

**SINTESIS *CETANE IMPROVER* DARI BIODIESEL MINYAK JARAK PAGAR
DAN PENGUJIANNYA PADA MESIN DIESEL**

***SYNTHESIS OF CETANE IMPROVER FROM BIODIESEL OF JATROPHA OIL
AND TESTING IN DIESEL ENGINE***

Abdullah¹⁾, Ahmad Budi Junaidi¹⁾, Abdul Ghofur²⁾, Doni Rahmat Wicakso³⁾

1) Program Studi Kimia FMIPA Universitas Lambung Mangkurat
Jl. A. Yani Km 36 Banjarbaru, Kalimantan Selatan

* Email: abdullah.ssi.msi@gmail.com

HP: 085249493989

2) Program Studi Teknik Mesin FT Universitas Lambung Mangkurat
Jl. A. Yani Km 35,8 Banjarbaru, Kalimantan Selatan

3) Program Studi Teknik Kimia FT Universitas Lambung Mangkurat
Jl. A. Yani Km 35,8 Banjarbaru, Kalimantan Selatan

ABSTRAK

Telah dilakukan sintesis *cetane improver* berbahan baku biodiesel yang berasal dari minyak Jarak pagar. Sintesis dilakukan dengan cara nitrasasi biodiesel menggunakan campuran pereaksi asam nitrat dan asam sulfat. Proses nitrasasi dilakukan selama 4 jam pada temperatur 10-20 °C. Produk hasil nitrasasi dikarakterisasi gugus fungsi, *flash point* dan angka setana. Selanjutnya aditif hasil nitrasasi juga dikarakterisasi menggunakan mesin diesel satu silinder untuk menentukan efisiensi termal, BSFC (*Brake Spesific Fuel Consumption*), dan nilai *smoke*.

Berdasarkan hasil analisis dengan FTIR diketahui bahwa produk hasil nitrasasi mengandung gugus nitro dan nitrat. Selanjutnya berdasarkan hasil pengujian pada mesin diesel secara umum dapat disimpulkan bahwa pada putaran 1200 rpm unjuk kerja mesin (efisiensi termal, BSFC, dan nilai *smoke*) dari formulasi S0,25% s/d S1,25% tidak lebih baik dibandingkan dengan Solar. Hal ini terjadi pada hampir semua variasi waktu injeksi. Sedangkan pada kecepatan putaran 2200 rpm unjuk kerja formulasi S0,25% s/d S1,25% relatif lebih baik jika dibandingkan dengan solar saja, terutama pada penggunaan aditif dengan konsentrasi sebesar 0,50% (v/v). Penambahan aditif sebanyak 0,10 % dan 0,50% (v/v) tidak merubah nilai flash point, sementara pada nilai angka setana terjadi peningkatan dari 46,3 menjadi 47,1 dan 48,5. Melalui uji aditif secara *road test* dapat diketahui bahwa penambahan aditif pada bahan bakar solar mampu memberikan penghematan pada penggunaan minyak Solar sebesar 10,4%.

Kata kunci : *cetane improver*, minyak jarak pagar, aditif, minyak diesel

ABSTRACT

Synthesis of cetane improver using biodiesel which were derived from Jatropha oil had been carried out. Synthesis was done by nitration of biodiesel using a mixture of nitric acid and sulfuric acid as reagents. Nitration process was carried out for 4 hours at 10-20 °C. Product of nitration were characterized to determine the total N content, functional groups of the nitrated compound, flash point and cetana number. Further, the additive was also characterized using a single cylinder diesel engine to determine the thermal efficiency, BSFC (Brake Specific Fuel Consumption), and the smoke number.

Analysis by FTIR has shown that the nitration products contain groups of nitro and nitrate. Based on the results of testing on diesel engines, it can be concluded in general that at 1200 rpm, performance of engine (thermal efficiency, BSFC, and the smoke) at which fueled with formulation S0, 25% to S1, 25% were no better than Solar (diesel oil without additive). This occurs in almost all the variations of time of injection. While at 2200 rpm the performance of engine which use fuel with formulations S0, 25% s / d S1, 25% relatively better when compared to Solar, especially on the use of additives with a 0.50% (v/v) concentration. Addition the additive as much as 0.10 and 0.50 % (v/v) not changed flash point of diesel oil, while cetane number increased from 46.3 to 47.1 and 48.5. Through the test of additives on road test was showed that the addition of additives in diesel fuel can provide savings in the use of fuel (Solar) as much as 10.4%.

Key words: *cetane improver, jathropa oil, additive, diesel oil*

PENDAHULUAN

Cetane improver dapat dibuat dengan mereaksikan biodiesel dengan asam nitrat melalui proses nitrasi (Carmen, 1998; Suppes dkk., 1999; Nasikin dkk., 2002; Canoira dkk., 2006), sedangkan biodiesel dapat dibuat dari minyak jarak melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi (Mittelbach dan Remschmidt, 2004; Demirbas, 2009; Chung dkk., 2009; Vyas dkk., 2010; Hamamci dkk., 2011; Oozcanlu dkk., 2011). Proses nitrasi dapat terjadi karena adanya ion nitronium yang

dihasilkan dari interaksi asam nitrat dengan asam sulfat sebagai katalis (Suppes dan Dasari, 2003) atau sebagai hasil dari dissosiasi asam nitrat itu sendiri (Lewis dan Modie, 1997). Dengan proses nitrasi, jumlah atom oksigen pada molekul komponen biodiesel menjadi bertambah. Dengan demikian biodiesel menjadi kaya akan atom oksigen yang sangat diperlukan dalam kesempurnaan proses pembakaran.

Produk hasil nitration dari biodiesel berbahan baku minyak kedelai, ternyata mampu menurunkan waktu penundaan nyala (*ignition delay time*) dari minyak diesel (Carmen, 1998; Suppes dkk., 1999). Selain itu juga dilaporkan bahwa aditif yang dihasilkan memberikan efek pelumasan (*lubricity*) dan pembersihan (*detergency*) dalam ruang pembakaran (Suppes, 2001). Sementara itu, hasil pengujian pada produk hasil nitration berbahan baku minyak kelapa sebanyak 1,5% (v/v) yang ditambahkan pada minyak Solar (minyak diesel untuk sektor transportasi) menunjukkan adanya peningkatan angka setana Solar dari 44,68 menjadi 48,2. Hasil uji ini setara dengan nilai angka setana biosolar B20 (80 % Solar + 20% biodiesel) (Nasikin dkk., 2002).

Senyawa hasil nitration biodiesel menunjukkan adanya gugus NO_2 ataupun NO_3 . Gugus-gugus ini melekat pada atom karbon rangkap 2 melalui mekanisme adisi maupun substitusi elektrofilik (Suppes dan Dasari, 2003). Dengan demikian semakin banyak ikatan rangkap 2 pada molekul komponen biodiesel, semakin besar pula kemungkinan untuk terjadinya proses nitration. Atas dasar ini maka biodiesel yang berasal dari minyak Jarak memiliki potensi yang sangat baik jika digunakan sebagai bahan dalam

pembuatan *cetane improver*. Selain itu, ketersediaannya cukup melimpah dan tidak bersaing dengan kebutuhan pangan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Kegiatan penelitian berlangsung selama lebih kurang 8 bulan. Pelaksanaan penelitian dan beberapa analisis sederhana dilakukan di Laboratorium Dasar MIPA Unlam. Analisis sampel dengan instrumen FTIR dilakukan di Laboratorium Kimia Organik FMIPA UGM (Jogyakarta). Analisis *flash point* dan angka setana dilakukan di Pusat Penelitian Pengembangan Teknologi Minyak Gas Bumi-LEMIGAS (Jakarta). Pengujian aditif pada mesin diesel/mesin bakar dilakukan di Lab BTMP-BPPT Puspitek-Serpong, Tangerang. Pengujian secara *road test* dilakukan di Banjarbaru-Binuang (PP).

Bahan dan Alat

Bahan-bahan utama dalam penelitian ini adalah biodiesel minyak Jarak pagar (Laboratorium Dasar FMIPA Unlam), asam sulfat (H_2SO_4) dan asam nitrat (HNO_3) dengan spesifikasi p.a (E. Merck), kertas pH universal (E. Merck), akuades (Laboratorium Dasar FMIPA Unlam) dan Minyak solar (SPBU Banjarbaru-Kalsel). Adapun peralatan

yang digunakan berupa alat-alat gelas (beker glass, erlenmeyer, corong pisah, labu takar, gelas ukur, pipet tetes, pipet volume, dsb.), seperangkat alat refluks, corong pisah, termometer, oven, neraca analitik dan *stop watch*, furnace, spektrometer FTIR. Seperangkat alat untuk menentukan *flash point* dan angka setana. Mesin diesel merek *Hydra* dan kendaraan jenis truk Mitsubishi HD 120 PS buatan tahun 2005.

Sintesis cetana improver

Sintesis *cetana improver* dilakukan dengan cara nitration pada biodiesel yang berasal dari minyak Jarak pagar. Mula-mula asam nitrat sebanyak 2 mol dimasukkan ke dalam labu alas bulat leher tiga, yang dilengkapi dengan pendingin bola, pengaduk magnet dan *ice bath*. Selanjutnya ke dalam labu ditambahkan asam sulfat sebanyak 1 mol secara perlahan. Setelah penambahan asam sulfat selesai, kemudian biodiesel minyak Jarak pagar secara perlahan (tetes demi tetes) ditambahkan ke dalam labu. Nitration dilakukan selama 4 jam pada temperatur 10-20 °C. Nitration juga dilakukan tanpa penambahan asam sulfat (sebagai pembanding). Senyawa hasil nitration dianalisis kadar N totalnya

penentuan gugus fungsi dengan FTIR, *flash point* dan angka setana.

Pengujian senyawa hasil nitration

Senyawa hasil nitration diuji dengan mesin diesel/mesin bakar satu silinder merek *Hydra* di Lab. BTMP-BPPT Puspitek-Serpong, Tangerang untuk menentukan efisiensi termal, BSFC, dan nilai *smoke*. Pengujian secara *road test* juga dilakukan dengan menggunakan truk Mitsubishi HD 120 PS dengan jarak tempuh 120 km (Banjarbaru-Binuang (PP)), dengan kecepatan antara 50-70 km/jam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

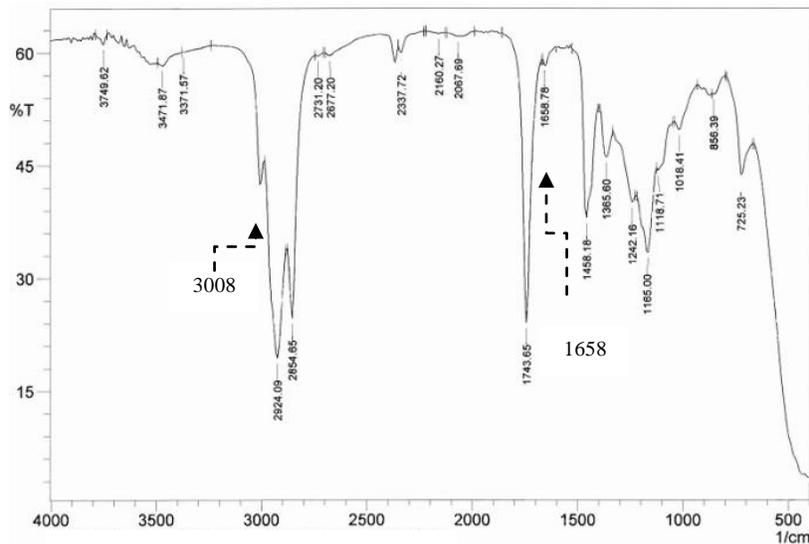
Analisis FTIR Senyawa Hasil Nitration Biodiesel

Pada senyawa hasil nitration dilakukan analisis dengan FTIR untuk mengetahui perubahan gugus yang terjadi sebelum dan sesudah proses nitration. Gambar 1 merupakan spektra FTIR untuk bahan baku (biodiesel), dimana terdapat spektrum serapan pada bilangan gelombang 1743 (cm^{-1}) yang menunjukkan gugus karbonil (C=O) dari senyawa ester, 1165 dan 1018 (cm^{-1}) menunjukkan adanya ikatan C—O. Bilangan gelombang pada 1658 (cm^{-1}) menunjukkan adanya ikatan C=C, sementara pada 3008 (cm^{-1}) menunjukkan adanya ikatan C-H alkana

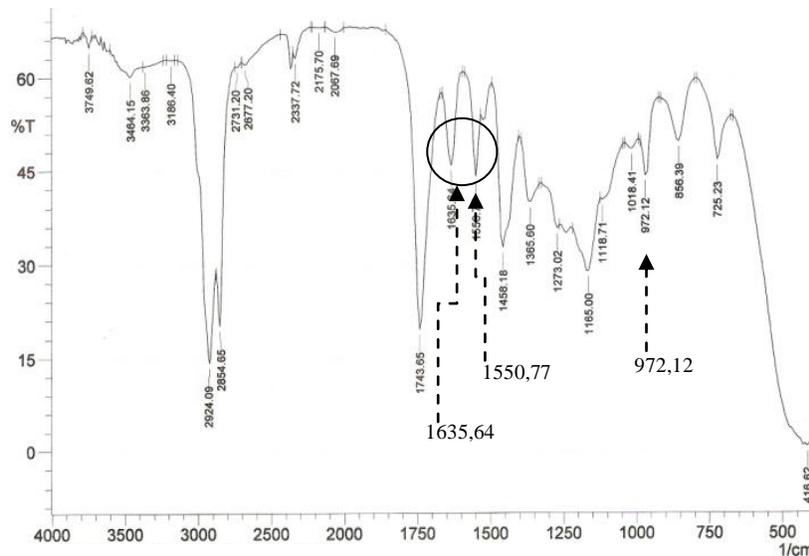
(Ewing, 1984; Silverstein dan Webster, 1998; Pavia dkk., 2009). Pada Gambar 2 terlihat adanya spektrum baru yang muncul pada bilangan gelombang 1635,64; 1550,77 dan 972,12 (cm^{-1}) yang diduga sebagai spektrum absorpsi dari gugus NO_3 dan NO_2 yang terikat pada molekul biodiesel. Pada Gambar 2

juga terlihat bahwa spektrum pada 1658 (cm^{-1}) dan 3008 (cm^{-1}) tidak muncul lagi, hal ini menunjukkan bahwa telah terjadi reaksi adisi pada $\text{C}=\text{C}$.

Spektrum pada bilangan gelombang 1635,64 cm^{-1} diduga berasal dari gugus nitrat (Nasikin dkk., 2002; Suppes dkk., 2001).



Gambar 1. Spektra FTIR biodiesel

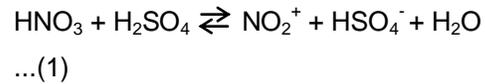


Gambar 2. Spektra FTIR hasil nitrasi biodiesel

Spektrum pada bilangan gelombang 1550,77 cm^{-1} diduga berasal dari vibrasi ikatan antara atom N dengan O dari NO_2 (Suppes dkk., 2001), sementara spektrum pada bilangan gelombang 972,12 cm^{-1} berasal dari *stretching* ikatan C-N (Ewing, 1984), dimana N berasal dari NO_2 dan atom C berasal dari molekul penyusun biodiesel. Berdasarkan data tersebut maka dapat disimpulkan bahwa nitrasi pada biodiesel menghasilkan senyawa baru bergugus nitro dan nitrat.

Pembentukan senyawa bergugus nitro dan nitrat melalui adisi C=C tidak terlepas dari tahapan pembentukan ion nitronium (persamaan reaksi 1), sementara HSO_4^- secara spontan berubah menjadi $\text{SO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$ (persamaan reaksi 2). Selanjutnya ion nitronium sebagai elektrofil bermuatan

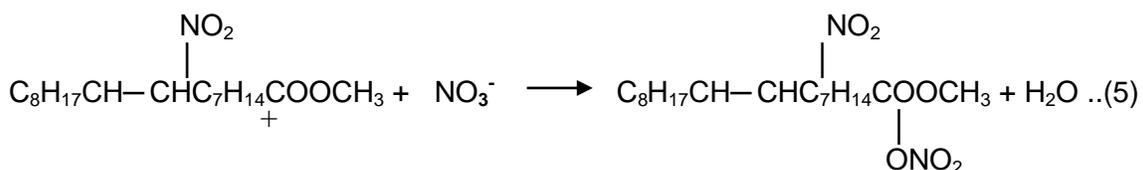
positif siap untuk berinteraksi dengan ikatan rangkap pada C=C yang memiliki karakter bermuatan negatif.



Sementara menurut Lewis dan Modie (1997), HNO_3 sendiri dapat mengalami disosiasi menghasilkan ion NO_2^+ dan NO_3^- .



Dengan demikian tersedia ion bermuatan negatif yang akan berinteraksi dengan karbokation (persamaan reaksi 5) sebagai hasil interaksi ion nitronium dengan salah satu atom karbon ikatan rangkap (persamaan reaksi 4).



Gambar 3. Adisi pada molekul metil oleat (salah satu komponen dalam biodiesel)

Analisis Flash Point dan Angka Setana Minyak Solar

Produk hasil nitrasi juga diukur nilai *flash point* dan angka setananya. Hasil pengukuran untuk masing-masing sampel seperti tertera pada Tabel 1.

Berdasarkan data pada tabel tersebut dapat diketahui bahwa penambahan *cetane improver* yang dihasilkan pada minyak solar tidak berpengaruh pada nilai *flash point*. Sementara berdasarkan nilai angka setana, terlihat bahwa penambahan hasil nitrasi metil ester pada Solar dapat meningkatkan nilai angka setana dari 46,3 menjadi 47,1 dan 48,8 pada penambahan masing-masing sebanyak 0,1 dan 0,5 % (v/v).

Unjuk Kerja pada Kecepatan Putaran 1200 RPM

Parameter unjuk kerja dari formulasi bahan bakar adalah Efisiensi Termal (indikatif). Efisiensi Termal merupakan

daya hasil dari perubahan tekanan akibat pembakaran bahan bakar dibagi dengan kandungan kalori bahan bakar yang masuk mesin. Hasil perhitungan efisiensi termal untuk Solar (tanpa penambahan aditif) dan formulasi S0,25% s/d S1,25% (penambahan aditif 0,25% s/d 1,25% (v/v)), pada waktu injeksi 9 s/d 15°C_A terlihat pada Gambar 4. Efisiensi termal Solar pada putaran 1200 rpm cenderung lebih tinggi dibandingkan formulasi Solar ditambah aditif, kecuali pada formulasi S1,00% dan pada sebagian formulasi S1,25%. Nilai efisiensi termal yang lebih tinggi pada penambahan aditif $\geq 1\%$ diduga sebagai akibat adanya efek pelumasan dari aditif yang ditambahkan, sehingga nilai efisiensi termal yang dihasilkan relatif lebih tinggi daripada Solar murni. Berdasarkan data seperti tertera pada Gambar 4 terlihat bahwa efisiensi termal dapat divariasikan dengan melakukan pengaturan waktu injeksi.

Tabel 1. Hasil pengujian *flash point* dan angka setana dari Solar dan produk nitrasi

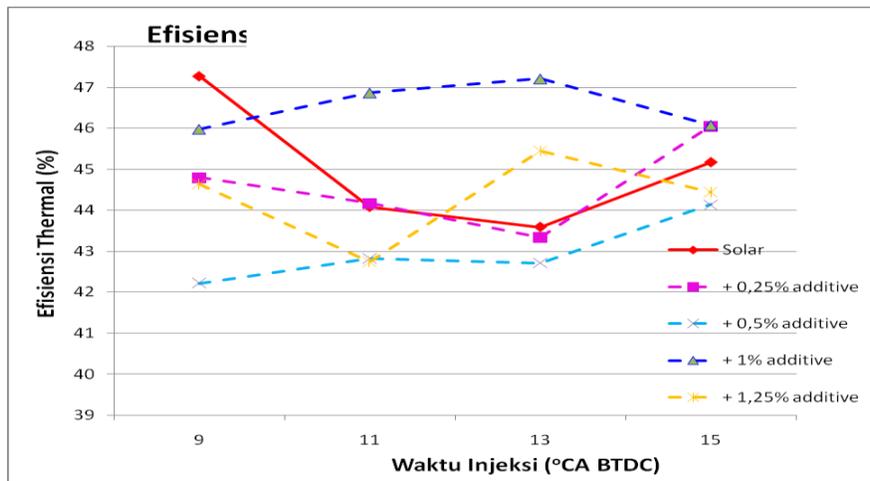
| Penentuan | Satuan | Sampel | | | Metode |
|--------------|--------|--------|---------|---------|------------|
| | | Solar | HNB 0,1 | HNB 0,5 | |
| Flash Point | C | 69 | 69 | 69 | ASTM D 93 |
| Angka Setana | - | 46,3 | 47.1 | 48.8 | ASTM D 613 |

Keterangan:

HNB : Hasil Nitrasi Biodiesel

HNB 0,1 : Campuran HNB 0,1% + Solar 99,9%

HNB 0,5 : Campuran HNB 0,5% + Solar 99,5%



Gambar 4. Efisiensi Termal pembakaran Solar dan berbagai formulasi pada 1200 rpm

Unjuk kerja mesin secara keseluruhan biasanya dinyatakan dalam konsumsi bahan bakar per daya yang dihasilkan oleh poros, yaitu BSFC (*Brake Specific Fuel Consumption*). Nilai BSFC tidak hanya ditentukan oleh unjuk kerja pembakaran namun juga memperhitungkan faktor karena adanya gesekan dan panas yang terbuang melalui dinding silinder mesin. Gambar 5 memperlihatkan hasil pengukuran BSFC untuk bahan bakar Solar (tanpa penambahan aditif) dan Formulasi S0,25% sampai dengan S1,25% (penambahan aditif 0,25 - 1,25%). Secara umum hasil dari Gambar 5 memiliki kesesuaian dengan data yang diperoleh dari hasil pengukuran efisiensi termal dimana unjuk kerja Solar secara umum lebih baik dibandingkan formulasi S0,25% s/d 1,25%. BSFC solar untuk

variasi berbagai waktu injeksi adalah lebih rendah (lebih baik atau lebih hemat) dibandingkan formulasi S0,25% s/d S1,25%.

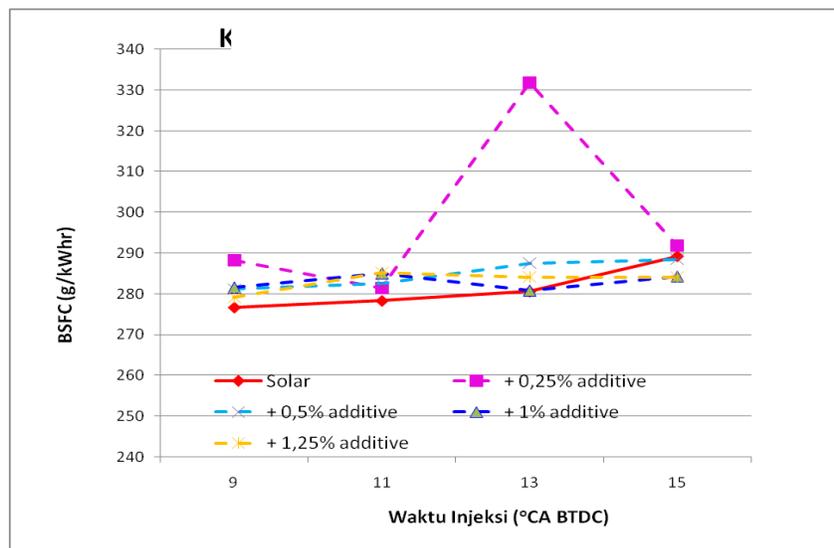
Selanjutnya berdasarkan hasil pengukuran *smoke* pada sepeti tampak pada Gambar 6 dapat diketahui bahwa nilai *smoke* pada pembakaran bahan bakar untuk formulasi S0,25% dan S0,50% lebih rendah dibandingkan Solar, sedangkan pada S1,00% dan S1,25% lebih tinggi. Nilai *smoke* yang lebih rendah diduga sebagai akibat terjadinya proses pembakaran yang lebih sempurna pada bahan bakar, sementara pada nilai *smoke* yang lebih tinggi disebabkan oleh pembakaran yang kurang sempurna dari aditif itu sendiri.

Unjuk Kerja pada Kecepatan Putaran 2200 rpm

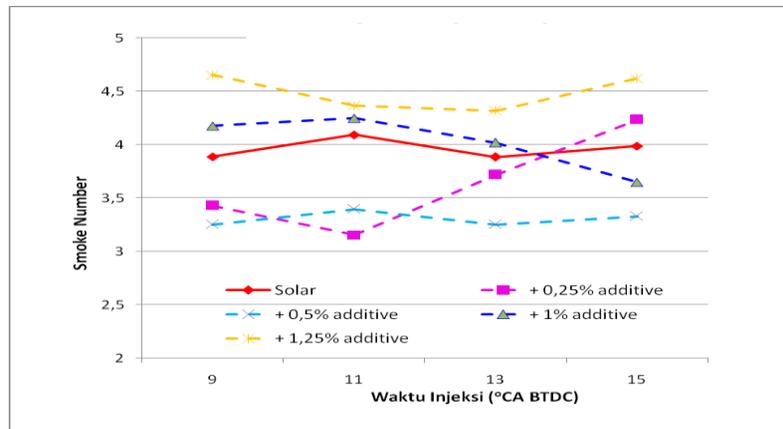
Hasil pengukuran terhadap efisiensi termal pada putaran mesin 2200 rpm terlihat pada Gambar 7. Kecenderungan efisiensi termal yang berbeda terjadi dibandingkan dengan pada putaran 1200 rpm. Pada putaran 2200 rpm secara umum efisiensi termal formulasi S0,25% s/d S1,25% lebih baik (lebih tinggi) dibandingkan dengan efisiensi termal Solar untuk waktu injeksi dari 11 s/d 19°CA BTDC (*Before Top Dead Center*).

Pada waktu injeksi dari 11, 13 dan 15°CA, efisiensi termal formulasi S1,25% lebih tinggi dibandingkan Solar, namun ketika waktu injeksi mencapai 17 dan 19°CA hal yang sebaliknya terjadi dimana efisiensi termal menurun tajam

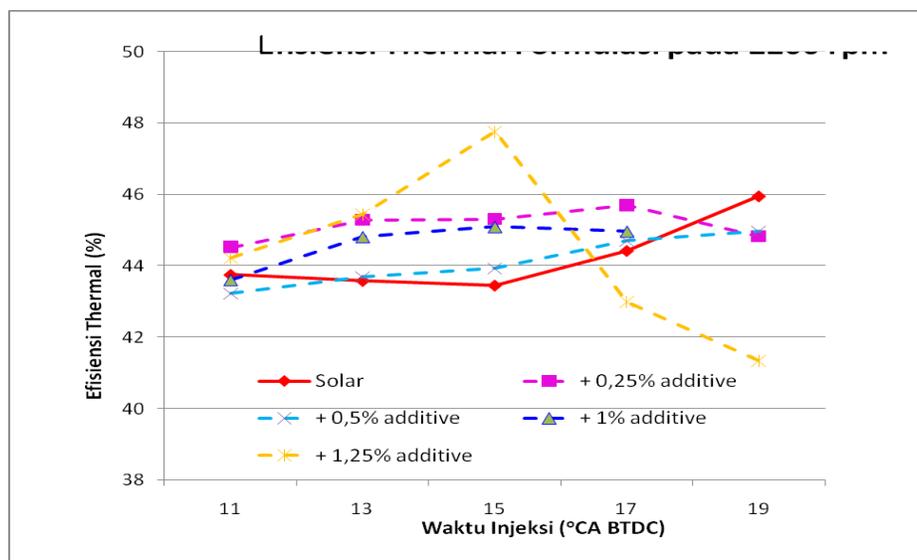
hingga mencapai angka yang lebih rendah dari efisiensi termal Solar. Hasil pengukuran konsumsi bahan bakar spesifik pada Gambar 8 juga bersesuaian dengan hasil pengukuran efisiensi termal, dimana BSFC pembakaran Solar secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan BSFC formulasi S0,25% s/d S1,25%. BSFC terbaik (paling rendah) dicapai oleh formulasi S1,25% pada SIT 15°CA. Sementara itu pada formulasi S0,50% tampak bahwa nilai BSFC pada semua waktu injeksi relatif lebih rendah dengan formulasi Solar.



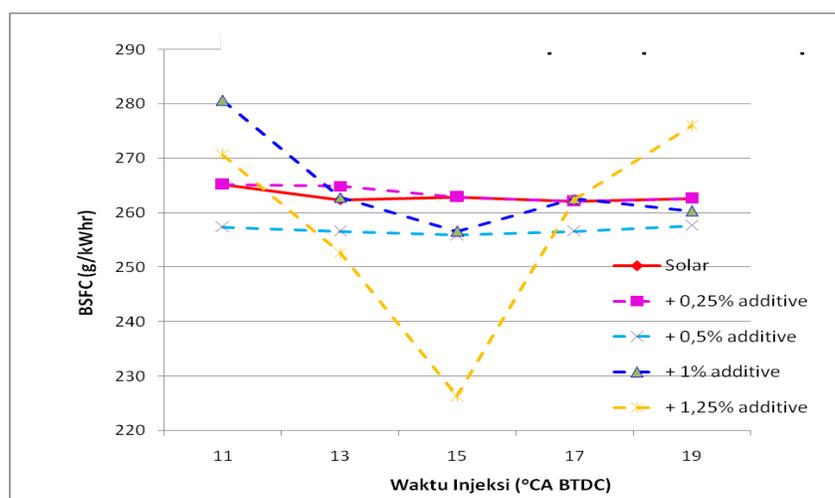
Gambar 5. BSFC dari pembakaran Solar dan berbagai formulasi pada 1200 rpm



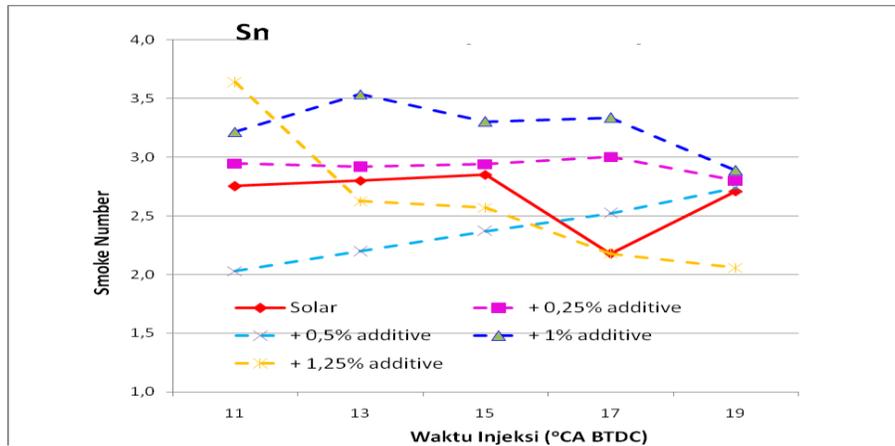
Gambar 6. Smoke dari pembakaran Solar dan berbagai formulasi pada 1200 rpm



Gambar 7. Efisiensi termal pembakaran Solar dan berbagai formulasi pada 2200 rpm



Gambar 8. BSFC dari pembakaran Solar dan berbagai formulasi pada 2200 rpm



Gambar 9. *Smoke* dari pembakaran Solar dan berbagai formulasi pada 2200 rpm

Hasil *smoke* pada Gambar 9 menunjukkan bahwa secara umum kualitas pembakaran pada kecepatan putaran 2200 rpm lebih baik dibandingkan dengan putaran 1200 rpm. Nilai *smoke* pada 2200 rpm berkisar antara 2,0 s/d 3,5 sedangkan nilai *smoke* pada 1200 rpm berkisar antara 3,0 s/d 4,5. Hal ini terjadi pada hampir semua formulasi bahan bakar termasuk Solar dan pada semua rentang waktu injeksi. Penurunan terjadi pada formulasi S1,25% khususnya pada waktu injeksi 13 s/d 19°C dimana nilai *smoke*-nya adalah berkisar antara 2,0 s/d 2,5.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa nilai *smoke* untuk berbagai formulasi termasuk Solar cukup rendah (< 10). Nilai *smoke* pada formulasi S0,50% tampak lebih rendah dari pada nilai *smoke* Solar pada waktu injeksi 11, 13 dan 15 (°C BTDC), sedikit lebih tinggi

pada 17 (°C BTDC) dan relatif sama pada 19 (°C BTDC). Adanya perbedaan nilai *smoke* diantara formulasi diduga disebabkan oleh faktor lingkungan, terutama variasi suhu diantara pengujian berbagai formulasi sehingga menimbulkan fluktuasi pada nilai *smoke*.

Uji Bahan Bakar Secara *Road Test*

Pengujian bahan bakar juga dilakukan dengan cara *road test* menggunakan kendaraan bermotor jenis Truk Mitsubishi HD PS 120 buatan tahun 2005. Pengujian mengambil rute perjalanan Banjarbaru-Binuang (PP) dengan total jarak tempuh 120 km dan kecepatan rata-rata 60-70 km/jam. Bahan bakar yang digunakan berupa campuran Solar + aditif 0,50%, dan sebagai pembanding digunakan Solar saja tanpa tambahan aditif. Tabel 2 merupakan data konsumsi bahan bakar yang digunakan dalam *road test*.

Tabel 2. Hasil pengujian *road test* dengan jarak tempuh 120 km

| No. | Bahan bakar | Konsumsi bahan bakar (L) |
|-----|---------------------|--------------------------|
| 1 | Solar | 11,5 |
| 2 | Solar + Aditif 0,5% | 10,3 |

Berdasarkan data pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa dengan penambahan aditif konsumsi bahan bakar menjadi lebih hemat. Penghematan bahan bakar akibat penambahan aditif adalah sebesar 10,4% (v/v). Selain itu berdasarkan informasi yang disampaikan oleh Sopir yang melakukan pengujian, tarikan mesin terasa lebih ringan dan suara mesin menjadi lebih halus. Dengan demikian penambahan aditif pada bahan bakar solar ini memberikan dampak positif pada sistem pembakaran di mesin.

KESIMPULAN

Nitrasi pada biodiesel minyak Jarak pagar telah berhasil dilakukan dan berdasarkan hasil analisis dengan spektrometer FTIR diketahui bahwa senyawa hasil nitrasi mengandung gugus nitro dan nitrat. Berdasarkan hasil uji dengan mesin diesel/mesin bakar satu silinder dapat diketahui bahwa senyawa aditif yang dihasilkan mampu meningkatkan unjuk kerja (efisiensi termal, BSFC, dan nilai *smoke*) dari mesin diesel berkecepatan 2200 rpm. Penambahan aditif tidak merubah nilai

flash point, sementara pada nilai angka setana terjadi peningkatan. Selain itu, berdasarkan pengujian secara *road test* dapat diketahui bahwa penambahan aditif sebanyak 0,50% (v/v) pada bahan bakar solar mampu memberikan penghematan pada penggunaan minyak solar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan pada:

1. DP₂M DIKTI yang telah memberikan dana penelitian melalui Hibah Penelitian Strategi Nasional Lanjutan Tahun Anggaran 2010 sehingga penelitian ini dapat terlaksana.
2. Saudari Erlan dan Etri (Mahasiswa Kimia FMIPA Unlam) sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar.

DAFTAR PUSTAKA

- Canoira, L., Alcántara, R., Torcal, S., Tsiouvaras, N., Lois, E., dan Korres, D.M., 2006, *Nitration of biodiesel of Waste Oil: Nitrated Biodiesel as a Cetane Number Enhancer*, Department of Chemical Engineering and Fuels, School of Mines, Technical University of Madrid.
- Carmen, M.C., 1998, *Fuel Additives Derived from Soybean Oil*, Final Report National Biodiesel Board, Jefferson City, Missouri.
- Chung, K.H., Kim, J. dan Lee, K.Y., 2009, Biodiesel Production by Transesterification of Duck Tallow with Methanol on Alkali Catalysts, *Biomass and Bioenergy*, 33, 155-158.
- Demirbas, A., 2009, Potensial Resources of Non-edible Oils for Biodiesel, *Energy Sources – Part B*, 4, 310-314.
- Ewing, G.W., 1984, *Instrumental Methods of Chemical Analysis*. Fifth Edition, Mc Graw-Hill. Inc, Singapore.
- Hamamci, C., Saydut, A., Tonbul, Y., Kaya, C. dan Kafadar, A.B., 2011, Biodiesel Production via Transesterification from Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Seed Oil, *Energy Sources - Part A*, 33, 512-520.
- Lewis, R.J. dan Modie, R.B., 1997, The Nitration of Styrenes by Nitric Acid in Dichlorometane, *J. Chem. Soc. Perkin Trans*, 2, 563-567.
- Mittelbach, M. dan Remschmidt, C., 2004. *Biodiesel: The Comprehensive Handbook*. Edisi ke-1. Boersedruck Ges. M.b.H. Graz.
- Nasikin, M., Arbianti, R., dan Azis, A., 2002, Aditif Peningkat Angka Setana Bahan Bakar Solar yang Disintesis dari Minyak Kelapa, *Jurnal Makara Teknologi*, Volume 6, Nomor 2, Teknik Kimia, UI, Jakarta.
- Oozcanlu, M., Keskin, A. dan Aydiin, K., 2011, Biodiesel Production from Terebinth (*Pistacia Terebinthus*) Oil and Its Usage in Diesel Engine, *International Journal of Green Energy*, 8, 518-528.
- Pavia, D.L., Lampman, G.M., Kriz, G.S. dan Vyvyan, J.R., 2009, *Introduction to Spectroscopy*, Edisi 4, Brooks/Cole Cengage Learning, Australia.
- Silverstein, R.M. dan Webster, F.X., 1998, *Spectrometric Identifications of Organic Compound*, Sixth edition, Wiley.
- Suppes, G. J., Tshung, T. T., Mason, M. H., dan Heppert, J. A., 1999, *Multifunctional Diesel Treatment Additive From Vegetable Oils*, Department of Chemical & Petroleum Engineering, The University of Kansas.
- Suppes, G.J dan Dasari, M.A., 2003, Synthesis and Evaluation of Alkyl Nitrates from Triglycerides as Cetane Improvers, *Ind. Eng. Chem. Res.* 42, 5042-5053.
- Suppes, G.J., Heppert, J.A. dan Mason, M.H.J.R., 2001, Process for Production Cetane Improver From Triglycerides, *United States Patent Application Publication.*, 2001/0037598 A1.
- Vyas, A.P., Jaswant, L., Verma, N dan Subrahmanyam, 2010, A review on FAME processes, *Fuel*, Volume 89, Page 1-9.