

Pengembangan Minyak Lumas Bio-Based: Efek Sinergistik Senyawa Molybdenum Pada Peningkatan Sifat Tekanan Ekstrem

Dicky Dermawan,

Dyah Setyo Pertiwi, Novitka Hesti Normalita, Tamara Virginia

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional

Jl. PHH Mustafa No. 23 Bandung 40124

dickydermawan@gmail.com

Abstrak

Pelumas ramah lingkungan yang berbasis minyak nabati dikembangkan sebagai alternatif bahan dasar pelumas konvensional berbasis minyak bumi. Paper ini berisi hasil kajian eksperimental formulasi minyak lumas *bio-based* dengan suatu senyawa molybdenum – nitrogen serta kombinasinya dengan dibutilfosfit dan 2,5-dimercapto-1,3,4-thiadiazol untuk meningkatkan sifat tekanan ekstremnya. Bahan dasar yang digunakan memenuhi spesifikasi pelumas transmisi SAE 90. Uji kinerja dilakukan dengan mesin *fourball extreme pressure tester* menurut ASTM D-2783. Korosivitas dan ketahanan oksidasi diuji melalui bulk test pada suhu 150oC selama 24 jam. Hasil percobaan menunjukkan bahwa sekalipun senyawa molybdenum yang dibuat tidak memberikan perbaikan sifat tekanan ekstrem bila digunakan secara individual, kombinasi senyawa ini dengan dibutilfosfit maupun 2,5-dimercapto-1,3,4-thiadiazol serta kombinasi keduanya memberikan perbaikan sifat tekanan ekstrem secara sangat signifikan. Kombinasi dengan 2,5-dimercapto-1,3,4-thiadiazol mengindikasikan terjadinya pembentukan molybdenum disulfida yang teradsorpsi kuat pada permukaan besi dan tembaga sehingga memberikan perlindungan ekstra pada sifat perlindungan terhadap korosi. Peningkatan ketahanan terhadap oksidasi juga diperoleh pada studi ini.

Kata kunci: Molybdenum, Pelumas bio-based, Sifat Tekanan Ekstrem.

1 Pendahuluan

Pelumas adalah bahan yang dipakai untuk memisahkan suatu permukaan yang melakukan gerak relatif terhadap permukaan lainnya. Kinerja pelumas dapat dinilai dari keberhasilannya untuk mencegah kontak langsung antara kedua permukaan gesek agar kehilangan energi akibat gesekan dapat dikurangi. Departemen Energi Amerika Serikat mencatat bahwa 62,4% energi hilang karena gesekan di dalam mesin, terutama pada *piston, ring, crankshaft, bearing* dan *lifter*. Jadi, perbaikan kinerja pelumas dapat berarti penghematan konsumsi bahan bakar. Gesekan juga berarti berkurangnya tenaga yang dihasilkan mesin. Energi gesek akan dikonversi menjadi panas yang akan mengurangi efisiensi mesin sekaligus meningkatkan suhu pelumas. Hal ini akan mempercepat degradasi pelumas sehingga menurunkan masa pakainya. Panas dan gesekan mengakibatkan ausnya permukaan gesek. Partikel yang dihasilkan akan menginduksi aus lebih lanjut. Saat ini filter mesin berukuran 30 μ dan filter sistem hidrolik berukuran 10 μ . Menurut Rabinowicz,

partikel berukuran di bawah 5 μ merupakan penyebab utama kerusakan komponen.

Proses pencegahan ausnya permukaan mesin mengandalkan penggunaan aditif antiaus (*antiwear agent, AW*) dalam pelumas. Bahan ini umumnya bekerja melalui pembentukan lapisan pelindung pada permukaan gesek melalui mekanisme adsorpsi dan reaksi permukaan. Pada aplikasi dengan beban yang sangat berat, terutama pada minyak gir, grease, cairan hidrolik, dan fluida pengerjaan logam, diperlukan aditif tekanan ekstrem (*extreme pressure, EP*). Berdasarkan unsur penyusunnya, sedikitnya aditif EP dikelompokkan dalam empat tipe: bahan yang mengandung klorin, fosfor, atau sulfur; ketiganya teraktifkan melalui reaksi dengan permukaan logam pada rentang suhu tertentu, dan bahan *overbased* sulfonat yang bekerja tanpa dipengaruhi temperatur (Canter, 2007)

Aspek kinerja bukanlah satu-satunya issue dalam formulasi pelumas. Meningkatnya kepedulian terhadap masalah lingkungan dan energi saat ini menuntut penggunaan bahan-bahan substitusi dan penggunaan proses yang lebih hemat lingkungan. Pelumas *bio-*

berasal dari minyak nabati merupakan bahan alternatif bagi bahan dasar pelumas konvensional yang diturunkan dari minyak bumi. Hingga kini seng dialkilditiofosfat (ZnDTP) masih merupakan AW/EP terpenting yang hampir selalu digunakan dalam formulasi paket kinerja karena efektivitasnya yang tinggi dan sifatnya yang multifungsi. ZDTP juga berfungsi sebagai antioksidan dan *metal passivator*. Akan tetapi ZnDTP dapat meracuni konverter katalitik. Zinc juga dikaitkan dengan kanker, mutagenisitas, iritasi mata, dan penyakit lain. Hasil penelitian Minami & Mitsumune (2002) menunjukkan bahwa kinerja ZnDTP diinhibisi oleh produk degradasi minyak nabati, sehingga untuk pelumas *bio-based* diperlukan aditif alternatif yang kinerjanya baik sekaligus lebih ramah lingkungan.

Molybdenum glikol dikenal khasiatnya sebagai AW dan dalam kasus tertentu juga berfungsi sebagai inhibitor oksidasi dan/atau korosi (Price & Neblett, 1966). Kombinasi senyawa molybdenum mengandung sulfur yang dibuat dengan mereaksikan asam molybdat, basa nitrogen, dan karbondisulfida dengan senyawa amina aromatik menjadi subjek klaim paten sebagai bahan antioksidan untuk minyak luma (de Vries & King, 1983). Produk reaksi antara garam molybdenum heksavalen dengan campuran senyawa polisoalkilen terfosfo-sulfurisasi diklaim memberikan proteksi korosi terhadap tembaga. Kombinasinya dengan ZnDTP memberikan tambahan ketahanan oksidasi pada pelumas (Levine dkk., 1984). *Overbased* sulfonat, fenat, dan salisilat yang mengandung molybdenum memberikan ketahanan oksidasi dan mencegah korosi (Hunt & Udelhofen, 1989). Kombinasi senyawa molybdenum organik dengan difenilamina teralkilasi, thiadiazol dan dithiokarbamat merupakan komposisi antioksidan (Karol dkk., 2004). Kombinasi pelumas dengan molybdenum bebas sulfur aktif dan diarilamina sekunder memberikan perbaikan ketahanan oksidasi dan koefisien gesek (Gatto & Devlin, 1997). Kombinasi pelumas dengan beragam aditif dengan senyawa molybdenum dithiokarbamat asimetrik memberikan nilai koefisien gesekan yang rendah, baik pada pelumas baru maupun yang sudah terdegradasi (Tanaka dkk., 1997). Senyawa kompleks yang dibuat dari molybdenum, minyak lemak, dan dietanolamina memberikan koefisien gesek rendah dan menunjukkan sifat AW (Rowan dkk., 1989). Sebagai bahan EP, senyawa molybdenum, khususnya dengan substituen dithiokarbamat, tembaga organik, dan fosfat dapat memberikan *4-ball weld point* hingga 800 kg (Thorsell & Mulvihill, 1987). Molybdenum dithiokarbamat memiliki sifat friksional yang sangat baik karena pembentukan molybdenum sulfida yang dikenal sebagai pelumas padat. Aditif molybdenum juga dilaporkan berinteraksi sinergistik dengan antioksidan amina aromatik sehingga juga berperan dalam perbaikan ketahanan oksidasi (Jian-Qiang Hu dkk., 2007)

Pada paper terdahulu (Dermawan, 2011) dilaporkan kinerja aditif-aditif *ashless* dalam meningkatkan sifat AW/EP pelumas eksperimental *bio-based* yang sedang kami kembangkan. Dibutilfosfit menunjukkan kinerja

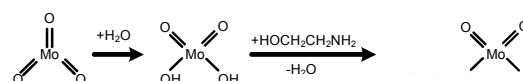
terbaik bagi peningkatan sifat AW. Sifat EP terbaik diperoleh dari kombinasi dibutilfosfit – 2,5-dimercapto-1,3,4-thiadiazol. Akan tetapi, kombinasi ini terlalu korosif. Pada paper ini dilaporkan hasil studi formulasi lanjutan dengan senyawa molybdenum – nitrogen dan kombinasinya dengan aditif-aditif *ashless* yang digunakan terdahulu.

2 Metodologi

Bahan baku gliserol, asam oleat, katalis soda kaustik, dan zeolit yang digunakan adalah bahan-bahan dengan grade teknis yang diperoleh dari pemasok bahan kimia eceran lokal: Brataco Chemica, Bandung. Antioksidan *phenyl- α -naphthylamine* 98% (CAS 90-30-2) dan *4,4'-methylene-bis(2,6-di-tert-butyl) phenol* 98% (CAS 118-82-1), bahan antifoam silicon oil DC 200 (CAS 63148-62-9) serta bahan-bahan antiwear *dibutylphosphite* 96% (CAS 1089-19-4), *benzotriazol* 99% (CAS 95-14-7) dan *2,5-dimercapto-1,3,4-thiadiazole*, 98% (CAS 1072-71-5), lebih dikenal sebagai DMTD, dan molybdenum trioksida MoO₃ ≥ 99,5% (CAS: 1313-27-5) diperoleh dari Sigma-Aldrich. *Monoethanolamine* (MEA) ekstra murni diperoleh dari E.Merck. Semua bahan digunakan tanpa perlakuan awal.

Bahan dasar pelumas *bio-based* yang digunakan merupakan ester kompleks yang proses pembuatannya yang dibuat dari gliserol dan asam oleat. Pada prinsipnya pembuatan bahan ini terdiri dari 3 tahapan reaksi: (1) dehidrasi gliserol (2) stabilisasi asam oleat, dan (3) esterifikasi dari hasil-hasil reaksi pada tahap (1) dan (2). Dehidrasi gliserol dilakukan dalam atmosfer inert nitrogen pada suhu 250° selama 2-3 hours dengan katalis 1 wt% soda kaustik. Stabilisasi asam oleat dilakukan pada suhu 230°C dengan katalis 5 wt% zeolit alam selama 3 jam. Pada tahap ini antioksidan *phenyl- α -naphthylamine* juga ditambahkan sebanyak 1,6% berat. Esterifikasi dilakukan dengan cara yang sama pada rasio massa awal gliserol terhadap masa reaktan asam oleat 1 : 5. Pada tahap ini tidak diberikan tambahan katalis. Sebanyak 0,01% berat bahan *antifoaming* silikon, 0,01% benzotriazol, dan 1% berat antioksidan ditambahkan pada tahap akhir proses esterifikasi. Bahan ini memenuhi spesifikasi pelumas gir SAE 90 (SAE J306, 2005) dan ISO VG-100 (ASTM D-2422) dengan viskositas kinematik 97,08 cSt pada 40°C dan 13,61 cSt pada 100°C (ASTM D-445) dan indeks viskositas 141 (ASTM D-2270).

Bahan aditif yang digunakan harus larut dalam bahan dasar pelumasnya. Untuk melarutkan molybdenum, molybdenum trioksida direaksikan dengan MEA membentuk senyawa molybdenum – nitrogen menurut persamaan reaksi yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Reaks

Created with

Reaksi dilakukan dengan cara menambahkan pelarut air dan MEA berlebih lalu memanaskannya hingga suhu maksimum 170°C untuk menguapkan seluruh air dan sebagian sisa MEA. Penguapan terlalu banyak MEA dapat mengakibatkan dihasilkannya aditif yang berfasa padat pada suhu ruang sehingga menyulitkan penanganan. Produk yang diperoleh diharapkan mudah teradsorpsi pada permukaan logam karena keberadaan gugus polar nitrogen dalam struktur molekulnya. Aditif yang diperoleh berupa cairan yang mengandung 82,14 mg Mo pergram.

Pada penggunaannya, aditif dilarutkan dalam bahan dasar pelumas sehingga diperoleh formulasi dengan kadar Mo 300 mg/kg. Interaksi dengan dibutilfosfit, DMTD, dan kombinasinya dipelajari pada kadar fosfor 0,12% dan kadar sulfur 0,4%, yaitu berturut-turut kadar fosfor dan kadar sulfur maksimum yang diperkenankan pada formulasi pelumas PC-10 yang dikeluarkan OEM di Amerika Serikat. (Carnes, 2005)

Pengujian *load carrying capacity*/ sifat *extreme pressure* dilakukan sesuai dengan ASTM D-2783. Bola uji merupakan bola baja alloy kromium berdiameter 0,5 in yang dibuat dari baja standar AISI No. E-52100 Grade 25 EP (Extra Polish) dengan tingkat kekerasan Rockwell C antara 64 – 66. Mesin dan sampel yang diuji mula-mula harus berada pada suhu antara 18 – 35°C. Mesin kemudian diberi beban seberat 80 kg dan diputar dengan kecepatan 1760 ± 40 rpm selama 10 detik. *Scar diameter* dari ketiga bola stasioner kemudian diukur dengan mikroskop. Apabila nilai rata-ratanya sudah melebihi 5% dari *compensation scar diameter*, maka disimpulkan bahwa *seizure* telah terjadi. Pengujian lalu dilakukan pada beban yang lebih ringan: 63 kg, 40 kg, dst. *Load carrying capacity* dilaporkan sebagai *last non-seizure load*, yaitu beban terberat yang pada pengujian belum terjadi *seizure*. Uji kemudian dilakukan dengan beban lebih berat, yaitu berturut-turut 100, 126, 160, 200, 250, 315 kg, dst hingga terjadi *welding*, yaitu ketiga bola stasioner terpatri menjadi tetrahedron bersama-sama dengan bola putarnya. *Weld point* dianggap sudah

tercapai apabila indentasi pada permukaan bola uji telah mencapai 0,5 mm.

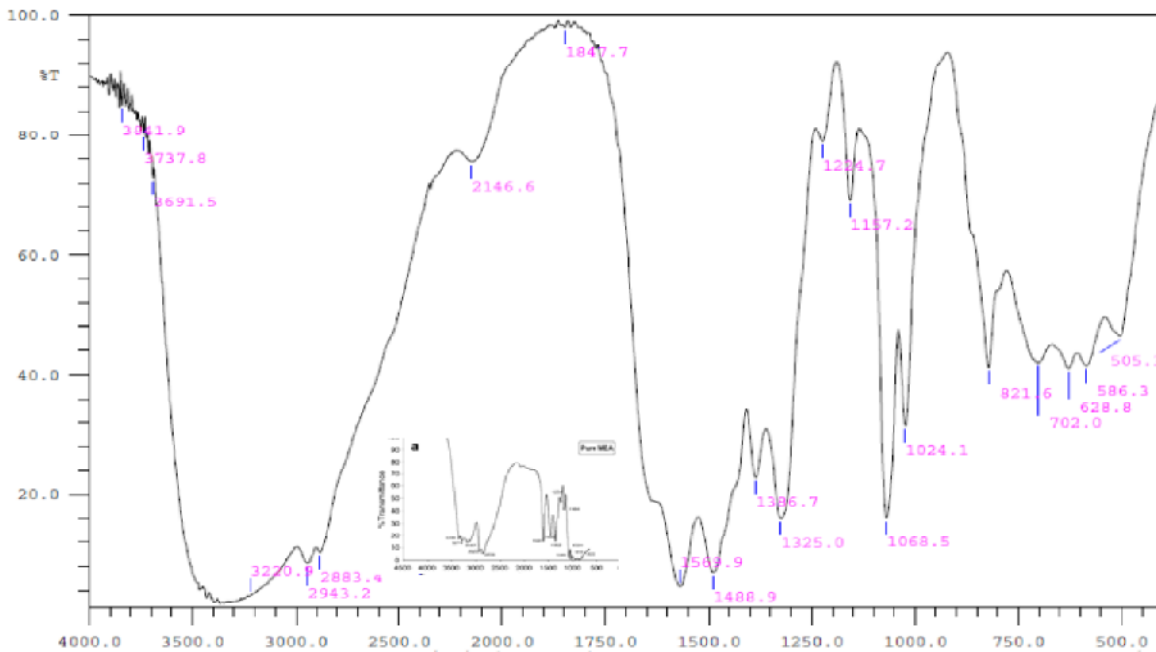
Uji korosivitas dan ketahanan oksidasi dilakukan dengan cara menempatkan 50 gram sampel dalam gelas uji pada suhu tetap 150°C. Ke dalam sampel dialirkan udara dan ditambahkan logam berupa tembaga dan besi dengan luas permukaan dan massa berturut-turut 8 in² (166 gram) dan 16 in² (245 gram) yang seluruhnya terendam dalam sampel. Pengujian dilakukan selama 24 jam. Persen kehilangan berat kedua logam setelah pengujian dijadikan kriteria penilaian korosivitas. Kenaikan viskositas kinematik digunakan sebagai ukuran ketahanan oksidasi: oksidasi pelumas cenderung menggabungkan molekul-molekul pelumas sehingga memberikan peningkatan pada viskositas pelumas. Jadi, sampel dengan kenaikan viskositas terkecil merupakan sampel dengan ketahanan oksidasi terbaik. Viskositas diukur pada suhu 40°C menurut ASTM D-445.

3 Hasil dan Pembahasan

Spektra aditif yang dibuat secara umum sangat menunjukkan banyak kemiripan dengan spektra MEA, yaitu terdiri dari puncak-puncak yang mengindikasikan kuatnya ikatan hidrogen. Karakteristik puncak dari ikatan C–N muncul pada 1068.5 cm^{-1} (1081 cm^{-1} pada MEA murni).

Pengaruh terhadap Sifat Tekanan Ekstrem

Tampak pada Tabel 1 bahwa penggunaan senyawa MoMEA secara individual memberikan penurunan *load carrying capacity* pelumas eksperimental yang diuji, bahkan memberikan *weld point* yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa senyawa MoMEA sendiri tidak berfungsi sebagai aditif EP. Akan tetapi, kombinasinya dengan aditif EP dibutilfosfit maupun dengan DMTD menunjukkan efek sinergistik sehingga memberikan perbaikan yang signifikan terhadap nilai *load – wear index*.



Gambar 2. Spektra FT-IR Aditif MoMEA. Inset: Spektra FT-IR MEA Murni

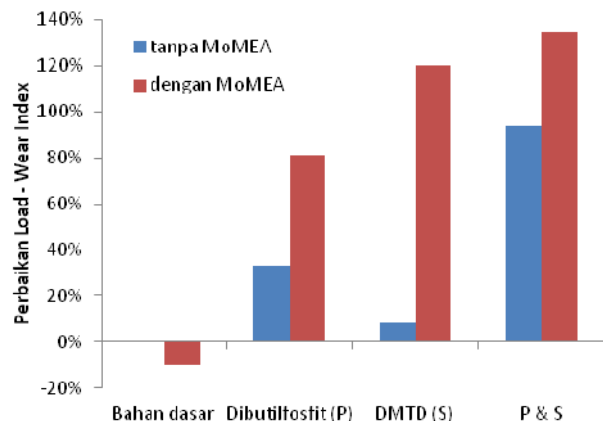
Tabel 1. Pengaruh Formulasi terhadap Sifat Tekanan Ekstrem

| Formulasi | Last Non-Seizure Load, kg | Weld Point, kg | Load – Wear Index |
|---------------|---------------------------|----------------|-------------------|
| Bahan Dasar | 40 | 200 | 22,85 |
| MoMEA | 40 | 160 | 20,57 |
| MoMEA + P | 63 | 315 | 41,39 |
| MoMEA + S | 63 | 400 | 50,32 |
| MoMEA + P + S | 63 | 400 | 53,54 |

Kombinasi dengan dibutilfosfit melibatkan reaksi pembentukan senyawa fosfat yang berperan sebagai lapisan pelindung. Pada kondisi pengujian, MoMEA dan DMTD nampaknya bereaksi membentuk molybdenum disulfida. Dibutilfosfit dan DMTD bereaksi membentuk senyawa fosforothioat seperti yang terdapat pada bahan aditif tradisional zinc dialkilditiofosfat yang merupakan aditif EP yang terkenal efektif.

Nilai perbaikan yang diberikan kombinasi dengan MoMEA ini relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan efek perbaikan yang ditunjukkan oleh dibutilfosfit maupun oleh DMTD yang digunakan secara individual maupun kombinasinya tanpa keberadaan MoMEA. Keberadaan molybdenum agaknya berperan sebagai atom pusat pengkoordinasi sehingga memberikan peningkatan kinerja EP terhadap dibutilfosfit, DMTD, maupun kombinasinya. Gambar 3 menunjukkan perbandingan relatif tingkat perbaikan yang dimaksud. Perbaikan kinerja DMTD tampak jauh lebih baik daripada perbaikan kinerja dibutilfosfit

sehingga nampak bahwa dengan keberadaan molybdenum, kinerja DMTD menjadi lebih baik daripada kinerja dibutilfosfit. Pada kombinasi dengan dibutilfosfit terbentuk molybdenum fosfat yang kinerjanya hanya sedikit lebih baik daripada besi fosfat yang terbentuk tanpa keberadaan molybdenum, sedangkan pada kombinasi dengan DMTD, terbentuk molybdenum disulfida yang terkenal luas sebagai pelumas padat berkinerja baik. Tingginya kinerja DMTD tanpa keberadaan dibutilfosfit membuka peluang ke arah formulasi pelumas tanpa fosfor yang selama ini dianggap komponen ‘wajib’ dalam formulasi pelumas.



Gambar 3. Perbaikan Kinerja Dibutilfosfit, DMTD, dan Kombinasinya akibat Keberadaan MoMEA

Pengaruh terhadap Korosivitas dan Ketahanan Oksidasi

Diketahui bahwa umu negatif berupa sifat koros

pada aplikasi yang tidak secara eksplisit mensyaratkan sifat EP. Tabel 2 menunjukkan ringkasan hasil uji korosi dan ketahanan oksidasi pelumas. Tampak bahwa aditif MoMEA berperan sebagai inhibitor korosi.

Keberadaan MoMEA menghambat laju pelarutan besi dan tembaga sehingga menghambat laju oksidasi pelumas. Hal ini ditunjukkan oleh turunnya persen kenaikan viskositas kinematik sampel. Menilik kinerjanya ini, MoMEA lebih tepat dikategorikan sebagai *rust & corrosion inhibitor*. Akan tetapi, kelemahannya, kombinasinya dengan dibutilfosfit malah menjadikan dibutilfosfit bersifat korosif, padahal

sebelumnya ditemukan bahwa dibutilfosfit memberikan perlindungan korosi, khususnya terhadap tembaga (Dermawan, 2011). Reaksi pembentukan senyawa-senyawa fosfat mengakibatkan hanya sebagian kecil ion besi dan tembaga yang terlarut dalam bahan dasar dan mengkatalisis oksidasi pelumas. Kombinasi MoMEA – DMTD nampaknya bereaksi membentuk molybdenum disulfida yang teradsorpsi kuat, baik pada besi dan pada tembaga sehingga mengakibatkan penambahan massa. Penambahan massa yang relatif besar mungkin diakibatkan oleh terlalu tingginya dosis DMTD yang digunakan. Lapisan MoS₂ yang terbentuk juga berperan

Tabel 2 Pengaruh Formulasi terhadap Korosivitas dan Ketahanan Oksidasi

| Formulasi | Perubahan Massa Besi, mg/kg | Perubahan Massa Tembaga, mg/kg | Persen Kenaikan Viskositas Kinematik @40°C |
|---------------|-----------------------------|--------------------------------|--|
| Bahan Dasar | -49 | -172 | 616 |
| MoMEA | -12 | -140 | 236 |
| MoMEA + P | -199 | -272 | 270 |
| MoMEA + S | 396 | 427 | 144 |
| MoMEA + P + S | 62 | -26 | 191 |

dalam menghambat pelarutan besi dan tembaga ke dalam bahan dasar. Akibatnya, hasil uji menunjukkan bahwa formulasi ini memberikan ketahanan oksidasi terbaik. Korosivitas fosforothioat yang terbentuk dari DMTD dan dibutilfosfit dihambat oleh keberadaan MoMEA tanpa penurunan aktivitasnya sebagai aditif EP.

4 Kesimpulan

Dalam upaya mengembangkan pelumas ramah lingkungan, pada penelitian ini dikembangkan aditif yang diharapkan dapat meningkatkan sifat tekanan ekstrem dari suatu pelumas *bio-based*. Aditif dibuat dengan cara mereaksikan molybdenum trioksida dengan monoetanolamin. Aditif ini diformulasikan dengan bahan dasar pelumas *bio-based* berupa senyawa ester berbahan baku gliserol dan asam oleat yang memenuhi spesifikasi pelumas transmisi SAE 90 yang mengandung *antifoaming agent* dan campuran aditif antioksidan *phenyl-α-naphthylamine* dan *4,4'-methylene-bis(2,6-ditert-butyl) phenol*, serta benzotriazol.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa sekalipun senyawa molybdenum yang dibuat tidak memberikan perbaikan sifat tekanan ekstrem bila digunakan secara individual, kombinasi senyawa ini dengan dibutilfosfit dan/atau DMTD memberikan perbaikan sifat tekanan ekstrem secara sangat signifikan. Kombinasi dengan DMTD mengindikasikan terjadinya pembentukan molybdenum disulfida yang teradsorpsi kuat pada permukaan besi dan tembaga sehingga memberikan perlindungan ekstra pada sifat perlindungan terhadap korosi. Tingginya kinerja kombinasi aditif molybdenum yang dibuat dengan DMTD membuka peluang bagi

formulasi pelumas bebas fosfor. Peningkatan ketahanan terhadap oksidasi juga diperoleh pada kombinasi ini.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dapat dilaksanakan berkat dana dari Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional melalui Proyek Penelitian Hibah Bersaing tahun 2011.

Daftar Pustaka

Carnes, K. 2005, “Additive Trends: Zapping SAPS, Cutting Costs & Tackling Toxins”, *Tribology & Lubrication Technology* Vol. 61 No. 9 hal. 32-40

Canter. N.J. 2007. “Trends in Extreme Pressure Additives”, *Tribology & Lubrication Technology*, Vol. 63 No. 9 hal. 10-17

Dermawan D., Pertiwi, DS., Siddik, A., Fahlevi, SR. 2011. “Pengembangan Minyak Lumas Biobased: Formulasi dengan Ashless Antiwear Agent”, *Proc. Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses*, Paper No. F-4, ISSN: 1411-4216

Devries L. & King, J.M. 1983. *Antioxidant Combinations of Sulfur Containing Molybdenum Complexes and Aromatic Amine Compounds for Lubricating Oils*, U.S. Patent No. 4,394,279

Gatto V.J. & Devlin M.T. 1997. *Lubricant Containing Molybdenum Compound and Secondary Diarilamine*, U.S. Patent No. 5,650,381

Hunt M.W. & Udelhofen J.H. 1989. *Process for the Preparation of Overbased Molybdenum Alkaline Earth Metal and Al* Patent No. 4,832,857

- Jian-Qiang Hu, Xian-Yong Wei, Ge-Lin Dai, Chang-Cheng Liu. 2007. "Study Demonstrating Enhanced Oxidation Stability when Arylamine Antioxidants are Combined with Molybdenum Complexes", *Tribology Transactions* Vol. 50 hal. 205-211
- Karol T.J., Donnelly S.G. & Hiza R.J. 2004. *Antioxidant Additive Compositions and Lubricating Compositions Containing The Same*, U.S. Patent No. 6,806,241 B1
- Levine S.A., Schlicht R.C., Chafetz H., Whiteman J.R. 1984. *Molybdenum Derivatives and Lubricants Containing the Same*, U.S. Patent No. 4,428,848
- Minami I. & Mitsumune S. 2002. *Tribology Letters*, Vol, 13 No.2 hal. 95 – 101
- Price J.A. & Neblett R.F. 1966. *Preparation of Glycol Molybdate Complexes*, U.S. Patent No. 3,285,942
- Rowan E.V., Karol T.J., & Farmer H.H. 1989. *Organic Molybdenum Complexes*, U.S. Patent No. 4,889,647
- Tanaka N., Fukushima A., Tatsumi Y. & Saito Y. 1997. *Lubricating Oil Composition*, U.S. Patent No. 5,627,146
- Thorsell P.W., Mulvihill M.A. 1987. *Extreme Pressure Additives for Lubricants*, U.S. Patent No. 4,648,985.

 itenas library