



## **Pengaruh penggunaan plastik LDPE (*low density polyethylene*) sebagai substitusi aspal dan serbuk kaca sebagai substitusi *filler* pada campuran laston AC-WC**

Ageng Surya Adjie<sup>a\*</sup>, Alif Nur Rizqi<sup>a</sup>, Riza Susanti<sup>a</sup>, Asri Nurdiana<sup>a</sup>

<sup>a\*</sup>, <sup>a</sup> *Teknik Infrastruktur Sipil dan Perancangan Arsitektur, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro, Indonesia*

### ARTICLE INFO

#### **Corresponding author:**

Email:

[agengsa@students.undip.ac.id](mailto:agengsa@students.undip.ac.id)

#### **Article history:**

Received : 21 December 2023

Accepted : 25 June 2024

Publish : 30 September 2024

#### **Keywords:**

*glass powder, laston AC-WC, LPDE, marshall test, road pavement*

### ABSTRACT

*Road deterioration is a common problem in Indonesia, influenced by population growth, the number of vehicles, and environmental factors. LASTON (Asphalt Concrete Layer) is a type of flexible pavement consisting of a mixture of asphalt, aggregate, and filler, which requires innovation to improve its quality. The objectives of this study were to determine the marshall parameters of LASTON AC-WC mixtures added with LDPE plastic and glass powder variations, obtain the KAO (Optimum Asphalt Content) value, and find the price efficiency of Conventional LASTON AC-WC mixtures and Innovative LASTON AC-WC. The research method used was an experimental test at the Civil Engineering Laboratory of Diponegoro University Vocational School, referring to the 2018 Bina Marga standard (Revision 2). This study designed 15 samples to obtain the KAO value so that the KAO obtained from the marshall test calculation was 5.5%, as well as 27 samples to determine the optimum content of LDPE plastic and Glass Powder with variations in LDPE plastic content of 4%, 5%, and 6% by weight of asphalt and Glass Powder content of 25%, 50%, and 75% by weight of fillers. The variations were tested using hot asphalt mixtures' stability and flow test methods with marshall test equipment referring to the 2018 General Specifications. This study obtained the optimum percentage of LDPE 5% and Glass Powder 75%, which met the requirements of the 2018 General Specifications. The marshall test results show the BJ Bulk value of 2.399 T/m<sup>3</sup>, VIM 4.901%, VMA 14.063%, VFA 70.393%, Stability 2029.455 kg, Flow 2.297 mm, and MQ 868.783 kg/mm. The cost of conventional asphalt mixture material is Rp 1,046,123, while the cost of innovative asphalt mixture material is Rp 987,017; thus, the innovative asphalt mixture material is more economical, with a price difference of Rp 59,105.90/ton.*

Copyright © 2024 PILARS-UNDIP

## **1. Pendahuluan**

Jalan raya adalah salah satu metode transportasi darat utama yang memiliki manfaat penting dalam mendorong pertumbuhan ekonomi negara. Salah satu ukuran kekuatan sebuah negara adalah kualitas hidup nasionalnya, yang mencerminkan kemajuan dan kesejahteraan masyarakat. Kerusakan jalan sudah menjadi hal yang biasa terjadi di jalanan Indonesia. Menurut data statistik dari Direktorat Jenderal Bina Marga, persentase jalan dalam kondisi baik adalah 44,89%, persentase jalan dalam kondisi sedang adalah 47,92%, persentase jalan dalam kondisi rusak ringan adalah 5,12%, dan persentase jalan dalam kondisi rusak berat adalah 2,07%. Persentase ini diproyeksikan akan terus meningkat di tahun-tahun mendatang.

Seiring bertambahnya jumlah penduduk dan kendaraan, kualitas jalan beraspal menurun karena faktor lingkungan, perubahan pola cuaca, dan beban kendaraan. Kerusakan jalan yang dibiarkan tanpa perbaikan dapat mengakibatkan deformasi lebih lanjut seperti lubang, patahan, dan gelombang. Lapisan perkerasan di bawahnya juga dapat terpengaruh, yang memerlukan perbaikan segera untuk menjaga kinerja jalan. Untuk meningkatkan kinerja perkerasan jalan, berbagai sumber kerusakan jalan harus diperbaiki (PUPR, 2020).

Secara umum, jalan raya di Indonesia terdiri dari dua jenis perkerasan: perkerasan kaku dan perkerasan fleksibel. Lapisan teratas dari lapisan perkerasan lentur disebut LASTON (Lapis Aspal Beton), yang terdiri dari kombinasi aspal, filler, dan agregat kasar, halus, dan kasar. LASTON terbagi menjadi tiga kategori berdasarkan fungsinya: AC-BASE (Asphalt Concrete-Base), AC-BC (Asphalt Concrete-Bearing Course), dan AC-WC (Asphalt Concrete-Wearing Course). Aspal modifikasi adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan aspal yang telah ditambahkan elemen tambahan untuk menciptakan campuran aspal berkualitas tinggi dengan harga terjangkau (Satyagraha, 2018).

Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan Asosiasi Industri Plastik Indonesia (Inaplas) menunjukkan bahwa Indonesia menghasilkan 64 juta ton sampah plastik setiap tahunnya, dimana 3,2 juta ton diantaranya dibuang ke laut. Karena bahan plastik sangat sulit terurai, sampah plastik menjadi masalah sampah terbesar di dunia, termasuk di Indonesia. Polietilena LDPE (Low Density Polyethylene) adalah salah satu dari beberapa bentuk plastik. Salah satu bentuk plastik polietilena yang lembut, fleksibel, dan mudah didapat disebut LDPE. Barang-barang sehari-hari seperti pembungkus makanan dan minuman plastik transparan sering kali terbuat dari plastik LDPE (Hidayati, Rifqi, & Amin, 2021). Low Density Polyethylene, atau LDPE, adalah plastik termoplastik dengan densitas rendah yaitu 0,910 hingga 0,940 gr/cm<sup>3</sup>. Oksidator kuat dan beberapa jenis pelarut dapat merusak LDPE, meskipun tidak reaktif pada suhu ruang (Wantoro et al., 2013). Bahan plastik dipilih sebagai bahan tambah karena jumlahnya yang melimpah di alam sebagai sampah yang sulit terurai dan karena komposisi aspal mengandung komponen yang berpotensi untuk meningkatkan ketahanan material melalui interaksi dengan polimer dan bahan sintetis. Penggunaan plastik dapat meminimalisir kerusakan lingkungan selain meningkatkan sifat aspal (Razak & Erdiansa, 2016). Oleh karena itu, sangat penting untuk menggunakan sampah plastik dalam sektor lain, seperti bahan aditif aspal yang dapat menjadi alternatif dari pengelolaan limbah sampah plastik.

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (KLNH), 0,7 ton sampah kaca dihasilkan setiap tahunnya oleh 26 kota terbesar di Indonesia. Pecahan botol, piring, lembaran, kaca mobil (kaca pengaman), dan barang pecah belah lainnya merupakan bentuk umum dari sampah kaca (Suyoto, 2008). Sampah kaca dapat didaur ulang menjadi sesuatu yang berguna, seperti bahan pengisi semen untuk campuran aspal, sebagai upaya untuk mengurangi jumlah sampah kaca yang dihasilkan. Limbah Kaca berfungsi sebagai bahan anti-pengupasan dan dapat menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim seperti perubahan udara, air, atau suhu, limbah kaca digunakan sebagai bahan pengisi pada campuran aspal beton. Hal ini dikarenakan campuran tersebut dapat menahan beban lalu lintas yang berulang-ulang, seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda dan permukaan jalan (Hartini, 2020).

Selain itu, karena meningkatnya permintaan campuran aspal, inovasi diperlukan untuk meningkatkan kualitasnya. Contohnya adalah penggunaan limbah kaca dan LDPE sebagai bahan tambahan pada campuran aspal. Hasil penelitian LASTON AC-WC dengan kadar penambahan plastik LDPE (Low Density Polyethylene) 4%-6% mengakibatkan terjadinya peningkatan nilai marshall yang telah memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 (Irwansyah et al, 2023). Pada campuran LASTON dengan kadar plastik LDPE sebesar 6% dan kadar aspal sebesar 4% mengakibatkan nilai stabilitas tertinggi yang membuktikan bahwa semakin banyak kadar plastik yang digunakan dalam campuran LASTON akan dapat meningkatkan nilai stabilitas sampai batas tertentu (Setyarini et al, 2019). Kemudian, penelitian tentang LASTON dengan penggunaan kadar Serbuk Kaca 75% terhadap total berat filler dapat meningkatkan stabilitas dan kekakuan campuran sehingga lebih mampu untuk menerima pembebanan (Yuniarti et al, 2019). Pada penelitian tentang kombinasi LASTON yang menggunakan serbuk limbah kaca dengan kadar 0%, 15%, 50%, dan 75% menunjukkan bahwa semakin banyak variasi yang digunakan, semakin baik hasil yang diperoleh dan sejauh mana campuran tersebut memenuhi parameter karakteristik Marshall (Hartini, 2020). Berdasarkan penelitian sebelumnya, peneliti menggunakan limbah LDPE (Low Density Polyethylene) dan Serbuk

Kaca agar menghasilkan campuran yang ramah lingkungan dan unggul dibandingkan campuran LASTON tanpa bahan tambahan.

Berdasarkan uraian diatas dilakukan pembuatan Campuran LASTON AC-WC dengan memanfaatkan plastik LDPE sebagai substitusi aspal dan Serbuk Kaca sebagai substitusi filler menggunakan marshall test. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi solusi material inovasi perkerasan jalan yang berkualitas tinggi, ramah lingkungan dan harga yang terjangkau.

## 2. Data dan metode

### 2.1. Metode penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan metode kuantitatif eksperimental untuk mengetahui dan menganalisis LASTON modifikasi AC-WC dengan substitusi LDPE (Low Density Polyethylene) pada campuran aspal dan substitusi Serbuk Kaca sebagai filler terhadap LASTON konvensional. Metode ini dilakukan secara langsung dan objektif di Laboratorium Transportasi, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro. Penelitian ini menguji variasi substitusi LDPE (Low Density Polyethylene) dan Serbuk Kaca terhadap parameter marshall campuran beraspal panas dengan alat marshall. Variasi yang digunakan adalah LDPE 4%, 5%, dan 6% terhadap berat aspal serta Serbuk Kaca 25%, 50%, dan 75% terhadap berat filler. Tahapan penelitian ini meliputi pengujian kelayakan material, persiapan bahan inovasi, dan pembuatan rancangan campuran laston AC-WC.

### 2.2. Pengujian kelayakan material

Pengujian kelayakan material merupakan suatu pengujian untuk menentukan kelayakan suatu material agar memenuhi spesifikasi. Penulis melakukan pengujian ini mengacu pada Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2). Pengujian yang dilakukan berupa pengujian terhadap agregat kasar, agregat halus, filler, dan aspal. Untuk campuran pada aspal menggunakan plastik LDPE (Low Density Polyethylene) tidak dilakukan pengujian kelayakan. Agregat kasar sesuai dengan jenis campuran untuk LASTON AC-WC, yaitu tertahan saringan  $\frac{1}{2}$  dan  $\frac{3}{8}$ . Ketentuan agregat halus berupa pasir maksimal 15% terhadap berat total campuran, sehingga digunakan agregat halus berupa abu batu untuk memenuhi kebutuhan agregat halus. Filler yang digunakan berupa filler semen dan serbuk kaca. Aspal yang digunakan berupa jenis aspal penetrasi 60/70.

### 2.3. Persiapan bahan inovasi

Adapun persiapan bahan inovasi pada penelitian ini ada beberapa tahapan sebagai berikut:

#### 1) Pengolahan plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*)

Persiapan bahan inovasi dilakukan untuk mengolah material plastik LDPE sebelum ditambahkan ke dalam campuran beraspal. Plastik LDPE harus dibersihkan terlebih dahulu dari berbagai debu maupun kotoran dan dipotong sampai menjadi ukuran yang lebih kecil. Adapun ilustrasi persiapan bahan plastik LDPE ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Plastik LDPE

2) Pengolahan serbuk kaca

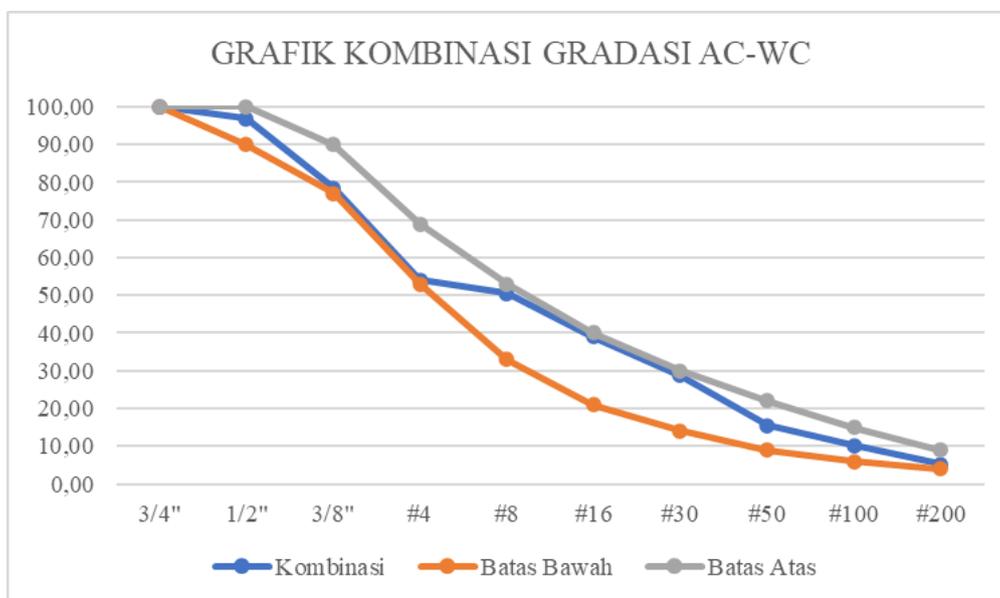
Serbuk kaca yang dijadikan sebagai bahan tambahn campuran *filler*, serbuk kaca terlebih dahulu dilakukan penyaringan menggunakan saringan No. 200 (0,075 mm). Serbuk kaca yang telah lolos ayakan selanjutnya dioven pada suhu 300°C sampai dengan butiran kering. Adapun ilustrasi pengolahan serbuk kaca ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Serbuk Kaca

2.4. Pembuatan rancangan *job mix* LASTON AC-WC

Tahap pertama adalah pembuatan JMD (*Job Mix Design*) bertujuan untuk mengetahui layak atau tidaknya rencana campuran. Tahap kedua JMF (*Job Mix Formula*) yaitu perancangan menggunakan hasil dari JMD untuk mengetahui proporsi material yang paling optimum dalam pembuatan benda uji marshal inovasi dengan substitusi LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan Serbuk Kaca. Pembuatan JMD dimulai dengan pengujian analisis saringan material untuk menentukan kombinasi agregat pada campuran beraspal yang akan dibuat. Adapun hasil kombinasi gradasi AC-WC ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Kombinasi Gradasi AC-WC

Hasil pengolahan data seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 didapatkan bahwa persentase agregat campuran beraspal dengan rincian agregat kasar 3/4" 7%, agregat kasar 1/2" 40%, agregat halus (pasir) 14%, agregat halus (abu batu) 37%, dan *filler* 2%. Hasil dari presentase tersebut digunakan untuk menentukan rincian kebutuhan agregat kasar, agregat halus, filler, dan aspal untuk pembuatan satu buah sampel benda uji marshal LASTON AC-WC sebesar 1200 gr. Setelah didapatkan kombinasi gradasi agregat AC-WC melalui pengujian analisis saringan, kemudian pembuatan rancangan JMD (*Job Mix Design*) benda uji konvensional

menggunakan kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% dengan jumlah 3 sampel tiap variasi. Pembuatan benda uji konvensional bertujuan untuk mendapatkan nilai KAO yang akan dipakai sebagai kadar aspal optimum benda uji inovasi. Adapun variasi kadar aspal konvensional disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Variasi Kadar Aspal Konvensional

Variabel	Kadar Aspal (%)	Benda Uji (buah)
XA1; XA2; XA3	4,5	3
XB1; XB2; XB3	5,0	3
XC1; XC2; XC3	5,5	3
XD1; XD2; XD3	6,0	3
XE1; XE2; XE3	6,5	3

Variasi aspal yang disajikan pada Tabel 1 digunakan untuk menentukan KAO (Kadar Aspal Optimum) untuk pembuatan benda uji inovasi marshall LASTON AC-WC dengan berat total campuran sebesar 1200 gr. Adapun rancangan *job mix design* untuk menghitung kebutuhan material benda uji konvensional disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** *Job Mix Design* Benda Uji Konvensional

Material	Kadar Aspal Hasil KAO					Berat Total (gr)
	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	
Agregat 3/4	80,22	79,8	79,38	78,96	78,54	1190,7
Agregat 1/2	458,4	456	453,6	451,2	448,80	6804
Abu Batu	424,02	421,8	419,58	417,36	415,14	6293,7
Pasir	160,44	159,6	158,76	157,92	157,08	2381,4
Filler	22,92	22,8	22,68	22,56	22,44	340,2
Kadar Aspal	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00	990

Setelah didapatkan nilai KAO, kemudian pembuatan rancangan JMF (*Job Mix Formula*) benda uji inovasi dengan substitusi LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan Serbuk Kaca. Adapun komposisi LDPE (*Low Density Polyethylene*) yang digunakan adalah 4%, 5%, dan 6% dari total berat aspal dan kadar Serbuk Kaca yang digunakan adalah 25%, 50%, dan 75% terhadap berat *filler* sebanyak masing-masing berjumlah 3 buah sampel. Adapun variasi kadar LDPE dan serbuk kaca disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Variasi Kadar LDPE dan Serbuk Kaca

Variabel	Kadar LDPE (%)	Kadar Serbuk	Benda Uji (buah)
		Kaca (%)	
AR1; AR2; AR3		25	3
BS1; BS2; BS3	4	50	3
CT1; CT2; CT3		75	3
DU1; DU2; DU3		25	3
EV1; EV2; EV3	5	50	3
FW1; FW2; FW3		75	3
GX1; GX2; GX3		25	3
HY1; HY2; HY3	6	50	3
IZ1; IZ2; IZ3		75	3

Variasi aspal tersebut digunakan untuk menentukan berat aspal dengan substitusi LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan berat *filler* (semen) dengan substitusi Serbuk Kaca, untuk pembuatan benda uji inovasi marshall LASTON AC-WC dengan berat total campuran sebesar 1200 gr. Adapun rancangan *job mix formula* untuk menghitung kebutuhan material substitusi kadar LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan kadar Serbuk Kaca pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Job Mix Formula Benda Uji Inovasi

Material	Kadar LDPE									Berat Total (gr)
	4%			5%			6%			
	Kadar Serbuk Kaca									
	25%	50%	75%	25%	50%	75%	25%	50%	75%	
Agregat $\frac{3}{4}$	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	79,38	2143,26
Agregat $\frac{1}{2}$	453,60	453,60	453,60	453,60	453,60	453,60	453,60	453,60	453,60	12247,2
Abu Batu	419,58	419,58	419,58	419,58	419,58	419,58	419,58	419,58	419,58	11328,66
Pasir	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	158,76	4286,52
Semen	17,01	11,34	5,67	17,01	11,34	5,67	17,01	11,34	5,67	306,18
Serbuk Kaca	5,67	11,34	17,01	5,67	11,34	17,01	5,67	11,34	17,01	306,18
LDPE	2,64	2,64	2,64	3,30	3,30	3,30	3,96	3,96	3,96	89,1
Kadar Aspal	63,36	63,36	63,36	62,70	62,70	62,70	62,04	62,04	62,04	1692,9

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Hasil pengujian kelayakan material

Berdasarkan pengujian kelayakan material yang akan digunakan pada penelitian ini, semua material telah memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Hasil pengujian material tersebut akan digunakan sebagai material dalam pembuatan benda uji inovasi. Adapun hasil pengujian kelayakan material pada penelitian ini sebagai berikut:

1) Pengujian aspal

Adapun hasil pengujian aspal telah memenuhi syarat spesifikasi yang disajikan pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Aspal

Pengujian	Satuan	Nilai	Spesifikasi
Berat Jenis	Kg/m <sup>3</sup>	1,132	Min. 1,0
Uji Penetrasi	(0,1 mm)	63,7	60 – 70
Daktilitas	cm	150	Min. 100
Titik Lembek	°C	48,5	Min. 48

2) Pengujian agregat kasar

Adapun hasil pengujian agregat kasar telah memenuhi syarat spesifikasi yang disajikan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian	Satuan	Nilai Agregat Kasar		Spesifikasi
		$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	
Berat Jenis	Kg/m <sup>3</sup>	2,630	2,724	Min. 2,5
Penyerapan	%	2,001	2,057	Maks. 3 %
Kelekatan	%	95	95	Min. 95 %
Keausan Agregat	%	11,69	11,69%	Maks. 30 %
Material Lolos No.200	%	1,69%	0,91%	Maks. 2 %

3) Pengujian agregat halus

Adapun hasil pengujian agregat halus telah memenuhi syarat spesifikasi yang disajikan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian	Satuan	Nilai Agregat halus		Spesifikasi
		Abu Batu	Pasir	
Berat Jenis	Kg/m <sup>3</sup>	2,566	2,678	Min. 2,5
Penyerapan	%	2,56	1,21	Maks. 3 %
Material Lolos No.200	%	9,20	7,30	Maks. 10 %
Sand Equivalent	%	79,46	94,57	Min. 50 %

4) Pengujian *filler*

Adapun hasil pengujian *filler* telah memenuhi syarat spesifikasi yang disajikan pada Tabel 8.

**Tabel 8.** Hasil Pengujian *Filler*

Pengujian	Satuan	Nilai <i>Filler</i>		Spesifikasi
		Semen	Serbuk Kaca	
Berat Jenis	Kg/m <sup>3</sup>	2,745	2,050	-
Penyerapan	%	5,5	3,466	-
Material Lolos No.200	%	97,13	88,17	Min. 75%

**3.2. Pengujian *marshal test* benda uji konvensional**

Pengujian *marshal* dilakukan pada semua variasi sampel untuk variabel VIM (Void in the Mix), VMA (Void in the Mineral Aggregate), VFA (Void Filled with Asphalt), Stabilitas, Flow, dan MQ (Marshall Quotient). Adapun hasil rekapitulasi masing-masing pengujian variabel tersebut disajikan pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Rekapitulasi Nilai Marshall Benda Uji Konvensional

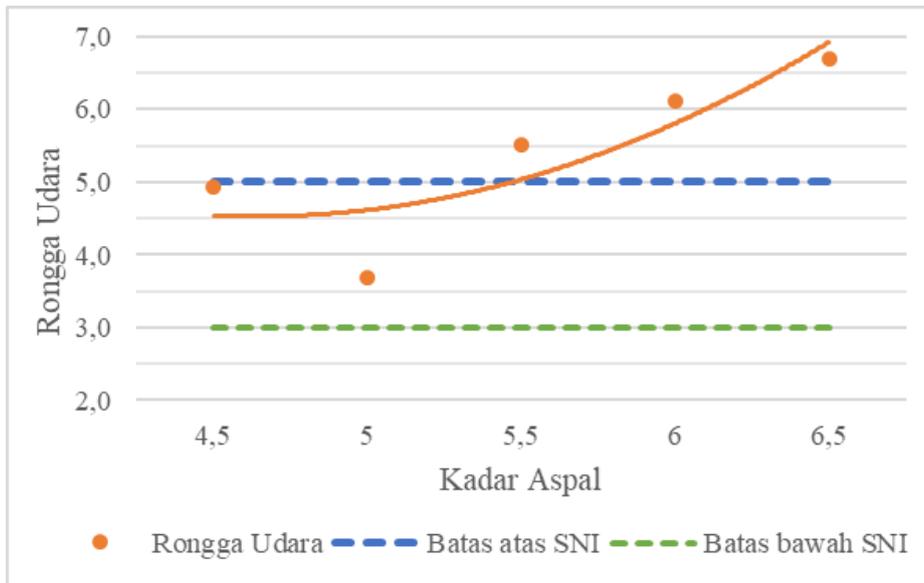
Kadar Aspal	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
Spesifikasi	3-5%	Min. 15 (%)	Min. 65 (%)	Min. 800 (Kg)	2-4 (mm)	Min. 250 Kg/mm
4,5%	4,931	12,129	66,318	1802,077	2,500	706,732
5%	3,684	12,026	74,677	1895,565	2,413	791,212
5,5%	5,508	14,708	67,841	1925,794	2,210	853,042
6%	6,109	16,246	67,213	1541,651	2,420	626,134
6,5%	6,699	17,750	66,645	1628,756	3,077	524,982

**3.3. Hasil analisis *marshal test* benda uji konvensional**

Hasil pengujian masing-masing variabel pada *marshal test* akan jelaskan sebagai berikut:

## 1) Rongga udara/VIM

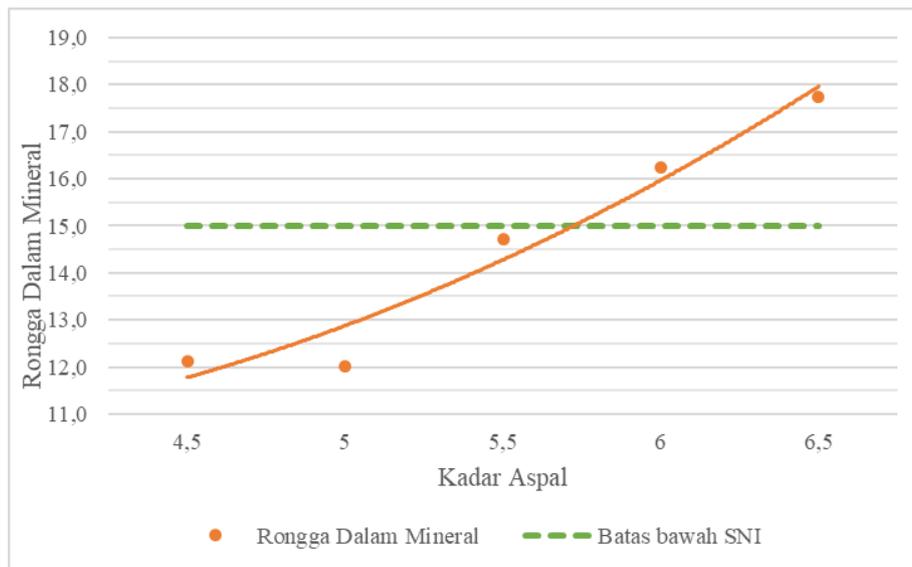
Gambar 4 menunjukkan bahwa kadar aspal 4,5% - 5% memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar 3 - 5% dengan nilai yang didapat 3,684% - 4,931%.



**Gambar 4.** Grafik Nilai Rongga Udara/VIM

2) Rongga dalam mineral/VMA

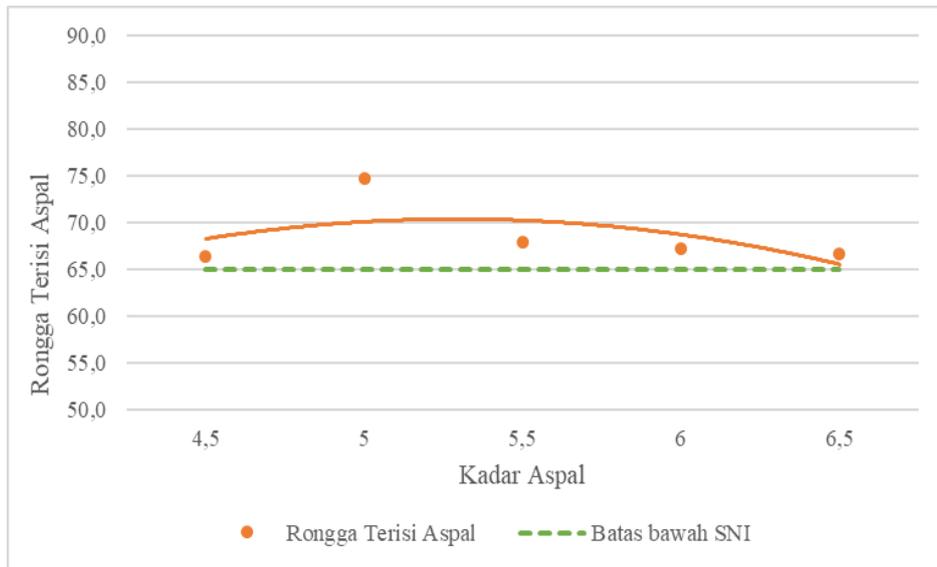
Gambar 5 menunjukkan bahwa kadar aspal 6% – 6,5% memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar  $\geq 15\%$  dengan nilai yang didapat 16,246% - 17,750%.



**Gambar 5.** Grafik Rongga dalam Mineral/VMA

3) Rongga terisi aspal/VFA

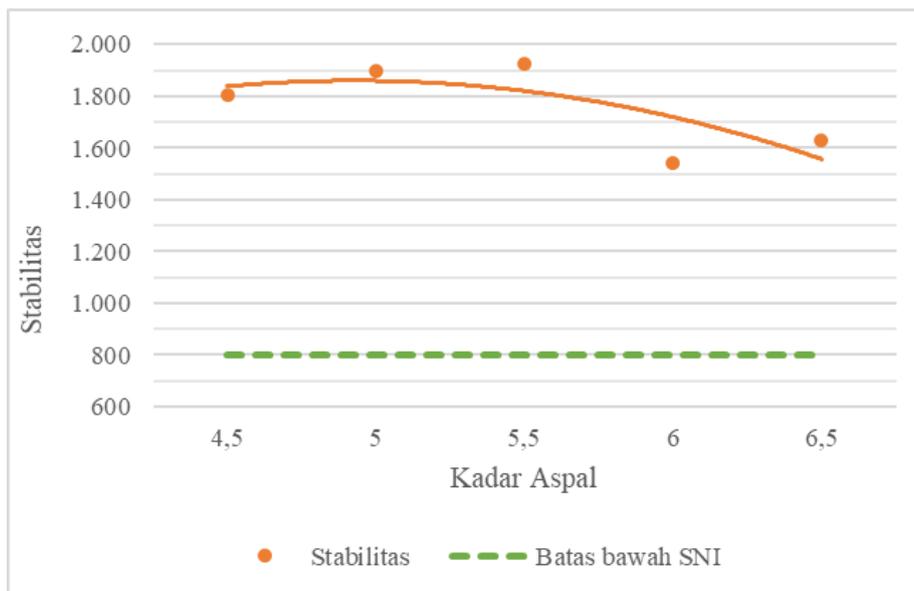
Gambar 6 menunjukkan bahwa kadar aspal 4,5% - 6,5% memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar  $\geq 65\%$  dengan nilai yang didapat 66,318% - 74,677%.



**Gambar 6.** Grafik Stabilitas

4) Stabilitas

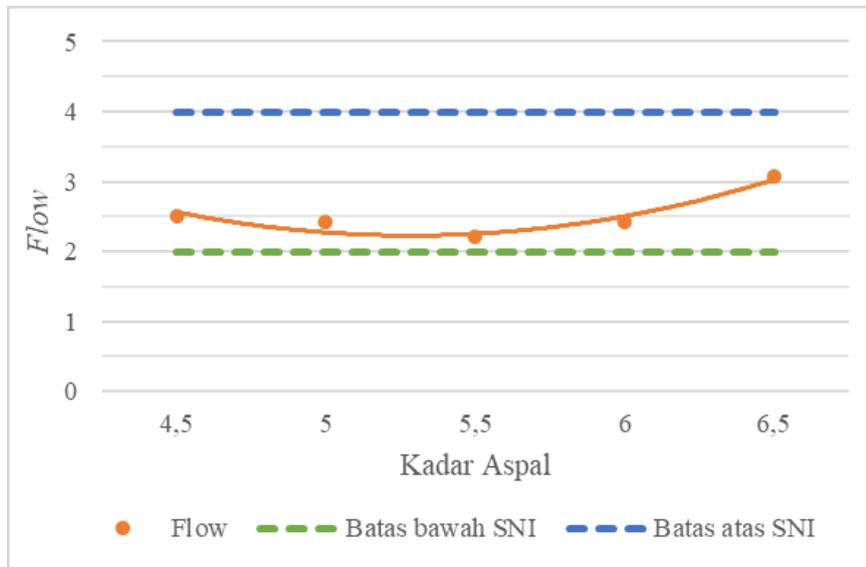
Gambar 7 menunjukkan bahwa kadar aspal 4,5% - 6,5% memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar  $\geq 800$  kg dengan nilai yang didapat 1527,90 kg – 2077,03 kg.



**Gambar 7.** Grafik Stabilitas

5) Flow

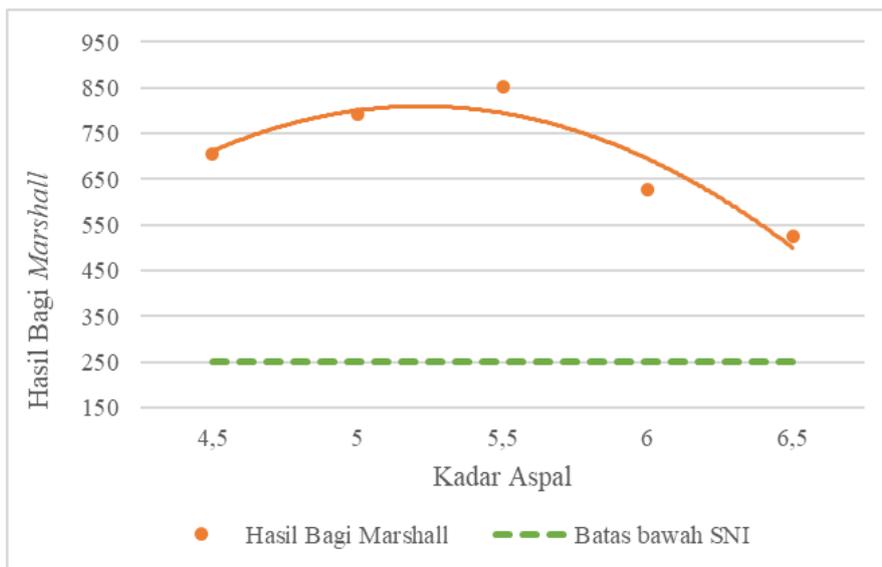
Gambar 8 menunjukkan bahwa kadar aspal 4,5% - 6,5% memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar 2 - 4 mm dengan nilai yang didapat 2,210 - 3,077 mm.



**Gambar 8.** Grafik *Flow*

6) Hasil bagi marshal/MQ

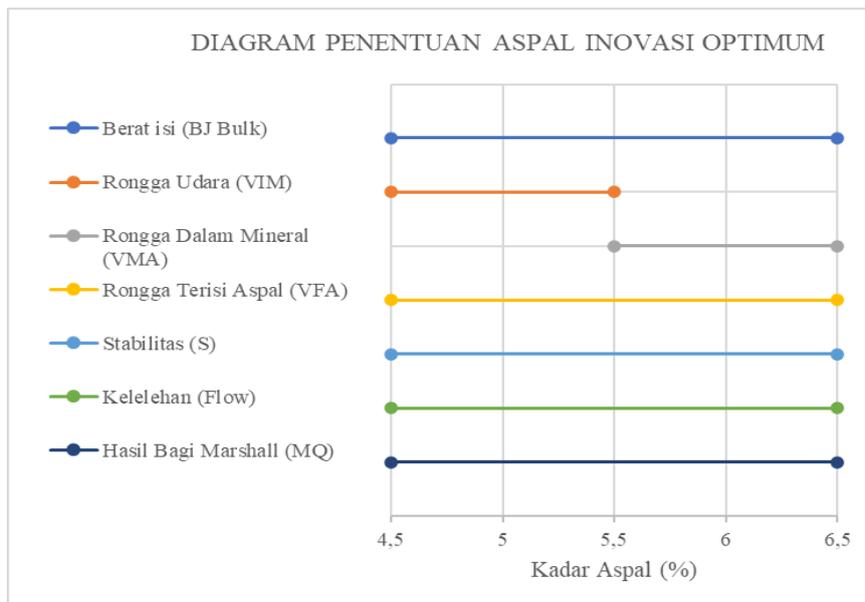
Gambar 9 menunjukkan bahwa kadar aspal 4,5% - 6,5% memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar  $\geq 250$  kg/mm dengan nilai yang didapat 524,982 - 853,042 kg/mm.



**Gambar 9.** Grafik Hasil Bagi Marshall/MQ

**3.4. Hasil pemilihan kadar aspal optimum benda uji konvensional**

Berdasarkan hasil perhitungan variabel marshal yang meliputi VIM, VMA, VFA, Stabilitas, dan *Flow* dilakukan analisis grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter marshal, sehingga diperoleh nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) yang memenuhi yaitu pada kadar aspal 5,5% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Pemilihan KAO Marshall Konvensional

### 3.5. Pengujian marshal test benda uji inovasi

Pengujian Marshall dilakukan pada semua variasi sampel untuk variabel VIM, VMA, VFA, Stabilitas, Flow, dan MQ. Adapun rekapitulasi masing-masing pengujian disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi Nilai Marshal Benda Uji Inovasi

Kadar LDPE	Kadar Serbuk Kaca	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
Spesifikasi		3-5 (%)	Min. 15 (%)	Min. 65 (%)	Min. 800 (Kg)	2-4 (mm)	Min. 250 Kg/mm
4%	25%	6,202	15,302	65,012	1772,323	2,200	789,890
	50%	6,104	15,182	65,368	1719,924	2,210	766,803
	75%	5,988	15,046	65,838	1784,603	2,233	786,052
5%	25%	5,917	15,045	66,138	1767,634	2,217	787,433
	50%	5,597	14,724	67,460	1866,513	2,283	809,995
	75%	4,901	14,063	70,393	2029,455	2,297	868,783
6%	25%	4,683	13,931	71,434	2049,872	2,267	888,194
	50%	4,490	13,724	72,298	2055,823	2,197	919,520
	75%	4,297	13,517	73,358	2096,926	2,303	901,200

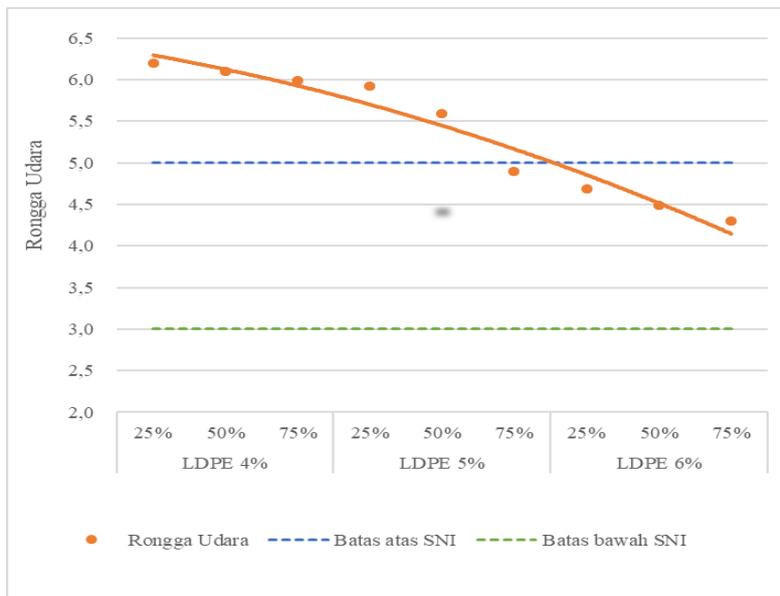
### 3.6. Hasil analisis grafik marshal benda uji inovasi

Hasil pengujian masing-masing variabel pada *marshal test* akan jelaskan sebagai berikut:

1) Rongga udara/VIM

Gambar 11 menunjukkan hasil bahwa kadar LDPE 5% Serbuk Kaca 75% - LDPE 6% Serbuk Kaca 75% telah memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar 3 – 5% dengan nilai yang didapat 4,297 - 4,901%. Semakin tinggi kadar plastik LDPE yang dipakai maka nilai VIM akan mengalami penurunan hal ini menyebabkan campuran menjadi kecil dan rapat sehingga memungkinkan terjadinya bleeding dan kelelehan plastis menjadi lebih besar (Wantoro et al., 2013) dan pada substitusi filler Serbuk Kaca diharapkan akan menambah nilai VIM. Menurut Liu, dkk. (2015), komponen utama dalam serbuk kaca adalah alkali dan silicon dioxide (reaktive silica). Silika merupakan bahan yang bersifat mengikat atau memiliki adhesi yang tinggi. Serbuk Kaca mengandung silika (SiO<sub>2</sub>) sekitar 30%, kalsium oksida (CaO), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan sodium oksida (Na<sub>2</sub>O) dengan prosentase pada rentang 10% dan 19%. Prosentase dari oksida lainnya di bawah

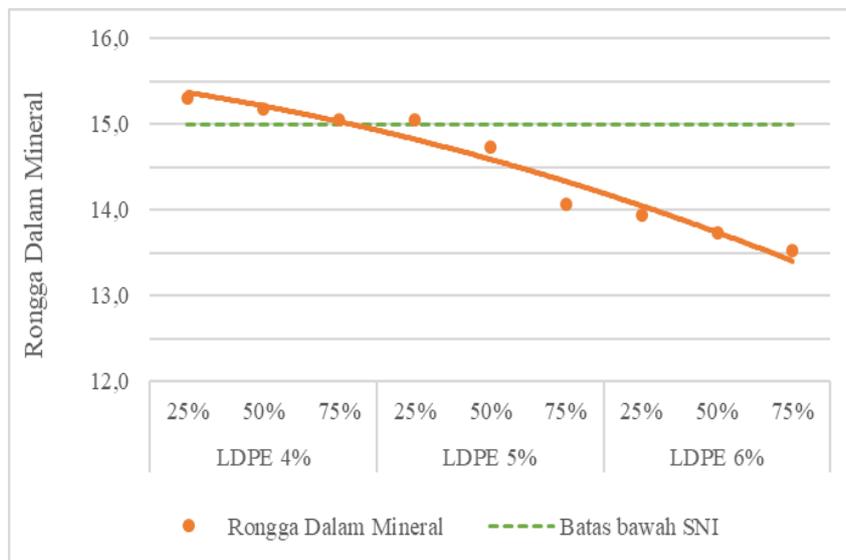
1% (Simone, dkk., 2017). Sehingga semakin banyak Serbuk Kaca yang digunakan akan mempengaruhi presentase filler semen yang digunakan dan hal ini menyebabkan nilai VIM mengalami penurunan dikarenakan penggunaan presentase filler semen berpengaruh terhadap nilai VIM yang dihasilkan.



**Gambar 11.** Grafik Rongga Udara/VIM

2) Rongga Dalam Mineral/VMA

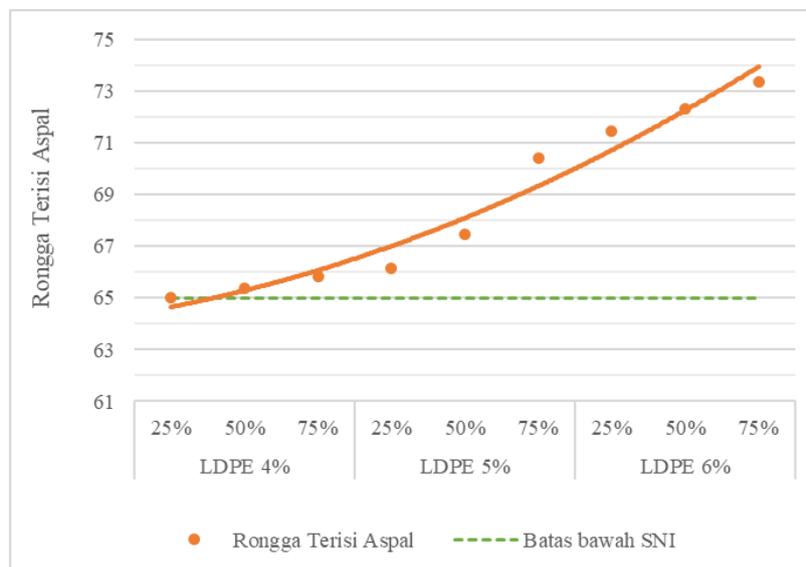
Gambar 12 menunjukkan hasil bahwa kadar LDPE 4% Serbuk Kaca 25% - LDPE 5% Serbuk Kaca 25% telah memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar  $\geq 15\%$  dengan nilai yang didapat 15,045 - 15,302%. Pada penelitian (Irwansyah., et al 2023) pada setiap kenaikan kadar LDPE nilai VMA yang dihasilkan akan mengalami penurunan, hal ini dikarenakan plastik LDPE telah menyelimuti agregat dan menutupi sebagian besar rongga antara agregat (Razak & Erdiansa, 2016). Pada penelitian (Yuniarti et., al 2019) setiap kenaikan kadar Serbuk Kaca nilai VMA yang dihasilkan mengalami penurunan, hal ini mengindikasikan bahwa pada proporsi tersebut reaksi yang terjadi antara filler serbuk kaca dengan semen dengan aspal yang meleleh akibat pencampuran secara panas menghasilkan ikatan yang lebih kuat sehingga memperkecil terbentuknya rongga. Oleh karena itu setiap kenaikan kadar LDPE dan filler Serbuk Kaca yang dipakai maka nilai VMA yang dihasilkan akan mengalami penurunan.



**Gambar 12.** Grafik Rongga Dalam Mineral/VMA

### 3) Rongga Terisi Aspal/VFA

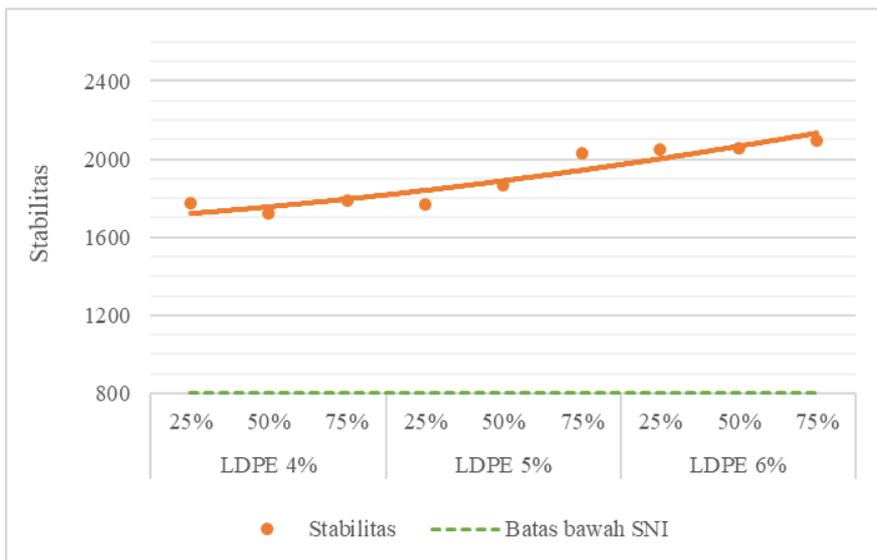
Gambar 13 menunjukkan hasil bahwa semua kadar komposisi telah memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar  $\geq 65\%$  dengan nilai yang didapat 65,012–73,358 %. Pada penelitian Hartini (2020) nilai VFA yang dihasilkan mengalami kenaikan dan penurunan. Pada penelitian LDPE dari Hilda Nur Hidayati (2021) nilai VFA yang dihasilkan telah memenuhi spesifikasi. Nilai VFA yang terlalu rendah akan mengurangi keawetan suatu campuran aspal sedangkan Nilai VFA yang terlalu tinggi campuran aspal mudah mengalami bleeding, karena rongga dalam campuran terlalu kecil yang menyebabkan aspal naik ke permukaan. Dan penambahan serbuk kaca yang dapat mengisi rongga dalam agregat menjadi mudah terisi oleh aspal. Pada penelitian Yuniarti (2019), proporsi filler 25%, 50%, dan 75% mengalami peningkatan sehingga persentase selimut aspal yang mengisi rongga menjadi lebih kecil, sehingga menghasilkan selimut aspal yang paling tebal. Hal ini mengindikasikan bahwa pada proporsi tersebut reaksi yang terjadi antara filler serbuk kaca dengan semen dengan aspal yang meleleh akibat pencampuran secara panas menghasilkan ikatan yang lebih kuat sehingga memperkecil terbentuknya rongga. Oleh karena itu setiap kenaikan kadar LDPE dan filler Serbuk Kaca yang dipakai maka nilai VMA yang dihasilkan akan mengalami peningkatan.



**Gambar 13.** Grafik Rongga Terisi Aspal/VFA

### 4) Stabilitas

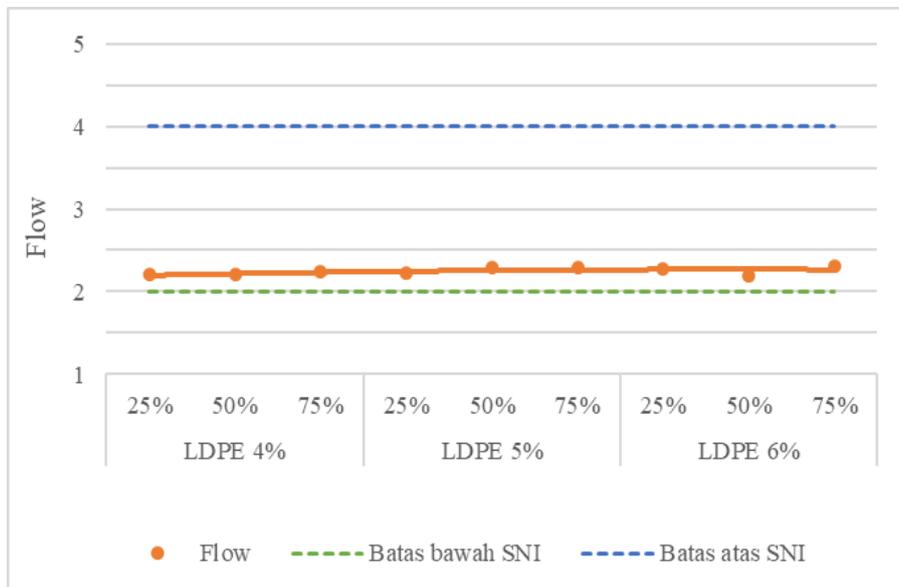
Gambar 14 menunjukkan hasil bahwa semua komposisi telah memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar  $\geq 800$  Kg dengan nilai yang didapat 1719,924- 2096,926 Kg. Pada penelitian terdahulu nilai Stabilitas yang didapatkan telah memenuhi spesifikasi umum. Pada penelitian Irwansyah et al., (2023) mengalami kenaikan nilai Stabilitas. Hal ini dikarenakan plastik telah mengisi rongga butiran agregat, sehingga menyebabkan rongga antara agregat menjadi kecil dan rapat (Erni et al., 2021). Pada penelitian Yuniarti (2019), penggunaan serbuk kaca 50% dan 75% mengalami nilai stabilitas yang lebih tinggi karena pada komposisi campuran ini serbuk kaca membentuk pasta yang dapat meningkatkan kekuatannya. Oleh karena itu setiap kenaikan kadar LDPE dan *filler* Serbuk Kaca yang dipakai maka nilai stabilitas yang dihasilkan akan mengalami peningkatan.



**Gambar 14.** Grafik Stabilitas

5) *Flow*

Gambar 15 menunjukkan hasil bahwa semua komposisi telah memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar 2-4 mm dengan nilai yang didapat 2,200-2,303 mm. Dalam penelitian sebelumnya, nilai *Flow* meningkat seiring dengan penambahan kadar LDPE, karena peningkatan kadar plastik LDPE menyebabkan campuran aspal plastik menjadi lebih kental dan bersifat plastis (Irwansyah et al., 2023). Pada penelitian sebelumnya, komposisi filler serbuk kaca 25%, 50%, dan 75% mengalami penurunan nilai *Flow*. Hal ini disebabkan oleh kandungan silika dan alumina yang meningkatkan kekuatan campuran sehingga menjadi lebih kaku (Yuniarti, 2019). Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar LDPE yang digunakan, maka nilai *Flow* yang dihasilkan akan semakin tinggi, dan dengan bantuan *filler* serbuk kaca, nilai *Flow* menjadi lebih stabil.

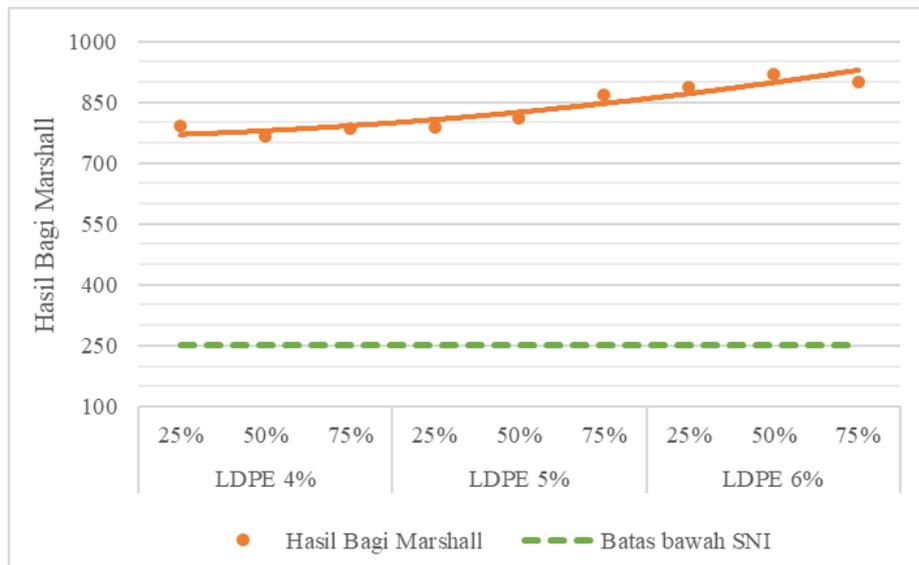


**Gambar 15.** Grafik *flow*

6) Hasil bagi marshal/MQ

Gambar 16 menunjukkan hasil bahwa semua komposisi telah memenuhi Spesifikasi Umum 2018 (Rev. 2) sebesar  $\geq 250$  Kg/mm dengan nilai yang didapat 766,803 - 919,520 Kg/mm. Pada penelitian terdahulu nilai Hasil Bagi Marshall yang didapatkan telah memenuhi Spesifikasi Umum. Pada penelitian ini didapat nilai Hasil Bagi Marshall yang telah memenuhi Spesifikasi Umum dan nilai yang dihasilkan lebih tinggi dari hasil penelitian terdahulu. Dalam penelitian (Irwansyah, 2023), peningkatan kadar plastik LDPE menyebabkan penurunan nilai. Semakin tinggi nilai MQ,

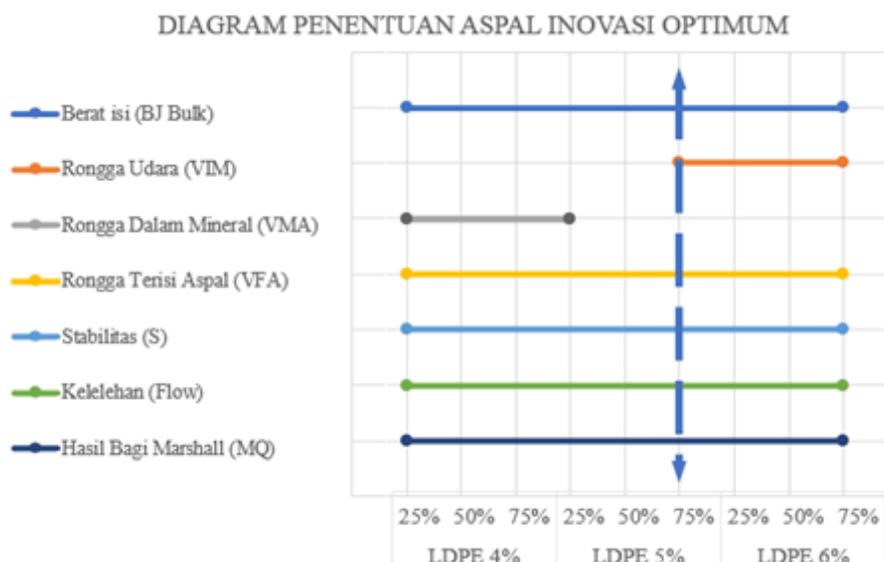
semakin tinggi kemungkinan mutu suatu campuran. Pada penelitian sebelumnya, peningkatan kadar filler serbuk kaca 25%, 50%, dan 75% menunjukkan kenaikan dan telah memenuhi spesifikasi umum. Nilai MQ merupakan parameter yang merepresentasikan kekakuan dari campuran agregat, sehingga filler serbuk kaca cukup berpengaruh dalam meningkatkan daya dukung perkerasan terhadap beban yang diberikan (Yuniarti, 2019). Oleh karena itu, penelitian ini menunjukkan bahwa nilai MQ yang diperoleh telah memenuhi spesifikasi umum dan nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya.



**Gambar 16.** Grafik Hasil Bagi Marshall

### 3.7. Hasil pemilihan kadar optimum benda uji inovasi

Berdasarkan grafik hubungan kadar aspal dengan parameter hasil pengujian *marshall* di atas, diperoleh nilai *marshall* optimum inovasi yang memenuhi yang disajikan pada Gambar 17.



**Gambar 17.** Diagram Pemilihan Kadar Optimum Marshall Inovasi

Diagram pemilihan kadar LDPE dan Serbuk Kaca yang ditunjukkan pada Gambar 17 menunjukkan bahwa hampir semua parameter telah memenuhi spesifikasi umum. Nilai VIM pada benda uji dengan LDPE 5% dan Serbuk Kaca 75%, serta LDPE 6% dengan Serbuk Kaca 25%, 50%, dan 75% memenuhi Spesifikasi Umum. Serbuk Kaca berfungsi sebagai pengisi rongga udara, dan setiap penambahan kadar

LDPE menyebabkan nilai VIM yang dihasilkan semakin kecil. Nilai VMA yang memenuhi spesifikasi umum terlihat pada benda uji dengan LDPE 4% dan Serbuk Kaca 25%, 50%, 75%, serta LDPE 5% dengan Serbuk Kaca 25%. Setiap kenaikan kadar LDPE menyebabkan penurunan nilai VMA, karena plastik LDPE menyelimuti agregat dan menutupi sebagian besar rongga antar agregat (Razak & Erdiansa, 2016). Kenaikan kadar Serbuk Kaca juga menyebabkan penurunan nilai VMA, yang mengindikasikan bahwa reaksi antara *filler* serbuk kaca dengan semen dan aspal yang meleleh akibat pencampuran panas menghasilkan ikatan lebih kuat, sehingga mengurangi rongga yang terbentuk (Yuniarti et al., 2019). Pada kadar LDPE 5% dan serbuk kaca 75% dapat dianggap sebagai campuran optimum dengan Nilai VMA = 14,063%, yang mendekati syarat spesifikasi  $\geq 15\%$ ; Nilai VIM = 4,901%; VFA = 70,393%; Stabilitas = 2029,455 Kg; *Flow* = 2,297 mm; MQ = 868,783 Kg/mm, semuanya telah memenuhi Spesifikasi Umum. Pemilihan kadar campuran optimum ini didasarkan pada nilai VIM karena berpengaruh terhadap keawetan campuran lapisan perkerasan (Irwansyah et al., 2023), dengan penambahan plastik LDPE dan Serbuk Kaca, penggunaan aspal dan *filler* semen dapat dikurangi, yang tidak hanya menurunkan biaya produksi tetapi juga memanfaatkan limbah plastik LDPE dan limbah kaca dalam pengurangan sampah yang sulit terurai.

### 3.8. Perbandingan harga bahan pembuatan laston AC-WC

Perbandingan harga kebutuhan biaya material antara LASTON AC-WC Konvensional dengan LASTON AC-WC inovasi substitusi LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan Serbuk Kaca dalam pembuatan 1 ton disajikan pada Tabel 11 dan Tabel 12.

**Tabel 11.** Harga LASTON AC-WC Konvensional (1Ton)

Bahan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Semen Portland	18,9	Kg	1.398	26.422
Aspal	55	Kg	14.287	961.675
Agregat Kasar $\frac{3}{4}$	66,15	Kg	334	22.094
Agregat Kasar $\frac{1}{2}$	378	Kg	334	126.252
Pasir	132,3	Kg	290	38.367
Abu Batu	349,65	Kg	135	47.203
Jumlah				1.046.123

**Tabel 12.** Harga LASTON AC-WC Inovasi (1 Ton)

Bahan	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
Semen Portland	4,725	Kg	1.398	6.660
Aspal	52,25	Kg	14.287	746.496
Agregat Kasar $\frac{3}{4}$	66,15	Kg	334	22.094
Agregat Kasar $\frac{1}{2}$	378	Kg	334	126.252
Pasir	132,3	Kg	290	38.367
Abu Batu	349,65	Kg	135	47.203
LDPE	2,75	Kg	0	0
Serbuk Kaca	14,175	Kg	0	0
Jumlah				987.017

Berdasarkan perbandingan harga dapat disimpulkan biaya kebutuhan material aspal inovasi lebih efisien dari pada material aspal konvensional dikarenakan mengurangi pemakaian semen dan aspal yang digunakan.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan uraian hasil pengujian dan pembahasan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

- 1) KAO (Kadar Aspal Optimum) yang didapatkan pada perhitungan Marshall Test sebesar 5,5%
- 2) Kadar optimum aspal inovasi substitusi plastik LDPE (Low Density Polyethylene) dan Serbuk Kaca pada campuran beraspal LASTON AC - WC sebesar LDPE 5 % dan Serbuk Kaca 75% dengan nilai parameter marshall BJ Bulk 2,399 T/m<sup>3</sup>; Rongga Udara (VIM) 4,901 %; Rongga Dalam Mineral (VMA) 14,063 %; Rongga Terisi Aspal (VFA) 70,393 %; Stabilitas 2029,455 Kg; Flow 2,297 mm; Marshall Quotient (MQ) 868,783 kg/mm.
- 3) Biaya yang diperlukan untuk material campuran aspal konvensional sebesar Rp 1.046.123, sedangkan biaya untuk material campuran aspal inovasi sebesar Rp 987.017. Dengan demikian, material campuran aspal inovasi lebih hemat biaya dibandingkan dengan campuran aspal konvensional, dengan selisih harga sebesar Rp 59.105,90/ton.

## Referensi

- Hartini, H. (2020). Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Panas (AC-WC). *Jurnal MEDIA INOVASI Teknik Sipil Unidayan*, 9(1).
- Hidayati, H. N., Rifqi, M. G., & Shofi'ul Amin, M. (2021). Pengaruh Penambahan Plastik LDPE Pada Campuran Aspal Beton Lapis AC-BC. 2(2), 1–6. <http://journal.isas.or.id/index.php/JACEIT>
- Irwansyah, I., & Ardhyani, M. Z. (2023). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik LDPE pada Lapisan Perkerasan Jalan AC-WC. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, 15(1), 20–26.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga. (2017). *Manual Desain Perkerasan Jalan*. 02.
- Lin, K.-L., Wang, N.-F., Shie, J.-L., Lee, T.-C., & Lee, C. (2008). Elucidating the hydration properties of paste containing thin film transistor liquid crystal display waste glass. *Journal of Hazardous Materials*, 159(2–3), 471–475.
- Liu, S., Wang, S., Tang, W., Hu, N., & Wei, J. (2015). Inhibitory effect of waste glass powder on ASR expansion induced by waste glass aggregate. *Materials*, 8(10), 6849–6862. <https://doi.org/10.3390/ma8105344>
- Pribadi, G., Indriasari, I., & Rahman, R. L. (2023). Analisis Substitusi Limbah Plastik (LDPE) terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Laston AC-WC. *JURNAL KRIDATAMA SAINS DAN TEKNOLOGI*, 5(02), 334–347.
- Razak, B. A., & Erdiansa, A. (2016). Karakteristik Campuran AC-WC dengan Penambahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE). *INTEK: Jurnal Penelitian*, 3(1), 8–14.
- Setyarini, N. L. P. S. E., Tajudin, A. N., & Pratama, J. (2019). Karakteristik marshall lapisan aus aspal beton menggunakan agregat terselimut limbah plastik LDPE (Low Density Polyethylene). *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran Dan Ilmu Kesehatan*, 3(1), 123–136.
- Sholichin, I. (2022). PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH SERBUK KACA SEBAGAI FILLER MATERIAL PENGISI PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE–WEARING COURSE (AC-WC). *AGREGAT*, 7(2).
- Simone, A., Mazzotta, F., Eskandarsefat, S., Sangiorgi, C., Vignali, V., Lantieri, C., & Dondi, G. (2019). Experimental application of waste glass powder filler in recycled dense-graded asphalt mixtures. *Road Materials and Pavement Design*, 20(3), 592–607. <https://doi.org/10.1080/14680629.2017.1407818>
- Susanti, E. D., Rifqi, M. G., Shofi'ul Amin, M., Sipil, J. T., & Banyuwangi, P. N. (2021). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC. 2(2), 7–13. <http://journal.isas.or.id/index.php/JACEIT>
- Wahyudi, D. (2022). PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH PLASTIK JENIS LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) SEBAGAI SUBSTITUSI ASPAL PADA CAMPURAN ASPAL BETON JENIS AC-WC. *Abstract of Undergraduate Research, Faculty of Civil and Planning Engineering, Bung Hatta University*, 1(1), 1–2.
- Wantoro, W., Kusumaningrum, D., Setiadji, H., & Kushardjoko, W. (n.d.). PENGARUH PENAMBAHAN PLASTIK BEKAS TIPE LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) TERHADAP KINERJA CAMPURAN BERASPAL.
- Yuniarti, R., Hasyim, H., Hariyadi, H., & Handayani, T. (2019). Penggunaan Limbah Kaca Sebagai Filler Pada Campuran Perkerasan Aspal Panas. *Jurnal Teknik Sipil*, 26, 265. <https://doi.org/10.5614/jts.2019.26.3.10>