

Hubungan Kelikatan Minyak Enjin Terhadap Usia Guna Serta Suhu (Relationship Between Engine Oil Viscosity with Age and Temperature)

NORDIN JAMALUDIN, OTHMAN INAYATULLAH*, MOHD. JAILANI MOHD. NOR
& FAUZIAH MAT

ABSTRAK

Kelikatan minyak enjin bergred tunggal mengalami perubahan apabila berlakunya perubahan pada suhu dan tekanan. Namun begitu, secara realiti kelikatan minyak enjin juga mengalami perubahan terhadap usia guna. Oleh itu, kajian ini memperkenalkan satu hubungan kelikatan minyak enjin terhadap perubahan suhu serta usia guna. Hubungan ini berasaskan kepada persamaan matematik empirik yang melibatkan teori pelincir Newtonan dan bukan Newtonan. Hubungan yang baru ini dikenali sebagai model kelikatan matematik (η_{math}). Dalam model ini, kelikatan minyak enjin dipengaruhi oleh dua faktor iaitu faktor suhu (k_s) dan faktor masa (k_m). Nilai kedua-dua faktor ini bergantung kepada formula bahan tambah minyak enjin tersebut. Analisis reologi meter likat telah digunakan untuk mendapatkan nilai kedua-dua faktor ini. Hasil kajian menunjukkan kelikatan minyak enjin mengalami penurunan apabila usia guna meningkat. Ini dibuktikan melalui model kelikatan matematik (η_{math}) dan juga analisis reologi meter likat.

Kata kunci: Faktor masa; faktor suhu; kelikatan; minyak enjin; model kelikatan matematik

ABSTRACT

Single grade engine oil viscosity experience changes influenced by temperature and pressure. In reality however, the viscosity of the engine oil is also affected by age. A relationship between oil's viscosity with temperature and age is proposed in this paper. This relationship is based on an empirical mathematical equation which involves Newtonian and non-Newtonian lubricant theory. Based on the model proposed, the engine oil viscosity was influenced by two factors namely temperature (k_s) and time (k_m). Both of these factors depends on the engine oil additive formula. As such, by applying rheology viscometer analysis, the value of these factors can be determined. This research showed that the engine oil viscosity was inversely proportional with the use age, established via mathematical viscosity model (η_{math}) and also rheology viscometer analysis.

Keyword: Engine oil; mathematical viscosity model; temperature; time

PENGENALAN

Sistem pelinciran merupakan sistem yang penting dalam setiap enjin sama ada enjin petrol, gas atau diesel. Sistem pelinciran yang baik dan sempurna merupakan satu kelebihan untuk menghasilkan prestasi enjin yang maksimum. Ini disebabkan kemampuan minyak pelincir berfungsi sebagai bahan anti geseran dan penyerap hada. Dalam sistem pelinciran enjin diesel, galas merupakan komponen yang kritikal dan terdedah kepada geseran. Ini menyebabkan jangka hayat galas bergantung sepenuhnya kepada kualiti minyak pelincir atau dikenali sebagai minyak enjin. Kualiti minyak enjin boleh ditentukan secara mudah melalui kelikatannya. Kelikatan merupakan sifat yang paling mudah dikenali dan ianya merupakan sifat fizikal yang mentakrifkan rintangan terhadap aliran (Mohd. Zubil Bahak 1997).

Pada amnya, minyak enjin yang berasaskan minyak mentah dikategorikan sebagai pelincir Newtonan. Dalam pelincir Newtonan, kelikatan pelincir dipengaruhi sepenuhnya oleh suhu dan juga tekanan (Briant et al. 1989; Bhushan 2002; Cengel & Cimbala 2006; Cimbala

& Cengel 2008; Fox et al. 2010; Hamrock et al. 2004). Dalam konteks ini, kelikatan minyak enjin menurun apabila suhunya meningkat tetapi meningkat apabila berlakunya peningkatan tekanan ke atas lapisan minyak. Namun begitu, kehadiran bahan tambah dalam campuran minyak enjin, menyebabkan minyak tersebut mempunyai ciri-ciri pelincir bukan Newtonan.

Dengan wujudnya ciri pelincir bukan Newtonan dalam minyak enjin, kelikatan minyak enjin mengalami perubahan apabila usia guna minyak tersebut meningkat. Memandangkan minyak enjin merupakan gabungan ciri Newtonan dan bukan Newtonan, perubahan kelikatan minyak enjin bergantung kepada beberapa faktor iaitu, suhu, tekanan dan juga usia guna (Briant et al. 1989; Karacan et al. 1999; Stachowiak & Batchelor 2005). Oleh itu, matlamat kajian ini adalah memperkenalkan satu hubungan kelikatan terhadap suhu dan juga usia guna. Hubungan ini merupakan persamaan matematik empirik yang menggabungkan kedua-dua ciri minyak tersebut. Hubungan ini dikenali sebagai model kelikatan matematik (η_{math}).

Dalam model kelikatan matematik, kelikatan minyak enjin dipengaruhi oleh dua faktor iaitu faktor suhu (k_s) dan faktor masa (k_m). Kedua-dua faktor ini bergantung kepada komposisi bahan tambah minyak tersebut. Minyak enjin berkelikatan tinggi mempunyai faktor suhu (k_s) yang rendah tetapi faktor masa (k_m) yang tinggi. Dalam kajian ini, nilai faktor suhu (k_s) dan faktor masa (k_m) diperolehi melalui analisis reologi meter likat. Hubungan kelikatan minyak enjin terhadap suhu dan usia guna merupakan hasil gabungan pengubahsuaian dua persamaan.

Pada asasnya, pengaruh suhu terhadap kelikatan boleh diterjemahkan melalui persamaan kelikatan Vogel (Seeton 2006; Stachowiak & Batchelor 2005; Yahaya 1994) yang dinyatakan sebagai

$$\eta = ke^{b/(K-\theta)}, \quad (1)$$

dengan k adalah pemalar yang menyatakan kelikatan yang terwujud, b merupakan pemalar sebutan perubahan kelikatan, K adalah suhu mutlak dalam °C dan θ adalah suhu kelikatan tidak terhingga dalam °C. Nilai b dan θ dalam (1) dipengaruhi oleh komposisi bahan tambah dalam minyak enjin.

Oleh itu, dalam kajian ini, (1) diubah suai kepada bentuk empirik yang mana suhu kelikatan tidak terhingga pada (1) boleh ditakrifkan sebagai suhu rujukan yang malar (K_0) dan K adalah suhu mutlak atau suhu sebenar minyak enjin tersebut. k pula boleh diandaikan sebagai kelikatan rujukan yang malar (η_0) iaitu pada minyak enjin segar. Oleh itu, (1) boleh diterbitkan semula sebagai

$$\eta = \eta_0 e^{k_s(K-K_0)}, \quad (2)$$

dengan faktor suhu (k_s) ditakrifkan sebagai:

$$k_s = \frac{b}{(K-K_0)^2}. \quad (3)$$

Minyak enjin dengan campuran bahan tambah boleh dikategorikan sebagai bendalir kelikatan elastik. Ini menyebabkan kelikatan minyak enjin tersebut lebih kompleks. Dengan mengandaikan aliran minyak enjin berbentuk bendalir Maxwell yang mana tegasan ricih (τ) minyak enjin tersebut boleh dinyatakan sebagai (Briant et al. 1989; Fox et al. 2010):

$$\tau = \tau_0 e^{\left(\frac{t}{T}\right)}, \quad (4)$$

dengan τ_0 adalah tegasan ricih pada usia guna 0 jam atau pada minyak enjin segar, T adalah masa pengenduran dan t adalah hayat minyak tersebut.

Dalam teori kelikatan, tegasan ricih boleh dinyatakan sebagai:

$$\tau = \eta \frac{v}{z}, \quad (5)$$

dengan η adalah kelikatan, v adalah halaju dan z adalah ketebalan minyak enjin. Memandangkan ciri minyak enjin yang kompleks, (4) diubah suai ke bentuk empirik

dengan mengandaikan tekanan, suhu, luas permukaan, halaju pergerakan ombok dan ketebalan minyak pelincir adalah malar. Oleh itu, (4) diterbitkan dalam bentuk kelikatan dengan penambahan faktor masa (k_m) seperti mana ditunjukkan dalam:

$$\eta = \eta_0 e^{\left(-\frac{k_m t}{T}\right)}, \quad (6)$$

dengan k_m adalah faktor masa dan η_0 adalah nilai kelikatan minyak enjin segar pada suhu tertentu dan T adalah usia guna maksimum yang telah ditetapkan oleh pembuat enjin dan t adalah masa sebenar.

Oleh itu, dalam hubungan kelikatan terhadap suhu dan usia guna, (2) digabungkan dengan (6) dalam bentuk eksponen. Hubungan ini dikenali sebagai model kelikatan matematik (η_{math}) seperti mana dipaparkan dalam:

$$\eta_{math} = \eta_0 e^{\left[k_s - (K_0) + k_m \left(\frac{t}{T}\right)\right]}. \quad (7)$$

Model kelikatan matematik (η_{math}) merupakan persamaan yang baru diterbitkan untuk menghubungkan kelikatan minyak enjin terhadap suhu dan usia guna.

Melalui (7), nilai kelikatan minyak enjin mengalami penurunan apabila suhu dan usia guna meningkat. Selain itu, nilai faktor suhu (k_s) dan faktor masa (k_m) dipengaruhi oleh kelikatan dan komposisi bahan tambah minyak enjin. Dalam kajian ini dijangkakan bahawa faktor suhu (k_s) untuk sampel A lebih tinggi daripada sampel B. Sebaliknya sampel B mempunyai faktor masa (k_m) yang tinggi daripada sampel A.

Sebelum ini, terdapat kajian kes yang menghubungkan kelikatan minyak enjin dengan suhu dan usia guna (Singh et al. 2006). Kajian ini menggunakan dua persamaan iaitu persamaan Walther dan persamaan Hussain (Hussain et al. 1992). Pada asasnya, persamaan Walther dan persamaan Hussain sebenarnya merujuk perubahan kelikatan minyak enjin terhadap pengaruh suhu. Persamaan Walther dinyatakan sebagai

$$\log_{10} \log_{10} (v + 0.7) = A - B \log_{10} T, \quad (8)$$

dengan v merupakan kelikatan kinematik, A serta B adalah pemalar dan T merupakan suhu. Persamaan (8) merupakan asas terbitan persamaan ASTM. Singh telah menterbitkan semula (8) dengan fungsi terhadap usia guna (t) (Singh et al. 2006):

$$\log_{10} \log_{10} (v + 0.7) = (A_1 t + B_1) - (A_2 t + B_2) \log_{10} T, \quad (9)$$

dengan t adalah usia guna. Persamaan Hussain pula boleh dinyatakan sebagai (Hussain et al. 1992):

$$\log v = A (t_c / S)^{c/B}, \quad (10)$$

dengan A , B dan S adalah pemalar. t_c adalah suhu.

Hasil kajian Singh menunjukkan bahawa (9) dan (10) tidak menunjukkan hubungan jitu perubahan kelikatan

terhadap pengaruh suhu dan usia guna. Ini kerana nilai kelikatan kinematik minyak enjin yang diperoleh melalui (9) dan (10) tidak selari dengan kelikatan kinematik sebenar. Ini menyebabkan kedua-dua persamaan tersebut menghasilkan ralat yang tinggi.

Oleh yang demikian, (9) yang dibangunkan oleh Singh et al. (2006) kurang sesuai digunakan dalam penentuan kelikatan minyak enjin terhadap pengaruh suhu dan usia guna. Ini kerana (9) tidak mengambil kira ciri-ciri pelincir bukan Newtonian minyak enjin tersebut. Ciri-ciri bukan Newtonian ini membentuk carta kelikatan minyak enjin berbentuk eksponen bukan berbentuk garis lurus.

KAEDAH KAJIAN

Kajian ini menggunakan 2 produk minyak enjin pada gred yang sama. Ciri-ciri minyak enjin tersebut dinyatakan dalam Jadual 1. Kedua-dua sampel minyak tersebut melalui ujian guna iaitu digunakan dalam enjin diesel 1 silinder, 4 lejang dengan diameter silinder 85 mm dan jarak lejang 87 mm. Enjin berada di atas rig *dynamometer*.

Dalam kajian ini, beberapa parameter dikawal seperti halaju putaran enjin dan usia guna minyak pelincir. Kawalan halaju putaran dilakukan dengan menggunakan *dynamometer* dengan perisian *iMAC*. Halaju putaran enjin ditetapkan pada 1000 ppm. Selain itu, setiap 10 jam bermula dari 0 jam hingga 100 jam, sampel melalui analisis reologi meter likat.

Dalam kajian ini, analisis reologi meter likat menggunakan peralatan Hakka VT 550, penerima NV, peralatan kawalan suhu DC 30 dan perisian *RheoWin*. Dalam analisis reologi meter likat, bacaan kelikatan sebenar setiap sampel dilakukan pada suhu 35°C, 40°C, 45°C, 50°C dan 55°C.

Nilai kelikatan minyak segar pada suhu 35°C merupakan nilai kelikatan rujukan dalam kajian ini. Selain itu, hasil analisis ini digunakan untuk mendapatkan nilai faktor masa (k_m) dan faktor suhu (k_s).

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Keputusan kajian ini terbahagi kepada 2 iaitu hasil analisis reologi meter likat dan juga analisis model kelikatan matematik (η_{math}). Untuk memudahkan pemahaman proses

analisis model kelikatan matematik (η_{math}), kajian ini memaparkan terlebih dahulu kelikatan sebenar minyak enjin melalui analisis reologi meter likat. Ini kerana melalui hasil analisis ini, nilai nilai faktor masa (k_m) dan faktor suhu (k_s) boleh diandaikan. Keputusan analisis reologi meter likat dan juga analisis model kelikatan matematik (η_{math}) dipaparkan dalam Rajah 1 dan 2. Rajah 1 merupakan keputusan analisis reologi meter likat sampel A dan Rajah 2 pula untuk sampel B. Namun begitu jika diperhatikan kepada kedua-dua rajah tersebut, terdapat berlakunya pertindihan nilai kelikatan di antara analisis reologi meter likat dengan analisis model kelikatan matematik (η_{math}). Fenomena ini kelihatan lebih jelas pada sampel B yang dipaparkan dalam Rajah 2.

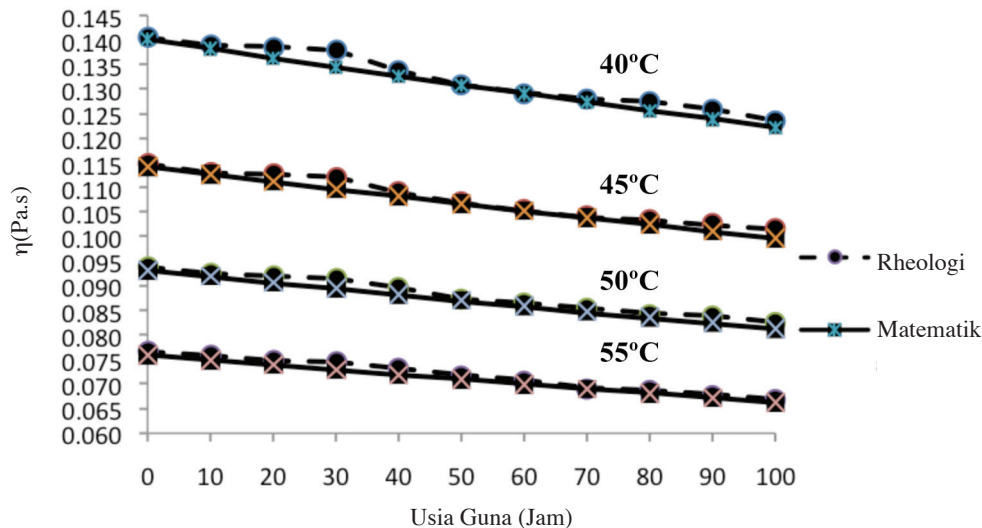
Melalui hasil analisis reologi meter likat, nilai faktor suhu (k_s) diandaikan -0.0409 dan faktor masa (k_m) diandaikan -0.1369 untuk sampel A. Manakala untuk sampel B, nilai faktor suhu (k_s) diandaikan -0.0394 dan faktor masa (k_m) diandaikan -0.1576. Kedua-dua faktor tersebut diandaikan secara purata dengan menggunakan (2) dan (6). Untuk memudahkan pengiraan, nilai kelikatan rujukan untuk faktor suhu (k_s) merupakan nilai kelikatan pada suhu 35°C dan untuk faktor masa (k_m), nilai kelikatan rujukan (η_0) merupakan nilai kelikatan pada usia guna 0 jam. Kelikatan rujukan (η_0) untuk sample A ialah 0.1719 Pa.s dan untuk sample B ialah 0.1655 Pa.s. Nilai kelikatan ini adalah nilai kelikatan minyak segar pada suhu 35°C. T dalam (7) diandaikan 100 jam iaitu tempoh guna maksimum minyak enjin yang dibenarkan oleh pembuat enjin.

Seperti mana yang ditunjukkan dalam Rajah 1 dan 2, nilai kelikatan minyak enjin sama ada melalui analisis reologi meter likat mahupun analisis model kelikatan matematik (η_{math}) mengalami penurunan apabila berlakunya peningkatan suhu dan juga usia guna. Selain itu, nilai faktor suhu (k_s) menunjukkan bahawa sampel B mengalami penurunan kelikatan yang perlahan berbanding dengan sampel A apabila berlakunya peningkatan suhu. Selain itu, nilai kelikatan melalui model kelikatan matematik sampel B terlalu hampir dengan kelikatan sebenar berbanding sampel A.

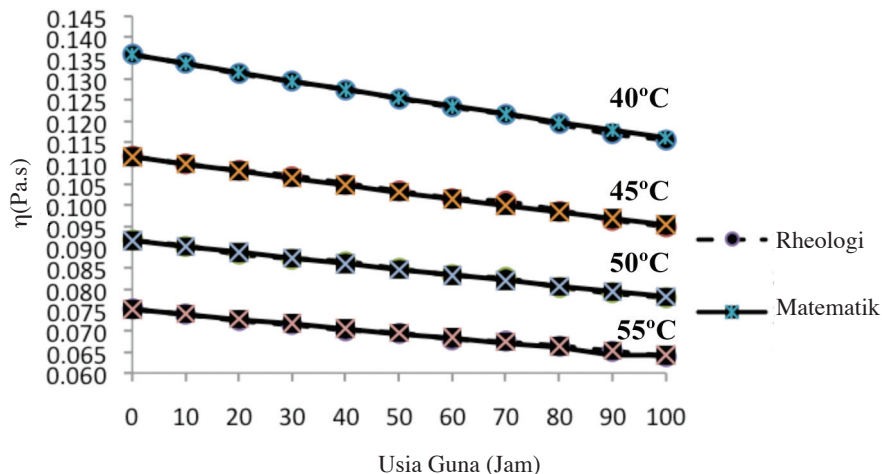
Fenomena ini sebenarnya menyamai kadar penurunan kelikatan kinematik terhadap suhu. Melalui Jadual 1, kadar penurunan kelikatan kinematik terhadap suhu untuk sampel

JADUAL 1. Ciri Bahan Kajian

Ciri	Sampel A	Sampel B
Ketumpatan pada suhu 15°C (kg/m ³)	897.1	900.0
Takat Mengalir (°C)	-6	-10
Takat Kilat (°C)	256	230
Kelikatan Kinematik (mm ² /s)		
40°C	160.8	155.0
100°C	15.2	15.5
Indeks Kelikatan	96	100



RAJAH 1. Kelikatan sebenar dan kelikatan model matematik minyak enjin sampel A terhadap perubahan suhu dan juga usia guna



RAJAH 2. Kelikatan sebenar dan kelikatan model matematik minyak enjin sampel B terhadap perubahan suhu dan juga usia guna

A adalah $-2.4267 \text{ mm}^2/\text{s}/^\circ\text{C}$ dan untuk sampel B adalah $-2.3250 \text{ mm}^2/\text{s}/^\circ\text{C}$. Selain itu, dalam usia guna, sampel A mengalami penurunan kelikatan yang perlahan berbanding dengan sampel B. Dalam kajian ini, perubahan faktor masa (k_m) antara minyak enjin sebenarnya berkaitan dengan kadar indeks kelikatan terhadap ketumpatan sesebuah minyak enjin. Kadar indeks kelikatan terhadap ketumpatan untuk sampel A adalah -0.1070 per kg/m^3 dan sampel B adalah -0.1111 per kg/m^3 .

Selain itu, dalam perbandingan antara analisis reologi meter likat dengan analisis model kelikatan matematik (η_{math}) telah membuktikan bahawa ralat antara dua analisis itu kecil seperti mana dipaparkan dalam Rajah 1 untuk sampel A dan Rajah 2 untuk sampel B. Peratus ralat tertinggi untuk sampel A adalah 2.47% di bawah kelikatan sebenar yang dapat dilihat pada suhu 40°C di usia guna 30 jam. Manakala ralat terkecil pula adalah 0.05% di atas

kelikatan sebenar yang ditunjukkan pada suhu 40°C di usia guna 50 jam. Untuk sampel B pula peratus ralat tertinggi adalah 0.98% iaitu pada suhu 45°C di usia guna 70 jam.

Secara keseluruhannya, ralat kelikatan matematik terhadap kelikatan sebenar sampel A di antara 0.05% dan -2.47% dan sampel B di antara 0.69% dan -0.98%. Kewujudan fenomena ini berkemungkinan disebabkan ketidakstabilan faktor masa (k_m) yang terhasil dalam sampel A. Ini dibuktikan apabila julat faktor masa (k_m) dan julat faktor suhu (k_s) minyak enjin sampel A iaitu 0.0438 dan 0.0008 lebih tinggi daripada sampel B iaitu 0.0174 dan 0.0008.

Selain itu perbandingan hasil kajian ini menunjukkan model kelikatan matematik yang pertama kali diperkenalkan ini yang lebih tepat berbanding pengubahsuaian persamaan Walther yang dihasilkan oleh Singh. Hasil kajian Singh menunjukkan ralat (9) dalam kes pertama adalah 23.08%

dan untuk kes kedua pula adalah 10.68%. Manakala ralat (10) pula adalah 52.26% dan untuk kes kedua pula adalah 90.89% (Singh et al. 2006). Secara umumnya, ketepatan model kelikatan matematik ini adalah ianya mengambil kira ciri-ciri pelincir bukan Newtonan yang disebabkan oleh bahan tambah untuk membentuk minyak mentah menjadi minyak enjin.

KESIMPULAN

Pada keseluruhan kajian, hubungan kelikatan minyak terhadap suhu dan usia guna yang baru diperkenalkan ini membuktikan bahawa kelikatan minyak enjin mengalami perubahan bukan sahaja terhadap suhu tetapi terhadap usia guna. Ianya juga menunjukkan bahawa minyak enjin yang berasaskan minyak mentah bukan sahaja mempunyai sifat Newtonan tetapi ianya juga mempunyai sifat bukan Newtonan. Selain itu nilai faktor suhu (k_s) dan faktor masa (k_m) dipengaruhi oleh formula bahan tambah yang diadunkan bersama minyak mentah. Penemuan kajian ini merupakan pemangkin kepada kajian hubungan kelikatan minyak enjin terhadap suhu dan usia guna dengan bahan kajian dari minyak enjin sentetik atau semi-sentetik.

PENGHARGAAN

Othman Inayatullah mengucapkan terima kasih kepada Universiti Malaysia Perlis dan Kementerian Pengajian Tinggi yang menaja pengajian peringkat Ph.D. Penghargaan juga diberikan kepada Prof. Ir. Dr. Yusoff Ali, Pengarah Pusat Penyelidikan Automotif, Universiti Kebangsaan Malaysia di atas penggunaan enjin diesel sebagai rig ujian. Penghargaan juga diberikan kepada Prof. Ir. Dr. Wan Ramli Wan Daud, Pengarah Institut Sel Fuel, Universiti Kebangsaan Malaysia di atas penggunaan peralatan reologi meter likat Hakka VT 550. Ucapan terima kasih juga kepada semua juruteknik makmal pembakaran Jabatan Kejuruteraan Mekanik dan Bahan serta juruteknik makmal reologi Jabatan Kejuruteraan Kimia dan Proses, Universiti Kebangsaan Malaysia.

RUJUKAN

- Mohd. Zubil Bahak. 1997. *Pengenalan Tribologi*. Johor: Penerbit UTM.
- Briant, J., Denis, J. & Parc, C. 1989. *Reological Properties of Lubricants*. France: Imprimerie Barneoud.
- Bhushan, B. 2002. *Introduction to Tribology*. USA: John Wiley & Sons Inc.
- Cengel, A.Y. & Cimbala, M.J. 2006. *Fluid Mechanics; Fundamentals and Applications*. Singapore: McGraw-Hill.
- Cimbala, M.J. & Cengel, A.Y. 2008. *Essentials of Fluid Mechanics; Fundamentals and Applications*. Singapore: McGraw-Hill.
- Fox, W.R., Pritchard, J.P. & McDonald, T.A. 2010. *Introduction to Fluid Mechanics*. Asia: John Wiley & Sons.
- Hamrock, B.J., Schmid, S.R. & Jacobson, B.O. 2004. *Fundamentals of Fluid Film Lubrication 2nd ed.* New York: Marcel Dekker.
- Hussain, A., Biswas, S. & Athre, K. 1992. A New Viscosity-Temperature Relationship for Liquid Lubricant. *Wear* 156: 1-18.
- Karacan, O., Kok, M.V. & Karaaslan, U. 1999. Dependence of Thermal Stability of an Lubricating Oil on Usage period. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 55: 109-114.
- Seeton, J.C. 2006. Viscosity – Temperature correlation for liquids. *Tribology Letters* 22 (1): 67-78.
- Singh, A.K., Mukherjee, P.S. & Mishra, N.M. 2006. Interrelationship among viscosity, temperature and age of lubricant. *Journal of Industrial Lubrication and Tribology* 58(1): 50-55.
- Stachowiak, W.G. & Batchelor, W.A. 2005. *Engineering Tribology 3rd*. USA: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Yahaya Ramli. 1994. *Teori Pelinciran Asas*. Johor: Penerbit UTM.
- Nordin Jamaludin & Mohd Jailani Mohd Nor
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor, D.E.
Malaysia
- Othman Inayatullah*
Pusat Pengajian Kejuruteraan Pembuatan
Universiti Malaysia Perlis
Kampus Alam Pauh
02600 Arau, Perlis
Malaysia
- Fauziah Mat
Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik
Universiti Malaysia Perlis
Kampus Alam Pauh
02600 Pauh, Perlis
Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: othatiah@gmail.com

Diserahkan: 5 Januari 2010

Diterima: 20 September 2010