



## **PENINGKATAN NILAI *STABILITY* ASPAL *HOTMIX* MENGUNAKAN CAMPURAN SERBUK BATU BASALT SCORIA**

### ***INCREASING ASPHALT HOTMIX STABILITY VALUE USING BASALT SCORIA POWDER MIXTURE***

**Anwar\***

*Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai, Lampung, Indonesia*

*\*corresponding email: minakshaka2013@gmail.com*

**Fery Hendi Jaya**

*Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai, Lampung, Indonesia*

*email: feryhjaya@gmail.com*

**Rustam**

*Universitas Sang Bumi Ruwa Jurai, Lampung, Indonesia*

*email: rustam233@gmail.com*

**Article history:** Received: 14 June 2023, Accepted: 24 July 2023, Published: 31 July 2023

**Abstrak:** Aspal dengan kualitas baik dapat dihasilkan dari modifikasi pada campuran aspal dengan suatu bahan tambahan. Pencampuran aspal bertujuan untuk meningkatkan kekuatan perkerasan lentur sehingga mampu meningkatkan mutu aspal *hotmix* dalam campuran seperti peningkatan nilai stabilitas dengan menambahkan serbuk batu basalt scoria. Penelitian ini dilakukan empat variasi campuran batu basalt scoria yaitu 0 persen, 2 persen, 4 persen dan 6 persen. Pengujian campuran beraspal menggunakan *Marshall Test* dengan karakteristik yang ditinjau meliputi nilai stabilitas, VIM, VMA, VFB, MQ dan *Density*. pada campuran beraspal batu basalt scoria 0 persen dengan nilai stabilitas sebesar 1360 Kg akan jauh lebih rendah dibandingkan dengan campuran beraspal dengan penambahan batu basalt scoria 4 persen dengan nilai stabilitas sebesar 1400 Kg. Nilai stabilitas campuran paling besar terdapat pada campuran aspal dengan penambahan batu basalt scoria sebesar 4 persen campuran tersebut memiliki nilai stabilitas sebesar 1400 Kg dengan nilai *Flow Meter* sebesar 3,80 dengan stabilitas dan kepadatan yang besar diharapkan lapisan perkerasan dapat memberikan mutu dan masa layan yang jauh lebih baik dan tahan lama, sehingga campuran tersebut sangat dianjurkan sebagai material konstruksi perkerasan.

**Kata kunci:** Aspal; Basalt Scoria; *Hotmix*; Uji Marshall

**Abstract:** Asphalt with good quality can be produced from modifications to the asphalt mixture with an additional ingredient. Asphalt mixing aims to increase the strength of flexible pavement so as to improve the quality of hotmix asphalt in the mixture, such as increasing the stability value by adding basalt scoria powder. This research was conducted with four variations of basalt scoria stone mixtures, namely 0 percent, 2 percent, 4 percent and 6 percent. Asphalt mixture testing uses the Marshall Test with the characteristics reviewed include stability, VIM, VMA, VFB, MQ and Density values. the asphalt mixture with 0 percent basalt scoria with a stability value of 1360 Kg will be much lower than the asphalt mixture with the addition of 4 percent basalt scoria stone with a stability value of 1400 Kg. The highest mixed stability value is found in the asphalt mixture with the addition of 4 percent basalt scoria. The mixture has a stability value of 1400 Kg with a Flow Meter value of 3.80. With great stability and density, it is expected that the pavement layer can provide quality and long service life. better and last longer, so the mixture is highly recommended as a pavement construction material.

**Keywords:** Asphalt; Basalt Scoria; *Hotmix*; Marshall Test

## **PENDAHULUAN**

Pelayanan di bidang transportasi terutama transportasi darat di Indonesia yang saat ini masih jauh dari kata memuaskan. Hal

tersebut terlihat dari kondisi jalan yang hampir di seluruh pelosok Indonesia masih sangat memprihatinkan, termasuk jalan di Provinsi Lampung. Kondisi jalan yang tidak

optimal mengakibatkan terhambatnya lalu lintas[1] dan mempengaruhi perpindahan barang, jasa dan manusia menjadi terhambat dan memerlukan biaya dan waktu yang lebih[2].

Faktor yang sangat berpengaruh atas problematika tersebut adalah insfrastruktur, dimana infrastruktur yang memadai dapat merangsang pertumbuhan ekonomi suatu negara dan menjadi salah satu cara dalam mengefisiensikan biaya ekonomi dari segala kegiatan sehingga kemakmuran dapat diwujudkan di negara tersebut. Infrastruktur jalan menjadi penting keberadaanya karena selain menjadi arus mobilitas sosial, infrastruktur jalan yang baik dan memadai juga mampu menopang pertumbuhan ekonomi suatu daerah dengan baik[3]. Perhatian atas pembinaan infrastruktur jaringan jalan perlu lebih difokuskan pada penanganan jaringan jalan yaitu pada struktur perkerasan jalan[4].

Di Indonesia, sebagian besar konstruksi jalan raya menggunakan tipe perkerasan lentur. Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat[5]. Aspal merupakan salah satu material yang digunakan sebagai bahan pembuatan jalan raya, ini dipilih karena hasil akhirnya yang baik dan nyaman sebagai perkerasan fleksibel[6]. Aspal merupakan bahan pengikat agregat pada konstruksi perkerasan jalan yang memegang peranan sangat penting dalam menentukan kinerja perkerasan[7].

Pemilihan material campuran perkerasan lentur harus sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan[8]. Konstruksi perkerasan lentur yang memakai aspal sebagai bahan campuran pengikatnya, sehingga kinerja campuran beraspal sangat dipengaruhi oleh sifat aspal. Kualitas aspal yang baik sangat menentukan kualitas konstruksi perkerasan lentur[9]. Salah satu cara meminimalisir kerusakan perkerasan lentur adalah dengan mengontrol pemilihan aspal yang dijadikan sebagai material pengikat konstruksi[10].

Untuk mendapatkan aspal berkualitas baik, dapat dilakukan dengan melakukan modifikasi pada campuran aspal, yang didapatkan dari proses pencampuran aspal keras dengan suatu bahan tambahan[11]. Pencampuran aspal bertujuan untuk meningkatkan kekuatan perkerasan lentur sehingga mampu meningkatkan mutu aspal *hotmix* dalam campuran seperti peningkatan nilai stabilitas yaitu dengan menambahkan bahan tambahan berupa campuran serbuk batu basalt scoria[12].

Batu basalt adalah batuan yang termasuk dalam batuan beku ekstrusif yang mana merupakan batuan beku vulkanik yang merupakan batuan hasil proses vulkanisme[13], berasal dari hasil pembekuan magma yang terjadi di permukaan bumi dengan komposisi basa. Batu basalt berwarna abu – abu hingga hitam, bersifat keras dan padat (masif)[14]. Penyebaran batu basalt yang terdapat hampir di seluruh Indonesia menjadikan batu basalt yang keras dan kuat ini dimanfaatkan sebagai material konstruksi bangunan dan jalan[12].

Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui peningkatan nilai *stability* aspal *hotmix* menggunakan campuran tambahan serbuk batu basalt scoria. Penelitian ini dilakukan guna memperoleh kualitas aspal pada lapis perkerasan, yang memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban lalu lintas, dengan meningkatkan nilai stabilitas aspal yang tinggi sehingga memberikan umur layanan yang lebih lama dan kualitas konstruksi perkerasan yang baik.

## METODE PENELITIAN

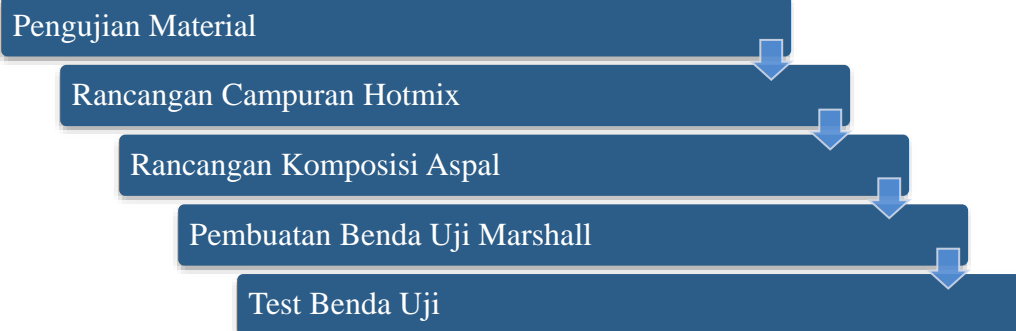
Penelitian ini dilakukan di Laboratorium PT. Manggung Polah Raya yang berlokasi di Jalan Lintas Sumatera KM 22 Dusun Suka Bandung, Desa Tarahan, Kabupaten Lampung Selatan. Penelitian ini dilakukan secara bertahap, yaitu terdiri atas pengujian agregat (kasar, halus dan *filler*), aspal dan pengujian terhadap campuran. Pengujian terhadap agregat termasuk analisa butiran material menggunakan saringan,

penentuan tahapan penggabungan gradasi *aggregate* halus dan *aggregate* kasar cara grafis dengan diagonal untuk 2 fraksi, pemeriksaan berat jenis, pemeriksaan *clay lump aggregate* kasar, pemeriksaan *unit weight* dan penyerapan air. Untuk pengujian aspal termasuk juga penetrasi kekerasan aspal, *softening point test*, titik lembek, titik bakar dan berat jenis aspal curah.

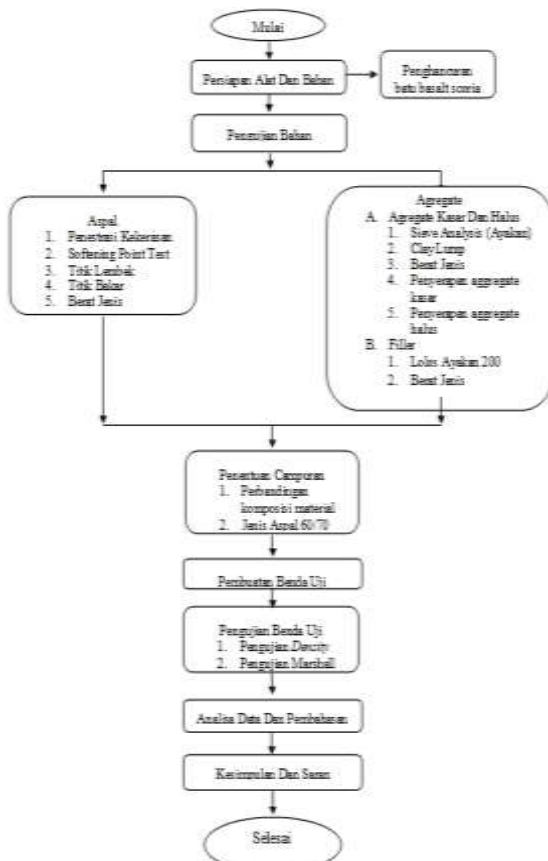
Selanjutnya bahan yang telah dicampur berupa hotmix AC-WC dicetak menggunakan briket marshall yang berukuran diameter 102 ml tinggi briket 90 ml, dengan berat campuran 1200 gram.

Metode properties pengujian Marshall bertujuan mengetahui tersebut hasil- hasil yang berupa komponen - komponen Marshall yaitu Stabilitas, Rongga di dalam campuran (*Void In The Compacted Mixture / VIM*), Rongga udara yang terisi aspal (*Void Filled with Bitumen / VFB*), Rongga diantara agregat (*Void in the Mineral Agregat / VMA*) dan Hasil bagi *Marshall / Marshall Quotient* (MQ)[15].

Tahapan pengujian dalam pembuatan mix design, dilakukan dalam beberapa tahapan[16]:



Gambar 1. Tahapan Pengujian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

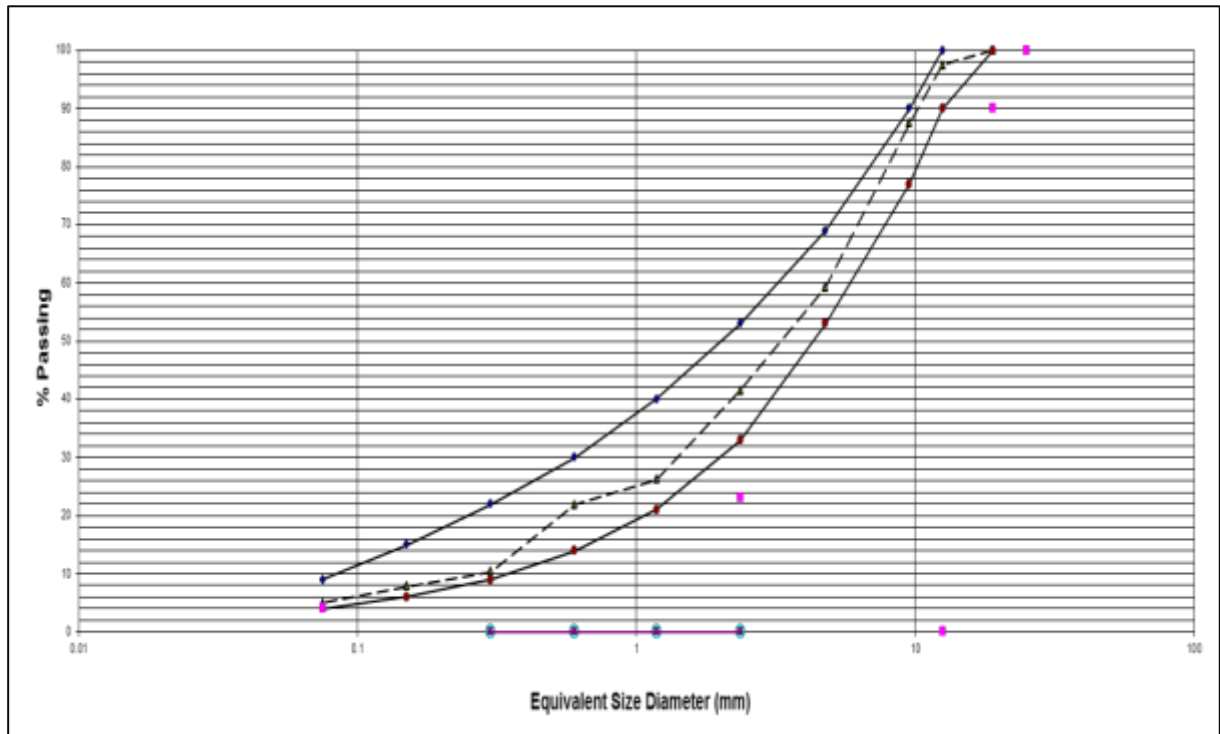
### A. Data Hasil Pengujian Laboratorium

Dalam penelitian ini dilakukan variasi penggunaan batu basalt scoria pada campuran aspal hotmix AC-Wearing Course yaitu sebesar 0%, 2%, 4% dan 6%. Variasi persentase penambahan batu basalt scoria ini dimaksudkan untuk mendapatkan campuran terbaik dengan penambahan batu basalt scoria dalam jumlah persen tertentu. Dan dari pengujian properties pada agregat menyatakan untuk semua nilai pengujian agregat baik untuk *Fine agregat*, Agregat 5/10mm, dan Agregat 10/20 mm dan batu basalt scoria telah memenuhi syarat spesifikasi dari Bina Marga tahun 2010 Divisi 6 Perkerasan Aspal Revisi 3.

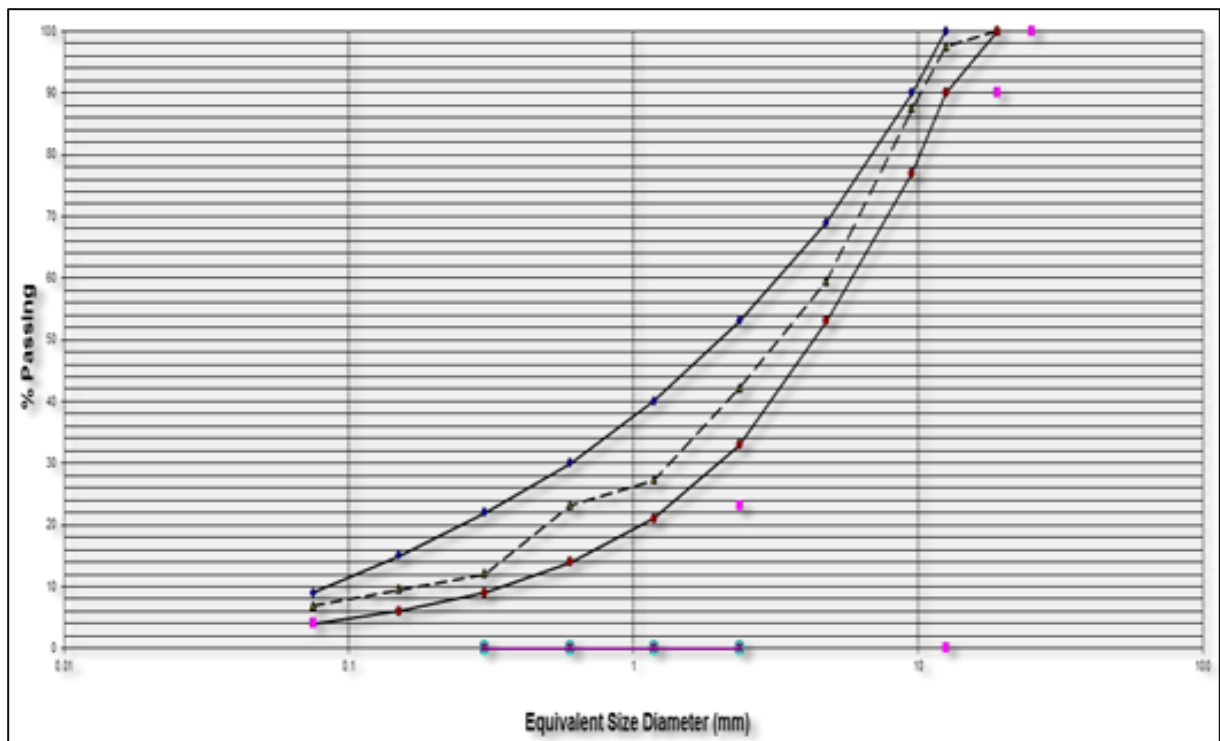
Rancangan kebutuhan komposisi agregat yang dibutuhkan dalam campuran pekerasan terdiri dari sebaran persen tertahan tiap saringan yang sesuai persyaratan yang telah ditentukan oleh spesifikasi Bina Marga 2010 sesuai dengan jenis pekerasan yang

akan dibuat. Perhitungan persentase masing-masing ukuran agregat pada tiap saringan, menggunakan kurva gradasi agregat

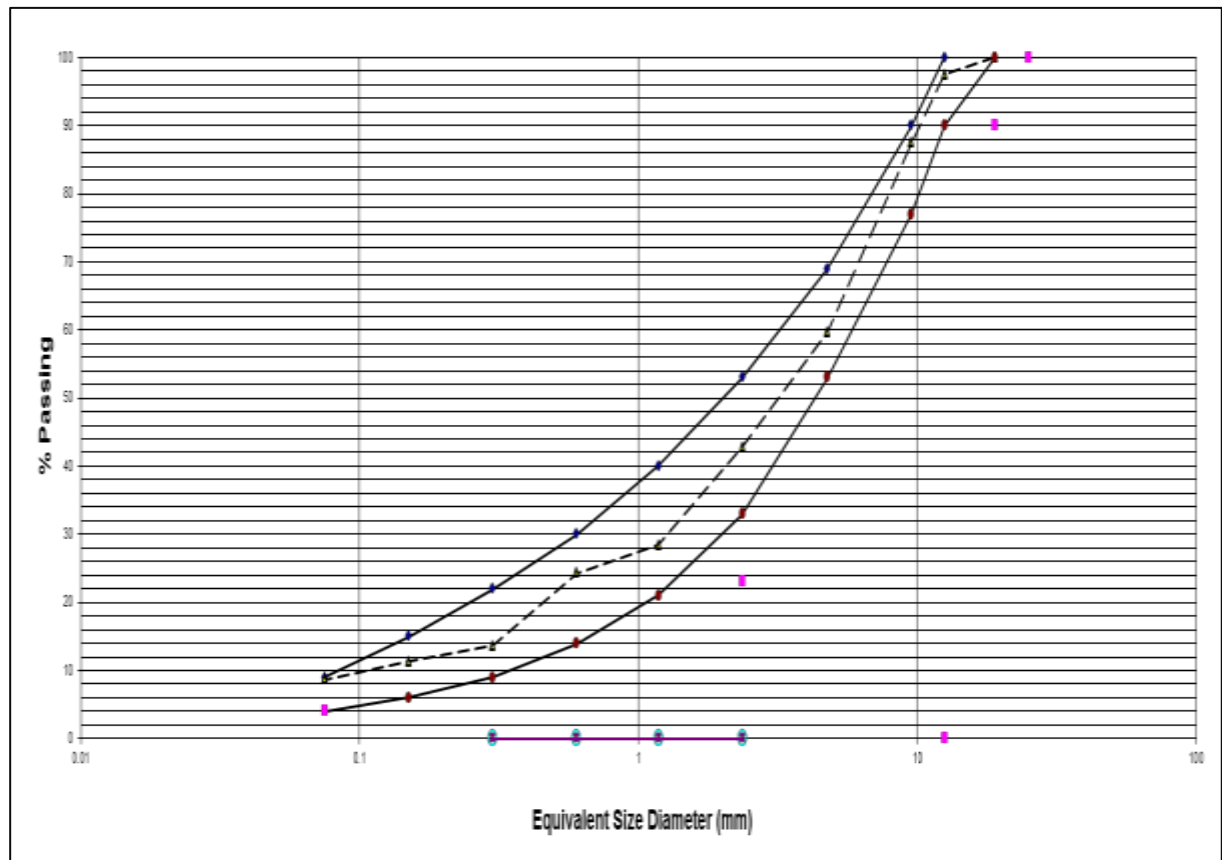
campuran jenis LASTON AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*).



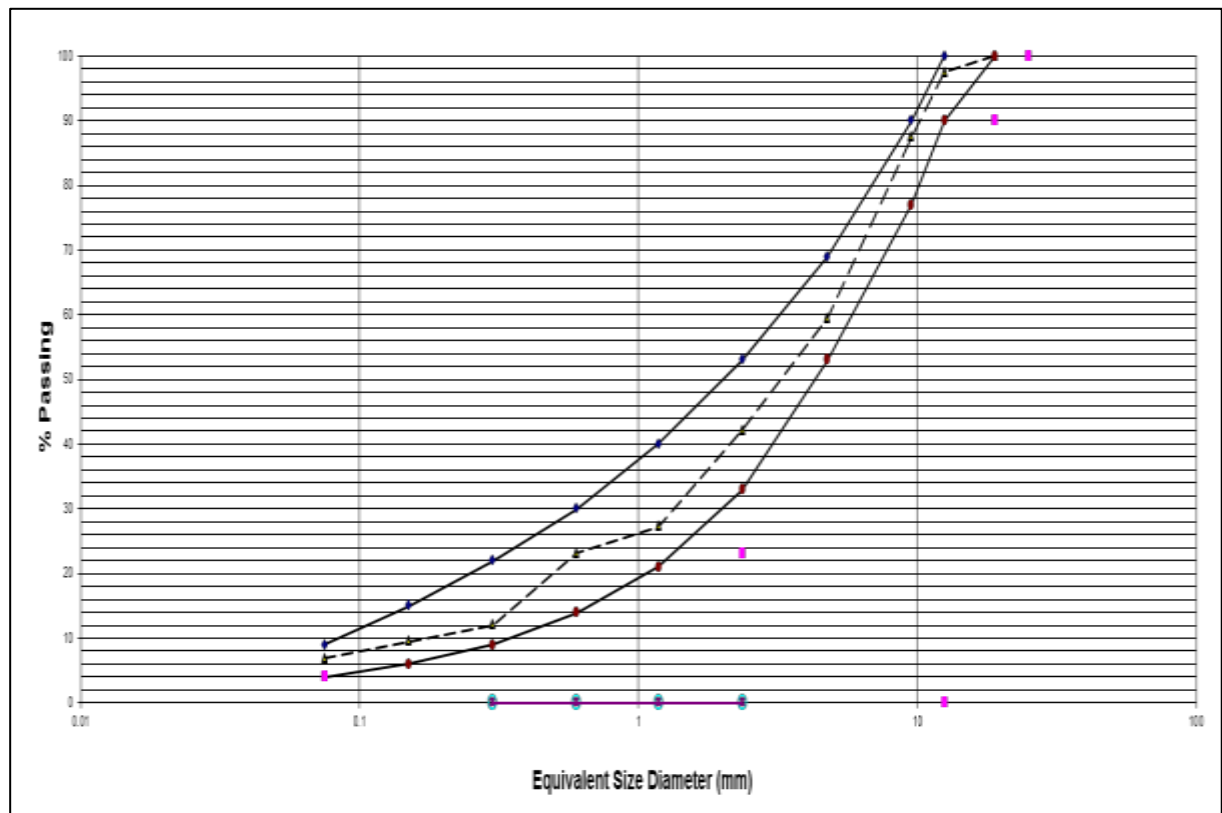
**Gambar 3.** Gradasi Agregat Batu Basalt 0% pada Campuran Aspal *Hotmix*



**Gambar 4.** Gradasi Agregat Batu Basalt 2% pada Campuran Aspal *Hotmix*



**Gambar 5.** Gradasi Agregat Batu Basalt 4% pada Campuran Aspal *Hotmix*



**Gambar 6.** Gradasi Agregat Batu Basalt 6% pada Campuran Aspal *Hotmix*

Setelah seluruh proses perhitungan bahan siap, dilanjutkan dengan tahapan pembuatan benda uji sesuai dengan total agregat dan komposisi kadar aspal yang telah ditentukan. Tahapan pembuatan benda uji telah diuraikan pada bagian Metodologi Penelitian.

Diawali dengan proses penimbangan masing-masing komposisi agregat untuk tiap kadar aspal sesuai ukuran diameter saringan, pengovenan agregat, penggorengan bahan untuk mencampur keseluruhan bahan dengan kontrol suhu standar pencampuran penggorengan adalah 155°C, dilanjutkan dengan pencetakan dan pemadatan dengan suhu kontrol untuk proses pemadatan minimum 145°C, terakhir benda uji didiamkan selama 12 jam untuk selanjutnya dikeluarkan dari cetakan dan siap untuk

diukur serta pengujian marshall. Setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan, dilakukan proses pengambilan data pengukuran panjang, berat kering, berat dalam air, dan berat kering permukaan (SSD).

Proses perendaman benda uji ke dalam *water bath* yang sudah diatur suhu airnya mencapai 60°C selama 30 menit. Setelah itu dilakukan proses pengujian marshall untuk mendapatkan nilai stabilitas dan flow pada pembacaan arloji pada alat marshall test. Pada tahap analisis hasil pengujian dilakukan perhitungan karakteristik marshall, dan volumetrik campuran aspal seperti VIM, VMA, VFB, MQ, stabilitas setelah dikoreksi, dan kepadatan.

## B. Campuran Aspal Hotmix dengan Penambahan Batu Basalt Scoria 0%

Tabel 1. Hasil Uji Campuran Aspal Hotmix dengan Penambahan Batu Basalt Scoria 0%

No.	Hasil Test Pengujian Marshall	Satuan	Hasil Test	Spesifikasi
1	Absorbed Bitument Content	%	0.460	Max 1.2
2	Asphalt Content	%	6.000	-
3	Void in Mineral Aggregate	%	15.90	Min 15
4	Void Filled With Bitumen	%	76.00	Min 65
5	Marshall Stability	Kg	1360.00	Min 800
6	Marshall Flow	Mm	3.70	Min 3.0
7	Marshall Quotient	Kg/mm	365.00	Min 250
8	Void in Mix Marshall 75 X 2	%	3.60	3.0-5.0
9	Bulk Density	gr/cc	2.293	

Sumber : Hasil Uji Laboratorium PT. Manggung Polah Raya, 2022

Dari data hasil pengujian campuran aspal hotmix dengan penambahan batu basalt scoria 0% mendapatkan data karakteristik campuran beraspal sebesar 1360Kg untuk Marshall Stability dengan batas minimum untuk Marshall Stability sebesar 800Kg, dengan nilai Flow meter yang didapat sebesar 3,70mm dengan batas bawah Flow

meter yaitu sebesar 3mm. Dari semua data katakteristik aspal yang diperoleh dari pengujian semuanya telah memenuhi syarat spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Bina Marga.

## C. Campuran Aspal Hotmix dengan Penambahan Batu Basalt Scoria 2%

Tabel 2. Hasil Uji Campuran Aspal Hotmix dengan Penambahan Batu Basalt Scoria 2%

No.	Hasil Test Pengujian Marshall	Satuan	Hasil Test	Spesifikasi
1	Absorbed Bitument Content	%	0.460	Max 1.2
2	Asphalt Content	%	6.000	-
3	Void in Mineral Aggregate	%	16.20	Min 15
4	Void Filled With Bitumen	%	75.00	Min 65
5	Marshall Stability	Kg	1190.00	Min 800
6	Marshall Flow	Mm	3.70	Min 3.0
7	Marshall Quotient	Kg/mm	310.00	Min 250
8	Void in Mix Marshall 75 X 2	%	3.90	3.0-5.0
9	Bulk Density	gr/cc	2.288	

Sumber : Hasil Uji Laboratorium PT. Manggung Polah Raya, 2022



Dari data hasil pengujian campuran aspal hotmix dengan penambahan batu basalt scoria 2% mendapatkan data karakteristik campuran beraspal sebesar 1190Kg untuk *Marshall Stability* dengan batas minimum untuk *Marshall Stability* sebesar 800Kg hasil ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan hasil campuran dengan 0% batu basalt scoria yaitu sebesar 1360Kg, dengan nilai *Flow meter* yang didapat sebesar 3,70mm dengan

**Tabel 3.** Hasil Uji Campuran Aspal Hotmix dengan Penambahan Batu Basalt Scoria 4%

No.	Hasil Test Pengujian Marshall	Satuan	Hasil Test	Spesifikasi
1	<i>Absorbed Bitument Content</i>	%	0.475	Max 1.2
2	<i>Asphalt Content</i>	%	6.000	-
3	<i>Void in Mineral Aggregate</i>	%	16.10	Min 15
4	<i>Void Filled With Bitumen</i>	%	75.00	Min 65
5	<i>Marshall Stability</i>	Kg	1400.00	Min 800
6	<i>Marshall Flow</i>	Mm	3.80	Min 3.0
7	<i>Marshall Quotient</i>	Kg/mm	370.00	Min 250
8	<i>Void in Mix Marshall 75 X 2</i>	%	4.00	3.0-5.0
9	<i>Bulk Density</i>	gr/cc	2.290	

Sumber : Hasil Uji Laboratorium PT. Manggung Polah Raya, 2022

Dari data hasil pengujian campuran aspal hotmix dengan penambahan batu basalt scoria 4% mendapatkan data karakteristik campuran beraspal sebesar 1400Kg untuk *Marshall Stability* dengan batas minimum untuk *Marshall Stability* sebesar 800Kg. Hasil tersebut jauh lebih besar dibandingkan dengan campuran beraspal dengan penambahan batu basalt scoria 2% yaitu sebesar 1190Kg dan sedikit lebih besar dari hasil pengujian dengan campuran beraspal penambahan batu basalt scoria 0% yaitu sebesar 1360Kg, dengan nilai *Flow meter*

**Tabel 4.** Hasil Uji Campuran Aspal Hotmix dengan Penambahan Batu Basalt Scoria 6%

No.	Hasil Test Pengujian Marshall	Satuan	Hasil Test	Spesifikasi
1	<i>Absorbed Bitument Content</i>	%	0.490	Max 1.2
2	<i>Asphalt Content</i>	%	6.000	-
3	<i>Void in Mineral Aggregate</i>	%	16.60	Min 15
4	<i>Void Filled With Bitumen</i>	%	79.00	Min 65
5	<i>Marshall Stability</i>	Kg	1290.00	Min 800
6	<i>Marshall Flow</i>	Mm	3.80	Min 3.0
7	<i>Marshall Quotient</i>	Kg/mm	325.00	Min 250
8	<i>Void in Mix Marshall 75 X 2</i>	%	3.70	3.0-5.0
9	<i>Bulk Density</i>	gr/cc	2.304	

Sumber : Hasil Uji Laboratorium PT. Manggung Polah Raya, 2022

Dari data hasil pengujian campuran aspal hotmix dengan penambahan batu basalt scoria 4%, didapatkan data karakteristik campuran beraspal sebesar 1290Kg untuk *Marshall Stability* dengan batas minimum untuk *Marshall Stability* sebesar 800Kg hasil

batas bawah *Flow meter* yaitu sebesar 3mm yaitu sama dengan hasil pengujian campuran dengan tambahan batu basalt 0%. Untuk semua data katakteristik campuran beraspal yang diperoleh dari pengujian semuanya telah memenuhi syarat spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Bina Marga.

#### **D. Campuran Aspal Hotmix dengan Penambahan Batu Basalt Scoria 4%**

yang didapat sebesar 3,80mm dengan batas bawah *Flow meter* yaitu sebesar 3mm, hasil tersebut lebih besar dari hasil pengujian campuran beraspal dengan penambahan batu basalt scoria 0% dan 2%. Dari semua data katakteristik aspal yang diperoleh dari pengujian semuanya telah memenuhi syarat spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Bina Marga.

#### **E. Campuran Aspal Hotmix dengan Penambahan Batu Basalt Scoria 6%**

tersebut jauh lebih besar dibandingkan dengan campuran beraspal dengan penambahan batu basalt scoria 2% yaitu sebesar 1190Kg dan sedikit lebih kecil dari hasil pengujian dengan campuran beraspal penambahan batu basalt scoria 0% yaitu

sebesar 1360Kg dan campuran beraspal dengan penambahan batu basalt scoria 4% yaitu sebesar 1400Kg, dengan nilai Flow meter yang didapat sebesar 3,70mm dengan batas bawah *Flow meter* yaitu sebesar 3mm hasil tersebut lebih sama dengan hasil pengujian campuran beraspal dengan penambahan batu basalt scoria 0% dan 2%

dan lebih kecil dari nilai *Flow meter* campuran beraspal dengan penambahan batu basalt scoria 4%. Dari semua data katakteristik aspal yang diperoleh dari pengujian semuanya telah memenuhi syarat spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Bina Marga.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Marshall Test

Karakteristik Campuran Beraspal	Spesifikasi	Filler Batu Basalt Scoria dalam Campuran			
		Sampel A (0%)	Sampel B (2%)	Sampel C (4%)	Sampel D (6%)
<i>Marshall Stability</i>	Min. 800 Kg	1360	1190	1400	1290
<i>Bulk Desnsity</i>	-	2,293	2,288	2,290	2,304
VIM	3-5%	3,60	3,90	4,00	3,70
VMA	Min. 15%	15,90	16,20	16,10	16,60
<i>Flow Meter</i>	Min. 3%	3,70	3,70	3,80	3,80
VFB	Min. 65%	76,00	75,00	75,00	79,00

Sumber : Hasil Uji Laboratorium PT. Manggung Polah Raya, 2022

Sehingga dalam penelitian ini didapatkan untuk campuran terbaik dengan syarat pemenuhan keseluruhan karakteristik *Marshall Test* direkomendasikan sebagai campuran berasapal hotmix dengan penambahan batu basalt scoria sebesar 4% dimana campuran tersebut memiliki nilai stabilitas paling besar yaitu sebesar 1400Kg dari batas minimum sebesar 800Kg dan memenuhi seluruh nilai spesifikasi yang telah disyaratkan.

Penambahan batu basalt scoria 4% dalam campuran beraspal menghasilkan nilai *Marshall Stability* terbesar dibandingkan dengan semua variasi persentase campuran batu basalt scoria, dimana campuran beraspal dengan penambahan 0% mendapatkan hasil *Marshall Stability* sebesar 1360Kg, untuk penambahan batu basalt scoria 2% sebesar 1190Kg, dan untuk penambahan batu basalt scoria 6% didapatkan hasil sebesar 1290Kg.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan penelitian yang telah dilakukan, didapat kesimpulan bahwa pada campuran beraspal batu basalt scoria 0% dengan nilai stabilitas sebesar 1360 Kg akan jauh lebih rendah dibandingkan dengan campuran beraspal dengan penambahan batu basalt scoria 4% dengan nilai stabilitas sebesar 1400 Kg.

Nilai stabilitas campuran paling besar terdapat pada campuran aspal dengan penambahan batu basalt scoria sebesar 4% campuran tersebut memiliki nilai stabilitas sebesar 1400 Kg dengan nilai *Flow Meter* sebesar 3,80 dengan stabilitas dan kepadatan yang besar diharapkan lapisan perkerasan dapat memberikan mutu dan masa layan yang jauh lebih baik dan tahan lama, sehingga campuran tersebut sangat dianjurkan sebagai material konstruksi perkerasan.

## SUGGESTION

Berdasarkan kesimpulan, untuk mendapatkan kualitas aspal hotmix dengan nilai stabilitas tinggi, penulis merekomendasikan jenis campuran beraspal dengan penambahan batu basalt scoria 4% sebagai hasil campuran terbaik dalam penelitian ini untuk pengaplikasian di lapangan. Serta perlu dilakukan penelitian lebih lanjut lagi ke *mix design* berikutnya dengan menggunakan bahan Batu Basalt Scoria sebagai pengganti *aggregate* halus (abu batu) dan *aggregate* kasar pada campuran *hotmix laston* dan laston.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nuril Mahda Rangkuti, "Evaluasi Lokasi Perparkiran dibadan Jalan terhadap Keamanan dan Kenyamanan Pengguna Jalan," *ARBITEK J. Tek. Sipil Arsit.*, vol. 2, no. 2, 2016.
- [2] I. W. Gunawan, N. A. Thanaya, and I. G. R. Purbanto, "Analisis Karakteristik Campuran Aspal Panas Dengan Menggunakan Campuran Aspal Reject," *J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 18, no. 1, pp. 92–102, 2014.
- [3] V. M. Ompusunggu, "Dampak Pembangunan Infrastruktur Jalan Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Masyarakat di Desa Semangat Gunung, Kabupaten Karo," *Jupeko (Jurnal Pendidik. Ekon.*, vol. 3, no. 2, 2018.
- [4] I. B. Saifuddin, A. Gaus, and C. Anwar, "Studi Karakteristik Kuat Tekan Pada Campuran Asphalt Concrete Menggunakan Asbuton," *J. Sipil Sains*, vol. 7, no. 13, 2017.
- [5] N. T. Sembung, T. K. Sendow, and S. C. Palenewen, "Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Dari Kakaskasen Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon," *J. Sipil Statik*, vol. 8, no. 3, 2020.
- [6] P. Pratomo, H. Ali, and S. Diansari, "Aspal Modifikasi dengan Penambahan Plastik Low Linier Density Poly Ethylene (LLDPE) Ditinjau dari Karakteristik Masrhall dan Uji Penetrasi pada Lapisan Aspal Beton (AC-BC)," *J. Rekayasa Tek. Sipil Univ. Lampung*, vol. 13, no. 3, p. 140468, 2016.
- [7] R. Yuniarti, "Modifikasi Aspal dengan Getah Pinus dan Fly Ash untuk Menghasilkan Bio-Aspal," *J. Sains Teknol. Lingkung.*, vol. 1, no. 2, 2015.
- [8] T. Haris and O. Hendra, "Optimasi Kadar Aspal Pertamina Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton (Ac-Bc) Menggunakan Variasi Agregat Batuan Lokal Gunung (Balapulangi)," *Eng. J. Bid. Tek.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–11, 2021.
- [9] N. E. Putra, E. eka Putri, and P. Purnawan, "Durabilitas Campuran Laston AC-WC Di Substitusi Dengan Campuran Limbah Plastik LDPE, PP, PS," *J. Tek. Sipil*, vol. 11, no. 2, pp. 141–147, 2022.
- [10] H. Haris, "Analisis Pengujian Stabilitas dan Durabilitas Campuran Aspal dengan Tes Perendaman," *J. Linears*, vol. 2, no. 1, pp. 33–47, 2019.
- [11] M. Muhammad, M. Purwandito, and D. Basrin, "Rencana Campuran Aspal AC-BC (Aspal Concreate-Binder Course) Dengan Menggunakan Abu Batu Kapur Sebagai Tambahan Filler," *J. Eng. Dev.*, vol. 2, no. 1, pp. 8–15, 2022.
- [12] F. Yuliansyah and C. Sujatmiko, "Analisis Variasi Ukuran Agregat Batu Basalt Scoria Terhadap Hasil Uji Kuat Tekan Beton Mutu K-250," *Tek. Sains J. Ilmu Tek.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–10, 2019.
- [13] S. H. Yuwanto and N. S. R. Araujo, "Analisis Pemanfaatan Batu Andesit Di Desa Klakah Dan Sekitarnya, Kecamatan Pasrepan, Kabupaten Pasuruan–Jawa Timur," in *Prosiding Seminar Teknologi Kebumian dan kelautan (SEMATAN II)*, 2020, pp. 177–181, [Online]. Available: <https://ejurnal.itats.ac.id/semitan/article/view/1069>.
- [14] R. Leni, S. Yuliana, and A. Muhamad, "Pengaruh temperatur terhadap karakterisasi klinker semen dengan substitusi 20% batu basalt terhadap massa batu kapur dan 20% batubara terhadap massa total sebagai reduktor," *J. Teor. dan Apl. Fis.*, vol. 7, no. 1, pp. 29–34, 2019.
- [15] D. Sarwono and D. Djumari, "Tinjauan Karakteristik Marshall Dan Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran Panas Aspal Beton Menggunakan Semarbut Aspal Tipe I Sebagai Binder," *Matriks Tek. Sipil*, vol. 1, no. 4, p. 557, 2013.
- [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.