

OPTIMASI REAKSI PERENKAHAN MINYAK JELANTAH MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT/NIKEL

Andrianus^{1*}, Imelda H.Silalahi¹, Endah Sayekti¹, Aladin Sianipar²

¹Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura, Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi

²Pusat Survey Geologi, Bandung, Indonesia

*email: andrianus80@yahoo.com

ABSTRAK

Optimasi reaksi perengkahan katalitik minyak jelantah dengan sistem batch menggunakan katalis zeolit/nikel melalui variasi rasio katalis/umpan telah dilakukan. Zeolit alam hasil preparasi terlebih dahulu dimodifikasi melalui proses demineralisasi, dealuminasi, dan aktivasi yang dilanjutkan dengan impregnasi zeolit alam dengan NiCl_2 0,4 M. Penentuan rasio optimal didasarkan pada produk perengkahan minyak jelantah dengan variasi katalis/umpan 10:30 w/w, 10:40 w/w, dan 10:50 w/w. Produk perengkahan adalah berupa cairan berwarna kuning muda, berbau menyengat dengan densitas dan viskositas kinematik ($\pm 32^\circ\text{C}$) setiap rasio katalis/umpan berturut-turut sebesar 0,7950 g/mL dan 2,6 cSt ; 0,7905 g/mL dan 2,315 cSt, serta 0,8057 g/mL dan 2,927 cSt. Analisis GC-MS menunjukkan bahwa komposisi produk perengkahan masing-masing katalis/umpan didominasi oleh senyawa hidrokarbon fraksi C_9 - C_{15} . Konversi optimal ditunjukkan oleh produk perengkahan katalis/umpan 10:40 w/w dengan komposisi senyawa pentadekana ($\text{C}_{15}\text{H}_{32}$) sebesar 44,60 % dan senyawa nonana (C_9H_{20}) sebesar 4,47 % .

Kata kunci: zeolit, perengkahan, katalis, nikel

PENDAHULUAN

Reaksi perengkahan berkatalis merupakan suatu cara untuk memecah hidrokarbon kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana sehingga dapat meningkatkan kualitas dan juga dapat menurunkan jumlah residu yang dihasilkan. Salah satu proses katalitik perengkahan ialah dengan menggunakan katalis berupa zeolit (Fatimah, 2002; Buchori dan Widayat, 2009). Zeolit merupakan kristal aluminosilikat tiga dimensi. Adanya bentuk, rongga, dan pori yang spesifik menjadikan zeolit sebagai material multiguna yang dapat dimanfaatkan sebagai katalis pada industri kimia, penapis molekuler, penukar ion (anion maupun kation), adsorben, dan sebagai media pengemban (Wijaya, 2002).

Penggunaan zeolit alam murni sebagai katalis memerlukan pengolahan dan modifikasi untuk meningkatkan aktivitas katalis. Fabiani (2011), telah melakukan modifikasi zeolit alam menggunakan variasi aktivator NH_4F , NH_4NO_3 , dan NH_4Cl dimana aktivator NH_4Cl lebih efektif mengaktivasi zeolit alam. Penelitian yang dilakukan oleh Buchory dan Widayat (2009) dalam reaksi perengkahan minyak jelantah menggunakan katalis zeolit alam aktif menunjukkan komposisi senyawa produk perengkahan yang dihasilkan ialah senyawa dengan komponen C_{12} - C_{20} yang menyerupai komposisi senyawa bahan bakar solar (C_{10} - C_{20}). Sedangkan Septiansyah (2011), dengan pengembanan logam nikel kedalam zeolit alam

(zeolit/nikel) menunjukkan bahwa produk hasil perengkahan terhadap minyak jelantah mengandung senyawa dengan komponen C_8 - C_9 yang menyerupai komposisi senyawa penyusun bahan bakar bensin (C_7 - C_9), namun hasil yang diperoleh masih belum maksimal.

Beberapa faktor yang diketahui dapat mempengaruhi reaksi perengkahan katalitik selain jenis katalis dan temperatur reaksi ialah rasio antara katalis dengan umpan atau lebih dikenal sebagai rasio C/O (*Catalyst/ Feed or Oil*) yang digunakan. Penelitian yang dilakukan oleh Kadarwati dkk (2010) menggunakan katalis Cr/zeolit berhasil mendapatkan konversi maksimal minyak jelantah menjadi senyawa pentana pada temperatur reaksi 400°C dan rasio C/O sebesar 5.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kondisi optimum reaksi perengkahan minyak jelantah menggunakan katalis zeolit/nikel melalui variasi rasio katalis/umpan (C/O) sebesar 3, 4, dan 5 terhadap produk yang dihasilkan (fraksi senyawa bahan bakar solar dan bensin).

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut : ayakan, botol semprot, GC-MS, GSA (*Gas Sorption Analyzer Quantachrome Instrument version 2.0*), neraca analitik, oven, pH universal, piknometer (pyrex

type 26, 28,34), seperangkat alat gelas kimia standar, seperangkat alat refluks, tanur, termometer, dan viskometer otswald kapiler nomor 300.

Bahan-bahan yang digunakan adalah akuabides, ammonium klorida (NH_4Cl) 1 M, asam nitrat (HNO_3) 8 M, minyak jelantah, natrium etilen diamin tetra asetat (Na_2EDTA), natrium hidroksida (NaOH), nikel klorida (NiCl_2), dan batuan zeolit alam asal Bandung Selatan-Jawa Barat.

Cara Kerja

Preparasi sampel

Sampel dalam bentuk serbuk dicuci dengan akuabides hingga mencapai pH pencuci ($\text{pH}=5$). Dikeringkan di oven hingga kering pada suhu 110°C selama 4 jam. Sampel yang telah kering kemudian ditimbang (Silalahi, dkk, 2012).

Demineralisasi dengan EDTA 1 M

Selanjutnya sampel didemineralisasi dengan larutan EDTA 1 M. Campuran direfluks pada suhu $80-90^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Setelah direfluks, sampel kemudian dicuci dengan akuabides hingga mencapai pH pencuci ($\text{pH}=5$). Dikeringkan di oven pada suhu 110°C selama 4 jam, setelah kering sampel kemudian ditimbang (Silalahi, dkk, 2012).

Dealuminasi dengan HNO_3

Sampel hasil demineralisasi kemudian *dileaching* dengan HNO_3 8 M. Sampel direfluks pada suhu $80-90^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Setelah proses refluks selesai, sampel kemudian dicuci dengan akuabides hingga mencapai pH pencuci ($\text{pH}=5$). Dikeringkan di oven pada suhu 110°C selama 4 jam dan ditimbang (Silalahi, dkk, 2012).

Aktivasi dengan amonium klorida (NH_4Cl)

Aktivasi Sampel menggunakan NH_4Cl 1 M dilakukan dengan cara direfluks pada suhu $80-90^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Setelah proses refluks selesai, sampel kemudian dicuci dengan akuabides hingga mencapai pH pencuci ($\text{pH}=5$). Dikeringkan di oven pada suhu 110°C selama 4 jam dan ditimbang (Silalahi, dkk, 2012).

Pembuatan katalis Zeolit-Nikel

Katalis Nikel-Zeolit diperoleh dari impregnasi antara nikel klorida (NiCl_2) dengan zeolit dalam media cair. Sampel zeolit ditimbang sebanyak 120 gram dimasukkan ke dalam labu alas bulat yang berisikan 100 mL larutan NiCl_2 0,4 M kemudian direfluks pada suhu $80-90^\circ\text{C}$ selama 24 jam. Setelah proses refluks selesai,

sampel kemudian dicuci dengan akuabides hingga mencapai pH pencuci ($\text{pH}=5$). Dikeringkan di oven pada suhu 110°C selama 4 jam, setelah sampel kering kemudian dikalsinasi di dalam tanur pada suhu $500-600^\circ\text{C}$ selama 2-3 jam. Waktu kalsinasi dihitung setelah mencapai suhu konstan. Sampel hasil kalsinasi ini selanjutnya dianalisis dengan GSA (*Gas Sorption Analyzer*) (Septiansyah, 2011).

Proses perengkahan katalitik

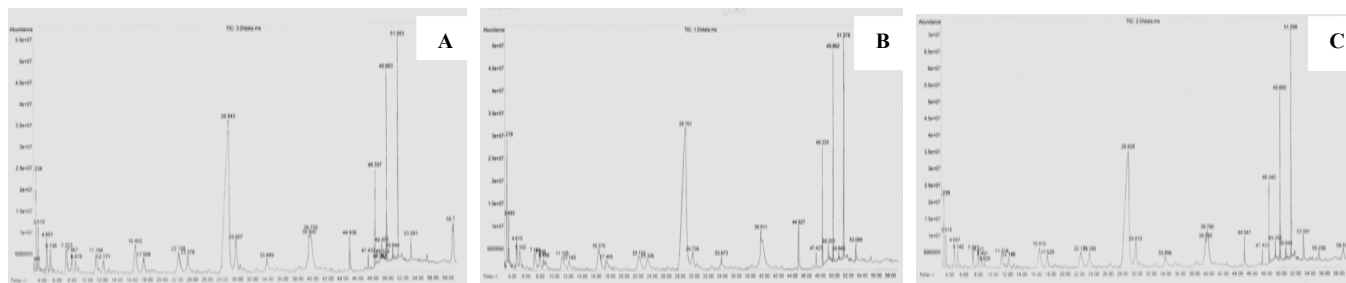
Proses perengkahan katalitik dilakukan dengan sistem *batch* menggunakan rasio katalis/umpan 10:30 w/w, 10:40 w/w dan 10:50 (w/w). Katalis bersama minyak jelantah dengan rasio 10:30 w/w dicampurkan dalam labu destilasi yang telah dihubungkan dengan kondensor selanjutnya dipanaskan hingga temperatur mencapai $\pm 360^\circ\text{C}$. Uap minyak jelantah yang telah direngkahkan dengan katalis zeolit/nikel kemudian didinginkan melewati kondensor dan ditampung sebagai produk. Reaksi dihentikan ketika komposisi minyak dalam labu pemanas destilasi sudah habis atau tidak menghasilkan produk lagi. Karakterisasi meliputi uji pengukuran densitas, dan viskositas kinematik. Sedangkan untuk mengetahui senyawa komponen penyusunnya dengan menggunakan *Analysis Gas Chromatograph Mass Spectrometry* (GC-MS). Perlakuan yang sama dilakukan terhadap katalis/umpan 10:40 w/w dan 10:50 w/w.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Produk Perengkahan Minyak Jelantah

Analisa GC-MS

Kromatogram hasil analisis GC-MS pada Gambar 1 secara keseluruhan menunjukkan bahwa terdapat 30 puncak yang muncul untuk produk perengkahan dengan katalis/umpan 10:30 w/w (A), kemudian terdapat 25 puncak untuk katalis/umpan 10:40 w/w (B) dan 29 puncak untuk katalis/umpan 10:50 w/w (C). Analisis kromatogram GC-MS memberikan informasi jumlah komponen senyawa yang berbeda antara ketiga jenis variasi rasio katalis/umpan. Identifikasi senyawa dilakukan dengan membandingkan pola fragmentasi spektra massa hasil GC-MS dengan pola fragmentasi senyawa referensi standar. Beberapa senyawa dominan yang terkandung dalam setiap produk perengkahan minyak jelantah dapat dilihat pada Tabel 1, 2 dan 3



Gambar 1. Kromatogram GC produk perengkahan minyak jelantah dengan C/O (A)10:30 w/w; (B) 10:40 w/w; (C) 10:50 w/w.

Tabel 1. Data luas area terbesar kromatogram GC produk perengkahan minyak jelantah dengan katalis/umpan 10:30 w/w

Puncak ke-	t _R (Menit)	Luas Area (%)	Berat Molekul	Rumus Molekul	Nama Senyawa	SI
15	28,844	39,92	212	C ₁₅ H ₃₂	Pentadekana	98
19	39,749	6,13	239	C ₁₇ H ₃₄	8-Heptadekana	98
28	51,383	5,45	172	C ₉ H ₁₉ .COOH	Asam Dekanoat	99
11	16,041	4,30	184	C ₁₃ H ₂₈	Tridekana	98
30	58,716	4,24	256	C ₁₅ H ₃₁ -COOH	Asam Heksadekanoat	99
16	29,806	3,66	212	C ₁₅ H ₃₂	1-Pentadekana	99
13	22,159	3,64	198	C ₁₄ H ₃₀	Tetradekana	98
26	49,864	3,60	158	C ₈ H ₁₇ -COOH	Asam Nonanoat	95
18	39,530	3,14	239	C ₁₇ H ₃₄	8-Heptadekana	95
2	3,234	2,65	128	C ₉ H ₂₀	Nonana	97

Tabel 2. Data luas area terbesar kromatogram GC produk perengkahan minyak jelantah dengan katalis/umpan 10:40 w/w

Puncak ke-	t _R (Menit)	Luas Area (%)	Berat Molekul	Rumus Molekul	Nama Senyawa	SI
14	28,763	44,60	212	C ₁₅ H ₃₂	Pentadekana	98
17	39,511	8,88	239	C ₁₇ H ₃₄	1-Heptadekana	81
24	51,378	6,18	172	C ₉ H ₁₉ .COOH	Asam Dekanoat	99
22	49,864	4,59	158	C ₈ H ₁₇ -COOH	Asam Nonanoat	95
1	3,220	4,47	128	C ₉ H ₂₀	Nonana	97
10	16,373	4,46	184	C ₁₃ H ₂₈	Tridekana	98
12	22,120	3,10	198	C ₁₄ H ₃₀	Tetradekana	98
20	48,335	2,52	144	C ₇ H ₁₅ -COOH	Asam Oktanoat	96
16	29,740	2,48	212	C ₁₅ H ₃₂	1-Pentadekana	99
18	44,925	2,33	130	C ₆ H ₁₃ -COOH	Asam Heptanoat	91

Tabel 3. Data luas area terbesar kromatogram GC produk perengkahan minyak jelantah dengan katalis/umpan 10:50 w/w

Puncak ke-	t _R (Menit)	Luas Area (%)	Berat Molekul	Rumus Molekul	Nama Senyawa	SI
15	28,830	39,42	212	C ₁₅ H ₃₂	Pentadekana	98
26	51,397	8,01	172	C ₉ H ₁₉ .COOH	Asam Dekanoat	99
19	38,787	7,40	228	C ₁₅ H ₃₁ -OH	1-Heksadekanol	90
24	49,868	4,34	158	C ₈ H ₁₇ -COOH	Asam Nonanoat	95
11	16,411	3,83	184	C ₁₃ H ₂₈	Tridekana	98
13	22,178	3,30	198	C ₁₄ H ₃₀	Tetradekana	98
18	39,530	3,20	212	C ₁₅ H ₃₂	1-Pentadekana	95
14	23,397	2,64	198	C ₁₄ H ₃₀	2-Tetradekana	99
1	3,239	2,32	128	C ₉ H ₂₀	Nonana	95
22	48,340	2,00	144	C ₇ H ₁₅ -COOH	Asam Oktanoat	96

Perbedaan persentase total produk perengkahan menjelaskan bahwa rasio katalis/umpan yang digunakan dalam reaksi perengkahan berpengaruh terhadap konversi produk yang dihasilkan. Hal ini menjelaskan bahwa reaksi perengkahan yang terjadi berhasil memutuskan molekul rantai panjang pada umpan minyak jelantah menjadi rantai molekul yang lebih pendek.

Berdasarkan Tabel 1, 2 dan 3 diketahui bahwa produk perengkahan dari ketiga jenis variasi rasio katalis/umpan dengan persen luas area terbesar didominasi oleh senyawa pentadekana (C₁₅H₃₂). Persentase pentadekana tertinggi terdapat pada produk katalis/umpan 10:40 w/w yang diikuti pula oleh senyawa nonana dengan persen area sebesar 4,47 %. Sedangkan produk perengkahan dengan katalis/umpan 10:30 w/w dan 10:50 w/w menghasilkan senyawa nonana dengan persen area sebesar 2,65 % dan 2,32 %. Indartono (2005) menyimpulkan bahwa produk utama senyawa penyusun bahan bakar solar (C₁₀-C₂₀) ditunjukkan dengan dominasi senyawa pentadekana. Secara keseluruhan produk perengkahan katalis/umpan 10:40 w/w memiliki persen area relatif senyawa pentadekana dan nonana lebih besar dibandingkan dengan kedua jenis variasi lainnya. Sehingga dapat dikatakan bahwa variasi katalis/umpan optimal dalam penelitian ini ialah 10:40 w/w. Selain itu rasio katalis/umpan 10:40 w/w berpotensi juga menghasilkan fraksi-fraksi senyawa dengan berat molekul lebih kecil (senyawa fraksi C₉).

Besar kecilnya berat molekul senyawa yang dihasilkan salah satunya dipengaruhi oleh rerata jari pori (RJP) dari katalis dan menentukan efektivitas katalis yang digunakan. yang digunakan. Semakin besar nilai RJP katalis yang digunakan dalam perengkahan maka kemungkinan senyawa dengan berat molekul besar untuk lolos dan tidak terfragmentasi juga semakin besar dan demikian pula sebaliknya (Trisunaryanti, 2002). Efektivitas katalis yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4. Hasil analisis GSA katalis zeolit/nikel

Data Analisis GSA		
LPS (m ² /g)	VTP (10 ⁻⁰³ cc/g)	RJP (Å)
123,324	113,9	36,939

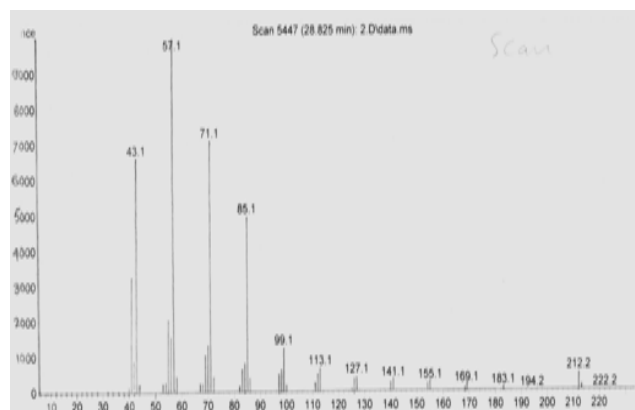
Keterangan: LPS (Luas Permukaan Spesifik), VTP (Volume Total Pori), dan RJP (Rerata Jari Pori).

Rerata jari pori (RJP) berkaitan dengan efektivitas dari katalis tersebut. Efektivitas katalis

dapat dilihat dari besarnya konversi produk yang dihasilkan (produk target yang diinginkan). Tabel 4 menunjukkan nilai RJP katalis yang digunakan sebesar 36,939 Å atau lebih besar dari nilai RJP katalis yang digunakan oleh Septiansyah (2011) yaitu sebesar 12,588 Å dan Hassanudin dkk (2003) sebesar 11,6 Å dengan konversi produk perengkahan didominasi senyawa fraksi C₈-C₉ (fraksi bensin). Sehingga dapat dikatakan bahwa katalis yang digunakan kurang efektif sebagai katalis perengkahan minyak jelantah menjadi fraksi bensin tetapi cukup efektif sebagai katalis perengkahan minyak jelantah untuk konversi fraksi solar (C₁₀-C₂₀).

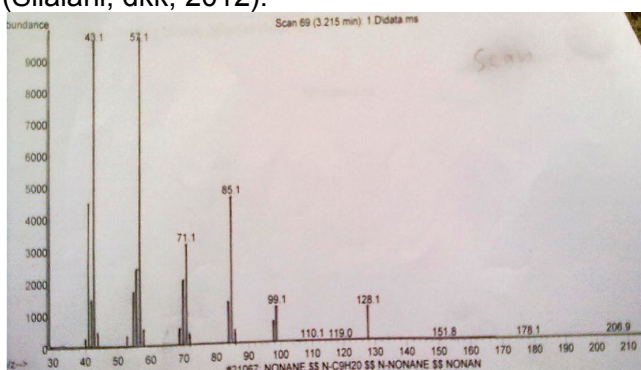
Kemungkinan lain yang menyebabkan konversi produk yang diperoleh didominasi oleh senyawa dengan berat molekul besar ialah terjadinya reaksi polimerisasi dan repolimerisasi. Reaksi polimerisasi terjadi saat terjadi reaksi antar radikal bebas atau radikal bebas dengan molekul karbon yang mempunyai ikatan rangkap sehingga menghasilkan produk dengan jumlah atom C lebih besar. Sedangkan reaksi repolimerisasi produk terjadi sebagai akibat lamanya waktu reaksi perengkahan serta melimpahnya produk yang dihasilkan. Hal ini akan mengakibatkan katalis terdeaktivasi oleh reaktan dan produk yang jumlahnya melimpah, sehingga dapat menutupi situs aktif pada katalis (Trisunaryanti, 2002).

Berdasarkan hasil analisis GC-MS, maka interaksi antara minyak jelantah sebagai substrat dengan zeolit diduga terjadi berdasarkan reaksi protonasi hidrokarbon oleh katalis dan reaksi hidrogenasi hidrokarbon dimana kedua jenis reaksi tersebut akan menyebabkan pemutusan hidrokarbon menjadi molekul yang lebih pendek. Hasil ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Buchory dan Widayat (2009) dimana produk utama yang dihasilkan dengan luas area (%) terbesar yaitu senyawa alkana dan asam karboksilat dari rantai trigliserida.



Gambar 2. Spektra Massa puncak 14 (Tabel 2) dengan waktu retensi (t_R) 28,763 menit

Spektra massa pada Gambar 2 menunjukkan adanya fragmentasi pada $m/z = 43$ yang merupakan limbah ion propil yang berasal dari pemecahan pada ujung rantai alkil. Adanya fragmentasi pada $m/z = 57$ merupakan puncak serapan oleh adanya ion $[C_nH_{2n-1}]^+$, dan pecahan deret ion $[C_nH_{2n-1}]^+$ yang muncul pada $m/z = 43, 57, 71, 85, 99, 113, 127, 141, 155, 169, 183$. Puncak pada $m/z = 212$ merupakan puncak yang memiliki serapan ion $[CH_2CH_3]^+$. Puncak ini merupakan puncak untuk ion molekul pentadekana ($C_{15}H_{32}$). Pada puncak dengan t_R 28,763 menit ini memiliki persentase luas area puncak relatif sebesar 44,60%. Berdasarkan penelusuran pola fragmentasi puncak 14 memiliki indeks kemiripan 98 dengan spektra massa dari senyawa pentadekana ($C_{15}H_{32}$) (Silalahi, dkk, 2012).



Gambar 3. Spektra Massa puncak 1 (Tabel 2) dengan waktu retensi (t_R) 3,220 menit

Berdasarkan spektra massa dari puncak 1 pada waktu retensi (t_R) 3,220 menit, senyawa yang teridentifikasi merupakan rantai alkil lurus. Terdapat fragmentasi pada $m/z = 43$ yang merupakan limbah ion propil yang berasal dari pemecahan pada ujung rantai alkil. Adanya fragmentasi pada $m/z = 57$ merupakan puncak serapan oleh adanya ion $[C_nH_{2n-1}]^+$, dan pecahan deret ion $[C_nH_{2n-1}]^+$ yang muncul pada $m/z = 43, 57, 71, 85, 99$. Puncak pada $m/z = 128$ merupakan puncak yang memiliki serapan ion $[CH_2CH_3]^+$. Puncak ini merupakan puncak untuk ion molekul nonana (C_9H_{20}). Pada puncak dengan t_R 3,220 menit ini memiliki persentase luas area puncak relatif sebesar 4,47% dan diperoleh spektra massa pada Gambar 3. Berdasarkan penelusuran pola fragmentasi puncak 1 memiliki indeks kemiripan 97 dengan spektra massa dari senyawa nonana (C_9H_{20}).

Karakteristik Fisik Produk Perengkahan Minyak Jelantah

Pengukuran terhadap nilai densitas memberikan hasil bahwa nilai densitas produk perengkahan berada dibawah nilai standar

ASTM (American Society for Testing and Materials) dari produk biodiesel dan solar, dimana hasil penelitian ini berkisar antara 0,790-0,805 g/mL. Sedangkan pengukuran terhadap nilai viskositas produk memberikan hasil pada rentang nilai dari biodiesel dan solar.

Tabel 7. Perbandingan karakteristik produk perengkahan minyak jelantah dengan karakteristik produk biodiesel, bensin dan solar standar

Karakteristik	Biodiesel*	Bensin**	Solar Standar	Produk Perengkahan***		
				Rasio 3	Rasio 4	Rasio 5
Densitas	0,85 - 0,89	0,71 - 0,77	0,82 - 0,87**	0,795	0,790	0,805
Viskositas	2,3 - 6,0	-	1,9 - 6,0*	2,6	2,315	2,927

Keterangan: *) Dilakukan pada suhu 40°C; **) Dilakukan pada suhu 15°C
 ***) Dilakukan pada suhu ruang... (±32°C)

Produk perengkahan yang dihasilkan memiliki tampilan warna kuning bening dan bau yang tajam dengan jumlah (massa) yang diperoleh dari proses perengkahan katalitik untuk setiap rasio katalis/umpan menghasilkan % yield berturut-turut sebesar 46,75 %; 37,75 % dan 47,8 %. Sementara hasil uji pembakaran menunjukkan bahwa hasil pembakaran produk perengkahan pada masing-masing produk menghasilkan sedikit asap dibandingkan nyala api yang dihasilkan oleh bahan bakar solar.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perengkahan minyak jelantah menggunakan katalis zeolit/nikel terbaik adalah produk dengan rasio 10:40 w/w yang ditunjukkan dengan kelimpahan (%) dari senyawa pentadekana dan nonana yang dihasilkan lebih besar dari kedua jenis variasi lainnya. Urutan rasio katalis/umpan yang menghasilkan konversi senyawa pentadekana ($C_{15}H_{32}$) dan senyawa nonana (C_9H_{20}) terbesar berturut-turut adalah rasio 10:40 w/w sebesar 44,60% dan 4,47%; rasio 10:30 w/w sebesar 39,92% dan 2,65%, dan rasio 10:50 w/w sebesar 39,42% dan 2,32%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak DIT. LITABMAS, DITJEN DIKTI yang telah menyediakan dana penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Buchori, L dan Widayat., 2009, Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Proses *Catalytic Cracking*, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia-SNTKI*, ISBN: 978-979-98300-1-2, ETU13 1-8.
- Fabiani, A.V., 2011, Sintesis Katalis Zeolit Teraktivasi dan Sifat Katalitik Perengkahan Terhadap Minyak Jelantah, Universitas Tanjungpura, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Pontianak, (Skripsi).
- Fatimah, I., 2002, Optimasi Laju Alir Gas H₂ dan Perbandingan Berat Katalis Terhadap Umpan Serta Kajian Kinetika Pada *Hydrocracking* Isopropil Benzena Menggunakan Katalis Ni/zeolit Y, Fakultas MIPA Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Hasanudin dan Nugrahaningtyas, K.D., 2003, Hidrogenasi dan Perengkahan Katalitik TIR Batubara dengan Katalis Cr/Zeolit Alam, *Alchemy*, Vol.2 (1), 24-33.
- Indartono, Y., 2005, Minyak Tanah Sebagai Pengganti Solar, <http://www.beritaiptek.com/zberita/beritaiptek>.
- Kadarwati, S.; Susatyo, E.B. dan Ekowati, D., 2010, Aktivitas Katalis Cr/Zeolit Alam Pada Reaksi Konversi Minyak Jelantah Menjadi Bahan Bakar Cair, Program studi Kimia FMIPA, Universitas Negeri Semarang.
- Silalahi, I.H.; Sianipar, A. dan Sayekti, E., 2012, Analisis GC-MS dan Karakterisasi Fisik Hasil Reaksi Perengkahan Minyak Jelantah Dengan Katalis Zeolit-Ni, *Prosiding Semirata BKS PTN B MIPA 2012*, Universitas Negeri Medan, 11-12 Mei 2012 ISBN: 978-602-9115-28-4.
- Septiansyah, Sy.I., 2011, Modifikasi Ni-Zeolit dan Sifat Katalitik Perengkahan Terhadap Minyak Jelantah, Universitas Tanjungpura, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Pontianak, (Skripsi).
- Trisunaryanti, W., 2002, Optimasi Waktu dan Rasio Katalis Umpan pada Proses Perengkahan Katalitik Fraksi Sampah Plastik Menjadi Fraksi Bensin Menggunakan Katalis Cr/Zeolit Alam, *Indo. J. of Chem.*, Vol.2(1), 26-34.
- Wijaya, K., 2002, Bahan Berlapis dan Berpori Sebagai Bahan Multifungsi, *Indo. J. of Chem.*, Vol.2(3), 142-154.