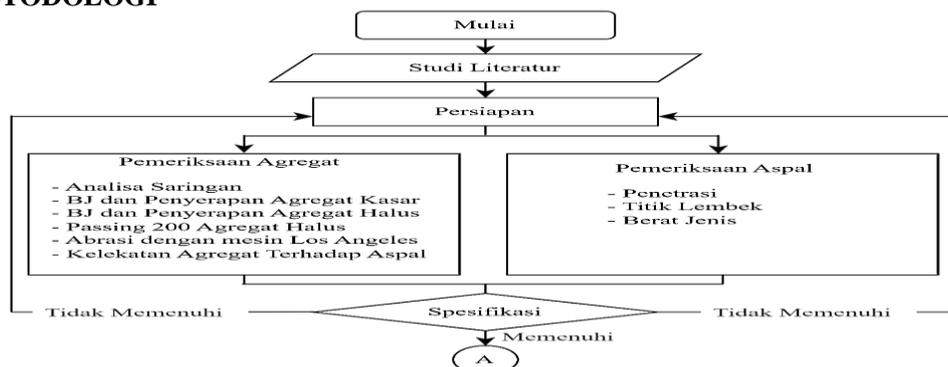
Pasir silika yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Bukit Karang Putih, Kota Padang, Sumatera Barat. Sumatera Barat sendiri memiliki cadangan pasir silika terbesar di Indonesia, yaitu berkisar 82,5% dari jumlah yang tersedia di Indonesia. Berwarna putih hingga kecoklatan, pasir silika memiliki tekstur kasar dan memuat senyawa pengotor yang hanyut selama proses sedimentasi. Salah satu bahan yang digunakan untuk membuat semen adalah silika, namun material silika dari tambang Bukit Karang Putih tidak memenuhi komposisi *Standart Silika Stone* untuk proses pembuatan semen. Hal ini berdampak pada penumpukan material silika di pabrik (Sumber: Lab JK PT. Semen Padang, 2017).

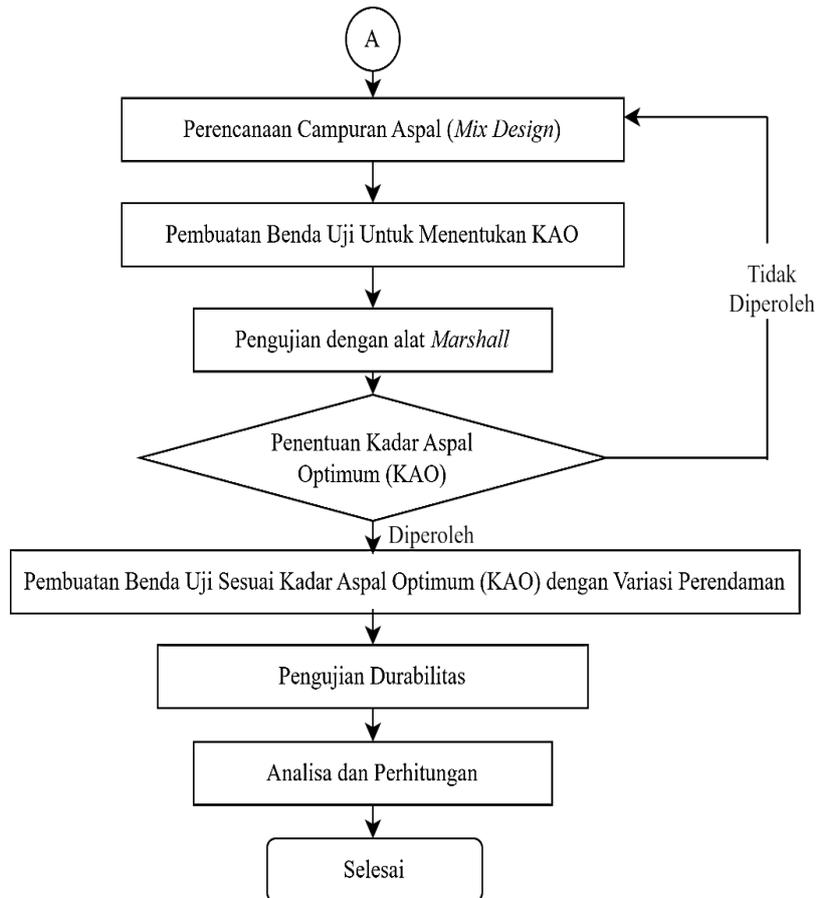


**Gambar 1.** Lokasi penumpukan material silika

Pada penelitian ini juga meneliti lebih lanjut pengaruh air terhadap durabilitas pada campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC - WC)* dengan pasir silika sebagai pengganti agregat halus, apakah pengaruhnya masih dalam batas yang diizinkan. Hal ini karena di Indonesia permukaan jalan sering terendam oleh air disaat curah hujan tinggi ditambah kondisi saluran drainase yang tidak memadai bahkan ada jalan tanpa saluran drainase, sehingga menyebabkan kinerja perkerasan aspal berkurang, terutama dalam keawetan (*durability*) (Ratih, 2018: 1).

## 2. METODOLOGI





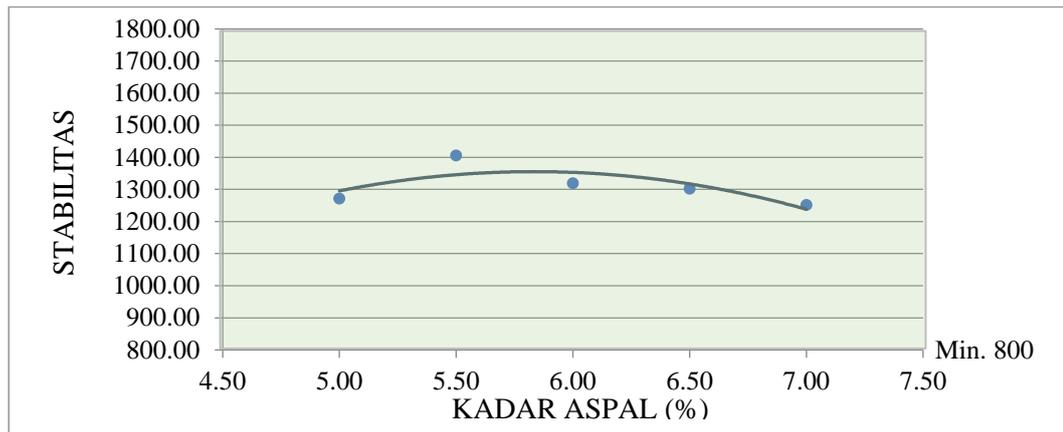
**Gambar 2.** Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental. Tahap pertama merupakan pengujian kelayakan aspal dan agregat sebagai bahan penyusun campuran beton aspal, dilanjutkan dengan uji *Marshall* dan uji perendaman dengan variasi durasi perendaman. Jenis penelitian yang akan dilakukan adalah penggunaan pasir silika sebagai pengganti agregat halus terhadap kinerja campuran beraspal dan indeks durabilitas aspal panas *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)* dengan analisis dan pengujian *Marshall*. Lokasi atau tempat penelitian dilakukan di di Laboratorium Institut Teknologi Padang, Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Stabilitas

Nilai stabilitas menggambarkan sejauh mana kapasitas perkerasan untuk menahan beban tanpa terjadi perubahan bentuk. Beban lalu lintas yang besar dapat didukung oleh perkerasan yang memiliki nilai stabilitas yang tinggi. Namun, apabila terlalu tinggi stabilitas akan membuat campuran terlalu kaku, yang akan menyebabkan retakan ketika perkerasan diberikan beban. Sebaliknya, dengan stabilitas yang rendah, beban lalu lintas atau deformitas subgrade dapat dengan cepat merusak perkerasan. Kohesi akan semakin kuat ketika jumlah aspal yang menutupi agregat bertambah, tetapi jika nilai optimum telah tercapai, menambahkan lebih banyak aspal akan menyebabkan penurunan stabilitas. Nilai stabilitas untuk masing-masing campuran dapat dilihat pada Gambar 3.



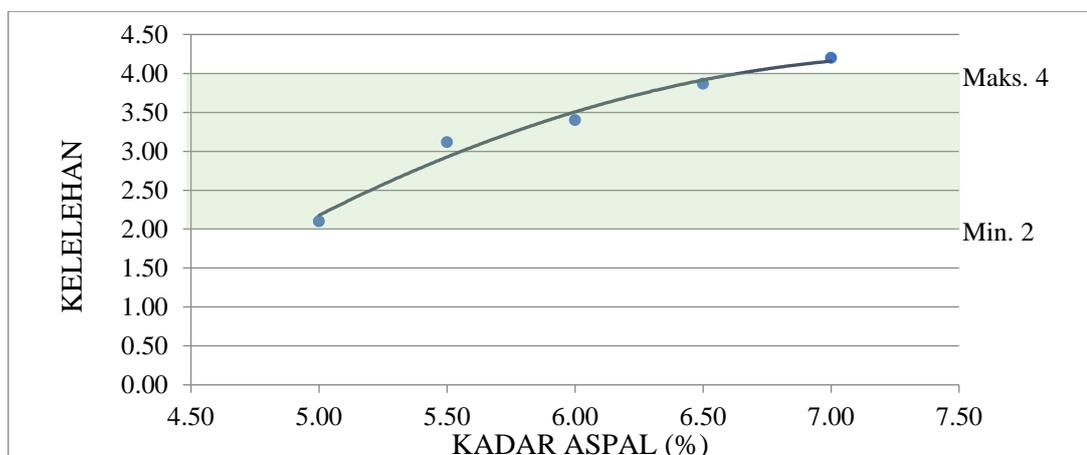
**Gambar 3.** Hubungan Stabilitas dengan kadar aspal

Gambar 3. menunjukkan bahwa nilai stabilitas pada campuran aspal dengan pasir silika sebagai pengganti agregat halus saat kadar aspal 5,5 % mendapatkan nilai stabilitas tertinggi, hal ini dikarenakan pada kadar aspal 5,5% memiliki campuran yang lebih baik sehingga ikatan/*interlocking* agregat bisa mengikat dengan baik oleh karena itu nilai stabilitas yang dihasilkan lebih optimal. Nilai stabilitas meningkat seiring bertambahnya kadar aspal karena ada lebih banyak aspal yang menyelimuti agregat sehingga meningkatkan kohesi dan kerapatan campuran sehingga meningkatkan bidang kontak dan *interlocking* antar agregat, dimana keduanya akan meningkatkan nilai stabilitas campuran.

Namun, jika penambahan kadar aspal terjadi setelah nilai stabilitas optimum tercapai, nilai stabilitasnya akan turun. Hal ini dikarenakan aspal yang awalnya berfungsi sebagai pengikat agregat berubah fungsi menjadi pelicin setelah mencapai nilai optimum yang diperlukan menyebabkan penurunan lekatan dan gesekan antar agregat, yang pada akhirnya menyebabkan penurunan nilai stabilitas. Berdasarkan persyaratan yang telah ditetapkan oleh Bina Marga 2018 persyaratan untuk nilai stabilitas yaitu >800 kg.

#### **Kelelahan (*Flow*)**

Kelelahan (*flow*) berfungsi sebagai pengukur untuk deformasi plastis atau fleksibilitas dari campuran perkerasan yang disebabkan oleh beban. Gradasi, kadar aspal, permukaan agregat, dan suhu pemadatan adalah beberapa variabel yang berdampak pada nilai kelelahan. Nilai kelelahan mewakili deformasi objek uji sebagai akibat dari pembebanan. Selama pengujian *marshall*, nilai ini dapat diperoleh langsung dari pembacaan arloji *flow*.



**Gambar 4.** Hubungan Kelelahan (*flow*) dengan kadar aspal

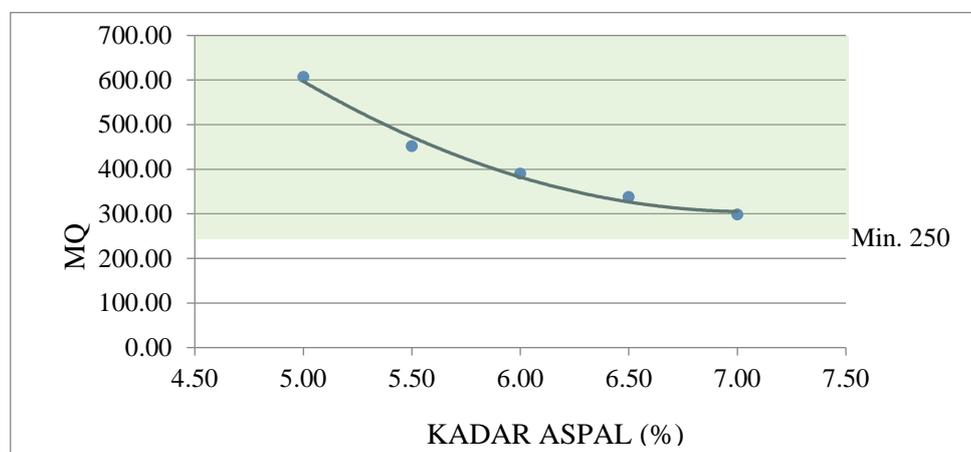
Gambar 4. menunjukkan bagaimana kelelahan aspal cenderung meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dalam campuran aspal yang menggunakan pasir silika sebagai pengganti agregat halus

campuran. Penambahan aspal ke dalam campuran membuatnya lebih plastis, yang meningkatkan besarnya defomasi saat menerima beban dan menyebabkan peningkatan nilai kelelahan.

Nilai *flow* sesuai Spesifikasi Bina Marga 2010 antara lain adalah 2 mm sampai dengan 4 mm, pada saat kadar aspal 7% nilai *flow* melewati batas spesifikasi sehingga apabila digunakan lapis perkerasan yang plastis akan mudah mengalami perubahan bentuk seperti gelombang (*washbording*). Nilai *flow* yang memenuhi syarat pada campuran aspal dengan pasir silika sebagai pengganti agregat halus sesuai grafik adalah pada kadar aspal 5%-6,7%.

### **Marshall Quotient (MQ)**

*Marshall Quotient* (MQ) ditentukan sebagai rasio stabilitas terhadap kelelahan dan digunakan sebagai tolak ukur kekakuan campuran. Nilai *Marshall Quotient* (MQ) adalah metode untuk memperkirakan seberapa fleksibel dan kaku kombinasi tersebut. Retak permukaan dan gerakan horizontal ke arah perjalanan adalah masalah yang mungkin terjadi akibat nilai *Marshall Quotient* (MQ) campuran yang tinggi sehingga perkerasan menjadi kaku, sedangkan nilai *Marshall Quotient* (MQ) yang rendah menyebabkan perkerasan semakin fleksibel, lentur dan cenderung menjadi plastis sehingga perkerasan mudah mengalami deformasi ketika menerima beban. Hasil untuk pengujian MQ dapat dilihat pada Gambar 5.

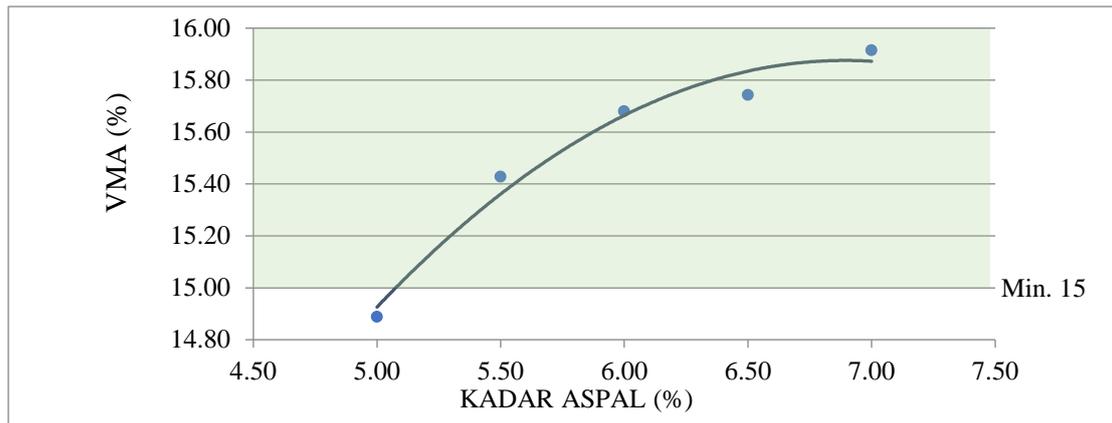


**Gambar 5.** Hubungan MQ dengan kadar aspal

Nilai *Marshall quotient* (MQ) turun saat kadar aspal naik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Ini sebanding dengan pengaruh dari penambahan kadar aspal terhadap nilai stabilitas. Penambahan kadar aspal membuat campuran menjadi plastis, yang pada akhirnya menurunkan nilai MQ dalam campuran beton aspal. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat seluruh nilai MQ lebih besar dari 250 kg/cm, yang artinya nilai *Marshall quotient* (MQ) memenuhi persyaratan Bina Marga. *Marshall quotient* (MQ), yang merupakan ukuran empiris dari kekakuan campuran adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai kelelahan. Kinerja (MQ) meningkat karena stabilitas meningkat seiring dengan penurunan nilai kelelahan.

### **Void In Mineral Aggregate (VMA)**

VMA atau yang lebih dikenal dengan rongga dalam agregat merupakan salah satu parameter penting dalam rancangan campuran aspal, karena pengaruhnya terhadap ketahanan dari campuran aspal. Kuantitas tumbukan, gradasi agregat, dan kadar aspal adalah variabel yang mempengaruhi VMA. Kekakuan campuran serta ketahanan dan daya tahan terhadap air dan udara bebas juga dipengaruhi oleh nilai VMA. Untuk meningkatkan kedekatan campuran terhadap air dan udara, nilai VMA harus semakin tinggi. Namun, nilai VMA yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan kemungkinan terjadi *bleeding* lebih tinggi pada perkerasan saat menerima beban pada temperature tinggi. Ketika nilai VMA terlalu rendah menunjukkan aspal yang mengisi rongga terlalu kecil sehingga mengurangi kemampuan lapisan untuk mengikat agregat yang berakibat perkerasan mudah terjadi *stripping*. Nilai hasil pengujian VMA ditunjukkan pada Gambar 6.

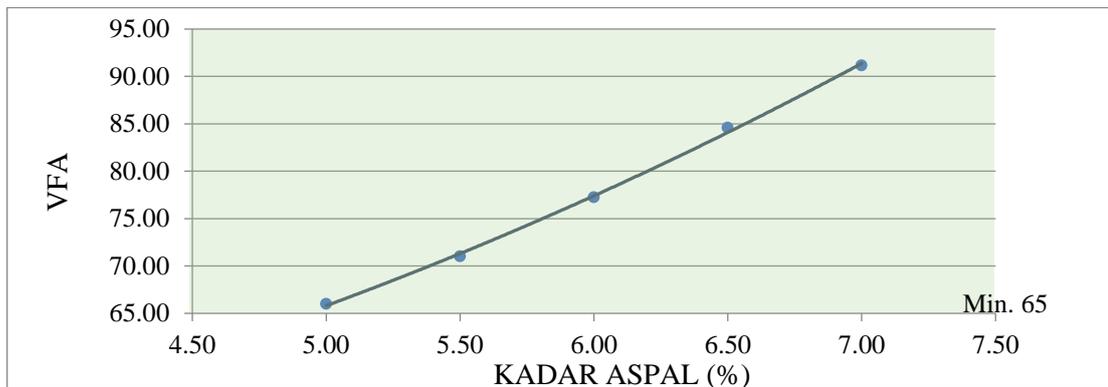


**Gambar 6:** Hubungan VMA dengan kadar aspal

Nilai VMA akan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah aspal dalam campuran. Hal ini disebabkan karena *film* aspal yang menyelimuti agregat semakin tebal sehingga menyebabkan jarak antar agregat semakin jauh yang berakibat pada naiknya nilai VMA. Setiap hasil pengujian diperoleh nilai VMA yang sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan oleh Bina Marga 2018.

#### **Void Fill with Asphalt (VFA)**

Adanya ruang sisa antara butiran penyusun campuran menyebabkan rongga terbentuk dalam campuran. Dalam kondisi kering, udara akan mengisi rongga tersebut dan dalam kondisi basah, air akan mengisinya. Dengan memberlakukan batasan yang cukup, persyaratan VFA bertujuan untuk mempertahankan keawetan campuran perkerasan. Hasil nilai VFA dapat dilihat pada Gambar 7.

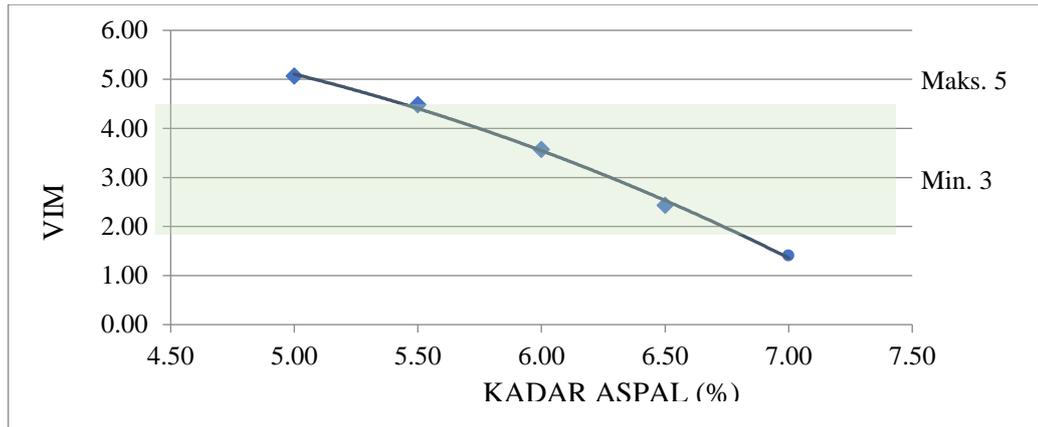


**Gambar 7.** Grafik Hubungan VFA dengan % kadar aspal dalam campuran

Seperti yang terlihat pada grafik di atas, nilai VFA pada campuran kadar aspal cenderung naik seiring dengan peningkatan kadar aspal. Hal ini disebabkan oleh ruang antara butiran masih cukup besar sehingga aspal dapat dengan mudah memasuki rongga campuran, menyebabkan campuran menjadi lebih rapat dan nilai VFA meningkat. Dari hasil dari analisis, dapat dikatakan bahwa nilai VFA akan semakin baik seiring dengan semakin tinggi jumlah aspal yang digunakan, dan dapat digunakan sebagai campuran AC-WC (Laston) karena memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010 dengan nilai spesifikasi >65%.

#### **Void In The Mix (VIM)**

Nilai VIM menunjukkan nilai persentase rongga dalam suatu campuran aspal. Nilai VIM berpengaruh terhadap nilai dari durabilitas, Semakin besar nilai VIM menunjukkan campuran bersifat *porous*. Nilai VIM juga di pengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain bentuk butiran, tekstur permukaan, gradasi, temperatur, dan faktor pemadatan, suhu pada saat pencampuran dan pemadatan tidak boleh terlalu dingin karena dapat menaikkan nilai VIM. Semakin naik kadar aspal nilai VIM akan semakin menurun, karena rongga antar agregat akan semakin terisi oleh aspal. Hasil nilai VIM ditunjukkan pada Gambar 8.

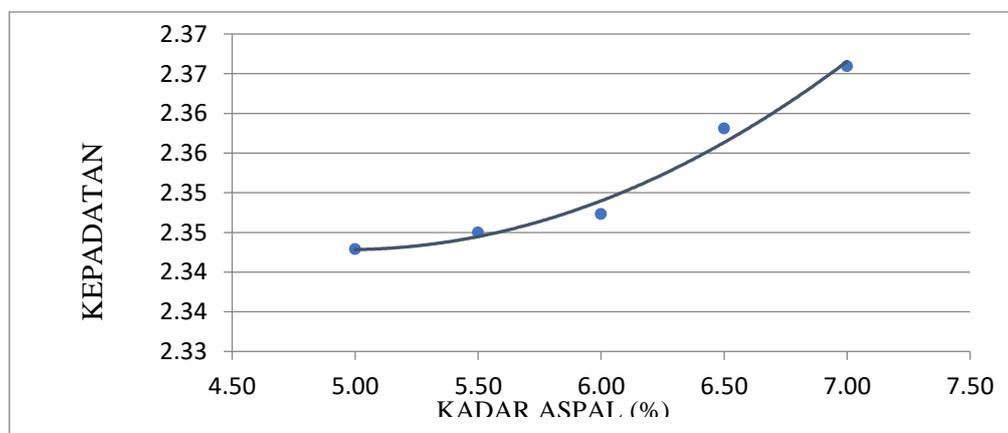


**Gambar 8.** Hubungan VIM dengan kadar aspal

Semakin bertambahnya kadar aspal pada campuran aspal dengan pasir silika sebagai pengganti agregat halus menyebabkan semakin menurunnya nilai VIM, hal ini disebabkan karena rongga antar butiran agregat masih cukup besar sehingga pada setiap penambahan kadar aspal, aspal masih cukup mudah untuk masuk ke dalam rongga-rongga campuran yang dapat menjadikan campuran semakin rapat dan nilai VIM semakin kecil. Nilai VIM yang sangat kecil mengakibatkan lapisan kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran. Penggunaan aspal yang cukup banyak mempengaruhi nilai VIM yang kecil serta kadar aspal yang digunakan cukup tinggi, maka kemungkinan terjadinya *bleending*. Pada penggunaan pasir silika pada campuran aspal nilai VIM yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 sesuai dengan grafik yaitu pada kadar aspal 5,1%-6,7%.

#### **Kepadatan (*Density*)**

Nilai kepadatan campuran (*density*) menunjukkan derajat kepadatan suatu campuran setelah dipadatkan. Campuran dengan *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan campuran yang memiliki kepadatan yang rendah. Campuran akan memiliki nilai *density* yang tinggi apabila mermakai batuan yang memiliki porositas rendah serta campuran dengan rongga antar butir agregat (VMA) yang rendah. Nilai *density* juga meningkat jika energi pemadatan tinggi, serta pada suhu pemadatan yang tepat. meningkatnya prosentase pemakaian kadar aspal juga akan meningkatkan kerapatan campuran, hal ini disebabkan karena penggunaan kadar aspal yang semakin tinggi akan menyediakan aspal yang lebih banyak untuk mengisi rongga sehingga campuran lebih padat. Dari pengujian di laboratorium diperoleh nilai *density* seperti ditunjukkan pada Gambar 9 berikut.



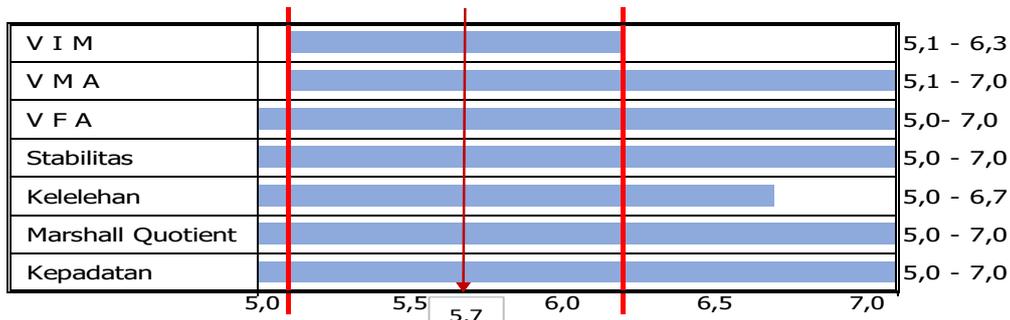
**Gambar 9.** Hubungan Kepadatan dengan kadar aspal

Dari Gambar 9. terlihat bahwa nilai *density* mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Pada umumnya semakin tinggi kadar aspal maka nilai *density* suatu campuran akan semakin

meningkat. Hal ini dikarenakan dengan penambahan kadar aspal memudahkan agregat yang berukuran kecil mengisi rongga-rongga antar butiran agregat yang ukurannya lebih besar. Peningkatan kadar aspal menyebabkan aspal dalam campuran lebih banyak mengisi rongga dalam campuran sehingga campuran cenderung lebih padat yang berarti nilai *density* semakin meningkat.

### Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar Aspal Optimum adalah kadar aspal dari hasil pengujian *marshall* yang memenuhi syarat karakteristik *Marshall* berupa *Density*, *VMA*, *VIM*, *VFA*, *Stability*, *Flow*, dan *Marshall Quotient*. Untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO), maka dapat ditentukan melalui grafik tipikal, yakni hubungan persentase kadar aspal dengan parameter *marshall*. Grafik hubungan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3 sampai Gambar 9. Dari grafik tersebut, memperlihatkan data mana saja yang masuk dalam spesifikasi, kemudian data tersebut digunakan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO). Selanjutnya dibuat grafik penentuan KAO dengan bantuan grafik batang sampai batas spesifikasi, dapat dilihat pada Gambar 10 dibawah ini.



**Gambar 10.** Penentuan Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan Gambar 10. maka diperoleh nilai kadar aspal optimum untuk campuran aspal rencana sebesar  $= ((5,1\% + 6,3\%) : 2) = 5,7\%$  .

### Desain Campuran Untuk Uji Variasi Perendaman

Setelah didapatkan KAO, maka selanjutnya dibuat benda uji dengan variasi durasi perendaman, yaitu perendaman 0 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam. Dimana setiap durasi perendaman dibuat benda uji sebanyak 3 buah. Desain campuran menggunakan persentase agregat yang sama. Untuk berat dari butir agregat untuk campuran dengan kadar aspal optimum (KAO), Dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Susunan Benda Uji Menggunakan KAO

Inc	% Lolos	%Tertahan	KAO
			5,7
3/4 "	100,0	0,0	0,0
1/2 "	91,1	8,9	100,9
3/8 "	85,2	5,8	66,2
# 4	63,6	21,7	245,1
# 8	41,6	22,0	248,6
#16	27,0	14,6	165,6
# 30	19,7	7,3	82,1
# 50	13,7	6,0	67,9
# 100	7,9	5,9	66,3
# 200	5,1	2,8	31,4
Filler	0,0	5,1	57,5
Berat Agregat (gr)			1131,6
Berat Aspal (gr)			68,4
Berat Total (gr)			1200,00

(Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Institut Teknologi Padang 2023)

### Stabilitas Campuran dengan Variasi Perendaman

Benda Uji KAO (5,7%) selanjutnya direndam dengan suhu 60°C dengan variasi durasi perendaman 0,5 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam. Kemudian dilakukan pengujian *Marshall* dan analisa perhitungan *Marshall*. Hasil Pengujian *Marshall* stabilitas campuran dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

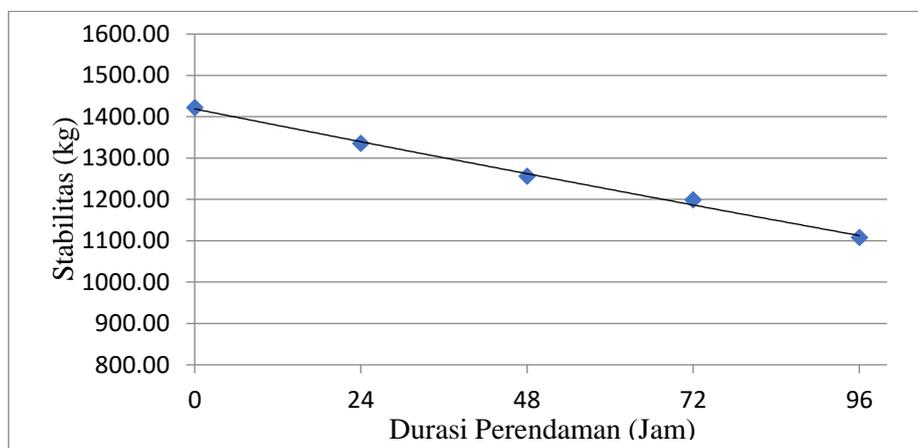
**Tabel 2.** Hasil Pengujian *Marshall* Untuk Variasi Durasi Perendaman Benda Uji

NO	Stabilitas
	kg
0A	1429,82
0B	1351,21
0C	1484,10
Rata – rata	1421,71
24A	1268,18
24B	1362,14
24C	1376,28
Rata - rata	1335,53
48A	1300,06
48B	1208,70
48C	1259,06
Rata - rata	1255,94
72A	1152,89
72B	1152,89
72C	1228,42
Rata - rata	1198,89
96A	1065,82
96B	1070,52
96C	1185,65
Rata - rata	1107,33

(Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Institut Teknologi Padang 2023)

Hasil Pengujian ini menggunakan alat uji *Mrashall* berupa stabilitas terjadi perubahan akibat variasi lama perendaman. Setelah direndam dengan variasi durasi perendaman, mengakibatkan nilai stabilitas menurun (Tabel 2.)

Gambar 11. dibawah menunjukkan bahwa stabilitas berkurang seiring dengan semakin lama perkerasan aspal terendam. Meskipun nilai stabilitasnya turun setiap penambahan durasi perendaman, namun tetap memenuhi kriteria Bina Marga 2018 sebesar >800 kg.



**Gambar 11.** Hubungan Nilai Stabilitas terhadap lama waktu perendaman

### Analisis Indeks Durabilitas Campuran Aspal dengan Pasir Silika

Nilai stabilitas dan waktu perendaman merupakan hal yang berpengaruh pada indeks Durabilitas. Parameter yang dilihat ialah Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas Pertama (IDP), Indeks Durabilitas Kedua (IDK).

### Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Campuran Aspal dengan Pasir Silika

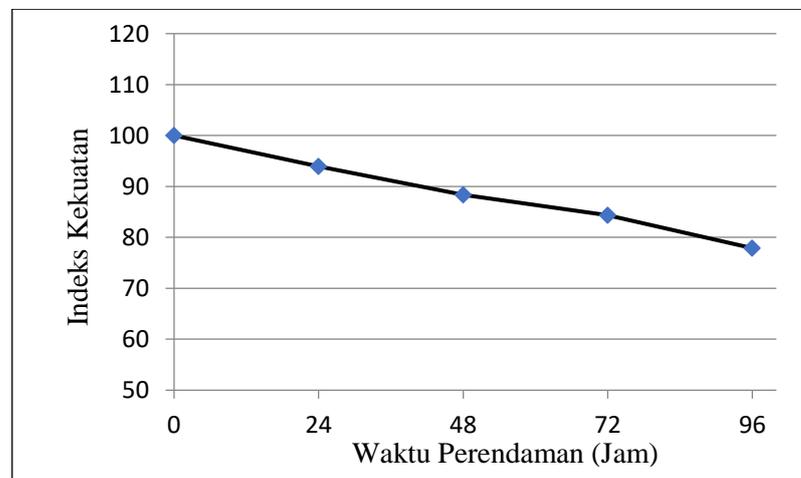
Hasil pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 3.** Indeks Kekuatan Sisa Campuran Aspal Pasir Silika

Durasi Perendaman (Jam)	Stabilitas (Kg)	Stabilitas Rata - Rata (Kg)	Indeks Kekuatan Sisa / IKS (%)
0	1429,82	1421,71	100
	1351,21		
	1484,10		
24	1268,18	1335,53	93,94
	1362,14		
	1376,28		
48	1300,06	1255,94	88,34
	1208,70		
	1259,06		
72	1152,89	1198,89	84,33
	1228,42		
	1215,35		
96	1065,82	1107,33	77,89
	1070,52		
	1185,65		

(Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Institut Teknologi Padang 2023)

Indeks Kekuatan Sisa (IKS) didefinisikan sebagai perbandingan dari nilai stabilitas yang terendam selama  $T_1$  dengan nilai stabilitas terendam selama  $T_2$ . Hasil pengujian perendaman yang dilakukan dilaboratorium menunjukkan nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) mengalami penurunan. Berdasarkan hal ini dapat disimpulkan bahwa benda uji mengalami penurunan kekuatan seiring bertambahnya masa perendaman. Hubungan antara Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dengan lama waktu perendaman dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 12.** Hubungan lama perendaman dengan Indeks Kekuatan Sisa

Dari gambar dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai kekuatan dari campuran aspal dengan pasir silika sebagai pengganti agregat halus. Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) yang disyaratkan adalah 90%. Pada waktu perendaman 0 jam dan 24 jam nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) memenuhi standart Bina Marga tahun 2018 yaitu  $> 90\%$ , namun pada perendaman 48 jam sampai dengan 96 jam campuran mengalami penurunan kekuatan dimana nilainya tidak memenuhi standar Bina Marga tahun 2018.

### Indeks Durabilitas Pertama (IDP) Campuran Aspal dengan Pasir Silika

Indeks Durabilitas Pertama (IDP) merupakan nilai berurutan dari jumlah kelandaian terhadap kurva keawetan (durabilitas). Indeks Durabilitas Pertama (IDP) juga dapat didefinisikan sebagai nilai sensitivitas penurunan stabilitas benda uji terhadap lama perendaman.

Hasil pengujian yang telah dilakukan, nilai indeks durabilitas pertama (IDP) pada campuran dapat dilihat pada tabel dibawah.

**Tabel 4.** Indeks Durabilitas Pertama Campuran Aspal Pasir Silika

Durasi Perendaman (Jam)	IKS (%)	$S_i - S_{i+1}$	$t_{i+1} - t_i$	r	
		a	b	a/b	Kumulatif
0,5	100				
24	93,94	6,06	23,5	0,26	0,26
48	88,34	5,60	24	0,23	0,49
72	84,33	4,01	24	0,17	0,66
96	77,89	6,44	24	0,27	0,93

(Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Institut Teknologi Padang 2023)

Pada tabel dapat dilihat bahwa Indeks Durabilitas Pertama (IDP) bernilai positif hal tersebut menunjukkan adanya kehilangan kekuatan seiring dengan durasi perendaman. Nilai r menunjukkan kehilangan kekuatan dalam satuan persen. Semakin lama campuran aspal terendam air maka IDP campuran aspal semakin tidak baik.

### Indeks Durabilitas Kedua (IDK) Campuran Aspal dengan Pasir Silika

IDK yaitu luas dari suatu kehilangan kekuatan antara kurva keawetan dengan garis  $S_0 = 100\%$ . Indeks Durabilitas Kedua juga dapat didefinisikan sebagai persentase kehilangan kekuatan rata-rata selama satu hari. Nilai a positif mengindikasikan kehilangan kekuatan dan nilai a negatif merupakan penambahan kekuatan, untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel dibawah.

**Tabel 5.** Indeks Durabilitas Kedua Campuran Aspal Pasir Silika.

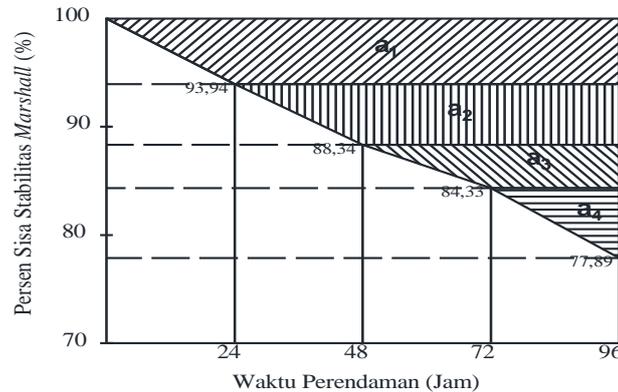
Durasi Perendaman (Jam)	IKS (%)	$S_i - S_{i+1}$	$t_i + t_{i+1}$	$2t_n - b$	$a = \{1/(2t_n)\}.a.c$		sa
		a	b	c	e	Kumulatif	100-e
0,5	100	-	-	-	-		100
24	93,94	6,06	24,5	23,5	2,97	2,97	97,03
48	88,34	5,60	72	24	1,40	4,37	95,63
72	84,33	4,01	120	24	0,67	5,04	94,96
96	77,89	6,44	168	24	0,80	5,84	94,16

(Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Institut Teknologi Padang 2023)

Pada tabel dapat dilihat bahwa nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) bernilai positif menggambarkan kehilangan kekuatan seiring dengan durasi perendaman. Semakin lama campuran aspal terendam air maka IDP campuran aspal semakin tidak baik.

### Kurva Keawetan

Kurva keawetan berdasarkan indeks durabilitas dapat dilihat pada gambar dibawah :



**Gambar 13.** Kurva Keawetan

Dari kurva keawetan pada Gambar 13. dapat dilihat bahwa semakin lama durasi perendaman maka nilai stabilitas sisa akan berkurang. Hal ini menunjukkan bahwa perendaman akan menurunkan kekuatan campuran. Kurva keawetan dapat menggambarkan besarnya kehilangan kekuatan per waktu perendaman yang ditunjukkan dengan Indeks Durabilitas Kedua (a) berupa luasan bidang antara kurva IKS dengan lama perendaman. Indeks Durabilitas Kedua (a) terbesar adalah pada bidang a1, yaitu indeks durabilitas untuk perendaman 24 jam. Hal ini juga ditunjukkan pada Tabel 5 dengan besaran Indeks Durabilitas Kedua (a) sebesar 2,97%.

### Pembahasan Nilai Durabilitas terhadap Durasi Perendaman

Berdasarkan hasil pengujian terhadap variasi yang dilakukan menggunakan alat uji *Marshall* didapatkan hasil berupa nilai stabilitas dimana nilai stabilitas mengalami perubahan akibat dari lamanya waktu perendaman. Setelah dilakukan perendaman dengan variasi perendaman yang berbeda-beda mengakibatkan nilai stabilitas *Marshall* menurun.

**Tabel 6.** Hasil Pengujian Karakteristik Campuran

Karakteristik	Durasi Perendaman				
	0 Jam	24 jam	48 jam	72 jam	96 jam
Stabilitas	1421,71	1335,53	1255,94	1198,89	1107,33
Indeks Kekuatan sisa (IKS)	100	93,94	88,34	84,33	77,89
Indeks Durabilitas Pertama (IDP)	-	0,26	0,23	0,17	0,27
Indeks Durabilitas Kedua (IDK)	-	2,97	1,40	0,67	0,80

(Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Institut Teknologi Padang)

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa stabilitas mengalami penurunan setiap durasi perendaman 24 jam – 96 jam, namun nilai stabilitas tersebut masih memenuhi syarat yang ditetapkan oleh Bina Marga tahun 2018 yaitu > 800 kg.

Pada penelitian ini telah dibuktikan bahwa semakin lama campuran aspal AC-WC dengan pasir silika sebagai pengganti agregat halus terendam air maka tingkat durabilitas campuran AC-WC dengan pasir silka akan semakin menurun, baik ditinjau dari Indikator Indeks Kekuatan Sisa (IKS), maupun Indeks Durabilitas Pertama (IDP) serta Indeks Durabilitas Kedua (IDK). Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) benda uji setelah perendaman 24 jam sebesar 93,94% dengan syarat 90% sehingga dianggap cukup durable berdasarkan IKS. Namun pada perendaman 48 jam hingga 96 jam campuran AC-WC

dengan pasir silika sebagai pengganti agregat halus telah mengalami penurunan kekuatan. Nilai IDP bernilai positif sehingga campuran AC-WC dengan pasir silika sebagai pengganti agregat halus cukup sensitif kehilangan kekuatan terhadap lama perendaman air. Semakin lama campuran aspal terendam air maka nilai IDP dan IDK campuran aspal semakin tidak baik.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan serta yang telah dilakukan terhadap campuran AC-WC dengan penggunaan pasir silika sebagai pengganti agregat halus diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik campuran AC-WC dengan pasir silika sebagai agregat halus diperoleh sebagai berikut:
  - a. Nilai kepadatan (density), kelelahan (flow), VMA, VFA meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dan berkurangnya komposisi pasir silika di dalam campuran.
  - b. Nilai VIM dan MQ mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal dan berkurangnya komposisi pasir silika di dalam campuran.
  - c. Nilai stabilitas meningkat seiring dengan kenaikan kadar aspal sampai dengan stabilitas optimum pada kadar aspal 5,5% lalu mengalami penurunan pada kadar aspal yang lebih besar dari 5,5%.
2. Kadar aspal yang memenuhi syarat sifat akhir AC-WC berada pada range 5,1 sampai dengan 6,3, dengan kadar aspal optimum 5,7%.
3. Semakin lama campuran berada di dalam air, mengakibatkan benda uji mengalami penurunan nilai stabilitas secara berturut-turut dan menurunkan tingkat durabilitas campuran aspal AC – WC yang dilihat dari nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) maupun durabilitas.
4. Nilai IKS benda uji normal di atas batas minimum yang ditetapkan Bina Marga (2018) yaitu 90%, sehingga cukup durable, sedangkan nilai IKS benda uji yang mengalami penuaan di bawah 90%, sehingga dianggap tidak cukup durable (awet). Nilai IKS campuran aspal pada perendaman 24 jam masih bisa tahan terhadap kerusakan yang ditimbulkan oleh pengaruh air sedangkan pada hari selanjutnya hingga perendaman 96 jam campuran aspal mengalami penurunan kekuatan.
5. Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK) setelah perendaman dalam air pada suhu 60 °C mengalami kehilangan kekuatan seiring dengan lamanya durasi perendaman. Semakin lama campuran aspal terendam air maka nilai IDP dan IDK campuran aspal semakin tidak baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asmuni, 2010. Karakterisasi Pasir Kuarsa (Sio<sub>2</sub>) Dengan Metode XRD, Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengatahuan Alam, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [2] Craus, J, Ishai, I & Sides, A. (1981). Durability of Bituminous Paving Mixtures as Related to Filler Type and Properties, Proceeding association of Asphalt Paving Technologists. Technical Sessions. February 16, 17 and 18. Volume 50. San Diego, California.
- [3] Departemen Pekerjaan Umum. 2018. Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Kontruksi Jalan dan Jembatan. Jakarta. Dirjen Bina Marga
- [4] Haryadi, Harta., 2010, Perkembangan Dan Prospek Bahan Galian Nonlogam Indonesia, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, Bandung.
- [5] Haryanto, Iman., dan Utomo, Heru B., 2012. Pengembangan Pembelajaran Berbasis Riset dan Education for Sustainable Development untuk Mata kuliah Perkerasan Jalan Raya dengan Memanfaatkan Hasil Riset Terapan Ecomaterial, Pusat Pengembangan Pendidikan Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [6] Junaedi, Dena Ramadhan., 2020, Pengaruh Penggunaan Pasir Kuarsa Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus Untuk Perkerasan Laston AC-BC, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi, Sukabumi.
- [7] Mataram, I Nyoman Karnata., Thanaya, I Nyoman Arya., dkk., Karakteristik Campuran HRS-WC Dengan Menggunakan Pasir Kuarsa Sebagai Agregat Halus., Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali.

- [8] Nasrul., 2013, Penggunaan Pasir Kuarsa Gunung Batu Kecamatan Baula Kabupaten Kolaka Sebagai Agregat Halus Terhadap Campuran Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Haluoleo, Kendari.
- [9] Nofrianto, Hendri, 2013. Perencanaan Perkerasan Jalan Raya. Yogyakarta; Andi
- [10] Ramadhan, G., dan Suparman, L., 2018, Pengaruh Penggunaan Pasir Kuarsa Pada Laston Ac-Wc Sebagai Pengganti Agregat Halus, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [11] Ratih, Wayan, A., 2018. Kajian Komparatif Durabilitas Campuran Aspal Beton Menggunakan Bahan Pengikat Yang Berbeda , Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- [12] Sari, Rieka Rulvita., 2020. Pengaruh penambahan lateks terhadap durabilitas campuran split mastic asphalt (SMA), Program Studi Teknik Sipil, Universitas Andalas, Padang.
- [13] Sukirman S, 1992. Perkerasan Jalan Raya. Bandung : Nova
- [14] Permana, M. Iqbal H., Tahadjuddin, dkk., 2019. Pemanfaatan Pasir Kuarsa dan Fly Ash pada Campuran Laston AC-BC., Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sukabumi, Sukabumi.