



Analisis Pengaruh Penambahan Belerang pada Aspal AC-WC terhadap Nilai Stabilitas dan Kelelahan Marshall

Marwan Lubis¹, Ahmad Bima Nusa², Surya Wenny³

^{1,2}Dosen Teknik Sipil Universitas Islam Sumatera Utara

³Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Islam Sumatera Utara

Email: marwanlubis8868@gmail.com¹, ahmadbimanusa71@gmail.com², wensurya21@gmail.com³

Korespondensi penulis: marwanlubis8868@gmail.com*

Abstract. Asphalt concrete as a material for road construction has long been known and is widely used in road construction. This research analysis is to evaluate the effect of adding sulfur to AC-WC asphalt on Marshall stability and fatigue values. Marshall stability and fatigue are key parameters in evaluating asphalt mix quality. Marshall fatigue measures a mixture's ability to overcome fatigue under repeated loading. The initial stage of the research, which was carried out in the engineering laboratory at the Islamic University of North Sumatra, was collecting data and checking the quality of the asphalt material and the quality of the aggregate that would be used in the mixture experiment. The asphalt used consists of oil asphalt, oil asphalt is taken from PT. Adhi Karya Patumbakk, Deli Serdang. The asphalt used in this research was Pertamina asphalt with penetration 60/70 and Esso asphalt with penetration 60/70.1. For a 5% variation, the Stability value was 162 kg, Bulk Density 2.20 gr/cc, flow 2.40 mm, VFA 62.67%, VIM 1.68%, and VMA 16.34%. 2. For a variation of 7%, the Stability value is 175 kg, Bulk Density 2.22 gr/cc, flow 2.61 mm, VFA 75.10%, VIM 1.47%, and VMA 16.36%. 3. For a variation of 9%, Stability is 192 kg, Bulk Density is 2.25 gr/cc, flow is 3.44 mm, VFA is 91.72%, VIM is 2.16%, and VMA is 15.70%. 4. For the Normal variation, you get Stability 204 kg, Bulk Density 2.23 gr/cc, flow 3.60 mm, VFA 71.47%, VIM 3.46%, and VMA 16.99%. 1. From testing the marshall characteristics of the LASTON AC-WC mixture which uses sulfur as an added ingredient with variations of 5%, 7% and 9% with reference to the Bina Marga standard specifications, 2018.

Keywords: Sulfur additives, marshall layer for AC-WC, marshall stability and fatigue values

Abstrak. Aspal beton sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Analisa penelitian ini untuk mengevaluasi pengaruh penambahan belerang pada aspal AC-WC terhadap nilai stabilitas dan kelelahan Marshall. Stabilitas dan kelelahan Marshall adalah parameter kunci dalam mengevaluasi kualitas campuran aspal. kelelahan Marshall mengukur kemampuan campuran untuk mengatasi kelelahan akibat beban berulang. Tahap awal penelitian yang dilakukan dilaboratorium teknik Universitas Islam Sumatera Utara, adalah pengambilan data dan memeriksa mutu bahan aspal dan mutu agregat yang akan digunakan pada percobaan campuran. Aspal yang digunakan terdiri aspal minyak, aspal minyak diambil dari PT. Adhi Karya Patumbakk, Deli Serdang. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal Pertamina penetrasi 60/70 dan aspal Esso penetrasi 60/70.1. Untuk variasi 5% di dapat nilai Stability 162 kg, Bulk Density 2,20 gr/cc, flow 2.40 mm, VFA 62,67%, VIM 1,68%, dan VMA 16,34%. 2. Untuk variasi 7% di dapat nilai Stability 175 kg, Bulk Density 2,22 gr/cc, flow 2.61 mm, VFA 75,10%, VIM 1,47%, dan VMA 16,36%. 3. Untuk variasi 9% di dapat Stability 192 kg, Bulk Density 2,25 gr/cc, flow 3.44 mm, VFA 91,72%, VIM 2,16%, dan VMA 15,70%. 4. Untuk variasi Normal di dapat Stability 204 kg, Bulk Density 2,23 gr/cc, flow 3.60 mm, VFA 71,47%, VIM 3,46%, dan VMA 16,99%. 1. Dari pengujian karakteristik sifat marshall pada campuran LASTON AC-WC yang menggunakan Belerang sebagai bahan tambah dengan variasi 5%, 7% dan 9% dengan mengacu pada standart spesifikasi Bina Marga, 2018.

Kata Kunci: Bahan tambahan belerang, marshall lapisan AC-WC, nilai stabilitas dan kelelahan marshall

1. PENDAHULUAN

Aspal beton sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Kemampuannya dalam mendukung beban berat kendaraan yang tinggi dan dapat dibuat dari bahan-bahan lokal yang tersedia dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap cuaca. Seiring meningkatnya kebutuhan akan jalan, maka dibutuhkan

usaha untuk meningkatkan kualitas jalan. Upaya upaya yang dilakukan antara lain adalah penggunaan campuran aspal yang baik, yaitu; mempunyai daya lekat yang cukup tinggi, titik leleh yang tinggi (di atas 60°C), dan penetrasi di atas 50.

Stabilitas dan kelelahan Marshall adalah parameter kunci dalam mengevaluasi kualitas campuran aspal. Stabilitas mengukur daya tahan campuran terhadap deformasi permanen akibat beban lalu lintas, sementara 2 kelelahan Marshall mengukur kemampuan campuran untuk mengatasi kelelahan akibat beban berulang. Metode Marshall melibatkan pembuatan dan pengujian sampel laboratorium campuran aspal untuk menentukan stabilitas dan kelelahan campuran. Belerang (Sulfur) adalah unsur nonlogam berwarna kuning cerah yang dapat ditemukan secara alami di dalam kerak bumi. Belerang memiliki sifat kimia yang unik. Pada suhu normal, belerang berbentuk padat dan rapuh. Namun, saat dipanaskan, belerang dapat berubah menjadi cair atau bahkan gas.

2. METODE PENELITIAN

Tahap awal penelitian yang dilakukan di laboratorium teknik Universitas Islam Sumatera Utara, adalah pengambilan data dan memeriksa mutu bahan aspal dan mutu agregat yang akan digunakan pada percobaan campuran.

Pengumpulan Data

1. Data sekunder adalah data yang digunakan dari benda uji material yang telah dilakukan perusahaan dan di uji di balai pengujian material. Dimana data sekunder aspal pertamina penetrasi 60/70 didapat dari PT. ADHI KARYA.
2. Data primer adalah data yang didapat saat melakukan penelitian di laboratorium Universitas Islam Sumatera Utara dimana data-data tersebut adalah:
 - a. Berat jenis agregat
 - b. Analisa saringan
 - c. Nilai-nilai marshall

Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam pelaksanaan perencanaan yaitu dengan penelitian laboratorium adalah sebagai berikut:

1. Pengadaan alat dan penyediaan bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian.
2. Pemeriksaan terhadap bahan material yang akan digunakan untuk melakukan penelitian.
3. Merencanakan contoh campuran lapis aspal beton AC-WC.
4. Merencanakan contoh campuran dengan pembuatan sampel benda uji.
5. Melakukan pengujian dengan alat Marshall Test.

- Analisa hasil pengujian sehingga diperoleh hasil hasil dari pengujian.

Pemeriksaan Baham Campuran

- Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar dan Halus
- Pemeriksaan Terhadap Aspal

Prosedur Kerja

- Perencanaan Campuran (Mix Design)
- Pembuatan Benda Uji
- Pengujian Sampel
- Penentuan Berat Jenis Bulk Gravity
- Pengujian Stabilitas dan Kelelehan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan khusus untuk 48 Laston harus berada di antara batas atas dan batas bawah sesuai Spesifikasi Bina Marga 2018 Devisi 6 Seksi 6.3. Dari hasil analisis saringan maka agregat diperoleh Data analisa saringan seperti Tabel 1.

Tabel 1

Persentase Lolos Saringan %					
Saringan		Analisa Saringan			
No	Ukuran	Agregat Halus (FA)	Agregat Medium (MA)	Agregat Kasar (CA)	Filler (FF)
1	25	100	100	100	100
3/4"	19	100	100	100	100
1/2"	12,50	100	100	36	100
3/8"	9,50	100	94	5	100
No. 4	4,75	100	22	1	100
No. 8	2,36	77	5	0	100
No. 16	1,18	43	2	0	100
No. 30	0,60	20	1	0	100
No. 50	0,30	9	0	0	100
No. 100	0,15	4	0	0	100
No. 200	0,075	0	0	0	100

Sumber : Hasil Pemeriksaan Kombinasi Agregat (2023)

Tentukan Presentase Agregat kasar (%CA) Agregat Medium(%MA) Agregat Halus (%FA) dan Filler (FF) Menggunakan Metode Trial and Error dan Kalikan Presentase lolos setiap saringan dengan nilai presentase setiap fraksi Agregat Kasar (%CA) Agregat Medium(%MA) Agregat Halus (%FA) dan Filler (FF) Sesuai pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2

Fraksi Tiap Agregat		
Nama Agregat	Simbol	Jumlah (%)
Agregat Halus	FA%	55%
Agregat Medium	MA%	24%
Agregat Kasar	CA%	16%
Filler Abu batu	FILLER%	5%
TOTAL		100%

Sumber : Hasil Perencanaan Pencampuran Agregat (2023)

Tabel 3

Persentase Lolos Saringan %						GRADASI GABUNGAN (%)
Saringan		Analisa Saringan				
No	Ukuran	Agregat Halus (%FA)	Agregat Medium (%MA)	Agregat Kasar (%CA)	Filler (%FF)	
1	25	100	100	100	100	100
3/4"	19	100	100	100	100	100
1/2"	12,50	100	100	36	100	91
3/8"	9,50	100	94	5	100	84
No. 4	4,75	100	21	0,5	100	66
No. 8	2,36	77	4	0	100	49
No. 16	1,18	43	2	0	100	29
No. 30	0,60	20	1	0	100	17
No. 50	0,30	9	0	0	100	10
No. 100	0,15	4	0	0	100	7
No. 200	0,075	0	0	0	100	5

Sumber : Hasil Pemeriksaan kombinasi Agregat (2023)

Grafik Hasil Kombinasi Agregat Memenuhi Spesifikasi Bina dapat dilihat pada Grafik

1.



Grafik 1

Hasil Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian terhadap berat jenis untuk penyerapan agregat Kasar dengan prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T85-74 atau SNI 1970-2008 dan mengacu pada spesifikasi Bina Marga 2018. Data Uji Berat Jenis dan penyerapan Agregat Kasar dapat dilihat pada tabel 5 dan Hasil Uji Berat Jenis dan penyerapan Agregat Kasar dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 4

Pengujian	Sampel
Berat Benda uji kering Oven gr (BK)	2880
Berat Benda Uji SSD gr (BJ)	3000
Berat dalam air gr	1898

Sumber : Hasil Analisa Laboratorium (2023)

Tabel 5

Pemeriksaan	Rumus	Sampel	Spek
Berat Jenis Bulk	$BK-(BJ-BA)$	2.61	Min 2,1
Berat Jenis Permukaan Jenuh SSD	$BJ/(BJ-BA)$	2.72	
Berat Jenis Semu (Apparent)	$BK/(BK-BA)$	2.93	
Penyerapan	$(BJ-BK)'/BK \times 100$	0.04	Maks 2,5

Sumber : Hasil Analisa Laboratorium (2023)

Dari tabel 5 tersebut didapat hasil pemeriksaan bahwa untuk berat jenis 2,61 sementara berat jenis permukaan (SSD) 2,72, berat jenis semu (Apparent) 2,93 dan penyerapan 0,04. sifat fisik agregat kasar ini memenuhi syarat dan spesifikasi yang ditentukan dalam Spesifikasi Bina Marga 2018 Devisi 6 seksi 6.3, sehingga material pada agregat kasar tersebut dapat digunakan dalam penelitian pencampuran aspal penetrasi 60/70.

Hasil Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Pengujian terhadap berat jenis untuk penyerapan agregat halus dengan prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T85-74 dan ASTM C 1227-68 atau SNI 1970-2008. Data Uji Berat Jenis dan penyerapan Agregat Halus dapat dilihat pada tabel 7 dan Data Uji Berat Jenis dan penyerapan Agregat Halus pada tabel 8.

Tabel 6

Pengujian	Sampel gr
Berat benda uji kering permukaan jenuh	500
Berat piknometer diisi air (25°C) gram (B)	930
Berat piknometer + benda uji SSD + air (25°C) gram (BT)	1224
Berat benda uji kering oven gram (BK)	473

Sumber : Hasil Analisa Laboratorium (2023)

Tabel 7

Pemeriksaan	Rumus	Sampel	Spek
Berat Jenis Bulk	$BK/(B+500-BT)$	2.69	Min 2.1
Berat Jenis Permukaan Jenuh SSD	$500/(B+500-BT)$	2.69	
Berat Jenis Semu (Apparent)	$BK/(B+BK-BT)$	2.97	
Penyerapan	$(500-BK)/BK*100$	0.057	Maks 3

Sumber : Hasil Analisa Laboratorium (2023)

Dari tabel tersebut didapat hasil pemeriksaan bahwa untuk berat jenis 2,69 sementara berat jenis permukaan (SSD) 2,69, berat jenis semu (Apparent) 2,97 dan penyerapan 0.057. sifat fisik agregat kasar ini memenuhi syarat dan spesifikasi yang ditentukan dalam spesifikasi Bina Marga 2018 Devisi 6 seksi 6.3, sehingga material pada agregat kasar tersebut dapat digunakan dalam penelitian pencampuran aspal penetrasi 60/70.

Hasil Pengujian Aspal

Dalam Penelitian ini, aspal yang digunakan untuk bahan ikat pada pembuatan benda uji aspal keras Pertamina Pen 60/70 adalah data sekunder. yang mana pengujian Aspal di lakukan di laboratorium Universitas Islam Sumatera Utara Kota Medan. Hasil pemeriksaan karakteristik aspal Pertamina Pen 60/70 dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8

No	Jenis Pengujian	Speks	Hasil Uji	Metode Pengujian	Satuan
1	Penetrasi pada 25°C	Min 60	65.2	SNI 06-2456-2011	Mm/gr/detik
2	Titik Lembek	Min 53	54.5	SNI 06-2434-2011	°C
3	Diktilitas pada 25°C 5cm/menit	Min 232	234	SNI 06-2432-2011	cm
4	Titik Nyala	Min 232	320	SNI 06-2433-2011	°C
5	Berat Jenis	Min 1	1.03	SNI 06-2441-2011	gr

Sumber : Hasil Analisa Laboratorium PT Rapi Arjasa (2023)

Dari pemeriksaan Laboratorium diperoleh hasil bahwa aspal keras Pertamina Pen 60/70 memenuhi standart pengujian spesifikasi Bina Marga 2018 Devisi 6 dan Seksi 6.3 sebagai bahan ikat campuran beton aspal tersebut.

Hasil Sampel Benda Uji Aspal Laston AC-WC

Setelah dilakukan pembuatan benda uji Aspal Laston AC-WC pada rendaman air laut dan air tawar dengan durasi waktu rendaman 24 jam di Laboratorium sesuai perencanaan di atas maka di dapat hasil sampel benda uji yaitu berat kering aspal, berat semu aspal (SSD) dan berat air aspal sebagai berikut:

Tabel 9

Kadar Belerang%	Berat Kering Benda Uji Aspal (gr)			Berat Kering Permukaan Ssd (gr)			Berat Benda Uji Dalam Air (gr)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
5%	991	996	1010	1010	1016	1039	643	648	654
7%	1068	1047	1047	1094	1066	1085	692	682	686
9%	1071	1044	1027	1089	1061	1044	708	687	672
Normal	1131	1137	1142	1144	1150	1152	637	635	634

Sumber : Hasil Analisa Laboratorium (2023)

Dari tabel di atas maka dapat dilihat hasil data sampel tinggi benda uji aspal dan angka kolerasinya dan tahapan selanjutnya pengujian setiap sampel menggunakan alat Marshall Test yang mana pengujiannya dilakukan dengan perendaman setiap sampel dengan alat waterbath selama 30-40 sesuai prosedur dan tahapan selanjutnya angkat sampel dan masukkan ke dalam Cincin Proving Ring alat Marshall Test dan didapatkan nilai stabilitas dan nilai Flow hasil uji benda uji tersebut. Adapun data hasil Marshall Test nilai Stabilitas dan Flow pada rendaman air tawar dan air laut dapat di lihat pada tabel berikut:

Tabel 10

Kadar Belerang%	Pembacaan Dial Sampel I		Pembacaan Dial Sampel II		Pembacaan Dial Sampel III	
	Stabilitas	Flow	Stabilitas	Flow	Stabilitas	Flow
5%	256	1030	228	1068	263	1145
7%	366	972	359	1055	340	370
9%	320	1182	323	905	230	989
Normal	255	637	292	456	274	532

Sumber : Hasil Analisa Laboratorium (2023)

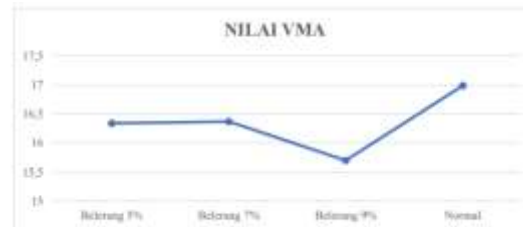
Perhitungan Prameter Marshall Test

Perhitungan nilai karekteristik Marshall Test mengacu pada spesifikasi Bina Marga 2018 Devisi 6 Seksi 6.3 dan (Sukirman 2007). Berikut data rekapitulasi Marshall Test rendaman air 24 jam sebagai berikut:

Tabel 11

No	Karakteristik Campuran	Jenis Aspal			
		5%	7%	9%	Normal
1	Bulk Density (gr/cc)	2.20	2.22	2.25	2.23
2	Stability (kg)	256	366	320	255
3	Flow (mm)	10.3	9.72	8.37	6.37
4	VFA (%)	62.67	75.10	91.72	71.47
5	VIM (%)	1.68	1.47	2.16	3.46
6	VMA (%)	16.34	16.36	15.70	16.99

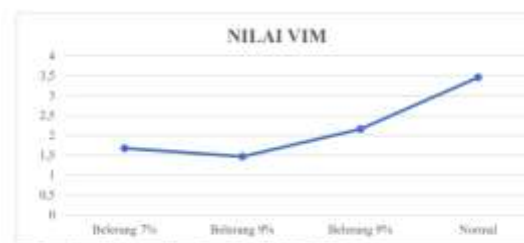
Sumber : Hasil Data Analisa Penelitian (2023)



Sumber : Hasil Analisa Data Penelitian (2023)

Grafik 2

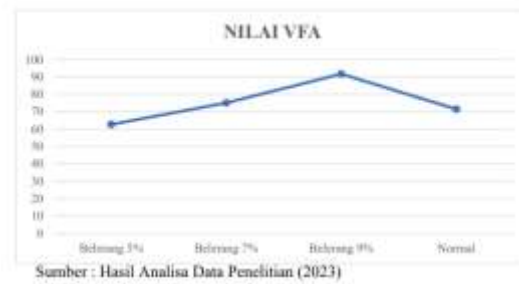
Grafik 2 menerangkan grafik (VMA) rendaman air tawar selama 24 jam memiliki hubungan antara kadar aspal dengan Voids Mineral Agregat (VMA) pada aspal pen 60/70 dimana setiap kadar aspal memiliki nilai yang berbeda. Dimana hasil untuk kadar belerang 5% nilai VMA adalah 16,34%, kadar Belerang 7% didapat nilai VMA sebesar 16,36 %, dan kadar aspal 9% di dapat nilai VMA sebesar 15,70%. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa kadar belerang 7% memiliki nilai VMA tertinggi, sementara kadar belerang 9% memiliki nilai terendah, berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 Devisi 6 dan Seksi 6.3.



Sumber : Hasil Analisa Data Penelitian (2023)

Grafik 3

Grafik menerangkan grafik hubungan antara kadar aspal dengan Voids In Mix (VIM) pada aspal pen 60/70 dengan pengujian pada rendaman air 24 jam. Bertambahnya kadar aspal maka nilai VIM semakin mengecil. Dimana hasil untuk kadar Belerang 5% nilai VIM adalah 1,68%, untuk kadar belerang 7% di dapat nilai VIM sebesar 1,47%, dan untuk kadar Belerang 9% di dapat nilai VIM sebesar 2,16%. Dari data ini dapat disimpulkan bahwa kadar belerang 9% memiliki nilai VIM tertinggi, sementara kadar belerang 7% memiliki nilai VIM terendah.

**Grafik 4**

Grafik 4 menerangkan grafik hubungan antara kadar aspal dengan Void Filled Bitumen (VFA) pada belerang 60/70 Pada pengujian Aspal Laston Ac-Wc dengan rendaman air 28 jam dimana terjadi perbedaan hasil yang dimiliki setiap kadar belerang rencana. Dimana hasil untuk kadar belerang 5% nilai VFA adalah 62,67%, kadar belerang 7% didapat nilai VFA sebesar 75,10%, dan kadar belerang 9% didapat nilai VFA sebesar 91,72%.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan terhadap pengujian campuran Aspphalt Concrete – Wearing Course (AC–WC) dengan penambahan Belerang diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari pengujian karakteristik sifat marshall pada campuran LASTON ACWC yang menggunakan Belerang sebagai bahan tambah dengan variasi 5%, 7% dan 9% dengan mengacu pada standart spesifikasi Bina Marga 2018.
2. Dari hasil pengujian karakteristik sifat marshal pada campuran Asphalt Concrete – Weaaring Course (AC-WC) menggunakan tambahan Belerang dengan persen variasi sebagai berikut:
 - a. Untuk variasi 5% di dapat nilai Stability 256 kg, Bulk Density 2,20 gr/cc, flow 10,3 mm, VFA 62,67%, VIM 1,68%, dan VMA 16,34%.
 - b. Untuk variasi 7% di dapat nilai Stability 366 kg, Bulk Density 2,22 gr/cc, flow 9,72 mm, VFA 75,10%, VIM 1,47%, dan VMA 16,36%.
 - c. Untuk variasi 9% di dapat Stability 320 kg, Bulk Density 2,25 gr/cc, flow 8,37 mm, VFA 91,72%, VIM 2,16%, dan VMA 15,70%.
 - d. Untuk variasi Normal di dapat Stability 225 kg, Bulk Density 2,23 gr/cc, flow 6,37 mm, VFA 71,47%, VIM 3,46%, dan VMA 16,99%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayun, Q. (2017). *Pengaruh Penambahan Sulfur Terhadap Karakteristik Marshall dan Permeabilitas pada Aspal Berpori*.
- Bahri, S. (2014). *Pengaruh Penambahan Belerang dalam Hotmix Jenis AC-BC Terhadap Karakteristik Marshall*. 1(10).
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan*.
- Mashuri, & Patunrangi, J. (2011). *Perubahan Karakteristik Mekanis Aspal yang Ditambahkan Sulfur sebagai Bahan Tambah*.
- Nurdajat, D., & Elkhassnet. (2007). *Perbaikan Sifat Agregat dengan Belerang untuk Meningkatkan Kinerja Campuran Beraspal*. Jurnal Teknik Sipil ITENAS, 5(1), 17–25.
- Saleh, S. M., Anggraini, R., & Aquina, H. (2014). *Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi Styrofoam pada Aspal Penetrasi 60/70*. 21(3), 241–250.
- Setiawan, A. (2012). *Pengaruh Sulfur Terhadap Karakteristik Marshall Asphaltic Concrete Wearing Course (AC-WC)*. Journal of Transportation Management and Engineering, 2(1), 12. Retrieved from <https://media.neliti.com/media/publications/210653-none.pdf>
- Sitohang, O., & Sinuhaji, S. (2018). *Penggunaan Abu Vulkanik Sinabung Terhadap Stabilitas Campuran Aspal Beton (Hot Mix)*. 1(2), 79–94.
- SNI 03-1996. (1990). *Spesifikasi Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar*.
- SNI 03-6723. (2002). *Spesifikasi Bahan Pengisi untuk Campuran Aspal*.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*.
- Tarigan, R. R., & Saragih, L. V. R. (2017). *Pemanfaatan Abu Vulkanik Gunung Sinabung sebagai Filler dan Serbuk Ban Bekas sebagai Bahan Pengganti Aspal PEN 60/70 pada Campuran Panas AC-WC*. 1(1), 1–10.
- Tombeg, C. V., Manoppo, M. R. E., & Sendow, T. K. (2019). *Pemanfaatan Sedimen Transport Abu Vulkanik (Gunung Soputan) sebagai Bahan Substitusi pada Abu Batu dalam Campuran Aspal HRS-WC Gradiasi Semi Senjang*. 7(3), 309-318.