

ARTIKEL ILMIAH

**PENGARUH PENGGUNAAN FLY ASH DAN MASTIK ASBUTON SEBAGAI
FILLER TERHADAP NILAI KARAKTERISTIK MARSHALL PADA CAMPURAN
ASPAL BUBUR (*SLURRY SEAL*)**

**"THE EFFECT OF USING FLY ASH AND MASTIC ASBUTON AS
FILLER ON MARSHALL CHARACTERISTIC OF SLURRY SEAL"**

Untuk Memenuhi Sebagai Persyaratan
Mencapai Gelar Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh :

Arya Firmansyah

F1A 019 021

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MATARAM
2023**

Tugas Akhir

**PENGARUH PENGGUNAAN FLY ASH DAN MASTIK ASBUTON SEBAGAI
FILLER TERHADAP NILAI KARAKTERISTIK MARSHALL PADA
CAMPURAN ASPAL BUBUR (SLURRY SEAL)**

Oleh:

Arya Firmansyah

F1A019021

Telah diperiksa dan disetujui oleh Tim Pembimbing:

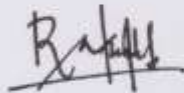
1. Pembimbing Utama



Dr. Ir. Dewa Made Alit Karwawan, MT.
NIP. 19660718 199702 1 001

Tanggal : 06 November 2023

2. Pembimbing Pendamping



Ratna Yuniarti, ST., MSc(Eng).
NIP. 19680620 199412 2 001

Tanggal : 06 November 2023

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Hariyadi, ST., Msc.(Eng), Dr. Eng.
NIP. 197310271998021001

Tugas Akhir

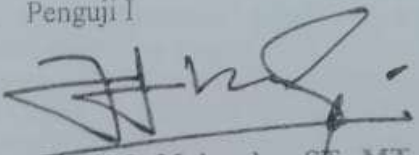
PENGARUH PENGGUNAAN FLY ASH DAN MASTIK ASBUTON SEBAGAI FILLER TERHADAP NILAI KARAKTERISTIK MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL BUBUR (SLURRY SEAL)

Oleh:

Arya Firmansyah
F1A019021

Telah dipertahankan didepan Dewan Penguji
Pada Tanggal 06 November 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat mencapai derajat sarjana S-1
Jurusan Teknik Sipil

1. Penguji I


Dr. Made Mahendra, ST., MT.
NIP. 19660626199412 1 001

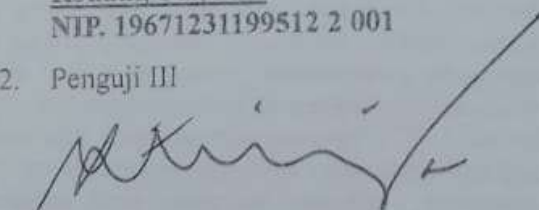
Tanggal : 06 November 2023

2. Penguji II


Rohani, ST., MT.
NIP. 19671231199512 2 001

Tanggal : 06 November 2023


2. Penguji III


I Wayan Suteja, ST., MT.
NIP. 19670826199412 1 001

Tanggal : 06 November 2023

Mataram, November 2023
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram




Muhamad Svamsu Iqbal, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19720222199903 1 002

PENGARUH PENGGUNAAN FLY ASH DAN MASTIK ASBUTON SEBAGAI FILLER TERHADAP NILAI KARAKTERISTIK MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL BUBUR (SLURRY SEAL)

"THE EFFECT OF USING FLY ASH AND MASTIC ASBUTON AS FILLER ON MARSHALL CHARACTERISTIC OF SLURRY SEAL"

Arya Firmansyah¹, IDM Alit Karyawan², Ratna Yuniarti²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

²Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram

Jurusan Teknik Sipil Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram

Email : lembain1@gmail.com

Abstrak

Slurry seal dibutuhkan sebagai pelapis dalam preservasi perkerasan lentur yang berfungsi sebagai *treatment preventif* dalam kerusakan jalan. Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan campuran *slurry seal* dengan filler *fly ash* dan mastik Asbuton. *Fly ash* merupakan limbah dari PLTU yang bisa dimanfaatkan untuk mengurangi limbah dengan dijadikan sebagai *filler*. Jumlah deposit Asbuton di Indonesia mencapai 650 juta ton sehingga harus dimanfaatkan sebaik mungkin salah satunya dengan dijadikan *filler*.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui karakteristik *slurry seal* (konsistensi dan *setting time*) dan performanya sebagai perkerasan struktur dengan uji *Marshall*. Variasi penggunaan *filler fly ash* dan mastik Asbuton dengan perbandingan berturut-turut (100%:0%), (75%:25%), (50%:50%), (25%:75%), (0%:100%) dan kadar aspal emulsi sebanyak 13% dari berat total agregat.

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan besarnya kadar air berdasarkan uji konsistensi, waktu pemantapan, dan nilai karakteristik *Marshall*. Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan kadar air 9% didapatkan konsistensi optimum pada semua variasi *filler*. Nilai waktu pemantapan semakin bertambah seiring bertambahnya penggunaan *filler* mastik Asbuton hal ini dikarenakan *filler fly ash* memiliki nilai penyerapan air sebesar 0.47% sedangkan *filler* mastik Asbuton hanya memiliki nilai penyerapan air sebesar 0.15%. Nilai stabilitas, *flow*, MQ, VMA dan VIM mengalami penurunan sedangkan nilai VFA mengalami kenaikan seiring bertambahnya *filler* mastik Asbuton. Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* campuran *slurry seal* dicoba diaplikasikan sebagai perkerasan jalan, sehingga dapat disimpulkan bahwa campuran *slurry seal* tidak memenuhi spesifikasi untuk diaplikasikan sebagai perkerasan jalan

Kata kunci : *Slurry seal*, *Fly ash*, Mastik Asbuton, Karakteristik *Slurry Seal*

I. Pendahuluan

Kondisi jalan di pulau Lombok terutama pada ruas jalan Kabupaten (termasuk pedesaan) banyak mengalami kerusakan akibat kurang adanya pemeliharaan rutin, hal ini dapat menimbulkan kecelakaan bagi pengguna jalan (Mardawa et al., 2020). Pemeliharaan rutin melalui penambahan lapisan tipis seperti *slurry seal* pada permukaan jalan merupakan salah satu solusi untuk melindungi struktur perkerasan, memperbaiki dan diharapkan mampu memperpanjang umur perkerasan. Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan campuran *slurry seal* dengan *filler fly ash* dan mastik asbuton.

Fly ash merupakan residu Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang terdiri dari pertikel-partikel halus yang berterbangan, *fly ash* dianggap sebagai limbah yang tidak digunakan lagi sehingga dalam penelitian ini menjadi nilai tambah dan nilai guna dari bahan tersebut untuk dimanfaatkan sebagai *filler*. Mastik asbuton adalah jenis aspal buton yang memiliki kandungan bitumen kualitas tinggi dengan kadar $\pm 30-40\%$ dan juga mengandung *filler* batu kapur (limestone) yang juga dipergunakan dalam proses pencampuran aspal untuk jalan-jalan kelas tinggi (Asbuton Global Indo, 2007). Mastik asbuton yang digunakan dalam penelitian ini merupakan merupakan butiran dari aspal buton dengan tipe 5/30 yang dilakukan pemecahan menjadi butir-butir halus menggunakan alat *colloid mill*.

Muhammad, 2012 melakukan penelitian terkait kekuatan struktur dari campuran *slurry seal* yaitu berupa kuat tarik tidak langsung mendapatkan hasil bahwa campuran *slurry seal* yang mempunyai nilai optimum kuat tarik tidak langsung sebesar 3789.35 kg/m². Nilai kuat Tarik tidak langsung tersebut memungkinkan campuran *slurry seal* dijadikan sebagai perkerasan struktur sehingga pada penelitian ini dicoba pengujian campuran *slurry seal* terhadap nilai karakteristik *Marshall* untuk mengetahui apakah campuran *slurry seal* yang dibuat bisa diaplikasikan sebagai perkerasan struktur.

Pengaruh penggunaan *fly ash* dan mastik asbuton sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam campuran *slurry seal* diharapkan akan meningkatkan karakteristik campuran terhadap

nilai konsistensi (kemudahan pengerjaan atau *workability*), waktu pemantapan dan karakteristik *Marshall* sehingga bisa diketahui apakah campuran *slurry seal* yang dibuat bisa dijadikan sebagai lapisan perkerasan struktur. Oleh karena itu, penulis bermaksud melakukan penelitian terkait campuran *slurry seal* dengan judul “Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* dan Mastik Asbuton Sebagai *Filler* Terhadap Nilai Karakteristik *Marshall* Pada Campuran Aspal Bubur (*Slurry Seal*)”

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis hasil dari penggunaan *fly ash* dan mastik asbuton dalam campuran *slurry seal* terhadap nilai konsistensi.
2. Menganalisis hasil dari penggunaan *fly ash* dan mastik asbuton dalam campuran *slurry seal* terhadap waktu pengerasan
3. Menganalisis hasil dari penggunaan *fly ash* dan mastik asbuton dalam campuran *slurry seal* terhadap nilai karakteristik *Marshall*.
4. Mengetahui apakah campuran *slurry seal* bisa diaplikasikan sebagai perkerasan jalan berdasarkan hasil uji *Marshall*.

II. Landasan Teori

Oikonomou, 2007 dalam tesis yang berjudul “*Alternative Fillers For Use In Slurry Seal*” semen portland, *fly ash*, *ladle furnace slag*, debu klin semen dan abu batu diuji sebagai bahan pengisi pada *slurry seal* dan hasilnya menunjukkan bahwa semua bahan pengisi yang diuji dapat digunakan untuk memproduksi *slurry seal* sesuai spesifikasi. Hasil penggunaan alternatif *filler* ditunjukkan pada tabel 2.2. seperti yang bisa dilihat, semua *filler* yang digunakan memenuhi semua spesifikasi. Selain itu, abu batu yang merupakan material non-pozzolan menghasilkan material dengan kekakuan yang lebih tinggi (penyebaran rendah dalam uji konsistensi, waktu pencampuran singkat). Semua alternatif *filler* lain yang memiliki sifat pozzolan, menunjukan hasil yang lebih baik daripada penggunaan Portland semen, misalnya dalam uji kohesi dan WTAT. Perbedaan waktu pengikatan menunjukan bahwa *slurry seal* dengan berbagai alternatif *filler* dapat diaplikasikan dalam waktu yang lebih pendek atau lebih lama sesuai dengan desain campuran.

Semua *filler* memberikan hasil yang memuaskan terkait pengujian jalur abrasi basah (>95% lapisan)

Adnan, 2012 dalam jurnal yang berjudul “Kajian Karakter *Slurry Seal* dengan Filler Campuran Semen dan *Fly Ash* (Tinjauan Uji Konsistensi, *Setting Time* dan ITS)” Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar air 10%, kelima campuran filler mampu memberikan konsistensi penyebaran *slurry seal* $\leq 2-3$ cm melalui uji konsistensi yang sesuai dari persyaratan Bina Marga. Didapatkan waktu setting memenuhi juga dari syarat Bina Marga yaitu 15–720 menit pada kelima campuran filler. Porositas kecil, nilai densitas besar dan ITS maksimum terjadi pada 50%:50% dan dianggap sebagai campuran filler ideal dengan hasil nilai densitas optimum sebesar 1,769 gr/cm³, porositas sebesar 9,55% dan ITS sebesar 30,99 kPa.

Raharjo, 2008 dalam jurnal berjudul “Pengaruh Penggunaan Aspal Buton Sebagai Filler Campuran *Split Mastik Asphalt* Terhadap Karakteristik Marshall” melakukan penelitian untuk menguji penggunaan asbuton sebagai *filler* dalam campuran SMA beserta pengaruhnya terhadap karakteristik marshall. Penelitian ini menyimpulkan bahwa: (1) nilai VITM akan mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar filler asbuton mikro, (2) penambahan filler asbuton kadar 4 – 5% akan meningkatkan nilai VFWA, namun pada kadar filler 5,5% dan 6% akan menurunkan nilai VFWA karena filler yang digunakan terlalu banyak sehingga persentase bitumen terhadap total aspal dalam campuran juga semakin besar, (3) penggunaan asbuton mikro filler pada campuran SMA memberi pengaruh menurunnya nilai stabilitas (4) penambahan filler asbuton mikro akan menaikkan nilai flow, hal ini terjadi karena dengan penambahan asbuton mikro kandungan aspal pada campuran akan bertambah, dan (5) nilai MQ mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar filler.

Bubur Aspal Emulsi (*Slurry Seal*)

Slurry seal adalah campuran aspal emulsi tanpa pemanasan, dengan kandungan agregat bergradasi halus, mineral filler, air dan bahan

tambahan lainnya yang dicampur secara merata dan dihampar di atas permukaan perkerasan sebagai bubur aspal atau *slurry*. Sistem *slurry seal* direncanakan untuk membentuk mortar dengan aspal yang pekat dan dihampar dengan ketebalan yang cukup tipis, dengan ketebalan maksimum 10 mm dimaksudkan untuk menghindari deformasi permanen akibat dilalui oleh beban lalu-lintas disebabkan karena struktur mineral biasanya tidak cukup kuat dengan gaya saling kunci yang terbatas dari butiran agregatnya. *Slurry seal* merupakan Surface Treatment tipis permukaan jalan yang dihampar hanya setebal batuan agregat pada gradasi agregat campurannya (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015).

Jenis *Slurry Seal*

Berdasarkan agregat yang digunakan dibedakan antara tipe I, tipe II, tipe III. Tipe I cocok untuk pelaburan, pengisian rongga pada permukaan, perbaikan erosi permukaan yang lebih parah atau teroksidasi berat dan untuk meningkatkan ketahanan gelincir jalan. Jenis ini digunakan pada perkerasan bandar udara, jalan antar kota atau perkotaan dengan lalu lintas sedang sampai berat. Tipe II cocok untuk memperbaiki kondisi permukaan yang terkelupas berat, meningkatkan ketahanan gelincir jalan atau membentuk permukaan aus yang baru. Juga digunakan didaerah luar kota maupun perkotaan dengan lalu lintas padat. Tipe III mempunyai manfaat serupa dengan tipe II namun memberikan tekstur makro yang lebih besar. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015).

Komposisi Bahan dan Campuran Pembuatan *Slurry Seal*

Pembuatan *slurry seal* terdiri dari agregat, aspal emulsi, air dan *filler* kemudian bahan ini dicampur dengan perbandingan tertentu berdasarkan tes laboratorium. Adapun bahan dan campuran *slurry seal* sebagai berikut :

1. Bahan
 - a. Agregat

Agregat adalah suatu bahan keras dan kaku yang digunakan sebagai bahan

campuran, yang berupa berbagai jenis butiran atau pecahan yang termasuk didalamnya antara lain pasir, kerikil, agregat pecah, abu batu atau abu agregat. Agregat berperan penting karena merupakan mineral pembentuk slurry seal sekitar 75%, agregat harus bersih, keras dan terbuat dari batu pecah, seragam dengan gradasi yang sesuai memenuhi persyaratan kualitas menurut SNI 03-6819-2002. Agregat mengandung sedikitnya 50% volume batu pecah, untuk jalan dengan LHR lebih besar dari 500 disyaratkan 100% batu pecah (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015)

b. Bahan pengisi (*filler*)

Bahan pengisi (*filler*) terdiri dari 2 jenis, yakni yang aktif dan tidak aktif secara kimiawi. Filler yang aktif secara kimiawi diantaranya semen Portland, kapur TOHOR, ammonium sulfat, sedangkan bahan pengisi yang tidak aktif diantaranya abu batu kapur, abu arang batu, dan abu batu. Bahan pengisi yang diperlukan 0.5% sampai 3 % dari berat kering agregat didalam perencanaan campuran. Filler harus dianggap sebagai bagian dari agregat. (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015)

c. Air

Air berfungsi mengatur kekentalan slurry seal sehingga mudah dikerjakan. Air pada slurry seal berasal dari kandungan air agregat, air pada aspal emulsi dan air yang ditambahkan pada campuran slurry seal. Air juga akan mengatur konsistensi slurry seal, mencegah pecah dini dan segregasi. Air yang dipakai harus bersih dari bahan organik karena akan menyebabkan pecah dan membuat pencampuran bertambah sulit (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015).

d. Aspal Emulsi

Aspal emulsi merupakan komponen utama slurry seal yang berfungsi sebagai pengikat

agregat, serta pengikat slurry dengan perkerasan lama. Jenis aspal emulsi yang digunakan antara lain :

- 1) Aspal emulsi mutu SS-1h- memenuhi persyaratan SNI 03-6832-2002
- 2) Aspal emulsi mutu CSS-1h dan CQS 1h- memenuhi persyaratan SNI 03-4798-1998

Kadar Aspal Emulsi

Dalam perhitungan kebutuhan Aspal Emulsi perkiraan dapat menggunakan rumus (Pedoman Perencanaan Bubur Aspal Emulsi (slurry seal), 2015) :

$$P=(0.05A + 0.1B + 0.5C) \times (0.7)$$

Dimana :

P = % Kadar residu aspal emulsi Sesuai gradasi rencana pada tabel 3.2

A = % Agregat Kasar (Tertahan di atas ayakan 2.36mm) = 48.5 %

B = % Agregat Halus (lolos 2.36 mm tertahan 0.075 mm) = 44 %

C = % Filler = 7.5%

Kemudian diestimasi kadar aspal emulsi (KAE) awal terhadap berat total campuran
KAE awal = (P/X) %

Dimana:

P = % Kadar aspal emulsi

X = % Kadar residu dari aspal emulsi yang digunakan

Fly Ash

Fly ash adalah limbah hasil pembakaran batu bara yang berbentuk partikel halus pada pabrik pembangkit panas yang dikeluarkan dari ruang perapian pada ketel uap. *Fly ash* merupakan suatu pozolan buatan (Maryoto,2008) . Pozolan adalah suatu bahan alami atau bahan yang mengandung senyawa silika dan alumina serta tidak mempunyai sifat semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air dan aktivator, senyawa-senyawa tersebut akan bereaksi secara kimiawi dengan kalsium silikat, kalsium aluminat hidrat yang bersifat hidrolis sehingga bersifat seperti halnya semen

Mastik Asbuton

Aspal buton atau Asbuton adalah aspal alami yang didapat dari pulau Buton, Sulawesi Tenggara, Indonesia. Produk asbuton dibagi menjadi produk asbuton yang masih mengandung material filler seperti asbuton

kasar, asbuton halus dan mastik asbuton dan juga produk asbuton yang telah dimurnikan menjadi aspal murni. Asbuton merupakan salah satu kekayaan alam Indonesia yang harus dimanfaatkan untuk bahan perkerasan jalan. Jumlah deposit asbuton mencapai 650 juta ton, menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan penghasil aspal alam terbesar didunia (Setiowati, 2022). Adapun mastik asbuton yang digunakan dalam penelitian ini merupakan merupakan butiran dari aspal buton dengan tipe 5/30 yang dilakukan pemecahan menjadi butir-butir halus hingga bisa dijadikan sebagai *filler* dengan ukuran lolos saringan no.200 (0.075mm) menggunakan alat *colloid mill*.

Uji Konsistensi Campuran *Slurry Seal*

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat workable pada campuran *slurry seal* dengan alat kerucut konsistensi. Sesuai dengan Pedoman Perencanaan Bubur Aspal Emulsi (*Slurry Seal*) tahun 2008, pengujian ini menghasilkan suatu penyebaran 2-3 cm yang telah disyaratkan sesuai peraturan yang berlaku dan sebagai titik kontrol pada campuran *slurry seal* yang dibuat

Setting Time

Setting time adalah waktu yang diperlukan Aspal Emulsi sejak dicampur dengan agregat sampai butiran aspal menyatu dalam bentuk padat serta melapisi agregat secara kontinyu (Bina Marga, 2008). Spesifikasi *setting time* berdasarkan bina marga yaitu 15-720 menit

Menurut pedoman pelaksanaan aspal bubuk (aspal emulsi), 2015 pengujian *setting time* menggunakan selebar kertas putih atau tissue ditekan dengan ringan atau dibiarkan menyerap di atas permukaan *slurry seal*, jika tidak dijumpai noda coklat di atas permukaan kertas tersebut, maka lapisan campuran itu dianggap sudah bereaksi. Jika timbul noda coklat, maka prosedur penyerapan di ulang untuk interval 15 menit. Sesudah penyerapan selama 3 jam, interval penyerapan dibuat 30 menit atau yang lebih lama.

Uji Volumetrik *Marshall*

Sifat-sifat volumetrik campuran aspal adalah sifat fisik campuran yang digunakan untuk evaluasi awal rancangan campuran aspal di laboratorium. Dalam hal ini campuran aspal berupa benda uji. Adapun sifat volumetrik campuran aspal yaitu terdiri dari berat jenis, rongga udara serta tebal lapisan aspal.

1. Berat Jenis (*Specific Gravity*)

- a. Berat Jenis Bulk Total Agregat

$$Gsb = \frac{P1+P2+P2+\dots+Pn}{\frac{P1}{Gsb1} + \frac{P2}{Gsb2} + \frac{P3}{Gsb3} + \dots + \frac{Pn}{Gsbn}}$$

- b. Berat Jenis Efektif Agregat

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}}$$

- c. Berat Jenis Maksimum Campuran Aspal

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} - \frac{Pb}{Gb}}$$

2. Volumetrik Campuran

- a. Kerapatan (*density*) campuran

$$Gmb = \frac{Wb + Ws}{Vmb} \times gw$$

- b. Rongga Diantara Agregat atau *Voids In The Mineral Aggregate (VMA)*

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb}$$

- c. Rongga Didalam Campuran Beraspal atau *Void In The Mix (VIM)*

$$VIM = 100 \left(\frac{Gmm - G}{Gmm} \right)$$

- d. Rongga Terisi Aspal atau *Volume of Void Filled with Asphalt (VFA)*

$$VFA = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA}$$

Pengujian Mekanis *Marshall*

Kemampuan campuran aspal beton dapat diuji dengan menggunakan alat pemeriksaan *Marshall*.

Untuk pengujian *Marshall* memiliki parameter yang digunakan, yaitu:

- a) Stabilitas *Marshall*

Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal dalam menerima beban maksimum tanpa mengalami perubahan bentuk

- b) Kelelahan (*flow*)

Kelelahan adalah nilai deformasi arah vertikal dalam satuan mm yang terjadi

mulai dari awal pembebanan sampai pada kondisi kestabilan menurun pada pengujian *marshall*

c) *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient adalah nilai perbandingan antara stabilitas terhadap nilai kelelahan dalam satuan Kg/mm dan menunjukkan nilai fleksibilitas campuran aspal.

III. Metode Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Transportasi dan Rekayasa Jalan Raya Jurusan Teknis Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.

Tahapan Penelitian

Sebagai penelitian ilmiah, maka penelitian ini harus dilaksanakan dalam sistematis dan urutan yang jelas dan teratur sehingga akan diperoleh hasil yang memuaskan dan dapat dipertanggungjawabkan. Oleh karena itu, pelaksanaan penelitian dibagi dalam beberapa tahap, yaitu:

1. Tahap I

Tahapan ini merupakan tahapan persiapan yang bertujuan untuk mempersiapkan seluruh kebutuhan bahan dan peralatan yang dibutuhkan dalam penelitian agar dapat berjalan lancar.

2. Tahap II

Tahapan ini merupakan tahapan pemeriksaan bahan yang bertujuan untuk melakukan perencanaan dan pemeriksaan benda uji yang digunakan dalam penelitian. Dari tahapan ini akan didapatkan sebuah data pemeriksaan yang bersumber dari literatur yang relevan untuk perencanaan *Slurry seal*. Selanjutnya dari data itu digunakan untuk menentukan proporsi kadar bahan yang dibutuhkan dalam campuran *slurry seal* dan dibuat lima variasi *filler*

3. Tahap III

Tahapan ini merupakan tahap pembasahan awal (*pre-wetting*). Tahapan ini menggunakan kadar air untuk membasahi agregat yang sudah diproporsikan beratnya. Untuk mengetahui campuran *slurry seal*

sesuai persyaratan, dilakukan pengujian dengan alat kerucut konsistensi.

4. Tahap IV

Setelah memenuhi kadar air optimum pada pengujian konsistensi, dapat dilakukan tahap pembuatan benda uji *setting time* dan uji *marshall*.

5. Tahap V

Pada tahapan ini dilakukan pengujian waktu pematangan (*setting time*) dan pengujian *marshall*

6. Tahap VI

Tahapan ini merupakan tahap analisis data. Pada tahap ini data yang diperoleh dari hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan hubungan antara variable-variabel yang diteliti dalam penelitian

7. Tahap VII

Dari analisis data yang didapat, kemudian dibahas dan selanjutnya ditarik suatu kesimpulan

8. Tahap VIII

Tahap ini merupakan tahap pengambil kesimpulan. Pada tahap ini data yang telah dianalisis dibuat suatu kesimpulan yang berhubungan dengan tujuan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan dan Analisis Uji Fisik Material Agregat, Aspal Emulsi dan *Filler*

Tabel 1 Hasil Pemeriksaan Aspal Emulsi CSS-1h

Pemeriksaan	Unit	Hasil	Spesifikasi
Kadar Residu	%	57	Min 57
Muatan Partikel Listrik	-	Positif	Positif
Pengendapan Per 24jam	%	0.77	-
Viskositas	cst	55.43	20-100
Analisa Saringan	%	0	Maks 0.1
Berat Jenis		1.022	≥1,0

Tabel 2 Hasil Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan	<i>Filler Fly Ash</i>	<i>Filler Mastik Asbnton</i>	Agregat Kasar	Agregat halus	Syarat
Berat Jenis Semu (Gsa)	2.156	2.50	3	2.98	>2.5
Berat Jenis Kering (Gsb)	2.178	2.51	2.83	2.73	>2.5
Berat Jenis Jemih Kering Permukaan (Gss)	2.178	2.51	2.88	2.82	>2.5
Berat Jenis Efektif (Gse)	2.167	2.50	2.91	2.86	>2.5
Penyerapan Air (Gsw)	0.47	0.15	0.02	0.03	<3%

Tabel 3 Rencana Gradasi *Slurry Seal*

Ukuran Saringan (mm)	Batas bawah (%)	Batas atas (%)	Rencana gradasi (%)
3/8" (9,5 mm)	100	100	100
No.4 (4,75 mm)	70	90	82,5
No.8 (2,36 mm)	45	70	51,5
No.16 (1,18 mm)	28	50	35
No.30 (600 μ)	18	33	26
No.50 (330 μ)	12	25	17,5
No.100 (150 μ)	7	17	10
No.200 (75 μ)	5	10	7,5

Filler yang digunakan dalam penelitian ini adalah *fly ash* dan mastik asbuton dengan proporsi variasi sebagai berikut :

- 100% *Fly Ash* : 0% Mastik Asbuton
- 75% *Fly Ash* : 25% Mastik Asbuton
- 50% *Fly Ash* : 50% Mastik Asbuton
- 25% *Fly Ash* : 75% Mastik Asbuton
- 0% *Fly Ash* : 100% Mastik Asbuton

Penentuan Kadar Aspal Emulsi

$$\begin{aligned}
 P &= (0.05A + 0.1B + 0.5C) \times (0.7) \\
 &= (0,05 \times 48,5 + 0,1 \times 44 + 0,5 \times 7,5) \times (0,7) \\
 &= (2,425 + 4,4 + 3,75) \times 0,7 \\
 &= 7,4025 \%
 \end{aligned}$$

Aspal emulsi yang digunakan adalah aspal emulsi *cationic slow setting 1-h* (CSS1-1h) produksi CV.Tofa Jaya Mandiri, dimana kadar aspal residunya 57% (data sekunder dari Cv. Tofa Jaya Mandiri, 2023). Dengan demikian kadar aspal emulsi dalam campuran adalah, KAE awal = $(P/X) \% = 7,4025 / 0,57 = 12,986 \% \approx 13\%$ (terhadap berat total agregat)

Hasil Pengujian Konsistensi

Kadar air yang dipergunakan dalam tes *pre-wetting* ini adalah 1%, 2%, 3%, 4%, 5% terhadap berat agregat kering. Dengan kadar 5% dilihat secara penglihatan visual agregat tersebut cukup basah namun air tidak mengalir, sehingga kadar air yang digunakan untuk *pre-wetting* sebesar 5% dari berat total agregat untuk semua variasi

Tabel 4 Hasil Pengujian Konsistensi dengan Kadar Air 8%

Bahan pengisi (<i>Filler</i>)		Hasil pre-wetting (%)	Penambahan air (%)	Hasil uji (cm)	Syarat (cm)
Fly Ash	Mastik				
100	0	5	8	1.75	
75	25	5	8	1.875	
50	50	5	8	1.75	2-3.
25	75	5	8	1.875	
0	100	5	8	1.875	

Tabel 5 Hasil Pengujian Konsistensi dengan Kadar Air 9%

Bahan pengisi (<i>Filler</i>)		Hasil pre-wetting (%)	Penambahan air (%)	Hasil uji (cm)	Syarat (cm)
Fly Ash	Mastik				
100	0	5	9	2.375	
75	25	5	9	2.625	
50	50	5	9	2.625	2-3.
25	75	5	9	2.375	
0	100	5	9	2.5	

Tabel 6 Hasil Pengujian Konsistensi dengan Kadar Air 10%

Bahan pengisi (<i>Filler</i>)		Hasil pre-wetting (%)	Penambahan air (%)	Hasil uji (cm)	Syarat (cm)
Fly Ash	Mastik				
100	0	5	10	3.25	
75	25	5	10	3.125	
50	50	5	10	3	2-3.
25	75	5	10	3.25	
0	100	5	10	3.375	

Dari hasil pengujian dengan variasi kadar air 8%,9%,10% dapat disimpulkan bahwa dengan kadar air optimum 9% campuran *slurry seal* dengan kadar aspal emulsi 13% dan semua variasi kadar *filler* dapat memberikan konsistensi penyebaran $\leq 2-3$ cm (lihat Tabel 5). Hal ini disebabkan faktor kadar air memegang peranan penting dalam uji konsistensi sedangkan komposisi variasi *filler* tidak berpengaruh signifikan hal ini disebabkan jika konsistensi tidak sesuai yang disyaratkan maka dapat menambahkan atau mengurangi kadar air dalam *slurry seal* agar memperoleh konsistensi sesuai dengan persyaratan.



Gambar 1 Pengujian Uji Konsistensi

Hasil Pengujian Setting Time

Tabel 7 Hasil Pengujian *Setting Time* dengan Variasi *Filler*

Bahan pengisi (<i>Filler</i>)		Hasil Uji (menit)	Syarat (menit)
Fly Ash	<i>Mastik</i>		
100	0	5	
75	25	5	
50	50	5	15-720
25	75	5	
0	100	5	



Gambar 2 Hubungan Hasil Pengujian *Setting Time* dengan Variasi *Filler*

Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa campuran *slurry seal* dengan 100% *filler fly ash* didapat *setting time* paling cepat dibandingkan komposisi *filler* yang lainnya dan ketika berkurangnya kadar *filler fly ash* atau bertambahnya *filler* mastik asbuton akan memperlambat kondisi *setting*, hal ini disebabkan karena *filler fly ash* memiliki sifat penyerapan air yang lebih besar dibandingkan dengan *filler* mastik asbuton. *Filler fly ash* memiliki nilai penyerapan air sebesar 0,47% sedangkan *filler* mastik asbuton hanya memiliki nilai penyerapan air sebesar 0,15%.



Gambar 3 Pengujian *Setting Time*

Pengujian Karakteristik *Marshall*

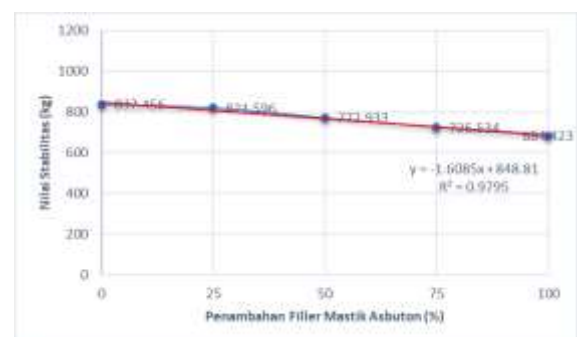
Pengujian campuran *slurry seal* terhadap karakteristik *Marshall* ini terdiri dari pemeriksaan volumetrik yaitu, VMA, VIM dan

VFA, serta pemeriksaan mekanis yaitu stabilitas, *flow*, dan MQ

1. Pengujian Stabilitas *Marshall*

Tabel 8 Hasil Perhitungan Stabilitas Dengan Variasi Penggunaan *Filler* Mastik Asbuton

Bahan pengisi (<i>Filler</i>)		Hasil Uji Stabilitas (Kg)
Fly Ash	<i>Mastik</i>	
100	0	837.4556
75	25	821.5958
50	50	772.9333
25	75	725.5343
0	100	684.4225



Gambar 4 Hubungan Penambahan Variasi *Filler* Mastik Asbuton dengan Nilai Stabilitas

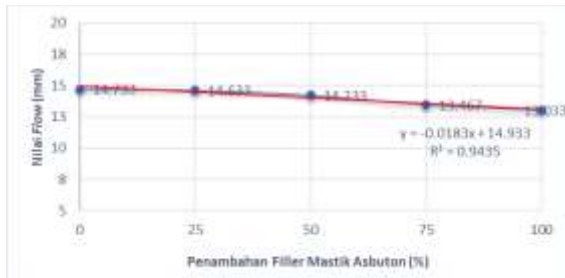
Bertambahnya kadar *filler* mastik asbuton atau berkurangnya kadar *filler fly ash* memberi pengaruh terhadap menurunnya nilai stabilitas. Penurunan nilai stabilitas setelah ditambahkan *filler* mastik asbuton dikarenakan mastik asbuton terdiri batu kapur dan bitumen sehingga seiring dengan bertambahnya *filler* mastik asbuton ini akan menyebabkan naiknya kadar aspal dan berkurangnya proporsi kadar *filler* pada campuran yang menyebabkan campuran menjadi lebih lentur sehingga nilai stabilitas mengalami penurunan.

2. Kelelahan (*Flow*)

Tabel 9 Hasil Perhitungan *Flow* dengan variasi penggunaan *filler* mastik asbuton

Bahan pengisi (<i>Filler</i>)		Hasil <i>Flow</i> (mm)
Fly Ash	<i>Mastik</i>	
100	0	14.733
75	25	14.633

50	50	14.233
25	75	13.467
0	100	13.033



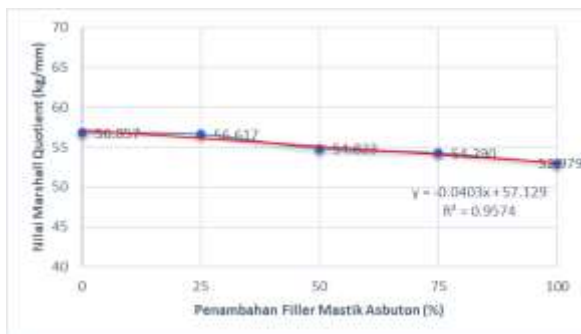
Gambar 5 Hubungan Penambahan Variasi *Filler* Mastik Asbuton dengan Nilai Kelelehan

Penambahan *filler* mastik asbuton atau berkurangnya kadar *filler fly ash* mengalami penurunan nilai *flow*, hal ini terjadi karena mastik asbuton terdiri dari batu kapur dan bitumen (aspal) sehingga dengan penambahan *filler* mastik asbuton maka kandungan aspal pada campuran akan bertambah dan mengakibatkan campuran tersebut menjadi lebih lentur.

3. Marshall Quotient

Tabel 10 Hasil Perhitungan *Marshall Quotient* dengan variasi penggunaan *filler* mastik asbuton

Bahan pengisi (<i>Filler</i>)		Hasil <i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)
Fly Ash	<i>Mastik</i>	
100	0	56.857
75	25	56.617
50	50	54.823
25	75	54.290
0	100	52.979



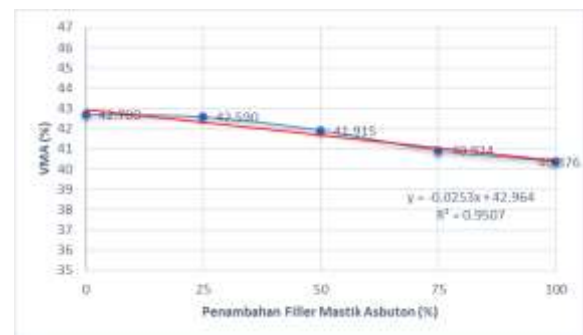
Gambar 6 Hubungan Penambahan Variasi *Filler* Mastik Asbuton dengan *Marshall Quotient*

Nilai MQ mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar *filler* mastik asbuton atau berkurangnya kadar *filler fly ash*. Hal ini disebabkan karena *filler* mastik asbuton mengandung aspal dan mineral batu kapur sehingga kadar aspal bertambah dan menjadikan campuran menjadi semakin lentur.

4. Rongga Diantara Agregat atau Void in Mineral Agregat (VMA)

Tabel 11 Hasil Perhitungan VMA dengan variasi penggunaan *filler* mastik asbuton

Bahan pengisi (<i>Filler</i>)		Hasil VMA (%)
Fly Ash	<i>Mastik</i>	
100	0	42.700
75	25	42.590
50	50	41.915
25	75	40.924
0	100	40.376



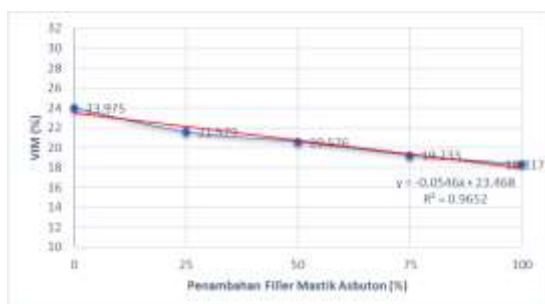
Gambar 7 Hubungan Penambahan Variasi *Filler* Mastik Asbuton dengan VMA

Nilai VMA mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya *filler* mastik asbuton atau berkurangnya kadar *filler fly ash*. Penurunan nilai VMA disebabkan karena mastik asbuton terdiri dari batu kapur dan bitumen (aspal) sehingga kadar aspal pada campuran bertambah, dengan bertambahnya kadar aspal menyebabkan agregat akan mudah bergerak, hal ini akan membuat pori antar agregat yang terbentuk menjadi lebih kecil.

5. Rongga Didalam Campuran Beraspal atau Void In The Mix (VIM)

Tabel 12 Hasil Perhitungan VIM dengan variasi penggunaan *filler* mastik asbuton

Bahan pengisi (<i>Filler</i>)		Hasil VIM (%)
Fly Ash	<i>Mastik</i>	
100	0	23.975
75	25	21.579
50	50	20.576
25	75	19.233
0	100	18.317



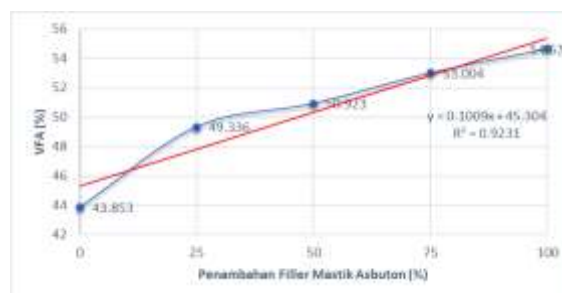
Gambar 8 Hubungan Penambahan Variasi *Filler* Mastik Asbuton dengan VIM

Dapat dilihat pada Gambar 8 terlihat bahwa nilai VIM mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *filler* mastik asbuton atau berkurangnya kadar *filler fly ash*, karena mastik asbuton terdiri dari batu kapur dan bitumen (aspal) sehingga campuran yang menyebabkan rongga yang seharusnya diisi oleh *filler* berkurang dan kadar aspal bertambah sehingga kadar aspal bertambah dan mengisi rongga rongga dalam campuran.

6. Rongga Terisi Aspal atau Volume of Void Filled With Asphalt (VFA)

Tabel 13 Hasil Perhitungan VFA dengan variasi penggunaan *filler* mastik asbuton

Bahan pengisi (<i>Filler</i>)		Hasil VFA (%)
Fly Ash	<i>Mastik</i>	
100	0	43.853
75	25	49.336
50	50	50.923
25	75	53.004
0	100	54.637



Gambar 9 Hubungan Penambahan Variasi *Filler* Mastik Asbuton dengan VFA

Nilai VFA mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar *filler* mastik asbuton atau berkurangnya kadar *filler fly ash*, hal ini disebabkan karena mastik asbuton terdiri dari batu kapur dan bitumen (aspal), sehingga kadar aspal dari mastik asbuton bertambah dan mampu mengisi lebih banyak rongga dalam campuran dan akan mempermudah peresapan ke dalam rongga campuran.

Dari hasil pengujian dan perhitungan parameter sifat volumetrik dan mekanis variasi *filler* pada campuran *slurry seal* diatas, dilakukan rekapitulasi hasil pengujian

Tabel 14 Rekapitulasi Perhitungan Karakteristik *Marshall Slurry Seal* Dengan Variasi *Filler*

Parameter	Variasi <i>Filler</i> *				
	FA 100%, MA 0%	FA 75%, MA 25%	FA 50%, MA 50%	FA 25%, MA 75%	FA 0%, MA 100%
VMA (%)	42.700	42.590	41.915	40.924	40.376
VIM (%)	23.975	21.579	20.576	19.233	18.317
VFA (%)	43.853	49.336	50.923	53.004	54.637
Stabilitan (Kg)	837.456	821.596	772.933	725.534	684.423
Flow (mm)	14.733	14.633	14.233	13.467	13.033
MQ (Kg/mm)	56.857	56.141	54.331	53.847	52.517

Setelah dilakukan rekapitulasi nilai dari karakteristik *Marshall* campuran *slurry seal* akan dicoba diaplikasikan sebagai perkerasan struktur berdasarkan nilai *Marshall* yang didapat.

Aplikasi Campuran *Slurry Seal* Sebagai Perkerasan Jalan

Pengujian *Marshall* bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik dan volumetrik dari suatu campuran aspal. Hasil dari pengujian harus memenuhi Spesifikasi Bina Marga sesuai dengan jenis perkerasan yang direncanakan. Dari hasil pengujian *Marshall* yang dilakukan pada campuran *slurry seal* ini akan dianalisis pengaplikasian campuran *slurry seal* sebagai perkerasan jalan. Jenis-jenis perkerasan jalan

struktur yang akan dicoba diaplikasikan antara lain, *Stone Matriks Asphalt*, lapis tipis aspal beton (LATASTON), lapis aspal beton (LASTON) *Cold Pavement Hot Mix Asbuton* (CPHMA). Dari analisis pengaplikasian campuran *slurry seal* sebagai perkerasan jalan struktur. Spesifikasi yang memenuhi pada semua jenis perkerasan hanya pada nilai stabilitas dan VMA sedangkan spesifikasi yang lain tidak memenuhi sehingga dapat disimpulkan bahwa *slurry seal* dengan berbagai variasi *filler* tidak bisa diaplikasikan sebagai perkerasan jalan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah disampaikan sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada masing-masing campuran *slurry seal* yang dibuat dengan penggunaan variasi kadar *filler fly ash* dan mastik Asbuton pada kadar aspal emulsi 13%, didapatkan campuran memiliki konsistensi optimum dengan pre-wetting 5% dan penambahan air 9% dihitung dari total berat kering agregat. Dari hasil pengujian penyebaran *slurry seal* dengan semua variasi campuran pada alas plat uji kerucut konsistensi diperoleh besarnya penyebaran 2-3 cm, hal ini sesuai dengan persyaratan dari bina marga yang mensyaratkan 2-3 cm.
2. Seiring dengan bertambahnya kadar *filler* mastik Asbuton dan berkurangnya kadar *filler fly ash* didapatkan nilai setting time semakin besar, hal ini disebabkan karena *filler fly ash* memiliki sifat penyerapan air yang lebih besar dibandingkan dengan *filler* mastik Asbuton. *Filler fly ash* memiliki nilai penyerapan air sebesar 0,47% sedangkan *filler* mastik Asbuton hanya memiliki nilai penyerapan air sebesar 0,15%
3. Bertambahnya kadar *filler* mastik Asbuton dan berkurangnya kadar *filler fly ash* memiliki pengaruh terhadap nilai karakteristik mekanis Marshall pada campuran yaitu didapatkan nilai mekanis Marshall mengalami penurunan. Bertambahnya kadar *filler* mastik

Asbuton dan berkurangnya kadar *filler fly ash* memiliki pengaruh terhadap nilai karakteristik volumetrik Marshall pada campuran yaitu didapatkan nilai VMA dan VIM mengalami penurunan sedangkan nilai VFA mengalami kenaikan.

4. Dari pengujian Marshall yang dilakukan dicoba pengaplikasian campuran *slurry seal* sebagai perkerasan jalan seperti ; Split Matriks Asphalt, LASTON, LATASTON, LATASIR, CPHMA. Spesifikasi tidak memenuhi sehingga \ *slurry seal* ini tidak bisa diaplikasikan sebagai perkerasan jalan.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan nilai *Marshall* (mekanis dan volumetrik) dengan membuat gradasi sesuai dengan gradasi perkerasan jalan
2. Kadar aspal emulsi CSS-1h perlu dibuat beberapa variasi dengan interval 0.5% dari perhitungan kadar aspal emulsi untuk mengetahui kadar aspal yang lebih optimal

Daftar Pustaka

- Administrator,(2007). Aspal Buton Indonesia. <http://Asbutonglobalindo.blogspot.com/2007/11/mastic-Asbuton.html>
- Adnan, M. S. (2012). Kajian Karakter Slurry Seal dengan Filler Campuran Semen dan Fly Ash (Tinjauan Uji Konsistensi, Setting Time, dan ITS). <https://digilib.uns.ac.id/dokumen/detail/26384/Kajian-karakter-slurry-seal-dengan-filler-campuran-semen-dan-fly-ash-tinjauan-uji-konsistensi-setting-time-dan-its-The-Study-of-Character-Slurry-Seal-with-Filler-Cement-and-Fly-Ash-Mixture-Review-of-Test-Cons>
- Anonim (2008). Pemeliharaan Jalan dengan Menggunakan Bubur Aspal Emulsi (*Slurry Seal*) Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga:Jakarta
- Anonim (2015). Pedoman Perancangan dan Pelaksanaan Penutup Dengan Bubur Aspal Emulsi. Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat:Jakarta
- Anonim (2015). *Slurry Seal Untuk Pemeliharaan Preventif* Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat:Jakarta

- Dukatz E.L, Anderson D.A (1978), The Effect of Various Filler on The Mechanical Behavior of Asphalt and Asphaltic Concrete, *Proceeding AAPT*, volume 40.
- Hadi Rianto., R (2007). Pengaruh Abu Sekam Sebagai Bahan Filler Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat (Cebr). Tesis Magister, Universitas Diponegoro Semarang, Semarang
- Karyawan et al., 2022. Characteristics of fly ash geopolymer based on alkaline ratio of activators for building materials: A review. *Teknika: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 18(1), 18. <https://doi.org/10.36055/tjst.v18i1.15410>
- Mardawa, I. G., Ahyudanari, E., & Murtiadi, S. (2020). Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal Dingin dengan Asbuton Akibat Dari Penggunaan Aditif Wetfix-BE. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 6(1), 50–60. <https://doi.org/10.29303/jstl.v6i1.149>
- Maryoto, A. (2008). Pengaruh Penggunaan High Volume Fly Ash Pada Kuat Tekan Mortar. *Teknik Sipil & Perencanaan*, 10(2), 103–113.
- Mutohar, Y (2002). Evaluasi Pengaruh Bahan Filler Fly Ash Terhadap Karakteristik Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR). Tesis Magister, Universitas Diponegoro Semarang, Semarang.
- Oikonomou, N., & Eskioglou, P. (2018). Alternative fillers for use in slurry seal. *Global NEST Journal*, 9(2), 182–186. <https://doi.org/10.30955/gnj.000421>
- Raharjo, N. E. (2008). Pengaruh Penggunaan Aspal Buton sebagai Filler Campuran Split Mastic Asphalt terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan UNY*, 17(1), 39–60.
- Sita, T. (2021). Slurry Seal: Teknologi Pada Preservasi Perkerasan Lentur. *Journal of Airport Engineering Technology (JAET)*, 1(2), 43–47. <https://doi.org/10.52989/jaet.v1i2.17>
- SNI 03-1968-1990 Tentang Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. Jakarta, Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 06-2489. (1991). Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall. Badan Standardisasi Nasional, 1, 7.
- SNI 03-3643-1994. (1994) Metode Pengujian Aspal Emulsi Tertahan Saringan No.20. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta
- SNI 03-3644-1994. (1994) Metode Pengujian Jenis Muatan Partikel Aspal Emulsi. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta
- SNI 03-3642-1996. (1996). Metode Pengujian Kadar Residu Aspal Emulsi Dengan Penyulingan. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta
- SNI 03-6819-2002. (2002). Spesifikasi Agregat Halus untuk Campuran Perkerasan Beraspal. Badan Standardisasi Nasional (BSN), 4, 1–2.
- SNI 06-6721-2002. (2002). Tentang Metode Pengujian Kekentalan Aspal Cair Dan Aspal Emulsi Dengan Alat Saybolt. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta
- SNI 4798:2011. (2011). Spesifikasi Aspal Emulsi Kationik, Badan Standardisasi Nasional: Jakarta
- SNI 6828-2012. (2012). Metode Uji Pengendapan dan Stabilitas Penyimpanan Aspal Emulsi. Badan Standardisasi Nasional: Jakarta
- SNI 8460:2017. (2018). Spesifikasi Umum 2018. Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, Revisi 2, 6.1-6.104.
- Setiowati, R., & Putra, M. F. (2023). Struktur Biaya Produksi Aspal Buton Untuk Kebutuhan Infrastruktur Sebagai Substitusi Impor. 1, 35–42. <https://doi.org/10.52330/jtm.v21i1.94>
- Surat, S., Gazalie, R., & Mumamiroh, P. (2018). Perencanaan Campuran Lapis Aspal Beton Permukaan Dengan Asbuton Butir Sebagai Filler. *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.31961/gradasi.v2i1.574>
- V. C., Kaseke, O. H., & Manoppo, M. R. E. (2015). Pengaruh Suhu dan Durasi Terendamnya Perkerasan Beraspal Panas Terhadap Stabilitas Dan Kelelahan (Flow). *Sipil Statik*, 3(2), 85–90. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/6862>