
SINTESIS BIODIESEL DENGAN TEKNIK OZONASI: OZONOLISIS ETIL-ESTER MINYAK SAWIT SEBAGAI SUATU BAHAN BAKAR MESIN DIESEL ALTERNATIF

Setijo Bismo
Departemen Teknik Gas dan Petrokimia, Fakultas Teknik
Universitas Indonesia
Kampus Baru UI, Depok 16424
Telp. (021) 7863156 - Email: bismo@che.ui.edu

Naskah diterima 23 Januari 2005, dinilai 24 Januari 2005, dan disetujui 4 April 2005

Abstrak

Reaksi transesterifikasi yang diterapkan untuk sintesis biodiesel dari minyak sawit ataupun minyak nabati lainnya dianggap belum memberikan perolehan yang ekonomis untuk pengadaan bahan bakar untuk mesin-mesin diesel di Indonesia. Penggunaan metanol sebesar 2-3 kali jumlah molar asam-asam lemak bebasnya (ALB) adalah tidak ekonomis sekaligus berbahaya mengingat sifatnya sebagai bahan kimia beracun dan berbahaya (B3), sedangkan perolehan metil ester dari minyak sawit atau Palm Oil Methyl Ester (POME) hanya sekitar 70 %-v. Sintesis biodiesel ozonida dianggap sebagai alternatif yang lebih baik, yaitu aplikasi reaksi ozonolisis secara kuasi paralel dalam reaksi transesterifikasi tersebut menggunakan etanol, sehingga dihasilkan biodiesel atau etil-ester ozonida. Ozon yang digunakan merupakan produk in situ dari ozonator dengan bahan baku udara, pada laju produksi ozon sekitar 5,5 gram/jam dengan alir udara umpan 400-800 L/jam. Sintesis biodiesel ozonida ini lebih menyukai etanol (96 %-v) sebagai pelarut protik dibandingkan dengan metanol, baik menggunakan katalis (zeolit/GAC) maupun tanpa katalis, pada suhu 55-72 °C dan tekanan atmosferik. Penggunaan etanol dapat dihemat sampai sekitar 31,15-39,85 %-mol dari jumlah yang diperlukan untuk sintesis biodiesel konvensional. Dari hasil uji kinerja produk biodiesel ozonidanya, didapatkan informasi tentang indeks setana, daya, dan torsi yang lebih baik dari minyak solar di Indonesia.

Kata Kunci: Minyak Sawit, Biodiesel, Metil Ester, Etil Ester, Ozonida, Ozonolisis

Abstract

Conventional biodiesel synthesis through transesterification reaction pathway of the palm oil or other vegetable oils has been regarded yet as a steep process, mainly to be implemented as fuel for various diesel engines in Indonesia. The methanol consumption for such process is still costly as well, especially 2-3 times of free fatty acid (FFA) molar amount, which is dangerous as methanol being classified as hazardous chemicals, while the yield of palm oil methyl ester (POME) is just 70 %-volume roughly. The ozonide biodiesel synthesis is considered as a better alternative, which is quasi-parallel ozonolysis reaction application in the conventional transesterification schema using ethanol to produce ozonide biodiesel or ozonide methyl-ester. The ozone gas being applied to the process is produced in situ by an ozone generator apparatus, using fresh and purified air as oxygen source, with about 5,5 g/h ozone production at 400-800 L/h air or feed flowrate. The ozonide biodiesel is favorable to ethanol (96 %-v) being used as reactant and or protic solvent than methanol, even using catalyst (zeolite/GAC) or not, at 55-72 °C and atmospheric condition. The ethanol utilization may be saved until 31,15-39,85 %-mol of conventional biodiesel process. The results obtained from the investigations give some interesting characteristics comparing to diesel fuel in Indonesia, especially better values of cetane index, BHP and torque.

Keywords: Palm Oil, Biodiesel, Methyl Ester, Ethyl Ester, Ozonide, Ozonolysis

1. Pendahuluan

Biodiesel ataupun bahan-bahan bakar cair untuk mesin diesel lainnya, yang dapat diperoleh dari komoditi kelapa sawit (terutama CPO atau minyak sawit dan turunannya), sampai saat ini masih harus dianggap sebagai harapan baru untuk menjawab sebagian kebutuhan energi di tanah air. Selain dianggap lebih ramah lingkungan, biodiesel dan bahan-bahan bakar mesin diesel lainnya dari minyak sawit ini juga bisa diperbaharui, sementara Indonesia sendiri merupakan salah satu negara produsen kelapa sawit terbesar selain Pada akhir tahun 2004 ini, total produksi CPO Indonesia diperkirakan sudah mencapai lebih dari 8 juta ton per tahun. Menurut laporan dan prediksi UNIDO dan Bank Dunia pada akhir tahun 1996 yang lalu, perkembangan perkebunan kelapa sawit ini masih akan terus berlanjut dengan mengingat ketersediaan lahan dan sumberdaya manusia yang masih besar di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua, sehingga diperkirakan pada tahun 2010 mendatang produksi CPO Indonesia akan berimbang dengan Malaysia, bahkan diprediksi akan menjadi produsen CPO terbesar di dunia dengan total produksi mendekati 15 juta ton per tahun pada tahun 2012.

Persoalan utamanya adalah bahwa harga biodiesel masih belum ekonomis terutama bila dikaitkan dengan penggunaan bahan baku metanol yang juga diperlukan sekali untuk industri kimia hulu lainnya, termasuk juga nilai energinya yang cukup signifikan. Harga biodiesel CPO (POME, *palm oil methyl-ester*) jika diproduksi nantinya diperkirakan sekitar Rp 2.500,- sampai Rp 3.000,- per liter, sedangkan varian biodiesel yang disintesis melalui teknik ozonasi ini dapat lebih rendah sampai sekitar 80 %-nya. Namun, dilain fihak penggunaan minyak solar sampai akhir 2004 ini masih sangat menguntungkan bagi pengguna kendaraan bermotor, mengingat minyak solar (yang masih disubsidi pemerintah) saat ini harganya Rp 1.650,- per liter, atau sekitar 55 % dari harga biodiesel POME yang tidak disubsidi. Padahal, saat ini harga pasar internasional di Singapura (MOPS) untuk minyak solar adalah sekitar Rp 2.500 per liter.

Selain masalah harga produksinya yang masih tinggi, biodiesel konvensional (metil-ester ataupun etil-ester) dianggap masih memiliki masalah, terutama dengan lingkungan karena emisinya mengandung senyawa-senyawa organik yang cukup berbahaya. Masalah-masalah yang timbul dari sintesis biodiesel tersebut, terutama diakibatkan oleh: (a) penggunaan bahan baku metanol yang cukup besar, (b) harga konstruksi industri biodiesel ternyata masih lebih tinggi

dibandingkan dengan nilai bakar dari bahan baku metanol (dan etanol) itu sendiri, (c) kemandirian teknologi produksi biodiesel untuk industri kecil dan menengah (UKM), (d) perolehan (*yield*) produk biodiesel yang belum maksimal (sekitar 70% atau kurang), (e) biodiesel yang terlalu banyak mengandung metanol (termasuk B20 yang telah banyak digunakan) menghasilkan emisi senyawa-senyawa organik berbahaya, seperti: formaldehida, akroleina, benzena dan turunannya sehingga belum dapat disebut sebagai bahan bakar aman untuk lingkungan.

Sebagai salah satu alternatif yang menarik untuk perbaikan proses sintesis biodiesel tersebut adalah melalui teknik ozonolisis kuasi-paralel pada reaksi transesterifikasi, sehingga dihasilkan senyawa ozonida dan atau senyawa-senyawa lain yang memiliki karakteristik pembakaran lebih baik pada motor diesel. Sintesis biodiesel yang dimaksudkan adalah aplikasi reaksi ozonolisis beberapa saat setelah reaksi transesterifikasi berlangsung, atau dapat juga disebut sebagai reaksi ozonolisis pada produk etil-ester secara kuasi-paralel menggunakan pelarut protik (yang membebaskan proton, seperti alkohol).

Penggunaan metanol dianggap relatif berbahaya, terutama sifatnya yang lebih beracun dibandingkan dengan etanol. Di samping itu juga, di masa depan etanol dinilai lebih menjanjikan keberadaannya sebagai bahan baku, mengingat alkohol jenis ini dapat diproduksi dari berbagai jenis umbi-umbian atau produk karbohidrat lainnya (terutama melalui proses fermentasi dan rekayasa sintesis bioteknologis lainnya). Oleh karena itulah, penggunaan bahan baku etanol lebih diutamakan dalam penelitian ini (Schumacher, 2001; Kay, 2001; Methanex, 2002).

Masalah utama dari teknologi produksi biodiesel ozonida ini adalah belum digunakannya minyak sawit sebagai bahan baku dan efektifitas dari reaksi ozonasi itu sendiri, seperti: kapasitas ozonator dan konsentrasi ozon yang digunakan, katalis ozonolisis, rancangan *diffuser* ozon, dan juga waktu reaksi ozonasi itu sendiri. Kendala dan permasalahan tersebut masih diteliti secara intensif dalam penelitian lanjutan.

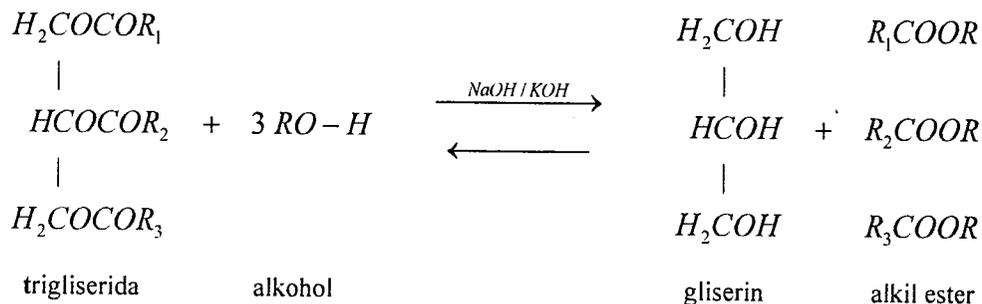
2. Fundamental

Minyak sawit yang masih mentah (CPO) mengandung asam-asam lemak jenuh (SAFA, *saturated fatty acid*) sekitar 30-39%, asam-asam lemak tak-jenuh tunggal (MUFA, *mono unsaturated fatty acid*) sekitar 43-49%, dan sisanya asam-asam lemak tak-jenuh berganda (PUFA, *poly unsaturated fatty acid*) sebesar 10-15 %. Jika minyak sawit ini telah dibersihkan

melalui rangkaian proses-proses rafinasi, pemucatan dan deodorisasi (disebut sebagai RBD, *refined-bleaching-deodorization paml oil*) maka hasilnya adalah RBD-PO (RBD *Palm Oil*) yang dapat diolah lebih lanjut menjadi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi dengan pereaksi metanol atau etanol, dengan katalis asam mineral (H_2SO_4) ataupun basa (natrium metoksida, $Na-OCH_3$, atau kalium-etoksida, $K-OCH_2CH_3$). Dalam industri, reaksi transesterifikasi dengan katalis basa lebih mudah direalisasikan, karena sifatnya yang tidak korosif dibandingkan bila menggunakan katalis asam. Secara skematis, reaksi transesterifikasi dengan katalis basa ini dapat digambarkan seperti pada Gambar 1. Selain alkil-ester (umumnya metil-ester dan sisanya etil-ester), produk berharga yang sampai saat ini masih berkendala untuk dimurnikan adalah gliserin (propanatriol).

Asam-asam lemak yang dikandung oleh trigliserida dalam reaksi di atas adalah identik dengan asam-asam lemak yang membentuk alkil-ester. Oleh karenanya, jika molekul-molekul asam lemak tersebut mengandung ikatan-ikatan rangkap baik tunggal ataupun ganda, maka konfigurasi yang identik akan dijumpai dalam molekul-molekul alkil-ester yang terbentuk. Namun, karena kepadatan atom-atom oksigen yang memiliki momen dipol negatif (-) dalam molekul trigliserida lebih tinggi dibandingkan dengan dalam molekul-molekul alkil-ester, maka ozon relatif jauh lebih reaktif dengan alkil-ester dibandingkan dengan trigliseridanya.

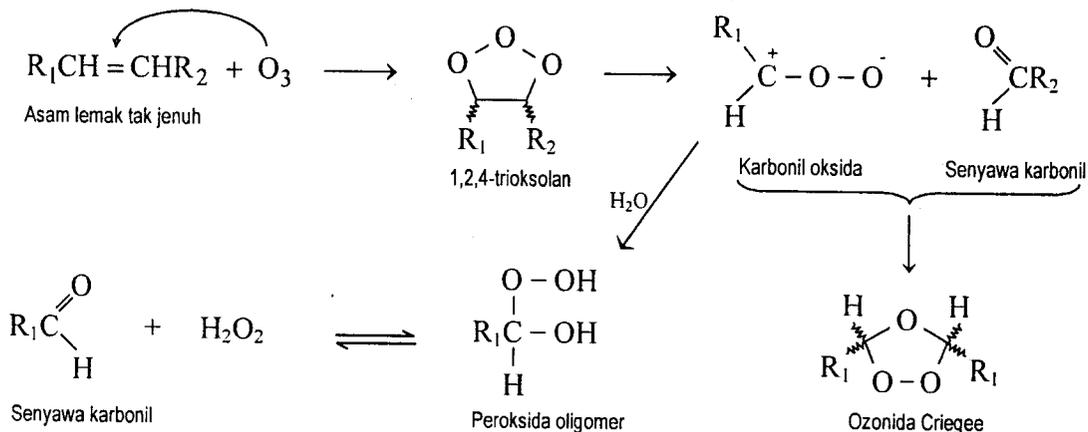
Jika beberapa saat setelah reaksi transesterifikasi berlangsung ditambahkan ozon ke dalam campuran reaksi tersebut, maka berarti ozon akan cenderung menyerang senyawa-senyawa



Gambar 1. Reaksi Transesterifikasi dalam Katalis Basa

alkil-ester. Reaksi ozon dengan ikatan-ikatan rangkap pada molekul-molekul alkil-ester menggunakan katalis-katalis berbasis zeolit ataupun GAC (*granulated activated carbon*) sebenarnya identik dengan reaksi ozonolisis senyawa-senyawa alkena. Secara skematis, reaksi

ozonolisis tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. Senyawa ozonida sebagai senyawa antara yang terbentuk pertama kali adalah 1,2,4-trioksolan sebagai molekul yang relatif tidak stabil karena kepadatan awan oksigennya yang terlalu tinggi, sehingga kemudian segera merestrukturisasi diri



Gambar 2. Mekanisme Criegee untuk Reaksi Ozonasi pada Ester Asam Lemak Tak Jenuh

menjadi ozonida Criegee yang jauh lebih stabil. Senyawa lain yang dapat terbentuk karena reaksi ozonolisis ini adalah senyawa-senyawa karbonil dan asam-asam dikarboksilat (dengan rantai karbon yang lebih pendek), diikuti dengan peroksida oligomer, dan H₂O₂. Kedua senyawa peroksida tersebut dapat dihindari jika digunakan inhibitor selektif berbasis logam seng (Zn). Karena molekul alkil-ester sebagai produk reaksi transesterifikasi sebagian dikonversikan menjadi senyawa lain oleh reaksi ozonolisis, maka secara pasti sistem kesetimbangan akan bergeser ke arah kanan (produk) sedemikian rupa untuk mengkompensasi harga tetapan kesetimbangan yang tidak berubah pada suhu reaksi yang sama (isoterm).

Dengan terbentuknya senyawa-senyawa dikarboksilat pada reaksi transesterifikasi di atas, akan mengakibatkan pH reaksi relatif menurun sedemikian rupa sehingga dapat mendorong lebih lanjut reaksi esterifikasi asam-asam dikarboksilat tersebut dengan gliserin, yang berarti juga bahwa sebagian molekul gliserin dikonversikan menjadi molekul lain. Dengan dikonversikannya gliserin tersebut menjadi ester, maka sekali lagi kesetimbangan akan bergeser ke arah kanan sedemikian rupa sehingga reaksi transesterifikasi akan jauh cenderung bergeser ke arah produk, yang berarti bahwa konversi dari trigliserida bertambah besar.

Konversi reaksi akan menjadi semakin bertambah besar lagi dengan adanya alkohol (metanol ataupun etanol) sebagai pelarut protik, yang efektif memberikan proton pada atom C karbonil dari asam-asam dikarboksilat sehingga terjadi reaksi esterifikasi lebih lanjut sedemikian rupa sehingga konversi dari alkohol juga semakin meningkat. Di sisi lain, asam-asam dikarboksilat dan turunannya telah dikenal memiliki kelebihan sebagai zat pelumas atau *friction reducer* di dalam ruang bakar mesin. Fenomena reaksi-reaksi

berkelanjutan yang terjadi akibat reaksi ozonolisis di atas dijadikan landasan fundamental dari penelitian ini.

Penelitian-penelitian sejenis belum ada sampai saat ini, namun beberapa paten tentang ozonasi dari minyak-minyak nabati beserta turunannya telah didaftarkan oleh beberapa peneliti di Jepang, Eropa dan Amerika Utara (McKee, dkk., US Patent; Washüttl dan Viebahn, US Patent, 1993; Matsumura dan Murakami, European Patent, 2000; Ledea, 2001; Murakami dan Fujita, International Patent, 2002; Lee, 2002; Fitchett, *et al.*, International Patent, 2003; Diaz, 2003; Soriano, Jr., 2003). Secara khusus, penelitian-penelitian dan paten-paten tentang ozonasi minyak-minyak nabati untuk proses-proses sintesis dan produksi bahan bakar mesin diesel atau biodiesel baru mulai marak dan intensif dilakukan serta dipublikasikan oleh Matsumura dan Murakami (2000), Murakami dan Fujita (2002), dan Fitchett, dkk. (2003). Walaupun demikian, paten-paten tersebut tidak menjelaskan tentang produk-produk ozonolisis dari minyak sawit, dan juga teknik ozonasi yang digunakan umumnya adalah *bubbling technology*.

Mekanisme reaksi ozonasi dari ester asam-asam lemak dalam penelitian-penelitian yang ada sampai saat ini, semuanya didasarkan oleh mekanisme reaksi adisi ozon yang diperkenalkan oleh Criegee (Diaz, 2003; Soriano, Jr., 2003), seperti telah dijelaskan sebelumnya (Gambar 2).

Dari Tabel 1 tersebut, dapat disimpulkan tentang adanya keunggulan penting pada 2 (dua) parameter atau karakteristik utama antara biodiesel (metil-ester minyak nabati) dan minyak nabati yang diozonasi (*ozone treated oil*), yaitu: (a). nilai kalor potensial yang lebih tinggi, dan (b). titik nyala (*ignition point*) yang lebih rendah. Di lain pihak, perbedaan densitas dari kedua macam bahan bakar mesin diesel tersebut tidak terlalu signifikan.

Tabel 1. Perbandingan Karakteristik Biodiesel Ozonida dari Minyak Nabati Non-sawit

Karakteristik Uji	Satuan	Biodiesel Metil-Ester	Biodiesel Ozonolisis
Nilai kalor	kcal/kg	9.490	9.730
Abu	%-b	< 0,01	< 0,01
Densitas	g/cm ³ (15 °C)	0,8841	0,8758
Titik Nyala	°C	130,1	51,3
Kandungan belerang	%-b	0,01	0,01
Kandungan Nitrogen	%-b	< 0,1	< 0,1

Sumber: Matsumura dan Murakami, European Patent, 2000.

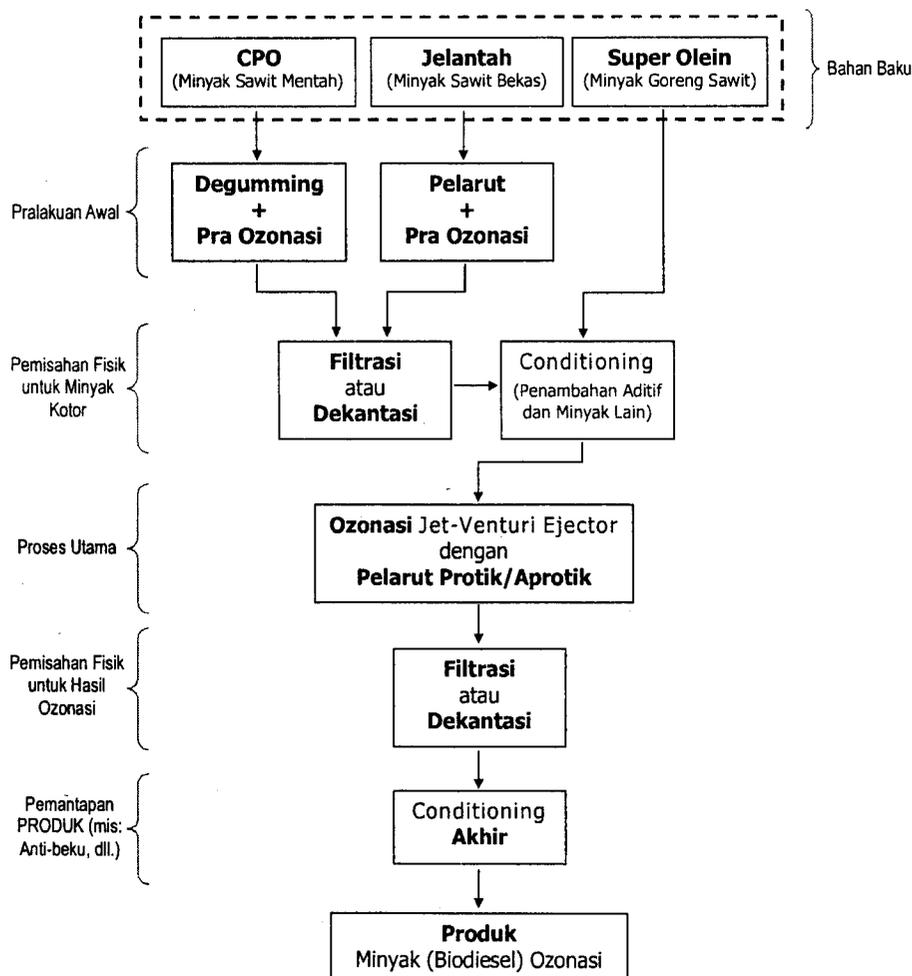
peneliti sebelumnya, memberikan informasi tentang sifat-sifat dan karakteristik dari produk ozonolisis beberapa minyak nabati non-sawit yang lebih baik dari biodiesel biasa, seperti ditampilkan pada Tabel 1 (Matsumura dan Murakami, European Patent, 2000).

3. Metodologi

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini, semuanya menggunakan minyak sawit bersih (*super olein*) yang direaksikan dengan dengan etanol sebanyak 1,5-1,8 kali jumlah mol asam lemak dari trigliserida (minyak sawit bersih), menggunakan katalis KOH dan NaOH (2,5 : 1). Beberapa saat setelah reaksi transesterifikasi di atas berlangsung, campuran reaksi diozonasi dengan teknik '*venturi bubling injection*' menggunakan katalis zeolit/GAC.

Parameter-parameter yang diuji pada penelitian ini pada dasarnya dilakukan untuk investigasi sederhana senyawa-senyawa atau gugus-gugus fungsional yang dihasilkan dari reaksi ozonolisis, termasuk juga sifat-sifat fisika dan kimiawi dari produk itu sendiri, seperti: densitas, viskositas, kandungan air, angka keasaman, indeks setana, angka setana, dan juga kinerjanya jika digunakan pada mesin diesel (kendaraan bermotor, kapal laut, genset, kereta api, dan lain-lain).

Secara garis besar, skematisasi dari proses sintesis yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa sumber-sumber minyak sawit yang digunakan dapat berasal dari 3 macam minyak sawit dan atau turunannya, namun secara khusus, penelitian awal ini hanya menggunakan minyak sawit bersih (minyak goreng bersih, atau *super olein*) sebagai bahan bakunya.



Tabel 3. Kondisi Operasi dan Perolehan pada Tahap Ekstraksi

Perlakuan awal yang disebutkan pada Gambar 3 tersebut di bawah, dimaksudkan sebagai proses-proses penyerapan, pencucian atau konversi pengotor-pengotor yang ada dalam minyak, yang hanya diberlakukan pada minyak sawit mentah (CPO) dan minyak jelantah (*waste cooking palm oil*). Pemisahan fisika (minyak kotor dan hasil ozonasi) merupakan proses-proses pemisahan pengotor-pengotor yang ada dalam minyak, yang hanya diberlakukan pada: CPO dan minyak jelantah.

Dalam penelitian ini, proses utama merupakan 'inti' dari riset ini, artinya: seluruh komponen atau senyawa tek-jenuh yang dikandung minyak sawit direaksikan dengan ozon menggunakan katalis Fe_2O_3 /Zeolite/GAC/Zn, sesuai dengan skematis pada Gambar 2.

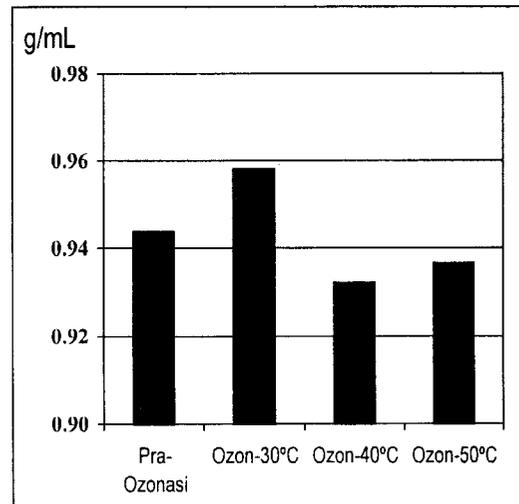
Parameter operasi yang diterapkan dalam penelitian ini adalah: variasi suhu sintesis biodiesel ozonida (30-50°C), komposisi gas buang, BHP mesin, dan torsi (torque).

4. Hasil dan Pembahasan

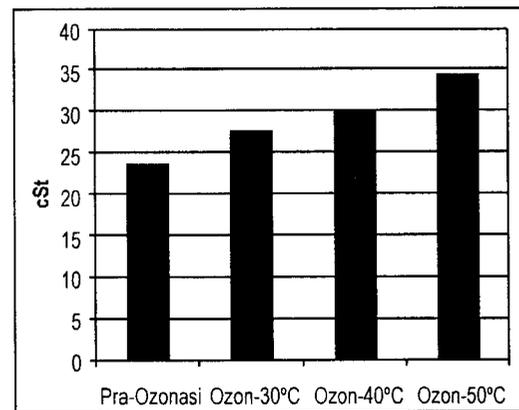
Hasil-hasil penelitian yang akan disajikan, secara ringkas meliputi sifat-sifat fisika dan kimiawi produk minyak (biodiesel) ozonida (densitas dan viskositas), uji dan perbandingan emisi kendaraan (menggunakan Isuzu Panther, Grand Royale, 2500 cc 1997), serta uji dan perbandingan kinerja mesin pada BHP dan torsi (torque) dengan alat 'Chassis Dynamometer'.

Semua hasil pengukuran densitas untuk biodiesel sawit (tanpa katalis) ditampilkan pada grafik di bawah ini (Gambar 4). Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa reaksi ozonolisis cenderung menyukai suhu relatif rendah, yaitu pada 30-40 °C. Suhu reaksi yang rendah ini sangat menguntungkan untuk pemilihan alat dan konstruksinya, termasuk juga penggunaan pompa-pompa dan alat-alat proses lainnya.

Perubahan viskositas menunjukkan kecenderungan yang menaik, seiring dengan kenaikan suhu. Parameter perubahan ini sangat penting untuk menganalisis terjadinya reaksi ozonasi, yaitu reaksi ozonasi yang mengikuti mekanisme Criegee (Ledea, 2001; Diaz, 2003; Soriano, Jr., 2003). Perubahan harga viskositas minyak sawit terhadap suhu yang cukup sensitif ini merupakan hal yang cukup menarik dan sangat konfirmatif. Hal ini terutama jika dikaji dari terjadinya produk-produk reaksi yang bersifat transisional, seperti: molekul-molekul atau radikal-radikal 1,2,4-trioksolan (ozonida Criegee), peroksida-peroksida kompleks (molekul-molekul yang teroligomerisasi), dan senyawa-senyawa karbonil lainnya (lihat Gambar 5).



Gambar 4. Perubahan Densitas karena Reaksi Ozonolisis



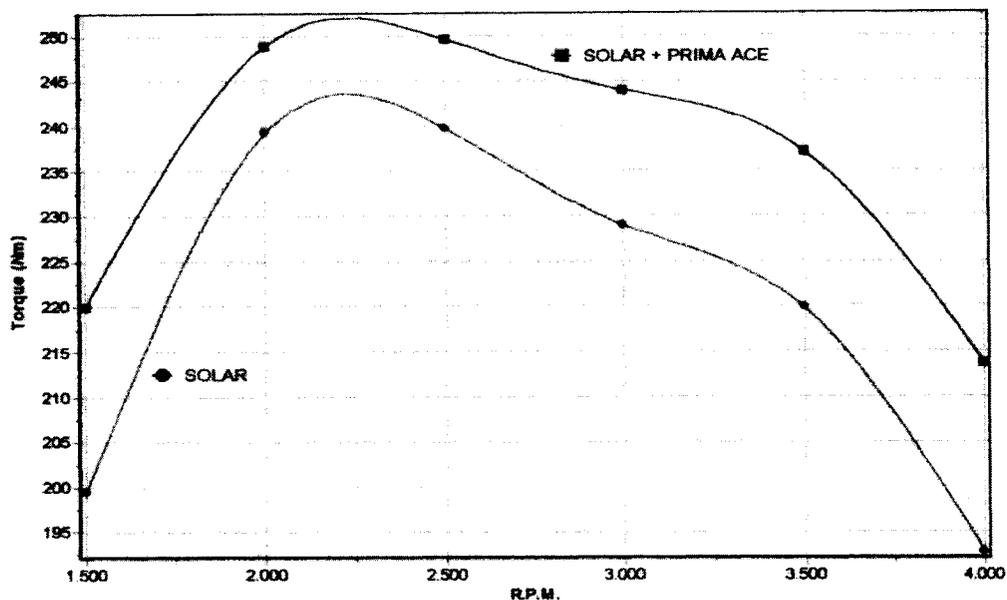
Gambar 5. Perubahan Viskositas karena Reaksi Ozonolisis

Pengukuran Kandungan Gas dapat diartikan sebagai kandungan dari emisi gas buang, dalam hal ini adalah: asap hitam (*opacity*), NOx, dan SOx. Hanya pengukuran asam hitam melalui penglihatan mata telanjang (*visual observation*) yang dapat dilaporkan: yaitu kandungan asapnya berkurang antara 40-50%. Secara terukur, hal ini belum dapat dilaporkan disini termasuk juga hasil-hasil pengukuran untuk kandungan NOx dan SOx.

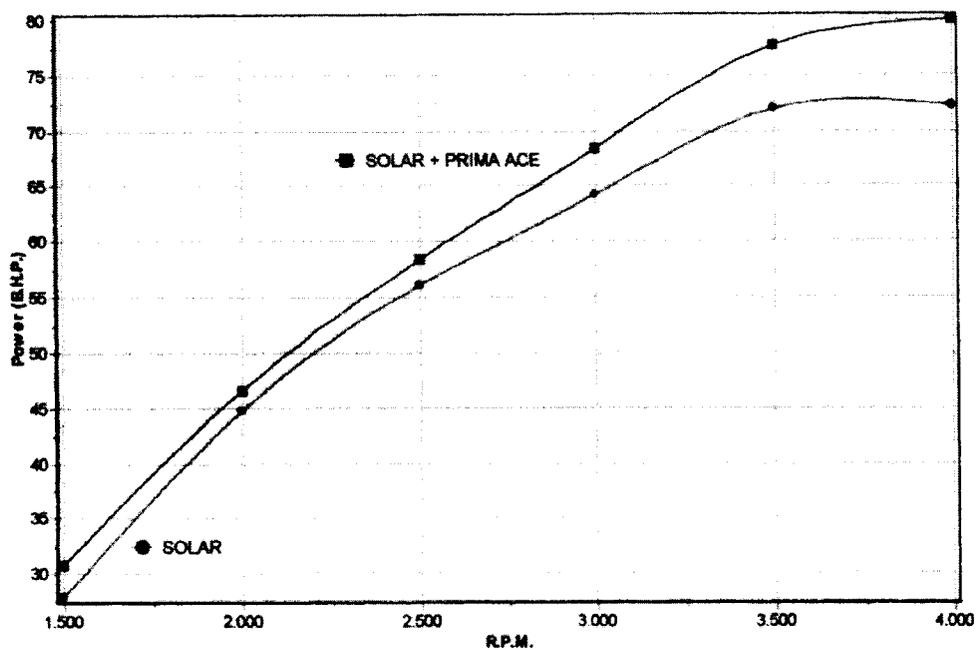
Dalam pengukuran atau pengujian BHP dan Torsi, hanya digunakan sampel uji dengan 1 (satu) macam komposisi campuran saja, yaitu: 1 liter 'Biodiesel Ozonida' yang dicampurkan ke dalam 4 liter minyak solar PERTAMINA (20% : 80%), artinya: juga setara dengan Biodiesel B20. Hasil pengukuran torsi terhadap putaran (RPM) mesin disajikan pada Gambar 6, sedangkan untuk tenaga (BHP) mesin terhadap putaran mesin diberikan pada Gambar 7. Dapat dilihat dengan jelas, pada

Gambar 6 dan 7 tersebut, bahwa minyak (biodiesel) ozonida dapat menaikkan kinerja mesin secara cukup berarti, yaitu sampai rata-rata sebesar 11% (dengan acuan TORQUE dan BHP). Hal ini berarti bahwa bahan bakar mesin diesel yang disintesis melalui teknik ozonasi (minyak

ozonida) memiliki peluang yang sangat strategis untuk diterapkan di negara kita sebagai pendamping minyak solar atau bahkan suatu saat dapat mengurangi subsidi BBM secara cukup berarti dengan cara yang berkesinambungan.



Gambar 6. Perbandingan Kinerja Torsi Mesin antara Solar dan Minyak Ozonida



Gambar 7. Perbandingan Kinerja BHP Mesin antara Solar dan Minyak Ozonida

5. Kesimpulan

Reaksi ozonasi yang diterapkan pada ke empat jenis etil ester di atas memberikan gambaran dan prospek yang sangat jelas untuk mensintesis biodiesel dari minyak sawit dengan menggunakan pelarut etanol. Adanya konfirmasi terjadinya reaksi ozonolisis tersebut, berarti juga adanya reaksi pemutusan ikatan rangkap, terutama ikatan rangkap tunggal, yang pada akhirnya akan dihasilkan senyawa-senyawa dengan rantai karbon yang lebih sederhana dibandingkan senyawa asalnya. Senyawa-senyawa hidrokarbon yang terbentuk tersebut diharapkan dapat juga memperbaiki karakteristik dari ozonida, ester, asam-asam dikarboksilat, dan senyawa-senyawa lain yang terbentuk untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar ataupun juga sebagai aditif bahan bakar mesin diesel.

Di samping itu juga, diperoleh informasi tentang suhu reaksi yang terlalu tinggi (di atas 50°C) ternyata belum memberikan peranan yang cukup signifikan bahkan lebih cenderung tidak efektif atau ada kemungkinan menghasilkan senyawa-senyawa yang tidak tepat untuk digunakan sebagai bahan bakar ataupun aditif bahan bakar mesin diesel.

Minyak nabati yang diozonasi (*ozone treated oil*), masih memerlukan pengembangan yang lebih cermat dan komprehensif sekali, sedemikian rupa sehingga di masa depan akan memberikan informasi-informasi yang berguna untuk dapat memproduksi berbagai jenis biodiesel dari semua sumber minyak nabati yang ada di Indonesia, khususnya untuk pemanfaatan atau konversi limbah-limbah minyak goreng menjadi bahan-bakar mesin diesel, karena sebenarnya limbah minyak tersebut cenderung karsinogenik apabila dimanfaatkan berulang kali (secara oral).

Daftar Pustaka

- [1] Bockey, D., (2002), "Biodiesel Production and Marketing in Germany"., UFOP, http://www.biodiesel.org/resources/reports_database/reports/gen/071002_biod_in_germany.pdf
- [2] Brunskill, A., (2001), "World [1] Oleochemicals and Oil Prices Cause or Effect". Asean Oleochemicals Manufacturers Group. <http://www.aomg.org>.
- [3] Diaz, M.F., et al., (2003), "1H NMR Study of Methyl Linoleate Ozonation", *Ozone Science & Engng.*, Vol. 25, pp 121-126
- [4] Fitchett, Colin, et al, (2003), "Oil Ozonolysis", (International Patent No. WO 03/050081 A1), 69 pages
- [5] Harrington, K., (1983), "Chemical and Physical Properties of Vegetable Oil Esters and their Effect on Diesel Engine performance", Paper No. 83012, 2nd National Conference of Fuels from Crops, Melbourne, Australia
- [6] Kay, J., (2001), "Biodiesel Revolution begins in S.F. - First Retail Outlet for Vegetable Fuel Opens", San Francisco Chronicle, page A-15, San Francisco, USA, http://www.Worldenergy.net/world_energy_news.html
- [7] Matsumura, Masatoshi and Seishiro Murakami, (2000), "Method and Equipment of Refining Plant Oil and Waste Vegetable Oil Into Diesel Engine Fuel", (European Patent No. EP 1-026-224-A1), 35 pages
- [8] McKee, James, and Susan McKee, (1937), "Process of Treating Oil", (US Patent No. 2,083,572), 4 pages
- [9] Methanex, (2002), "Current World Methanol Prices", <http://www.methanex.com/methanol/currentprice.htm>
- [10] Murakami, Seishiro and Hideyuki Fujita, (2002), "Process for Producing Fuel for Diesel Engine", (International Patent, No. WO 02/38708 A1), 29 pages
- [11] Soriano, Jr, N.U., et al., (2003), "Functional Group Analysis during Ozonation of Sunflower Oil Methyl Esters by FT-IR and NMR", *Chemistry and Physics of Lipids.*, Vol. 126, pp 133-140
- [12] Sims, R.E.H., (1983), "The Potential for Rapeseed Oil and Tallow Esters as Fuels for Compression Ignition Engines." Paper No. 83014, 2nd National Conference on Fuels from Crops, SAE Australasia, Melbourne, Australia