

**MODEL PENAMBAHAN ASBUTON UNTUK SLURRY SEAL
(TINJAUAN UJI KONSISTENSI, SETTING TIME DAN INDIRECT TENSILE STRENGTH)
PELAKSANAAN JALAN NASIONAL RUAS GEMPOL – BATAS KOTA BANGIL KM.
34+160 – 43+55**

Dul Japar¹, Yuyu Sriwahyuni Hamzah^{2*}

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sunan Giri Surabaya Indonesia

Email: duljapar01@gmail.com¹, yuyu.sriwhy@gmail.com^{2*}

Abstract

Slurry seal is made by mixing evenly fine graded aggregate content, mineral fillers, water and other additives to emulsified asphalt without heating, then applied to the surface in form of slurry to achieve maximum thickness, with 10mm Slurry seal thickness deployment. The addition of asbuton is intended to improve quality of slurry seal mixture and increase resistance of slurry seal to vehicle traffic loads. Purpose of this study was to determined results of adding asbuton through laboratory experiments. Testing conducted with slurry seal type III is testing the consistency, timing and Indirect Tensile Strength (ITS). Making And Testing The test object is based on specifications special Planning Asphalt emulsion slurry (Slurry Seal) on Bina Marga (2018). As a control mixture slurry seal consistency test conducted to review levels get optimum air followed before test timings And Indirect Tensile Strength test (ITS). Results show of analysis addition of water content 14% increase as much as 17% consistency asbuton average spread value ≤ 3 cm keep consistency in accordance with the requirements from Bina Marga. Extra asbuton make faster setting time into 10 minutes of normal mixture without addition asbuton, The value of the Indirect Tensile Strength (ITS) tend to rise to the point of optimum residual bitumen content (KARO) 7.5%. The addition of as much as 17% asbuton create value Indirect Tensile Strength (ITS) being to 11,07 kpa compared with no addition of asbuton (9,35 kpa).

Article History

Submitted: 19 Desember 2023

Accepted: 24 Desember 2023

Published: 25 Desember 2023

Key Words

Slurry Seal, Setting Time, Consistency, Indirect Tensile Strength.

Abstrak

Slurry seal dibuat dengan mencampurkan secara merata kandungan agregat bergradasi halus, bahan pengisi mineral, air dan bahan tambahan lainnya terhadap aspal emulsi tanpa pemanasan, kemudian diaplikasikan ke permukaan dalam bentuk slurry untuk mencapai ketebalan yang maksimal, dengan ketebalan 10mm. Penyebaran slurry seal. Penambahan asbuton dimaksudkan untuk meningkatkan kualitas campuran slurry seal dan meningkatkan ketahanan slurry seal terhadap beban lalu lintas kendaraan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hasil penambahan asbuton melalui percobaan laboratorium. Pengujian yang dilakukan *slurry seal* dengan tipe III adalah pengujian konsistensi, *setting time* dan *Indirect Tensile Strength* (ITS). Pembuatan dan pengujian benda uji didasarkan pada spesifikasi khusus *Perencanaan Bubur Aspal Emulsi* (Slurry Seal) dari Bina Marga (2018). Sebagai kontrol campuran *slurry seal* dilakukan pengujian konsistensi untuk mendapatkan kadar air optimum sebelum dilanjutkan dengan uji *setting time* dan uji *Indirect Tensile Strength* (ITS). Menunjukkan dengan hasil analisis penambahan kadar air 14% penambahan asbuton sebanyak 17% konsistensi penyebaran rata-rata ≤ 3 cm nilai konsistensi tetap sesuai dengan persyaratan dari Bina Marga. Penambahan asbuton membuat *setting time* menjadi lebih cepat 10 menit dari campuran normal tanpa penambahan asbuton, Hasil nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) cenderung naik sampai titik kadar aspal residu optimum (KARO) 7,5%. Penambahan asbuton sebanyak 17% membuat nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) naik menjadi 11,07 kpa dibandingkan dengan tanpa penambahan asbuton (9,35 kpa)

Sejarah Artikel

Submitted: 19 Desember 2023

Accepted: 24 Desember 2023

Published: 25 Desember 2023

Kata Kunci

Slurry Seal, Setting Time, Konsistensi, Indirect Tensile Strength.

Pendahuluan

Kinerja jalan sudah pasti akan mengalami penurunan sejalan dengan repetisi beban lalu-lintas yang dilayaninya, cuaca atau kualitas bahan kurang baik. Disamping itu, tuntutan pengguna jalan mengharapkan kecepatan (waktu tempuh) karena terkait dengan biaya perjalanan yang lebih efisien serta pengguna jalan mungkin menuntut pula estetika dan kebersihan lingkungan (bebas kebisingan dan polusi).

Selama ini pemeliharaan umumnya dilaksanakan setelah terjadinya kerusakan pada permukaan perkerasan yang dilihat secara visual, seperti lubang, keriting, alur atau retak. Mengharap kondisi yang tidak stabil menyebabkan biaya perawatan yang tinggi. Model pemeliharaan menunggu hingga perkerasan rusak atau biasa disebut reactive maintenance menjadi tidak efisien dan mahal. Berdasarkan atas tuntutan pengguna jalan serta dalam upaya mengoptimalkan pengelolaan jalan maka pemeliharaan jalan sebaiknya dilakukan dengan preventif. Pemeliharaan preventif adalah penerapan penanganan sebelum terjadi penurunan kondisi yang signifikan. Secara umum pemeliharaan preventif memperpanjang umur perkerasan dan biasanya dijadwalkan.

Salah satu metode pemeliharaan preventif atau preservasi adalah teknik Slurry Seal. Teknologi campuran ini sudah lama digunakan di negara maju, namun di Indonesia teknologi ini masih jarang digunakan, padahal teknik pencampuran ini ramah lingkungan karena pencampuran dan pengaplikasiannya dilakukan dalam keadaan dingin. Salah satu hambatan penggunaan teknologi *Slurry Seal* adalah ketersediaan alat penghampar.

Penelitian mengenai *Slurry Seal* ini bertujuan untuk mengevaluasi keandalannya pada skala laboratorium serta tingkat kemudahan kerjanya pada aplikasi di lapangan yang dilakukan secara manual. Dalam upaya untuk meningkatkan kualitas campuran *Slurry Seal* yang baik maka diperlukan suatu modifikasi, dalam penelitian ini dilakukan penambahan *asbuton*, dalam hal ini mengacu pada referensi SNI 4798; 2011, *spesifikasi aspal emulsi kationik*. Kenyataan yang ada di lapangan adalah kala suatu perkerasan jalan menerima beban lalu-lintas diatasnya, material lapisan permukaan yang bagian atas akan menerima gaya tekan, sedangkan lapisan material bagian bawah nya akan mendapatkan suatu gaya tarik, untuk itulah diperlukan juga kemampuan tentang suatu material untuk menerima gaya tarik yaitu dengan menggunakan alat ITS.

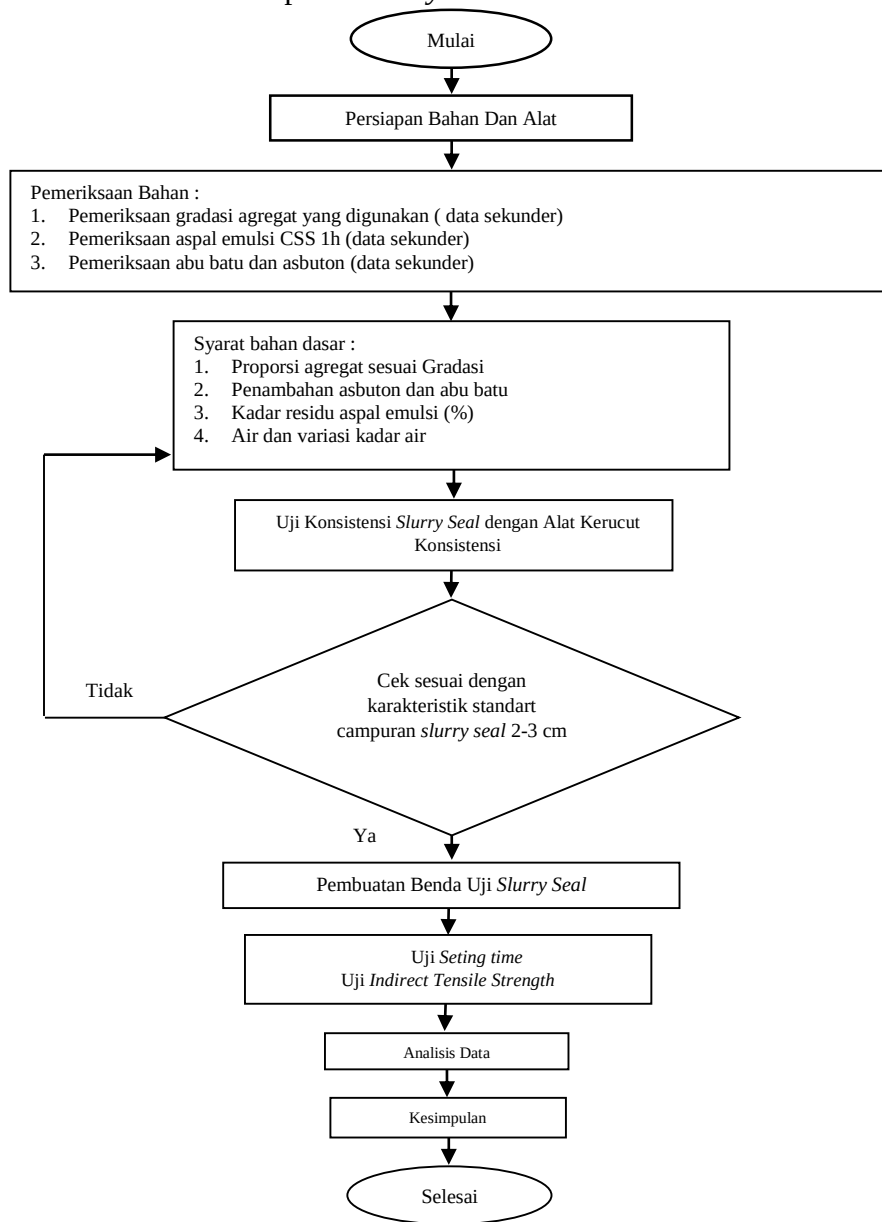
Disaat suatu beban roda kendaraan bergerak melambat dan berhenti atau bergerak akan menimbulkan suatu gaya tekan yang menyebabkan terjadinya lendutan dan saat itu juga lapisan atas bagian bawah akan memberikan reaksi dan terjadi gaya tarik, akibat gaya tarik inilah yang menjadi salah satu sebab terjadinya retak, dalam kasus ini retak terjadi dari bawah dan merambat ke permukaan. Disinilah fungsi dari *Indirect Tensile Strength* (ITS) yang merupakan suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal beton. Dari latar belakang diatas maka tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa besaran nilai uji konsistensi dan nilai *setting timer* pada penambahan *asbuton* dalam campuran *slurry seal*, serta untuk menganalisa besaran nilai pada penambahan *asbuton* dalam campuran *slurry seal* terhadap nilai *Indirect Tensile Strength*.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Dalam penelitian ini dilakukan di Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional (BBPJN) Jawa Timur-Bali,

Jalan Raya Waru nomor 20 Sidoarjo. Lokasi penelitian ini dilaksanakan diruas jalan Nasional Gempol- Batas Kota Bangil Km, 34+160 sampai dengan Km 43+550 di Desa Cangkring Malang Kecamatan Beji Kabupaten Pasuruan Provinsi Jawa Timur.

Data primer dalam penelitian ini meliputi seperti pemeriksaan nilai konsistensi dengan alat kerucut konsistensi, pemeriksaan waktu pemantapan (*setting time*), dan hasil uji kuat tarik tidak langsung *Indirect Tensile Strength* (ITS). Data sekunder dari penelitian ini meliputi penelitian tentang aspal emulsi, penelitian tentang asbuton, dan spesifikasi aspal emulsi dari PT. Grasindo Sidoarjo. Analisis Data diperoleh dari hasil pengujian dianalisis untuk menentukan besaran nilai uji konsistensi, besaran nilai uji *setting time* dan besaran nilai uji *Indirect Tensile Strength* pada penambahan asbuton dalam campuran *slurry seal*.



Gambar 1. Diagram Alir

Hasil dan Pembahasan**Hasil Pemeriksaan Aspal Emulsi**

Kajian aspal emulsi diperoleh dari data pengujian PT. Grasindo, Sidoarjo itu sendiri. Aspal emulsi tipe CSS-1h yang digunakan sebagai aspal emulsi. Selama pemeriksaan yang dilakukan, diketahui bahwa aspal emulsi yang digunakan memenuhi standar aspal dingin berdasarkan persyaratan yang ditentukan. Hasil pengujian aspal keras disajikan pada Tabel 1. sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Aspal Emulsi CSS-1h

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi*)	Satuan
1	Kekentalan saybolt furol pada 25°C	SNI 03-6721-2002	26.32	20-100	Detik
2	Stabilitas penyimpanan 24 jam	SNI 03-6828-2002	0.24	Max. 1	%
3	Muatan listrik partikel	SNI 03-3644-1994	Positif	Positif	-
4	Analisa saringan tertahan No. 20	SNI 03-3643-2002	0	Max. 0.1	% lolos
5	Penyulingan kadar residu	SNI 03-3642-1994	59.14	Min. 57	%
6	Penetrasi residu	SNI 06-2456-1991	72.67	40-90	0.1 mm
7	Daktilitas residu	SNI 06-2432-1991	68	Min. 40	Cm
8	Kelarutan residu dalam C ₂ HCl ₃	SNI 06-2438-1991	97.898	Min. 97.5	%

Sumber : PT Grasindo, Sidoarjo

Adapun dalam penelitian I Wayan Muliawan, 2011, didapatkan data berat jenis aspal jenis CSS-1h sebesar 1,014 gr/cm³. Dengan demikian, hasil penelitian aspal emulsi yang dilakukan membuktikan bahwa aspal emulsi yang digunakan memenuhi syarat dari peraturan yang berlaku.

Hasil Pemeriksaan Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari PT.Grasindo yang termasuk golongan *fine aggregate* (FA). Pemeriksaan agregat yang diuji adalah *coarse aggregate* (CA), *medium aggregate* (MA), *fine aggregate* (FA) dan *natural sand* (NS). Secara visual sesuai Gambar VII, agregat yang berasal dari PT.Grasindo memiliki bentuk umum yang bersudut (*cubical*) dan tekstur permukaan yang kasar. Hasil pemeriksaan agregat disajikan pada Tabel 13.- Tabel 2. sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan Coarse Agregat (CA)

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Satuan	Spesifikasi
1	Penyerapan	2,659 %	%	maks.3%
2	Berat jenis <i>bulk</i>	2,550 gr/cc	gr/cc	min.2,5 gr/cc
3	Berat jenis SSD	2,618 gr/cc	gr/cc	min.2,5 gr/cc
4	Berat jenis <i>apparent</i>	2,736 gr/cc	gr/cc	-

Tabel 3. Hasil pemeriksaan Medium Agregat (MA)

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Satuan	Spesifikasi
1	Penyerapan	2,680 %	%	maks.3%
2	Berat jenis <i>bulk</i>	2,627 gr/cc	gr/cc	min.2,5 gr/cc
3	Berat jenis SSD	2,697 gr/cc	gr/cc	min.2,5 gr/cc
4	Berat jenis <i>apparent</i>	2,826 gr/cc	gr/cc	-

Tabel 4. Hasil pemeriksaan Fine Agregat (FA)

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Satuan	Spesifikasi
1	Penyerapan	2,093 %	%	maks.3%
2	Berat jenis <i>bulk</i>	2,665 gr/cc	gr/cc	min.2,5 gr/cc
3	Berat jenis SSD	2,720 gr/cc	gr/cc	min.2,5 gr/cc
4	Berat jenis <i>apparent</i>	2,881 gr/cc	gr/cc	-

Tabel 5. Hasil pemeriksaan Natural Sand (NS)

No	Jenis Pemeriksaan	Hasil	Satuan	Spesifikasi
1	Penyerapan	2,104 %	%	maks.3%
2	Berat jenis <i>bulk</i>	2,579 gr/cc	gr/cc	min.2,5 gr/cc
3	Berat jenis SSD	2,633 gr/cc	gr/cc	min.2,5 gr/cc
4	Berat jenis <i>apparent</i>	2,784 gr/cc	gr/cc	-

Pemeriksaan *fiiller* semen diambil berupa data sekunder dari penelitian Emrizal, 2009.

Tabel 6. Hasil pemeriksaan *filler*

No	Jenis <i>filler</i>	Berat Jenis
1	Semen	1.153 gr/cm ³

2	Asbuton	1.045 gr/cm ³
---	---------	--------------------------

Sumber : Lab
Pengujian

BBPJN Jawa Timur-Bali (2023)

Perencanaan Gradasi Slurry Seal

Perencanaan gradasi campuran *slurry seal* berdasarkan pada ASTM D3910 Tipe III. Penelitian ini menggunakan spesifikasi tipe III karena tipe ini digunakan sebagai perbaikan pada jalan yang raveling dan oksidasi serta memperbaiki kesesatan permukaan jalan. Rencana gradasi yang digunakan disajikan pada Tabel 18. sebagai berikut :

Tabel 7. Perencanaan Gradasi Campuran 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

Rencana gradasi campuran pada penelitian merupakan nilai yang diambil dari penelitian N. Oikonomou (2007).

Estimasi Kadar Aspal Residu

Setelah proporsi masing-masing agregat ditentukan, selanjutnya dilakukan perhitungan kadar aspal residu awal perkiraan yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam menentukan variasi kadar aspal residu. Perhitungannya adalah sebagai berikut:

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

$P = 7,4025 \% \approx 7,5 \%$ sehingga kadar aspal residu yang dipakai dalam penelitian antara 6,5% - 8,5%

Dengan kadar aspal residu awal 7 % dipergunakan sebagai dasar dalam tes *pre-wetting* (pembasahan awal). Berdasarkan kadar aspal residu awal diperkirakan Kadar Aspal Emulsi awal (KAE) = (P/X) % dari berat total campuran. Aspal Emulsi yang dipergunakan adalah Aspal Emulsi *Cationic Slow Setting 1-h* (CSS-1h) produksi PT. Grasindo, Sidoarjo, Jawa Timur, dimana kadar residunya sebesar 65 % (data sekunder hasil pengujian). Dengan demikian Kadar Aspal Emulsi dalam campuran adalah $7/0,65 \times 100 \% = 10,8 \%$ terhadap total campuran.

Hasil Pengujian Slurry Seal

Pengujian dari penelitian ini diawali dengan pengujian konsistensi campuran kemudian dilanjutkan pengujian setting time dan *Indirect Tensile Strength* (ITS) campuran slurry seal dengan benda uji yang dicetak pada cetakan benda uji. Pengujian konsistensi ini menggunakan alat kerucut konsistensi dimaksudkan untuk menentukan tingkat workable dan sebagai kontrol pembuatan benda uji campuran slurry seal. Selanjutnya, akan mendapatkan kadar air optimum (pengujian konsistensi) pada campuran slurry seal yang nantinya akan dipakai pada perencanaan pembuatan benda uji untuk setting time dan *Indirect Tensile Strength* (ITS).

Hasil Pengujian Konsistensi

Sebelum pengujian ini dilaksanakan, terlebih dahulu dilakukan *pre-wetting* (pembasahan awal) dengan menggunakan agregat kering yang sudah diproporsikan sesuai gradasi, kemudian dilembabkan secara merata dengan cara memberikan variasi kadar air. Kadar air yang dipergunakan dalam tes *pre-wetting* ini adalah 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5% terhadap berat agregat kering. Dengan penglihatan visual, ternyata dengan kadar *pre-wetting* 5 % agregat tersebut cukup basah namun air tidak mengalir.



Gambar 2. Pre-Wetting pada Agregat Kering

Sumber : Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur - Bali, Jalan Raya Waru nomor 20 Sidoarjo.

Langkah berikutnya dengan menentukan kadar air sesungguhnya, yaitu kadar air yang memberikan nilai konsistensi optimum campuran dengan melakukan pengujian konsistensi. Adapun hasil pengujian konsistensi dapat disajikan pada Tabel 8 sampai 10 berikut.

Tabel 8. Hasil Uji Konsistensi Kadar Residu Aspal Emulsi 7 %

Komposisi Bahan Campuran (%)							Syarat
Uji	Agregat	Asbuton	kadar residu aspal Emulsi	Hasil Pre-wetting	Penambahan Air	Hasil Uji (cm)	
I	100	17	7	5	14	2,3	2-3 cm
II	100	17	7	5	14	2,6	
III	100	17	7	5	14	2,4	
IV	100	17	7	5	14	2,3	
V	100	17	7	5	14	2	

Tabel 9. Hasil Uji Konsistensi Kadar Residu Aspal Emulsi 7,5 %

Komposisi Bahan Campuran (%)						
Uji	Agregat	Asbuton	kadar residu aspal Emulsi	Hasil Pre-wetting	Penambahan Air	Hasil Uji (cm)
I	100	17	7,5	5	14	2,5
II	100	17	7,5	5	14	2,4
III	100	17	7,5	5	14	2,4
IV	100	17	7,5	5	14	2,6
V	100	17	7,5	5	14	2,4

2-3 cm

Tabel 10. Hasil Uji Konsistensi Kadar Residu Aspal Emulsi 8 %

Komposisi Bahan Campuran (%)						
Uji	Agregat	Asbuton	kadar residu aspal Emulsi	Hasil Pre-wetting	Penambahan Air	Hasil Uji (cm)
I	100	17	8	5	14	2,6
II	100	17	8	5	14	2,7
III	100	17	8	5	14	2,6
IV	100	17	8	5	14	2,8
V	100	17	8	5	14	2,8

2-3 cm

**Gambar 3. Pengujian Konsistensi dengan Alat Kerucut Konsistensi**

Sumber : Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur - Bali, Jalan Raya Waru nomor 20 Sidoarjo.

Hasil Pengujian Setting Time

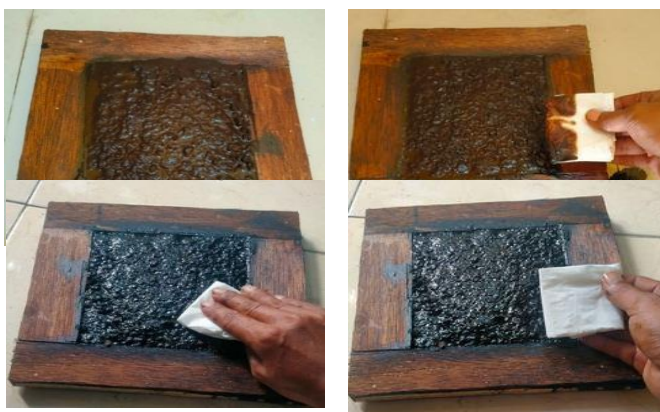
Pengujian *setting time* merupakan suatu metode untuk menentukan waktu yang dibutuhkan oleh aspal emulsi sejak pencampuran sampai pada saat aspal emulsi mulai mengeras pada *slurry seal*. Awal saat pencampuran ditandai dengan warna coklat seperti lumpur menjadi warna coklat kehitam-hitaman dan ketika *setting* telah selesai pada permukaan agregat tidak terdapat noda coklat.

Setting time ini dilakukan dengan menggunakan kertas putih atau tissue yang disentuh pada campuran *slurry seal* yang dituangkan pada cetakan kayu berukuran 152 mm x 152 mm x 10 mm. Penyetuhan awal dilakukan setelah 15 menit atau dibiarkan menyerap pada permukaan *slurry seal*, jika tidak dijumpai noda coklat di atas permukaan tissue tersebut, maka lapisan permukaan campuran itu dianggap sudah bereaksi, jika timbul noda coklat, maka prosedur penyerapan diulang untuk interval 15 menit. Sesudah penyerapan 3 jam, interval penyerapan dibuat 30 menit atau yang lebih lama. Hasil *setting time* dengan suhu permukaan 29^oc dapat dilihat pada tabel 11 berikut.

Tabel 11. Hasil Pengujian Setting Time Rata-Rata (menit)

Komposisi Bahan Susun *)				Kadar Residu Aspal Emulsi (%)		
Agregat	Air	Semen	Asbuton	7	7,5	8
100	14	0	0	100	105	135
100	14	2	17	90	95	125

*) dihitung terhadap berat agregat



Gambar 4. Penyetuhan tissue pada Pengujian Setting Time

Sumber : Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional (BBPJN) Jawa Timur - Bali, Jalan Raya Waru nomer 20 Sidoarjo

Hasil Pemeriksaan Densitas, SGmix dan Porositas

Benda uji yang telah selesai dioven selama 24 jam pada suhu 60°C dan didiamkan selama 24 jam, dilakukan pemeriksaan *volumetrik* untuk mengetahui nilai densitas, SGmix dan porositas. Pemeriksaan ini dilakukan dengan mengukur tinggi empat sisi dan diameter pada benda uji serta menimbang berat benda uji (dalam keadaan udara) sebelum dilakukan pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS). Dari sinilah didapatkan hubungan kadar aspal residu emulsi dengan nilai densitas, dan porositas dari masing-masing campuran.

a) Densitas

Densitas menunjukkan nilai kepadatan pada *mix design slurry seal* pada benda uji yang dibuat. Karena benda uji ini dalam bentuk *slurry* (bubur) maka tidak dilakukan penumbukan seperti halnya *Marshall*, melainkan dituangkan dalam cetakan dalam bentuk *mould* dengan tinggi dan diameter tertentu sesuai kadar aspal emulsi. Dalam penuangan campuran menjadi hal terpenting untuk menentukan tingkat densitas pada benda uji yang dibuat.

Hasil perhitungan contoh densitas sebagai berikut :

Contoh benda uji :

kadar aspal residu = 6,5% dengan Asbuton = 17%.

Berat benda uji di udara (Ma) = 850 gram

Tinggi rata-rata benda uji (h) = 6,87 cm

Diameter benda uji (d) = 10 cm

$$D = \frac{4 \cdot Ma}{\pi \cdot d^2 \cdot h} = \frac{4 \times 850}{3,14 \times (10)^2 \times 6,87} = 1,58 \text{ gr/cm}^3$$

Sedangkan hasil nilai densitas rata-rata dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Hasil Rekapitulasi Nilai Densitas Rata-rata

No kode	Kadar Residu Aspal Emulsi (%)	Campuran		Nilai rata-rata Densitas (gr/cm ³)
		semen	Asbuton	
1	7	2	17	1,61
	7,5	2	17	1,63
	8	2	17	1,7
2	7	2	17	1,51
	7,5	2	17	1,54
	8	2	17	1,58
3	7	2	17	1,61
	7,5	2	17	1,64
	8	2	17	1,66
4	7	2	17	1,52
	7,5	2	17	1,59
	8	2	17	1,64
5	7	2	17	1,63
	7,5	2	17	1,62
	8	2	17	1,7

b) Spesific Grafity (SGmix)

Spesific grafity adalah berat jenis *slurry seal* yang dibuat. Untuk menghitung nilai tersebut digunakan rumus 2.2 pada Bab 2 sebelumnya. Perhitungan *Sgmix* campuran pada beberapa variasi kadar aspal residu adalah sebagai berikut.

Campuran *slurry seal* dengan campuran Semen = 2%, Asbuton = 17 %

Kadar aspal residu 6,5 %

%W_{agr} = 92,5 %

%W_f = 7,5 %

%W_a = $\frac{6,5}{0,65} = 10\%$

SG_{ag} = 2,88 gr/cm³ (data dari PT.Grasindo)

SG_{f(pan)} = 2,234 gr/cm³

SG(semen) = 0,02 gr/cm³

SG_{f(asbuton)} = 0,17gr/cm³

SG_a = 1,01 gr/cm³ (penelitian aspal CSS 1-h I Wayan Muliawan, 2011)

$$SG_{mix} = \frac{100}{\frac{\%W_{agr}}{SG_{ag}} + \frac{W_1}{SG_{f(pan)}} + \frac{W_{semen}}{SG_{semen}} + \frac{W_{ab}}{SG_{ab}} + \frac{W_a}{SG_a}}$$

$$= \frac{100}{\frac{92,5}{2,88} + \frac{7,5}{2,26} + \frac{0,3}{0,17} + \frac{8}{2,6184} + \frac{10}{1,01}}$$

$$= 2,1 \text{ gr/cm}^3$$

Tabel 13. Hasil Rekapitulasi Perhitungan nilai *Specific Grafity* (SG_{mix})

Campuran				
no kode	Kadar Residu Aspal Emulsi (%)	semen	Asbuton	Nilai SG _{mix} (gr/cm ³)
1	7	2	17	2,12
	7,5	2	17	2,09
	8	2	17	2,05
2	7	2	17	2,10
	7,5	2	17	2,07
	8	2	17	2,04
3	7	2	17	2,09
	7,5	2	17	2,06
	8	2	17	2,02
4	7	2	17	2,07
	7,5	2	17	2,04

8	2	17	2,01
7	2	17	2,05
7,5	2	17	2,03
8	2	17	1,99

c) Porositas

Porositas (*Void In Mix*) menunjukkan kandungan udara dalam campuran perkerasan. Porositas ini dipengaruhi oleh densitas dan berat jenis campuran *slurry seal*.

Berikut adalah hasil perhitungan untuk contoh porositas:

Contoh benda uji :

kadar aspal residu = 6,5% dengan Semen = 2%, Asbuton = 17%.

Densitas (D) = 1,59 gr/cm³

Sgmix = 2,21 gr/cm³

Oleh karena itu, besarnya porositas (P) pada rumus 2.4 :

$$P = 1 - \left(\frac{D}{S_{gmix}} \right) \times 100\% = \left(1 - \frac{1,59}{2,21} \right) \times 100\% = 28,68\%$$

Tabel 14. Hasil Nilai Porositas Rata-rata

Campuran				
No kode	Kadar Residu Aspal Emulsi (%)	semen	Asbuton	Nilai Porositas rata-rata (%)
1	7	2	17	23,97
	7,5	2	17	25,77
	8	2	17	17,43
2	7	2	17	28,29
	7,5	2	17	25,77
	8	2	17	22,63
3	7	2	17	22,83
	7,5	2	17	20,24
	8	2	17	17,99
4	7	2	17	26,40
	7,5	2	17	22,28
	8	2	17	18,26
5	7	2	17	20,48
	7,5	2	17	20,22
	8	2	17	15,93

Hasil Pengujian Indirect Tensile Strength (ITS)

Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS) bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tarik dari suatu campuran. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya deformasi pada lapisan perkerasan. Pada pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS) juga didapat nilai kuat tarik tidak langsung dalam satuan *pound (lb)*. Kemudian dari hasil pengujian tersebut dilakukan perhitungan nilai kuat tarik tidak langsung dalam satuan KPa. Sebagai contoh perhitungan *Indirect Tensile Strength* (ITS) adalah sebagai berikut :

Hasil pembacaan dial	= 1,5 <i>lb</i>
Konversi satuan dial	= 1,5 x 0,454
	= 0,681kg
Hasil kuat tarik tidak langsung terkalibrasi (Pi)	= 0,681 x 33,272
	= 22,65823
Tinggi rata-rata benda uji (h)	= 0,06873 m
Diameter benda uji (d)	= 0,1 m

Besarnya kuat tarik tidak langsung terkoreksi, dihitung memakai Rumus 2.5 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 ITS &= \frac{2 \times P_i}{\pi \times d \times h} \\
 &= \frac{2 \times 22,65832}{3,14 \times 0,1 \times 0,06873} \\
 &= 2099.96288 \text{ kg/m}^2 \\
 &= 20,60064 \text{ Kpa}
 \end{aligned}$$

Tabel 15. Rekapitulasi Hasil Pengujian Indirect Tensile Strength (ITS)

Kadar Residu Aspal Emulsi (%)	Campuran		Nilai Indirect Tensile Strength Rata - Rata	
	semen	Asbuton	(Kg/m ²)	Kpa
7	0	0	837.5	8.22
7,5	0	0	953.3	9.35
8	0	0	827.7	8.12
7	2	17	1083.3	10.63
7,5	2	17	1128.4	11.07
8	2	17	1119.0	11.0

**Gambar 5****Pengujian Indirect Tensile Strength**

Sebelum Pembebanan

**Gambar 6 :****Pengujian Indirect Tensile Strength**

Sesudah pembebanan

Sumber : Laboratorium Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Timur - Bali, Jalan Raya Waru nomor 20 Sidoarjo.

Pembahasan**Analisis Hasil Pengujian Konsistensi**

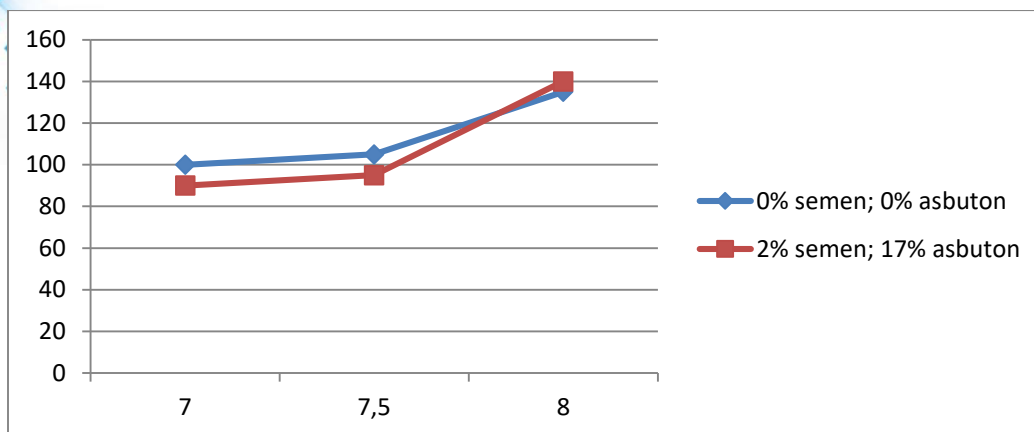
Konsistensi campuran *slurry seal* pada benda uji diukur menggunakan alat kerucut konsistensi. Sesuai dengan Buku Pedoman Perencanaan Bubur Aspal Emulsi (*Slurry Seal*) No. 16.1/SE/DB/2020 dari Direktorat Jenderal Bina Marga bahwa campuran *slurry seal* memberikan konsistensi campuran yang baik bila kadar air mencapai distribusi optimal 2-3 cm didasar lembaran plat logam. Penyebaran diukur dari diameter luar alat saat campuran *slurry seal* diangkat dan keluar dari alat.

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan bahwa *slurry seal* yang dibuat mencapai kadar air optimum dengan pembasahan awal (*pre-wetting*) agregat sebesar 5 % dan penambahan air masing-masing sebesar 14 %. Kadar air dihitung dari berat kering agregat, hal ini berfungsi untuk memudahkan proses pencampuran antara aspal emulsi dengan agregat. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan penambahan asbuton sebanyak 17% konsistensi penyebaran rata-rata ≤ 3 cm (lihat Tabel 19 sampai Tabel 21), begitu juga dengan penambahan asbuton nilai konsistensi tetap sesuai dengan persyaratan. Hal ini disebabkan faktor kadar air memegang peranan penting dalam uji konsistensi sedangkan komposisi campuran tidak berpengaruh signifikan sebab jika konsistensi tidak sesuai yang disyaratkan maka dapat menambahkan atau mengurangi kadar air dalam *slurry seal* agar memperoleh konsistensi sesuai dengan persyaratan.

Analisis Hasil Pengujian Setting Time

Setting time adalah waktu yang diperlukan aspal emulsi ketika dicampur dengan agregat sampai butiran aspal melebur menjadi bentuk padat serta menutupi agregat secara terus menerus. Pada campuran *slurry seal* yang dibuat dengan menambahkan asbuton. Untuk pengujian ini menitikberatkan pada pengaruh penambahan asbuton sampai menghasilkan waktu yang mantap pada campuran yang dibuat.

Kadar Aspal Residu CSS 1H (%)



Gambar 7. Grafik Hubungan Waktu *Setting time* dengan Kadar Aspal Residu

Dari Gambar 7. di atas, campuran *slurry seal* dengan penambahan asbuton sebanyak 17% didapat *setting time* lebih cepat namun tidak signifikan bila dibandingkan dengan keadaan normal, tetapi seiring dengan asbuton ditambahkan semen 2% *setting time* menjadi lebih cepat, hal ini disebabkan semen memiliki sifat menyerap air. Hal ini menunjukkan penambahan semen dapat membantu proses *setting time* menjadi lebih cepat.

Selain penggunaan semen dan asbuton, seiring bertambahnya kadar aspal akan memperlambat setting juga. Dengan meningkatnya persentase aspal campuran *slurry seal* akan menjadi lebih encer dan proses pengikatan antara aspal dan batu membutuhkan waktu lebih lama.

Analisis Nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS)

Hubungan nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) dengan kadar residu aspal emulsi dan nilai kadar aspal residu optimum (KARO) dari hasil stabilitas pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS) berdasarkan kuat tarik yang terjadi, adapun perhitungannya sebagai berikut.

$$Y = -8,413x^2 + 126,5x - 452,1$$

$$\frac{dy}{dx} = \sigma$$

$$\sigma = - (2 \cdot 8,413) + 126,5$$

$$KARO = \frac{126,5}{2 \cdot 8,413} = 7,52$$

Maka, persentase kadar aspal emulsi mencapai optimum sebesar 7,52 %. Sedangkan untuk perhitungan kadar campuran dapat dilihat pada Tabel 16. berikut.

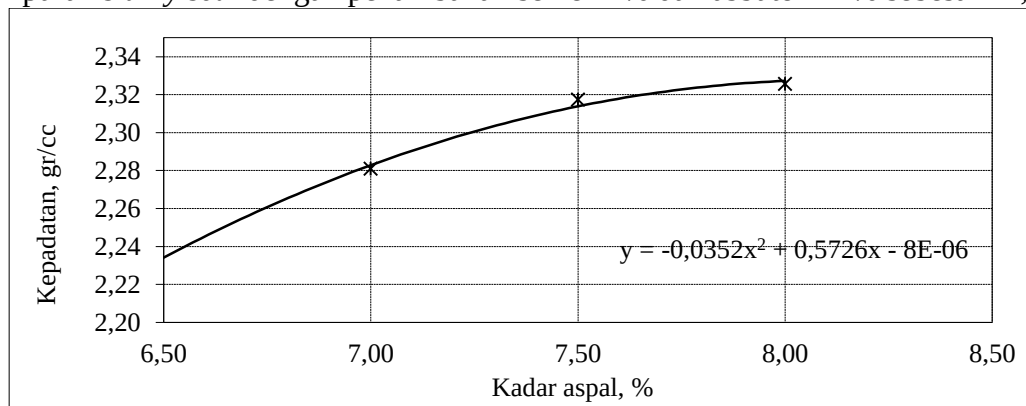
Tabel 16. Hasil Kadar Aspal Residu Optimum Berdasarkan Pengujian ITS

No	Campuran (%)		Persamaan Grafik Nilai Kepadatan Tertinggi	KARO (X) $\frac{dy}{dx} = 0$	ITS (Kpa)
	Semen	Asbuton			

1	0	0	$y = -0,0034x^2 + 0,0152x + 0,3717$	$X = 7,52\%$	9,35
2	2	17	$y = -0,0352x^2 + 0,5726x - 8e-06$	$X = 7,52\%$	11,07

Hubungan nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) dengan residu aspal emulsi 7,52% menunjukkan bahwa kuat tarik tidak langsung mampu menaikkan nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) dari 9,35 Kpa menjadi 11,07 Kpa.

Hubungan nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) dengan kadar residu aspal emulsi menunjukkan bahwa kuat tarik tidak langsung cenderung naik sampai titik optimum dan kemudian turun, artinya kekuatan dari benda uji akan menurun kalau persentase aspal melebihi kadar optimum. Penambahan asbuton sebanyak 17% mampu menaikkan nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) dari 9,35 kPa menjadi 11,07 kPa. Nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) maksimum terjadi pada campuran *slurry seal* dengan penambahan semen 2% dan asbuton 17% sebesar 11,07 kpa.



Gambar 8. Grafik marshal slury seal

Berikut penjelasan dari grafik diatas :

Regresi linier, yaitu regresi yang menyebabkan garis lurus dalam penyebaran. Regresi linier terdiri dari regresi linier sederhana (1 variabel bebas) dan regresi linier berganda (lebih dari 1 variabel bebas). Misalnya perhitungan sesuai dengan gambar di atas, kalau linier berbentuk garis lurus sedangkan polinomial berbentuk parabola :

Dari hasil uji coba dengan kondisi kadar aspal optimum (x) sebesar 7%, 7,5%, 8% diperoleh hasil kepadatan (Y) senilai 2,283 gr/cc, 2,314gr/cc dan 2,328gr/cc

Dimana dari gambar XIII didapat rumus (4.1).

$$Y = -0,0352 \cdot (x^2) + 0,5726 \cdot (x) - 8E-06 \dots\dots\dots(4.1)$$

$$Y = -0,0352 \cdot (7^2) + 0,5726 \cdot (7) - 8/1.000.000$$

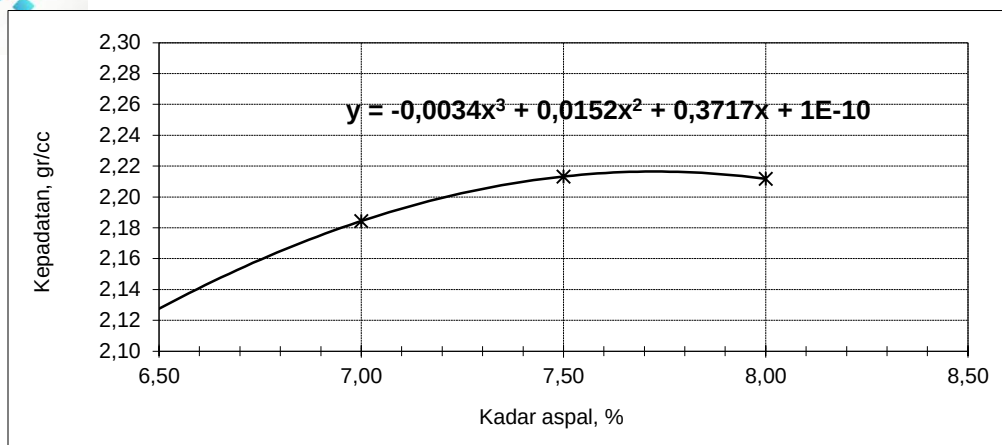
$$= 2.283 \text{ gr/cc}$$

$$Y = -0,0352 \cdot (7,5^2) + 0,5726 \cdot (7,5) - 8/1.000.000$$

$$= 2,314 \text{ gr/cc}$$

$$Y = -0,0352 \cdot (8^2) + 0,5726 \cdot (8) - 8/1.000.000$$

$$= 2,328 \text{ gr/cc}$$



Gambar 9. Grafik Marshal slury Seal dan asbuton

Berikut penjelasan dari grafik diatas :

Regresi linier, yaitu regresi yang menyebabkan garis lurus dalam penyebaran. Regresi linier terdiri dari regresi linier sederhana (1 variabel bebas) dan regresi linier berganda (lebih dari 1 variabel bebas). Misalnya perhitungan sesuai dengan gambar di atas ,kalau linier berbentuk garis lurus sedangkan polynomial berbentuk parabola:

Dari hasil uji coba dengan kondisi kadar aspal residu optimum (x) sebesar 7%, 7,5%, 8% diperoleh hasil kepadatan senilai 2,181 gr/cc, 2,208gr/cc dan 2,206gr/cc Dimana dari gambar XIV didapat rumus (4.2).

$$Y = -0,0034(x^3) + 0,0152(x^2) + 0,3717(7) + 1E-10 \dots\dots\dots(4.2)$$

$$Y = -0,0034 \cdot (7^3) + 0,0152(7^2) + 0,3717 \cdot (7) + 1/10000000000$$

$$= 2,181 \text{ gr/cc}$$

$$Y = -0,0034 \cdot (7,5^3) + 0,0152(7,5^2) + 0,3717 \cdot (7,5) + 1/10000000000$$

$$= 2,208 \text{ gr/cc}$$

$$Y = -0,0034 \cdot (8^3) + 0,0152(8^2) + 0,3717 \cdot (8) + 1/10000000000$$

$$= 2,206 \text{ gr/cc}$$

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan yaitu untuk setiap campuran *slurry seal* yang dibuat dengan penambahan semen dan asbuton dengan kadar aspal residu 7% sampai 8% didapatkan campuran cukup konsisten dengan *prewetting* 5% dan penambahan air 14% dihitung dari berat kering agregat. Dari hasil pengujian penyebaran *slurry seal* dari semua campuran pada plat alas alat uji kerucut konsistensi diperoleh ≤ 3 cm. Hal ini sesuai dengan persyaratan dari Bina Marga, (2018) sebesar 2 sampai 3 cm. Karena kandungan residu aspal emulsi meningkat dari 7% menjadi 8% didapatkan nilai *setting time* meningkat dan hal ini terjadi pada semua jenis campuran. Campuran *slurry seal* dengan penambahan asbuton sebanyak 17% didapat *setting time* lebih cepat, begitu juga dengan penambahan asbuton yang diikuti penambahan

semen 2% setting time menjadi lebih cepat 10 menit, karena air terserap oleh semen. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan semen dapat mempercepat *setting time*. Nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) cenderung meningkat hingga titik kadar aspal residu optimum (KARO) 7,5%. Penambahan asbuton sebanyak 17% membuat nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) meningkat menjadi 11,07 kPa dibandingkan dengan tanpa penambahan asbuton (9,35 kPa).

Saran

Proses pencampuran bahan sebaiknya dilakukan dengan menggunakan mesin pengaduk *slurry seal* agar campuran lebih merata dan homogen karena kecepatan pengadukan. Diperlukan penelitian lebih lanjut dengan alat uji konsistensi yang sesuai dengan standar internasional, dimana pada penelitian ini alat uji konsistensi dibuat sendiri (*customized*). Diperlukan lebih banyak penelitian tentang penggunaan proporsi asbuton untuk mencapai hasil yang maksimal.

Referensi

- Adnany, I. 2019. *Penggunaan Asbuton Lawele Granular Asphalt. (LGA) dan Buton Granular Asphalt (BGA) Pada campuran Aspal Porus*. Rekayasa Teknik Sipil, 2(1).
- Badan Standardisasi Nasional. 2021. *Aspal Buton Butir SNI 8863:2019, 8864:2019 Tentang Spesifikasi Asbuton Butir B 5/20, 50/30 untuk perkerasan jalan*. Jakarta: BSN.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2020. *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*. Jakarta
- Do, T. C. 2019. *Mechanical characteristics of shear strength ratio used for moisture susceptibility evaluation of asphalt mixtures*. International Journal of Pavement Engineering.
- I Nyoman Arya Thanaya. 2019. *Teknologi Campuran Aspal Emulsi Dingin*. Denpasar.
- Kafabihi, afwan, dan Wedyantadji, Bambang. 2020. *Penggunaan aspal buton pada campuran AC-WC (asphalt concrete wearing course)*. Student Jurnal gelagar, 2(2), 36-44.
- Tjaronge, M. W, Irmawaty, Rita dan Hustim, Muralia. 2020. *Effect of Buton Granular Asphalt Gradation and cement as filler on Performance of Cold Mix Asphalt Using Limestone Agregate*. Jurnal of Engineering Science and Technology, 15(1), 419-433.
- Tisara Sita. 2021. *Teknologi Pada Preservasi Perkerasan Lentur Slurry Seal*. Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah –D.I.Y.