

Evaluasi Metode Estimasi Viskositas Kinematik Campuran Biner *Base Oil* dan Aditif *Viscosity Modifiers* (VMs)

Oleh: Setyo Widodo¹, Nelson Saksono² dan Subiyanto³

Pengkaji Teknologi¹, Peneliti Utama³ pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi “LEMIGAS” Departemen Teknik Kimia²-Universitas Indonesia

Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230, Indonesia

Tromol Pos : 6022/KBYB-Jakarta 12120, Telepon : 62-21-7394422, Faksimile : 62-21-7246150

setyow@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi I Tanggal 11 Februari 2011; Diterima setelah perbaikan tanggal 28 Februari 2011

Disetujui terbit tanggal: 29 April 2011

S A R I

Penyusunan formula minyak lumas selalu melibatkan pencampuran *base oil* dan aditif melalui tahapan estimasi dan formulasi skala laboratorium, dilanjutkan dengan produksi skala komersial. Parameter kunci dalam penyusunan formula adalah viskositas kinematik yang nilainya dapat dihitung secara teoretis dan pengujian laboratorium. Beberapa metode estimasi viskositas campuran yang dikenal antara lain persamaan Refutas, metode Wright, dan metode yang dikembangkan dan digunakan dalam *American Society for Testing and Material* (ASTM D 7152).

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari akurasi ketiga metode tersebut dalam memprediksi viskositas kinematik campuran biner *base oil* dan aditif. Sampel campuran biner tersusun dari dua jenis *base oil* mineral produksi PT Pertamina (Persero) dan aditif *viscosity modifiers* (VMs) produksi Lubrizol yang divariasikan pada kisaran konsentrasi 5-30 % berat. Nilai viskositas kinematik diukur pada temperatur uji 40 dan 100°C menggunakan *cannon automatic viscometer series 2000* (CAV 2000) dengan mengacu pada metode uji ASTM D 445. Evaluasi data dilakukan untuk mendapatkan nilai persen *average absolute deviation* (%AAD) sebagai indikator akurasi hasil estimasi dari setiap metode dibandingkan dengan data empiris.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai %AAD pada 24 data uji dari 12 sampel campuran biner dan temperatur uji 40°C adalah 10,56 %, lebih rendah dibandingkan persamaan *Refutas* dan metode ASTM, yaitu 41,19 dan 41,25 %. Pada temperatur uji 100°C nilai %AAD metode *Wright* adalah 15,03 %, lebih rendah daripada persamaan *Refutas* dan metode ASTM yaitu 39,15 dan 39,43 %. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode *Wright* memberikan nilai estimasi yang lebih akurat dibandingkan dengan persamaan *Refutas* maupun metode ASTM.

Katakunci: viskositas kinematik, *viscosity modifiers*, *average absolute deviation*.

ABSTRACT

Lubricating oil formulation always involves mixing of base oil and additives through several steps of estimation and laboratory scale formulation, followed by commercial scale production. Key parameters in the preparation of formula is the kinematic viscosity whose value can be calculated theoretically and by laboratory testing. Several viscosity estimation methods of the mixture, known as Refutas equation, the Wright method, and methods developed and used in the American Society for Testing and Materials (ASTM D 7152).

This research was conducted to study the accuracy of these three methods in predicting the kinematic viscosity of base oil and additives binary mixtures. The sample of binary mixtures composed of two types of mineral base oil derived from PT Pertamina (PERSERO),

and concentrations of additive viscosity modifiers (VMs,) derived from Lubrizol Indonesia, varied 50-30% by weight. Kinematic viscosity values were measured at 40 and 100°C using a cannon automatic viscometer series 2000 (CAV 2000) according to ASTM test method D 445. The data were evaluated to obtain the value of percent average absolute deviation (% AAD) as an indicator of the accuracy of each method compared with empirical data.

The results showed that the % AAD value of 24 data from 12 binary-mixtures samples measured at 40°C is 10.56%, lower than Refutas equation and ASTM methods, 41.19 and 41.25% respectively. Test result at 100°C show that % AAD of Wright's method is 15.03%, lower than the Refutas equation and ASTM methods, 39.15 and 39.43% respectively. Based on these results, it can be concluded that Wright method gives a more accurate compared with both Refutas equation and ASTM methods.

Keywords: kinematic viscosity, viscosity modifiers, average absolute deviation.

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan bentuknya pelumas dapat dikategorikan menjadi pelumas padat, semi-padat, cairan dan gas. Minyak lumas merupakan jenis pelumas cair yang memiliki fungsi utama untuk mencegah terjadinya gesekan, keausan dan kerusakan permukaan dalam suatu sistem yang terdiri dari berbagai elemen mesin, seperti roda gigi dan bantalan. Minyak lumas juga berfungsi untuk mencegah terjadinya korosi, mengumpulkan dan memindahkan panas, kotoran serta partikel keausan [1-6]. Pada sistem hidraulik, minyak lumas berfungsi sebagai penghantar gaya atau energi. Kualitas minyak lumas dapat diketahui dari parameter fisika/kimia dan unjuk kerja. Spesifikasi fisika/kimia minyak lumas ditunjukkan oleh nilai viskositas kinematik dan secara internasional digunakan standar *Society of Automotive Engineers* (SAE) [7].

Minyak lumas yang dikenal dan digunakan masyarakat merupakan hasil pencampuran *base oil* dan aditif dengan kisaran konsentrasi 5-30 % berat [8]. Proses produksi minyak lumas mencakup tahapan estimasi dan formulasi dalam skala laboratorium, dilanjutkan produksi dalam skala komersial. Estimasi dan formulasi merupakan langkah penting untuk menjamin kualitas produk sesuai dengan spesifikasi yang ditargetkan. Beberapa persamaan telah dikembangkan untuk mempermudah estimasi viskositas campuran multi-komponen. Persamaan yang dikenal luas untuk estimasi viskositas campuran minyak bumi dan produk turunannya, antara lain metode Wright [9], persamaan Refutas [10], dan persamaan yang dikembangkan oleh *ASTM Standard* [11]. Studi mengenai metode estimasi yang tepat

menjadi hal yang penting dilakukan untuk menghindari penyusunan formula minyak lumas secara berulang-ulang (*iterative*) yang menyebabkan meningkatnya biaya produksi. Pada paper ini disampaikan hasil evaluasi terhadap akurasi ketiga metode estimasi viskositas kinematik dibandingkan dengan nilai empiris.

II. METODE ESTIMASI VISKOSITAS CAMPURAN

A. Metode Wright

Metode estimasi yang diusulkan oleh W.A. Wright mengacu pada persamaan korelasi viskositas terhadap temperatur Walther – MacCoull (pers. 1).

$$\text{Log} . \log Z = A - B \log T \quad (1)$$

Nilai $Z = (v + a + C - D + E - F + G - H)$, dan besaran nilai konstanta a adalah 0,7. Penyusunan formula minyak lumas melibatkan viskositas kinematik dengan nilai > 2 cSt sehingga konstanta C sampai dengan H dapat diabaikan.

Setiap komponen dalam metode Wright didefinisikan berdasarkan nilai fraksi dan viskositasnya dalam campuran pada dua temperatur uji. Viskositas komponen i pada temperatur t_{ij} , adalah v_{ij} , dan fraksi dalam f_i . Persamaan disusun menggunakan bilangan tak berdimensi hasil transformasi nilai viskositas dan temperatur uji.

$$Z_{ij} = v_{ij} + 0,7 + \exp(-1,47 - 1,84v_{ij} - 0,51v_{ij}) \quad (2)$$

$$W_{ij} = \log[\log(Z_{ij})] \quad (3)$$

$$T_{ij} = \log[t_{ij} + 273,15] \quad (4)$$

ν_{ij} adalah viskositas kinematik [mm²/s] dari komponen i pada temperatur t_{ij} [°C]. Pada fluida dengan nilai viskositas kinematik lebih dari 2 mm²/s, penambahan eksponensial (pers. 2) dapat diabaikan.

$$m_i^{-1} = \frac{(T_{i1} - T_{i0})}{(W_{i1} - W_{i0})} \quad (5)$$

$$W_B = \frac{T_B + \sum f_i (m_i^{-1} W_{i0} - T_{i0})}{\sum [(f_i) \cdot m_i^{-1}] } \quad (6)$$

Bilangan tidak berdimensi W_B selanjutnya digunakan untuk menghitung kembali nilai viskositas kinematik campuran (persamaan 7-9).

$$Z'_B = 10^{W_B} \quad (7)$$

$$Z_B = 10^{Z'_B - 0,7} \quad (8)$$

$$\nu_B = Z_B - \exp[-0,7487 - 3,295Z_B + 0,6119Z_B^2 - 0,3193Z_B^3] \quad (9)$$

Nilai Z'_B dan Z_B adalah hasil dari perhitungan antara tanpa memiliki arti fisis. Beberapa hasil studi menunjukkan bahwa, untuk viskositas cairan pada rentang 0,12 - 1000 mm²/s perbedaan transformasi pada persamaan (2) dan (3) dengan *untransform* persamaan (8) dan (9) kurang dari 0,0004 mm²/s.

B. Persamaan Refutas

Persamaan *Refutas* menggunakan nilai antara *viscosity blending index* (VBI) dari setiap komponen yang terlibat dalam campuran yang dihitung menggunakan persamaan berikut [10]:

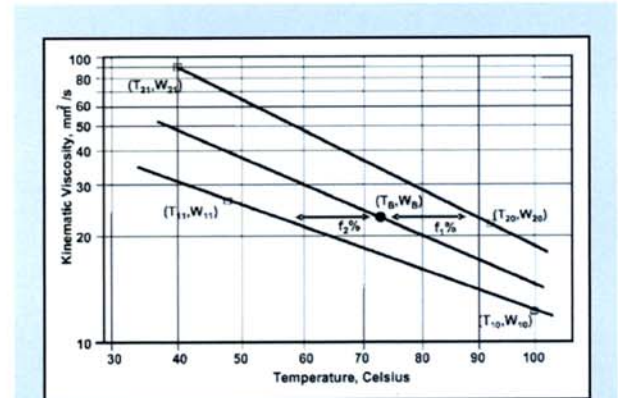
$$VBI = 14,534 \times \ln[\ln(\nu + 0,8)] + 10,975 \quad (10)$$

$$VBI Blend = [w_A \times VBI_A] + [w_B \times VBI_B] + \dots + [w_X \times VBI_X] \quad (11)$$

Viskositas campuran dapat dihitung menggunakan persamaan (12):

$$\nu = e^{(VBN - 10,975) + 14,554} - 0,8 \quad (12)$$

Nilai ν menunjukkan viskositas kinematik campuran (cSt); \ln : *natural logarithmic*; e : *transcendental number/Euler's number* = 2,71828; VBN : *viscos-*



Gambar 1
Ilustrasi estimasi viskositas
campuran metode Wright [11]

ity blending number of blend (VBI Blend); w_A : fraksi berat setiap komponen; dan Setiap viskositas diukur pada temperatur yang sama, misal 100°C.

C. Metode ASTM

Estimasi viskositas kinematik campuran dapat dilakukan menggunakan persamaan yang diadopsi oleh *ASTM Standard* dan dikenal sebagai *ASTM Method* yang tercantum dalam ASTM D-7152-05^{e1} [12]. Metode ini digunakan untuk estimasi viskositas pada satu kondisi temperatur uji, dan dalam formulasi minyak lumas biasa digunakan temperatur uji 100°C. Metode ASTM dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$Z_{ij} = \nu_{ij} + 0,7 + \exp(-1,47 - 1,84\nu_{ij} - 0,51\nu_{ij}^2) \quad (13)$$

$$W_{ij} = \log[\log(Z_{ij})] \quad (14)$$

$$W_B = \frac{\sum [f_i \cdot W_i]}{\sum [f_i]} \text{ dengan } \sum f_i = 1 \quad (15)$$

$$\nu_B = W_B - 0,7 - \exp[-0,7487 - 3,295((W_B) - 0,7) \dots + 0,6119((W_B) - 0,7)^2 - 0,3193((W_B) - 0,7)^3] \quad (16)$$

III. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dalam empat tahapan (Gambar 2), yaitu: i). Persiapan sampel/percontoh campuran *base oil* dan aditif; ii). Estimasi dan uji viskositas kinematik; iii). Analisis dan Evaluasi; serta iv). Kesimpulan. Jenis sampel yang digunakan adalah campuran biner *base oil* (B.1 dan B.2) produksi PT Pertamina (Persero) dan aditif *viscosity modifiers* (VMs) produksi Lubrizol divariasikan pada rentang 5-30 %-berat. Pengujian nilai viskositas kinematik

dilakukan pada temperatur 40 dan 100°C berdasarkan metode uji ASTM D445 menggunakan alat *cannon automatic viscometer series 2000* [12]. Analisis dan evaluasi data dilakukan dengan menghitung penyimpangan hasil estimasi dibandingkan data empiris yang direpresentasikan dalam persen *average absolute deviation* (%AAD).

$$\% AAD = \left[\frac{|X_{estimasi} - X_{empiris}|}{X_{empiris}} \right] \cdot 100 \% \quad (17)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dan evaluasi dilakukan terhadap profil nilai viskositas kinematik pada 24 data empiris dari 12 sampel campuran biner *base oil* – VMs. Akurasi hasil estimasi dihitung dengan membandingkan nilainya terhadap data empiris dan direpresentasikan dalam nilai %AAD.

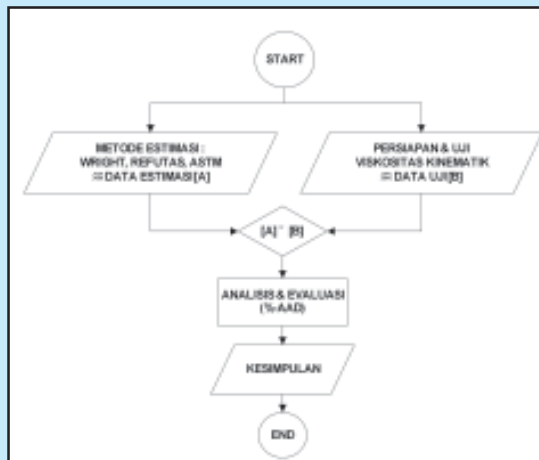
A. Viskositas Kinematik Campuran

Data viskositas kinematik pada temperatur uji 40 dan 100°C dari 24 sampel menunjukkan nilai yang semakin besar dengan penambahan VMs ke dalam kedua jenis *base oil* (Gambar 3 dan Gambar 4). Profil kurva nilai viskositas kinematik campuran menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi VMs ke dalam *base oil* (B.1 dan B.2) menyebabkan peningkatan nilai viskositas kinematik secara eksponensial. Fenomena ini terjadi pada nilai viskositas kinematik di kedua temperatur uji (40 dan 100°C).

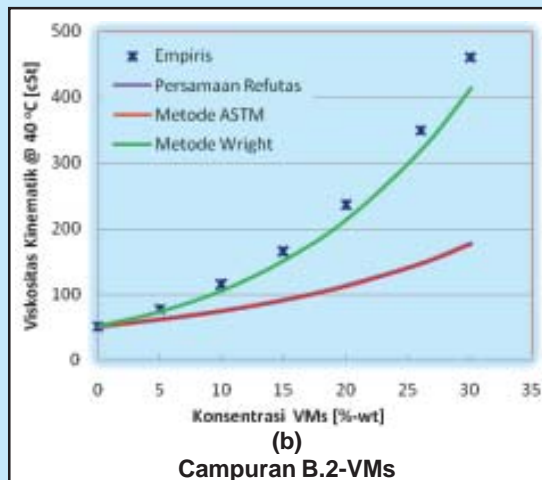
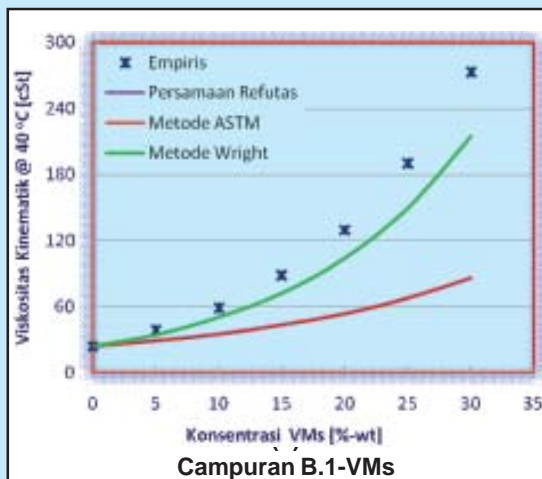
Perbedaan nilai estimasi viskositas kinematik dengan data empiris dari campuran *base oil* (B.1/ B.2) dengan aditif (VMs) pada temperatur uji 40°C untuk persamaan refutas dan metode ASTM masing-masing berada pada kisaran 8,94-284,28 cSt dan 8,96-284,50 cSt, sedangkan metode Wright menunjukkan perbedaan nilai viskositas kinematik pada kisaran 3,10-57,86 cSt. Penyimpangan nilai estimasi pada temperature uji 100°C menunjukkan nilai yang lebih kecil pada ketiga metode *Refutas*, *ASTM* dan *Wright* masing-masing 1,69-29,71 cSt; 1,72-29,87 cSt dan 0,78-9,10 cSt.

B. Penyimpangan Nilai Estimasi

Perbandingan nilai estimasi viskositas kinematik campuran dengan data empiris dari campuran *base oil* (B.1/B.2) dengan aditif (VMs) pada temperatur uji 40 dan 100°C dari 24 sampel menunjukkan adanya penyimpangan yang signifikan.



Gambar 2
 Metode pelaksanaan penelitian



Gambar 3
 Profil Nilai Viskositas Kinematik Campuran pada Temperatur Uji 40°C

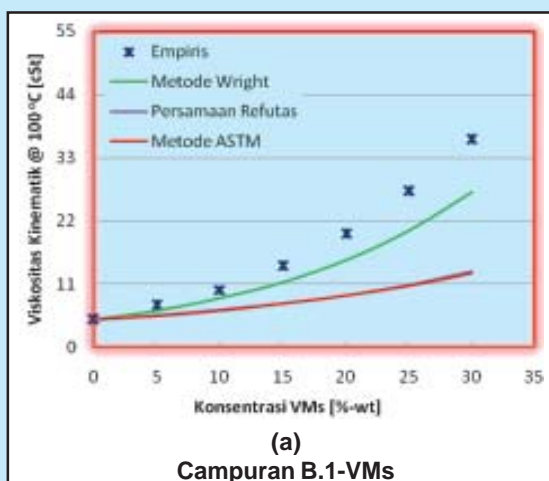
Penyimpangan nilai viskositas direpresentasikan oleh persen *average absolute deviation* (%AAD). Hasil analisis dan evaluasi data menunjukkan bahwa penyimpangan nilai estimasi pada persamaan Refutas, metode ASTM dan metode *Wright* pada temperatur uji 40°C masing-masing 41,19; 41,25 dan 10,56 %, sedangkan pada temperatur uji 100°C, nilai % AAD dari ketiga metode tersebut masing-masing 39,15; 39,43 dan 15,03 % (Gambar 5 dan Gambar 6).

Dari ketiga persamaan yang digunakan dalam estimasi nilai viskositas kinematik campuran, diketahui bahwa hampir semua data uji menunjukkan nilai estimasi yang hampir sama pada persamaan Refutas dan metode ASTM. Namun demikian, kedua metode tersebut menunjukkan penyimpangan nilai yang cukup besar, sedangkan metode *Wright* dapat memberikan nilai estimasi yang lebih akurat dibandingkan keduanya. Akurasi hasil estimasi yang lebih baik pada

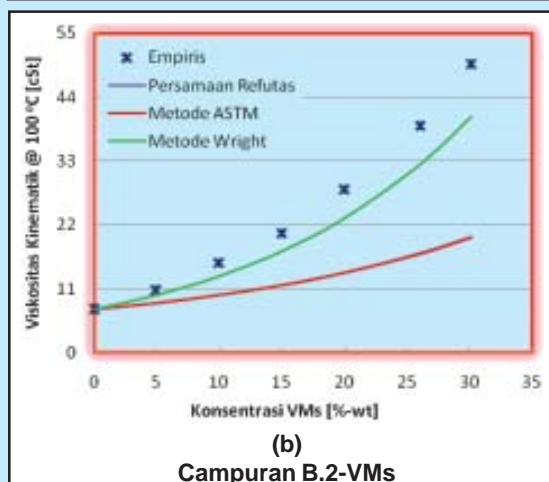
metode *Wright* dipengaruhi oleh penggunaan parameter yang lebih lengkap dalam aplikasinya, yaitu menggunakan data viskositas komponen pada dua kondisi temperatur uji. Hal ini dapat memperkecil kemungkinan penyimpangan nilai estimasi, dibandingkan dengan dua metode lainnya yang hanya menggunakan data viskositas kinematik komponen pada satu kondisi temperatur uji [9-11]. Viskositas kinematik cairan sangat dipengaruhi oleh temperatur sehingga rumusan persamaan estimasi yang melibatkan parameter temperatur akan lebih akurat.

V. KESIMPULAN

Viskositas kinematik sebagai salah satu parameter kunci dalam tahapan formulasi minyak lumpur skala laboratorium memerlukan metode estimasi yang tepat sehingga diperoleh produk yang sesuai dengan spesifikasi yang ditargetkan. Hasil penelitian

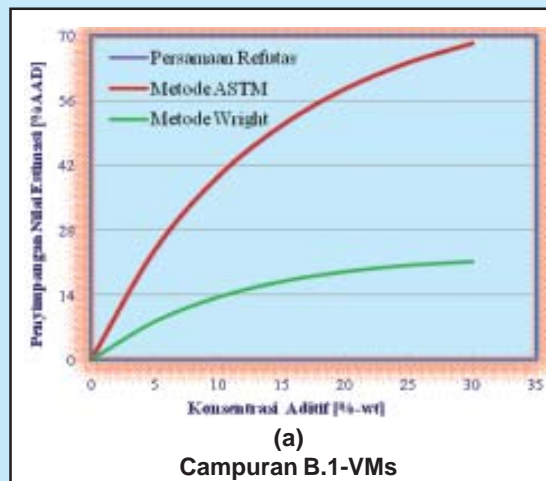


(a)
 Campuran B.1-VMs

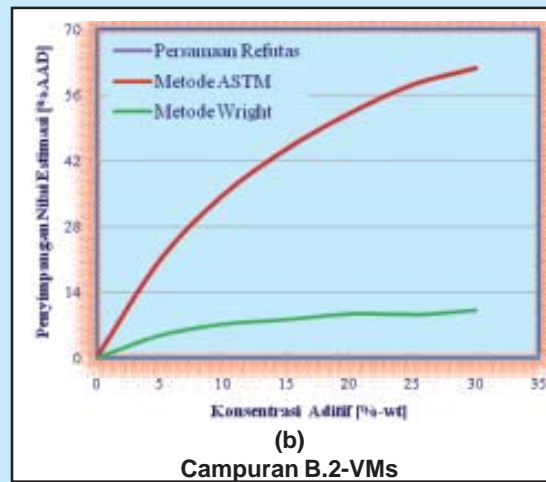


(b)
 Campuran B.2-VMs

Gambar 4
 Profil Nilai Viskositas Kinematik Campuran pada Temperatur Uji 100°C.

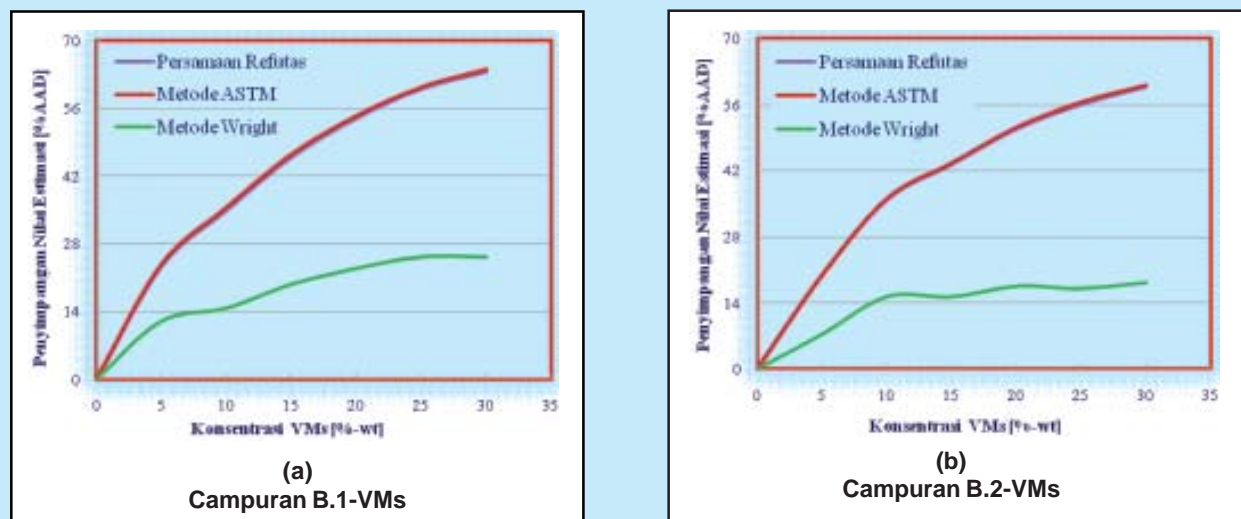


(a)
 Campuran B.1-VMs



(b)
 Campuran B.2-VMs

Gambar 5
 Profil Penyimpangan Nilai Estimasi (%AAD) pada Temperatur Uji 40°C.



Gambar 6
 Profil penyimpangan nilai estimasi (%AAD) pada temperatur uji 100°C.

menunjukkan bahwa nilai %AAD pada 24 data uji dari 12 sampel campuran biner dan temperatur uji 40°C adalah 10,56 %, lebih rendah dibandingkan persamaan Refutas dan metode ASTM, yaitu 41,19 dan 41,25 %. Pada temperatur uji 100°C nilai %AAD metode Wright adalah 15,03 %, lebih rendah daripada persamaan Refutas dan metode ASTM, yaitu 39,15 dan 39,43 %. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode Wright memberikan nilai estimasi yang lebih akurat dibandingkan dengan persamaan Refutas maupun metode ASTM. Namun demikian, secara keseluruhan, penyimpangan nilai yang masih cukup besar (> 10%) menyebabkan penyusunan formula minyak lumas harus dilakukan secara *iterative* untuk menghasilkan formula yang tepat. Pengembangan metode yang lebih akurat dan aplikatif sangat diperlukan untuk mempermudah penyusunan formula dalam skala industri.

KEPUSTAKAAN

1. Fein, R.S. (1992), *Liquid Lubricants*, (ASTM Handbook Vol.18) *Friction, Lube and Wear Test*. USA : ASM International.
2. Freeman, P.(1962), *Lubrication and friction*, USA : Sir Isaac Pitman & Sons Ltd.
3. O'Connor and Boyd. (1968), *Standard Handbook of Lubrication Engineering*, New York : McGraw Hill Inc.
4. Booser, E.R. (1996), *Handbook of Lubricant Theory and Practice of Tribology*, (Vol.I), *Application and Maintenance*. Florida.
5. Booser, E.R. (1996), *Handbook of Lubricant Theory and Practice of Tribology*, (Vol.II), *Application and Maintenance*. Florida.
6. Wartawan, A.L. (1998), *Pelumas Otomotif dan Industri*, Jakarta : Balai Pustaka.
7. *Fuel and Lubricants*, (Vol. I, Part 12). (2002). SAE Handbook.
8. Srinivasan, S., *et al.* (2007), *Viscosity Modifier for Lubricant Compositions*. USA : US Patents Publication.
9. Wright, W.A., (1946). Prediction of Oil Viscosity Blending. *American Chemical Society, Atlantic City Meeting*.
10. Maples, R.E. (2000), *Petroleum Refinery Process Economics*, (2nd Edition). Oklahoma : Pennwell Books, ISBN 0-87814-779-9.
11. *Annual Book of ASTM Standard* (Vol. 05.04). (2009). ASTM D 7152-05^{e1} “Standard Practice for Calculating Viscosity of a Blend Petroleum Product”, USA : ASTM International.
12. *Annual Book of ASTM Standard* (Vol. 05.01). (2009). ASTM D 445-06, *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)*. USA : ASTM International.