

PIROLISIS MINYAK SAWIT DALAM RANGKA PEMBUATAN *CETANE IMPROVER*

Pyrolysis of Palm Oil in Order to Produce Cetane Improver

Abdullah *, Uripto Trisno Santoso, Ahmad Budi Junaidi

Program Studi Kimia, FMIPA, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. Jendral A. Yani Km 36, Banjarbaru, Indonesia

*Penulis koresponden: abdullahunlam@gmail.com

Abstract

Cetane improver is an additive in diesel oil. The addition of these additives is needed to improve the quality of combustion. Diesel oil with good combustion quality has a positive impact on the environment and is efficient in its use. During this time, cetane improver was made by nitration on 2-ethyl hexanol compound to get 2-ethyl hexyl nitrate (2-EHN) compound which is an active compound in cetane improver. 2-ethyl hexanol compound is obtained as petroleum derivatives, so they are classified as non-renewable raw materials. In recent years the manufacture of cetane improver has been carried out using vegetable oil as raw material. The performance of the cetane improver produced is not as good as the cetane improver 2-EHN because the size of the molecular weight of the raw material used is still relatively high. In this study, the molecular weight of vegetable oil was reduced by pyrolysis. The results of the analysis with GC-MS showed that the product of pyrolysis (bio-oil) has a lower molecular weight. Furthermore, bio-oil is distilled to separate high and low molecular weight compounds. High molecular weight compounds are left behind as residues, while low molecular weight compounds are distillates. The nitration reaction was carried out on bio-oil distillate using a mixture of nitric acid and sulfuric acid as a nitrating agent. Based on the results of the analysis using FTIR it can be seen that the chemical compound in bio-oil distillate has been successfully nitrated which is shown by the appearance of absorption in the wave number area 1558.48 cm^{-1} . Producing cetane improver in this strategy is an interesting new method to be developed in the future.

Keywords: bio-oil, cetane improver, pyrolysis

1. PENDAHULUAN

Sektor energi memegang peranan penting dalam segala aspek kehidupan dan sangat diperlukan untuk menggerakkan roda pembangunan. Aktivitas yang tinggi dalam kehidupan dan pembangunan tentu saja memerlukan suplai energi yang banyak. Salah satu sumber energi yang banyak digunakan saat ini adalah minyak bumi. Sumber energi ini semakin lama akan habis karena kebutuhan yang terus meningkat, sementara cadangannya tidak bertambah.

Kondisi demikian ini dialami oleh negara Indonesia. Oleh karena itu, melalui pemerintah mengeluarkan kebijakan energi nasional yang menargetkan penggunaan *biofuel* sebanyak 5% pada tahun 2025. Kebijakan pemerintah ini dimaksudkan untuk penghematan bahan bakar yang berasal dari minyak bumi. Penggunaan *biofuel* juga berdampak positif pada lingkungan, karena kandungan materi pencemar (partikulat, CO, hidrokarbon, NO_x, dan SO_x) dari gas hasil pembakarannya yang rendah.

Selain menggunakan *biofuel*, penghematan bahan bakar dan penurunan emisi gas buang juga dapat dilakukan dengan menambahkan suatu zat

aditif pada bahan bakar minyak (Amsoil 2011; Zheng *et al.* 2015; Alpaslan 2016). Zat aditif yang ditambahkan akan dapat meningkatkan kualitas pembakaran, sehingga konsumsi bahan bakar dapat dihemat dan kadar pencemar emisi gas dapat ditekan. Oleh karena itu banyak peneliti telah mengkaji pembuatan zat aditif melalui berbagai metode.

Pada minyak diesel, peningkatan kualitas bahan bakar dapat diperkirakan melalui nilai angka setananya. Oleh karena itu, zat aditif yang digunakan dalam peningkatan kualitas minyak diesel sering disebut sebagai *cetane improver*. Saat ini telah banyak beredar produk *cetane improver*, dimana kandungan utamanya adalah senyawa 2-Etil Heksil Nitrat (2-EHN). Kemampuan sebagai *cetane improver* dari senyawa 2-EHN telah terbukti, yaitu hanya dengan menambahkan sebanyak 0,1% saja sudah mampu meningkatkan angka setana 9-10 satuan (Ileri 2016). Namun demikian, senyawa 2-EHN bersifat *non renewable* (Rabello *et al.* 2009).

Sejak tahun 2001, beberapa peneliti mencoba untuk membuat *cetane improver* dengan bahan baku trigliserida. Pemilihan trigliserida sebagai bahan baku karena sifatnya yang *renewable* dan ketersediaannya melimpah. Pada pembuatan

cetane improver, mula-mula minyak nabati terlebih dahulu diesterkan dengan cara transesterifikasi, kemudian dinitrasi dengan berbagai metode sintesis (Suppes *et al.* 2001; Nasikin *et al.* 2002; Cainora *et al.* 2007, Rabello *et al.* 2009; Abdullah *et al.* 2010, 2012; 2013; 2014). *Cetane improver* yang dihasilkan oleh para peneliti terbukti mampu meningkatkan angka setana minyak diesel sekitar 0,5 - 7 satuan setelah ditambah aditif 0,05 – 2,5 (% v/v).

Kualitas *cetane improver* yang telah dihasilkan oleh para peneliti tentu saja tidak terlepas dari cara pembuatannya. Konversi trigliserida menjadi ester pada pembuatan *cetane improver* pada prinsipnya adalah untuk menurunkan berat molekulnya. Berat molekul trigliserida yang semula 850-870 g/mol menjadi 270-280 g/mol setelah berubah menjadi ester asam lemak. Namun jika dicermati, ukuran molekul yang dihasilkan masih jauh lebih besar jika dibandingkan dengan molekul 2-etil heksanol (BM = 130 g/mol), sebagai reaktan dalam pembuatan 2- EHN. Dengan kata lain bahwa ukuran molekul ester asam lemak sekitar 2 kali ukuran molekul 2-etil heksanol. Oleh karena itu perlu upaya penurunan molekul sebelum melakukan proses nitration.

Proses penurunan ukuran molekul trigliserida dapat juga dilakukan dengan cara pirolisis menggunakan katalis. Zeolit merupakan katalis yang biasa digunakan dalam proses perengkahan (Shimada *et al.* 2015; Emori *et al.* 2017). Dengan cara pirolisis, trigliserida akan terkonversi menjadi *bio-oil* yang memiliki ukuran molekul lebih rendah daripada molekul ester asam lemak. Sehingga diharapkan dapat berperan sebagai bahan baku yang lebih baik dalam pembuatan *cetane improver*. *Bio-oil* yang dihasilkan mengandung senyawa alkana dan alkena sebagai komponen utama (Lima *et al.* 2004; Santos *et al.* 2010). Alkena yang terdapat pada *bio-oil* dapat mengalami reaksi nitration pada ikatan rangkapnya, sehingga hasil nitration pada senyawa alkena berupa senyawa baru bergugus nitrat (-NO₃) dan nitro (-NO₂) yang merupakan komponen aktif pada suatu *cetane improver* (Phasorn *et al.* 2003).

2. METODE

2.1 Aktivasi Katalis Zeolit

Zeolit alam dicuci menggunakan akuades. Selanjutnya zeolit direfluks dalam larutan HCl 1 M. Zeolit yang telah direfluks kemudian dicuci dengan menggunakan akuades hingga pH air cucian netral. Jika pH air cucian telah netral, selanjutnya zeolit

dipanaskan dengan menggunakan *furnace*. Katalis hasil aktivasi (KZ-HCl-1) selanjutnya dikarakterisasi

2.2 Pirolisis Minyak Sawit Menggunakan Katalis Zeolit

Minyak sawit dan katalis zeolit dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis. Reaktor ditutup rapat, kemudian dipanasi dengan lampu bunsen. *Bio-oil* yang dihasilkan ditampung dalam Erlenmeyer dan ditambahkan Na₂SO₄, kemudian disaring menggunakan kertas saring. *Bio-oil* selanjutnya siap dikarakterisasi

2.3 Nitration Pada Distilat Bio-Oil

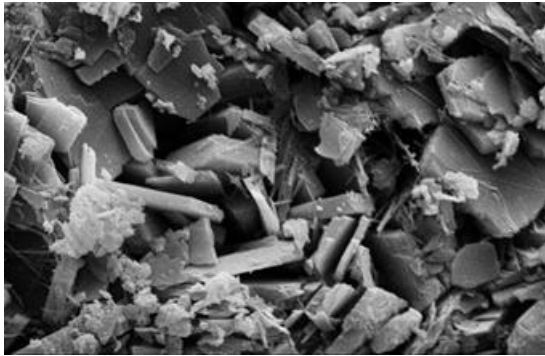
Larutan HNO₃ dimasukkan ke dalam labu alas bulat leher 3 dan diikuti dengan penambahan larutan H₂SO₄. Selanjutnya pengaduk magnet dijalankan secara perlahan. Distilat *bio-oil* kemudian ditambahkan dan proses nitration berlangsung. Hasil nitration dimasukkan ke dalam corong pisah yang berisi air. Campuran didiamkan selama beberapa menit dan diekstraksi dengan menggunakan dietil eter. Lapisan pada bagian bawah dibuang dan lapisan atas dicuci dengan air beberapa kali hingga pH air cucian netral.

Jika pH air cucian telah netral, selanjutnya larutan dietil eter ditambahkan lagi. Lapisan dietil eter tersebut dimasukkan ke dalam Erlenmeyer yang telah berisi Na₂SO₄ dan ditutup rapat selama ±24 jam. Setelah ±24 jam, campuran disaring dan produk nitration dapat dikarakterisasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Katalis KZ-HCl-1 dan Pirolisis Minyak Sawit

Hasil analisis SEM yang terdapat pada Gambar 1 menunjukkan bahwa katalis KZ-HCl-1 cenderung seragam dan memiliki pori-pori yang terbuka. Berdasarkan hasil perhitungan dapat diketahui bahwa luas pori rata-rata dan diameter pori rata-rata pada katalis KZ-HCl-1 sebesar 8,466 nm² dan 3,284 nm. Aktivasi katalis zeolit berpengaruh pada perubahan luas pori dan diameter pori. Aktivasi zeolit dengan menggunakan larutan HCl 1 M menyebabkan proses dealuminasi dan dealkalinasi. Dealuminasi dan dealkalinasi ini terjadi karena HCl bereaksi dengan alumina membentuk AlCl₃ dan MCl_n, yaitu keluarnya Al dan kation-kation (Mn⁺) dalam zeolit (Ozkan & Ulku 2005).



Gambar 1. Penampang permukaan katalis KZ-HCl-1

Bio-oil yang dihasilkan melalui proses pirolisis minyak sawit menggunakan katalis KZ-HCl-1 memiliki *yield* sebesar 66,4 %v/v dan nilai kalor sebesar 9162,88 kal/g. *Yield* yang dihasilkan dari proses pirolisis ini cukup tinggi. Hal ini dikarenakan zeolit memiliki kemampuan yang baik dalam mengkatalisis proses pirolisis. Kemampuan yang baik dari katalis KZ-HCl-1 dalam proses pirolisis dikarenakan terdapatnya situs-situs aktif sebagai akibat dari aktivasi menggunakan larutan HCl 1 M. Selain *yield*, nilai kalor yang dimiliki *bio-oil* juga cukup tinggi. Tingginya nilai kalor ini dapat disebabkan karena masih terdapatnya asam lemak rantai panjang (Lujaji *et al.* 2010). Selain *yield* dan nilai kalor, *bio-oil* yang dihasilkan juga dikarakterisasi untuk mengetahui berat jenis, bilangan asam, dan viskositasnya. Hasil analisis mengenai berat jenis, bilangan asam, dan viskositas disajikan pada Tabel 1.

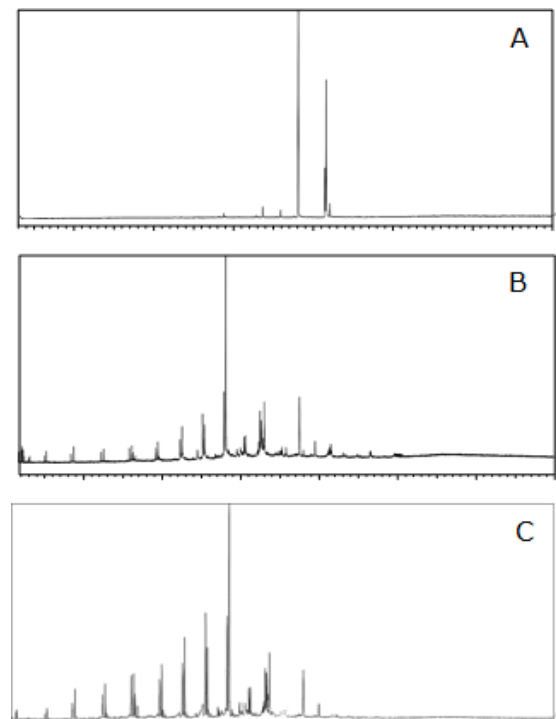
Tabel 1. Karakteristik *Bio-Oil*

Karakteristik	Parameter SNI 7182-2012	Hasil Analisis
Berat jenis (g/mL)	0,850 – 0,90	0,849
Bilangan asam (mg KOH/g sampel)	Maks. 0,6	44,9
Viskositas (cSt)	2,3 – 6,0	5,2

Menurut Wibowo dan Hendra (2015) berat jenis menunjukkan presentasi berat molekul suatu senyawa dalam suatu larutan. Jika berat jenis bahan bakar tinggi maka berat molekul senyawa yang terkandung juga tinggi. Data yang tertera pada Tabel 1 menunjukkan bahwa berat jenis *bio-oil* sebesar 0,849 g/mL. Berat jenis yang dihasilkan relatif sama jika dibandingkan dengan parameter yang ada.

Bilangan asam yang didapat dari proses pirolisis menggunakan katalis KZ-HCl-1 memiliki nilai yang tinggi jika dibandingkan dengan

parameter yang ada. Hal ini dikarenakan *bio-oil* masih mengandung asam- asam organik (Sukiran, 2008). Meskipun bilangan asam *bio-oil* pada hasil penelitian ini tinggi, namun perlu diketahui bahwa *bio-oil* pada penelitian ini akan digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan *cetane improver*. *Cetane improver* yang ditambahkan dalam minyak diesel jumlahnya kecil, yaitu hanya 0,1- 0,5%. Dengan demikian dampak penambahan *cetane improver* tidak banyak berpengaruh terhadap bilangan asam minyak diesel. Selain itu, *bio-oil* memiliki nilai viskositas sebesar 5,2 cSt yang mana nilai ini masih berada dalam rentang standar parameter yang digunakan. Dengan demikian dapat diharapkan *bio-oil* yang dihasilkan dalam penelitian ini memiliki kesesuaian viskositas dengan minyak diesel.



Gambar 2. Kromatogram GC Minyak Sawit (A), *Bio-Oil* (B), dan Distilat *Bio-Oil* (C)

Gambar 2 menunjukkan kromatogram GC dari minyak sawit, *bio-oil*, dan distilat *bio-oil*. Berdasarkan kromatogram tersebut dapat dilihat bahwa adanya perbedaan jumlah puncak pada setiap sampel, yaitu 7 puncak pada minyak sawit (Gambar 2.A) dengan rentang waktu retensi antara 28,825 sampai 42,120 menit. Sedangkan pada kromatogram sampel *bio-oil* (Gambar 2.B) terdapat 56 puncak dengan rentang waktu retensi 1,851 sampai 46,717 menit.

Data hasil karakterisasi MS menunjukkan bahwa minyak sawit mengandung asam lemak tak

jenuh sebesar 43,12% yang terdiri dari asam oleat dan asam linoleat. Sedangkan asam lemak jenuh yang terkandung dalam minyak sawit berupa asam laurat, asam miristat, asam palmitat, dan asam stearat dengan total sebesar 56,88%. Berat molekul senyawa yang terdapat pada minyak sawit berada pada rentang 214 – 298 g/mol. Berat molekul tersebut masih tinggi jika dibandingkan dengan 2-etil heksanol (BM = 130 g/mol) yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan 2-EHN. Senyawa 2-EHN ini merupakan zat aktif dalam *cetane improver* yang banyak beredar di pasaran. Berdasarkan hal tersebut, maka minyak sawit perlu mengalami proses pirolisis agar memiliki berat molekul yang lebih rendah.

Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan GC-MS dapat diketahui bahwa senyawa yang terdapat pada *bio-oil* hasil pirolisis minyak sawit memiliki rata-rata waktu retensi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan minyak sawit. Selain itu, total puncak pada *bio-oil* jauh lebih banyak jika dibandingkan dengan minyak sawit. Hal ini menunjukkan bahwa proses pirolisis minyak sawit telah menghasilkan senyawa baru dengan jumlah yang lebih banyak dan berat molekul yang lebih rendah.

Bio-oil selanjutnya didistilasi untuk memisahkan senyawa yang memiliki berat molekul tinggi dengan yang rendah. Senyawa dengan berat molekul tinggi tertinggal sebagai residu, sedangkan senyawa dengan berat molekul rendah sebagai distilat. Distilat inilah yang nantinya akan digunakan sebagai bahan baku pada pembuatan *cetane improver*. Distilat *bio-oil* selanjutnya dikarakterisasi menggunakan GC-MS untuk mengetahui jumlah dan kandungan senyawanya. Berdasarkan Gambar 2.C dapat diketahui bahwa pada distilat *bio-oil* terdapat 46 puncak dengan rentang waktu retensi 2,430 hingga 40,619 menit. Jika dibandingkan dengan Gambar 2.B, dapat diketahui bahwa senyawa penyusun distilat *bio-oil* (Gambar 2.C) lebih sedikit dan memiliki berat molekul yang lebih rendah jika dibandingkan dengan *bio-oil*. Hal ini ditandai dengan semakin banyaknya senyawa yang memiliki waktu retensi lebih rendah.

Berdasarkan hasil karakterisasi menggunakan MS yang dirangkum pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa distilat *bio-oil* mengandung senyawaan alkana (49,39%), alkena (43,82%), dan alkuna (1,94%) dengan total hidrokarbon sebesar 95,15%. Selain mengandung senyawa-senyawa hidrokarbon, distilat *bio-oil* juga mengandung senyawa golongan keton (4,65%) dan alkohol (0,21%). Berat molekul distilat *bio-oil* pada penelitian ini, yaitu sebesar 48 – 268 g/mol. Berat molekul tersebut lebih rendah jika

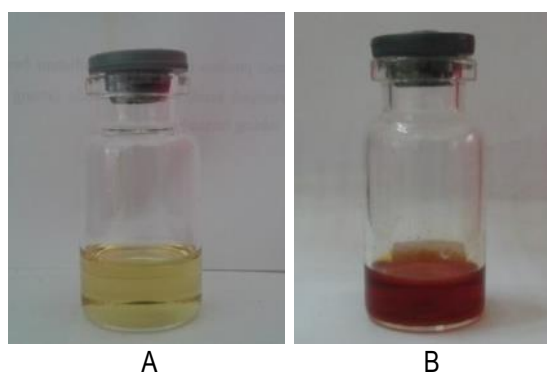
dibandingkan dengan berat molekul pada *bio-oil*, yaitu 58 – 396 g/mol.

Tabel 2. Beberapa hasil MS beserta dugaan senyawa dari distilat *bio-oil*

Rumus molekul	Dugaan senyawa	Jumlah (%)
C ₉ H ₂₀	Nonana	1,65
C ₁₀ H ₂₂	Dekana	1,92
C ₁₁ H ₂₂	1-undekena	4,05
C ₁₁ H ₂₂	4-undekena	1,38
C ₁₁ H ₂₄	Undekana	2,46
C ₁₂ H ₂₄	1-dodekena	14,55
C ₁₂ H ₂₆	Dodekana	7,71
C ₁₃ H ₂₈	Tridekana	7,02
C ₁₄ H ₂₈	1-tetradekena	14,53
C ₁₅ H ₃₂	4,8-dimetiltridekana	21,52
C ₁₆ H ₃₀	7-heksadecyne	1,14
C ₁₆ H ₃₂	1-heksadekena	1,92
C ₁₆ H ₃₄	Heksadekana	5,05
C ₁₇ H ₃₄	1-heptadekena	3,37
C ₁₇ H ₃₄ O	2-heptadekanon	3,46

3.2 Nitrasi Disilat Bio-Oil

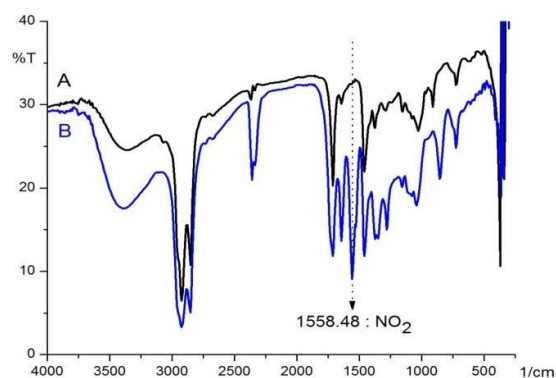
Reaksi nitrasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan agen penitrasi asam nitrat (HNO₃) dan asam sulfat (H₂SO₄) seperti yang telah dilakukan oleh Nasikin dkk., (2002); Abdullah *et al.* (2010); serta Cahyono dan Tjahjani (2014). Campuran agen penitrasi ini nantinya akan membentuk ion nitronium (⁺NO₂) yang dapat bertindak sebagai elektrofil dalam proses nitrasi. Distilat *bio-oil* dan hasil nitrasinya ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Distilat *bio-oil* (A) dan produk nitrasi (B)

Setelah mengalami proses nitrasi, secara fisik dapat diketahui bahwa distilat *bio-oil* mengalami perubahan warna dari kuning (sebelum mengalami reaksi nitrasi) menjadi coklat (setelah mengalami reaksi nitrasi) seperti yang ditunjukkan pada Gambar

3. Adanya perubahan warna tersebut dapat terjadi karena adanya interaksi antara campuran agen penitrasi (HNO_3 dan H_2SO_4) terhadap distilat *bio-oil*. Produk nitration yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi baru yang terdapat pada produk nitration. Adanya gugus baru pada produk nitration ditunjukkan pada spektra FTIR yang terdapat pada Gambar 4.B.



Gambar 4. Spektra FTIR distilat *bio-oil* (A) dan produk nitration (B)

Berdasarkan Gambar 4.A dapat diketahui bahwa serapan inframerah distilat *bio-oil* pada bilangan gelombang $3348,42\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus $-\text{OH}$ (gugus hidroksil). Serapan pada bilangan gelombang $1712,79\text{ cm}^{-1}$ berasal dari gugus $\text{C}=\text{O}$ keton, sedangkan pada $1643,35\text{ cm}^{-1}$ berasal dari gugus $\text{C}=\text{C}$. Serapan lainnya berada pada bilangan gelombang $2924,09$ dan $2854,65\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus CH sp^3 . Sedangkan pada produk nitration pada Gambar 4.B memperlihatkan adanya bilangan gelombang yang tidak terdapat pada spektra distilat *bio-oil*, yaitu pada $1558,48\text{ cm}^{-1}$. Berdasarkan literatur dapat diketahui bahwa keberadaan gugus $-\text{NO}_2$ ditandai dengan adanya serapan pada bilangan gelombang $1500 - 1650\text{ cm}^{-1}$ (Day & Underwood, 2002; Mohan, 2004). Berdasarkan informasi tersebut dapat diduga bahwa produk nitration *bio-oil* yang dihasilkan mengandung gugus $-\text{NO}_2$ pada bilangan gelombang $1558,48\text{ cm}^{-1}$.

4. SIMPULAN

Berat molekul *bio-oil* $58 - 396\text{ g/mol}$ dan mengalami penurunan menjadi $48 - 268\text{ g/mol}$ setelah mengalami proses distilasi. Hasil analisis GC-MS pada distilat *bio-oil* menunjukkan bahwa total senyawa alkena sebesar $43,82\%$. Nitration pada

senyawa alkena menghasilkan senyawa baru bergugus nitro ($-\text{NO}_2$) dan senyawa baru tersebut berpotensi sebagai *cetane improver*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat. Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan. Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dana untuk penelitian sesuai dengan kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2018.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Wicakso D, Junaidi AB. 2010. Production of cetane improver from *Jathropa curcas* oil. *Indonesian Journal of Chemistry* 10(3):396-400.
- Abdullah, Triyono, Wega T, Winarto H. 2012. Kinetics study on nitration of methyl ricinoleate. *Indonesian Journal of Chemistry* 12(2):126-130
- Abdullah, Triyono, Wega T, Winarto H. 2013. The optimum reaction time, activation energy and frequency factor of methyl ricinoleate nitration. *Indo J. Chem* 13(1):36-40.
- Abdullah, Triyono, Wega T, Winarto H. 2014. *Kinetika Nitration Metil Risinoleat, Karakterisasi dan Uji Produk Sebagai Zat Aditif Peningkat Indeks Setana*. Disertasi. (Tidak Dipublikasi). FMIPA-UGM, Yogyakarta.
- Alpaslan A. 2016. Effects of a cetane improver on fuel properties and engine characteristics of a diesel engine fueled with the blends of diesel, hazelnut oil and higher carbon alcohol. *Fuel* 172:209-217.
- Amsoil. 2011. *Cetane Boost Additive for Diesel Engines*. MSDS- Anzi Z400.1-2004. United States, Canada.
- Cahyono E, Tjahjani S. 2014. Pengaruh penambahan aditif alkil nitrat yang disintesis dari biodiesel minyak biji kapuk (*Ceiba pentandra*) terhadap kenaikan angka setana solar. *UNESA Journal Of Chemistry* 3(1).
- Canoira L, Alcantara L, Torcal S, Tsiovaras N, Lois E, Korres DM. 2007. Nitration of biodiesel of waste oil: nitrated biodiesel as a cetane number enhancer. *Fuel* 86:965-971.
- Day RA, Underwood AL. 2002. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Erlangga, Jakarta.
- Emori EY, Hirashima FH, Zandonai CH, Ortiz-Bravo CC, Fernandes-Machado NRC, Olsen-Scalante MHN. 2017. Catalytic cracking of soybean oil using ZSM5 zeolite. *Catalysis Today*. 279(2):168-176.
- Ileri E. 2016. Experimental study of 2-ethylhexil nitrate effect on engine performance and exhaust emission of a diesel engine fueled with n-bitanol or 1-pentanol diesel- sunflower oil blends. *Energy Conversion and Management* 118:320-330.
- Lima DG, Soares VCD, Ribeiro EB, Carvalho DA, Cardoso ECV, Rassi FC, Mundim KC, Rubim JC,

- Suarez PA. 2004. Diesel like fuel obtained by pyrolysis of vegetable oils. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 71:987.
- Lujaji F, Bereczky A, Novak CS, Mbarawa M. 2010. Cetane number and thermal properties of croton oils, biodiesel, 1- butanol, and diesel blend. In: *Proceedings of the world congress of engineering London Volume III*.
- Mohan J. 2004. *Organic Spectroscopy: Principles and Applications*. CRC Press, India.
- Nasikin M, Arbianti R, Aziz A. 2002. Aditif peningkat angka setana bahan bakar solar yang disintesis dari minyak kelapa. *Makara Teknologi* 6:82-88.
- Ozkan FC, Ulku S. 2008. Diffusion mechanism of water vapour in a zeolitic tuff rich in clinoptilolite. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 94:699-702.
- Phasorn M, Pengprecha S, Hoven PV. 2003. *Synthesis of Dinitrate Compounds from Coconut Oil as Cetane Improver*. Thesis (Unpublished). Chulalongkorn University, Bangkok.
- Rabello, Klootz CR, Siqueira, Galvao B, De Menezes, Bazerra R. 2009. Method for production of cetane-index improvement additive for diesel oil. *European Patent Application* EP2050810.
- Santos ALF, Martins DU, Iha OK, Ribeiro RAM, Quirino RL, Suarez PAZ. 2010. *Bioresour. Technol* 101:6157.
- Shimada I, Imai R, Hayashi Y, Fukunaga H, Takahashi N, Takatsuka T. 2015. Increasing octane value in catalytic cracking of n-hexadecane with addition of *BEA type zeolite. *Catalysts* 5:703-771.
- Sukiran MAB. 2008. *Pyrolysis Of Empty Oil Palm Fruit Bunches using The Quartz Fluidised- Fixed Bed Reactor*. Dissertation (Unpublished). University of Malaya.
- Suppes GJ, Heppert JA, Mason MHJR. 2001. Process for production cetane improver from triglycerides. *United States Patent Application Publication* 2001/0037598 A1.
- Wibowo S, Hendra D. 2015. *Teknik Pengolahan Bio-Oil dari Biomassa*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan Badan Penelitian, Pengembangan dan Inovasi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Bogor.
- Zheng Z, Joshi U, Henein N, Sattler E. 2015. Effect of cetane improver on combustion and emission characteristics of coal-derived sasol isomerized paraffinic kerosene in a single cylinder diesel engine. *J. Eng. Gas Turbines Power* 137(7):071506.
-