

KINERJA ADITIF IMPROVER DALAM PRODUKSI ROLLING OIL MENGUNAKAN BAHAN BAKU MINYAK SAWIT

The Performance of Improver Additive in Rolling Oil Production Using Crude Palm Oil as Raw Material

M. Ainuri¹, T. T. Irawadi², A. Suryani², E. Gumbira-Sa'id², Z. A. Mas'ud², E. Hardono³

ABSTRAK

Rolling oil (RO) adalah salah satu pelumas proses yang digunakan di industri logam, khususnya pada proses cold rolling mill (CRM), berfungsi sebagai roll collants, roll oil dan pickler oil. Bahan utama RO adalah pelumas dasar dan aditif. Pelumas dasar RO pada umumnya berasal dari minyak bumi atau minyak sintetis yang memiliki permasalahan baik dalam kinerja proses maupun lingkungan. Minyak kelapa sawit (CPO) merupakan komoditas potensial, tetapi pemanfaatannya masih terbatas. CPO lebih baik dibanding minyak mineral dan sintetis khususnya terhadap konservasi lingkungan dan kinerja proses. Oleh karena itu, CPO berpeluang menggantikan minyak mineral sebagai pelumas dasar RO. Pemilihan pelumas dasar dan aditif pada produksi RO didasarkan atas analisis karakteristik dan kinerja yang menggunakan dua pendekatan; statistik untuk mengetahui efektifitas perlakuan, dan metode zero one untuk penentuan pilihan terbaik dari banyak alternatif dan kriteria. Secara umum, karakteristik CPO tidak jauh berbeda dengan karakteristik RO komersial. Perbedaan pada bilangan asam, peroksida, dan iod, serta kadar air dan kadar Fe dapat diperkecil melalui proses purifikasi dan pencampuran fraksi olein. Kinerja aditif improver, emulsifier (EM), viscosity index improver (VII) dan extreme pressure (EP) diperoleh tiga macam aditif terbaik, yaitu emulfluid A (Ed) sebagai aditif emulsifier, AP. 5315 (Va) aditif viscosity index improver dan AP.2337 (Pb) aditif extreme pressure. Fenomena interaksi CPO dengan aditif menunjukkan semakin murni CPO semakin kuat dan interaksi antara aditif dengan aditif menunjukkan bahwa aditif VII berpengaruh positif terhadap kinerja emulsi dan aditif EP negatif terhadap kinerja emulsi dan viskositas. Sedang konsentrasi aditif improver terbaik adalah Ed 2.0 % (w/w) dengan nilai alternatif 35 %, Va 2.0 % (w/w) dengan nilai alternatif 42,9 % dan Pb 2.0% dengan nilai alternatif 46.25 %.

Kata kunci: Minyak sawit, aditif improver, rolling oil, pelumas dasar

ABSTRACT

Rolling oil (RO) is a process lubricant that used in metal working industries, especially in cold rolling mill (CRM) process as roll coolants, roll oil and pickler oil. Rolling oil is the mixture of basic lubricant and additives. Basic lubricant of RO usually from mineral or synthetic oil which have problems on process performance as well as in environment. Crude palm oil (CPO) is a potential commodity, but its' utilities are still very limited. CPO is better than mineral or synthetic oil, especially on environmental conservation and process performance. Therefore, CPO is very potential to replace mineral oil as a base lubricant of RO. To determine the best base lubricant and additives based on characteristic analysis and performance uses two approaches, the statistical approach used to know whether the treatment is effective or not and zero one method used to get the best decision from more alternatives and criteria. In general, CPO characteristics generally is similar with commercial RO characteristics. Yet, deviation of the acid value, peroxide value, iodine value, moisture and Fe content can be minimized by purification and mixture of olein fraction. Performance of improver additive, emulsifier (EM), viscosity index improver (VII) and extreme pressure (EP) produces three kinds of the best additive namely emulfluid A (Ed) as a emulsifier additive, AP. 5315 (Va) as a viscosity index improver and AP.2337 (Pb) as a extreme pressure. Interaction phenomena distinguish the more purify of CPO purification process the more interactive for additive, and interaction between additives distinguishes that additives of VII affect to emulsion performance and EP additives have negative effects on emulsion and viscosity performance. Selection of the best concentration of the best improver additives results; Ed 2.0 % (w/w) with alternative value of 35 %, Va 2.0 % (w/w) with alternative value 42,9 % and Pb 2.0% with alternative value 46.25 %.

Keywords: Palm oil, improver additive, rolling oil, base lubricant

¹ Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada, Jl. Sosio Yustisia, Yogyakarta 55281

² Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor, Jl. Darmaga, Bogor

³ Lembaga Penelitian Minyak dan Gas (Lemigas), Jakarta

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan produsen minyak sawit (*crude palm oil/CPO*). Produksi tahun 1999 mencapai 6.250.000 ton dan estimasi produksi tahun 2000 mencapai 6.900.000 ton (MPOB, 2001a), namun pendayagunaannya masih terbatas (Deperindag, 1999). Daya serap terbesar untuk minyak goreng, sedangkan tingkat konsumsi rata-rata penduduk baru mencapai 8,26 kg/kapita/tahun (Susenas, 1996), dan ketersediaan minyak nabati mencapai 13,00 kg/kapita/tahun (BPS, 1997). Sebagian besar CPO di ekspor dalam bentuk bahan setengah jadi, terbukti peningkatan nilai ekspor CPO Indonesia dalam tahun terakhir 2000/2001 melampaui Malaysia, yakni 235 % dibanding 63 % (MPOB, 2001b), Sementara pasar CPO internasional fluktuatif, pada tahun 1999 harga riilnya turun sampai US\$ 320 per ton. Hal ini mengakibatkan nilai tambah (*added value*) yang diperoleh agroindustri hilir minyak sawit belum maksimal. Oleh karena itu, pengembangan agroindustri hilir CPO sangat diperlukan untuk meningkatkan nilai tambahnya.

Rolling oil (RO) merupakan salah satu pelumas proses yang digunakan pada industri pengerjaan logam (*metal working*), yaitu untuk proses penipisan logam (*metal rolling*), pembentukan logam (*metal forming*), dan penanganan logam (*metal handling*). Dari ketiga proses tersebut, *rolling* paling banyak menggunakan pelumas, khususnya pada proses *cold rolling mill* (CRM) yang berfungsi sebagai *roll coolants*, *roll oil* dan *pickler oil*. *Rolling oil* mempunyai konsumen nyata dan terukur (*measured*), namun masih tergantung pada lisensi dan impor.

Komponen utama penyusun RO adalah pelumas dasar (*base lubricants/BL*) dan bahan-bahan kimia tambahan (*additive*). Pelumas dasar yang umum digunakan berasal dari minyak bumi (*mineral oil*) atau sintetik (*synthetic oil*), seperti *poly alfa olefin*, *poly glicanol*, dan fosfat ester (Wartawan, 1985; Bannister, 1995). Bahan tersebut memiliki beberapa kelemahan, yaitu merupakan bahan tidak terbarukan (*non-renewable*) dan sumber pencemaran lingkungan, sifatnya yang sukar mengalir ke bagian plat bersuhu lebih tinggi, cenderung membentuk bola-bola kecil (*sphere*) di permukaan plat, dan kemampuannya terbatas dalam membasahi permukaan logam pada suhu tertentu dan menurun pada suhu lebih tinggi (Robertson, 1982).

Pelumas dasar RO dalam perkembangannya mulai menggunakan minyak nabati (*vegetable oil*), khususnya minyak sawit (Cook, 1982). Potensi CPO sebagai pelumas dasar RO ditentukan oleh kesesuaian karakteristik CPO terhadap RO. CPO merupakan bahan multi komponen dan masing-masing komponen memiliki karakteristik berlainan. Karakteristik CPO merupakan resultan dari karakteristik komponen penyusunnya, baik terkait dengan sifat fisiko-kimia maupun asam lemak penyusunnya. Minyak sawit

sebagai minyak nabati berupa trigliserida campuran (Ho dan Chow, 2000; Che-Man dkk., 1999) yang merupakan faktor dominan penentu karakteristik CPO. Kelebihan lain CPO adalah merupakan bahan terbarukan (*renewable*) dan ramah lingkungan.

Aditif merupakan bahan kimia yang perlu ditambahkan pada BL untuk meningkatkan sifat yang sudah ada atau membangkitkan sifat baru sehingga produk RO lebih bermutu. Namun tidak semua aditif dapat bersinergi, baik terhadap BL maupun antara aditif satu dengan lainnya. Oleh karena itu, pemilihan aditif yang sesuai dan sinergis sangat diperlukan. Pada dasarnya terdapat beberapa jenis aditif yang diperlukan untuk mendapatkan produk RO bermutu, diantaranya *viscosity index improver* (VII), *pour depressant*, *extreme pressure agent* (EP), *tackiness agent*, anti wear, anti seizure, *emulsifier* (EM), antimikroorganisme, antioksidan, dan antibusa (Nachtman dan Kalpakjian, 1985). Atas dasar fungsinya, aditif dapat dikategorikan ke dalam tiga kelompok, yakni (1) melindungi kerusakan produk pelumas (*lubricant protective additive*), (2) meningkatkan kinerja pelumas (*performance enhancing additives*) dan (3) melindungi benda kerja (*surface protective additive*). Penelitian ini difokuskan pada fenomena interaksi BL dengan aditif peningkat kinerja (*additive improver/AI*) khususnya EM, VII, dan EP, untuk mendapatkan formula terbaik.

Aditif EM berfungsi sebagai pengemulsi, mempercepat dan meningkatkan kestabilan emulsi (Bird dkk., 1983; Kirk dan Othmer, 1965). McClements (1999) menjelaskan dua fungsi penting EM, yaitu menurunkan tegangan antar muka (TAM) antara fase minyak dan air melalui penurunan sejumlah energi yang diperlukan untuk merubah bentuk dan merusak *droplet* minyak dalam air, dan pembentukan protektif *coating* mengelilingi *droplet* yang mencegahnya dari proses *coalescent*. Ada dua teori untuk menjelaskan penurunan TAM oleh EM, yakni teori kontinum dan molekuler. EM dibutuhkan dalam formulasi RO karena dalam aplikasinya, RO digunakan dalam bentuk emulsi minyak dalam air (O/W) (Nachtman dan Kalpakjian, 1985) dan secara alami sifat portikel atau molekul dalam emulsi cenderung bergabung dengan portikel lain yang sejenis. Di lain pihak aditif VII adalah bahan kimia yang berfungsi untuk menjaga keseimbangan viskositas terhadap perubahan suhu (Muller, 1978). Aditif VII dibutuhkan dalam formulasi RO dengan BL berbasis CPO, karena viskositas CPO sensitif terhadap perubahan suhu. Hal ini dapat mempengaruhi kinerja RO termasuk di dalamnya kinerja emulsi.

Aditif EP berfungsi untuk meningkatkan kemampuan dalam menahan tekanan tinggi (*extreme pressure*) dan menghindari goresan, melalui pembentukan lapisan pelindung (*film protective*) dan reaksi permukaan (*surface reaction*) pada benda kerja (Zuidema, 1952; Nachtman dan Kalpakjian,

1985; Byers, 1994). Aditif tekanan ekstrim dibutuhkan karena RO sebagai pelumas proses dalam penipisan plat baja bekerja melawan tekanan sangat tinggi antara benda kerja dengan *roll bite*.

Kajian difokuskan pada karakteristik CPO sebagai pelumas dasar RO, kinerja jenis dan komposisi aditif *improver* (EM, VII dan EP) terbaik untuk pembuatan RO.

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah CPO, RO acuan (RO-K) dan aditif-aditif *improver* yang terdiri atas aditif emulsifier (EM); Topsityn 50 (Ea), campuran Ea (32%) dengan Ed (68 %) (Eb), POE Alkohol (Ec), dan Emulfluit A (Ed), aditif *viscosity index improver* (VII); AP. 5315 (Va), AP. 5008 (Vb) dan AP. 6335 (Vc), dan aditif *extreme pressure* (EP); AP. 2405 (Pa) dan AP dan 2337 (Pb). Sampel CPO diperoleh dari Malinping Jawa Barat, RBDPO diperoleh dari salah satu industri minyak di kawasan industri Pulogadung Jakarta dengan standar pabrik dan RO-K diperoleh dari salah satu industri logam dan merupakan bahan yang digunakan di perusahaan tersebut. Aditif EM diperoleh dari Merch, sedang aditif VII dan VE dari Pertamina.

Jenis dan Pengukuran Parameter

Parameter yang diukur adalah (1) Karakteristik bahan, sifat fisiko-kimia (bilangan asam, bilangan iod, bilangan peroksida, bilangan penyabunan (AOAC, 1995), bobot jenis (AOAC, 1995), titik tuang (°C) (AOAC, 1995), viskositas (cP) (Haake version 2.4), indeks warna (chroma meter atau spektrometer % T. λ : 590 nm), *pour point* (ASTM D 97) dan *flash point* (ASTM D 92), kadar logam atau elemen lainnya (Zn (%), Fe (%), Cr (%), Mn (%), dan Cu (%)) (AAS), komposisi asam lemak (%) (asam laurat, asam miristat, asam palmitat, asam stearat, asam oleat, dan asam linoleat) (GC), dan (2) parameter kinerja meliputi, kemampuan dan stabilitas emulsi (indeks stabilitas emulsi/ESI, uji pemisahan (%)(ROC, ROCC, dan RCC), dan persen deplesi (ASTM D 1471), ukuran dan konfigurasi globula (MK)), Tegangan permukaan dan tegangan antar muka (dyne/cm), reduksi dan indeks viskositas (ASTM D 2270), dan tekanan ekstrim (*Four ball test/ seizure load, welding point* dan *load wear index*) (ASTM 2783).

Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dimulai dari identifikasi dan seleksi bahan yang digunakan baik melalui kaji literatur maupun karaterisasi komponen insterinsik bahan. Bahan-bahan tersebut meliputi bahan hasil purifikasi CPO sebagai

pelumas dasar, aditif emulsifier (EM), aditif *viscosity index improver*(VII), aditif *extreme pressure* (EP) dan *rolling oil* (RO).

Pengujian kinerja terhadap interaksi antara aditif-aditif dengan pelumas dasar dan aditif dengan aditif dalam pelumas dasar dilakukan dalam dua bentuk, yaitu dalam bentuk campuran aditif dengan pelumas dasar khusus untuk pengujian indeks viskositas, dan dalam bentuk emulsi minyak dalam air untuk pengujian kinerja emulsi dan tekanan ekstrim.

Pencampuran minyak dengan aditif-aditif dilakukan pada suhu 50-55 °C menggunakan gelas beker dan *hot plate stirrer* selama 15 menit terhitung sejak suhu bahan mencapai 50 °C. Pada penetapan aditif, komposisi pelumas dasar dengan aditif diperhitungkan dalam persen bobot (b/b). Komposisi masing-masing aditif yang ditambahkan dalam pelumas dasar berbeda-beda disesuaikan dengan petunjuk penggunaan pada buku manualnya. Komposisi aditif EM masing-masing 1,0 %(b/b), aditif VII 4,0 % (b/b) dan aditif EP 2,0 % (b/b). Adapun pada penetapan konsentrasi, masing-masing aditif terpilih diperlakukan konsentrasi yang berbeda-beda, aditif EM 1,0 %, 2,0 % dan 3,0 % (b/b), aditif VII 0,0 %, 2,0 % dan 4,0 % (b/b), dan aditif tekanan ekstrim 0,0 %, 2,0 % dan 4,0 % (b/b).

Bentukan emulsi minyak dalam air, dilakukan menggunakan *homogenizer* kapasitas 1000 ml pada suhu 50-55 °C selama 5 menit sejak alat dihidupkan dan alat bekerja pada putaran kurang-lebih 1500 rpm. Komposisi pelumas dasar yang telah dicampur dengan aditif dalam air adalah 15 % (b/b) pada bentukan emulsi 500 g tiap sample.

Uji kinerja aditif-aditif *improver*, dilakukan dalam tiga jenjang yang saling berkesinambungan, yaitu aditif EM terpilih digunakan sebagai salah satu faktor dalam pemilihan aditif VII dan seterusnya aditif EM dan aditif VII terpilih digunakan sebagai salah satu faktor pemilihan aditif EP. Parameter yang digunakan sebagai kriteria pada setiap tahapan tidak sama. Pada pemilihan aditif EM hanya parameter kinerja emulsi sebagai kriteria, sedang pada pemilihan aditif VII parameter kinerja emulsi dan viskositas sebagai kriteria, dan pada pemilihan aditif EP ketiga parameter kinerja emulsi, viskositas dan tekanan ekstrim yang digunakan.

Uji kinerja aditif emulsifier (EM) menggunakan emulsifier Ea, Eb, Ec dan Ed yang dipilih berdasarkan kedekatan nilai *hydrophilic-lipofilic-balance* (HLB) terhadap HLB CPO (7) (Becher, 1983), sedang HLB Ea (5-6), Eb (\approx 7), Ec (7-8) dan (9-10). Percobaan dilakukan dengan menginteraksikan dua jenis pelumas dasar/BL (Ba dan Bb) dengan empat emulsifier (Ea, Eb, Ec dan Ed) menggunakan rancangan percobaan RAL faktorial 2x4x2 (2 jenis pelumas dasar, 4 jenis EM dan 2 ulangan). Parameter yang diamati adalah kinerja emulsi.

Uji aditif VII dengan mempertimbangkan aditif EM menggunakan tiga jenis aditif yang tergolong dalam aditif

viscosity modifier (VM), dua diantaranya sebagai VII (AP. 5315 (Va) dan AP. 5008 (Vb) dan satu lagi dikenal dengan aditif *puor point* AP. 6335 (Vc). Seleksi Aditif VII didasarkan pada nilai viskositas-suhu CPO cukup rendah dan suhu bekunya yang relatif tinggi. Uji efektifitas aditif Va, Vb dan Vc pada dua jenis BL yang telah ditambah Ed (BEa dan BEb). Parameter kerjanya mencakup kinerja emulsi, reduksi dan indeks viskositas. Rancangan percobaan yang digunakan adalah RAL faktorial 2x3x2 (2 jenis pelumas dasar, 3 jenis VII dan 2 ulangan).

Uji aditif EP dengan mempertimbangkan EM dan VII menggunakan parameter kinerja emulsi, reduksi dan indeks viskositas, dan tekanan ekstrim (*Four ball test/ seizure load, welding point* dan *load wear index*). Aditif EP yang digunakan adalah AP. 2405 (Pa) dan AP. 2337 (Pb). Kedua jenis aditif ini mempunyai kesamaan dalam komponen penyusun utamanya, namun terdapat perbedaan dalam komposisi. Komposisi komponen pada Pa adalah kandungan sulfurnya 18 % (b/b), nitrogen 0,84 % (b/b) dan fosfor 1.25 % (b/b), sedang Pb sulfurnya 29.8-33,8 % (b/b), fosfor 1.55-1.89 % (b/b) dan nitrogen 0.85-1.03 % (b/b). Pengujian aditif EP dilakukan terhadap BEVa dan BEVb guna mengetahui efektifitas, baik terhadap BL maupun terhadap Ed dan Va. Pengujian kinerja tekanan ekstrim dilakukan dalam bentuk emulsi o/w dengan IPR 1:15. Aditif EP yang dipilih, disamping menunjukkan kinerja terbaiknya pada tekanan ekstrim, juga menunjukkan kinerja terbaiknya pada emulsi dan viskositas.

Uji konsentrasi aditif *improver* untuk menentukan konsentrasi terbaik dari masing-masing aditif terpilih, baik dari aditif EM, VII maupun EP. Uji kinerja terbaik dilakukan terhadap konsentrasi aditif EM 1,0 %, 2,0 % dan 3,0 % (b/b), aditif VII 0,0 %, 2,0 % dan 4,0 % (b/b), dan aditif tekanan ekstrim 0,0 %, 2,0 % dan 4,0 % (b/b). Pemilihan konsentrasi dilakukan menggunakan pelumas dasar RBDPO (Ba). Percobaan menggunakan rancangan faktorial 3x3x3, tiga konsentrasi aditif EM (Ed) sebagai faktor A, tiga konsentrasi aditif VII (Va) sebagai faktor B dan tiga aditif EP (Pb) sebagai faktor C. Tiga kombinasi dari masing-masing faktor adalah

BVPE-1, BVPE-2 dan BVPE-3 untuk faktor A, BPEV-1, BPEV-2 dan BPEV-3 untuk faktor B, dan BEVP-1, BEVP-2 dan BEVP-3 untuk faktor C. Parameter uji mencakup sifat fisiko-kimia, kinerja emulsi dan kinerja viskositas.

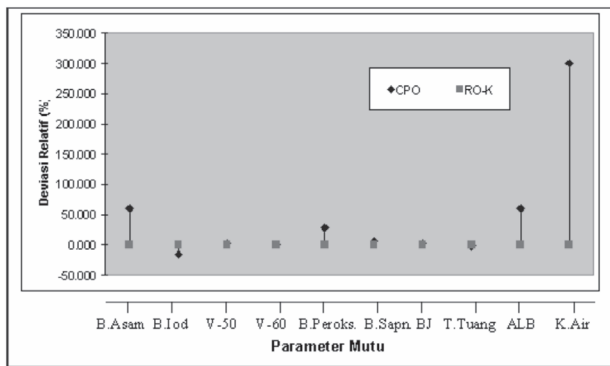
Analisis Data

Analisis data teknis menggunakan dua pendekatan, yaitu (1) pendekatan statistik menggunakan rancangan acak lengkap dan faktorial untuk mengetahui efektifitas perlakuan dan model yang digunakan disesuaikan dengan rancangan percobaan di masing-masing tahapan (Montgomery, 1997), dan (2) metode pengambilan keputusan *zero one* untuk pemilihan alternatif terbaik dari banyak alternatif dan kriteria.

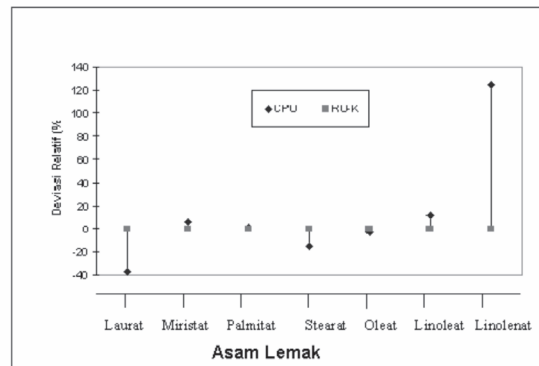
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik CPO dan RO-K

Karakterisasi CPO sebagai bahan baku pelumas dasar RO harus mendukung sifat-sifat yang dimiliki RO, diantaranya berkemampuan membasahi permukaan plat baja, tahan tekanan tinggi dan tidak meninggalkan goresan pada kecepatan *roll* tinggi (*high roll speed*), mudah dicuci dan memungkinkan didaur ulang, yang dinyatakan dalam sifat fisiko-kimia, komposisi asam lemak dan kandungan logam atau elemen lain. Perbandingan karakteristik CPO dengan RO-K disajikan pada Gambar 1 yang menggambarkan simpangan relatif parameter mutu dan komposisi asam lemak CPO dan RO-K. Parameter mutu yang menunjukkan penyimpangan antara lain bilangan asam, kandungan asam lemak bebas, bilangan peroksida dan kadungan air. Penyimpangan terhadap bilangan asam dan kandungan asam lemak bebas memberikan petunjuk atas pentingnya proses netralisasi, bilangan peroksida meskipun secara tidak langsung juga dapat diperkecil melalui rangkaian proses pemurnian. Kandungan air CPO akan teruapkan dengan sendirinya pada proses *bleaching* menggunakan suhu relatif tinggi dan tekanan vakum (Ainuri dkk., 2001).



(A)



(B)

Gambar 1. (A) Simpangan relatif parameter mutu CPO dengan RO-K; (B) Simpangan relatif komposisi asam lemak CPO dengan RO-K

Komposisi asam lemak CPO dan RO-K juga menunjukkan perbedaan yang tidak berarti, simpangan relatifnya sangat kecil dan terjadi pada asam lemak tidak dominan (asam laurat, stearat dan linolenat), terjadinya penyimpangan diprediksikan masih perlu adanya proses pemurnian terhadap CPO, penambahan fraksi lain atau adanya aditif dalam RO. Jenis dan komposisi asam lemak hasil karakterisasi CPO berada pada kisaran Codex Standart 125, 1981 (Patterson,1994). Kandungan logam dalam CPO, Fe (3.097 %) dan Zn (3.379 %) relatif lebih besar dibanding RO-K, Fe (0.489 %) dan Zn (0.885 %) dapat diperkecil dengan melakukan proses *bleaching* pada CPO dengan menggunakan bentonit ditambah dengan *chelating agent* (asam organik) sesuai dengan valensinya, Fe⁺⁺⁺ asam organik yang digunakan adalah asam sitrat sedang Zn⁺⁺ menggunakan asam oksalat.

Pelumas Dasar

Pelumas dasar yang digunakan adalah hasil pemurnian CPO yang terdiri dari RBDPO dan RBPO. Ke dua pelumas dasar ini menunjukkan kedekatan terhadap sifat fisiko-kimia RO-K dan komposisi asam lemak yang dikandungnya (Ainuri dkk., 2001). Adapun sifat fisiko-kimia RBDPO dan RBPO sebagai parameter mutu pelumas dasar disajikan pada Tabel 1, dan komposisi asam lemaknya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Sifat fisiko-kimia RBDPO dan RBPO sebagai parameter mutu pelumas dasar

Parameter	Bahan Pelumas Dasar	
	RBDPO	RBPO
Bilangan Iod (BI)	52,312	51,490
Bobot Jenis (BJ) (ton/m ³)	0,902	0,895
Transmitan (TR) (% T, λ:590 nm)	97,250	94,300
Tegangan Permukaan (TP) (dyne/cm)	33,875	31,750
Tegangan Antar Muka (TAM) (dyne/cm)	51,750	38,500
Bilangan Peroksida (BP) (mg O/100 g minyak)	1,340	1,045
Bilangan Penyabunan (BS) (mg KOH/gr)	225,000	240,500
Titik Leleh (T L) (°C)	39,000	38,500
Bilangan Asam (BA)	0,145	1,710
Asam Lemak Bebas (ALB) (%)	0,065	0,780
Kadar Air (KA) (%)	0,066	0,059
Viskositas pada suhu 50 °C V-50 (cP)	41,000	42,250
Viskositas pada suhu 60 °C V-60 (cP)	33,250	31,208

Tabel 2. Komposisi asam lemak RBDPO dan RBPO sebagai pelumas dasar RO

Parameter	Bahan Pelumas Dasar	
	RBDPO	RBPO
Asam laurat (%)	0.1276	0.3407
Asam miristat (%)	1.1445	1.4029
Asam palmitat (%)	45.798	47.9229
Asam palmitoleat (%)	0.1673	0.1835
Asam stearat (%)	4.2631	3.9127
Asam oleat (%)	37.8953	34.7304
Asam linoleat (%)	10.4257	11.310
Asam linolenat (%)	0.1785	0.1969

Dari Tabel 1 dan 2 menunjukkan bahwa perbedaan proses pemurnian (RBDPO dan RBPO) menunjukkan adanya perbedaan parameter mutu dan kandungan asam lemak, hal ini disebabkan karena perbedaan tingkat pemurnian yang dilakukan (Ho dan Chow, 2000).

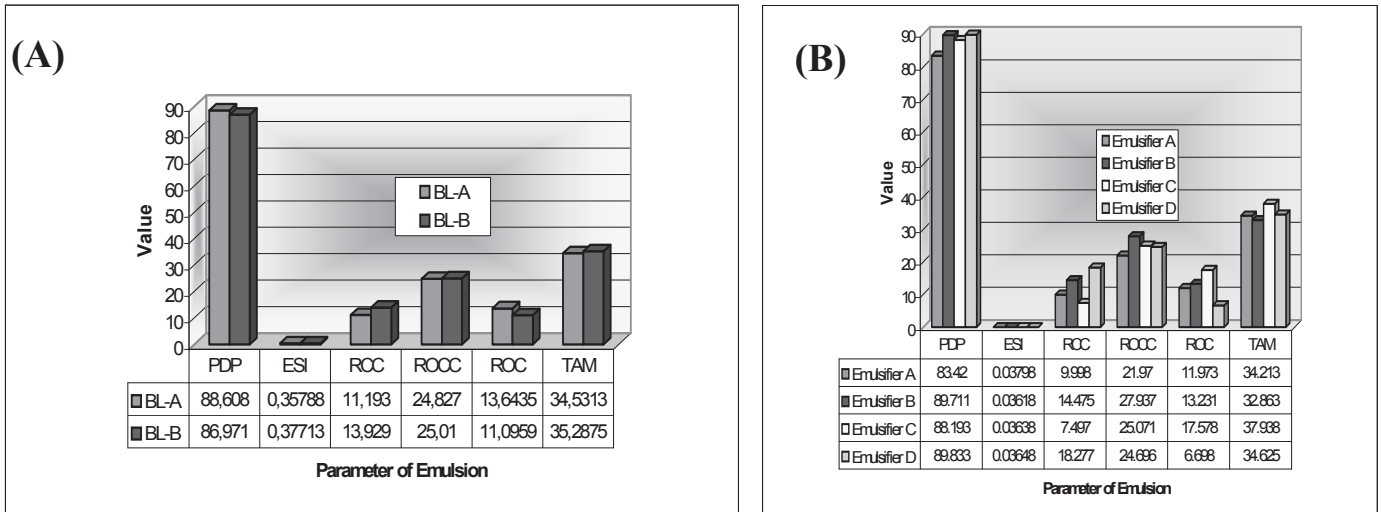
Kinerja Aditif Improver

Penilaian kinerja aditif *improver* dimulai dari pemilihan EM, kemudian VII dan terakhir EP. Aditif EM terpilih digunakan sebagai salah satu faktor dalam pemilihan aditif VII dan seterusnya aditif EM dan aditif VII terpilih digunakan sebagai salah satu faktor pemilihan aditif EP. Dengan demikian indikator kinerja yang digunakan pada setiap tahap berbeda-beda.

Aditif Emulsifier (EM)

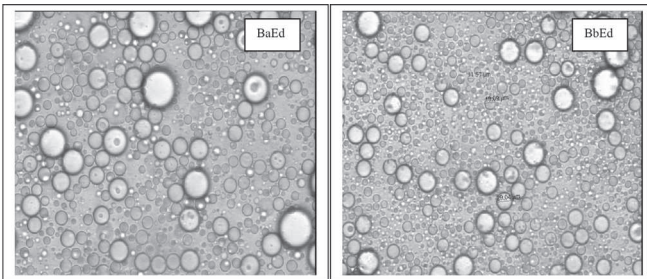
Rolling oil diaplikasikan dalam sistem emulsi minyak dalam air (*oil in water* (o/w)) pada IPR 8–22 %. Komponen penting sistem emulsi adalah pelumas dasar, air bebas ion dan emulsifier. Parameter kinerja yang digunakan adalah (1) persen deplesi (*percen depletion /PDP*), menunjukkan derajat ketidakstabilan emulsi (semakin besar nilai PDP tingkat kestabilan semakin rendah), (2) indeks kestabilan emulsi (*emulsion stability index/ESI*), menunjukkan perbandingan konsentrasi minyak bagian bawah dengan bagian atas dari emulsi yang disimpan selama 24 jam (semakin stabil suatu emulsi nilai ESI-nya semakin tinggi dan paling stabil nilai ESI 1.00), (3) uji separasi (*separation test (oil and coolant ratio/ROC, cuff and coolant ratio/RCC) dan oil-cuff dengan coolant ratio (ROCC)*), (4) TAM bentukan emulsi, dan (5) struktur dan ukuran portikel glabula minyak (*droplet size*), serta (6) parameter kualitatif, kenampakan bentukan emulsi dan kecepatan pemisahan minyak (*cremning*).

Hasil pengukuran kinerja emulsi secara rinci disajikan pada Gambar 2 dan *scanning* bentukan emulsi pada Gambar 3.



Gambar 2. Histogram perbandingan parameter emulsi, (A) Pengaruh faktor BL dan (B) Pengaruh faktor emulsi

Gambar 3 menunjukkan parameter kinerja emulsi pengaruh faktor BL (Ba dan Bb). Bb secara deskriptif lebih stabil dibanding Ba yang dicirikan dengan nilai PDP lebih rendah, nilai ESI lebih tinggi, ROC lebih rendah, ROCC dan RCC lebih tinggi, dan hanya TAM yang seharusnya lebih rendah ternyata lebih tinggi (McClements,1999). Namun hasil uji keragaman pada tingkat kepercayaan 95 % hanya parameter separasi (ROC) yang menunjukkan beda nyata.



Gambar 3. Struktur bentukan emulsi hasil scanning elektron mikroskop

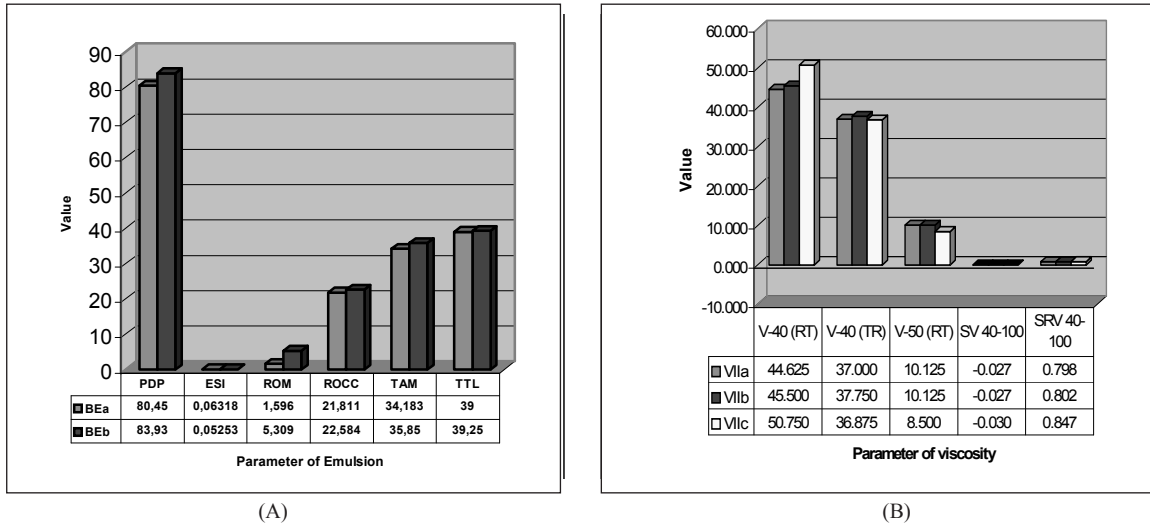
Pengaruh jenis emulsifier (Gambar 2) menunjukkan adanya perbedaan efektifitas emulsifier yang ditunjukkan oleh adanya beberapa parameter kinerja emulsi yang berbeda nyata, yaitu ROC, RCC dan TAM. Kinerja emulsifier Ea, Eb, Ec dan Ed mempunyai kelebihan dan kelemahan. Emulsifier Ea mempunyai nilai PDP paling kecil dan nilai ESI paling besar, namun nilai parameter separasi dan TAM-nya tidak menunjukkan terbaiknya. Demikian halnya kenampakan kualitatif terhadap bentukan emulsi menunjukkan kinerja yang tidak baik, yakni masih terdapatnya *droplet-droplet* minyak yang berukuran besar tidak tersuspensi dalam air pada kandungan minyak 15 %. Kenampakan hasil bentukan emulsi untuk emulsifier Eb tidak jauh berbeda dengan Ea sehingga secara kualitatif mempunyai kelemahan hampir sama. Adapun emulsifier Ec mempunyai bentukan emulsi

cukup bagus sesaat setelah proses emulsifikasi, namun dalam waktu singkat sudah terjadi pemisahan, di sisi lain minyak yang tersuspensi dalam *coolant* relatif sulit dipisahkan meskipun telah ditambahkan asam sulfat pekat. Emulsifier Ed merupakan alternatif terbaik ditinjau dari berbagai parameter. Hal ini juga terbukti pada penentuan alternatif terbaik dari berbagai kriteria menunjukkan bahwa Ed menduduki alternatif pertama dengan proporsi nilai bobot sebesar 33.33 %, kemudian Ea 32.5 %, Eb 21,67 % dan Ec 12,5 %.

Aditif Peningkatan Indeks Viskositas (VII)

Tinggi-rendah viskositas (*high-low viscosity*) dan perubahan viskositas oleh karena suhu (*viscosity-temperature*) merupakan faktor penting dalam pelumas. Viskositas sebagai ukuran dari gesekan internal atau tahanan suatu fluida untuk mengalir (Bannister, 1995), secara matematis viskositas merupakan nisbah dari tegangan geseran (*shear stress*) dengan laju geseran (*shear rate*). Sedang viskositas-suhu menunjukkan perbedaan aliran antara fluida panas dengan fluida dingin, jika perbedaannya kecil disebut indeks viskositasnya tinggi (*high viscosity index/high VI*) dan sebaliknya jika perbedaannya besar disebut memiliki indeks viskositas rendah (*low viscosity index/low VI*). Aditif VII adalah aditif untuk meningkatkan indeks viskositas. Aditif VII secara umum berupa polimer dengan berat molekul tinggi yang menurunkan kecenderungan suatu minyak untuk terjadi perubahan viskositas oleh karena suhu (Muller, 1978 dan Bennets, 1996).

Hasil pengujian efektifitas ketiga jenis aditif Va, Vb dan Vc pada dua jenis BL yang telah ditambah Ed (BEa dan BEb), menunjukkan adanya parameter kinerja emulsi dan viskositas yang berbeda (Gambar 4). Perbedaan dipertegas hasil analisis keragaman pada taraf kepercayaan 95 %, yakni ESI dan TAM untuk kinerja emulsi.



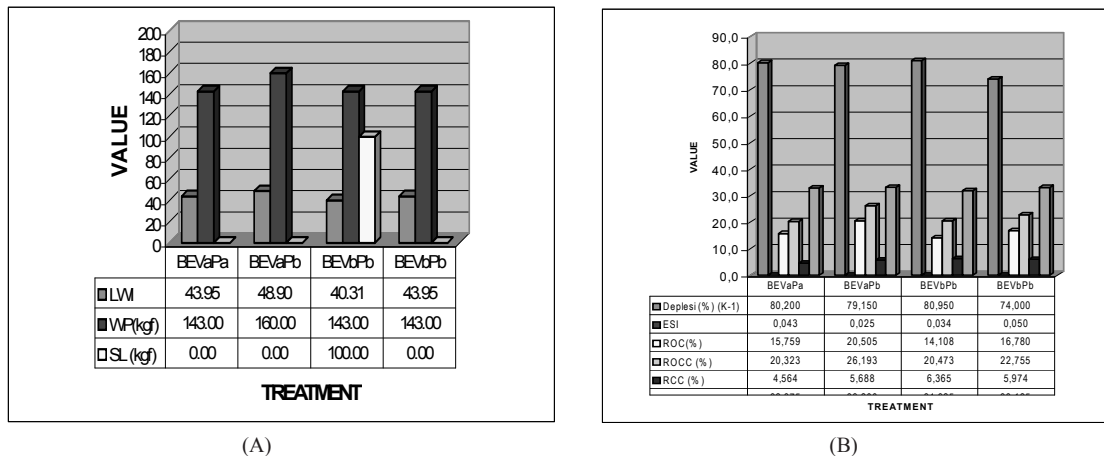
Gambar 4. (A) Histogram parameter kinerja emulsi setelah penambahan VII; (B) Histogram parameter viskositas pengaruh penambahan aditif VII

Pengaruh Va dan Vb menunjukkan kinerja relatif sama dan tidak pada Vc. Hal ini dikarenakan Va dan Vb berfungsi untuk meningkatkan indeks viskositas, adapun Vc sebagai aditif pengubah viskositas (*pour point*). Di sisi lain, parameter TL-nya menunjukkan tidak beda nyata dan justru Va memberikan TL relatif lebih rendah. Atas dasar fenomena ini mengindikasikan bahwa Vc tidak sesuai untuk pelumas yang berbasis pada minyak sawit. Adapun pengaruh perlakuan BEaVa, BEaVb, BEaVc, BEbVa, BEbVb dan BEbVc menunjukkan beda nyata untuk semua parameter kinerja emulsi. Hal ini mengindikasikan keefektifan perlakuan.

Pengaruh terhadap BEa dan BEb memberikan hampir semua parameter kinerja viskositas menunjukkan beda nyata pada tingkat kepercayaan 95 %, yaitu V-40 R-T (perubahan suhu dari rendah (R) ke tinggi (T)), V-40 T-R (perubahan suhu dari tinggi (T) ke rendah (R)), SRV- 40 R-T vs T-R, V-95

R-T, SV 40-100 dan SRV 40-100, hal ini mengindikasikan BEa memberikan respon lebih baik. Adapun pengaruh terhadap Va, Vb dan Vc menunjukkan beda nyata pada taraf kepercayaan 95 % bagi parameter V-40 R-T, V-40 T-R, V-95 R-T, SV 40-100 dan SRV 40-100, hanya parameter V-60 R-T, SRV- 40 R-T dan T-R yang menunjukkan tidak beda nyata. Pengaruh Va dan Vb terhadap parameter kinerja viskositas juga menunjukkan kecenderungan lebih mendekati dibanding dengan Vc. Adapun pengaruh perlakuan BEaVa, BEaVb, BEaVc, BEbVa, BEbVb dan BEbVc, menunjukkan beda nyata pada taraf kepercayaan 95 % pada semua parameter kinerja viskositas. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh penambahan VII terhadap parameter kinerja viskositas.

Pemilihan aditif VII ditentukan oleh perbandingan terhadap parameter kinerja emulsi dan viskositas. Aditif VII yang menunjukkan kinerja viskositas terbaik dan tetap

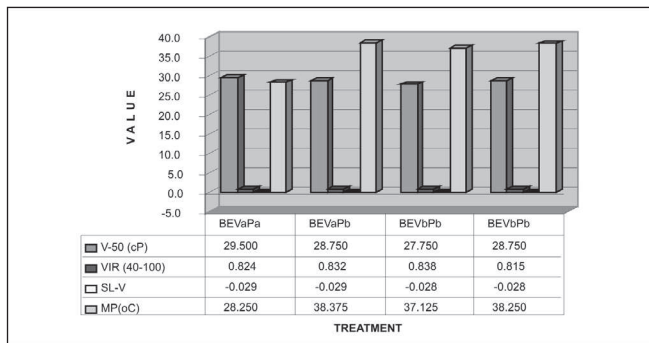


Gambar 5. (A) Histogram kinerja tekanan ekstrim masing-masing perlakuan (LWI = load wear index, WP = welding point dan SL = seizure load), (B) Histogram kinerja emulsi masing-masing perlakuan

menjaga kinerja emulsi ditetapkan sebagai aditif VII unggul. Hasil uji terhadap Va, Vb, dan Vc menempatkan Va sebagai alternatif pertama (unggul) dengan nilai bobot paling tinggi (51,57 %), sedang Vb dan Vc berturut-turut 33,33 % dan 15,00 %. Pada hasil uji perlakuan, BEaVa, BEaVb, BEaVc, BEbVa, BEbVb dan BEbVc, menempatkan BEaVa sebagai alternatif pertama dengan nilai bobot sebesar 27,499 %, BEaVb 20,67 %, BEbVb 19,67 %, BEbVa 17,166 %, BEaVc 11,169 dan BEbVc 3,831 %.

Aditif Tekanan Ekstrim (EP)

Pengujian aditif EP dilakukan terhadap BEVa dan BEVb guna mengetahui efektifitas, baik terhadap BL maupun terhadap Ed dan Va. Aditif EP yang dipilih, disamping menunjukkan kinerja terbaiknya pada tekanan ekstrim, juga menunjukkan kinerja terbaiknya pada kinerja emulsi dan viskositas. Hasil pengujian kinerja disajikan pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 6. Histogram kinerja viskositas dan titik leleh masing-masing perlakuan

Pengaruh penambahan Pa dan Pb untuk parameter kinerja emulsi ROCC, ROC dan TAM, menunjukkan beda nyata pada taraf kepercayaan 95 %. Sedang PDP, ESI dan RCC tidak beda nyata. Hal ini dapat dipahami, karena ditinjau dari sifat fisisnya antara Pa dan Pb berbeda viskositas dan tegangan permukaannya. Pengaruh interaksi BEVaPa, BEVaPb, BEVbPb, dan BEVbPb, menunjukkan beda nyata hampir semua parameter kinerja emulsi, hanya PDP yang tidak beda nyata. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh interaksi antara faktor BL dengan faktor EP terhadap parameter kinerja emulsi.

Hasil analisis keragaman parameter kinerja viskositas, tekanan ekstrim dan titik leleh pengaruh faktor BL, faktor EP dan interaksi faktor BL dan EP, menunjukkan tidak beda nyata pada tingkat kepercayaan 95 % kecuali titik leleh yang beda nyata. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan Pa dan Pb memberikan respon tidak nyata pada viskositas dan tekanan ekstrim. Demikian halnya terjadi pada BEVa dan BEVb. Khusus parameter tekanan ekstrim, meskipun tidak menunjukkan beda nyata namun secara deskriptif me-

nunjukkan perbedaan antara penambahan Pa dan Pb, yaitu berturut-turut *welding point* 143.00 kgf dan 51.50 kgf, dan *load wear index* 42.13 dan 46.43 serta *seazure load* pada aditif Pb tidak terjadi dan aditif Pa (100.00 kg). Atas dasar perbedaan kinerja tekanan ekstrim ini, maka aditif EP yang terpilih adalah aditif Pb. Demikian halnya pengaruh interaksi BEVaPa, BEVaPb, BEVbPb, dan BEVbPb, menunjukkan hampir semua parameter kinerja viskositas dan tekanan ekstrim tidak beda nyata kecuali V-50 dan TL beda nyata.

Konsentrasi Aditif Improver

Hasil analisis keragaman pengaruh faktor Ed terdapat beberapa parameter sifat kimia yang beda nyata pada taraf kepercayaan 95 %, diantaranya ALB, BA, BS dan BJ. Parameter BP dan BI tidak beda nyata, disebabkan aditif Ed berasal dari bahan lisitin nabati (kedelai) dengan komposisi aseton dalam larutan minimal 60 %, kadar air maksimal 1 % dan kandungan minyak maksimal 40%. Kandungan minyak Ed dapat menyebabkan meningkatnya BS atas meningkatnya konsentrasi. Adapun beda nyata ALB dan BA disebabkan BA emulsifier cukup besar, yakni 25, sedang BP emulsifier rendah (5) sehingga penambahan konsentrasi tidak berpengaruh nyata. Adapun analisis keragaman parameter sifat fisis meskipun tidak semua parameter berbeda nyata, namun konsentrasi emulsifier berpengaruh nyata terhadap indeks warna, SV 40-100, SRV 40-100 dan V-50 (R-T)), parameter SV 100-40 tidak beda nyata. Perubahan viskositas atas penambahan emulsifier diduga karena viskositas emulsifier cukup tinggi, yakni 7 Pa.s. Demikian halnya indeks warna dapat disebabkan oleh warna emulsifier yang menggunakan pewarna iod dan nilai warna iod maksimal 65 (didalam toluen 10 %).

Pengaruh konsentrasi Ed menunjukkan semua parameter kinerja emulsi (PDP, ESI, ROCC, ROC, RCC dan TAM) berbeda nyata pada taraf kepercayaan 95 %, terutama pada konsentrasi 1 % dengan konsentrasi 2 dan 3 %. Hal ini memberikan jawaban bahwa konsentrasi 1 % menjadi kurang mencukupi setelah dilakukan penambahan aditif VII dan EP. Pengaruh nyata atas perlakuan konsentrasi disebabkan Ed termasuk jenis EM yang bersifat pendispersi dan pengemulsi tinggi (*hight emulsifying and dispersing propertis*).

Di sisi lain pengaruh konsentras VII terhadap sifat kimia menunjukkan hampir semua parameter menunjukkan tidak beda nyata pada taraf kepercayaan 95 %, kecuali BS dan BP. Hal ini diduga VII pada umumnya berasal dari polimer yang mekanisme kerjanya mengandalkan kemampuan pengembangan pada suhu tinggi dan pengerutan pada suhu rendah serta dimungkinkan kecil terjadi reaksi kimiawi, hubungannya lebih bersifat mekanistik-fisis. Pengaruh terhadap BS dan BP diduga karena bahan pencampurnya dari minyak dengan BP cukup tinggi. Demikian halnya parameter sifat fisis menunjukkan yang berbeda nyata hanya indeks

warna, SV(100-40), SRV (40-100), dan SRV (100-40), sedang parameter yang seharusnya ditunjukkan oleh kinerja VII, yaitu SV(40-100) justru tidak beda nyata. Pengaruh konsentrasi VII terhadap kinerja emulsi menunjukkan tidak berbeda nyata pada semua parameter. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan konsentrasi VII tidak berpengaruh nyata terhadap kinerja betukan emulsi.

Pengaruh konsentrasi aditif EP 0 %, 2 %, dan 4 % menunjukkan pengaruh nyata pada beberapa parameter sifat kimiawi, yaitu ALB, BA dan BP. Parameter BI dan BS menunjukkan tidak beda nyata. Jika ditinjau dari komponen kimiawi aditif EP tidak memungkinkan menyebabkan peningkatan BI dan BP, namun terkait dengan bahan pelarutnya atau bahan tambahan tidak secara jelas ditunjukkan bahwa terkandung bahan tertentu yang dapat mempengaruhi sifat kimiawi campuran. Pengaruh konsentrasi EP terhadap sifat fisis menunjukkan bahwa hampir semua parameter tidak beda nyata, diduga karena meskipun terdapat perbedaan sifat fisis aditif EP dengan minyak sawit, yakni bobot jenis (1.01 ton/m^3) dan perubahan viskositas terhadap suhu ($40\text{-}100^\circ\text{C}$) $15 - 13,5 \text{ Cst}$, namun karena penambahan konsentrasi relatif kecil sehingga pengaruhnya tidak nyata. Pengaruh konsentrasi EP pada kinerja emulsi menunjukkan beda nyata pada taraf kepercayaan 95 % pada semua parameter kinerja, yaitu PDP, ESI, ROCC, ROC, RCC dan hanya TAM yang tidak beda nyata, meskipun secara deskriptif menunjukkan kecenderungan menurun atas kenaikan konsentrasi EP. Fenomena ini menunjukkan bahwa aditif EP reaktif terhadap kinerja emulsi dan cenderung menurunkan kinerja emulsi atas kenaikan konsentrasi. Pada taraf interaksi antara ketiga faktor, analisis keragaman menunjukkan ketidak konsistenan, hal ini dikarenakan terlampaui banyak variasi data sehingga menyebabkan semua parameter uji menunjukkan beda nyata pada uji tengah Duncan. Oleh karena itu keputusan pemilihan konsentrasi masing-masing aditif diambil dari hasil uji pada pengaruh faktor.

Kinerja konsentrasi aditif terbaik ditentukan oleh perbandingan dengan RO-K terhadap parameter sifat fisiko-kimia, kinerja emulsi dan viskositas. Pemilihan konsentrasi pada taraf faktor, yaitu BVPE-1, BVPE-2 dan BVPE-3 (faktor EM/A), BPEV-1, BPEV-2 dan BPEV-3 (faktor VII/B), dan BEVP-1, BEVP-2 dan BEVP-3 (faktor EP/C). Hasil analisis pengambilan keputusan adalah EM perlu peningkatan konsentrasi dari konsentrasi semula, yakni dari 1 % (b/b) menjadi 2 % (b/b) dengan bobot nilai sama dengan 3 % (b/b) 35 %, Konsentrasi VII menunjukkan bahwa konsentrasi 2 % b/b memberikan kinerja paling baik dibanding 0 % dan 4 % b/b dengan bobot nilai alternatif 42,9 %. Pada pemilihan konsentrasi EP juga menunjukkan bahwa konsentrasi 2 % sebagai alternatif yang dipilih dengan bobot nilai mencapai 46,25 % (b/b), sedang konsentrasi 0 % dan 4 % berturut-turut 27,5 % dan 26,25 %.

KESIMPULAN

Karakteristik CPO secara umum menyerupai karakteristik *rolling oil* komersial, beberapa penyimpangan, bilangan asam, kadar air, bilangan peroksida, bilangan Iod dan kadar logam Fe atau Zn, dapat diperkecil dengan proses pemurnian dan pencampuran fraksi olein.

Berdasarkan uji kinerja aditif *improver* EM, VII dan EP diperoleh tiga aditif unggulan yakni Ed untuk aditif emulsifier dengan bobot nilai alternatif 33,33 %, Va untuk aditif VII dengan nilai 42,9 %, dan Pb untuk aditif tekanan ekstrim dengan nilai 42,75 %. Fenomena interaksi pelumas dasar-aditif *improver* menunjukkan kecenderungan semakin murni proses pemurnian semakin kuat interaktifnya, sedang interaksi antara aditif menunjukkan bahwa aditif VII memberi pengaruh positif pada kinerja emulsi dan aditif EP cenderung memberi pengaruh negatif baik terhadap kinerja emulsi atau viskositas.

Konsentrasi terbaik antara pelumas dasar dan aditif-aditif *improver* diperoleh pada konsentrasi aditif emulsifier 2 % (b/b) dengan bobot nilai alternatif 35 %, aditif VI *improver* 2 % (b/b) dengan bobot nilai alternatif 42,9 %, dan aditif tekanan ekstrim 2 % (b/b) dengan bobot nilai alternatif 46,25 %.

DAFTAR PUSTAKA

- Ainuri, M., Irawadi, T.T., Said, E.G., Masud, Z.A., Suryani A. dan Hardono, E. (2001). Penentuan rangkaian proses pemurnian minyak sawit yang terbaik untuk pembuatan pelumas dasar *rolling Oil*. *Prosiding Seminar Nasional IV. Kimia Dalam Pembangunan "Perkembangan Mutakhir Ilmu Kimia dan Teknologi di Indonesia"*. Yogyakarta.
- AOAC (1995). *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist*. AOAC, Washington.
- ASTM (1993). *ASTM and Other Specifications for Petroleum Products and Lubricants*. ASTM, Philadelphia.
- ASTM. (1996). *Annual Book of ASTM Standards Section 5 and 6*. ASTM, West Conshohocken.
- Bannister, K.E. (1996). *Lubrication for Industrial. First Edition*, Industrial Press Inc. Madison Avenue New York.
- Bird, T., Nur, M.A. dan Syahri, M. (1983). *Kimia Fisik. Bagian Kimia*, IPB. Bogor
- Badan Pusat Statistik (1997). *Statistik Industri Indonesia.*, BPS, Jakarta.
- Che-Man, Y.B., Setiowaty, G. dan Van de Voort, F. R. (1999a). Determination of iodine value of palm oil by Fourier

- transform infrared spectroscopy. *JAOCS* **76**: 693-699.
- Che-Man, Y.B., Moh, M.H. dan Van de Voort, F.R. (1999b). Determination of free fatty acids in crude palm oil and refined-bleached-deodorized palm olein using Fourier transform infrared spectroscopy. *JAOCS* **76**: 485-490.
- Cook, B.A. (1982). Metal rolling operation. *Dalam: Allen, R.R. (ed). Baiey's Industrial Oil and Fat Products*. Vol. 1 and 2. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Departemen Perindustrian dan Perdagangan (1999). Statistik Perkebunan Indonesia (*Statistical Estate Crops of Indonesia*) 1996-1998. Kelapa Sawit (*Oil Palm*), Deperindag, Jakarta.
- Ho, C.C. dan Chow, M.C. (2000). The effect of the refining process on the interfacial properties of palm oil. *JAOCS* **77**: 191-199.
- Kirk, R.E. dan Othmer, D.F. (1965). *Encyclopedia of Chemical Technology*. The Interscience Encyclopedia, Inc. New York.
- McClement, D.J. (1999). *Food Emulsion, Principles, Practice, and Techniques*. CRC Press, New York.
- Montgomery, D.C. (1997). *Design and Analysis of Experiments*. Fourth Edition, John Wiley & Son, New York.
- MPOB (Malaysian Palm Oil Board) (2001a). *Review of the Malaysian Oil Palm Industry 2000*, MPOB Ministry of Primary Industries, Malaysia.
- MPOB (Malaysian Palm Oil Board) (2001b). Cutting-edge technologies for sustained competitiveness. Economics and marketing conference. *Proceedings of the 2001 PIPOC International Palm Oil Congress, Malaysia*.
- Muller, H. G. (1978). Mechanism of Action of Viscosity Index Improvers. *Trib. International*, June: 189-192.
- Nachtman E.S. dan Kalpakjian, S. (1985). *Lubricants and Lubrication in Metalworking Operations*. Marcel Dekker Inc. New York.
- Patterson, H.B.W. (1992). *Bleaching and Purifying Fats and Oils: Theory and Practice*. AOCS Press, Champaign, Illinois.
- Robertson, W.S. (1982). Types and properties of lubricants. *Dalam: Allen, R.R. (ed), 1982. Baiey's Industrial Oil and Fat Product*. Vol. 1 and 2. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Sinoda, K. dan Kunieda, H. (1983). Phase properties of emulsions: PIT and HLB. *Dalam: Becher (ed), (1983). Encyclopedia of Emulsion Technology*. Marcel Dekker, Inc. New York.
- Susenas (1996). Konsumsi Kalori dan Protein Penduduk Indonesia dan Propinsi. BPS., Jakarta.
- Tucker, K.H. (1994). Metalforming applications. *Dalam: Byers, J.P. (ed.). Metalworking Fluids*, Marcel Dekker, Inc. New York.
- Wartawan, L.A. (1985). *Teknologi Pelumas*. Lembar Publikasi Lemigas.
- Zuidema, H.H. (1952). *The Performance of Lubricating Oils*. Reinhold Publishing Corporation. New York.