

**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN BAHAN PEREMAJA SULFUR TERHADAP  
SIFAT FISIK ASPAL DAUR ULANG**  
*Analysis the Effect of Sulfur Rejuvenated Material of  
the Physical Properties of Recycled Asphalt*

**Ardhya Puspita Sari\*, Mudji Wahyudi\*\*, Desi Widianty\*\***

**Abstrak**

*Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan kebutuhan manusia untuk melakukan mobilitas dirinya dalam melangsungkan kehidupan sehari-hari, penggunaan fasilitas pendukung maupun sarana dan prasarana fisik transportasi semakin meningkat. Jalan merupakan salah satu di antara sebagian faktor yang sangat vital sebagai infrastruktur pendukung untuk memperlancar kesehatan perekonomian. Pemeliharaan konvensional jalan dengan cara overlay dianggap tidak efektif dan efisien. Oleh karena itu diperlukan inovasi untuk mencari alternatif metode pembangunan yang lebih efektif. Salah satu metode untuk mengatasi masalah ini yaitu dengan menggunakan metode daur ulang aspal dengan penambahan peremaja. Metode tersebut diharapkan dapat meningkatkan kembali sifat-sifat fisik aspal lama yang telah aus.*

*Penelitian ini menggunakan sulfur sebagai bahan peremaja untuk mencampur aspal aus yang didapat dari limbah garukan perkerasan Jalan Bung Karno, Mataram . Presentase yang digunakan dalam penambahan sulfur adalah 2%, 4%, 6% dan 8% dari berat aspal.*

*Hasil penelitian menunjukkan penambahan peremaja sulfur dapat meningkatkan sifat fisik aspal berupa sifat adhesi dan kohesinya. Sifat durabilitas aspal tidak meningkat karena tidak semua pengujian yang mempengaruhi sifat ini mengalami kenaikan. Aspal dengan penambahan sulfur ini lebih cepat mengalami penuaan dan pengerasan oleh karena itu dapat dikatakan aspal ini memiliki durabilitas yang rendah.*

*Kata kunci : Daur ulang aspal, Sulfur, Sifat fisik aspal*

**PENDAHULUAN**

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan kebutuhan manusia untuk melakukan mobilitas dirinya dalam melangsungkan kehidupan sehari-hari, penggunaan fasilitas pendukung maupun sarana dan prasarana fisik transportasi semakin meningkat. Volume dan beban lalu lintas cenderung semakin bertambah sehingga diperlukan suatu inovasi dalam bidang pemeliharaan infrastruktur jalan pendukung transportasi darat guna mempertahankan atau meningkatkan umur layanan rencana jalan dalam melayani beban lalu lintas. Perlu disadari bahwa kebutuhan infrastruktur pendukung yang kokoh untuk memperlancar kesehatan perekonomian sangat diperlukan. Dalam hal ini, jalan merupakan salah satu di antara sebagian faktor yang sangat vital dari infrastruktur pendukung tersebut. Jika dana yang ada tidak mencukupi atau terbatas maka alternatif metode pembangunan prasarana pendukung yang lebih efektif dan efisien harus diupayakan. Pemeliharaan konvensional jalan dengan cara *overlay* (penambahan lapis tambahan) yang terus menerus akan mengakibatkan tebal lapis perkerasan semakin tebal padahal ketersediaan bahan material pembuat lapis perkerasan jalan yang diperlukan semakin menipis (bahan material untuk pembuatan konstruksi jalan adalah termasuk bahan-bahan material yang tidak dapat diperbarui). Penggunaan bahan-bahan tersebut secara terus menerus akan mengakibatkan habisnya cadangan alam dan semakin menipisnya persediaan karena berjumlah terbatas dan tidak dapat diperbarui seperti misalnya material bahan batuan berbutir maupun bahan perekat aspal.

---

\* Alumni Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram Jl. Majapahit 62 Mataram

\*\* Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram Jl. Majapahit 62 Mataram

Diperlukan inovasi untuk mencari alternatif metode pembangunan yang dapat menaikkan keefektifan penggunaan biaya yang ada, yaitu dengan cara mengusahakan lebih banyak ruas jalan yang direhabilitasi dari biaya yang tersedia dan dikeluarkan. Metode daur ulang (*recycling*) merupakan salah satu cara untuk mengatasi masalah ini. Penanganan dengan teknologi daur ulang aspal merupakan suatu alternatif untuk mengatasi masalah ini karena memiliki beberapa keuntungan seperti dapat meremajakan kembali sifat-sifat fisik (penetrasi, daktilitas, titik nyala dan titik bakar, berat jenis, viskositas, kehilangan berat dan titik lembek) aspal lama menjadi seperti aspal baru.

Penambahan bahan baru seperti bahan peremaja pada aspal lama yang didapatkan dengan metode ekstraksi merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan kembali sifat-sifat fisik aspal tersebut. Untuk itu, pada penelitian ini, dicoba menggunakan salah satu bahan peremaja yaitu komponen penyusun aspal itu sendiri, bahan alam sulfur (belirang). Penggunaan sulfur sebagai bahan peremaja diharapkan dapat meningkatkan kandungan sulfur yang hilang pada aspal aus. Sehingga dapat meremajakan kembali aspal aus tersebut. Selain sulfur merupakan salah satu komponen penyusun aspal, hal yang diambil sebagai pertimbangan dalam pemilihan bahan peremaja yang digunakan adalah ketersediaannya sebagai bahan batuan alam yang melimpah serta mudah didapatkan di pasaran.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Aspal

Aspal ialah bahan hidrokarbon yang bersifat melekat (*adhesive*), berwarna hitam kecoklatan, tahan terhadap air, dan viskoelastis. Aspal juga disebut bitumen merupakan bahan pengikat pada campuran beraspal yang dimanfaatkan sebagai lapis permukaan lapis perkerasan lentur. Aspal adalah suatu cairan kental yang merupakan senyawa hidrokarbon dengan sedikit mengandung sulfur, oksigen, dan klor. Secara kuantitatif, biasanya 80% massa aspal adalah karbon, 10% hydrogen, 6% belerang, dan sisanya oksigen dan nitrogen, serta sejumlah renik besi, nikel, dan vandaliun.

### Jenis Aspal

Secara umum, jenis aspal dapat diklasifikasikan berdasarkan asal dan proses pembentukannya sebagai berikut (Sukirman, 2007) :

1. Aspal Alam, aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di pulau Buton, dan ada pula yang diperoleh di pulau Trinidad berupa aspal danau.
2. Aspal Buatan, aspal ini dibuat dari proses pengolahan minyak bumi. Aspal minyak bumi adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi.

Aspal minyak dapat dibedakan menjadi beberapa bagian, yaitu:

- a. Aspal Keras / semen aspal (*asphalt cement*), adalah aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan mencair jika dipanaskan. Semen aspal harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat.
- b. Aspal Cair (*asphalt cut-back*), adalah aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar.

- c. Aspal Emulsi, yaitu campuran aspal (55%-65%) dengan air (35%-45%) dan bahan pengemulsi 1% sampai 2% yang dilakukan di pabrik pencampur.

### **Fungsi Aspal**

Fungsi aspal yang digunakan pada konstruksi perkerasan jalan adalah (Sukirman, 2007) :

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dengan agregat.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori dari agregat itu sendiri.

### **Sifat-sifat Fisik Aspal**

Sifat fisik aspal yang sangat mempengaruhi perencanaan, produksi dan kinerja campuran beraspal antara lain adalah durabilitas, adhesi dan kohesi, kepekaan terhadap temperatur, pengerasan dan penuaan. (Sukirman, 2007)

1. Daya Tahan (*Durability*), kinerja aspal sangat dipengaruhi oleh sifat aspal tersebut setelah digunakan sebagai bahan pengikat dalam campuran beraspal dan dihampar di lapangan. Ini disebabkan karena sifat aspal akan berubah secara signifikan akibat oksidasi dan pengelupasan yang terjadi pada saat pencampuran, pengangkutan dan penghamparan di lapangan. Perubahan sifat ini akan menyebabkan aspal menjadi berdaktilitas rendah atau telah mengalami penuaan. Kemampuan aspal untuk menghambat laju penuaan disebut durabilitas aspal.
2. Adhesi dan Kohesi, adhesi adalah kemampuan partikel aspal untuk melekat satu sama lainnya, dan kohesi adalah kemampuan aspal untuk melekat dan mengikat agregat. Sifat adhesi dan kohesi aspal sangat penting diketahui dalam pembuatan campuran beraspal karena sifat ini sangat mempengaruhi kinerja dan durabilitas campuran.
3. Kepekaan terhadap Temperatur, seluruh aspal bersifat termoplastis yaitu menjadi lebih keras bila temperatur menurun dan melunak bila temperatur meningkat. Kepekaan aspal untuk berubah sifat akibat perubahan temperatur ini dikenal sebagai kepekaan aspal terhadap temperatur.
4. Pengerasan dan Penuaan

Penuaan aspal adalah suatu parameter untuk mengetahui durabilitas campuran beraspal. Penuaan aspal ini disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu penguapan fraksi minyak ringan yang terkandung dalam aspal dan oksidasi (penuaan jangka pendek dan penuaan jangka panjang).

### **Aspal Modifikasi Polimer**

Aspal polimer adalah suatu material yang dihasilkan dari modifikasi antara polimer alam atau polimer sintesis dengan aspal. Modifikasi aspal polimer telah dikembangkan selama beberapa dekade terakhir. Umumnya dengan sedikit penambahan bahan polimer (biasanya sekitar 2-6%) sudah dapat meningkatkan hasil ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi, mengatasi keretakan-keretakan dan meningkatkan ketahanan yang tinggi dari kerusakan akibat umur sehingga dihasilkan pembangunan jalan lebih tahan lama serta dapat mengurangi biaya perawatan atau perbaikan jalan. Penggunaan campuran polimer aspal merupakan trend yang semakin meningkat tidak hanya karena faktor ekonomi, tetapi juga demi mendapatkan kualitas aspal yang lebih baik dan tahan lama. Modifikasi polimer aspal yang diperoleh dari interaksi antara komponen aspal dengan bahan aditif polimer dapat meningkatkan sifat-sifat dari aspal tersebut.

## Aspal Daur Ulang

Limbah perkerasan aspal jalan, merupakan sumber daya yang berharga yang dapat dimanfaatkan kembali. Limbah ini semakin banyak didaur ulang baik di negara berkembang maupun di negara maju. Pengembangan teknologi berkelanjutan ini memberikan kontribusi pada terwujudnya usaha jasa konstruksi yang ramah lingkungan.

## Bahan Peremaja Sulfur

Sulfur adalah mineral yang dihasilkan oleh proses vulkanisme. Sulfur dikenal dengan nama lain belerang yaitu kumpulan kristal kuning padat dengan berat jenis relatif sebesar 2,07 pada suhu 20°C. Dalam keadaan padat, struktur sulfur berbentuk belah ketupat tetap stabil dalam keadaan ini hingga mencapai suhu 203°F (95°C). Sulfur mencair pada suhu sekitar 240°F (116°C) hingga 300°F (149°F). Pada pemanasan hingga 318°F (159°C) melebihi tingkat polimerisasi sulfur, akan meningkatkan nilai viskositasnya. Di atas suhu 392°F (200°C), viskositas sulfur akan mulai menurun kembali. Titik didih dari cairan sulfur sekitar 824°F (440°C). Bila sulfur dipanaskan akan mencair dan saat didinginkan menjadi seperti karet.

## Metode Statistik

### Analisis Regresi

Dalam analisis regresi terdapat dua jenis variabel, yaitu :

1. Persamaan linier,  $y = a + bx$  ..... (1)
2. Persamaan parabola kuadratik,  $y = a + bx + cx^2$  ..... (2)
3. Persamaan parabola kubik,  $y = a + bx + cx^2 + dx^3$  ..... (3)

dimana :  $y$  = Nilai variabel terikat;  $x$  = Nilai variabel bebas, dalam hal ini adalah variasi kadar sulfur;  $a, b, c, d$  = koefisien

Persamaan garis regresi ini diperoleh dari sekumpulan data yang kemudian disusun menjadi diagram pencar (*scatter*). Dari diagram tersebut dengan bantuan *Microsoft Excel™* dapat dibuat garis regresi liniernya, kemudian dari garis regresi itu diperoleh persamaan regresi dan nilai koefisien determinasi. Koefisien korelasi digunakan untuk menentukan kategori hubungan antara variabel terikat dengan variabel bebas, indeks/bilangan yang digunakan untuk menentukan kategori keeratan hubungan berdasarkan nilai  $r$  adalah sebagai berikut :

$0 \leq r \leq 0,2$	—————>	korelasi lemah sekali
$0,2 \leq r \leq 0,4$	—————>	korelasi lemah
$0,4 \leq r \leq 0,7$	—————>	korelasi cukup kuat
$0,7 \leq r \leq 0,9$	—————>	korelasi kuat
$0,9 \leq r \leq 1,0$	—————>	korelasi sangat kuat

### Analysis of Variance (ANOVA)

Tujuan dari ANOVA adalah untuk mengidentifikasi variabel bebas yang penting dan bagaimana variabel tersebut dapat mempengaruhi respons. Bila hanya salah satu faktor yang diselidiki, proses ini disebut satu arah atau analisis faktor tunggal varians.

Tabel 1. Bentuk tabel analisa untuk metode ANOVA satu faktor

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat (JK)	Derajat Kebebasan (dk)	Mean Kuadrat (MK)	F hitung
Antar kelompok	$= \sum((\sum X_{kel})^2/n_{kel}) - ((\sum X_{tot})^2/N)$	$= m - 1$	$= MK_{antar\ kelompok} - (m - 1)$	$= MK_{antar\ kelompok} / MK_{dlm\ kelompok}$
Dalam Kelompok	$JK_{total} - JK_{antar\ kelompok}$	$= N - m$	$= MK_{dlm\ kelompok} - (N - m)$	
Total	$= \sum X_i^2 - ((\sum X_{tot})^2/N)$	$= N - 1$		

Keterangan :  $X_i$  = data ke- I,  $X_{tot}$  = jumlah semua data dari baris dan kolom,  $N$  = banyaknya seluruh anggota sampel,  $X_{kel}$  = jumlah data dari setiap kolom,  $n_{kel}$  = banyaknya data dari setiap kolom,  $m$  = jumlah kolom sampel

Semua nilai diatas didapat, kemudian membandingkan harga  $F_{hitung}$  dengan  $F_{tabel}$  dengan dk pembilang (dk antar kelompok) dan dk penyebut (dk dalam kelompok). Harga  $F_{hasil}$  perhitungan tersebut selanjutnya disebut  $F_{hasil}$  yang berdistribusi F dengan dk pembilang (dk antar kelompok) dan dk penyebut (dk dalam kelompok) tertentu.

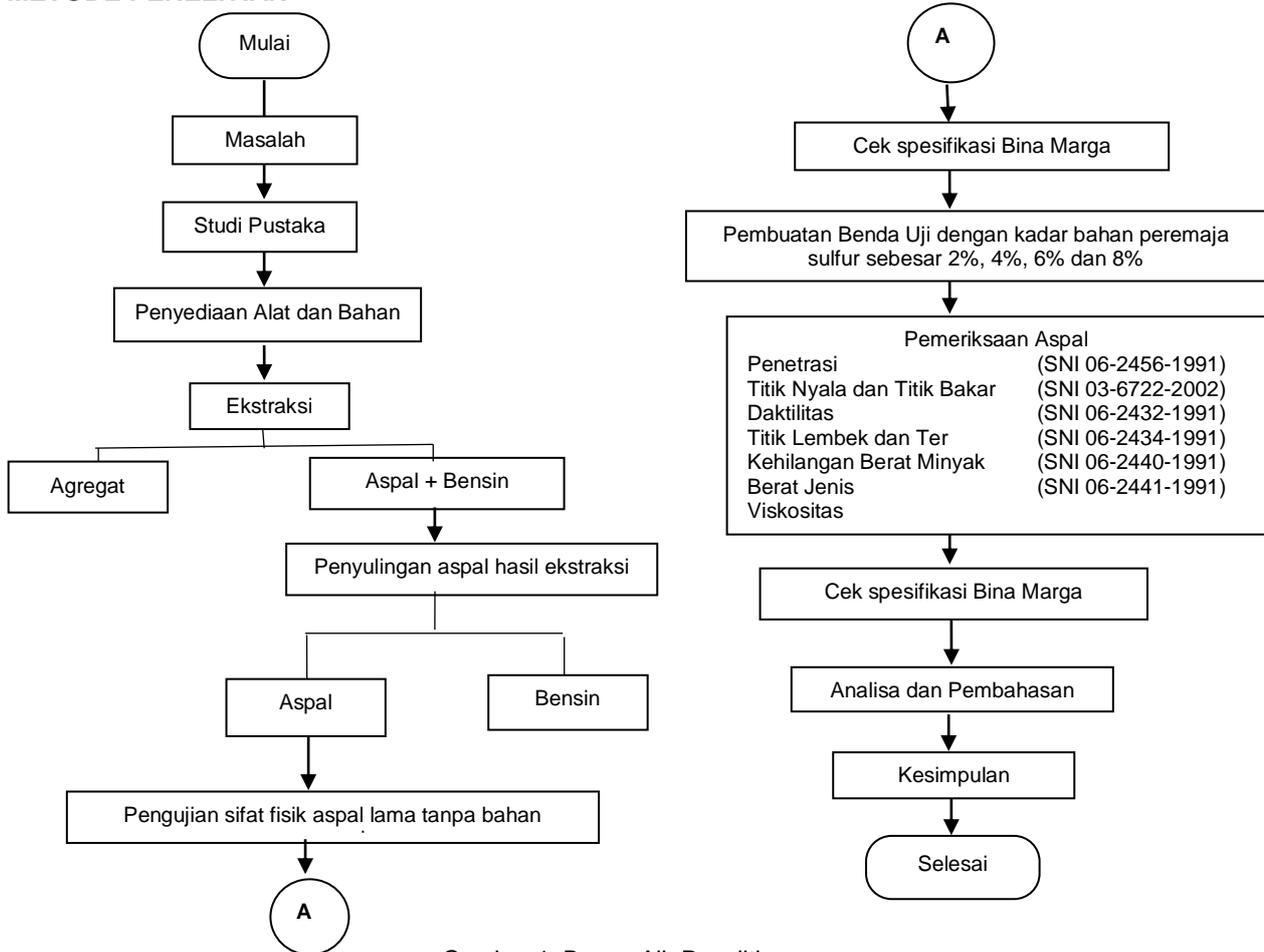
Ketentuan pengujian hipotesis :

$H_0$  : kadar bahan peremaja tidak berpegaruh terhadap sifat fisik benda uji

$H_a$  : kadar bahan peremaja berpengaruh terhadap sifat fisik benda uji

Bila harga  $F_{hasil}$  lebih kecil atau sama dengan  $F_{tabel}$  ( $F_h \leq F_t$ ), maka  $H_0$  diterima dan  $H_a$  ditolak, sebaliknya bila  $F_h > F_t$  maka  $H_a$  diterima dan  $H_0$  ditolak.

**METODE PENELITIAN**



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian Aspal Lama

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil penyulingan dari proses ekstraksi campuran beraspal yang dikeruk dari proyek perbaikan di jalan Bung Karno, Mataram. Pemeriksaan dan pengujian sampel mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI). Tabel 2 menunjukkan hasil penelitian sifat fisik aspal lama tersebut:

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Aspal Lama

Jenis Pemeriksaan	Aspal Lama *)	Syarat Aspal Penetrasi 60/70 **)
Penetrasi (0,1mm), 25°C	31	60-70
Daktalitas (cm)	48,3	≥ 100
Titik Lembek (°C)	47,2	≥ 48
Titik Nyala (°C)	246	≥ 232
Berat Jenis	1,035	≥ 1,0
Penurunan Berat (%)	0,428	≤ 0,8
Viskositas (cst)	2023,1	≥ 300

Keterangan : \*) : Hasil Penelitian ; \*\*) : Bina Marga 2010

### Hasil Penelitian Benda Uji dan Pembahasan

Presentase bahan peremaja sulfur yang digunakan untuk membuat sampel benda uji adalah 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% dari berat aspal. Untuk persiapan benda uji, aspal hasil penyulingan dipanaskan kemudian dibagi menjadi 5 sesuai dengan kadar peremaja yang digunakan. Kemudian aspal yang telah dibagi tersebut masing-masing dipanaskan dan ditambahkan bahan peremaja sulfur dalam bentuk cair sesuai dengan kadarnya dan diaduk hingga merata. Setelah itu aspal yang sudah dicampur bahan peremaja tersebut digunakan untuk setiap pemeriksaan aspal daur ulang.

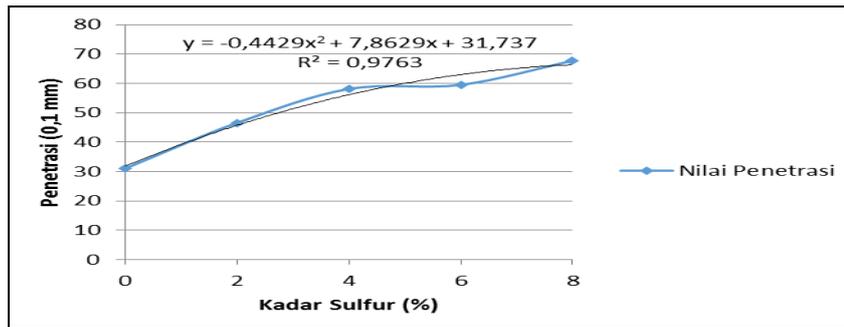
#### 1. Pengujian Penetrasi

Tabel 3 menunjukkan perubahan aspal lama setelah ditambahkan bahan peremaja sulfur.

Tabel 3. Hasil pengujian penetrasi aspal dengan bahan peremaja.

Variabel Sampel	Presentase Kadar Bahan Peremaja Sulfur				
	0%	2%	4%	6%	8%
Sampel A	30	45,6	60,2	60,6	64,6
Sampel B	33,6	47,2	57,6	58	71,6
Sampel C	29,4	46,8	56,4	59,8	66,8
Rata-rata	31	46,5	58,1	59,5	67,7

Hubungan antara penambahan kadar peremaja terhadap nilai penetrasi aspal dapat dilihat pada gambar 2. Dari gambar 2 didapatkan nilai determinasi ( $r^2$ ) dari pengujian penetrasi aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur sebesar 0,976. Sedangkan untuk nilai korelasi ( $r$ ) didapatkan nilai sebesar 0,987. Dari nilai korelasi yang didapat disimpulkan bahwa pengujian penetrasi aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur memiliki hubungan korelasi yang sangat kuat, karena nilai  $0,9 \leq r \leq 1,0$ . Sehingga dapat dikatakan penambahan peremaja sulfur memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap pengujian penetrasi.



Gambar 2. Grafik hubungan kadar peremaja sulfur dengan nilai penetrasi.

Tabel 4. Daftar Anova untuk pengujian penetrasi aspal dengan Sulfur.

Sumber Keragaman	Jumlah Keragaman (JK)	Derajat Kebebasan (dk)	Mean Kuadrat (MK)	F Hitung	F Tabel
Antar Kelompok	2422,17	4	605,54	125,04	3,48
Dalam Kelompok	48,43	10	4,84		
Total	2470,60	14			

Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai F hitung lebih besar, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima.  $H_0$  adalah hipotesis yang menyatakan bahwa variasi kadar peremaja tidak berpengaruh terhadap sifat fisik aspal lama, sedangkan  $H_a$  adalah hipotesis yang menyatakan bahwa variasi kadar peremaja berpengaruh terhadap sifat fisik aspal lama. Hal ini dapat berarti penambahan peremaja sulfur berpengaruh terhadap kenaikan nilai penetrasi benda uji.

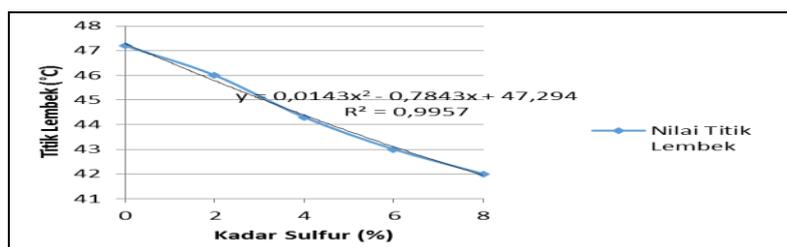
## 2. Pengujian Titik Lembek

Tabel 5 menunjukkan perubahan nilai titik lembek aspal lama setelah dicampurkan bahan peremaja sulfur.

Tabel 5. Hasil pengujian titik lembek aspal lama dengan penambahan peremaja.

Variabel Sampel	Presentase Kadar Bahan Peremaja Sulfur				
	0%	2%	4%	6%	8%
Sampel A	48	46	44	42	42
Sampel B	46,5	46	45	43	41,5
Sampel C	47	46	44	44	42,5
Rata-rata	47,2	46	44,3	43	42

Hubungan antara penambahan kadar peremaja terhadap nilai titik lembek aspal dapat dilihat pada gambar 3. Dari gambar 3 didapatkan nilai determinasi ( $r^2$ ) dari pengujian titik lembek aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur sebesar 0,995. Sedangkan untuk nilai korelasi ( $r$ ) didapatkan nilai sebesar 0,997. Dari nilai korelasi yang didapat disimpulkan bahwa pengujian titik lembek aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur memiliki hubungan korelasi yang sangat kuat, karena nilai  $0,9 \leq r \leq 1,0$ . Sehingga dapat dikatakan penambahan peremaja sulfur memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap pengujian titik lembek.



Gambar 3. Grafik hubungan kadar sulfur dengan nilai titik lembek.

Tabel 6. Daftar ANOVA untuk pengujian titik lembek aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur.

Sumber Keragaman	Jumlah Keragaman (JK)	Derajat Kebebasan (dk)	Mean Kuadrat (MK)	F Hitung	F Tabel
Antar Kelompok	53,67	4	13,42	30,96	3,48
Dalam Kelompok	4,33	10	0,43		
Total	58,0	14			

Dari nilai di atas dapat disimpulkan bahwa nilai F hitung lebih besar, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima.  $H_0$  adalah hipotesis yang menyatakan bahwa variasi kadar peremaja tidak berpengaruh terhadap sifat fisik aspal lama, sedangkan  $H_a$  adalah hipotesis yang menyatakan bahwa variasi kadar peremaja berpengaruh terhadap sifat fisik aspal lama. Hal ini berarti penambahan peremaja sulfur berpengaruh terhadap kenaikan nilai titik lembek aspal daur ulang.

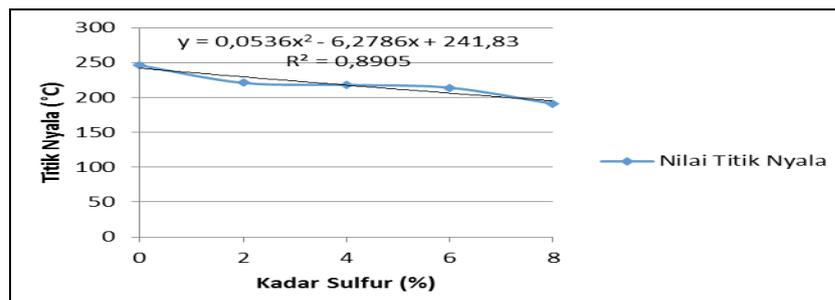
### 3. Pengujian Titik Nyala

Tabel 7 menunjukkan perubahan nilai titik nyala aspal lama setelah dicampur bahan peremaja sulfur.

Tabel 7. Hasil pengujian titik nyala aspal lama dengan bahan peremaja

Variabel Sampel	Presentase Kadar Bahan Peremaja Sulfur				
	0%	2%	4%	6%	8%
Sampel A	246	223	218	215	190
Sampel B	245	220	217	214	192
Sampel C	247	222	218	214	190
Rata-rata	246	221	218	214	191

Hubungan antara penambahan kadar peremaja terhadap nilai titik nyala aspal dapat dilihat pada gambar 4. Dari gambar 4 didapatkan nilai determinasi ( $r^2$ ) dari pengujian titik nyala aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur sebesar 0,890. Sedangkan untuk korelasi ( $r$ ) didapatkan nilai sebesar 0,943. Dari nilai korelasi yang didapat disimpulkan bahwa pengujian titik nyala aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur memiliki hubungan korelasi sangat kuat, karena  $0,9 \leq r \leq 1,0$ . Sehingga dapat dikatakan penambahan peremaja sulfur memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap pengujian titik nyala.



Gambar 4. Grafik hubungan kadar sulfur dengan nilai titik nyala.

Tabel 8. Daftar ANOVA untuk pengujian titik nyala aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur.

Sumber Keragaman	Jumlah Keragaman (JK)	Derajat Kebebasan (dk)	Mean Kuadrat (MK)	F Hitung	F Tabel
Antar Kelompok	4674,27	4	1168,57	1095,53	3,48
Dalam Kelompok	10,67	10	1,07		
Total	4684,93	14			

Dari nilai di atas dapat disimpulkan bahwa nilai F hitung lebih besar, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima.  $H_0$  adalah hipotesis yang menyatakan bahwa variasi kadar peremaja tidak berpengaruh terhadap sifat fisik aspal lama, sedangkan  $H_a$  adalah hipotesis yang menyatakan bahwa variasi kadar

peremaja berpengaruh terhadap sifat fisik aspal lama. Hal ini berarti penambahan bahan peremaja sulfur mempengaruhi titik nyala aspal daur ulang tersebut.

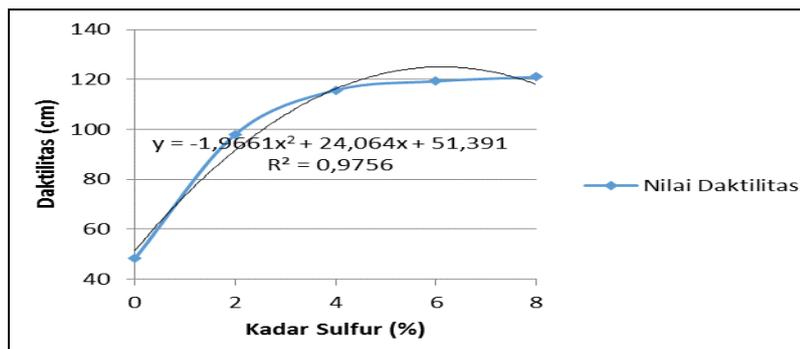
#### 4. Pengujian Daktilitas

Tabel 9 menunjukkan perubahan daktilitas aspal lama setelah dicampur bahan peremaja sulfur.

Tabel 9. Hasil pengujian daktilitas aspal lama dengan penambahan peremaja.

Variabel Sampel	Presentase Kadar Bahan Peremaja Sulfur				
	0%	2%	4%	6%	8%
Sampel A	51	95	116	120	121
Sampel B	48	101	115	117	120
Sampel C	46	98	116	121	122
Rata-rata	48,3	98	115,7	119,3	121

Hubungan antara penambahan kadar peremaja terhadap nilai daktilitas aspal dapat dilihat pada gambar 5. Dari gambar 5 didapatkan nilai determinasi ( $r^2$ ) dari pengujian daktilitas aspal lama dengan penambahan peremaja sebesar 0,975. Sedangkan untuk nilai korelasi ( $r$ ) didapatkan nilai sebesar 0,987. Dari nilai korelasi yang didapat disimpulkan bahwa pengujian daktilitas aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur memiliki hubungan korelasi sangat kuat, karena  $0,9 \leq r \leq 1,0$ . Sehingga dapat dikatakan penambahan peremaja sulfur memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap pengujian daktilitas aspal.



Gambar 5. Grafik hubungan antara kadar sulfur dengan nilai daktilitas.

Tabel 10. Daftar ANOVA untuk pengujian daktilitas aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur.

Sumber Keragaman	Jumlah Keragaman (JK)	Derajat Kebebasan (dk)	Mean Kuadrat (MK)	F Hitung	F Tabel
Antar Kelompok	11197,73	4	2799,43	666,53	3,48
Dalam Kelompok	42,0	10	4,20		
Total	11239,73	14			

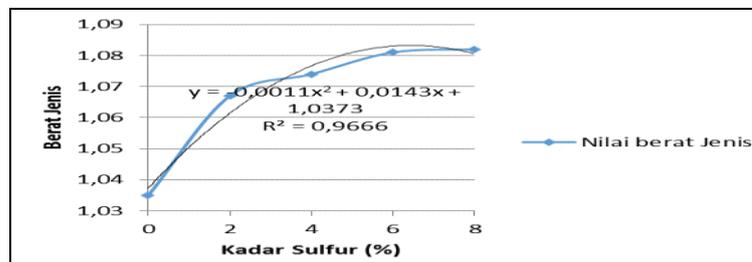
Dari nilai di atas dapat disimpulkan bahwa nilai F hitung lebih besar, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima.  $H_0$  adalah hipotesis yang menyatakan bahwa variasi kadar peremaja tidak berpengaruh terhadap sifat fisik aspal lama, sedangkan  $H_a$  adalah hipotesis yang menyatakan bahwa variasi kadar peremaja berpengaruh terhadap sifat fisik aspal lama. Hal ini berarti penambahan peremaja sulfur berpengaruh terhadap kenaikan nilai daktilitas aspal daur ulang.

## 5. Pengujian Berat Jenis

Tabel 11. Hasil pengujian berat jenis aspal lama dengan penambahan peremaja.

Variabel Sampel	Presentase Kadar Bahan Peremaja Sulfur				
	0%	2%	4%	6%	8%
Sampel A	1,040	1,069	1,081	1,084	1,084
Sampel B	1,025	1,057	1,073	1,078	1,074
Sampel C	1,040	1,075	1,069	1,081	1,087
Rata-rata	1,035	1,067	1,074	1,081	1,082

Hubungan antara penambahan kadar peremaja terhadap nilai berat jenis aspal dapat dilihat pada gambar 6. Dari gambar 6 didapatkan nilai determinasi ( $r^2$ ) dari pengujian aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur sebesar 0,966. Sedangkan untuk nilai korelasi ( $r$ ) didapatkan sebesar 0,982. Dari nilai korelasi yang didapat disimpulkan bahwa pengujian berat jenis aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur memiliki hubungan korelasi yang sangat kuat, karena  $0,9 \leq r \leq 1,0$ . Sehingga dapat dinyatakan bahwa penambahan peremaja sulfur memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap pengujian berat jenis.



Gambar 6. Grafik hubungan kadar sulfur dengan nilai berat jenis.

Tabel 12. Daftar ANOVA untuk pengujian berat jenis aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur.

Sumber Keragaman	Jumlah Keragaman (JK)	Derajat Kebebasan (dk)	Mean Kuadrat (MK)	F Hitung	F Tabel
Antar Kelompok	0,0045	4	0,00112	22,59	3,48
Dalam Kelompok	0,0005	10	0,00005		
Total	0,0050	14			

Dari nilai di atas dapat disimpulkan bahwa nilai F hitung lebih besar, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima.  $H_0$  adalah hipotesis yang menyatakan bahwa variasi kadar peremaja tidak berpengaruh terhadap sifat fisik aspal lama, sedangkan  $H_a$  adalah hipotesis yang menyatakan bahwa variasi kadar peremaja berpengaruh terhadap sifat fisik aspal lama. Hal ini berarti penambahan peremaja sulfur berpengaruh terhadap kenaikan nilai berat jenis aspal daur ulang.

## 6. Pengujian Viskositas

Pengujian viskositas dilakukan untuk menetapkan viskositas (kekentalan) aspal cair. Waktu yang didapatkan dari hasil pembacaan uji viskositas ini selanjutnya dikonversikan satuannya dari detik menjadi centistokes (cst) .

Tabel 13. Hasil pengujian viskositas dengan penambahan 2% peremaja sulfur.

Sampel	Waktu yang Dibutuhkan	
	Jam	Detik
A	01;40;40	6040,0
B	01;37;46	5866,0
C	01;41;25	6085,0
Rata-rata		5997,0

Tabel 14. Nilai viskositas dengan cara interpolasi.

Detik (s)	Viskositas (Cst)
5650	1220
5997,0	1289,4
6300	1350

$$\text{Viskositas} = 1200 - \frac{5997 - 5650}{6300 - 5650} \times (220 - 1350)$$

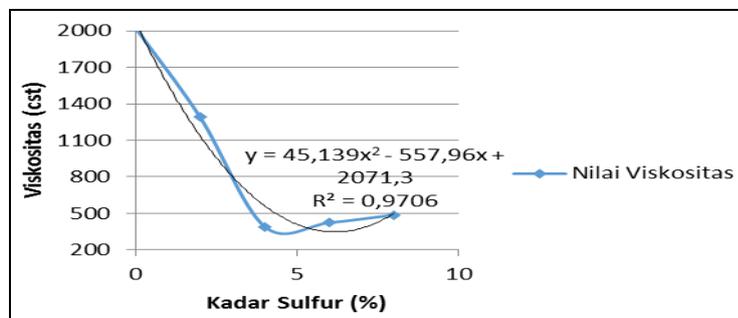
$$= 1289,4 \text{ cst}$$

Tabel 15 menunjukkan perubahan viskositas aspal lama setelah dicampur bahan peremaja sulfur.

Tabel 15. Hasil pengujian viskositas dengan penambahan peremaja sulfur

Variabel Sampel	Presentase Kadar Bahan Peremaja Sulfur				
	0%	2%	4%	6%	8%
Sampel A	2208,58	1298,00	393,79	427,39	483,42
Sampel B	1587,03	1263,20	394,20	426,34	484,57
Sampel C	1595,95	1307	384,08	415,70	625,20
Rata-rata	2023,1	1289,4	390,7	423,15	487,78

Hubungan antara penambahan kadar peremaja terhadap nilai viskositas dapat dilihat pada gambar 7. Dari gambar 7 didapatkan nilai determinasi ( $r^2$ ) dari pengujian viskositas aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur sebesar 0,970. Sedangkan untuk nilai korelasi didapatkan nilai sebesar 0,984. Dari nilai korelasi yang didapat disimpulkan bahwa pengujian viskositas aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur memiliki hubungan korelasi sangat kuat, karena nilai  $0,9 \leq r \leq 1,0$ . Sehingga dapat dikatakan bahwa penambahan peremaja sulfur memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap pengujian viskositas aspal.



Gambar 7. Grafik hubungan kadar sulfur dengan nilai viskositas.

Tabel 16. Daftar ANOVA untuk pengujian berat viskositas aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur

Sumber Keragaman	Jumlah Keragaman (JK)	Derajat Kebebasan (dk)	Mean Kuadrat (MK)	F Hitung	F Tabel
Antar Kelompok	4735614,48	4	1183903,62	44,11	3,48
Dalam Kelompok	268415,87	10	26841,59		
Total	5004030,35	14			

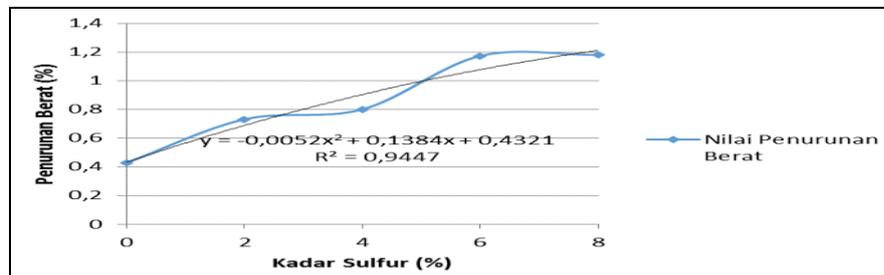
Dari nilai di atas dapat disimpulkan bahwa nilai F hitung lebih besar, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima.  $H_0$  adalah hipotesis yang menyatakan bahwa variasi kadar peremaja tidak berpengaruh terhadap sifat fisik aspal lama, sedangkan  $H_a$  adalah hipotesis yang menyatakan bahwa variasi kadar peremaja berpengaruh terhadap sifat fisik aspal lama. Hal ini berarti variasi penambahan peremaja sulfur berpengaruh terhadap nilai viskositas aspal daur ulang.

### 7. Pengujian Penurunan Berat

Tabel 17. Hasil pengujian penurunan berat aspal lama dengan bahan peremaja.

Variabel Sampel	Presentase Kadar Bahan Peremaja Sulfur				
	0%	2%	4%	6%	8%
Sampel A	0,571	0,675	0,845	1,338	1,349
Sampel B	0,356	0,506	0,670	1,173	1,010
Sampel C	0,356	1,012	1,003	1,005	1,178
Rata-rata	0,428	0,731	0,8	1,172	1,179

Hubungan antara penambahan kadar peremaja terhadap nilai penurunan berat aspal dapat dilihat pada gambar 8. Dari gambar 8 didapatkan nilai determinasi ( $r^2$ ) dari pengujian penurunan berat aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur sebesar 0,944. Sedangkan untuk nilai korelasi ( $r$ ) didapatkan nilai sebesar 0,971. Dari nilai korelasi yang didapat disimpulkan bahwa pengujian penurunan berat aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur memiliki hubungan korelasi yang sangat kuat, karena  $0,9 \leq r \leq 1,0$ . Sehingga dapat dikatakan penambahan peremaja sulfur memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap pengujian penurunan berat aspal.



Gambar 8. Grafik hubungan kadar peremaja sulfur dengan nilai penurunan berat.

Tabel 18. Daftar ANOVA untuk pengujian penurunan berat aspal lama dengan penambahan peremaja sulfur

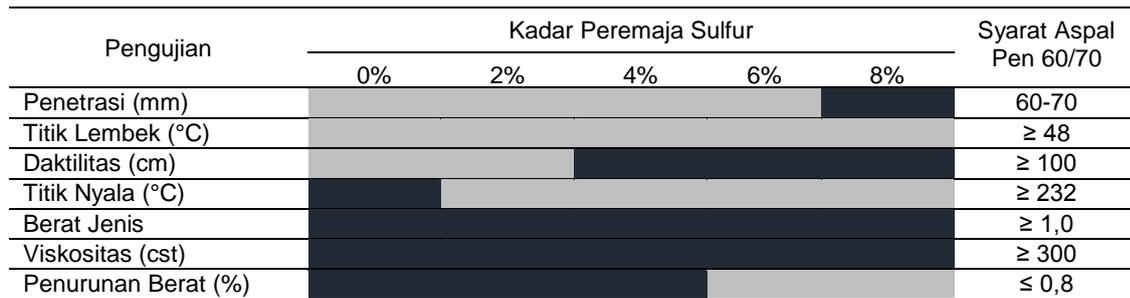
Sumber Keragaman	Jumlah Kebebasan (dk)	Derajat Kebebasan (dk)	Mean Kuadrat (MK)	F Hitung	F Tabel
Antar Kelompok	1,21	4	0,30	9,10	3,48
Dalam Kelompok	0,33	10	0,03		
Total	1,54	14			

Dari nilai di atas dapat disimpulkan bahwa nilai F hitung lebih besar, maka  $H_0$  ditolak dan  $H_a$  diterima.  $H_0$  adalah hipotesis yang menyatakan bahwa variasi kadar peremaja tidak berpengaruh terhadap sifat fisik aspal lama, sedangkan  $H_a$  adalah hipotesis yang menyatakan bahwa variasi kadar peremaja berpengaruh terhadap sifat fisik aspal lama. Hal ini berarti variasi kadar penambahan peremaja sulfur berpengaruh terhadap kenaikan nilai penurunan berat aspal daur ulang.

### Analisa Data Pengujian Aspal dengan Penambahan Peremaja

Tabel 19. Hasil pengujian aspal dengan penambahan peremaja sulfur.

Pengujian	Kadar Peremaja Sulfur					Syarat Aspal Pen 60/70
	0%	2%	4%	6%	8%	
Penetrasi (mm)	31	46,5	58,1	59,5	67,7	60-70
Titik Lembek ( $^{\circ}C$ )	47,2	46	44,3	43	42	$\geq 48$
Daktilitas (cm)	48,3	98	115,7	119,3	121	$\geq 100$
Titik Nyala ( $^{\circ}C$ )	246	221	218	214	191	$\geq 232$
Berat Jenis	1,035	1,067	1,074	1,081	1,082	$\geq 1,0$
Viskositas (cst)	2023,1	1289,4	390,7	423,15	487,78	$\geq 300$
Penurunan Berat (%)	0,428	0,731	0,8	1,172	1,179	$\leq 0,8$



Gambar 9. Grafik batang penguujian aspal dengan penambahan peremaja sulfur.

Keterangan:



Memenuhi Spesifikasi Aspal Pen 60/70

Tidak Memenuhi Spesifikasi Aspal Pen 60/70

Faktor yang mempengaruhi durabilitas aspal adalah penguujian penetrasi, titik lembek, daktilitas dan penurunan berat. Hasil penelitian menunjukkan penambahan peremaja sulfur mampu meningkatkan nilai penguujian penetrasi dan daktilitas aspal daur ulang. Namun dengan adanya peningkatan tersebut, durabilitas aspal tidak serta merta meningkat pula, karena faktor lain yang mempengaruhi durabilitas aspal tersebut yaitu penguujian titik lembek dan penurunan berat mengalami penurunan. Sifat adhesi dan kohesi aspal sangat penting diketahui dalam pembuatan campuran beraspal karena sifat ini sangat mempengaruhi kinerja dan durabilitas campuran. Nilai penguujian daktilitas, viskositas dan berat jenis yang meningkat dapat dijadikan indikator meningkatnya sifat adhesi dan kohesi aspal. Penurunan nilai penguujian titik nyala berhubungan dengan menurunnya kepekaan aspal terhadap temperatur. Penambahan sulfur menyebabkan aspal lebih cepat menyala. Perubahan suhu yang dialami oleh aspal dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan penuaan dan pengerasan pada aspal tersebut. Jika dilihat dari penurunan beratnya, aspal tersebut dapat dikatakan mempunyai durabilitas rendah karena penguapan yang terjadi akibat hilangnya fraksi minyak dalam aspal mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar peremaja pada aspal. Nilai penguujian penurunan berat aspal yang terus meningkat dapat berarti pengerasan dan penuaan aspal semakin cepat.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Penambahan peremaja sulfur dapat meningkatkan nilai penetrasi hingga 67,7 (0,1 mm), nilai daktilitas hingga 121 cm, dan berat jenisnya hingga 1,082. Nilai viskositas yang paling mendekati dengan ketentuan aspal pen 60/70 pada Bina Marga (2010) adalah pada penambahan sulfur dengan kadar 4%, 6% dan 8% dengan nilai berturut-turut 390,7 cst, 423,15 cst dan 487,78 cst. Sedangkan untuk penguujian penurunan berat yang memenuhi persyaratan adalah penambahan sulfur dengan kadar 2% dan 4% yaitu dengan nilai 0,731% dan 0,8%. Analisa statistik regresi dan ANOVA menunjukkan bahwa adanya hubungan antara penambahan kadar sulfur dengan nilai pada penguujian untuk mengetahui sifat fisik aspalnya. Penambahan peremaja sulfur dapat meningkatkan sifat fisik aspal berupa sifat adhesi dan kohesinya. Sifat durabilitas aspal tidak meningkat karena tidak semua

pengujian yang mempengaruhi sifat ini mengalami kenaikan. Aspal dengan penambahan sulfur ini lebih cepat mengalami penuaan dan pengerasan oleh karena itu dapat dikatakan aspal ini memiliki durabilitas yang rendah.

### Saran

Karena pada penelitian ini hanya menggunakan sulfur sebagai bahan peremaja, maka untuk penelitian selanjutnya sebaiknya menambahkan bahan-bahan polimer lain sebagai campuran untuk meningkatkan nilai-nilai sifat fisik aspal daur.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai komponen kimia dari variasi kadar bahan peremaja dengan aspal daur ulangnya sehingga kita dapat mengetahui apa saja yang dibutuhkan untuk meningkatkan kembali nilai-nilai sifat fisik aspal daur ulang.

### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2002, *Modul Praktikum Bahan Perkerasan Jalan*, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Mataram.
- Anonim, 1991, SNI 06-2441-1991 : *Metode Pengujian Berat Jenis Aspal Padat*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 1991, 1991, SNI 06-2432-1991 : *Metode Pengujian Daktilitas*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 1991, SNI 06-2440-1991 : *Metode Pengujian Kehilangan Berat Minyak dan Aspal*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 1991, SNI 06-2456-1991 : *Metode Pengujian Penetrasi Bahan–Bahan Bitumen*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 1991, SNI 06-2434-1991 : *Metode Pengujian Titik Lembek Aspal dan Ter*. Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2002, SNI 03-6722-2002 : *Metode Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar dengan Cleve Land Open* . Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim, 2002, SNI 06-6721-2002 : *Metode Pengujian Kekentalan Aspal Cair dan Aspal Emulsi dengan Alat Saybolt*. Badan Standarisasi
- Mashuri dan Patunrangi, 2011, *Perubahan Karakteristik Mekanik Aspal yang ditambahkan Sulfur sebagai Bahan Tambah*, <http://www.573-2010-1-Belirang-%tadulako.html>. Diakses 3 September 2014.
- Setiawan, Arief., 2012, *Pengaruh Sulfur terhadap Karakteristik Marshall Asphaltic Concrete Wearing Course*, <http://www.ipi11047.html>. Diakses 3 September 2014.
- Sudjana, 1996, *Metode Statistika Edisi ke 6*, Tarsito, Bandung.
- Sukirman, Silvia., 2007, *Beton Aspal Campuran Panas*, Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.