

Pengaruh Penambah Ekstraksi Bubuk Lindi Hitam Terhadap Limbah Aspal Bekas Pakai

Yolanda Septiani Talitha ¹⁾

Sasana Putra ²⁾

Dwi Herianto ³⁾

Rahayu Sulistyorini⁴⁾

Abstract

Roads that are often traversed by heavy vehicles, resulting in asphalt aging which can reduce the quality of the asphalt. The innovation carried out is to utilize modified asphalt waste by extracting black leachate powder or lignin. This study is to determine the characteristics of used asphalt binders with additional lignin with levels of 0%, 3%, and 6%. Rheology testing of asphalt includes specific gravity, penetration, ductility, soft point, viscosity.

This research shows that asphalt is very rigid and requires very high temperatures to melt. The results are evident from the highest soft point (78.5 °C at 6% lignin content), deepest penetration (9.33 mm at 0% lignin content), shortest ductility (4.15 cm at 6% lignin content), viscosity value close to bina marga specifications (3592.205 cSt at 3% lignin). In conclusion, lignin additives are able to make asphalt stiffer and harder and are not good for asphalt rejuvenation materials.

Keywords: Used asphalt, lignin, rheology test, viscosity.

Abstrak

Jalan yang sering dilalui kendaraan berat, mengakibatkan penuaan aspal yang dapat menurunkan kualitas aspal tersebut. Inovasi yang dilakukan, yaitu memanfaatkan limbah aspal yang termodifikasi dengan ekstraksi bubuk lindi hitam atau lignin. Penelitian ini untuk mengetahui karakteristik pengikat aspal bekas pakai dengan tambahan lignin dengan kadar 0%, 3%, dan 6%. Pengujian reologi aspal meliputi berat jenis, penetrasi, daktilitas, titik lembek, viskositas.

Penelitian ini menunjukkan bahwa aspal bersifat sangat kaku dan membutuhkan suhu yang sangat tinggi untuk mencair. Hasilnya terbukti dari titik lembek tertinggi (78,5°C pada kadar lignin 6%), penetrasi terdalam (9,33 mm pada kadar lignin 0%), daktilitas terpendek (4,15 cm pada kadar lignin 6%), nilai viskositas yang mendekati spesifikasi bina marga (3592,205 cSt pada lignin 3%), Kesimpulannya, bahan zat aditif lignin mampu membuat aspal semakin kaku dan keras dan tidak baik untuk bahan peremajaan aspal.

Kata kunci : Aspal bekas pakai, lignin, uji reologi, viskositas.

¹⁾ Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: yolandaajj184@gmail.com

²⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro No.1 . Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro no. 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Dosen pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Aspal, juga dikenal sebagai bitumen, adalah bahan penting dalam konstruksi jalan dan infrastruktur lainnya. Aspal adalah produk alam yang ditemukan dalam deposit alami atau residu dari proses penyulingan minyak bumi. Aspal memiliki sifat unik yang membuatnya ideal untuk berbagai aplikasi. Aspal tahan terhadap air, memiliki viskositas yang baik, dan dapat mengikat agregat secara efektif, menjadikannya pilihan utama untuk pembangunan jalan. Kinerja perkerasan jalan beraspal ditentukan oleh jenis aspal yang digunakan, karena aspal dapat berubah sifatnya karena reaksi dengan lingkungan terbuka. Perkerasan jalan beraspal pada suhu tinggi dapat mengalami kerusakan berupa penurunan permanen atau rutting yang berupa alur roda.

Penuaan aspal terjadi karena dua faktor utama, yaitu penguapan fraksi minyak yang terkandung dalam aspal dan oksidasi. Proses penuaan aspal mengakibatkan aspal menjadi lebih rapuh dan kehilangan kemampuannya untuk menempel. Ketika beban lalu lintas melintasi aspal yang telah kehilangan daya lekatnya, agregat mulai terkelupas. Diperlukan *treatment* khusus agar aspal yang didapatkan dari daur ulang bisa dihasilkan kualitas yang lebih baik dengan cara memodifikasi aspal tersebut dengan zat aditif. Penelitian ini mencoba menggunakan lignin sebagai zat aditif untuk meningkatkan kualitas aspal bekas pakai.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Aspal

Bitumen adalah zat perekat berwarna hitam atau gelap, dapat berupa aspal, tar, atau *pitch*. Aspal dapat diperoleh dari alam maupun hasil residu pengilangan minyak bumi, umumnya digunakan dalam pembuatan perkerasan jalan. Tar dan *pitch*, yang merupakan produk kimia dari destilasi destruktif dan fraksional, tidak ditemukan di alam. Oleh karena itu, bitumen sering disebut aspal. (Sukirman, 2016).

2.2. Jenis-Jenis Aspal

1. Aspal Minyak

Aspal minyak adalah bahan tersisa yang dianggap sudah tidak lagi bisa diproses secara ekonomi dari proses destilasi minyak bumi di pabrik kilang minyak. (RSNI M-01-2003, 2010)

2. Aspal Emulsi

Aspal emulsi adalah campuran aspal dengan air (60-70%) dalam bentuk emulsi, sehingga molekul-molekul aspal melayang didalam air.

3. Aspal Busa (*foamed asphalt*)

Aspal Busa adalah aspal panas yang dicampurkan dengan air secara mendadak sehingga aspal berbusa dan seketika menjadi semacam emulsi yang dapat dimanfaatkan keencerannya untuk membentuk lapis tipis aspal yang menyelimuti agregat.

4. *Cutback asphalt*

Cutback asphalt adalah aspal yang dicairkan dengan cara ditambah pelarut dari keluarga hidrokarbon (minyak tanah/kerosin, bensin, solar).

5. Aspal Buton (asbuton)

Aspal Buton adalah aspal alam yang terdapat di pulau Buton, berupa batuan yang mengandung aspal (*rock asphalt*) yang ditemukan sejak tahun 1920, dengan cadangan lebih dari 600 juta ton, terbesar didunia.

6. *Recycled Asphalt Binder* (RAB)

Recycled Asphalt Binder adalah produk dari proses daur ulang aspal lama. Proses ini melibatkan penghapusan lapisan aspal lama dan pengolahan lebih lanjut untuk menghasilkan RAP (*Recycled Asphalt Pavement*).

7. Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi adalah suatu material yang dihasilkan dari modifikasi antara polimer alam atau polimer sintetis dengan aspal.

2.3. Sifat-Sifat Aspal

Terdapat 5 komponen fraksioanal aspal berdasarkan daya reaksi kimiawinya di dalam *sulfuric acid*, yaitu:

1. *Asphaltenes* (A)
2. *Nitrogen Bases* (N)
3. *Acidaffin I dan II* (AI)
4. *Paraffins* (P)

2.4 Bubuk Lindi Hitam

Lindi hitam, juga dikenal sebagai *Black Liquor*, adalah limbah cair yang dihasilkan dari proses pembuatan *pulp*. Proses ini melibatkan pemasakan bahan baku seperti kayu dalam larutan kimia untuk menghilangkan lignin dan *hemicellulose*, meninggalkan selulosa yang kemudian dapat diproses menjadi *pulp*. (Cifriadi, 2013)

Kandungan aspal yang berasal dari biomassa yang mengandung lignin bisa disebut bioaspal. Berdasarkan penelitian (Sihombing et al., 2018) Pencampuran 2%, 5%, dan 10% bioaspal dengan aspal murni dapat meningkatkan kinerja aspal terhadap rutting pada temperatur rendah.

Lignin merupakan bahan polimer yang keras dan kaku, lignin banyak terdapat pada kayu, terutama kayu daun jarum. Jumlah lignin bervariasi berdasarkan komposisi kimia dan biomassa. Lignin, yang juga berfungsi sebagai antioksidan, berpotensi digunakan dalam bioaspal untuk peremajaan aspal daur ulang. Kadar lignin berbeda pada setiap jenis kayu seperti Kalindra, Balsa, Gamal, dan Sengon.

Tabel 1. Kadar lignin rata-rata dalam beberapa jenis kayu menurut bagian dalam batang

Jenis Kayu	Kadar Lignin (%)			
	Ujung	Tengah	Pangkal	Rata-rata
Kaliandra	20,35	22,00	22,53	21,63
Balsa	23,33	24,85	25,35	24,51
Gamal	21,83	25,29	25,93	24,35
Sengon	23,59	25,29	25,98	25,95
Albasia	-	-	-	26,50

Lignin juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan lignosulfonat. Lignosulfonat adalah salah satu *derivate* lignin yang diperoleh dengan cara sulfonasi lignin, merupakan polimer polielektrolit yang larut dalam air. Umumnya lignosulfonat diperoleh dari lindi hitam (*black liquor*) yang berasal dari buangan pabrik pulp. Lignosulfonat secara komersial banyak digunakan sebagai aditif (zat tambahan) yang berfungsi sebagai *plasticizer* pada pembuatan semen dan beton. Lignosulfonat juga dapat digunakan sebagai surfaktan, bahan baku pembuatan vanillin, sebagai bahan pengikat

pada pakan ternak, dispersant untuk pewarna, *conditioner*, *paper coating*, pupuk. (Falah et al., 2022)

2.5 Uji *Rheology* Aspal

1. Berat Jenis Aspal

Berat jenis adalah perbandingan antara 1 gram material bitumen dengan 1 mL air suling pada temperatur sama (25°C). Berat jenis aspal lebih kecil dari 1gr/cm³ menunjukkan adanya *wax* atau *parafin crude* lebih banyak yang mengakibatkan kurangnya sifat kelekatan dan ketahanan terhadap daya apung akibat gaya air. (Badan Standardisasi Nasional, 2011c)

2. Penetrasi Aspal

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan penetrasi bitumen keras atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran tertentu, dengan beban dan waktu tertentu ke dalam bitumen pada suhu tertentu. (Badan Standardisasi Nasional, 2011d)

3. Titik Lembek

Yang dimaksud dengan titik lembek adalah suhu pada bola baja, dengan berat tertentu, mendesak turun sehingga lapisan aspal yang tertahan dalam ukuran cincin berukuran tertentu, sehingga aspal tersebut menyentuh pelat dasar yang terletak dibawah cincin pada tinggi tertentu, sebagai akibat dari pemanasan yang dilakukan. (Badan Standardisasi Nasional, 2011b)

4. Daktilitas

Maksud pemeriksaan ini adalah untuk mengukur nilai elastisitas aspal, yang diukur dari jarak terpanjang, apabila antara dua cetakan berisi bitumen keras yang ditarik sebelum putus pada suhu 25°C dan dengan kecepatan 50 mm/menit. (Badan Standardisasi Nasional, 2011a)

5. Viskositas

Viskositas adalah sifat kekentalan dari material aspal yang merupakan salah satu faktor penting dalam pelaksanaan perencanaan campuran. Viskositas aspal berhubungan dengan temperatur dari pemanasan aspal tersebut.

Viskositas aspal untuk Aspal Tipe I dan II ditentukan oleh prosedur dan rentang temperatur seperti dalam Tabel 2. Direksi Pekerjaan dapat menyesuaikan rentang temperatur berdasarkan pengujian viskositas aspal yang dimodifikasi dan sifat campuran di lapangan. Campuran aspal yang tidak memenuhi batas temperatur saat pencurahan atau pengiriman tidak diterima untuk pekerjaan permanen. (PUPR, 2010)

Tabel 2. Ketentuan Viskositas & Temperatur Aspal

No	Prosedur Pelaksanaan	Viskositas Aspal (PA.S)	Rentang Temperatur Aspal Tipe I (°C)
1	Pencampuran benda uji Marshall	0,2	155 ±1
2	Pemadatan benda uji Marshall	0,4	145 ±1
3	Pencampuran, rentang temperatur	0,2 - 0,5	145 – 155
4	Menuangkan campuran aspal dari alat	± 0,5	135 – 150
5	Pemasokan ke Alat Penghampar	0,5 - 1,0	130 – 150
6	Pemadatan Awal (roda baja)	1 - 2	125 – 145
7	Pemadatan Antara (roda karet)	2 - 20	100 – 125
8	Pemadatan Akhir (roda baja)	< 20	> 95

Temperatur pencampuran dan pemadatan untuk setiap jenis aspal yang digunakan sesuai Pasal 6.3.2.6) adalah berbeda. Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan masing-masing jenis aspal harus dilakukan berdasarkan nilai viskositas seperti yang tertera dalam Tabel 2. Nilai viskositas masing-masing aspal didapat dari hasil pengujian laboratorium sesuai SNI 03-6721-2002.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Inti Jalan Raya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung untuk pengujian *properties* aspal dan untuk pengujian di Laboratorium Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, BBPJN V Cikampek Karawang, Jawa Barat adalah pengujian Viskositas.

3.2. Bahan-Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini, yaitu *Black Liquor* (Cairan Lindi Hitam), Aspal Bekas Pakai, Asam Sulfat, dan *Aquades*.

3.3. Peralatan Penelitian

Ada beberapa peralatan yang digunakan dalam menguji aspal antara lain alat untuk uji daktilitas, alat uji titik lembek (*thermometer*, dudukan benda uji), alat *Ductilometer* untuk uji daktilitas, alat untuk uji penetrasi (*Laboratory Penetration test*, bak perendam), dan tungku pembakaran untuk pengujian penurunan berat aspal. Piknometer untuk pengujian berat jenis aspal, *Brookfield termosel* untuk pengujian viskositas, dan alat *Dynamic Shear Rheometer*.

3.4. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini, yaitu studi literatur, persiapan bahan meliputi bahan cairan lindi hitam dan bahan aspal bekas pakai. Lalu dilakukan pengujian reologi aspal yang meliputi:

1. Pengujian berat jenis aspal.
2. Pengujian penetrasi aspal.
3. Pengujian titik lembek,
4. Pengujian daktilitas.
6. Pengujian Viskositas.

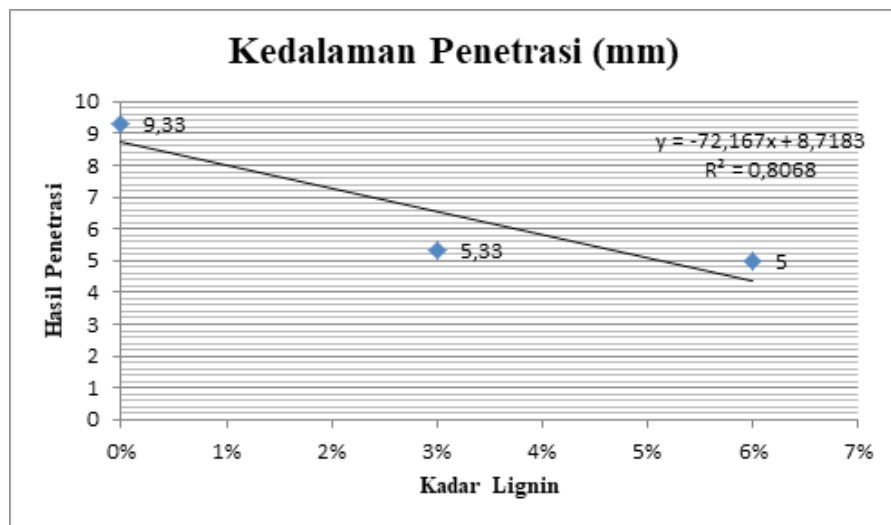
Setelah dilakukan semua pengujian yang terakhir melakukan pengolahan dan pembahasan hasil.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penetrasi

Tabel 3. Hasil penelitian pengujian penetrasi

No	Kadar Lignin	Rata-rata Hasil Penetrasi (0,1 mm)
1	0%	9,33
2	3%	5,33
3	6%	5



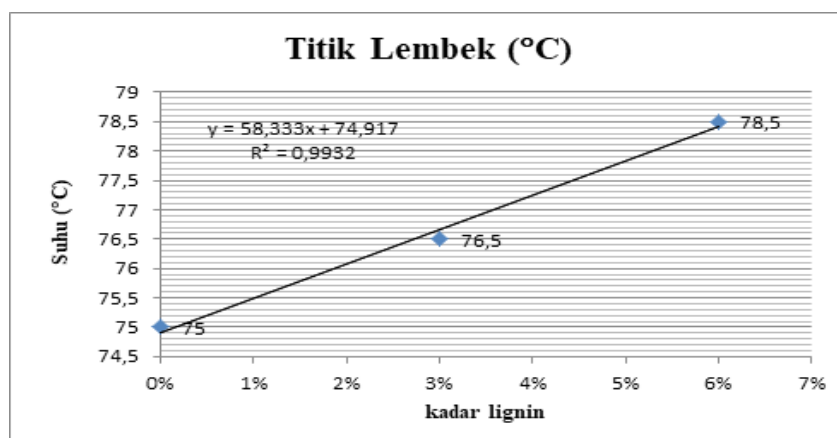
Gambar 1. Grafik Penetrasi.

Nilai kedalaman penetrasi tidak begitu mengalami peningkatan yang cukup signifikan, hasil kedalaman penetrasi tertinggi terletak pada kadar 0% yaitu, sebesar 9,33 mm. Jika berdasarkan (Badan Standardisasi Nasional, 2015), hasil penelitian yang menunjukkan nilai kedalaman penetrasi dari kadar 0%,3% dan 6% tidak masuk kedalam kategori manapun dari lima kelas penetrasi dikarenakan nilai kedalaman penetrasi aspal tergolong sangat kecil untuk masuk kategori lima kelas penetrasi.

4.2. Titik Lembek

Tabel 4. Hasil penelitian pengujian titik lembek

No	Kadar Lignin	Suhu (°C)
1	0%	75
2	3%	76,5
3	6%	78,5



Gambar 2. Grafik Titik Lembek.

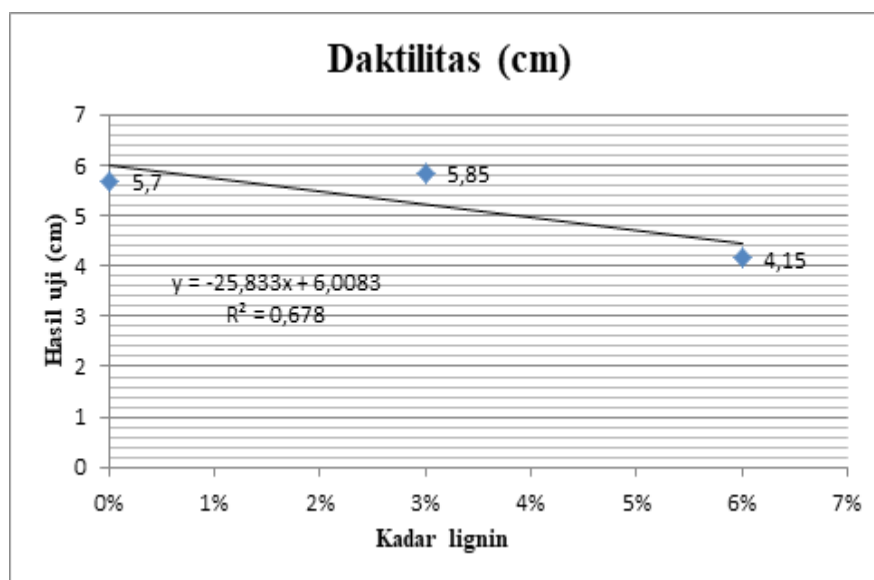
Penggunaan lignin dalam campuran aspal mempengaruhi ketahanan aspal terhadap suhu. Aspal bekas pakai yang sudah diberi campuran lignin mengalami ketahanan suhu pada

titik lembek diatas standar spesifikasi (minimal 48°C untuk aspal penetrasi 60/70, dan untuk aspal modifikasi minimal 54°C). Untuk campuran aspal lignin 3% elastisitas aspal terhadap panas mencapai 76,5°C dan pada pencampuran 6% lignin elastisitas aspal terhadap panas mencapai 78,5°C. Nilai tersebut sudah memenuhi kualifikasi Umum Bina Marga (2018) Revisi 1 dan SNI 8426:2017 (Spesifikasi aspal setara kelas kinerja). dapat disimpulkan bahwa semakin besar kadar lignin, semakin tinggi titik lembek aspal, sehingga aspal semakin keras. Hal ini sejalan dengan hasil pengujian penetrasi dimana aspal dengan campuran lignin semakin banyak meningkatkan tingkat kekerasan.

4.3. Daktilitas

Tabel 5. Hasil penelitian pengujian daktilitas

No	Kadar Lignin	Hasil uji (cm)
1	0%	5,7
2	3%	5,85
3	6%	4,15



Gambar 3. Grafik Daktilitas.

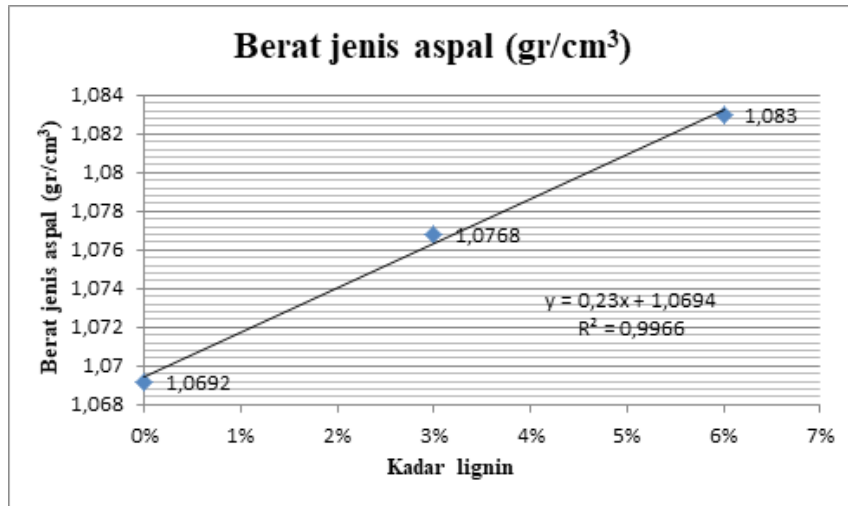
Nilai daktilitas mengalami penurunan dari kadar 3% ke kadar 6%. Dan nilai daktilitas tertinggi terletak di kadar 3% yaitu sebesar 5,85 cm. terlihat bahwa kombinasi penggunaan lignin dalam aspal bekas pakai dapat memperkecil nilai daktilitas. Ikatan antara kandungan lignin membuat aspal semakin keras dan cenderung kurang elastis sehingga lebih mudah putus. Berbalik dengan sifat plastis, dalam hal ini, jika dilihat dari hasil pengujian daktilitas menunjukan aspal putus di jarak 4-6 cm yang membuktikan bahwa aspal mempunyai sifat plastis yang sangat tinggi.

4.4. Berat Jenis

Tabel 6. Hasil penelitian pengujian berat jenis

No	Kadar Lignin	Berat jenis aspal (gr/cm ³)
1	0%	1,0692

2	3%	1,0768
3	6%	1,0830



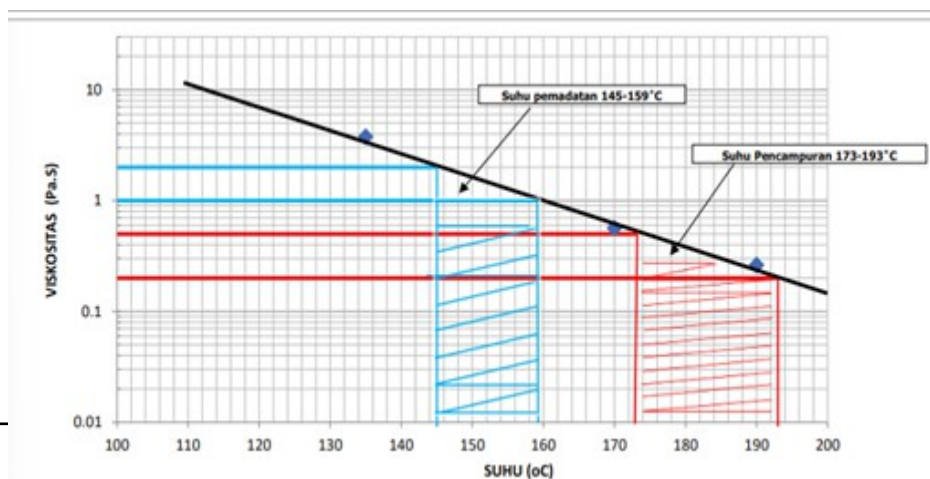
Gambar 4. Grafik Berat Jenis.

Berdasarkan hasil grafik dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan nilai berat jenis aspal bekas pakai dengan campuran lignin mengalami kenaikan yang tidak begitu signifikan. Hasil penelitian berat jenis aspal bekas pakai yang telah dicampur dengan lignin sebesar 3%, dan 6% memenuhi standar SNI yang ada karena didapat berat jenis lebih dari 1,00 gr/cm³. Berat jenis aspal berdasarkan spesifikasi mum Bina Marga (2010) Revisi 3 pada suhu 25°C untuk penetrasi 60/70 minimal 1,00 gr/cm³.

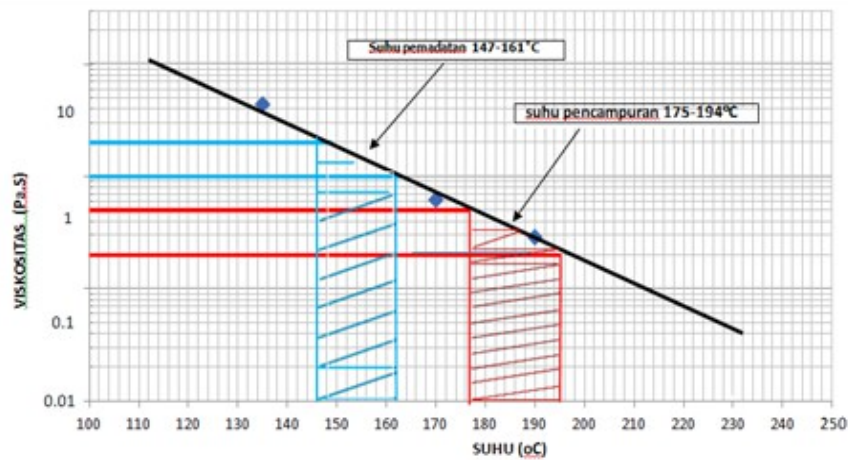
4.5. Viskositas

Tabel 7. Rekapitulasi hasil penelitian pengujian Viskositas pada kadar lignin 0%, 3%, dan 6% berdasarkan nilai Pascal detik (Pa.s)

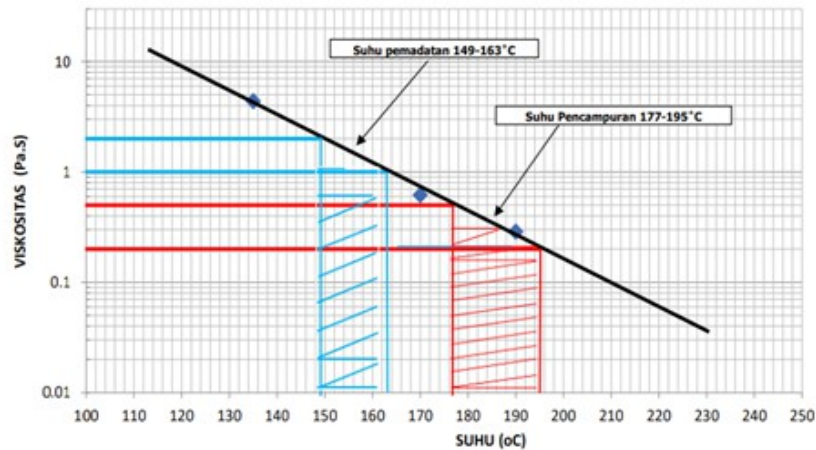
Kadar lignin	Viskositas dinamis 135 °C	Viskositas dinamis 170 °C	Viskositas dinamis 190 °C
0 %	3,769	0,5627	0,263
3 %	3,635	0,8062	0,595
6 %	4,381	0,619	0,288



Gambar 5. Grafik viskositas kadar 0% lignin



Gambar 6. Grafik viskositas kadar 3% lignin



Gambar 7. Grafik viskositas kadar 6% lignin

Menurut Spesifikasi Umum 2010 (Revisi 3) Divisi 6 Ketentuan rentang Pencampuran Viskositas Aspal adalah 0,2 - 0,5 (Pas) dan Ketentuan Rentang Pemadatan Awal 1 - 2 (Pascal detik). Untuk spesifikasi rentang temperatur, pada rentang Pencampuran Viskositas Aspal 0,2 - 0,5 (Pas) yaitu di rentang (145-155)°C. Pada rentang pemadatan awal Viskositas Aspal 1 - 2 (Pas) yaitu di rentang (125-145)°C. Namun, pada penelitian ini rentang pemadatan dan pencampuran rata rata diatas ketentuan spesifikasi yang artinya aspal ini kurang bagus untuk digunakan karena semakin tingginya suhu pemadatan maka campuran beton aspal semakin padat dan mempunyai rongga-rongga yang lebih kecil sehingga pada saat dibebani kelenturannya kecil.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan kadar lignin terhadap aspal bekas pakai berbanding lurus dengan tingkat kekentalan aspal. Semakin besar penambahan kadar lignin akan semakin besar pula tingkat kekentalan aspal bekas pakai yang dihasilkan. Hal tersebut karena lignin memiliki sifat tahan terhadap temperatur tinggi sehingga membuat aspal bekas pakai sulit dicairkan dan memiliki kekentalan yang tinggi. Karena hal ini juga, aspal yang dicampur dengan kadar lignin tidak memenuhi

persyaratan spesifikasi aspal modifikasi elastomer sintesis menurut Bina Marga karena nilai viskositas kinematisnya lebih dari 3.000 cSt.

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

1. Aspal bekas pakai dengan campuran lignin mempunyai karakteristik yang sangat kaku dan tahan terhadap suhu yang tinggi. Terbukti dari hasil penelitian uji titik lembek tertinggi (78,5°C kadar lignin 6%). Nilai penetrasi aspal terdalam (9,33 mm kadar lignin 0%). Nilai daktilitas dengan aspal terputus di jarak terpendek yaitu 4,15 cm (kadar lignin 6%). Dilihat dari hasil pengujian *properties* ini, nilai ini sangat jauh dari ketentuan SNI. Ini menunjukkan bahwa pada dasarnya aspal bekas pakai sudah banyak menurun kinerja dan karakteristiknya sehingga aspal bekas pakai yang belum dimodifikasi mengalami penuaan dan membuat aspal semakin kaku.
- 2.. Hasil pengujian viskositas kinematik 135°C menunjukkan bahwa aspal bekas pakai dengan modifikasi lignin 3% memiliki viskositas 3592,205 centiStokes, lebih tinggi dari spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 1 (≤ 3000 centiStokes). Ini menunjukkan aspal terlalu kental untuk campuran aspal
3. Kesimpulannya, bahan zat aditif lignin mampu membuat aspal semakin kaku dan keras dan tidak baik untuk bahan peremajaan aspal.

5.2 Saran

1. Diperlukan bahan modifikasi yang dapat melunakkan aspal bekas pakai sehingga membuat dapat diaplikasikan dilapangan lebih mudah.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2011a). *SNI 2432:2011 Cara Uji Daktilitas Aspal*.
www.bsn.go.id
- Badan Standardisasi Nasional. (2011b). *SNI 2434:2011 Cara uji titik lembek aspal dengan alat cincin dan bola (ring and ball)*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011c). *SNI 2441:2011 Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras*. www.bsn.go.id
- Badan Standardisasi Nasional. (2011d). *SNI 2456:2011 Cara Uji Penetrasi Aspal*.
- Cifriadi, A. (2013). Penggunaan Lindi Hitam Sebagai Bahan Pelunak Dalam Kompon Karet Alam (Use of Black Liquor as Plasticizer in Natural Rubber Compounds). *Jurnal Penelitian Karet*, 31(1), 20–29.
- Falah, F., Salsabila, R. N., Pradiani, W., Karimah, A., Lubis, M. A. R., Prianto, A. H., Solihat, N. N., Sari, F. P., Rusman, R., Wijaya, I. K., & Fatriasari, W. (2022). Pengaruh Lama Penyimpanan dan Pengenceran Lindi Hitam Terhadap Karakteristik Lignin Kraft Acacia mangium. *Jurnal Riset Kimia*, 13(2), 138–151.
<https://doi.org/10.25077/jrk.v13i2.506>

- PUPR, K. (2010). Spesifikasi Umum Bina Marga 2010. In *Spesifikasi Umum Devisi VI* (Vol. 2010, Issue revisi 1).
- RSNI M-01-2003. (2010). Diklat Penggunaan Bahan & Alat Untuk Pekerjaan Jalan & Jembatan. *Modul Bahan Aspal Untuk Perkerasan Lentur*, 1–84.
- Sihombing, A. V. R., Subagio, B. S., & Hariyadi, E. S. (2018). Potensi Bioaspal Pada Bahan Daur Ulang Aspal Dan Campuran Beraspal Hangat. *Jurnal Transportasi*, 18(1), 59–66.
<http://journal.unpar.ac.id/index.php/journaltransportasi/article/view/2975>

