

# PENGARUH KANDUNGAN ASPHALTENE TERHADAP SIFAT REOLOGI DAN PENUAAN ASPAL (THE EFFECT OF ASPHALTENES ON RHEOLOGICAL AND AGING CHARACTERISTICS OF ASPHALT)

Madi Hermadi<sup>1)</sup>, Nyoman Suaryana<sup>2)</sup>

<sup>1) 2)</sup> Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

<sup>1)2)</sup> Jalan A.H. Nasution No. 264, Bandung, 40294

<sup>1)</sup> e-mail: madi.hermadi@pusjatan.pu.go.id <sup>2)</sup> nyoman.suaryana@pusjatan.pu.go.id

Diterima: 06 Oktober 2013; direvisi: 21 Oktober 2013; disetujui: 02 Desember 2013

## ABSTRAK

Sering kali ditemui aspal harus dimodifikasi karena memiliki kualitas yang tidak memadai untuk perkerasan jalan. Salah satu cara modifikasi adalah dengan merekayasa komposisi kimia. Untuk keperluan tersebut, perlu diketahui korelasi yang signifikan antara komponen kimia dengan kualitas aspal, terutama sifat reologi dan penuaan. Namun kajian pustaka menunjukkan sampai saat ini korelasi tidak signifikan. Pada penelitian ini telah dilakukan pengkajian hubungan antara salah satu komponen aspal, yaitu Asphaltenes, dengan sifat reologi dan penuaan aspal. Penelitian dilakukan dengan mengekstraksi Asphaltenes dari dua aspal yang berbeda, yaitu aspal minyak dan bitumen asbuton, dengan cara Rostler (ASTM D2006) dan Corbett (ASTM D4124). Selanjutnya, masing-masing Asphaltenes ditambahkan ke dalam media aspal sebanyak 0%, 5% dan 10% serta dicampur homogen. Perubahan reologi dan penuaan aspal akibat penambahan Asphaltenes dianalisis secara statistik. Hasilnya menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antara Asphaltenes aspal minyak dengan Asphaltenes bitumen Asbuton. Hal ini membuka peluang korelasi dapat digunakan secara umum untuk berbagai jenis aspal. Pola pengaruh kandungan Asphaltenes metode Rostler relatif sama dengan metode Corbett, namun nilainya tidak persis sama. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh perbedaan pelarut yang digunakan. Pengaruh Asphaltenes terhadap penuaan menunjukkan Asphaltenes berkontribusi terhadap kecepatan penuaan sehingga harus diakomodir dalam index penuaan dengan kereaktifan tertentu. Hal ini berbeda dengan indeks durabilitas RDR dan GR yang tidak mengakomodirnya.

**Kata kunci:** Asphaltenes, aspal, Asbuton, reologi, penuaan

## ABSTRACT

Bitumen frequently should be modified because of inadequate quality. One of the modifying is by manipulating the chemical composition. For this purpose, a significant correlation between the chemical components with the asphalt quality, especially rheological and aging characteristics is required. However, previous study founded the correlation was not significant. Therefore, this study was carried out to assess the relationship between a component of asphalt, namely Asphaltenes, with rheological and aging characteristics. The study was conducted by extracting Asphaltenes from two different bitumen, petroleum asphalt and Asbuton bitumen by using Rostler (ASTM D2006) and Corbett (ASTM D4124) methods. Furthermore, each of Asphaltenes added to the asphalt medium as much as 0%, 5% and 10%, and mixed homogeneously. Changes in asphalt rheology and aging due to the addition of Asphaltenes were analyzed statistically. The results showed there is no significant difference between the Asphaltenes from petroleum asphalt and from Asbuton bitumen. This indicates the opportunities that the correlations can be used generally for various types of asphalt. The influence trend of Asphaltenes of rostler and Corbett methods are similar. Nevertheless, the value is not exactly the same. It could be caused by the differences of used solvent. The effect of Asphaltenes on aging indicated that Asphaltenes contribute to the speed of aging and should be accommodated in the aging index with specific reactivity. This is in contrast with the RDR and GR that did not accommodate.

**Keywords:** Asphaltenes, asphalt, Asbuton, rheology, aging

## PENDAHULUAN

Kualitas aspal sebagai bahan pengikat pada perkerasan jalan dapat dideteksi dengan melakukan pengujian sifat reologi pada kondisi aspal *fresh*, penuaan jangka pendek (penuaan selama pelaksanaan) dan penuaan jangka panjang (penuaan selama masa pelayanan) sebagaimana yang sudah direkomendasikan oleh Superpave (Transportation Research Board 2011). Untuk keperluan ini, sifat kimia aspal tidak dibutuhkan. Namun apabila aspal memiliki sifat reologi yang tidak memenuhi persyaratan, yang berarti aspal tersebut diindikasikan tidak memiliki kualitas yang memadai sebagai bahan pengikat pada perkerasan jalan, maka untuk memanfaatkan aspal tersebut perlu dilakukan modifikasi. Dalam memodifikasi aspal secara kimia ini lah maka diperlukan sifat kimia (komposisi kimia) dan hubungan yang signifikan antara sifat kimia tersebut dengan sifat reologi. Namun pada kenyataannya, berdasarkan kajian literatur, sampai saat ini belum diperoleh hubungan yang signifikan. Oleh karena itu, tujuan dari tulisan ini adalah menyajikan hasil penelitian mengenai hubungan antara sifat kimia, yang dalam hal ini dibatasi hanya pada kandungan *Asphaltenes* saja, dengan sifat reologi dan penuaan aspal.

Meski berbagai literatur menunjukkan hubungan yang tidak signifikan, penelitian ini tetap dilakukan karena diketahui cara dan pendekatan yang berbeda dan dipandang lebih baik dengan yang sudah dilakukan yaitu dengan menghilangkan hal-hal yang dapat menyebabkan hasil analisis menjadi bias. Dengan demikian maka dapat diharapkan akan menghasilkan hubungan baru yang lebih baik dari hubungan hasil penelitian sebelumnya. Perbedaan cara dan pendekatan tersebut adalah sebagai mana yang diuraikan dalam metodologi.

Untuk mengkaji, apakah hubungan baru tersebut valid untuk semua jenis aspal, perlu dilakukan validasi dengan mengkaji berbagai jenis aspal. Pada studi ini, pengkajian hanya dilakukan terhadap dua jenis aspal yang sumbernya sangat berbeda, yaitu aspal minyak pen 80/100 hasil pengolahan minyak bumi dari

timur tengah dan aspal alam Asbuton Lawele dari Pulau Buton Indonesia. Jika hubungan yang dihasilkan kedua jenis aspal tersebut sama maka diharapkan hubungan tersebut dapat berlaku umum.

Selain itu, juga digunakan dua metode ekstraksi *Asphaltenes*, yaitu metode Rostler dan metode Corbett. Hal ini dimaksudkan untuk melihat apakah pengaruh *Asphaltenes* terhadap reologi dan penuaan tetap sama meskipun diekstraksi dengan cara yang berbeda.

## KAJIAN PUSTAKA

### Sifat kimia aspal

Berdasarkan hasil kajian literatur dapat disimpulkan bahwa sampai saat ini belum diperoleh hubungan yang signifikan dan konsisten antara sifat kimia dengan sifat reologi aspal sehingga masih menimbulkan silang pendapat diantara para peneliti. Salah satu di antaranya adalah mengenai indeks durabilitas. Ada dua indeks durabilitas aspal yang dikenal saat ini, yaitu *RDR* (*Rostler Durability Ratio*) dan *GR* (*Gotolski Ratio*) (Bell 1989). Kedua indeks durabilitas tersebut didasarkan pada komposisi kimia aspal yang diuji berdasarkan metode yang diusulkan oleh Rostler dan distandarisasikan sebagai ASTM D 2006. Skema pengujian tersebut sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1. Selain itu, kedua indeks durabilitas adalah merupakan perbandingan jumlah antara komponen aspal yang reaktif dengan komponen aspal yang kurang reaktif. Dengan demikian maka diharapkan *RDR* dan *GR* dapat mengindikasikan sifat kecepatan penuaan aspal. Untuk lebih jelasnya, persamaan *RDR* dan *GR* disajikan pada persamaan (1) dan (2).

Persamaan Indeks Penuaan:

$$RDR = (N+A_1)/(P+A_2) \quad (1)$$

$$GR = (N+A_1+A_2) / (A+P) \quad (2)$$

keterangan:

A = persen *Asphaltenes*

N = persen nitrogen bases

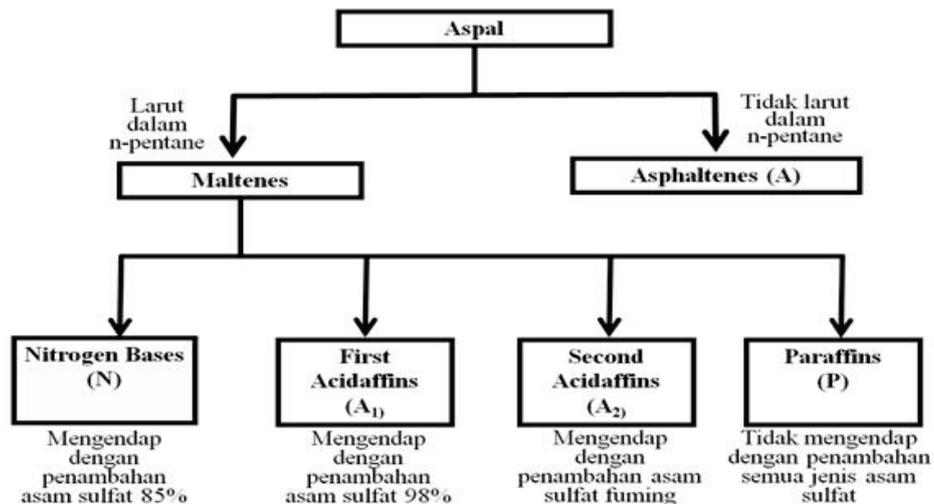
$A_1$  = persen *first acidaffin*  
 $A_2$  = persen *second acidaffin*  
 P = persen parafin.

Sebagaimana yang disampaikan oleh Bell (1989), pengkajian terhadap *RDR* dan *GR* pernah dilakukan oleh Anderson dan Dukatz. Mereka menyimpulkan bahwa *RDR* lebih mengindikasikan sifat ketahanan aspal terhadap temperatur dan *GR* lebih menggambarkan sifat penuaan aspal. Namun, klaim tersebut ditolak oleh Puzianuskas. Menurut dia tidak ada substansi bahwa *RDR* lebih mengindikasikan sifat ketahanan aspal terhadap temperatur dan *GR* lebih menggambarkan sifat penuaan aspal. Lebih lanjut Puzianuskas mengatakan bahwa *RDR* dan *GR* hanya mengindikasikan sifat kereaktifan aspal terhadap asam sulfat dan tidak lebih dari itu. Peneliti lainnya, Lu (2002) berpendapat bahwa antara sifat kimia dengan sifat reologi aspal pada umumnya tidak konsisten. Hermadi dan Syahdanulirwan (2005) menyatakan bahwa berdasarkan penelitiannya, *RDR* dan *GR* memiliki hubungan yang logis dengan sifat penuaan aspal namun secara statistik hubungannya tidak signifikan. Michalica, Daucik, dan Zanzotto (2008) menyimpulkan bahwa tidak ada korelasi yang signifikan antara sifat kimia dan sifat penuaan aspal. Walaupun demikian, Brownridge (2010) mengatakan bahwa perbandingan antara jumlah

komponen yang lebih reaktif dengan yang kurang reaktif tetap bermanfaat terutama sebagai petunjuk dalam meremajakan aspal yang sudah tua.

Tidak signifikannya *RDR* dan *GR* dalam mengindikasikan sifat penuaan aspal diyakini diantaranya dikarenakan oleh hal-hal sebagai berikut:

1. *RDR* dan *GR* didasarkan pada sifat kereaktifan komponen aspal terhadap asam sulfat, pada kenyataannya penuaan adalah sifat kereaktifan aspal terhadap lingkungannya, yakni udara terutama oksigen.
2. Persamaan *RDR* dan *GR* (Persamaan 1 dan 2) tidak mengakomodasi perbedaan tingkat kereaktifan komponen, baik yang berada pada katagori reaktif maupun tidak. Padahal masing-masing komponen diyakini memiliki kereaktifan yang berbeda-beda.
3. *RDR* tidak mengakomodir kandungan *Asphaltenes* sedangkan *GR* mengakomodir kandungan *Asphaltenes* tetapi mengelompokannya sebagai komponen yang kurang reaktif. Menurut Michalica, Daucik, Zanzotto (2008), *Asphaltenes* adalah komponen yang reaktif selama penuaan karena mengalami peningkatan jumlah molekul karbonil dan sulfoksid yang tinggi.



**Gambar 1.** Skema tahapan pengujian komposisi aspal metode Rostler (ASTM D 2006)

Komposisi kimia aspal juga dapat ditentukan berdasarkan metode Corbett yang sudah distandarisasikan sebagai ASTM D 4124. Berdasarkan metode pengujian ini molekul aspal diklasifikasikan berdasarkan tingkat kepolarannya menjadi terdiri dari *Asphaltenes*, polar aromatics, naphthene aromatics dan saturates. Skema pengujian komposisi kimia aspal Metode Corbett ditunjukkan pada Gambar 2.

Sampai saat ini belum ada indeks durabilitas berdasarkan komposisi kimia aspal yang menggunakan metode Corbett. Indeks yang sudah ada adalah asphalten indeks ( $I_A$ ) dan *coloidal index* ( $I_C$ ) sebagaimana yang ditunjukkan pada persamaan 3 dan 4. Kedua persamaan tersebut dimaksudkan untuk mendeteksi sifat kestabilan *Asphaltenes* dalam sistim koloid aspal bukan sebagai indikator reologi atau penuaan. Hal ini mungkin dikarenakan fraksinasi bukan berdasarkan kereaktifan melainkan kepolaran. Namun walaupun demikian, komposisi kimia aspal berdasarkan metode Corbett sebenarnya juga

potensial untuk mengindikasikan sifat reologi dan kereaktifan aspal selama penuaan.

Hal ini didasarkan pada pernyataan berikut:

1. Oyekunle (2006) menyatakan bahwa *Asphaltenes index* dan *coloidal index* memiliki korelasi yang baik dengan titik lembek. Hal ini berarti berpotensi memiliki korelasi yang baik juga dengan sifat konsistensi aspal lainnya termasuk reologi.
2. Petersen (2009) menyatakan bahwa fraksi polar dari aspal pada umumnya merupakan komponen yang reaktif secara kimia.

Persamaan kestabilan *Asphaltenes*:

$$\bullet I_A = (A + Pa) / (Na + S) \quad (3)$$

$$\bullet I_C = (A + S) / (Pa + Na) \quad (4)$$

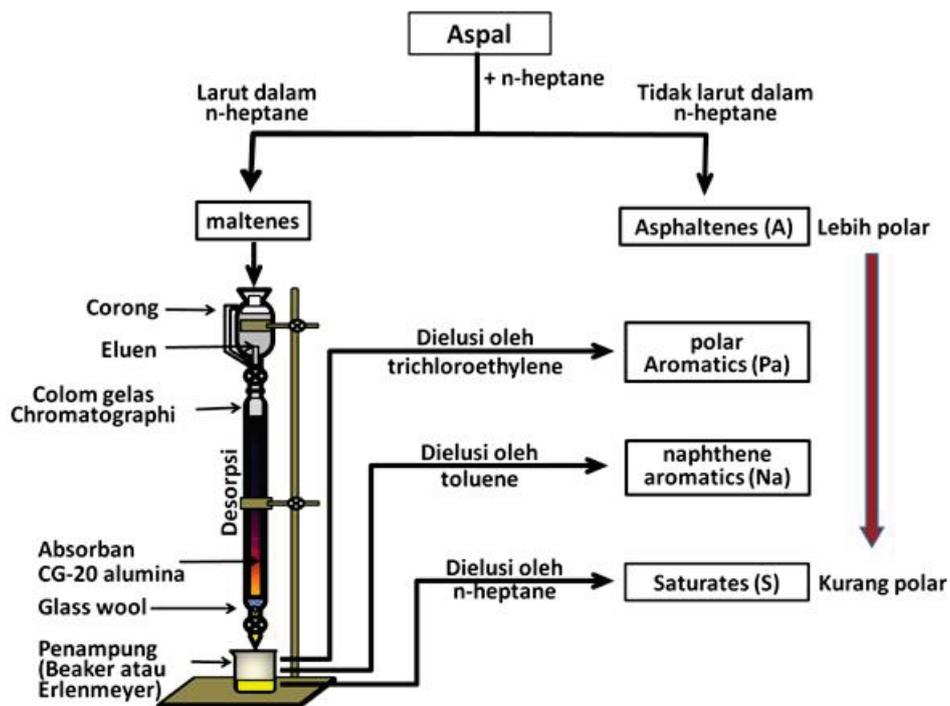
Keterangan:

A = persen *Asphaltenes*,

Pa = persen polar aromatik,

Na = persen *naphthene aromatics* dan

S = *saturates*.



Gambar 2. Skema tahapan pengujian komposisi aspal Metode Corbett (ASTM D 4124)

### Sifat reologi aspal

Aspal adalah bahan yang bersifat viskoelastik karena secara simultan menunjukkan sifat viskos dan sekaligus elastik. Hubungan dari kedua sifat tersebut dapat digunakan untuk mengukur ketahanan aspal terhadap *rutting* dan retak lelah. Agar aspal tahan terhadap *rutting*, jumlah kerja yang hilang (*work dissipated*) pada setiap siklus pembebanan harus diminimalkan. Kerja yang hilang tersebut pada tekanan yang konstan ditunjukkan pada persamaan 5 berikut:

$$W_c = \pi \times \sigma_o^2 \left[ \frac{1}{G^* \sin \delta} \right] \quad (5)$$

Keterangan:

$W_c$  = kerja yang hilang per siklus pembebanan,

$\sigma_o$  = tekanan yang diaplikasikan,

$G^*$  = modulus kompleks,

$\delta$  = sudut fase.

Karena kerja yang hilang berbanding terbalik dengan  $G^*/\sin[\delta]$  maka  $G^*/\sin[\delta]$  dapat digunakan sebagai faktor *rutting* (*rutting factor*) yang mengindikasikan ketahanan aspal terhadap *rutting* (Roberts, *et. al.* 1996). Dengan demikian maka semakin tinggi nilai  $G^*$  berarti aspal semakin kaku dan semakin tinggi beban yang dapat ditahan. Sedangkan semakin rendah nilai  $[\delta]$  maka aspal semakin elastis dan semakin mampu melakukan pemulihan bentuk setelah mengalami pembebanan.

Retak lelah aspal lebih banyak terjadi pada perkerasan jalan yang tipis sehingga retak dapat dianggap sebagai fenomena pada regangan konstan. Kerja yang hilang per siklus pembebanan pada regangan yang konstan dapat dinyatakan dengan persamaan 6, dimana  $\epsilon_0$  adalah regangan sedangkan variabel lainnya adalah sebagaimana yang sudah dijelaskan sebelumnya (Roberts, *et. al.* 1996).

$$W_c = \pi \times \epsilon_0^2 [G^* \sin \delta] \quad (6)$$

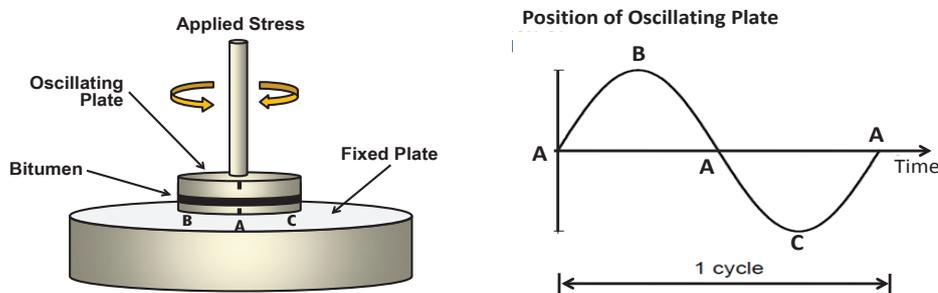
Makin rendah kerja yang hilang maka makin rendah kemungkinan terjadi retak lelah pada aspal. Oleh sebab itu,  $G^*\sin[\delta]$  dapat

digunakan sebagai faktor lelah (*fatigue factor*) dari aspal keras untuk mengindikasikan ketahanan aspal terhadap retak lelah.

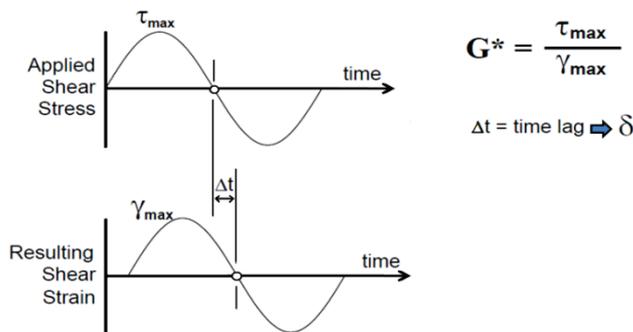
Faktor *rutting* dan faktor lelah tersebut digunakan pada spesifikasi aspal keras kelas kinerja yang diukur dengan menggunakan alat ukur *DSR* (*Dynamic Shear Rheometer*) sesuai standar prosedur pengujian ASTM D7175 *Determining the Reological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer*.

Berdasarkan spesifikasi aspal kelas kinerja, untuk mengantisipasi *rutting* aspal keras yang belum mengalami penuaan harus memiliki nilai  $G^*/\sin[\delta]$  lebih dari 1 kPa, dan yang sudah mengalami penuaan jangka pendek harus memiliki nilai  $G^*/\sin[\delta]$  lebih dari 2.2 kPa pada temperatur maksimum kelas kinerja. Sedangkan untuk mengantisipasi retak lelah, aspal keras yang sudah mengalami penuaan jangka panjang harus memiliki nilai  $G^*\sin[\delta]$  kurang dari 5.000 kPa pada temperatur medium kelas kinerja. (Roberts, *et. al.* 1996). Penuaan jangka pendek aspal dilakukan berdasarkan ASTM D2872 sedangkan penuaan jangka panjang berdasarkan ASTM D6521.

Dengan menggunakan alat *DSR*, pengujian sifat reologi aspal pada prinsipnya dilakukan dengan cara meletakkan benda uji aspal di antara dua pelat, yaitu pelat yang diam dan pelat yang bergerak secara osilasi. Gerakan satu putaran osilasi adalah gerakan pelat yang bergerak dari titik A ke titik B dan kembali ke titik A, kemudian bergerak ke titik C dan kembali ke titik A (lihat Gambar 3). Dari pengujian tersebut dapat diperoleh nilai modulus kompleks ( $G^*$ ) yang merupakan perbandingan dari besarnya tegangan geser maksimum ( $\tau_{maks}$ ) yang diaplikasikan dengan regangan geser maksimum ( $\gamma_{maks}$ ) sebagai respon. Selain itu, juga diperoleh sudut fasa ( $\delta$ ) yaitu yang dihitung berdasarkan rentang waktu antara tegangan geser maksimum dengan regangan geser maksimum. Selanjutnya, dari nilai  $G^*$  dan  $\delta$  dapat dihitung nilai modulus elastisitas ( $G'$ ) dan modulus kekentalan ( $G''$ ) sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 3. Gerakan osilasi pada DSR (ASTM D7175)



Gambar 4. Tegangan geser, regangan geser dan rentang waktu antara keduanya (ASTM D7175)

## HIPOTESIS

Berdasarkan uraian yang disajikan pada pendahuluan dan kajian pustaka maka dapat diduga bahwa kandungan *Asphaltenes* dalam aspal memiliki kontribusi dengan nilai tertentu terhadap berbagai sifat reologi ( $G'$ ,  $G''$ ,  $G^*/\sin[\delta]$  dan  $G^*\sin[\delta]$ ) aspal tersebut. Selain itu, berbeda dengan yang diindikasikan RDR dan GR, kandungan *Asphaltenes* juga memiliki kontribusi tertentu terhadap sifat penuaan aspal sehingga harus diakomodir dengan nilai yang spesifik dalam indeks penuaan aspal. Indikasi awal terhadap apakah hubungan antara kandungan *Asphaltenes* dengan sifat reologi aspal dapat berlaku umum, dapat terlihat dari sama atau tidaknya hubungan yang dihasilkan oleh dua jenis aspal yang berbeda yaitu aspal minyak pen 80/100 dan Asbuton.

## METODOLOGI

Pada studi ini akan dilakukan investigasi pengaruh atau kontribusi kandungan *Asphaltenes*, baik yang diekstrak berdasarkan metode Rostler maupun Corbett, terhadap sifat reologi aspal pada tiga tingkatan penuaan, yaitu fresh, penuaan jangka pendek dan penuaan jangka panjang. Selain itu, juga pengaruh atau kontribusi *Asphaltenes* terhadap indeks penuaan jangka pendek dan jangka panjang. Sedangkan pengaruh komponen aspal lainnya, yaitu *nitrogen bases*, *first acidaffins*, *second acidaffins*, *paraffins*, *polar aromatics*, *naphthene aromatics* dan *saturates*, terhadap sifat reologi dan penuaan aspal dilakukan pada tahapan penelitian berikutnya.

Dua jenis aspal yang berbeda, yaitu aspal minyak kelas penetrasi 80/100 hasil pemrosesan minyak mentah dari Timur Tengah dan aspal murni hasil ekstraksi serta pemulihan (*recovery*) aspal alam Asbuton Lawele di Pulau

buton Indonesia, telah digunakan pada penelitian ini.

*Asphaltenes* dari kedua jenis aspal tersebut diekstraksi sesuai metode Rostler dan Corbett. Berdasarkan metode Rostler, *Asphaltenes* adalah bagian dari aspal yang tidak larut dalam pelarut n-pentan, sedangkan berdasarkan metode Corbett *Asphaltenes* adalah bagian aspal yang tidak larut dalam pelarut n-heptane. Setelah dilakukan penyaringan terhadap *Asphaltenes*, pelarut dari masing-masing *Asphaltenes* diuapkan dalam oven 110 °C sampai diperoleh berat konstan. Kemudian setiap jenis *Asphaltenes* tersebut ditambahkan ke dalam media aspal, yaitu aspal minyak pen 80/100 tersebut, dengan variasi persentase 0%, 5% dan 10%.

Perubahan sifat reologi dari media aspal minyak tersebut akibat penambahan *Asphaltenes* diuji dengan alat DSR pada kondisi aspal sebelum penuaan, setelah penuaan jangka pendek dan setelah penuaan jangka panjang. Proses penuaan jangka pendek aspal disimulasikan dengan RTFOT (*Rolling Thin Film Oven Test*), sedangkan proses penuaan jangka panjang disimulasikan dengan PAV (*Pressure Aging Vessel*).

Selanjutnya, hubungan antara besarnya penambahan *Asphaltenes* dengan perubahan sifat reologi aspal dianalisa secara statistik dengan menggunakan analisis faktorial dan

multi regresi. Analisis faktorial digunakan untuk mengetahui faktor-faktor mana yang secara signifikan mempengaruhi reologi aspal (varian). Faktor-faktor, tingkat faktor dan varian pada penelitian ini secara berturut-turut adalah sebagai mana yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 1.** Faktor dan tingkat faktor pada penelitian ini

Faktor (Variabel bebas)	Tingkat faktor
Jenis bitumen	Bitumen Asbuton dan aspal minyak
Persen <i>Asphaltenes</i>	0%, 5% dan 10%
Temperatur pengujian	46 °C, 52 °C, 58 °C, 64 °C, dan 70 °C
Kondisi penuaan aspal	Fresh, setelah RTFOT, dan setelah PAV

**Tabel 2.** Varian pada penelitian ini

Varian (Variabel terikat)	Keterangan
$G^*$	Modulus kompleks
$\delta$	Sudut fasa
$G'$	Modulus elastisitas
$G''$	Modulus viskositas
$G^*/\sin[\delta]$	Faktor <i>rutting</i>
$G^*\sin[\delta]$	Faktor lelah

**Tabel 3.** Perbedaan metode pada penelitian ini dengan pada penelitian lainnya

Metode Sebelumnya	Metode yang dilakukan
1. Indeks durabilitas aspal, yaitu RDR dan GR, didasarkan tingkat kereaktifan komponen aspal terhadap asam sulfat.	1. Indeks durabilitas didasarkan pada kereaktifan selama penuaan jangka pendek (RTFOT) dan jangka panjang (PAV).
2. RDR and GR adalah perbandingan jumlah komponen aspal yang reaktif dengan yang tidak reaktif.	2. Indeks durabilitas adalah kumulatif dari kontribusi setiap komponen terhadap sifat reologi dan penuaan.
3. RDR tidak mengakomodir <i>Asphaltenes</i> sedangkan GR mengakomodasi <i>Asphaltenes</i> sebagai komponen tidak reaktif.	3. <i>Asphaltenes</i> diakomodir sesuai kontribusinya yang khas/spesifik terhadap reologi dan penuaan aspal.
4. Hubungan komponen kimia dengan sifat fisik dianalisa dengan mengkorelasikan komposisi kimia sejumlah contoh aspal dengan sifat fisiknya. Secara statistik tidak dapat dilakukan karena dalam komposisi, perubahan komponen yang satu sangat berpengaruh terhadap perubahan komponen lainnya.	4. Hubungan komponen kimia dengan reologi dianalisa berdasarkan penambahan setiap komponen murni hasil ekstraksi sehingga tidak terpengaruh komponen lainnya.

## HASIL DAN ANALISIS

Aspal minyak pen 80/100 dan bitumen Asbuton Lawele yang digunakan pada penelitian ini

memiliki sifat yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5. Sedangkan hasil analisis ANOVA pada analisis faktorial disajikan pada Tabel 6 sampai dengan Tabel 9.

**Tabel 4.** Sifat aspal murni dari Asbuton Lawele

No.	Sifat Aspal	Metode Pengujian	Hasil Pengujian
1.	Kelarutan dalam C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> ; %	RSNI M-04-2004	99,2
2.	Kadar air; %	SNI 03-6752-2002	0.0
3.	Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 detik; dmm	SNI 06-2456-2011	85
4.	Penurunan Berat Setelah Pemanasan (RTFOT); %	SNI 03-6835-2002	1.530
5.	Penetrasi setelah RTFOT, % <i>Original</i>	SNI 06-2456-2011	65,2

**Tabel 5.** Sifat aspal minyak Kelas Penetrasi 80/100

No.	Sifat Aspal	Metode Pengujian	Hasil Pengujian
1.	Kelarutan dalam C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub> ; %	RSNI M-04-2004	99,5
2.	Kadar air; %	SNI 03-6752-2002	0.0
3.	Penetrasi pada 25°C, 100 g, 5 detik; dmm	SNI 06-2456-2011	95
4.	Penurunan Berat Setelah Pemanasan (RTFOT); %	SNI 03-6835-2002	0.035
5.	Penetrasi setelah RTFOT, % <i>Original</i>	SNI 06-2456-2011	76,9

**Tabel 6.** ANOVA pengaruh *Asphaltenes* metode Rostler dan faktor lainnya terhadap G\*

Faktor	db	Sum of square	Mean square	F	Signifikan
Jenis aspal	1	1.945E10	1.945E10	0.118	0.732
Persen <i>Asphaltenes</i>	2	1.226E13	6.128E12	37.161	0.000
Temperatur tes	7	1.397E14	1.996E13	121.017	0.000
Tingkat penuaan	2	3.758E11	1.879E11	1.139	0.000
<i>Error</i>	311	5.129E13	1.649E11		
Total	324	2.974E14			

**Tabel 7.** ANOVA pengaruh *Asphaltenes* metode Rostler dan faktor lainnya terhadap (δ)

Faktor	db	Sum of square	Mean square	F	Signifikan
Jenis aspal	1	4	4	0.409	0.523
Persen <i>Asphaltenes</i>	2	6394	3197	341.387	0.000
Temperatur tes	7	39415	5631	601.292	0.000
Tingkat penuaan	2	24021	12010	1282.580	0.000
<i>Error</i>	311	2912	9		
Total	324	1591064			

**Tabel 8.** ANOVA pengaruh *Asphaltenes* metode Corbett dan faktor lainnya terhadap G\*

Faktor	db	Sum of square	Mean square	F	Signifikan
Jenis aspal	1	355348	355348	0.000	0.999
Persen <i>Asphaltenes</i>	2	1.845E13	9.225E12	32.949	0.000
Temperatur tes	7	1.671E14	2.387E13	85.240	0.000
Tingkat penuaan	2	1.803E11	9.013E10	0.322	0.000
<i>Error</i>	311	8.707E13	2.800E11		
Total	324	3.747E14			

**Tabel 9.** ANOVA pengaruh *Asphaltenes* Metode Corbett dan faktor lainnya terhadap ( $\delta$ )

Faktor	db	Sum of square	Mean square	F	Signifikan
Jenis aspal	1	0.175	0.175	0.036	0.850
Persen <i>Asphaltenes</i>	2	3761	1881	383	0.000
Temperatur tes	7	43602	6229	1268	0.000
Tingkat penuaan	2	15667	7833	1594	0.000
Error	311	1528	5		
Total	324	1644607			

Berdasarkan analisis linearitas, model regresi baik antara persentase *Asphaltenes* maupun antara temperatur dengan sifat reologi aspal bukan merupakan model regresi linear melainkan eksponensial. Oleh karena itu dalam analisis multi regresi, sifat reologi aspal dirubah ke dalam bentuk logaritma natural (ln) sehingga model persamaannya adalah sebagaimana yang ditunjukkan pada Persamaan 7.

$$\ln Y = aA + bT + c \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

Y = Sifat reologi aspal G', G'', G\*/sin[ $\delta$ ] atau G\*sin[ $\delta$ ]

A = persentase *Asphaltenes*  
 T = temperatur pengujian  
 a = koefisien dari A  
 b = koefisien dari T  
 c = konstana.

Hasil analisa multi regresi serta uji linearitas antara persentase asphaltenes dan temperatur pengujian dengan natural logaritma sifat reologi aspal sesuai persamaan (7) pada kondisi aspal *fresh*, penuaan jangka pendek RTFOT dan penuaan jangka panjang PAV ditunjukkan pada Tabel 10 dan Tabel 11.

**Tabel 10.** Hasil analisa multi regresi dan linearitas antara persentase *asphaltenes* berdasarkan metode Rostler dan temperatur pengujian dengan natural logaritma sifat reologi aspal

Sifat reologi aspal (Y)	R	a	b	c	Signifikansi Regresi	Signifikansi dari deviasi linearitas	
						A	T
Fresh							
In G'	0.997	0.209	-0.198	16.732	0.000	0.634	0.988
In G'' atau In [G*.sin( $\delta$ )]	0.998	0.128	-0.138	16.018	0.000	0.732	0.999
In [G*/sin( $\delta$ )]	0.998	0.130	-0.139	16.070	0.000	0.738	1.000
Setelah penuaan jangka pendek (RTFOT)							
In G'	0.999	0.188	-0.191	17.765	0.000	0.912	0.991
In G'' atau In [G*.sin( $\delta$ )]	0.999	0.124	-0.133	16.397	0.000	0.782	1.000
In [G*/sin( $\delta$ )]	0.999	0.129	-0.136	16.602	0.000	0.774	0.999
Setelah penuaan jangka panjang (PAV)							
In G'	0.992	0.235	-0.160	17.759	0.000	0.293	1.000
In G'' atau In [G*.sin( $\delta$ )]	0.990	0.150	-0.114	16.300	0.000	0.377	0.660
In [G*/sin( $\delta$ )]	0.997	0.208	-0.143	18.058	0.000	0.417	0.967

Keterangan: Y, A, T, a, b dan c merujuk pada persamaan 7

**Tabel 11.** Hasil analisa multi regresi dan linearitas antara persentase *asphaltenes* berdasarkan metode Rostler dan temperatur pengujian dengan natural logaritma sifat reologi aspal

Sifat reologi aspal (Y)	R	a	b	c	Signifikansi Regresi	Signifikansi dari deviasi linearitas	
						A	T
Fresh							
In G'	0.996	0.220	-0.198	16.676	0.000	1.000	0.994
In G'' atau In [G*.sin( $\delta$ )]	0.997	0.131	-0.14	16.112	0.000	0.505	0.988
In [G*/sin( $\delta$ )]	0.997	0.132	-0.141	16.159	0.000	0.509	0.991
Setelah penuaan jangka pendek (RTFOT)							
In G'	0.995	0.178	-0.19	17.656	0.000	0.591	0.887
In G'' atau In [G*.sin( $\delta$ )]	0.996	0.123	-0.133	16.381	0.000	0.421	0.991
In [G*/sin( $\delta$ )]	0.996	0.126	-0.135	16.540	0.000	0.422	0.992
Setelah penuaan jangka panjang (PAV)							
In G'	0.999	0.207	-0.163	17.805	0.000	0.888	1.000
In G'' atau In [G*.sin( $\delta$ )]	0.998	0.145	-0.116	16.258	0.000	0.999	0.668
In [G*/sin( $\delta$ )]	0.999	0.187	-0.144	17.968	0.000	0.997	0.866

Keterangan: Y, A, T, a, b dan c merujuk pada persamaan 7

## PEMBAHASAN

Hubungan antara *Asphaltenes* dengan sifat reologi aspal dianalisis secara statistik dengan ANOVA (*analysis of variants*) pada faktorial, linearitas dan multi regresi. Faktor yang tidak signifikan tidak disertakan dalam analisis selanjutnya. Analisis linearitas digunakan untuk mengetahui apakah hubungan suatu faktor dengan varian merupakan hubungan linear atau bukan. Bila tidak linear maka dicari bentuk hubungan lainnya yang lebih sesuai. Analisis multi regresi digunakan untuk menentukan koefisien regresi dari masing-masing faktor yang menunjukkan besarnya kontribusi masing-masing faktor tersebut terhadap nilai varian.

### Analisis Variansi (ANOVA)

Pada ANOVA, varian yang digunakan adalah modulus kompleks ( $G^*$ ) dan sudut fasa ( $\delta$ ). Sedangkan varian lainnya yang meliputi modulus elastisitas ( $G'$ ), modulus viskositas ( $G''$ ), faktor *rutting* ( $G^*/\sin[\delta]$ ) dan faktor lelah ( $G^*\sin[\delta]$ ) tidak dianalisis karena merupakan turunan dari  $G^*$  dan ( $\delta$ ).

Untuk hasil ANOVA yang disajikan pada Tabel 6 sampai Tabel 9, hipotesis pada analisis ini adalah: 1)  $H_0$  yang menyatakan

bahwa tidak ada pengaruh secara signifikan diterima bila nilai Signifikan (*Sign*) lebih besar dari 0,05 dengan taraf kepercayaan 95%. 2)  $H_1$  yang menyatakan bahwa ada pengaruh secara signifikan diterima bila nilai Signifikan (*Sign*) lebih kecil dari 0,05 dengan taraf kepercayaan 95%.

Tabel 6 dan Tabel 7 menunjukkan bahwa berdasarkan ANOVA, pengaruh *Asphaltenes* yang diekstrak berdasarkan metode Rostler, faktor jenis aspal secara statistik tidak signifikan mempengaruhi  $G^*$  dan  $[\delta]$  karena memiliki nilai signifikan lebih besar dari nilai kritis 0,05. Ini berarti baik *Asphaltenes* yang diekstrak dari bitumen asbuton maupun dari aspal minyak, keduanya memiliki pengaruh yang sama terhadap nilai  $G^*$  dan  $[\delta]$ . Sedangkan faktor lainnya, yaitu persentase *Asphaltenes*, temperatur pengujian dan tingkat penuaan secara statistik memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai  $G^*$  dan  $[\delta]$  karena masing-masing memiliki nilai signifikan lebih kecil dari nilai kritis 0,05.

Berdasarkan ANOVA pengaruh *Asphaltenes* yang diekstraksi berdasarkan metode Corbett terhadap sifat reologi sebagaimana yang ditunjukkan dalam Tabel 8 dan Tabel 9, faktor jenis aspal juga secara statistik tidak signifikan mempengaruhi  $G^*$  dan

$[\delta]$  karena memiliki nilai signifikan lebih besar dari nilai kritis 0,05. Dengan demikian maka baik *Asphaltenes* yang diekstrak dari bitumen asbuton maupun dari aspal minyak, keduanya memiliki pengaruh yang sama terhadap nilai  $G^*$  dan  $[\delta]$ . Sedangkan faktor lainnya, yaitu persentase *Asphaltenes*, temperatur pengujian dan tingkat penuaan secara statistik memiliki pengaruh yang signifikan terhadap  $G^*$  dan  $[\delta]$  karena masing-masing memiliki nilai signifikan lebih kecil dari nilai kritis 0,05.

Karena baik pada metode Rostler maupun Corbett, jenis aspal tidak signifikan mempengaruhi  $G^*$  dan  $[\delta]$ , maka tidak signifikan pula pengaruhnya terhadap sifat reologi lainnya yang merupakan turunan dari keduanya yaitu  $G'$ ,  $G''$ ,  $G^*/\sin[\delta]$  dan  $G^*\sin[\delta]$ . Oleh sebab itu, pada analisa selanjutnya (analisa regresi dan linearitas), jenis aspal tidak disertakan atau tidak dibedakan.

### Analisis Regresi dan Lineariti

Pada analisa regresi dan linearitas ini, perbedaan jenis aspal tidak disertakan karena sudah terbukti menghasilkan *Asphaltenes* yang sama. Selain itu faktor tingkatan penuaan, meski memiliki pengaruh yang signifikan, juga tidak disertakan sebagai faktor dalam persamaan regresi karena hubungan regresi akan dianalisa pada setiap tingkatan penuaan aspal.

Dari Tabel 10 and Tabel 11 dapat diketahui bahwa terdapat hubungan fungsional yang signifikan antara persentase *Asphaltenes* dan temperatur pengujian dengan sifat reologiaspal karena memiliki nilai signifikansi regresi di bawah 0.05. Selain itu, semua persamaan regresi yang menggambarkan hubungan tersebut juga linear. Hal ini

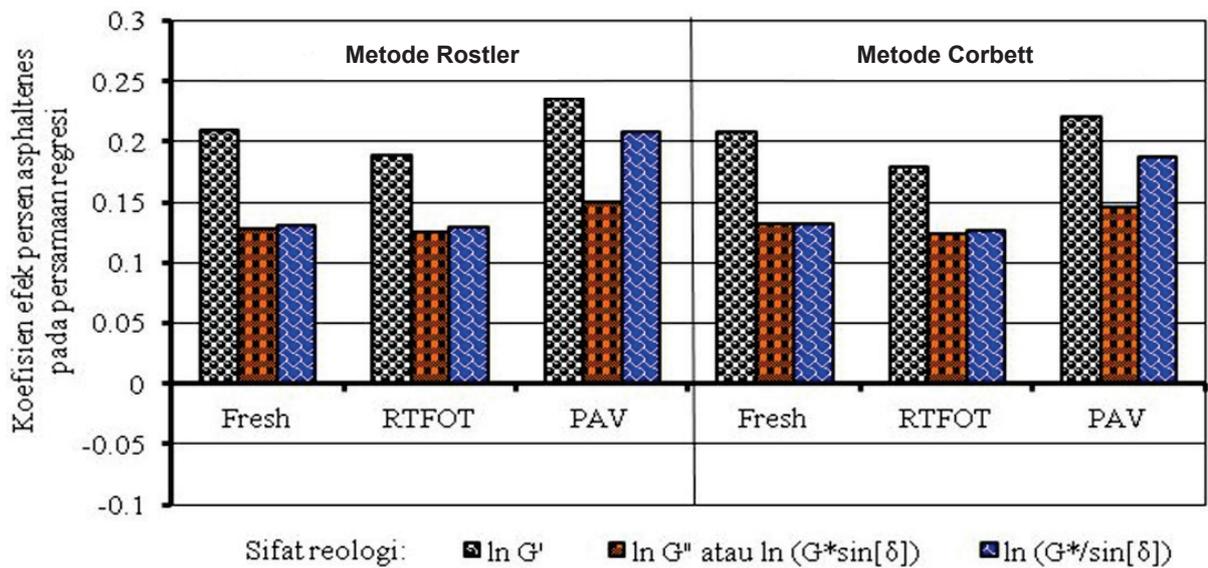
ditunjukkan dengan nilai signifikansi deviasi dari linearitas yang lebih besar dari nilai kritis 0.05. Artinya, pada taraf kepercayaan 95% deviasi pada hubungan linear tersebut tidak signifikan. Nilai determinasi (R) regresi yang diperoleh minimum 0.990 dan maksimum 0.999. Ini berarti nilai  $R^2$  adalah minimum 0.9801 dan maksimum 0,998 yang berarti persamaan regresi tersebut dapat memprediksi sifat reologi aspal sebesar minimum 98,01% dan maksimum 99,80%.

### Pengaruh persentase *Asphaltenes* terhadap reologi aspal

Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 5, pengaruh persen *Asphaltenes* yang diekstraksi berdasarkan metode Rostler relatif memiliki pola yang sama dengan pengaruh *Asphaltenes* yang diekstraksi berdasarkan metode Corbett.

Koefisien efek persen *Asphaltenes* dari kedua jenis *asphaltenes* tersebut bernilai positif. Ini berarti peningkatan persentase *Asphaltenes* dalam aspal akan menyebabkan meningkatnya nilai sifat reologi aspa.

Modulus elastisitas adalah sifat reologi yang peningkatannya paling besar dibanding sifat reologi lainnya. Hal ini karena *Asphaltenes* merupakan komponen aspal yang paling polar sehingga memiliki interaksi antar molekul (ikatan Vanderwals) yang lebih tinggi dibanding komponen lainnya yang kurang polar. Selain itu, karena pengaruh peningkatan persen *Asphaltenes* terhadap modulus elastisitas lebih tinggi dari pada terhadap modulus viskositas, maka akibatnya pengaruh terhadap peningkatan nilai faktor *rutting* ( $G^*/\sin[\delta]$ ) juga lebih tinggi dibanding pengaruh terhadap peningkatan nilai faktor retak lelah ( $G^*\sin[\delta]$ ).



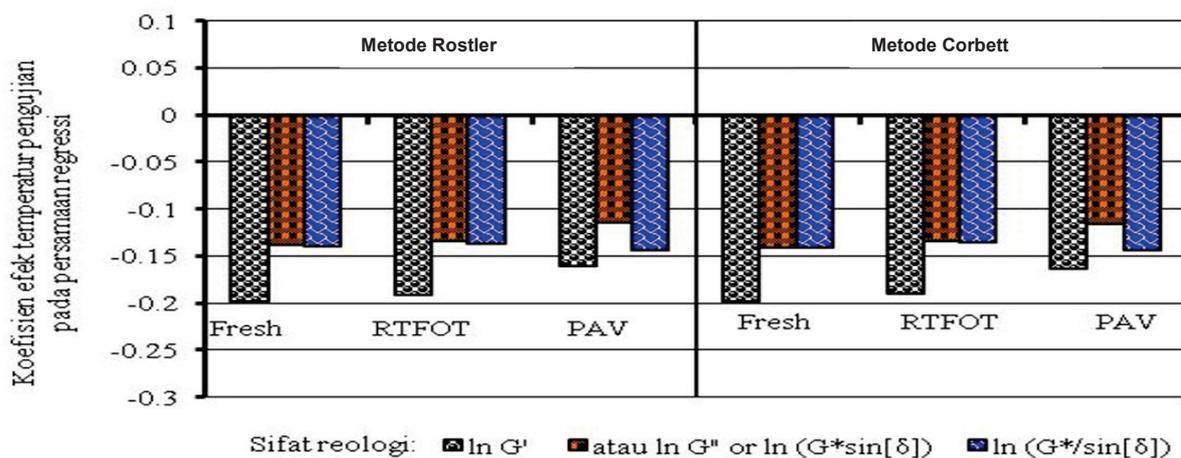
**Gambar 5.** Koefisien efek persen *Asphaltenes* terhadap sifat reologi aspal pada berbagai tingkat penuaan dan metode ekstraksi *Asphaltenes*

Dibanding dengan pengaruh presentasi *Asphaltenes* terhadap sifat reologi aspal *fresh*, pengaruh persentasi *Asphaltenes* terhadap sifat reologi aspal setelah mengalami penuaan jangka pendek dengan RTFOT mengalami sedikit penurunan atau relatif sama. Namun demikian, setelah mengalami penuaan jangka panjang dengan PAV terjadi peningkatan pengaruh yang cukup besar. Dengan demikian maka dapat diketahui bahwa penuaan

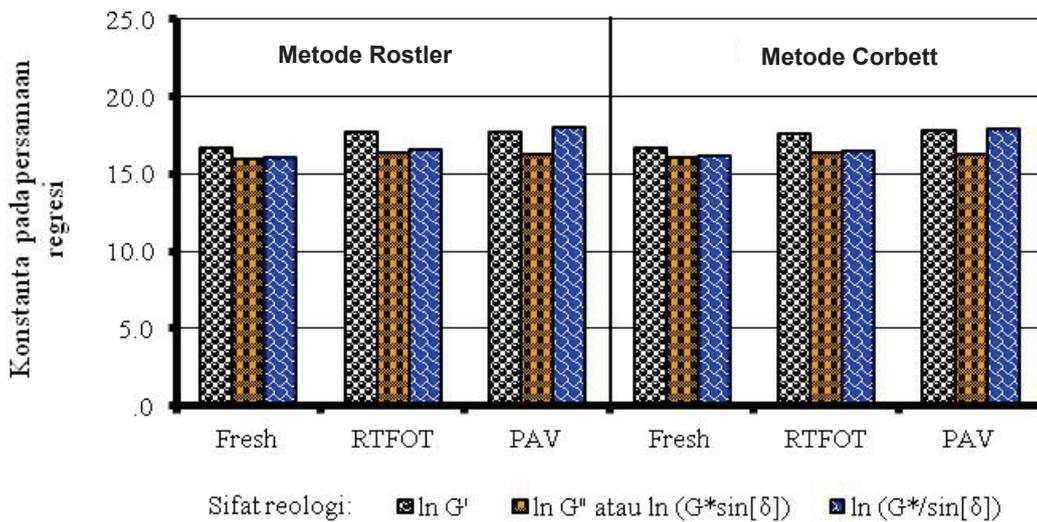
*Asphaltenes* lebih banyak terjadi selama penuaan jangka panjang.

**Pengaruh temperatur terhadap reologi aspal**

Seperti halnya pada pengaruh persen *Asphaltenes*, pengaruh temperatur pengujian terhadap sifat reologi aspal juga memiliki *trend* yang relatif sama antara yang menggunakan *Asphaltenes* cara Rostler dengan yang menggunakan *Asphaltenes* cara Corbett (Gambar 6).



**Gambar 6.** Koefisien efek temperatur pengujian terhadap sifat reologi aspal pada berbagai tingkat penuaan dan metode ekstraksi *Asphaltenes*



**Gambar 7.** Konstanta pada persamaan regresi reologi aspal pada berbagai tingkat penuaan dan metode ekstraksi *Asphaltenes*

Sebagaimana yang diprediksi, koefisien efek temperatur pengujian dari kedua jenis hubungan tersebut bernilai negatif yang berarti peningkatan temperatur pengujian menghasilkan sifat reologi aspal yang lebih rendah. Pengaruh yang paling besar adalah pengaruh temperatur pengujian terhadap modulus elastisitas. Ini menunjukkan bahwa makin tinggi temperatur maka aspal akan makin bersifat viscous, sedangkan makin rendah temperatur maka aspal akan makin bersifat elastis.

Dilihat dari tingkatan penuaan, makin tua aspal maka pengaruh temperatur kian menurun. Atau dengan kata lain, makin tua aspal maka makin tidak sensitif terhadap perubahan temperatur.

### Reologi media aspal

Konstanta pada persamaan regresi menunjukkan sifat reologi dari media aspal yang digunakan. Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 7, persamaan regresi yang menggunakan metode Rostler dan yang menggunakan metode Corbett memiliki trend nilai konstanta yang relatif sama. Hal ini dikarenakan pada keduanya telah digunakan media aspal yang sama.

### Kontribusi persentase *Asphaltenes* terhadap indeks penuaan aspal

Sifat penuaan aspal dapat diidentifikasi dengan Indeks Penuaan (*Aging Index* atau AI) yang merupakan perbandingan antara sifat kimia atau sifat reologi aspal antara sesudah penuaan dengan sebelum penuaan (Demirabs, 2002; Kumar *et al.*, 2009; Michalica *et al.*, 2008,). Dari pernyataan tersebut maka kontribusi persen kandungan *Asphaltenes* terhadap indeks penuaan aspal dapat dijelaskan dengan persamaan berikut.

$$AI = \frac{\text{(Reologi setelah penuaan)}}{\text{(Reologi sebelum penuaan)}} \quad (8)$$

$$\ln AI = \ln(\text{Reologi setelah penuaan}) - \ln(\text{Reologi sebelum penuaan}) \quad (9)$$

Indeks penuaan tersebut (persamaan 9) dapat diubah menjadi indeks durabilitas kimia (*Chemical Durability Index / CDI*) dengan cara memasukkan persamaan 7 ke persamaan 9 sebagai berikut.

$$\ln AI = \ln CDI = \ln Y_{\text{setelah penuaan}} - \ln Y_{\text{sebelum penuaan}} \quad (10)$$

$$\ln CDI = (aA + bT + c)_{\text{setelah penuaan}} - (aA + bT + c)_{\text{sebelum penuaan}} \quad (11)$$

$$\ln \text{CDI} = (a_{\text{setelah penuaan}} - a_{\text{sebelum penuaan}})A + (b_{\text{setelah penuaan}} - b_{\text{sebelum penuaan}})T + (c_{\text{setelah penuaan}} - c_{\text{sebelum penuaan}}) \quad (12)$$

Pada persamaan 12 dapat dijelaskan bahwa  $(a_{\text{setelah penuaan}} - a_{\text{sebelum penuaan}})$  adalah kontribusi persen *Asphaltenes* (A) terhadap  $\ln \text{CDI}$ ,  $(b_{\text{setelah penuaan}} - b_{\text{sebelum penuaan}})$  adalah kontribusi temperatur pengujian terhadap  $\ln \text{CDI}$  atau dapat pula disebut sebagai sensitifitas  $\ln \text{CDI}$  terhadap temperatur pengujian, dan  $(c_{\text{setelah penuaan}} - c_{\text{sebelum penuaan}})$  adalah kontribusi konstanta yang mengindikasikan kontribusi dari media aspal yang digunakan terhadap  $\ln \text{CDI}$ .

Dengan memasukkan data persamaan regresi pada Tabel 10 dan Tabel 11 ke dalam persamaan 12 dapat diketahui kontribusi persen *Asphaltenes*, kontribusi temperatur pengujian dan kontribusi konstanta terhadap  $\ln \text{CDI}$  sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 12.

Berdasarkan Tabel 12 dapat diformulasikan pengaruh persen *Asphaltenes*, temperatur pengujian dan media aspal terhadap indeks durabilitas, baik dengan *Asphaltenes* yang diekstraksi dengan metode Rostler maupun Corbett, yaitu sebagai berikut:

- Persamaan regresi CDI pada penuaan RTFOT berdasarkan modulus elastisitas ( $G'$ ):
 
$$\text{CDI (Rostler)} = \text{Exp} (-0.021A + 0.007T + 1.033) \quad (13)$$

$$\text{CDI (Corbett)} = \text{Exp} (-0.042A + 0.008T + 0.980) \quad (14)$$
- Persamaan regresi CDI pada penuaan RTFOT berdasarkan modulus viskositas ( $G''$ ) atau faktor lelah ( $G^*/\sin[\delta]$ ):
 
$$\text{CDI (Rostler)} = \text{Exp} (-0.004A + 0.005T + 0.379) \quad (15)$$

$$\text{CDI (Corbett)} = \text{Exp} (-0.008A + 0.007T + 0.269) \quad (16)$$
- Persamaan regresi CDI pada penuaan RTFOT berdasarkan faktor rutting ( $G^*/\sin[\delta]$ ):

$$\text{CDI (Rostler)} = \text{Exp} (-0.001A + 0.003T + 0.532) \quad (17)$$

$$\text{CDI (Corbett)} = \text{Exp} (-0.006A + 0.006T + 0.381) \quad (18)$$

- Persamaan regresi CDI pada penuaan PAV berdasarkan modulus elastisitas ( $G'$ ):
 
$$\text{CDI (Rostler)} = \text{Exp} (0.026A + 0.038T + 1.027) \quad (19)$$

$$\text{CDI (Corbett)} = \text{Exp} (0.013A + 0.035T + 1.129) \quad (20)$$

- Persamaan regresi CDI pada penuaan PAV berdasarkan modulus viskositas ( $G''$ ) atau faktor lelah ( $G^*/\sin[\delta]$ ):

$$\text{CDI (Rostler)} = \text{Exp} (0.022A + 0.024T + 0.282) \quad (21)$$

$$\text{CDI (Corbett)} = \text{Exp} (0.014A + 0.024T + 0.148) \quad (22)$$

- Persamaan regresi CDI pada penuaan PAV berdasarkan faktor rutting ( $G^*/\sin[\delta]$ ):

$$\text{CDI (Rostler)} = \text{Exp} (0.078A - 0.004T + 1.988) \quad (23)$$

$$\text{CDI (Corbett)} = \text{Exp} (0.055A - 0.003T + 1.809) \quad (24)$$

Dari persamaan 13 sampai dengan 24 tampak meskipun memiliki pola persamaan yang sama namun ada perbedaan nilai koefisien regresi antara *Asphaltenes* yang diekstraksi dengan metode Rostler dengan *Asphaltenes* yang diekstraksi dengan metode Corbett. Hal disebabkan Rostler menggunakan pelarut n-pentane sedangkan Corbett menggunakan pelarut n-heptane. Persamaan regresi tersebut juga belum secara utuh mengindikasikan durabilitas aspal karena baru mengakomodir persen *asphaltenes*. Untuk dapat mengindikasikan durabilitas aspal, perlu dikaji pengaruh komplemen persen fraksi kimia lainnya seperti *polar aromatics*, *naphthene aromatics*, *saturates*, *nitrogen bases*, *first acidaffins*, *second acidaffins*, dan *paraffins*.

**Tabel 12.** Kontribusi persen *Asphaltenes*, temperatur pengujian dan konstanta terhadap CDI

	ln G'		ln G'' atau ln [G* $\sin(\delta)$ ]		ln [G*/ $\sin(\delta)$ ]	
	Rostler	Corbett	Rostler	Corbett	Rostler	Corbett
<b>Penuaan RTFOT:</b>						
(a <sub>setelah penuaan</sub> - a <sub>sebelum penuaan</sub> )	-0.021	-0.042	-0.004	-0.008	-0.001	-0.006
(b <sub>setelah penuaan</sub> - b <sub>sebelum penuaan</sub> )	0.007	0.008	0.005	0.007	0.003	0.006
(c <sub>setelah penuaan</sub> - c <sub>sebelum penuaan</sub> )	1.033	0.980	0.379	0.269	0.532	0.381
<b>Penuaan PAV:</b>						
(a <sub>setelah penuaan</sub> - a <sub>sebelum penuaan</sub> )	0.026	0.013	0.022	0.014	0.078	0.055
(b <sub>setelah penuaan</sub> - b <sub>sebelum penuaan</sub> )	0.038	0.035	0.024	0.024	-0.004	-0.003
(c <sub>setelah penuaan</sub> - c <sub>sebelum penuaan</sub> )	1.027	1.129	0.282	0.146	1.988	1.809

## KESIMPULAN

1. Tidak ada perbedaan yang signifikan antara *Asphaltenes* yang diekstraksi dari aspal minyak dengan yang diekstraksi dari bitumen Asbuton. Hal ini menunjukkan bahwa ditinjau dari segi *Asphaltenes*, perbedaan sifat antara aspal minyak dengan bitumen Asbuton bukan karena perbedaan sifat *Asphaltenes* melainkan karena perbedaan kandungan *Asphaltenes*.
2. Pengaruh kandungan *Asphaltenes*, antara yang diekstraksi dengan metode Rostler dan yang diekstraksi dengan metode Corbett memiliki pola pengaruh yang sama terhadap sifat reologi dan penuaan aspal. Namun demikian nilai koefisien dalam persamaan regresi tidak persis sama hal ini kemungkinan karena perbedaan bahan pelarut yang digunakan dalam mengekstraksi *Asphaltenes* antara metode Rostler dengan metode Corbett.
3. Makin tinggi kandungan asphaltene dalam aspal maka makin tinggi pula nilai modulus elastisitas ( $G'$ ), modulus viskositas ( $G''$ ), faktor rutting ( $G^*/\sin[\delta]$ ) dan faktor leleh ( $G^*\sin[\delta]$ ) dari aspal tersebut.
4. Pengaruh kandungan asphaltene terhadap Modulus Elastisitas ( $G'$ ) lebih tinggi bila dibanding dengan pengaruhnya terhadap modulus viskositas. Hal ini menunjukkan bahwa *Asphaltenes* adalah fraksi kimia aspal yang dapat meningkatkan sifat elastis aspal.

5. Dilihat dari besarnya pengaruh asphaltene terhadap penuaan aspal, *Asphaltenes* relatif tidak mengalami penuaan selama RTFOT dan penuaan baru terjadi selama PAV. Namun walaupun demikian, mengalami penuaan atau tidak, kandungan asphaltene tetap harus diakomodir dalam indeks durabilitas.

## SARAN

1. Perlu dilakukan validasi lebih lanjut dengan mengkaji asphaltene dari jenis aspal lainnya.
2. Pengkajian lanjutan perlu dilakukan terhadap komponen aspal lainnya agar diperoleh persamaan pengaruh komposisi kimia yang lengkap terhadap sifat reologi dan penuaan aspal.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Standard Testing Materials. 2011. *Standard Practice for Accelerated Aging of Asphalt Binder Using a Pressurized Aging Vessel (PAV)*, ASTM D6521-08, 2011 Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken: ASTM.
- \_\_\_\_\_. 2011. *Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer*, ASTM D7175-08, 2011 Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken: ASTM.
- \_\_\_\_\_. 2011. *Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)*, ASTM

- D2872-04, 2011 Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken: ASTM.
- \_\_\_\_\_. 2011. *Standard Test Method for Separation of Asphalt into Four Fractions*, ASTM D4124-9, 2011 Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken: ASTM.
- \_\_\_\_\_. 1972. *Standard Method for Testing for Characteristic Groups in Rubber Extender and Processing Oils by the Precipitation Method*, ASTM D2006-70, 1972 Annual Book of ASTM Standards Part 2B, Philadelphia: ASTM.
- Bell, C. A. 1989. *Summary Report on Aging of Asphalt-Aggregate Systems*. Oregon: Oregon State University.
- Brownridge, J. 2010. *The Role on Asphalt Rejuvenator in Pavement Preservation: Use and Need for Asphalt Rejuvenation*, Proceeding of the First International Conference on Pavement Preservation, California United States, hal. 351-364
- Demirabs, A. 2002. "Asphaltene yields from five types of fuels via different methods". *International Journal of Energy Conversion and Management* Vol. 43, halaman 1091–1097.
- Hermadi, M., Siegfried. 2002. "Pengaruh Komposisi Kimia Terhadap sifat Fisik Aspal". *Jurnal TIARSIE*. 7 (4), hal. 13-18
- Hermadi, M., Syahdanulirwan, M. 2005. "Hubungan Antara Indeks Durabilitas dengan Durabilitas Aspal", *Jurnal Jalan dan Jembatan*. 3 (22), hal. 8.
- Kumar, S. A., Krishnan, J. M., Veeraragavan A. 2009. "Efficient Transportation and Pavement Systems, Chapter 41 Steady Shear Properties of a Class of Aged Bitumens", ISBN: 978-0-415-48979-9 Taylor & Francis Group, London, Hal 41.
- Lu, X., Isacsson, U&. 2002. "Effect of Ageing on Bitumen Chemistry and Rheology". *Construction and Building Materials Journal*. Vol. 16, hal. 21
- Michalica, Daucik, and Zanzotto. 2008. "Monitoring of Compositional Changes Occurring During The Oxidative Aging of Two Selected Asphalts from Different Sources". *Petroleum & Coal* ISSN 1337-7027. No. 50, vol. 2, hal. 7
- Oyekunle, L. O. 2006. "Certain Relationships between Chemical Composition and Properties of Petroleum Asphalts from Different Origin". *Lagos: Oil & Gas Science and Technology Joynral*, Vol. 61, hal. 439.
- Petersen, J. C. 2009. "A Review of the Fundamentas of Asphalt Oxidation". *Transportation Research Board (TRB)*. Washington D.C.
- Roberts, F. L., et al. 1996. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction*. Lanham: NAPA Education Foundation.
- Transportation Research Board. 2011. *A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary*. Report 673. Washington D. C.: Transportation Research Board.