

## PERUBAHAN KARAKTERISTIK MEKANIS ASPAL YANG DITAMBAHKAN SULFUR SEBAGAI BAHAN TAMBAH

Mashuri\* dan Jurair Patunrangi\*

*The purpose of this study is to observe the effect of sulfur on changes in mechanical properties of bitumen as a binder material. Usability research is expected to be preliminary information in estimating the advantages and disadvantages of asphalt concrete when using material added sulfur.*

*This research has been done in the Laboratory of Transportation and Highway, Faculty of Engineering Tadulako University, Palu.*

*The scenario study was conducted with the manufacture of bitumen specimens with variation of sulfur content of 0.0%, 2.0%, 4.0%, 6.0%, 8.0% and 10.0% by weight of bitumen samples. Value mechanical properties of bitumen binder under study include the value of penetration, softening point, specific gravity of bitumen, bitumen Flashpoint and Ductility. Method of inferential statistics (t-student test) at 5% significance level used to determine the effect of adding sulfur to the bitumen on the mechanical properties.*

*The results of this study found that the addition of sulfur into the bitumen on the variation of 0% to 10% affect the mechanical properties of bitumen such as penetration, softening point, penetration index (PI), the specific gravity of asphalt, asphalt ductility and Flashpoint. The study also found that the sulfur content ranges from 6% to 10% in bitumen tends to produce bitumen penetration index (PI) is positive ( $PI > 0$ ) which means the asphalt is less temperature susceptible.*

**Keyword:** Bitumen, sulfur

### 1. Pendahuluan

Dalam usaha menanggulangi kerusakan-kerusakan pada perkerasan beton aspal seperti kerusakan alur dan terjadinya lubang yang lebih dini, dewasa ini banyak usaha-usaha yang telah dilakukan untuk menanggulangi kerusakan-kerusakan tersebut. Upaya-upaya yang dilakukan antara lain adalah penggunaan aspal yang mempunyai titik leleh yang tinggi (di atas  $60^{\circ}\text{C}$ ), Penetrasi di atas 50, mempunyai daya lekat yang cukup tinggi. Untuk mencapai sifat-sifat aspal yang diinginkan tersebut maka penggunaan bahan-bahan tambah ke dalam aspal mulai dilakukan.

Penggunaan bahan-bahan tambah ke dalam campuran aspal sangat tergantung pada hasil akhir produk perkerasan aspal yang diinginkan. Sebagai contoh; jika diinginkan aspal sebagai bahan pengikat yang berdaya lekat tinggi maka digunakan suatu bahan tambah yang mempunyai daya lekat yang tinggi pula, demikian juga bila diinginkan aspal yang mempunyai ketahanan terhadap variasi temperatur dan beban yang berat maka aspal akan

menggunakan bahan tambah yang mampu menahan temperatur yang bervariasi dan beban lalu-lintas berat.

Berdasarkan hal tersebut di atas maka peneliti mencoba untuk melihat potensi pada bahan sulfur dalam perubahan sifat-sifat mekanis aspal. Dengan mengetahui perubahan sifat-sifat mekanis aspal yang ditambahkan sulfur maka dapat diperkirakan bagaimana karakteristik-karakteristik campuran beton aspal sehingga kelebihan dan kekurangan campuran dapat diprediksi pula. Penggunaan bahan tambah sulfur didasarkan atas pertimbangan seperti mudah didapatkan di pasaran dengan harga yang murah, titik leleh yang tidak terlalu tinggi sehingga memungkinkan sulfur tercampur merata dengan aspal dalam waktu yang tidak terlalu lama.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan Sulfur terhadap perubahan sifat-sifat mekanis aspal meliputi nilai penetrasi, berat jenis, titik leleh, daktilitas dan titik nyala aspal. Manfaat dari penelitian ini adalah dapat

---

\* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

menjadi bahan masukan tentang kelebihan dan kekurangan pemakaian bahan sulfur pada produk campuran beton aspal.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1 Aspal

Aspal adalah campuran yang terdiri dari bitumen dan mineral. Bitumen merupakan bahan yang berwarna coklat hingga hitam, keras hingga cair, larut dalam CS<sub>4</sub> dan CCl<sub>4</sub> dan mempunyai sifat berlemak dan tidak larut dalam air. Sifat aspal pada temperatur ruang berbentuk padat. Jika dipanaskan hingga pada suatu temperatur tertentu, maka aspal akan menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton. Jika temperatur mulai turun, maka aspal akan mengeras serta mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis).

Aspal minyak yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan merupakan proses hasil residu dari destilasi minyak bumi, sering disebut sebagai aspal semen. Aspal semen bersifat mengikat agregat pada campuran aspal beton dan memberikan lapisan kedap air, serta tahan terhadap pengaruh asam, basa dan garam. Ini berarti jika dibuatkan lapisan dengan mempergunakan aspal sebagai pengikat dengan mutu yang baik dapat memberikan lapisan kedap air dan tahan terhadap pengaruh cuaca dan reaksi kimia lain.

Kandungan utama aspal adalah senyawa Karbon jenuh dan tak jenuh, alifatik dan aromatik yang mempunyai atom Karbon sampai 150 per molekul. Atom-atom penyusun aspal selain Hidrogen dan Karbon adalah Nitrogen, Oksigen, Belerang (Sulfur) dan beberapa atom lain. Secara kuantitatif, 80% massa aspal adalah Karbon, 10% Hidrogen, 6% Sulfur dan sisanya adalah Oksigen dan Nitrogen serta sejumlah renik Besi, Nikel dan Vanadium.

Pada kondisi lalu-lintas dan temperatur normal, aspal biasanya mempunyai sifat-sifat mekanis yang baik. Akan tetapi aspal juga mempunyai sifat-sifat yang kurang baik yaitu sangat tergantung pada temperatur lingkungannya dimana pada temperatur tinggi aspal merupakan material yang mudah lunak dan pada temperatur rendah aspal merupakan material yang rapuh dan getas. Oleh karena sifat-sifat tersebut, teknologi penggunaan bahan tambah ke dalam aspal berkembang semakin pesat. Umumnya aspal yang telah dimodifikasi dengan bahan tambah akan

mempunyai sifat-sifat mekanis yang lebih baik dari aspal dasarnya.

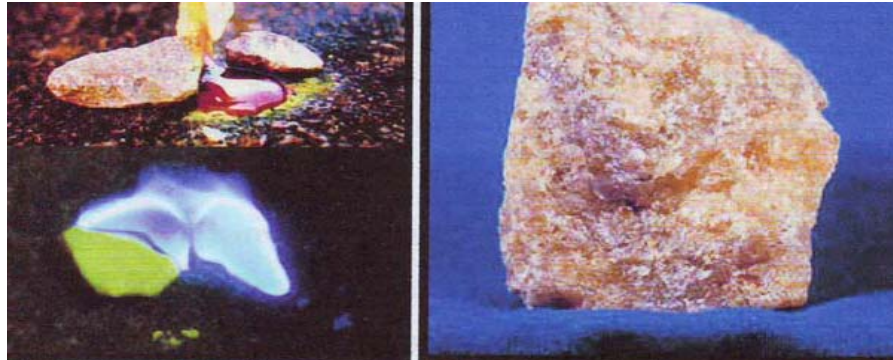
Aspal yang ditambahkan beberapa macam aditif tergantung pada keperluan atau seperti apa produk perkerasan yang dikehendaki oleh perencana. Sebagai contoh penambahan aditif pada aspal untuk meningkatkan stabilitas untuk jalan dengan lalu-lintas berat, meningkatkan viskositas aspal saat pengolahannya, meningkatkan ketahanan terhadap pengelupasan permukaan perkerasan (*stripping*) serta mengurangi kepekaan aspal dari pengaruh variasi temperatur sehingga aspal menjadi lebih tahan terhadap perubahan temperatur dan beban lalu-lintas berat.

Beberapa tujuan atau alasan memodifikasi aspal dengan bahan-bahan aditif antara lain:

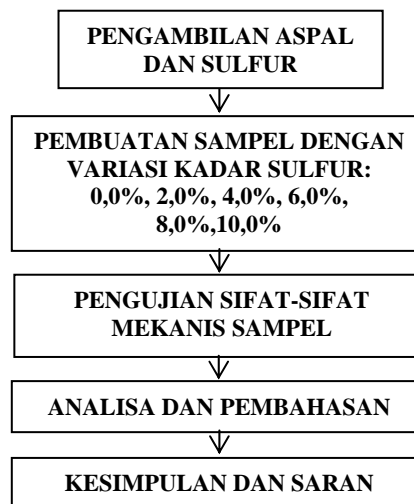
- Aspal pada temperatur rendah tidak rapuh/getas sehingga mengurangi potensi terjadinya retak (*cracking*).
- Aspal pada temperatur tinggi lebih stabil sehingga potensi terjadinya alur (*rutting*) pada perkerasan beraspal dapat dikurangi.
- Mengurangi viskositas pada temperatur penghamparan sehingga dicapai kemudahan pelaksanaan penghamparan sekaligus pemadatannya.
- Meningkatkan stabilitas dan kekuatan campuran beraspal.
- Meningkatkan ketahanan terhadap abrasi dan leleh (*fatigue*) campuran beraspal.
- Meningkatkan ketahanan campuran beraspal dari penuaan dini (*ageing*).
- Mengurangi ketebalan lapisan dan menurunkan biaya sistem pelapisan.

### 2.2 Belerang (*Sulfur*)

Belerang atau sulfur merupakan kumpulan kristal kuning padat dengan berat jenis berkisar 2,00. Dalam keadaan padat, struktur belerang berbentuk belah ketupat dan tetap stabil hingga suhu 95<sup>0</sup>C (203<sup>0</sup>F). Pada suhu ini wujud struktur belerang akan berbentuk prisma padat. Titik leleh belerang berkisar 116<sup>0</sup>C (240<sup>0</sup>F) dimana akan berubah menjadi cairan berwarna kuning muda dengan kekentalan/viskositas yang rendah. Belerang mencair pada suhu sekitar 116<sup>0</sup>C hingga 149<sup>0</sup>C. Pada pemanasan hingga 159<sup>0</sup>C, belerang telah melebihi tingkat polimerisasinya sehingga nilai viskositasnya menjadi meningkat drastis. Kemudian suhu di atas 200<sup>0</sup>C, nilai viskositas belerang akan mulai menurun kembali. Titik didih dari cairan belerang sekitar 440<sup>0</sup>C.



Gambar 1. Contoh Mineral Sulfur (Belerang)



Gambar 2. Bagan alir penelitian

### 3. Metode Penelitian

#### 3.1 Tahapan penelitian

Tahapan-tahapan/langkah kerja penelitian ini disajikan pada Gambar 2.

#### 3.2 Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu.

#### 3.3 Bahan dan alat penelitian

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal pertamina penetrasi 60/70 yang merupakan aspal yang diolah melalui proses kualifikasi dari Pertamina dan telah tersedia di

lokasi penelitian di Laboratorium Transportasi dan Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Tadulako.

Sulfur/belerang yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari pengepul belerang di Kota Palu. Belerang yang diperoleh masih dalam keadaan kasar (bongkahan) sehingga sebelum digunakan dihaluskan terlebih dahulu.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat standar pemeriksaan aspal di laboratorium. Sementara jenis pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- Uji nilai penetrasi aspal
- Uji titik lembek aspal
- Uji Berat jenis aspal
- Uji titik nyala aspal
- Uji daktilitas aspa

### 3.4 Skenario pembuatan benda uji

Pembuatan benda Uji campuran aspal dan sulfur dilakukan dengan cara membuat benda uji dengan variasi kadar Sulfur dari 0% , 2%, 4%, 6% , 8% dan 10% terhadap berat aspal.

### 3.5 Teknik analisis data penelitian

Untuk mendapatkan kesimpulan tentang ada tidaknya hubungan antara variabel bebas X (kadar sulfur) dengan variabel tidak bebas Y (sifat-sifat mekanis aspal) dan bagaimana sifat hubungannya digunakan Uji t untuk kemiringan (*slope*) garis regresi pada tingkat kepentingan 0,05 atau 5%.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1 Hubungan kadar sulfur – Penetrasi aspal

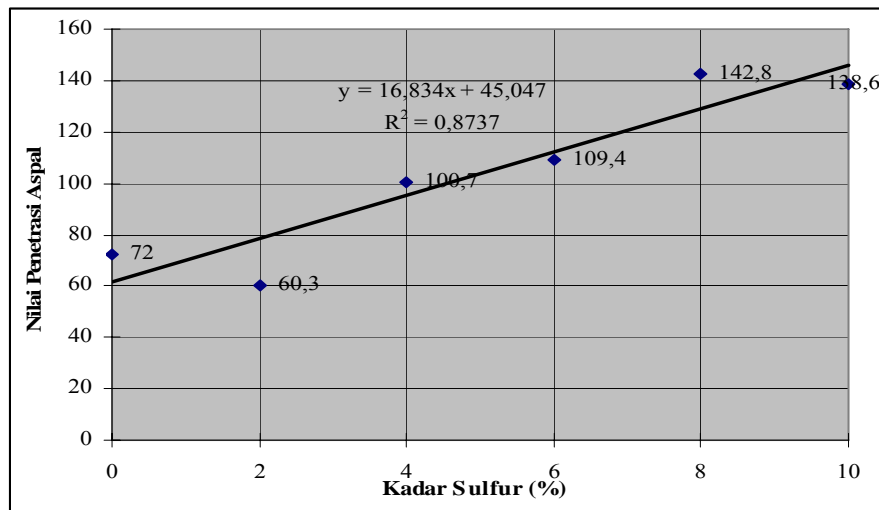
Hasil pengujian nilai penetrasi aspal pada beberapa variasi kadar sulfur disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 3.

Analisa pengaruh/hubungan antara kadar Styrofoam dalam aspal dengan nilai penetrasinya dilakukan dengan menggunakan uji statistik uji-t student pada tingkat signifikansi 5%. Prosedur pengujian uji-t student adalah sebagai berikut:

- a. Hipotesis:
  - a.  $H_0$  :  $b = 0$
  - b.  $H_1$  :  $b \neq 0$
- b. Pemilihan tingkat signifikansi  $\alpha = 5\%$
- c. Digunakan distribusi  $t_{0,025}$  dengan  $df = n - 2 = 6 - 2 = 4$
- d. Penetapan nilai  $t_{tabel}$  pada uji dua sisi yaitu  $t_{tabel} = t_{0,025 ; 4} = \pm 2,776$
- e. Perhitungan nilai  $t_{hitung} = (b - 0) / S_b = (16,834 - 0) / 5,825 = 2,890$
- f. Pengambilan keputusan: Karena  $t_{hitung} = 2,890 > 2,776$  maka dapat disimpulkan bahwa Hipotesa  $H_0$  ditolak yang artinya bahwa terdapat kemiringan pada garis regresi serta terdapat suatu hubungan regresi yang berarti antara variabel kadar sulfur dengan nilai penetrasi aspal.

Tabel 1. Nilai Penetrasi Aspal pada Berbagai Variasi Kadar Sulfur

Kadar Sulfur (%)	0	2	4	6	8	10
Penetrasi (25 <sup>0</sup> C)	72	60,3	100,7	109,4	142,8	138,6



Gambar 3. Hubungan Kadar Sulfur – Nilai Penetrasi Aspal

Berdasarkan Gambar 3 dan hasil uji t antara variabel kadar sulfur dengan nilai penetrasi aspal di atas diketahui bahwa semakin banyak kadar sulfur yang diberikan ke dalam aspal akan menyebabkan nilai penetrasi aspal menjadi besar yang berarti aspal akan semakin lunak. Dengan demikian penggunaan sulfur dalam campuran beraspal haruslah dibatasi secara ketat karena akan berpotensi terjadinya deformasi permanen dan alur pada temperatur yang cukup tinggi dan beban lalu-lintas yang berat. Dengan alasan itu pula pemakaian sulfur sebagai bahan tambah pada aspal paling tinggi sebesar 2,01% agar masih masuk dalam spesifikasi nilai penetrasi maksimum yang disyaratkan yaitu 79,0. Pembatasan kadar sulfur hingga 2,01 % diharapkan dapat mengurangi potensi terjadinya deformasi permanen dan alur pada lapis perkerasan beraspal. Namun demikian untuk dapat mengetahui secara rinci tingkat kepekaan aspal pada beberapa variasi sulfur terhadap temperatur harus pula dilihat dari nilai Indeks Penetrasinya.

#### 4.2 Hubungan Kadar Sulfur – Berat Jenis Aspal

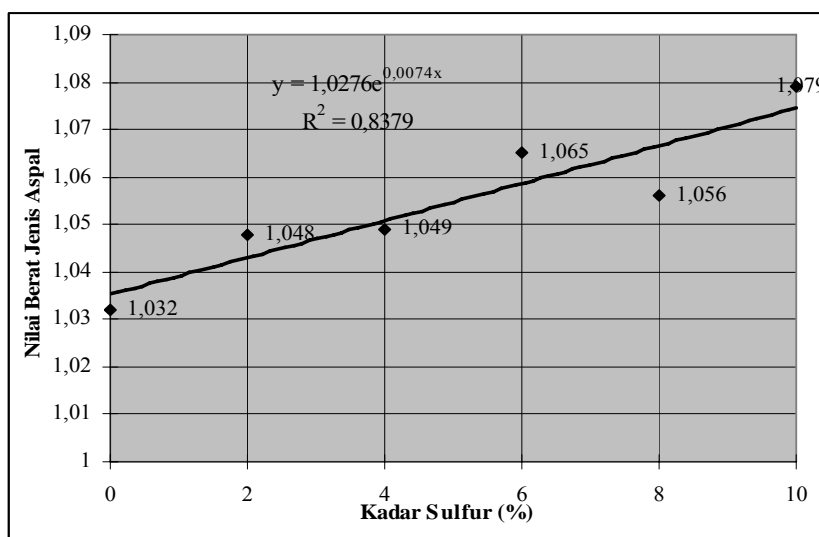
Hasil pengujian nilai Berat Jenis aspal pada beberapa variasi kadar sulfur disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 4.

Analisa pengaruh/hubungan antara kadar Styrofoam dalam aspal dengan nilai berat jenisnya dilakukan dengan menggunakan uji statistik uji-t student pada tingkat signifikansi 5%. Prosedur pengujian uji-t student adalah sebagai berikut:

- a. Hipotesis:
  - $H_0$  :  $b = 0$
  - $H_1$  :  $b \neq 0$
- b. Pemilihan tingkat signifikansi  $\alpha = 5\%$
- c. Digunakan distribusi  $t_{0,025}$  dengan  $df = n - 2 = 6 - 2 = 4$
- d. Penetapan nilai  $t_{tabel}$  pada uji dua sisi yaitu  $t_{tabel} = t_{0,025; 4} = \pm 2,776$
- e. Perhitungan nilai  $t_{hitung} = (b - 0) / S_b = (0,0074 - 0) / 0,005 = 9,418$
- f. Pengambilan keputusan: Karena  $t_{hitung} = 9,418 > 2,776$  maka dapat disimpulkan bahwa Hipotesa  $H_0$  ditolak dan menerima  $H_1$  yang artinya bahwa terdapat kemiringan pada garis regresi serta terdapat suatu hubungan regresi yang berarti antara variabel kadar sulfur dengan nilai berat jenis aspal.

Tabel 2. Nilai Berat Jenis Aspal pada Berbagai Variasi Kadar Sulfur

Kadar Sulfur (%)	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
Berat Jenis Aspal	1,032	1,048	1,049	1,065	1,056	1,079



Gambar 4. Hubungan Kadar Sulfur – Nilai Berat Jenis Aspal

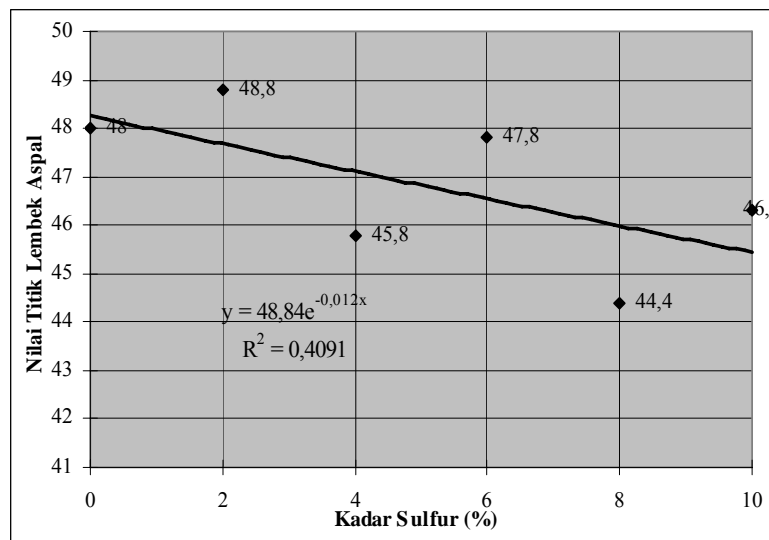
Berdasarkan hasil uji t antara variabel kadar sulfur dengan nilai berat jenis aspal di atas diketahui bahwa penambahan sulfur ke dalam aspal berpengaruh secara signifikan pada nilai berat jenis aspal atau dengan kata lain penambahan kadar sulfur hingga 10% menyebabkan adanya perubahan nilai berat jenis aspal. Dengan demikian penambahan sulfur ke dalam aspal mempengaruhi sifat-sifat mekanis aspal dilihat dari nilai berat jenisnya atau dengan kata lain penambahan sulfur hingga 10% dapat memperpanjang rantai molekul dari *asphaltenes* sehingga berat molekulnya mengalami peningkatan. Akibatnya bahan sulfur tersebut kemungkinan dapat memperbaiki nilai *Penetration Index(PI)* aspal yaitu nilai PI ke arah nilai positif ( $PI > 0$ ).

#### 4.3 Hubungan Kadar Sulfur – Titik Lembek Aspal

Hasil pengujian nilai Titik lembek aspal pada beberapa variasi kadar sulfur disajikan pada Tabel 3 dan Gambar 5.

Tabel 3. Nilai Titik Lembek Aspal pada beberapa variasi kadar sulfur

Kadar Sulfur (%)	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
Nilai Titik Lembek Aspal ( $^{\circ}\text{C}$ )	48.0	48.8	45.8	47.8	44.4	46.3



Gambar 5. Hubungan Kadar Sulfur – Nilai Titik Lembek Aspal

Analisa pengaruh/hubungan antara kadar Sulfur dalam aspal dengan nilai titik lembeknya dilakukan dengan menggunakan uji statistik uji-t student pada tingkat signifikansi 5%. Prosedur pengujian uji-t student adalah sebagai berikut:

a. Hipotesis:

$$H_0 : b = 0$$

$$H_1 : b \neq 0$$

b. Pemilihan tingkat signifikansi  $\alpha = 5\%$

c. Digunakan distribusi  $t_{0,025}$  dengan  $df = n - 2 = 6 - 2 = 4$

d. Penetapan nilai  $t_{tabel}$  pada uji dua sisi yaitu  $t_{tabel} = t_{0,025;4} = \pm 2,776$

e. Perhitungan nilai  $t_{hitung} = (b - 0) / S_b = (-0,012 - 0) / 0,002 = -7,309$

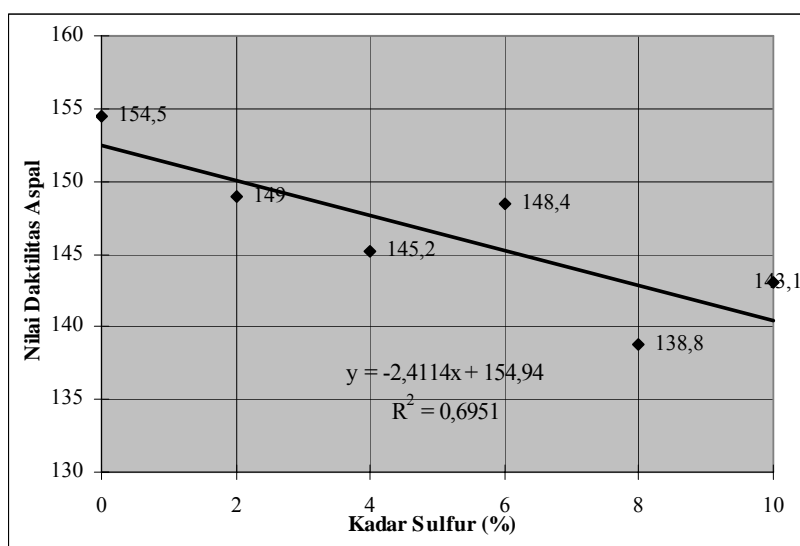
f. Pengambilan keputusan: Karena  $t_{hitung} = -7,309 < -2,776$  maka dapat disimpulkan bahwa Hipotesa  $H_0$  ditolak dan menerima  $H_1$  yang artinya bahwa terdapat kemiringan pada garis regresi serta terdapat suatu hubungan regresi yang berarti antara variabel kadar sulfur dengan nilai titik lembek aspal.

Tabel 4. Nilai Penetration Index (PI) Aspal pada beberapa variasi kadar sulfur

Kadar Sulfur (%)	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
Penetration Index (PI)	-0,835	-1,068	-0,517	0,363	0,243	0,764

Tabel 5. Nilai Daktilitas Aspal pada beberapa variasi kadar sulfur

Kadar Sulfur (%)	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
Daktilitas Aspal (cm)	154,5	149	145,2	148,4	138,8	143,1



Gambar 6. Hubungan Kadar Sulfur – Nilai Daktilitas Aspal

Berdasarkan Gambar 5 dan hasil uji t antara variabel kadar sulfur dengan nilai titik lembek aspal di atas diketahui bahwa semakin banyak kadar sulfur yang diberikan ke dalam aspal akan menyebabkan nilai titik lembek aspal cenderung semakin kecil. Untuk melihat seberapa pekanya aspal yang ditambahkan sulfur terhadap temperatur maka harus diperiksa lebih lanjut yaitu pemeriksaan nilai Indeks Penetrasinya. Indeks penetrasi aspal merupakan fungsi dari Nilai Penetrasi aspal dan Nilai titik lembeknya.

Kepekaan aspal terhadap temperatur dapat dilihat dari nilai Indeks Penetrasinya (PI). Nilai Indeks Penetrasi Aspal pada berbagai variasi kadar sulfur disajikan pada Tabel 4.

Berdasarkan nilai Indeks Penetrasi aspal pada Tabel 4 dapat diprediksi bahwa penambahan kadar sulfur dari 6,0% sampai 10,0% cenderung akan dapat mengurangi kepekaan aspal terhadap

temperatur. Hal ini dapat diketahui dari nilai Indeks Penetrasi aspal yang bernilai positif ( $PI > 0$ ). Bila dilihat dari nilai Indeks Penetrasinya penambahan sulfur dari 6,0% sampai 10,0% kemungkinan dapat meningkatkan nilai berat molekul dari *asphaltenes* sehingga panjang rantai molekul *asphaltenes* dapat lebih panjang. Bila panjang rantai molekul *asphaltenes* dapat diperpanjang dengan adanya penambahan sulfur maka kemungkinan sifat kekekalan aspal sebagai bahan pengikat menjadi lebih bagus/awet terhadap pengaruh-pengaruh luar. Hal ini sejalan dengan hasil pengujian nilai berat jenis aspal yang cenderung semakin naik dengan adanya penambahan kadar sulfur ke dalam aspal.

#### 4.4 Hubungan Kadar Sulfur – Nilai Daktilitas Aspal

Hasil pengujian nilai Titik lembek aspal pada beberapa variasi kadar sulfur disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 6.

Analisa pengaruh/hubungan antara kadar Sulfur dalam aspal dengan nilai daktilitasnya dilakukan dengan menggunakan uji statistik uji-t student pada tingkat signifikansi 5%. Prosedur pengujian uji-t student adalah sebagai berikut:

- Hipotesis:
  - $H_0 : b = 0$
  - $H_1 : b \neq 0$
- Pemilihan tingkat signifikansi  $\alpha = 5\%$
- Digunakan distribusi  $t_{0,025}$  dengan  $df = n - 2 = 6 - 2 = 4$
- Penetapan nilai  $t_{tabel}$  pada uji dua sisi yaitu  $t_{tabel} = t_{0,025; 4} = \pm 2,776$
- Perhitungan nilai  $t_{hitung} = (b - 0) / S_b = (-2,4114 - 0) / 0,274 = -8,807$
- Pengambilan keputusan: Karena  $t_{hitung} = -8,807 < -2,776$  maka dapat disimpulkan bahwa Hipotesa  $H_0$  ditolak dan menerima  $H_1$  yang artinya bahwa terdapat kemiringan pada garis regresi serta terdapat suatu hubungan regresi yang berarti antara variabel kadar sulfur dengan nilai daktilitas aspal.

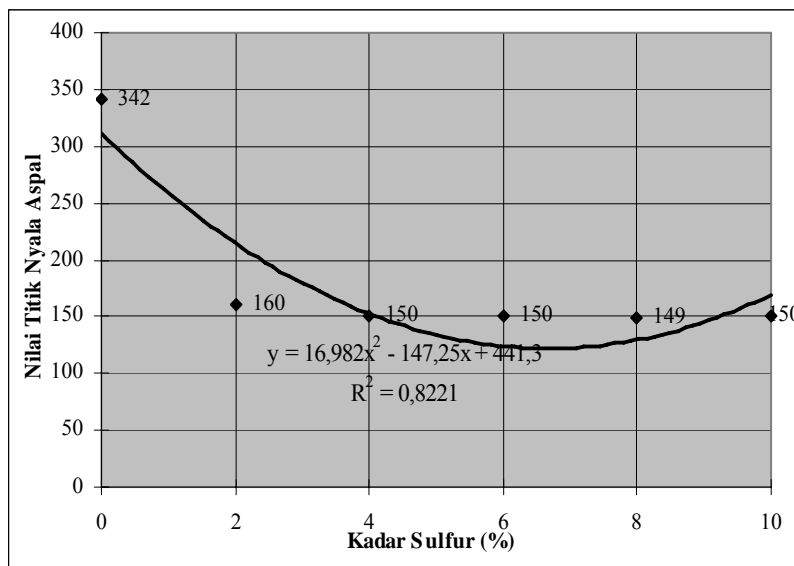
Berdasarkan Gambar 6 dan hasil uji t antara variabel kadar sulfur dengan nilai daktilitas aspal di atas diketahui bahwa semakin banyak kadar sulfur yang diberikan ke dalam aspal akan menyebabkan nilai daktilitas aspal cenderung semakin kecil. Dengan demikian dapat diketahui bahwa semakin banyak sulfur yang ditambahkan dalam aspal akan menyebabkan kemampuan aspal untuk menahan kekuatan tarik semakin kecil. Namun demikian sampai kadar sulfur 10%, nilai daktilitas aspal masih memenuhi spesifikasi yang disyaratkan untuk aspal penetrasi 60/70 yaitu minimal 100 cm.

#### 4.5 Hubungan Kadar Sulfur – Nilai Titik Nyala Aspal

Hasil pengujian nilai Titik lembek aspal pada beberapa variasi kadar sulfur disajikan pada Tabel 6 dan Gambar 7.

Tabel 6. Nilai Berat Jenis Aspal pada beberapa variasi kadar sulfur

Kadar Sulfur (%)	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
Titik nyala Aspal ( $^{\circ}\text{C}$ )	342	160	150	150	149	150



Gambar 7. Hubungan Kadar Sulfur – Nilai Titik nyala Aspal



Analisa pengaruh/hubungan antara kadar Sulfur dalam aspal dengan nilai daktilitasnya dilakukan dengan menggunakan uji statistik uji-t student pada tingkat signifikansi 5%. Prosedur pengujian uji-t student adalah sebagai berikut:

- a. Hipotesis:  
 $H_0 : b = 0$  (tidak terdapat hubungan antara variasi kadar sulfur dengan titik nyala aspal)  
 $H_1 : b \neq 0$  (terdapat hubungan antara variasi kadar sulfur dengan titik nyala aspal)
- b. Pemilihan tingkat signifikansi  $\alpha = 5\%$
- c. Digunakan distribusi  $t_{0,025}$  dengan  $df = n - 2 = 6 - 2 = 4$
- d. Penetapan nilai  $t_{tabel}$  pada uji dua sisi yaitu  $t_{tabel} = t_{0,025; 4} = \pm 2,776$
- e. Perhitungan nilai  $t_{hitung} = r \cdot \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} = 0,8221 \cdot \sqrt{\frac{6-2}{1-0,8221^2}} = 2,888$
- f. Pengambilan keputusan: Karena  $t_{hitung} = 2,888 > 2,776$  atau  $t_{hitung} < -2,776$  maka dapat disimpulkan bahwa Hipotesa  $H_0$  ditolak dan menerima  $H_1$  yang artinya bahwa terdapat hubungan antara variasi kadar sulfur dalam aspal dengan nilai titik nyalanya.

Berdasarkan Gambar 7 dan hasil uji t antara variabel kadar sulfur dengan nilai daktilitas aspal di atas diperkirakan bahwa penambahan kadar sulfur dari 0% sampai sekitar 4% cenderung akan menurunkan titik nyala aspal. Namun demikian pada kadar sulfur di atas 4% sampai 10%, nilai titik nyala aspal cenderung tetap (tidak mengalami perubahan secara signifikan). Pada kadar sulfur di atas 10% kembali mengalami kenaikan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh sulfur yang titik dididahnya mencapai  $440^{\circ}\text{C}$ . Akan tetapi secara umum variasi kadar sulfur 0% sampai 10% dalam aspal hampir tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai titik nyalanya yang diindikasikan oleh nilai  $t_{hitung} = 2,888$  tidak berbeda jauh (hampir sama) dengan nilai  $t_{tabel} = 2,776$ . Berdasarkan fenomena tersebut sebaiknya suhu pemanasan aspal tetap mengacu pada nilai titik nyala aspal sebagai batas aman dalam pelaksanaan pekerjaan bukan berdasarkan suhu titik nyala sulfur sehingga kualitas aspal tetap dapat terjaga kualitasnya terutama sifat kelekatannya.

## 5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil pada penelitian ini adalah:

- a. Semakin banyak kadar sulfur yang dicampurkan ke dalam aspal cenderung meningkatkan nilai penetrasinya yang berarti aspal semakin lunak.
- b. Semakin banyak kadar sulfur yang dicampurkan ke dalam aspal cenderung meningkatkan nilai Berat jenis aspal yang berarti kemungkinan panjang rantai molekul asphaltenes menjadi lebih panjang sehingga diharapkan aspal akan mempunyai ketahanan terhadap pengaruh lingkungan seperti temperatur, air dan beban lalu-lintas..
- c. Pada kadar sulfur 6,0% sampai 10,0% yang dicampurkan ke dalam aspal cenderung menghasilkan nilai Indeks Penetrasi aspal bernilai positif ( $PI > 0$ ) sehingga pada rentang kadar sulfur tersebut diperkirakan aspal akan kurang peka dengan temperatur meskipun nilai titik lembeknya kecil.
- d. Semakin banyak kadar sulfur yang dicampurkan ke dalam aspal cenderung memperkecil nilai daktilitasnya walaupun aspal kelihatannya semakin lunak bila dilihat dari penetrasi dan titik lembeknya..
- e. Secara umum variasi kadar aspal hingga 10% hampir tidak mempengaruhi nilai titik nyala aspal yang diindikasikan oleh nilai  $t_{hitung}$  cenderung sama dengan  $t_{tabel}$  pada taraf nyata 5%.

## 6. Daftar Pustaka

- Departemen Pekerjaan Umum, 2007, Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Pusat Litbang Prasarana Transportasi Badan Penelitian dan Pengembangan, Jakarta.
- Harinaldi, 2005, Prinsip-prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains, Erlangga, Jakarta
- Hasan, Ikbal, 2004, Analisis Data Penelitian dengan Statistik, Bumi Aksara, Jakarta
- Purnomo, 2005, Evaluasi Proyek Pantura, Arah Pembangunan dan Pemeliharaan Jalan serta Pelaksanaan Spesifikasi Baru di Kegiatan Pembangunan Jalan di Pantura Jawa., Dep. PU. Bina Marga Jakarta
- Saodang, Hamirhan, 1995, Konstruksi Jalan Raya, Perancangan Perkerasan Jalan Raya, Buku 2, Penerbit Nova Bandung
- Sukirman, Silvia, 1999, Perkerasan Lentur Jalan Raya, Nova, Bandung.

Sukirman, Silvia, 2007, Beton Aspal Campuran Panas, Granit, Bandung.

Supranto, M.A.J, 1987, Statistik, Teori dan Aplikasi Edisi Kelima, Jilid 1, Penerbit Erlangga. Surabaya.