

## PENGARUH ABU BATU SEBAGAI FILLER TERHADAP KINERJA ASPAL BETON AC-WC PADA TEST MARSHALL

**Budi Winarno<sup>\*1</sup>, Ki Catur Budi<sup>2</sup>, Sumargono<sup>3</sup>, Agata Iwan Candra<sup>4</sup>, Saiful Muslimin<sup>5</sup>, Sudjati<sup>6</sup>.**

*Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kediri*

*Jl. Selomangleng No. 1 Kediri*

E-mail: [budi\\_winarno@unik-kediri.ac.id](mailto:budi_winarno@unik-kediri.ac.id)\*, [catur\\_budi@unik-kediri.ac.id](mailto:catur_budi@unik-kediri.ac.id), [sumargono@unik-kediri.ac.id](mailto:sumargono@unik-kediri.ac.id),  
[iwan\\_candra@unik-kediri.ac.id](mailto:iwan_candra@unik-kediri.ac.id), [saiful\\_muslimin@unik-kediri.ac.id](mailto:saiful_muslimin@unik-kediri.ac.id), [sudjati@unik-kediri.ac.id](mailto:sudjati@unik-kediri.ac.id).

### ABSTRAK

*Perkembangan lalu lintas yang terus meningkat menimbulkan tuntutan prasarana transportasi yang meningkat. Jalan adalah prasarana yang sangat penting dan dibutuhkan oleh masyarakat karena jalan berfungsi menghubungkan sumber produksi. Aspal merupakan bahan pengikat agregat pada konstruksi perkerasan jalan yang memegang peranan penting dalam menentukan kinerja perkerasan jalan. Perkerasan jalan raya secara garis besar menggunakan bahan yang masih terbilang umum. Penelitian ini menggunakan abu batu sebagai filler yang telah dihancurkan. Metode yang digunakan adalah eksperimen pada penambahan limbah benda uji beton dengan presentase normal, 30%, 50%, 70% dan 100%. Metode marshall yang menjadi dasar perhitungan nilai stabilitas dan flow Pada uji marshall menghasilkan pengujian karakteristik dari tabel tersebut mempunyai nilai rata-rata dari hasil penelitian campuran aspal beton menggunakan abu batu sebagai filler dengan 5 sampel pada metode marshall menunjukkan hasil, bahwa semua hasil memenuhi persyaratan bina marga pada nilai VMA 18,22 %, nilai VIM 4,22. % , nilai VFB 75,04 %, nilai STABILITAS 4806 kg, nilai FLOW 3,24 mm, dan nilai Marshall Quotient (MQ) 14958,1 kg/mm.*

*Kata Kunci: Marshall, laston, Filler Abu Batu*

### 1. PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan lalu lintas yang terus meningkat menimbulkan tuntutan prasarana transportasi yang meningkat. Jalan merupakan sebuah media sarana dari transportasi. Media tersebut digunakan sebagai pergerakan lalu-lintas pada area darat yang meliputi media jalannya kendaraan bermotor, yang berada pada permukaan maupun di bawah permukaan tanah kabel (Peraturan Pemerintah No. 34 Tahun 2006 Tentang Jalan).(Fanani et al., 2017) Material yang akan digunakan harus memenuhi sifat fleksibilitas, stabilitas, durabilitas, dan tahan terhadap air.(Thanaya et al., 2016),(Ziari et al., 2020). Laston merupakan sebuah media lapis atas konstruksi jalan dengan metode struktur pertama kali dikembangkan oleh The Asphalt Institute di Amerika dengan nama lain adalah *Asphalt Concrete (AC)*(Karaşahin & Terzi, 2007). Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum menjelaskan bahwa campuran dari laston terdiri dari agregat dengan nilai gradasi menerus yakni aspal keras, lalu dilaksanakan pencampuran serta dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan suhu panas tertentu. Pada suhu pencampuran yang digunakan berdasar dengan spesifikasi jenis aspal yang akan digunakan. Gradasi menerus pada tahapan ini adalah terbuat dari komposisi pembagian butir merata mulai dari ukuran gradasi besar hingga berukuran terkecil (Ziari et al., 2019)(Cahyo, 2020). Beton aspal dengan campuran bergradasi menerus memiliki komposisi yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus,

mineral pengisi (filler) dan aspal (bitumen) sebagai pengikat(Gunarto & Cahyono, 1991).

Aspal merupakan bahan pengikat pada konstruksi perkerasan jalan yang memegang peranan sangat penting dalam menentukan kinerja perkerasan walaupun komposisinya sekitar 4-10% berdasarkan berat total campuran. Agregat alami adalah salah satu unsur utama campuran aspal, jalur dasar dan subbase dari jalan raya, bandara, trotoar dan tempat parkir Ini juga merupakan bahan yang sama pentingnya untuk campuran beton semen Portland yang digunakan dalam konstruksi perkerasan kaku, bangunan, fasilitas industri, dan struktur tanah.(Sugiyanto, 2017),(Nwakaire et al., 2020) Agregat dan fraksinya yang diproses dengan demikian menjadi komoditas industri yang penting untuk sektor konstruksi.(Suaryana et al., 2018) Agregat alami adalah bahan utama campuran beton aspal dan semen Portland.(Gul & Guler, 2014).(Amal, 2012) Penelitian ini menggunakan metode desain Marshall standar direvisi untuk menyiapkan spesimen yang memenuhi ukuran minimum dan persyaratan rasio aspek dalam pengujian uniaksial.(Simanjuntak et al., 2010),(Zou et al., 2020) Studi ini menunjukkan bahwa penambahan dapat meningkatkan ketahanan campuran terhadap deformasi permanen dan karenanya, rutting tergantung pada gradasi campuran.(Masad et al., 1999) Penggunaan agregat beton daur ulang dalam konstruksi jalan raya, yaitu, sebagai agregat campuran aspal atau campuran semen Portland, adalah salah satu cara untuk mengurangi

kebutuhan agregat alami karena keuntungan ekonomi dan lingkungannya yang cukup besar.(Marshall, 2016)

Studi sebelumnya menunjukkan bahwa ada persyaratan geometris tertentu yang harus dipenuhi oleh spesimen laboratorium sebelum digunakan dalam pengujian uniaksial untuk mengukur sifat material yang relevan(Widojoko & Purnamasari, 2012).

**1.2 Tinjauan Pustaka**

Pada bab ini akan dibahas mengenai teori-teori yang mendasari penelitian ini dengan uraian sebagai berikut

**1.2.1 Aspal**

Aspal yaitu suatu bahan bentuk padat atau setengah padat berwarna hitam sampai coklat gelap, bersifat perekat (cementious) yang akan melembek dan meleleh bila dipanasi. Aspal tersusun terutama dari sebagian besar bitumen yang kesemuanya terdapat dalam bentuk setengah padat dari alam atau hasil pemurnian minyak bumi, campuran dari bahan bitumen dengan minyak bumi atau derivatnya

**1.2.1 Agregat**

Agregat adalah komponen utama suatu struktur perkerasan jalan yaitu 90-95% agregat berdasarkan presentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan presentase volume.(Rondonuwu, 2013)(Anjarsari & Sesa, 2018) “Demikian dengan kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain”.(Gunarto & Cahyono, 1991)(Cahyo, 2020) Agregat adalah suatu kumpulan yang kolektif dari pada material-material mineral seperti pasir, kerikil, dan batu yang dipecahkan.(Gunarto & Cahyono, 2018)

**1.2.2 Agregat Kasar**

Fraksi agregat kasar untuk rancangan adalah agregat yang tertahan saringan No. 8 (2,36 mm) dan haruslah bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya” (Irfansyah & Setyawan, 2017)(Candra et al., 2019).

**Tabel 1. Ketentuan Agregat Kasar untuk Campuran Beton Aspal**

<i>Jenis pemeriksaan</i>	<i>Standar</i>	<i>Syarat maks/min</i>
Abrasi dengan mesin los Angeles	SNI 03-3407-1994	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin Los	SNI 03-2417-1991	Maks. 40%

Angeles		
Angularitas	SNI 03-6887-2002	95/90(*)
Kelekatan Agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min. 95%
Partikel Pipih dan Lonjong	SNI T-01-2005	Maks. 10%
Material lolos saringan No.200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1%



**Gambar 1. Agregat Kasar**

**1.2.4 Agregat Halus**

Agregat halus adalah agregat yang lolos saringan no. 8 (2,38 mm).(Candra et al., 2020) Agregat halus terdiri dari pasir alam, pasir buatan, pasir terak atau gabungan dari bahan – bahan tersebut.Agregat halus harus bersih, kering, kuat dan bebas dari gumpalan – gumpalan lempung serta bahan – bahan yang mengganggu serta terdiri dari butiran- butiran yang bersudut tajam dan mempunyai permukaan kasar.(Tarigan, 2019),(Uzun & Terzi, 2012)

**Tabel 2. Ketentuan Agregat Halus Untuk Campuran Beton Aspal**

<i>Jenis Pemeriksaan</i>	<i>Standar</i>	<i>Syarat Maks/Min</i>
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Maks. 50%
Material Lolos saringan No.200	SNI 03-4142-1996	Maks. 8%
Angularitas	SNI 03-6877-2002	Maks. 45%



**Gambar 2. Agregat Halus**

**1.2.5 Bahan Pengisi Filler**

Bahan pengisi terdiri dari batu kapur, debu dolomite, semen portland, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahkan mineral tidak plastis lainnya. Bahan pengisi mikro agregat ini harus lolos saringan No. 200 (0,075 mm). (Koçkal & Köfteci, 2016) Fungsi bahan pengisi adalah untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperature (Mohammadi et al., 2014).

**1.2.6 Pengertian Abu Batu**

Abu batu adalah. Agregat adalah suatu bahan pengisi mineral (partikel dengan ukuran lebih besar dari 0,075 mm), diperoleh dari produk samping pabrik semen atau penghancur batu. Material ini sangat dibutuhkan untuk proses perkerasan jalan dan juga bisa digunakan sebagai pengganti pasir. Material ini merupakan material utama sebagai pembuatan gorong-gorong dan stone press. Abu batuan saat ini merupakan produk samping dalam industri pemecah batuan yang jumlahnya tidak sedikit. Saat ini abu batu tidak terlalu laku untuk dijual di kota-kota besar karena tidak banyak digunakan dalam industri konstruksi karena konstruksi perkerasan jalan dengan Lapen telah banyak bergeser ke lapisan beton aspal. Namun di beberapa daerah material ini masih digunakan dan merupakan kebutuhan penting dalam pekerjaan perkerasan aspal. Paving lapen yang biasanya dilapisi abu batu dapat diganti dengan pasir sehingga abu batu pada stone crusher menjadi bahan limbah yang harus segera dibenahi..



**Gambar 3. Abu Batu**

**Tabel 3. Spesifikasi filler Untuk Campuran Beton Aspal**

Saringan (mm)	% Lolos
0,600 (No. 30)	100
0,300 (No. 50)	90-100
0,075 (No. 200)	75-100

**1.2.7 Pengujian Marshall**

Tujuan dari uji Marshall adalah untuk menentukan kandungan pengikat yang optimal pada campuran agregat dan bitumen tertentu. Data uji digunakan untuk memplot Marshall Properties versus Bitumen Content for Neat bitumen dengan menggunakan metode Marshall dan Modified Marshall. Nilai Stabilitas Marshall versus isi bitumen, Aliran versus isi aspal, Kepadatan curah versus isi aspal, Persen rongga dalam Campuran total versus isi aspal dan Persen rongga yang diisi dengan bitumen versus isi aspal juga diplot untuk Bitumen rapi.

**2. METODE**

Dalam penelitian ini, program eksperimental dibuat untuk mencari kerentanan sampel aspal beton yang menggunakan abu batu sebagai filler menggunakan prosedur Marshall direvisi. (Pereira & Janssen, 1999) Penelitian dilakukan dalam dua fase, pada fase pertama, sebuahme persyaratan ukuran spesimen minimum dan rasio aspek. Untuk mencapai hal ini, campuran laboratorium disiapkan pada berbagai gradasi dan konten aspal untuk menentukan jumlah desain pukulan yang diperlukan untuk prosedur Marshall yang direvisi. Pada fase kedua, specimen. (Atkins et al., 2012). Setelah semua hasil dari pengujian sifat-sifat fisis material dan sesuai dengan spesifikasi, maka dilakukan perencanaan pembuatan benda uji dan pengujian Marshall. (Fly et al., 2017) Metode eksperimen sungguhan *True-Experimental Research* digunakan pada penelitian ini dengan percobaan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Kadiri

**2.1 Bahan yang Digunakan**

- Agregat Kasar /batu koral
- Agregat halus / pasir adalah.
- Filler / Semen PC
- Aspal minyak atau bitumen
- Abu batu

**2.2 Tahap Penelitian**

Tahapan penelitian yang akan dilakukan mulai dari awal sampai akhir seperti yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Persiapan.  
Pada tahap ini yang dilakukan yaitu menyiapkan bahan, dan pengecekan alat-alat yang akan digunakan. Persiapan bahan seperti aspal, agregat kasar, agregat halus, filler.
2. Uji bahan
  - Agregat kasar, Agregat halus, dan filler  
Pengujian agregat diperlukan sebagai bahan pengisi pada campuran beraspal dengan komposisi gradasi sesuai dengan gradasi terpakai yang memenuhi spesifikasi yang ada. Untuk agregat kasar, agregat halus, dilakukan pengujian analisa saringan, berat jenis, penyerapan dan filler yang digunakan

adalah abu batu dengan presentase yang tertera disetiap benda uji. Berikut standar ketentuan pemeriksaan agregat.

- Pengujian Aspal.  
Pengujian aspal dilakukan dengan melakukan uji penetrasi, titik lembek, daktilitas, berat jenis, dan kehilangan berat
- Agregat kasar, Agregat halus, dan filler
- Tes agregat diperlukan sebagai pengisi dalam campuran aspal
- Perencanaan campuran
- Perancangan gradasi agregat

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil uji karakteristik aspal minyak dengan menggunakan metode SNI dapat dilihat pada tabel

**Tabel 4.** Hasil pengujian Aspal minyak

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi		Satuan
			Min.	Max.	
1	Penetrasi 25° Sebelum kehilangan berat	65	60	79	0,1 mm
2	Titik Lembek	52	48	58	°C
3	Daktilitas pada 25° C	115	100	-	cm
4	Titik nyala	320	200	-	°C
5	Berat Jenis	1,01	1	-	
6	Kehilangan Berat	0,2	-	0,8	%
7	Penetrasi 25° Setelah kehilangan berat	85	54	-	0,1 mm

#### 3.1. Hasil Pengujian Kratristrik Mrshall

Pada pengujian marshall ini menggunakan abu batu sebagai filler yaitu dengan peresentase normal, 30%, 50%, 70%, 100% hasil dari pengujian marshall dapat dilihat pada **Tabel 4**.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian Karakteristik Marshall Untuk Seluruh Parameter Diambil Rata-Rata

No	Filler Abu Batu	VMA %	VIM %	VFB %	Stabilitas Kg	Flow mm	MQ Kg/mm
1	Normal	18,08	4,78	71,3	4328	3,16	1208,4
2	30%	18,12	4,29	74,22	4262	3,23	1387,3
3	50%	18,27	4,63	76,72	4956	3,25	1390,5
4	70%	18,39	4,78	75,76	4438	3,29	1632,4
5	100%	18,25	4,36	76,78	5453	3,34	1672,1
Rata-rata		18,22	4,86	75,04	4806	3,24	14958,1
Spesifikasi		>15%	3-5%	>65 %	>800 kg	2-4 mm	min 250

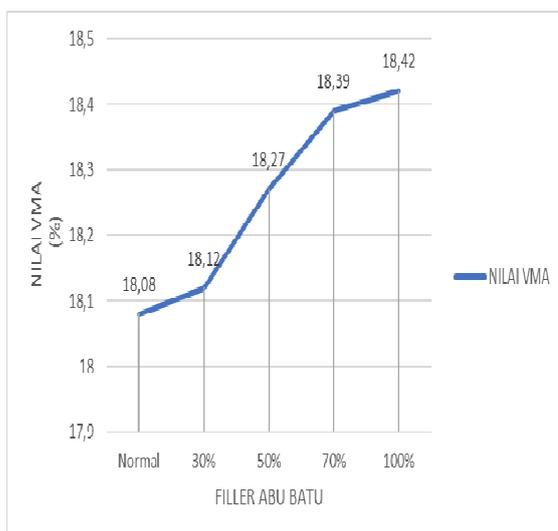
Dari hasil pengujian karakteristik tabel tersebut nilai VMA tertinggi terdapat pada presentase filler abu batu 100% dengan nilai 18,42% dan

nilai terendah pada aspal normal dengan nilai 18,08%, untuk nilai VIM tertinggi terdapat pada presentase filler abu batu 70% dengan nilai 4,78% dan nilai terendah terdapat pada

presentase filler abu batu 30% dengan nilai 4,29%, untuk nilai VFB tertinggi terdapat pada presentase filler abu batu 100% dengan nilai 76,78%, dan nilai terdapat pada aspal normal dengan

nilai 71,30%, untuk stabilitas nilai tertinggi terdapat pada presentase filler abu batu 100% dengan nilai stabilitas 5453kg, dan untuk nilai terendah stabilitas terdapat pada aspal normal dengan nilai 4328 kg, untuk nilai *flow* tertinggi terdapat pada presentase filler abu batu 100% dengan nilai 3,24 dan nilai terendah terdapat pada aspal normal, dengan nilai 3,16mm, untuk nilai MQ nilai tertinggi terdapat pada presentase filler abu batu 100% dengan nilai 1672,1 Kg/mm dan nilai terendah terdapat pada aspal normal dengan nilai 1208,4 Kg/mm.

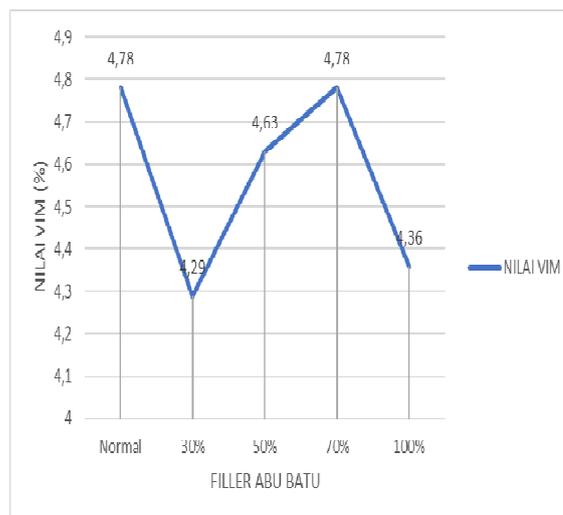
### 3.1. Campuran Benda Uji Beton Pada Nilai VMA



Gambar 4. Grafik Nilai VMA

Berdasarkan spesifikasi umum 2010, Revisi 3, Divisi 6 tentang Perkerasan Aspal mensyaratkan bahwa nilai VMA tertinggi pada presentase filler abu batu 100% dengan nilai 18,42% lebih besar dibandingkan lainnya yang relatif lebih kecil.

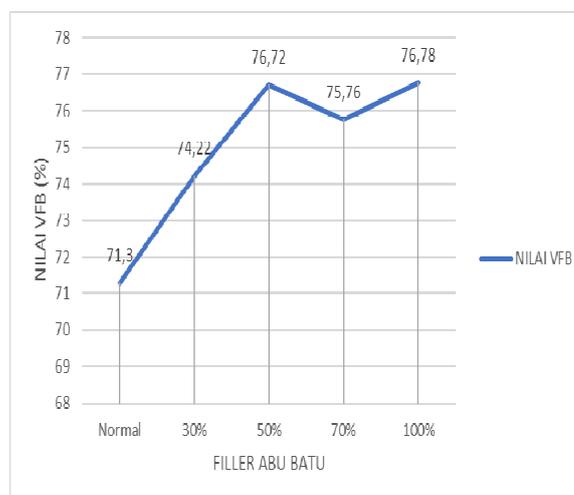
### 3.2. Campuran Benda Uji Beton Pada Nilai VIM



Gambar 5. Grafik Nilai VIM

Berdasarkan spesifikasi umum 2010, Revisi 3, Divisi 6 tentang Perkerasan Aspal mensyaratkan bahwa nilai VIM pada presentase filler abu batu normal dan 70% lebih besar dibandingkan yang lainnya dengan nilai sebesar 4,78 %.

### 3.3. Campuran Benda Uji Beton Pada Nilai VFB



Gambar 6. Grafik Nilai VFB

Berdasarkan Spesifikasi umum 2010, Revisi 3, Divisi 6 tentang Perkerasan Aspal. Bahwa nilai VFB tertinggi terdapat pada presentase filler abu batu 100%, dengan nilai 76,78.

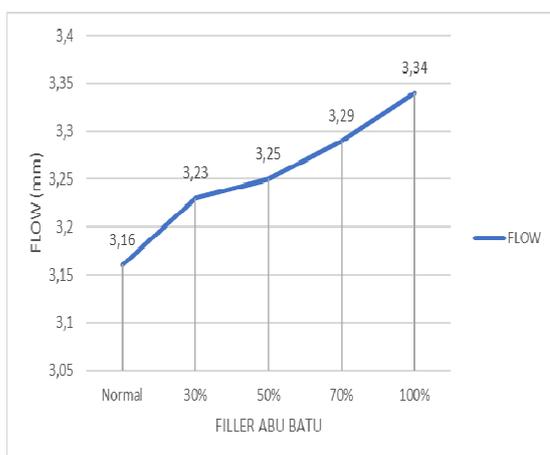
### 3.4. Campuran Benda Uji Beton Pada Nilai STABILITAS



**Gambar 6. Grafik Nilai STABILITAS**

Nilai stabilitas yang diperoleh hampir memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh 2010 Revisi 3, Bina Marga yaitu nilai stabilitas tertinggi yaitu pada campuran limbah benda uji beton dengan presentase 100%, dengan nilai stabilitas 5453 kg.

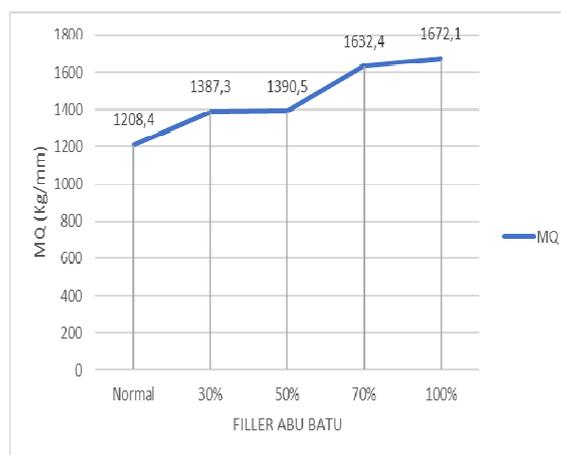
### 3.5 Campuran Benda Uji Beton Pada Nilai FLOW



**Gambar 7. Grafik Nilai FLOW**

Berdasarkan nilai flow diperoleh sudah memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga, nilai flow yang tertinggi pada campuran filler abu batu 100% yaitu dengan nilai 3,34 mm.

### 3.6. Campuran Benda Uji Beton Pada Nilai MQ



**Gambar 8. Grafik Nilai MQ**

Berdasarkan hasil pengujian *marshall quetiont* nilai Marshall quetiont terendah yaitu pada aspal normal sebesar 1208,4 kg/mm, dan nilai Marshall quetiont tertinggi terdapat pada campuran limbah benda uji beton dengan presentase 100% sebesar 1672,1 kg/mm,

## 4.1 KESIMPULAN

Hasil penelitian dari campuran aspal beton memanfaatkan limbah abu batu sebagai filler dengan 5 sampel pada metode marshall menunjukkan hasil, seperti, nilai VIM, VMA, VFB, Stabilitas, Flow, dan MQ bahwa semua hasil memenuhi persyaratan bina marga dengan nilai rata-rata di bawah ini :

1. Nilai rata-rata VMA : **4,22 %**
2. Nilai rata-rata VIM : **4,86 %**
3. Nilai rata-rata VFB : **75,04 %**
4. Nilai rata-rata Stabilitas : **4806 kg**
5. Nilai rata-rata Flow : **3,24 mm**
6. Nilai rata-rata MQ : **14958,1 kg/mm**

## DAFTAR PUSTAKA

- Amal, A. S. (2012). Pemanfaatan Getah Karet Pada Aspal AC 60/70 Terhadap Stabilitas Marshall Pada Asphalt Treated Base (Atb). *Jurnal Media Teknik Sipil*, 9(1). <https://doi.org/10.22219/jmts.v9i1.1111>
- Anjarsari, D., & Sesa, E. (2018). *Fabrikasi Genteng Polimer Berbahan Abu Batu Bara ( Fly Ash ) PLTU Mpanau , Aspal dan Polipropilen Fabrication Of Polymer Roof Using Fly Ash From the Coal Fired Steam Power Plant Of Mpanau , Asphalt and Polypropylene*. 7(3), 334–340.
- Atkins, H. N., Materials, H., Hall, P., Materials, H., & Hill, M. (2012). *Sastra, Hadi.2009. Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan Pada Lapisan Aspal Buton Beragregat (LASBUTAH) dengan Modifikasi Campuran Dingin (COLD MIX) Dengan*

- Modifier Pertamax Terhadap Karakteristik Maeshall. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang. 1971.*
- Cahyo, Y. (2020). *The Effect of Stirring Time and Concrete Compaction on K-200 Concrete Press Strength.* <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/4/042033>
- Candra, A. I., Gardjito, E., Cahyo, Y., & Prasetyo, G. A. (n.d.). *Pemanfaatan Limbah Puntung Rokok Filter Sebagai Bahan Campuran Beton Ringan Berpori.* 1–8.
- Candra, A. I., Wahyudiono, H., Anam, S., & Aprillia, D. (2020). KUAT TEKAN BETON  $F_c = 21,7$  MPa MENGGUNAKAN WATER REDUCING AND HIGH RANGE ADMIXTURES. *Jurnal CIVILA*, 5(1), 330–340.
- Fanani, A., Budi, S., Liem, F. N., Alokabel, K., & Toelle, F. (2017). *Terhadap Nilai Stabilitas Pada Campuran Aspal Beton ( Hrs-Wc ) Terhadap Karakteristik Uji Marshall.* 2(1), 54–63.
- Fly, D. A. N., Untuk, A. S. H., Fly, D. A. N., & Untuk, A. S. H. (2017). *Modifikasi Aspal Dengan Getah Pinus.* 1(December 2015), 0–7.
- Gul, W. A., & Guler, M. (2014). Rutting susceptibility of asphalt concrete with recycled concrete aggregate using revised Marshall procedure. *Construction and Building Materials*, 55, 341–349. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.043>
- Gunarto, A., & Cahyono, A. D. (1991). *Penelitian Penggunaan Batu Gamping Sebagai.* 24–34.
- Gunarto, A., & Cahyono, A. D. (2018). *PENELITIAN MENGGUNAKAN BATU GAMPING SEBAGAI AGREGAT KASAR DAN FILLER PADA ASPAL CAMPURAN.* 2(1), 26–34.
- Irfansyah, P. A., & Setyawan, A. (2017). Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Beton Menggunakan Daspal Sebagai Bahan Pengikat. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil, September*, 947–958.
- Karavaşin, M., & Terzi, S. (2007). Evaluation of marble waste dust in the mixture of asphaltic concrete. *Construction and Building Materials*, 21(3), 616–620. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.12.001>
- Koçkal, N. U., & Köfteci, S. (2016). Aggressive Environmental Effect on Polypropylene Fibre Reinforced Hot Mix Asphalt. *Procedia Engineering*, 161, 963–969. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.834>
- Marshall, P. (2016). *PEMANFAATAN LIMBAH BETON PADA CAMPURAN HOT ROLLED.*
- Masad, E., Muhunthan, B., Shashidhar, N., & Harman, T. (1999). Internal structure characterization of asphalt concrete using image analysis. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 13(2), 88–95. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(1999\)13:2\(88\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(1999)13:2(88))
- Mohammadi, I., Khabbaz, H., & Vessalas, K. (2014). In-depth assessment of Crumb Rubber Concrete (CRC) prepared by water-soaking treatment method for rigid pavements. *Construction and Building Materials*, 71, 456–471. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.085>
- Nwakaire, C. M., Yap, S. P., Yuen, C. W., Onn, C. C., Koting, S., & Babalghaith, A. M. (2020). Laboratory study on recycled concrete aggregate based asphalt mixtures for sustainable flexible pavement surfacing. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121462. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121462>
- Pereira, L. M. G., & Janssen, L. L. F. (1999). *Suitability of laser data for DTM generation : a case study in the context of road planning and design.*
- Rondonuwu, F. (2013). Pengaruh Sifat Fisik Agregat Terhadap Rongga Dalam Campuran Beraspal Panas. *Jurnal Sipil Statik.*
- Simanjuntak, E. P., Muiz, Z. A., Sipil, D. T., Utara, U. S., Perpustakaan, J., Kampus, N., & Medan, U. S. U. (2010). *STUDI PENGARUH PENGGUNAAN VARIASI FILLER SEMEN , SERBUK BENTONIT , dan ABU TERBANG BATUBARA TERHADAP KARAKTERISTIK ( AC-BASE ).* 1–10.
- Suaryana, N., Susanto, I., Ronny, Y., & Sembayang, I. R. (2018). Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal dengan Bitumen Hasil Ekstraksi Penuh dari Asbuton. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 24(1), 62. <https://doi.org/10.14710/mkts.v24i1.18175>
- Sugiyanto, G. (2017). Marshall test characteristics of asphalt concrete mixture with scrapped tire rubber as a fine aggregate. *Jurnal Teknologi*, 79(2), 55–64. <https://doi.org/10.11113/jt.v79.6965>
- Tarigan, G. (2019). *Pengaruh Penggunaan Agregat Alam pada Campuran Aspal Beton terhadap Marshall Properties.* 170–173.
- Thanaya, I. N. A., Puranto, I. G. R., & Nugraha, I. N. S. (2016). Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70

- dengan Penambahan Lateks. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 22(2), 77.  
<https://doi.org/10.14710/mkts.v22i2.12875>
- Uzun, S., & Terzi, S. (2012). Evaluation of andesite waste as mineral filler in asphaltic concrete mixture. *Construction and Building Materials*, 31, 284–288.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.093>
- Widjojoko, L., & Purnamasari, P. E. (2012). Study the Use of Cement and Plastic bottle Waste as Ingredient Added to the Asphaltic Concrete Wearing Course. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 43, 832–841.  
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.04.158>
- Ziari, H., Amini, A., & Goli, A. (2020). The effect of different aging conditions and strain levels on relationship between fatigue life of asphalt binders and mixtures. *Construction and Building Materials*, 244, 118345.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118345>
- Ziari, H., Nasiri, E., Amini, A., & Ferdosian, O. (2019). The effect of EAF dust and waste PVC on moisture sensitivity, rutting resistance, and fatigue performance of asphalt binders and mixtures. *Construction and Building Materials*, 203, 188–200.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.101>
- Zou, G., Zhang, J., Liu, X., Lin, Y., & Yu, H. (2020). Design and performance of emulsified asphalt mixtures containing construction and demolition waste. *Construction and Building Materials*, 239, 117846.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117846>