

ANALISIS STABILITAS DAN KONSISTENSI CAMPURAN ASPAL SLURRY SEAL DENGAN PENAMBAHAN ABU AMPAS TEBU

Herlina Suciati¹⁾, Ahmad Khildan Arbain²⁾, Panusunan³⁾ dan Akhbar Ilmiah Room⁴⁾
^{1,2,3,4)} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Batam
E-mail: herlinasuciati@univbatam.ac.id¹⁾

ABSTRAK

Pemeliharaan jalan melalui penambahan tebal lapisan permukaan membutuhkan biaya besar karena melibatkan penggunaan material, tenaga kerja, serta alat yang beragam dan dalam jumlah banyak. Penggunaan *slurry seal* dapat meningkatkan keseragaman perkerasan dengan mengurangi kekasaran (*roughness*) dan alur (*rutting*), menutupi permukaan perkerasan, serta meningkatkan kekasaran tanpa memerlukan retresturisasi. Dalam penelitian ini, abu ampas tebu digunakan sebagai bahan tambahan (*filler*) pada campuran *slurry seal*, dan dilakukan beberapa pengujian, antara lain uji konsistensi, uji *setting time*, dan uji Marshall. Penambahan abu ampas tebu sebesar 25% hingga 100% pada campuran *slurry seal* menunjukkan berpengaruh terhadap nilai konsistensi yang semakin menurun, disebabkan oleh karakteristik abu ampas tebu yang cenderung menyerap air. Selain itu, waktu *setting time* menjadi lebih cepat akibat peningkatan keterkerjaan campuran dan reaksi ikatan antara aspal emulsi kationik dengan filler semen dan abu ampas tebu, yang mempercepat proses pengikatan. Hasil uji Marshall menunjukkan peningkatan nilai stabilitas yang disebabkan oleh kandungan silika (SiO_2) dalam abu ampas tebu. Sementara itu, nilai kelelahan (*flow*) menurun karena volume butiran abu ampas tebu yang semakin besar, sehingga mengisi celah di antara agregat dan membuat campuran menjadi lebih padat dengan deformasi yang lebih rendah.

Kata kunci: *slurry seal*, abu ampas tebu, uji konsistensi, *setting time*, marshall test

ABSTRACT

Road maintenance through the addition of surface layer thickness is costly because it involves the use of various and large amounts of materials, labor, and tools. The use of slurry seals can improve pavement uniformity by reducing roughness and grooves, covering the pavement surface, and repairing roughness without the need for resurfacing. In this research, bagasse ash was used as a filler in the slurry seal mixture, and several tests were carried out including consistency test, setting time test, and Marshall Test. The addition of bagasse ash by 25% to 100% in the slurry seal mixture shows an influence on the decreasing consistency value, due to the characteristics of bagasse ash which tends to absorb water. In addition, the setting time becomes faster due to the increased workability of the mixture and the bonding reaction between cationic emulsion asphalt with cement filler and bagasse ash which accelerates the bonding process. The Marshall test results showed an increase in stability value caused by the silica (SiO_2) content in bagasse ash. Meanwhile, the flow value decreased due to the larger volume of bagasse ash granules, which filled the gaps between aggregates and made the mixture denser with lower deformation.

Keyword: slurry seal, bagasse ash, consistency test, setting time, marshall test

1. PENDAHULUAN

Perkerasan jalan adalah bagian dari struktur jalan yang dibuat dengan lapisan konstruksi khusus yang memiliki ketebalan, kekuatan, kekakuan, dan stabilitas tertentu. Fungsi utamanya adalah untuk mentransfer beban lalu lintas secara aman ke lapisan tanah dasar. Lapisan perkerasan ini terletak antara lapisan dasar dan roda kendaraan, berfungsi untuk mendukung lalu lintas dan memberikan kenyamanan serta keamanan bagi pengguna jalan. Selama masa penggunaannya, lapisan ini dirancang agar tidak mengalami kerusakan yang signifikan.

Pemeliharaan jalan dengan metode penambahan ketebalan lapisan permukaan (overlay) memerlukan biaya yang signifikan. Penggunaan campuran panas (hot mix) yang umum diterapkan dianggap lebih mahal karena memerlukan material, tenaga kerja, serta penggunaan berbagai jenis alat dalam jumlah besar. Selain itu, proses pemanasan yang dilakukan pada suhu tinggi menghasilkan zat-zat polutan yang berpotensi mencemari lingkungan, sehingga bertentangan dengan kebijakan pemerintah untuk mengurangi limbah industri saat ini.

Slurry seal adalah campuran aspal dingin yang diformulasikan khusus untuk pemeliharaan permukaan perkerasan jalan, baik sebagai perawatan rutin maupun untuk menambah ketebalan lapisan permukaan dalam jumlah terbatas [1]. Pengaplikasian slurry seal dapat meningkatkan keseragaman permukaan perkerasan dengan mengurangi kekasaran (roughness) dan alur (rutting), serta menutupi permukaan perkerasan yang rusak. Selain itu, slurry seal juga dapat meningkatkan kekesatan permukaan tanpa memerlukan proses penghalusan ulang (retexturing).

Untuk meningkatkan kualitas campuran slurry seal yang baik diperlukan modifikasi tertentu [2]. Penggunaan semen sebagai bahan *filler* merupakan hal yang umum dilakukan, namun diperlukan biaya yang cukup tinggi dalam aplikasinya. Oleh karena itu, ada kebutuhan untuk menggantinya dengan bahan yang memiliki sifat serupa. Salah satu pilihannya adalah abu ampas tebu, di mana material ini merupakan produk sampingan yang tersedia secara luas dan mudah didapat. Selain itu, penggunaan abu ampas tebu

dapat membantu mengurangi kerusakan jalan, seperti pelepasan butiran dan keretakan, yang sering kali disebabkan oleh beban kendaraan berat.

Dalam penelitian ini, dilakukan penambahan abu ampas tebu sebagai bahan tambahan. Abu ampas tebu berasal dari pembakaran limbah ampas tebu dan memiliki sifat khusus, yaitu mengandung senyawa kimia pozzolan yang kaya akan silika (SiO_2). Senyawa ini, ketika dicampur dengan semen dan air, dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik beton pada campuran aspal. Abu ampas tebu memiliki sifat yang baik sebagai agregat padat karena ukuran butirannya yang relatif kecil (melewati saringan nomor 200), sehingga memudahkan penetrasi ke dalam pori-pori agregat.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai konsistensi campuran *slurry seal* dengan penambahan abu ampas tebu, mengetahui waktu pengikatan (*setting time*) campuran *slurry seal* dengan penambahan abu ampas tebu, serta mengetahui nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*) campuran *slurry seal* dengan penambahan abu ampas tebu.

Filler yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari semen dan abu ampas tebu. Agregat halus yang digunakan bersumber dari salah satu *stockpile* yang terdapat di Batam. Aspal emulsi yang dipakai merupakan tipe CSS-1H. Pengujian dan pemeriksaan bahan penelitian hanya difokuskan pada campuran *slurry seal* tanpa melibatkan analisis reaksi kimia yang terjadi selama proses pencampuran bahan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Slurry seal adalah lapisan penutup perkerasan aspal yang terdiri dari campuran aspal emulsi, agregat dengan gradasi tertentu, air, dan bahan pengisi (*filler*). Bahan-bahan tersebut dicampur dengan komposisi tertentu sehingga menghasilkan bubur yang homogen. Bubur aspal ini kemudian dihamparkan di atas permukaan jalan. Setelah airnya menguap, yang tersisa adalah lapisan tipis yang padat, kuat, dan tidak dapat ditembus air. Berdasarkan jenis aspal emulsi dan agregatnya, lapisan *slurry seal* ini dapat diproduksi dalam berbagai macam variasi. Lapisan *slurry seal* dapat menjadi pilihan utama

dalam pemeliharaan perkerasan yang ekonomis dan tahan lama.

Lapisan penutup berupa bubuk aspal emulsi, yang dikenal sebagai *slurry seal*, harus terdiri dari campuran aspal emulsi, agregat, air, bahan pengisi, dan/atau bahan tambahan khusus jika diperlukan, yang dicampur dan diaplikasikan merata di atas permukaan perkerasan aspal. Lapisan penutup bubuk aspal emulsi yang sudah diaplikasikan harus menempel dengan baik secara homogen pada permukaan perkerasan aspal yang ada, serta tekstur permukaan baru harus mempertahankan kekerasannya sesuai dengan masa rencana [3].

Terdapat dua tipe *slurry seal* yang dibedakan berdasarkan jenis aspal emulsi yang digunakan, yaitu tipe anionik (bermuatan listrik negatif) dan tipe kationik (bermuatan listrik positif). Namun, tipe kationik lebih umum digunakan. Penguapan pada aspal menyebabkan proses pengikatan berjalan lambat, sementara proses pengikatan cepat (*quick setting*) terjadi karena adanya reaksi fisik-kimia dengan permukaan agregat. Emulsi dengan sistem *quick setting* secara kimiawi dapat mempengaruhi tingkat pengikatan baik untuk tipe kationik maupun anionik, serta proses pengeringannya (*curing*), yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, takaran bahan, dan suhu yang tinggi [4].

Kegunaan *slurry seal* antara lain adalah untuk melapisi perkerasan yang mengalami oksidasi sehingga dapat memperpanjang masa pakai jalan, memperbaiki permukaan jalan dengan menciptakan tekstur yang lebih kasar, meningkatkan ketahanan terhadap infiltrasi air, serta mengatasi kerusakan *raveling* yang disebabkan oleh hilangnya ikatan antara agregat dan aspal. *Slurry seal* tidak diterapkan pada pemeliharaan jalan yang mengalami kerusakan struktural, seperti alur (*rutting*), tonjolan (*bumps*), dan penurunan (*depression*), tidak digunakan untuk menambal lubang (*potholes*), serta tidak digunakan pada kegagalan lapisan *base* yang menunjukkan deformasi plastis pada jenis perkerasan apa pun.

Fungsi utama dari pelapisan menggunakan *slurry seal* adalah untuk menjaga perkerasan lapisan atas agar tidak mengalami kerusakan yang lebih serius, sebagai bagian dari program pemeliharaan rutin. Kriteria penggunaan *slurry*

seal dan karakteristik jenis campuran bubuk aspal emulsi dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Kriteria pemilihan pekerjaan dengan *slurry seal*

Kegunaan	Agregat Tipe I	Agregat Tipe II	Agregat Tipe III
Pengisian Rongga	<i>Slurry</i>	<i>Slurry</i>	
Lapisan Aus LHR < 100	<i>Slurry</i>	<i>Slurry</i>	
Lapisan Aus LHR 100 – 1000		<i>Slurry</i>	<i>Slurry</i>
Lapisan Aus LHR 1000 – 20000			<i>Slurry</i>
Perbaikan bentuk minor 10 – 20 mm			<i>Slurry</i>
Tingkat pemakaian kg/m ²	4,3 – 6,5	6,5–10,8	9,8–16,3

Bahan campuran *slurry seal* terdiri dari beberapa komponen utama. Pertama, agregat yang harus bersih, kuat, tahan lama, dan bebas dari gumpalan tanah liat atau bahan lain yang dapat mengganggu. Agregat halus dapat berupa pasir alam atau buatan, terak, serta agregat halus hasil penghancuran batu. Kedua, aspal emulsi yang digunakan umumnya adalah aspal emulsi yang mengikat lambat (*slow setting*), yaitu jenis SS-1h sesuai dengan SNI 6832:2011 dan CSS-1h sesuai SNI 4798:2011.

Tabel 2 Karakteristik jenis campuran bubuk aspal emulsi

Karakteristik Campuran	Jenis Campuran		
	1	2	3
Kandungan residu aspal, % terhadap berat agregat kering	10 – 16	7,5 – 13,5	6,5 – 12
Konsistensi, cm		2 – 3	
Pengelupasan (wet stripping), %		Min. 90	
Kohesi			
• 30 menit, kg-cm			≥ 12'
• 60 menit, kg-cm			≥ 20'
Waktu pengikatan, menit		15 – 720	
Waktu perawatan, menit		< 720	
Pengujian abrasi jalur basah setelah direndam selama 1 jam, g/m ²		≤ 500	

Jika lapisan *slurry seal* diterapkan pada jalan dengan sistem kecepatan tinggi atau kategori

sedang, yang memiliki waktu penutupan lalu lintas terbatas, dapat digunakan aspal emulsi yang mengikat lebih cepat, yaitu jenis QS-1h dan CQS-1h. Ketiga, air yang digunakan harus bersih dan tidak mengandung kotoran organik maupun garam-garam berbahaya. Terakhir, bahan pengisi (filler) terdiri dari dua jenis, yaitu kimiawi aktif dan kimiawi tidak aktif. Pengisi kimia aktif, seperti semen Portland (disarankan semen tipe I), kapur terhidrasi, dan amonium sulfat, digunakan untuk meningkatkan kemampuan kerja serta menentukan waktu pengerasan. Pengisi kimia non-reaktif, seperti debu kapur, abu terbang, dan abu batu, terutama digunakan untuk meningkatkan gradasi agregat campuran.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur tingkat keterkerjaan atau nilai konsistensi pada campuran *slurry seal* dengan menggunakan alat kerucut konsistensi. Tujuan ini sejalan dengan surat edaran Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat mengenai Pedoman Perancangan dan Pelaksanaan Lapis Penutup dengan Bubur Aspal Emulsi (Emulsified Asphalt Slurry Seal) [5].

Setting time adalah waktu yang diperlukan untuk aspal emulsi sejak dicampur dengan agregat hingga aspal menyatu dalam bentuk padat dan melapisi seluruh permukaan agregat [6]. Cara pengujian nilai *setting time* pada campuran *slurry seal* dapat dilakukan dengan menggunakan selembar kertas putih atau tisu yang ditekan ringan atau dibiarkan menyerap di atas permukaan campuran *slurry seal* [7]. Jika setelah 15 menit tidak ditemukan noda coklat di permukaan kertas atau tisu tersebut, maka lapisan campuran dianggap telah bereaksi. Jika masih ada noda coklat, prosedur pengujian dapat diulang setiap 15 menit. Apabila setelah 3 jam belum juga bereaksi, interval penyerapan dapat diperpanjang menjadi 30 menit atau lebih lama.

Penelitian ini menggunakan metode Marshall dengan tujuan utama untuk memeriksa nilai stabilitas dan nilai kelelahan (*flow*), serta menganalisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk [8]. Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal atau lapisan perkerasan untuk menahan perubahan (deformasi) akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya, tanpa mengalami perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan untuk menerima beban lalu lintas

tanpa mengalami perubahan bentuk (deformasi), seperti gelombang, alur, dan kegemukan aspal (*bleeding*) [9]. Nilai stabilitas berbanding lurus dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Semakin tinggi volume lalu lintas dan dominasi kendaraan berat yang melintas, semakin tinggi pula nilai stabilitas yang dibutuhkan. Sebaliknya, jika jalan hanya digunakan untuk lalu lintas ringan, nilai stabilitas yang tinggi tidak diperlukan.

3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimen, yaitu metode yang dilakukan melalui kegiatan percobaan untuk memperoleh data. Selanjutnya, data tersebut diolah untuk dibandingkan dengan syarat-syarat yang telah ditetapkan. Penelitian ini dilaksanakan di salah satu laboratorium *mix design* di Kota Batam, Kepulauan Riau.

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini adalah menggunakan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui pengujian pada beberapa subjek dengan kondisi perlakuan yang berbeda di laboratorium, berdasarkan manual yang ada, seperti pemeriksaan atau pengujian langsung. Data primer yang dikumpulkan mencakup pemeriksaan nilai konsistensi, pemeriksaan waktu pengikatan (*setting time*), serta hasil uji stabilitas dan kelelahan (*flow*) dengan *Marshall Test*. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari data yang telah ada atau dari hasil penelitian lain, yang harus diterima dan diikuti sesuai dengan aslinya. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini meliputi penelitian tentang aspal emulsi dan penelitian tentang abu ampas tebu.

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah pembuatan benda uji dengan menentukan gradasi agregat yang digunakan, sesuai dengan gradasi rencana campuran *Slurry Seal* berdasarkan Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Tahapan pembuatan benda uji terdiri dari beberapa tahap. Pada tahap pertama, agregat halus ditimbang sesuai proporsi tiap saringan yang telah dihitung, dan persentase aspal emulsi, air, serta semen dihitung dari berat kering agregat. Pada tahap kedua, dilakukan pembuatan benda uji campuran *slurry seal* dengan komposisi agregat,

aspal emulsi, semen, dan air. Tahap ketiga melibatkan uji konsistensi campuran, yang diawali dengan menentukan kadar air melalui pembasahan awal (*pre-wetting*) pada agregat yang diproporsikan sesuai gradasi, di mana *pre-wetting* dilakukan sampai agregat cukup basah namun air tidak mengalir atau tampak berlebihan. Setelah itu, agregat yang telah lembab dicampur dengan aspal emulsi. Pada tahap keempat, ditentukan kandungan air optimal yang memberikan nilai konsistensi terbaik, dengan mencampur agregat yang telah melewati *pre-wetting*, aspal emulsi, semen, dan air untuk mendapatkan nilai konsistensi yang sesuai. Pengujian dilakukan menggunakan alat kerucut konsistensi hingga menghasilkan penyebaran *slurry seal* sepanjang 2-3 cm. Jika hasilnya tidak memenuhi persyaratan, kadar air dalam campuran dapat disesuaikan. Setelah nilai konsistensi memenuhi syarat, benda uji dibuat dengan variasi penambahan abu ampas tebu.

Pengujian konsistensi dilakukan dengan membuat benda uji campuran *slurry seal* yang diberi penambahan abu ampas tebu sesuai dengan setiap persentasenya. Cetakan logam atau plastik berbentuk kerucut terpotong dengan diameter bagian atas 38 mm, diameter bagian bawah 89 mm, dan tinggi 76 mm disiapkan. Cetakan tersebut diisi dengan campuran *slurry seal* hingga penuh tanpa dipadatkan, kemudian diratakan. Proses pencampuran setiap sampel dilakukan pada suhu ruang dengan waktu minimal 1 menit dan maksimal 3 menit. Setelah itu, cetakan diangkat dan isinya dibiarkan mengalir di atas tanda lingkaran pada plat logam hingga aliran berhenti. Jarak aliran yang ditunjukkan oleh tanda lingkaran dicatat sebagai nilai konsistensi campuran dalam satuan cm.

Langkah-langkah dalam pengujian *setting time* adalah sebagai berikut: pertama, benda uji campuran *slurry seal* yang telah diuji nilai konsistensinya diratakan dengan ketebalan 10 mm. Setelah 15 menit pada suhu ruangan, permukaan campuran disentuh menggunakan kertas isap putih atau tisu. Campuran dianggap mantap jika tidak ada noda berwarna cokelat yang menempel pada kertas tersebut. Jika masih terdapat bercak berwarna cokelat, penyentuhan diulangi dengan interval 15 menit. Apabila dalam waktu 3 jam campuran masih belum mantap, penyentuhan dilakukan dengan interval 30 menit

atau lebih. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai campuran yang sempurna dicatat sebagai hasil akhir pengujian.

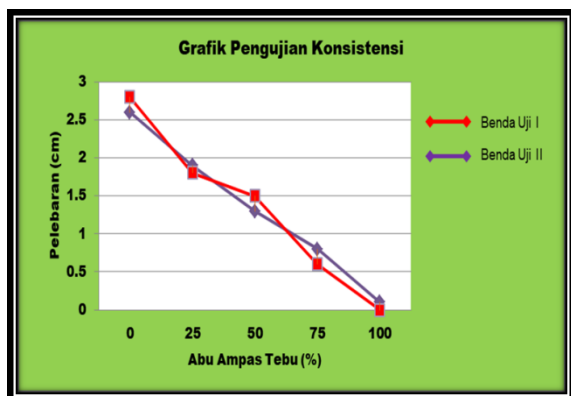
Berikut adalah tahapan dalam pengujian *Marshall Test*. Pertama, buat campuran *slurry seal* sesuai dengan proporsi yang ditentukan. Campuran dipanaskan menggunakan panci pencampur, kemudian diaduk hingga merata dan kadar air berkurang. Masukkan campuran tersebut ke dalam cetakan, lalu padatkan menggunakan alat penumbuk sebanyak 35 kali. Setelah itu, keluarkan benda uji dengan hati-hati menggunakan alat pengeluar dan biarkan pada suhu kamar selama kurang lebih 24 jam. Timbang benda uji untuk mengetahui beratnya, lalu lakukan penimbangan di dalam air untuk mengetahui volumenya. Selanjutnya, tempatkan benda uji dalam oven selama setidaknya 2 jam pada suhu konstan 25°C. Setelah benda uji dikeluarkan dari oven, letakkan dalam mesin pengujian dan berikan pembebanan dengan kecepatan konstan sekitar 50 mm per menit hingga mencapai beban maksimum atau ketika beban mulai menurun sebagaimana ditunjukkan oleh jarum pengukur tekanan. Catat beban maksimum (*stability*) yang tercapai dan pada saat yang sama, catat nilai alir (*flow*) yang ditunjukkan oleh jarum pengukur alir.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

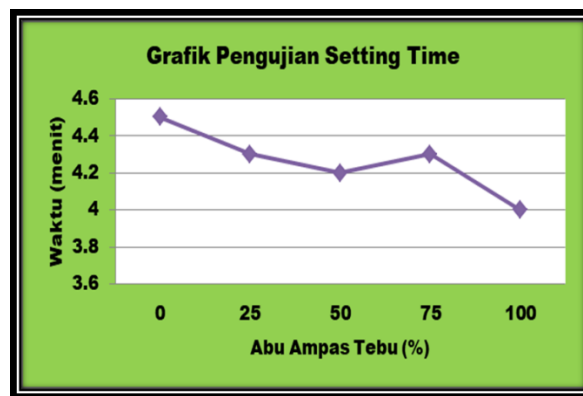
Hasil pengujian konsistensi dengan penambahan abu ampas tebu disajikan dalam Tabel 3 dan Gambar 1.

Tabel 3. Hasil pengujian nilai konsistensi

No.	Komposisi Bahan Campuran					Hasil Uji	Syarat
	Agregat	Aspal Emulsi	Air	Semen	Abu Ampas Tebu		
1	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	0 %	2,6 cm	2 – 3 cm
2	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	0 %	2,8 cm	2 – 3 cm
3	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	25% = 2gr	1,9 cm	2 – 3 cm
4	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	25% = 2gr	1,8 cm	2 – 3 cm
5	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	50% = 4gr	1,3 cm	2 – 3 cm
6	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	50% = 4gr	1,5 cm	2 – 3 cm
7	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	75% = 6gr	0,8 cm	2 – 3 cm
8	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	75% = 6gr	0,6 cm	2 – 3 cm
9	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	100% = 8gr	0,1 cm	2 – 3 cm
10	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	100% = 8gr	0,0 cm	2 – 3 cm



Gambar 1. Grafik pengujian konsistensi



Gambar 2. Grafik pengujian setting time

Berdasarkan hasil pengujian konsistensi dan grafik di atas, diketahui bahwa penambahan abu ampas tebu menyebabkan penurunan nilai konsistensi. Hal ini disebabkan oleh karakteristik abu ampas tebu yang memiliki sifat menyerap air dan ukuran butiran yang relatif kecil, sehingga memudahkan penyusupan ke dalam pori-pori agregat. Oleh karena itu, semakin besar persentase abu ampas tebu yang ditambahkan, campuran benda uji menjadi semakin kaku.

Hasil pengujian nilai setting time dengan penambahan abu ampas tebu disajikan dalam Tabel 4 dan Gambar 2.

Tabel 4. Hasil pengujian nilai setting time

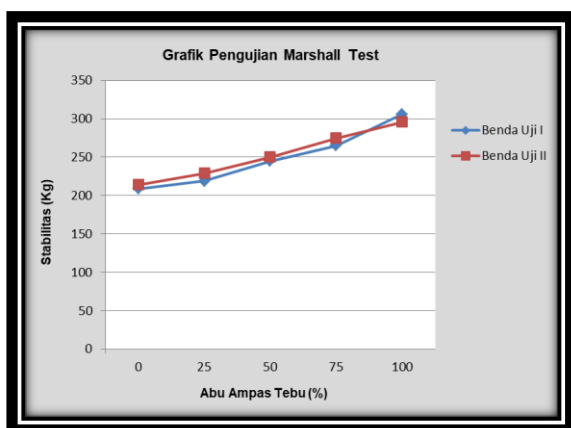
No.	Komposisi Bahan Campuran					Hasil Uji
	Agregat	Aspal Emulsi	Air	Semen	Abu Ampas Tebu	
1	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	0 %	60 menit
2	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	0 %	60 menit
3	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	25% = 2gr	45 menit
4	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	25% = 2gr	45 menit
5	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	50% = 4gr	30 menit
6	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	50% = 4gr	30 menit
7	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	75% = 6gr	15 menit
8	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	75% = 6gr	15 menit
9	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	100% = 8gr	10 menit
10	800 gr	14% = 112gr	10% = 80gr	1% = 8gr	100% = 8gr	10 menit

Berdasarkan hasil pengujian waktu pengikatan (setting time) dan grafik yang ditampilkan, penambahan abu ampas tebu menyebabkan waktu pengikatan campuran benda uji menjadi lebih cepat. Hal ini disebabkan oleh faktor kemudahan kerja (workabilitas) campuran serta reaksi ikatan yang terjadi antara aspal emulsi dengan kedua bahan pengisi, yaitu semen dan abu ampas tebu, yang mempercepat proses pengikatan.

Hasil pengujian nilai Marshall Test dengan penambahan abu ampas tebu disajikan dalam Tabel 5 dan Gambar 3.

Tabel 5. Hasil pengujian nilai Marshall Test

No.	Komposisi Bahan Campuran					Hasil Uji			
	Agregat	Aspal Emulsi	Air	Semen	Abu Ampas Tebu	Stabilitas (Kg)	Syarat	Flow (mm)	Syarat
1	960gr	14% = 134,4gr	10% = 96gr	1% = 9,6gr	0 %	209	Min. 600	4,5	2-4,5
2	960gr	14% = 134,4gr	10% = 96gr	1% = 9,6gr	0 %	214	Min. 600	4,5	2-4,5
3	960gr	14% = 134,4gr	10% = 96gr	1% = 9,6gr	25% = 2gr	219	Min. 600	4,3	2-4,5
4	960gr	14% = 134,4gr	10% = 96gr	1% = 9,6gr	25% = 2gr	229	Min. 600	4,5	2-4,5
5	960gr	14% = 134,4gr	10% = 96gr	1% = 9,6gr	50% = 4gr	245	Min. 600	4,2	2-4,5
6	960gr	14% = 134,4gr	10% = 96gr	1% = 9,6gr	50% = 4gr	250	Min. 600	4,3	2-4,5
7	960gr	14% = 134,4gr	10% = 96gr	1% = 9,6gr	75% = 6gr	265	Min. 600	4,3	2-4,5
8	960gr	14% = 134,4gr	10% = 96gr	1% = 9,6gr	75% = 6gr	275	Min. 600	4,2	2-4,5
9	960gr	14% = 134,4gr	10% = 96gr	1% = 9,6gr	100% = 8gr	306	Min. 600	4,00	2-4,5
10	960gr	14% = 134,4gr	10% = 96gr	1% = 9,6gr	100% = 8gr	296	Min. 600	3,80	2-4,5



Gambar 3. Grafik pengujian *Marshall Test*

Berdasarkan hasil pengujian marshall test dan grafik yang ditampilkan, penambahan abu ampas tebu menyebabkan peningkatan nilai stabilitas. Peningkatan ini terjadi karena abu ampas tebu memiliki sifat khusus yang mengandung senyawa kimia pozzolan atau silika (SiO_2). Silika tersebut, ketika dicampur dengan semen dan air, dapat dimanfaatkan untuk memperkuat daya ikat antarpartikel dalam campuran.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan dalam penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan abu ampas tebu sebesar 25% hingga 100% pada campuran *slurry seal* menyebabkan:

1. Nilai konsistensi mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh karakteristik abu ampas tebu yang dapat menyerap air dan memiliki ukuran butiran yang relatif kecil. Semakin besar persentase abu ampas tebu, semakin kaku campuran benda uji tersebut.
2. Waktu *setting time* menjadi lebih cepat. Ini terjadi karena faktor keterkerjaan campuran dan reaksi ikatan antara aspal emulsi kationik, serta kedua bahan pengisi semen dan abu ampas tebu yang mempercepat proses pengikatan.
3. Nilai stabilitas meningkat, disebabkan oleh kandungan silika (SiO_2) dalam abu ampas tebu. Silika adalah senyawa yang, ketika dicampur dengan semen dan air, dapat

meningkatkan daya ikat yang kuat antara partikel dalam campuran.

4. Nilai kelelahan (*flow*) menurun akibat peningkatan volume butiran abu ampas tebu. Semakin banyak butiran ini mengisi celah di antara agregat, sehingga campuran menjadi lebih rapat dan memiliki nilai deformasi yang lebih rendah.

Saran dan rekomendasi yang dapat disampaikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan cara pencampuran bahan yang lebih baik dilakukan dengan menggunakan mesin pencampur sehingga campuran benda uji tercampur merata dan lebih homogen.
2. Pemakaian kadar semen dan abu ampas tebu perlu ditinjau kembali baik dari segi penambahannya maupun substitusinya untuk mendapatkan hasil yang maksimal.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan kadar filler maksimal 3% agar didapat nilai konsistensi yang optimal dengan nilai *setting time* yang cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Izadi, M. Zalnezhad, P. B. Makerani, and H. Zalnezhad, "Mix Design and Performance Evaluation of Coloured Slurry Seal Mixture Containing Natural Iron Oxide Red Pigments," *Road Material and Pavement Design*, vol. 23, no. 4, pp. 907–924, 2022.
- [2] H. M. Syarkawi, "Pemanfaatan Abu Ampas Tebu sebagai Bahan Substitusi Filler terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton," *Majalah Ilmiah Al-Jibra*, vol. 12, no. 39, Apr. 2011.
- [3] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2)*. Jakarta, 2018.
- [4] SNI 1970-2008, *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Jakarta, 2008.

- [5] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Pedoman Perancangan dan Pelaksanaan Lapis Penutup dengan Bubur Aspal Emulsi (Emulsified Asphalt Slurry Seal)*. Jakarta, 2015.
- [6] X. Hu, X. Jiang, and P. Pan, "Effect of sample setting time on experimental evaluation of hot mix asphalt," *Constr Build Mater*, vol. 152, pp. 375–385, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.012.
- [7] A. Taufik, "Tinjauan Setting Time pada Slurry Seal yang Menggunakan Semen dan Kapur," *Forum Teknik*, vol. 23, no. 1, Mar. 1999.
- [8] V. P. Le, M. P. Bui, Q. P. Nguyen, H. L. Vo, and V. Du Nguyen, "Marshall and Balanced mix design in determining the asphalt content for hot mix asphalt mixture: A comparative study," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 21, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.cscm.2024.e03753.
- [9] S. Sukirman, *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit, 2003.