

# Pengaruh logam Kalsium (Ca) dan Kromium (Cr) dalam Pembuatan *Bio-gasoline* (Setara Bensin) dengan Bahan Baku Metil Ester

Oleh: Morina<sup>1)</sup> dan Oberlin Sidjabat<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Pengkaji Teknologi, <sup>2)</sup>Peneliti Madya pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"  
Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, P.O. Box 1089/JKT, Jakarta Selatan 12230 INDONESIA  
Teregistrasi 1 Tanggal 25 Februari 2009; Diterima setelah perbaikan tanggal 2 Maret 2009  
Disetujui terbit tanggal: 17 September 2009

## S A R I

Untuk memenuhi kebutuhan energi bahan bakar minyak dalam rangka diversifikasi energi, maka perlu diupayakan untuk mencari energi alternatif sebagai bahan pengganti atau substitusi bahan bakar tersebut. Salah satu upaya adalah menggunakan bahan baku nabati yang banyak terdapat di negeri ini seperti minyak sawit, minyak jarak pagar dan minyak kelapa, dan juga merupakan bahan baku untuk energi terbarukan (*bio-fuel*) yang sangat menjanjikan.

Perengkahan katalitik minyak sawit merupakan salah satu proses untuk menghasilkan senyawa-senyawa setara dengan bensin (*bio-gasoline*) dilakukan dalam suatu reaktor *fixed bed*, dengan suhu reaksi berkisar dari 450 – 500°C. Penelitian diarahkan untuk melihat pengaruh logam kalsium (Ca) dan kromium (Cr) dengan bahan baku metil ester yang berasal dari minyak sawit, untuk menghasilkan *bio-gasoline*. Logam aktif katalis yang berperan dalam proses konversi katalitik tersebut adalah logam kalsium dan kromium yang diimbangkan pada zeolit sintesis berukuran 35-65 mesh, baik dalam bentuk logam tunggal maupun campuran logam.

Masing-masing logam tunggal dengan konsentrasi tertentu dan logam campuran, menunjukkan aktivitas terhadap proses perengkahan katalitik dalam menghasilkan produk *bio-gasoline* setara bensin, dan hasil perengkahan katalitik yang tinggi terlihat pada katalis dengan logam campuran Ca-Cr-ZS dengan konversi 50-59% dan suhu optimum 475°C.

Kata kunci: *bio-gasoline*, *perengkahan katalitik*, *katalis*, *metil ester*

## ABSTRACT

*To fulfill the fuel energy demand in the frame of energy diversification, it is necessary to find out an alternative energy as replacement or substitution of such the fuel. One of the effort is to use vegetable raw materials that are abundantly found in this country such as vegetable oil, castor oil and coconut oil, and also as the very promising raw materials for renewable energy (bio fuel).*

*Catalytic cracking of palm oil is one of the process to produce compounds of gasoline equivalent (bio-gasoline), was carried out in a fixed bed reactor, with the reaction temperature at 450 – 500°C. The study was focused at investigating the influence of the Ca and Cr metals in the production of bio-gasoline, by using palm oil methyl ester as feed-stock. The active metals of the catalyst that play the role in catalytic conversion process were calcium and chromium metals, which were supported on synthetic zeolite, 35-65 mesh, either in the form of single or mixture of metals.*

*Each of the single and mixture of metal with the certain concentration, showed an activity for the catalytic cracking process to produce biogasoline product, which is equivalent to gasoline, and the highest yield of catalytic cracking was shown by the catalyst of Ca-Cr-ZS mixtures with 50-59% conversion and optimum temperature on 475 °C.*

*Key words: bio-gasoline, catalytic cracking, catalyst, methyl ester*

## I. PENDAHULUAN

Masalah energi yang dihadapi bangsa Indonesia saat ini adalah merupakan masalah yang cukup mendasar. Penghematan energi di semua sektor terus diupayakan karena sumber energi utama dari minyak bumi (*fossil*) terus berkurang, sedangkan permintaan bahan bakar minyak terus meningkat sejalan dengan perkembangan atau kemajuan zaman.

Penyediaan dan pemenuhan kebutuhan energi merupakan masalah nasional dari setiap negara, termasuk Indonesia, yang harus selalu dapat diupayakan penyelesaiannya, baik solusi yang bersifat sementara, jangka pendek-menengah-panjang maupun yang bersifat sektoral-regional-global.

Untuk memenuhi kebutuhan energi bahan bakar minyak dalam rangka diversifikasi energi, maka perlu diupayakan untuk mencari energi alternatif sebagai bahan pengganti atau substitusi bahan bakar tersebut. Salah satu upaya adalah menggunakan bahan baku nabati yang banyak terdapat di negeri ini seperti minyak sawit, minyak jarak pagar dan minyak kelapa, dan juga merupakan bahan baku untuk energi terbarukan (*biofuel*) yang sangat menjanjikan. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan *Biofuel* berasal dari minyak nabati untuk digunakan sebagai pengganti atau setara bensin disebut *bio-gasoline* <sup>(1,2,3,6,7)</sup>. Para pelaku riset terus mengembangkan penelitian akan bahan bakar *bio-gasoline*, dan ataupun setara kisaran fraksi bensin untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar jenis bensin di sektor transportasi.

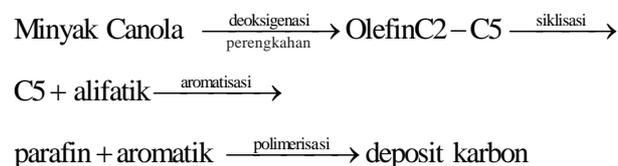
Perlakuan terhadap minyak nabati dalam memproduksi bahan bakar setara bensin dapat dilakukan dengan proses perengkahan katalitik, di mana asam-asam lemak akan dikonversi menjadi produk cair dengan berat molekul yang lebih rendah. Minyak nabati yang mempunyai unit -CH<sub>2</sub>- asam lemak yang relatif panjang, yang bergabung dengan atom oksigen memberikan panas pembakaran yang tinggi.

Proses perengkahan katalitik ialah proses perengkahan fraksi minyak berat menjadi fraksi ringan dengan bantuan katalis padat monofungsional ataupun bi-fungsional dan akan dipengaruhi oleh jenis umpan hidrokarbon. Kecepatan reaksi perengkahan akan dipengaruhi oleh jenis molekul hidrokarbon. Semakin besar molekul hidrokarbon, semakin tinggi pula kecepatan perengkahannya.

Proses kimia (*catalytic cracking*) minyak nabati, melibatkan suatu katalis yang terdiri dari suatu pengemban zeolit dan logam-logam aktif. Katalis dengan pori pada daerah mesopori, rasio Si/Al yang tinggi, luas permukaan yang tinggi, akan sangat efektif dalam reaksi pemutusan rantai karbon yang panjang dalam minyak sawit untuk menghasilkan senyawa bahan bakar kisaran fraksi diesel bahkan hingga kisaran fraksi *gasoline*.<sup>12</sup> Katalis yang terlibat dalam perengkahan katalitik sangatlah bervariasi, dan produk yang dihasilkan juga sangat bervariasi dan tergantung pada kondisi proses yang diperlakukan, dimana kondisi reaksi dan jenis reaksi tertentu akan menghasilkan produk-produk yang berbeda sesuai dengan umpannya <sup>(6)</sup>.

Katalis zeolit seperti HZSM-5 diketahui adalah lebih efisien dalam proses perengkahan dan dalam menghasilkan produk cair organik<sup>1,2</sup> namun katalis tersebut lebih cenderung menghasilkan hidrokarbon aromatik<sup>3,4</sup> Penggunaan katalis H-ZSM-5 memperoleh selektivitas *gasoline* paling tinggi, sebesar 27%-28%-berat <sup>(6,9)</sup>.

Perengkahan katalitik minyak nabati dapat memiliki beberapa jalur, salah satunya seperti yang diusulkan Prasad, dkk.,<sup>(3)</sup> di mana jalur reaksi yang memungkinkan untuk minyak *canola* menjadi bensin, seperti Gambar berikut ini.



Pembentukan hidrokarbon pada reaksi perengkahan katalitik dapat ditandai sebagai deoksigenasi, kraming (perengkahan), dan aromatisasi dengan transfer-H. Reaksi deoksigenasi dapat terjadi melalui dekarboksilasi dan dehidrasi<sup>(11)</sup>. Molekul-molekul minyak trigliserida diubah dengan 2 reaksi secara simultan, yakni kondensasi dan perengkahan<sup>(9)</sup>.

Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh logam kalsium (Ca) dan krom (Cr) dengan pendukung zeolit sintesis untuk menghasilkan produk *bio-gasoline* (setara bensin), serta menggunakan bahan baku metil ester yang berasal dari minyak sawit.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian diawali dengan preparasi katalis dengan menggunakan satu logam kalsium (Ca) dan campuran

dua logam aktif kalsium-krom (Ca-Cr) yang diimpregnasi ke pengemban zeolit sintetis (ZS), dengan ukuran sekitar 35-65 mesh. Setelah proses impregnasi logam aktif dengan teknik *dipping impregnation*, dilanjutkan dengan proses pengeringan menggunakan oven, dan dikalsinasi pada suhu tinggi (450 °C) dengan aliran gas nitrogen  $\pm$  5 ml/dtk selama 4 jam. Selanjutnya katalis yang telah dipreparasi digunakan pada proses perengkahan katalitik (*catalytic cracking*).

### A. Preparasi Katalis

#### 1. Preparasi Katalis Ca 3, 6, 10% / ZS

Larutan garam logam Ca-nitrat, ditimbang untuk membuat larutan garam logam berkonsentrasi Ca sebesar 3% berat total katalis, dan dilarutkan dalam akuades. Pengemban zeolit sintetis dimasukkan kedalam larutan logam-Ca sambil diaduk perlahan sampai tercampur merata, dan didiamkan selama 30 menit. Endapan katalis yang terbentuk, diupkan dalam oven mulai dari suhu 80 - 120°C sampai kering. Setelah kering, dipindahkan ke kalsinator dengan mengalirkan gas nitrogen  $\pm$  5 ml/dtk selama 2 jam, pada suhu 450°C.

Preparasi katalis untuk katalis yang mengandung logam Ca/ZS dengan konsentrasi sebesar 6% dan 10% berat total katalis dilakukan dengan cara yang sama seperti diatas.

#### 2. Preparasi Katalis Ca 3, 6, 10% - Cr 5%/ ZS

Masing-masing garam logam Ca dan Cr ditimbang sesuai dengan perhitungan konsentrasi yang diinginkan, yaitu Ca sebesar 3% - Cr sebesar 5%. Larutan garam logam tersebut masing-masing dilarutkan dalam akuades, kemudian dicampurkan, dan setelah bercampur dimasukkan zeolit sintetis secara perlahan sambil diaduk dan diendapkan selama 30 menit. Selanjutnya diperlakukan sama seperti pada bagian 2.1.1 diatas. Hal yang sama dilakukan untuk membuat katalis campuran Ca-Cr

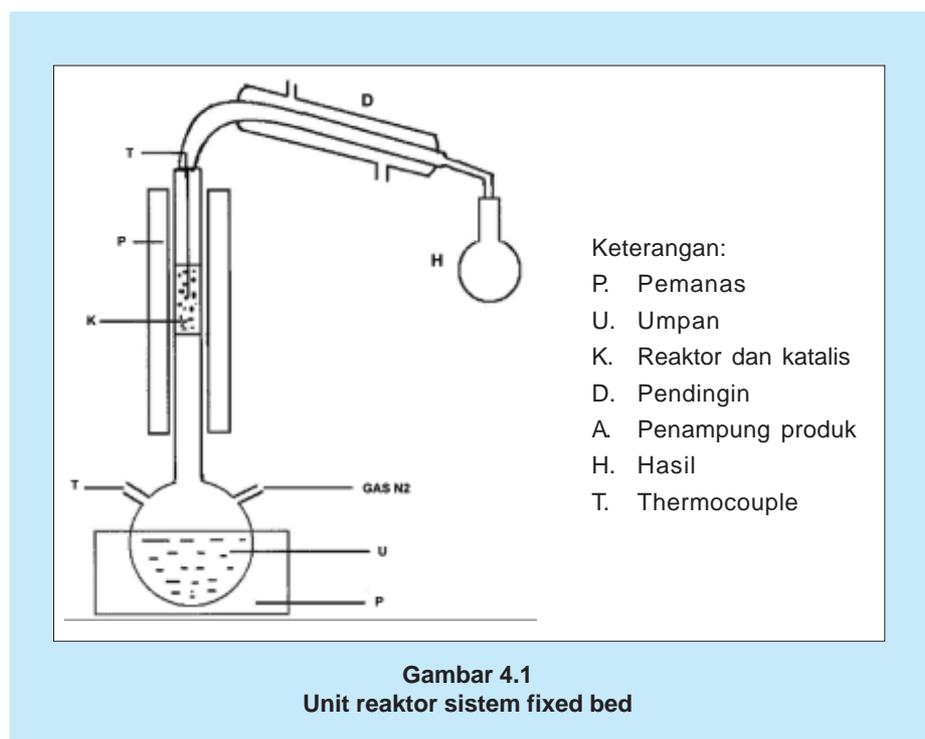
dengan konsentrasi Ca sebesar 6% - Cr sebesar 5% dengan ZS sebagai pendukung, katalis Ca-Cr dengan konsentrasi Ca sebesar 10% - Cr sebesar 5% dengan pendukung ZS.

### B. Karakterisasi Katalis

Katalis yang telah dipreparasi dilanjutkan dengan analisa karakterisasi katalis meliputi:

- Keasaman dengan menggunakan metode adsorpsi basa amoniak pada permukaan katalis
- Penentuan luas permukaan total dan volume pori dan jari-jari pori dengan alat Gas Sorption Analyzer Nova 1200.

Pengukuran keasaman katalis dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri berdasarkan selisih berat zeolit setelah dan sebelum mengadsorpsi gas amonia (NH<sub>3</sub>). Keasaman diukur berdasarkan jumlah mmol NH<sub>3</sub> yang teradsorpsi pada permukaan katalis dalam tiap gram. Sampel 1 gram dimasukkan dalam wadah dan dimasukkan dalam desikator. Desikator divakum dan kemudian dialiri gas amoniak sampai jenuh. Kemudian didiamkan selama 24 jam. Setelah itu sampel ditimbang dan diperoleh berat tetap. Setelah itu dibiarkan di udara terbuka sekitar 15 menit, dan ditimbang beratnya setiap 15 menit, sampai diperoleh berat stabil. Keasaman didefinisikan sebagai jumlah mmol NH<sub>3</sub> yang teradsorpsi untuk setiap berat katalis.



Gambar 4.1  
Unit reaktor sistem fixed bed

### 3. Uji Aktivitas Katalis

Uji aktivitas katalitik dilakukan dalam suatu reaktor *fixed bed*. Katalis dimasukkan ke dalam reaktor kaca dan ditahan dengan *glass wool*. Percobaan dilakukan pada tekanan atmosfer dan suhu pengoperasian pada 450°C selama 2 jam. Reaktor diisi dengan katalis yang telah dipreparasi dengan berat yang ditentukan dan dipanaskan pada suhu reaksi dengan adanya aliran gas nitrogen (5 ml/dt). Minyak sawit, sebagai umpan, yang telah mendapat perlakuan lebih dahulu untuk menghasilkan metil ester, *Methyl Ester Palm Oil* (MEPO), ditimbang dan dimasukkan ke dalam labu leher 3. Minyak sawit tersebut dipanaskan pada suhu tinggi sampai menghasilkan uap. Uap akan mengalir melewati reaktor *fixed bed* tegak lurus berisi katalis, yang telah lebih dahulu dipanaskan dengan suatu pemanas yang terkontrol pada suhu 450°C selama 2 jam. Produk cair organik, *Organik Liquid Product* (OLP), akan keluar setelah melalui kondenser ulir yang dialiri air dingin, dan ditampung pada wadah penampung yang telah direndam air es. Produk ditampung setelah reaksi berjalan selama 30 menit.

Untuk katalis yang mampu mengkonversi MEPO menjadi fraksi pendek paling banyak, diarahkan pada variasi suhu, yakni 475 dan 500 °C. Setiap produk organik cair yang dihasilkan, ditampung, dipindahkan ke dalam botol hasil, dan dianalisis dengan GC.

## IV. HASIL DAN EVALUASI

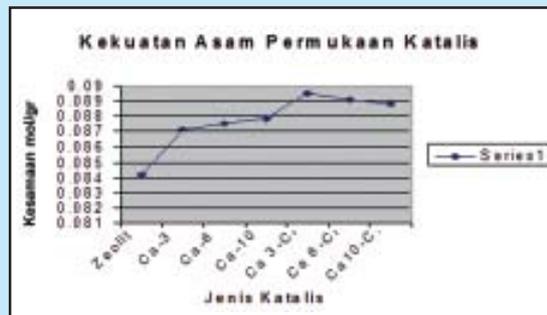
### A. Karakterisasi Katalis

Hasil karakterisasi yakni penentuan kekuatan asam, disajikan pada Gambar 1 berikut ini.

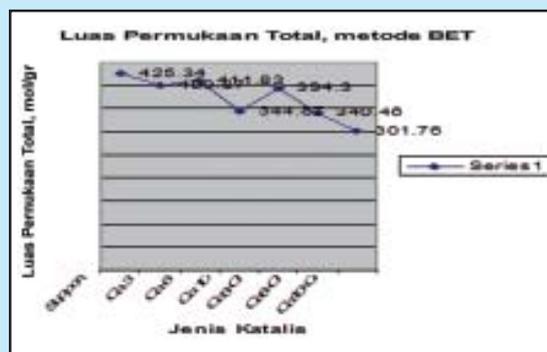
Keasaman katalis (0,0842) pada awalnya adalah rendah dan meningkat dengan penambahan logam aktif. Keadaan ini dapat dipahami bahwa kromium (Cr) yang tereduksi menjadi bentuk logam bersifat asam<sup>17</sup>. Katalis dengan keasaman yang tinggi diharapkan memiliki aktivitas yang tinggi pula. Situs asam zeolit yang banyak akan sangat efektif dalam proses katalitik, yaitu untuk pemutusan dan pembentukan ikatan<sup>1,6,12,13</sup>. Keasaman yang tinggi terlihat pada katalis Ca3 –Cr5 / ZS (0,0895 mol/gr), dimana katalis ini mampu mengkonversi umpan menjadi fraksi pendek yang paling banyak.

### B. Hasil Karakterisasi Metode BET

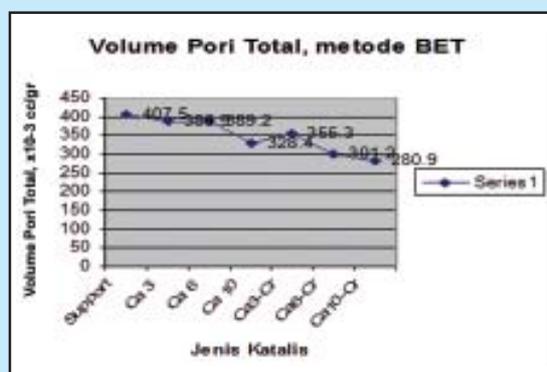
Luas permukaan total, volume total pori dan jari-jari pori didasarkan pada fenomena adsorpsi gas la-



Gambar 1  
Kekuatan asam permukaan katalis



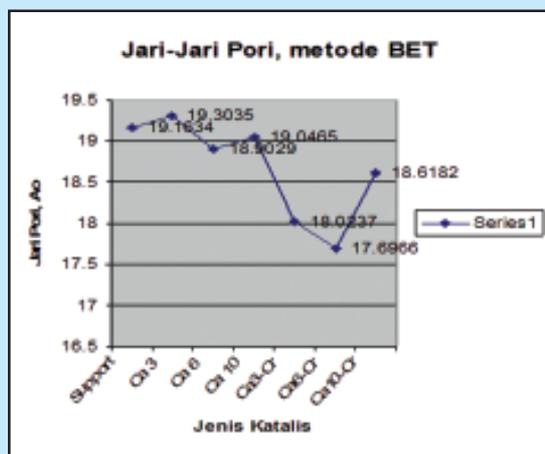
Gambar 2  
Luas permukaan berbagai katalis yang dipreparasi



Gambar 3  
Volume Pori Berbagai Katalis Yang Dipreparasi

pis tunggal pada suhu konstan. Sampel ditimbang dan didegassing dan selanjutnya dipanaskan pada suhu sampai 300°C dengan pengaliran gas N<sub>2</sub> dan didinginkan pada suhu kamar. Tekanan gas N<sub>2</sub> diubah sehingga jumlah gas nitrogen yang terkondensasi dapat ditentukan. Luas permukaan, volume pori dan jari-jari pori katalis dapat dilihat dalam Gambar 2 sampai dengan Gambar 4.

Karakterisasi luas permukaan katalis menunjukkan bahwa rata-rata terjadi penurunan luas permukaan jika dibandingkan dengan zeolit sebelum impregnasi masing-masing logam aktif, baik yang tunggal ataupun ganda. Penurunan pada luas permukaan dengan logam tunggal hanya sedikit bila dibandingkan dengan dua-logam. Namun secara umum terjadi penurunan luas permukaan total katalis dikarenakan terjadi penutupan pori akibat masuknya logam aktif ke dalam pengembangan. Katalis terimpregnasi yang memiliki luas permukaan yang tinggi dan volume pori total yang tinggi akan mempunyai aktivitas yang tinggi dalam pembentukan produk. Semakin banyak volume yang dimiliki oleh suatu katalis, semakin efektif reaktan untuk berdifusi dan teradsorpsi ke dalam pori-pori katalis, sehingga reaksi pemutusan ikatan dalam reaksi semakin efektif. Namun luas permukaan yang terlalu tinggi juga tidak menjadi jaminan menghasilkan aktivitas katalis yang baik. Aktivitas katalis sangat dipengaruhi oleh luas permukaan dan keasaman katalis, akan tetapi luas permukaan yang terlalu besar juga akan berdampak pada penurunan jari-jari pori katalis, sehingga pori-pori katalis tidak dapat dilewati reaktan (umpan) dalam proses adsorpsinya, yang mengakibatkan interaksi antara reaktan dengan situs aktif katalis pada permukaan katalis menjadi berkurang secara kuantitatif<sup>14</sup>. Jadi dapat disimpulkan bahwa katalis dengan luas permukaan dan keasaman yang tinggi tidak menjamin bahwa aktivitas katalis akan meningkat secara signifikan. Jari-jari pori katalis yang dipakai termasuk dalam daerah mikro pori, yakni < 20Å. Pada daerah mikropori sampai mesopori katalis selektif untuk pembentukan fraksi pendek<sup>11</sup>. Pada daerah ini reaksi katalitik akan berjalan dengan baik, jika reaktan memiliki ukuran molekul yang relatif kecil. Penurunan jumlah pori-pori katalis kemungkinan lebih disebabkan karena terjadinya akumulasi logam aktif yang diimbangkan pada mulut pori sehingga pori tidak dapat terdeteksi ataupun juga disebabkan terjadinya sintering pada mulut pori atau terjadi abrasi pada saluran pori.



Gambar 4  
Jari-jari Pori berbagai katalis yang dipreparasi

### C. Hasil Analisis Reaksi Katalitik Metil Ester Minyak Sawit (MEPO) secara Kromatografi Gas (GC)

#### 1. Aktivitas Katalis Menghasilkan Fraksi Pendek

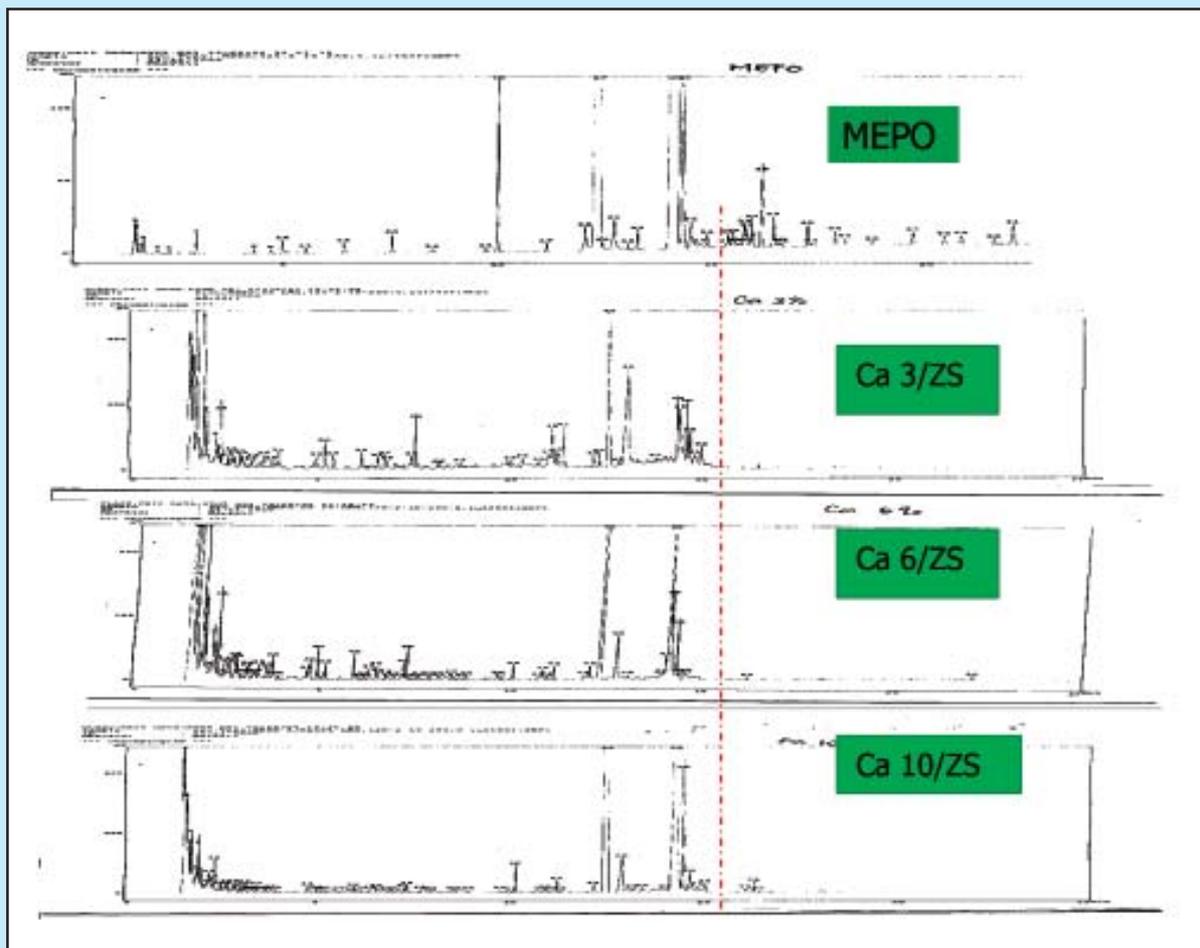
Hasil perlakuan termal, suhu 450°C yang dilakukan terhadap umpan, metil ester minyak sawit, yang dianalisis dengan GC dapat dilihat dalam Gambar 5.5 dan 5.6. Perengkahan metil ester minyak sawit dipantau pada waktu retensi 1-15, karena pada saat tersebut umpan telah terpecah menjadi fraksi pendek hampir 100%. Dengan menggunakan katalis logam tunggal atau dua-logam menunjukkan perengkahan senyawa yang hampir 100% pada waktu retensi sekitar 1-15. Aktivitas berbagai katalis tersebut dalam menghasilkan fraksi pendek dapat dilihat dalam Tabel 1.

Katalis yang mampu mengkonversi umpan menjadi fraksi pendek paling banyak, yaitu katalis Ca3-Cr5/ZS, yakni sebanyak 88 fraksi. Katalis ini dipilih untuk diarahkan pada variasi suhu reaksi, yaitu 475 dan 500°C. Hasil perlakuan termal terhadap umpan dengan menggunakan katalis Ca3-Cr5/ZS, kisaran suhu 450°-500°C, dianalisis dengan GC, dapat dilihat dalam Gambar 5.7. Aktivitas katalis Ca3-Cr5/ZS pada berbagai suhu yaitu 450, 475, dan 500°C dapat dilihat dalam Tabel 2.

Variasi suhu dilakukan untuk mengetahui aktivitas optimum dari katalis dalam menghasilkan produk. Suhu sangat mempengaruhi jalannya suatu reaksi katalitik. Pada umumnya proses reaksi dilakukan adalah berkisar pada suhu di atas 400 – 550°C.

Aktivitas katalis Ca3-Cr5/ZS optimum diperoleh pada suhu 475°C. Fraksi bensin yang dihasilkan menurun pada suhu 500°C.

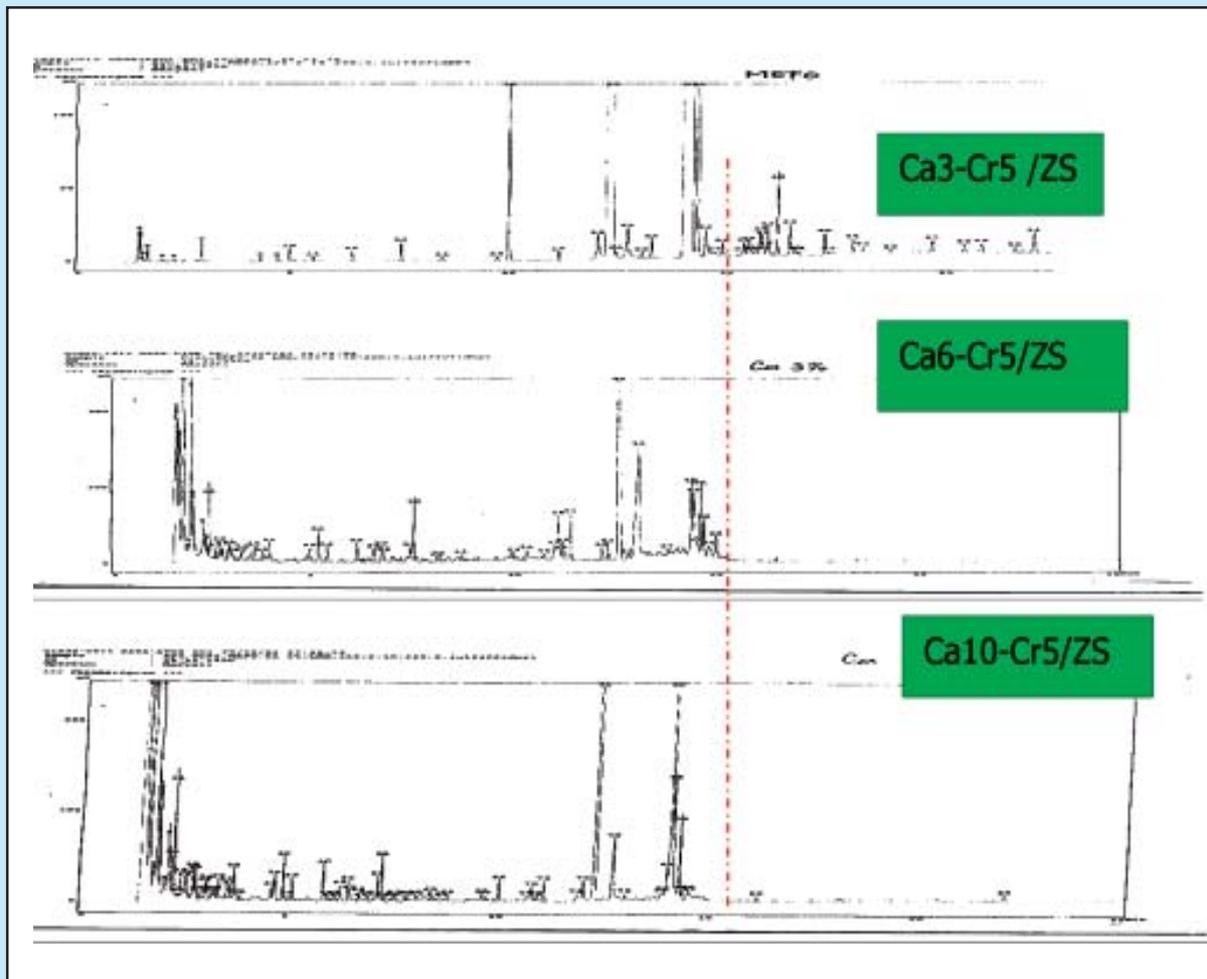
Meningkatnya produk setara bensin pada produk cair dapat diartikan sebagai meningkatnya reaksi



Gambar 5.5  
Kromatogram umpan dan katalis logam tunggal, 450°C

Tabel 1  
Aktivitas Berbagai Katalis Dalam Menghasilkan Fraksi Pendek, TR 1-12

RT	Ca3/ZS	Ca6/ZS	Ca10/Zs	C3-Cr/ZS	C6-Cr/ZS	Ca-10ZS
1 - 5	44.1339 (19)	59.3462 (41)	28.3761 (39)	50.5219 (42)	55.8428 (35)	59.4255 (37)
6 - 10	5.8597 (13)	5.6780 (31)	2.0923 (20)	18.6848 (41)	14.8804 (34)	2.2484 (11)
11 - 12	26.1382(8)	20.9799 (5)	33.4061 (06)	3.9499 (05)	1.129 (04)	0.1795 (01)
Total	76.1318 (40)	86.0041 (77)	63.8745 (65)	73.1566 (88)	71.8522 (73)	61.8534 (49)



Gambar 5.6  
Kromatogram katalis dua-logam, suhu 450°C

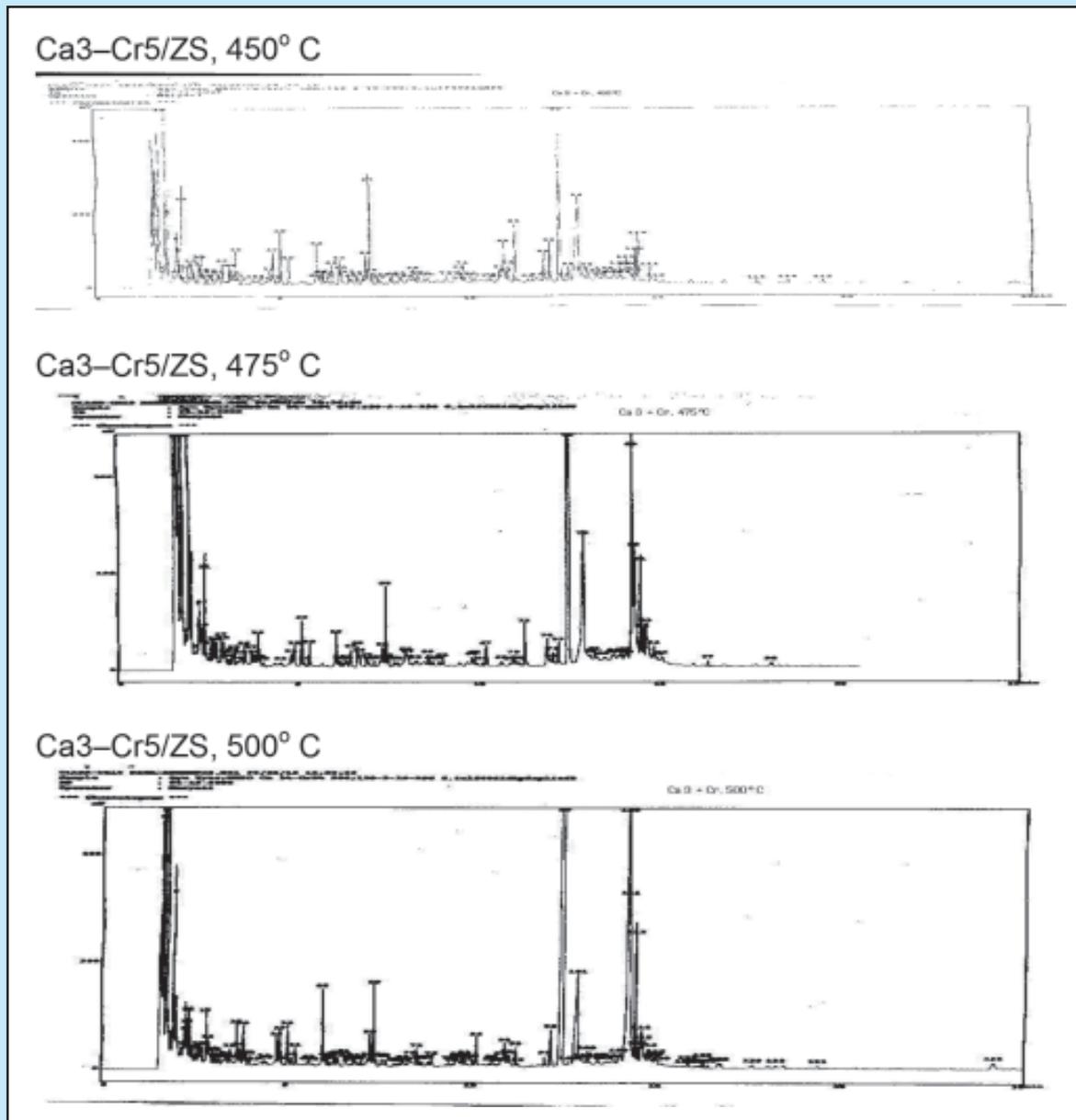
perengkahan yang terjadi. Pada suhu tinggi difusi reaktan akan lebih baik karena suhu tinggi akan meningkatkan laju kinetika molekuler. Jika difusi lebih baik, maka reaktan yang dapat masuk ke dalam pori katalis juga lebih banyak sehingga reaktan yang terengkah juga lebih banyak dan produknya juga lebih bervariasi. Pada suhu di bawah 400°C biasanya reaksi belum terjadi secara maksimal dalam menghasilkan produk yang dikehendaki, namun pada suhu yang terlalu tinggi akan terjadi perengkahan termal bukan perengkahan katalitik, sehingga tidak menghasilkan produk yang dikehendaki.

Tabel 2  
Aktivitas katalis Ca3-Cr5/ZS, suhu 450-500°C

RT	MEPO awal	T = 450	T = 475	T = 500
1 - 5	0.7088	50.5219	53.1505	38.0634
6 - 10	1.5798	18.6849	6.7598	8.4811
11 - 15	88.9744	30.4896	39.8074	51.2442

## 2. Aktivitas Katalis Menghasilkan Fraksi Pendek Dibandingkan Dengan Bensin

Produk yang dihasilkan dari proses konversi katalitik dengan menggunakan katalis hasil preparasi, dibandingkan dengan senyawa bensin yang diambil



Gambar 5.7  
Kromatogram katalis Ca3-Cr5/ZS, suhu 450, 475 dan 500°C

dari SPBU. Analisis GC terhadap senyawa bensin menunjukkan bahwa pada waktu retensi 1-5 bensin terpecah menjadi fraksi pendek sebesar 99,816%. Kromatogram dapat terlihat dalam Gambar 5.8.

Capaian produk organik cair yang diperoleh dari proses perengkahan katalitik pada waktu retensi 1-5 dengan menggunakan katalis yang dipreparasi, dapat dilihat dalam Tabel 3.

Produk organik cair yang diperoleh dengan dua macam logam aktif rata-rata menunjukkan hasil konversi yang lebih tinggi dibandingkan dengan katalis yang hanya menggunakan satu logam aktif. Kesenjangan tampak terjadi dari kedua logam aktif katalis dalam meningkatkan produk yang diinginkan.

Kemiripan produk organik cair dengan menggunakan berbagai katalis terhadap senyawa bensin dapat dilihat dalam Tabel 4.

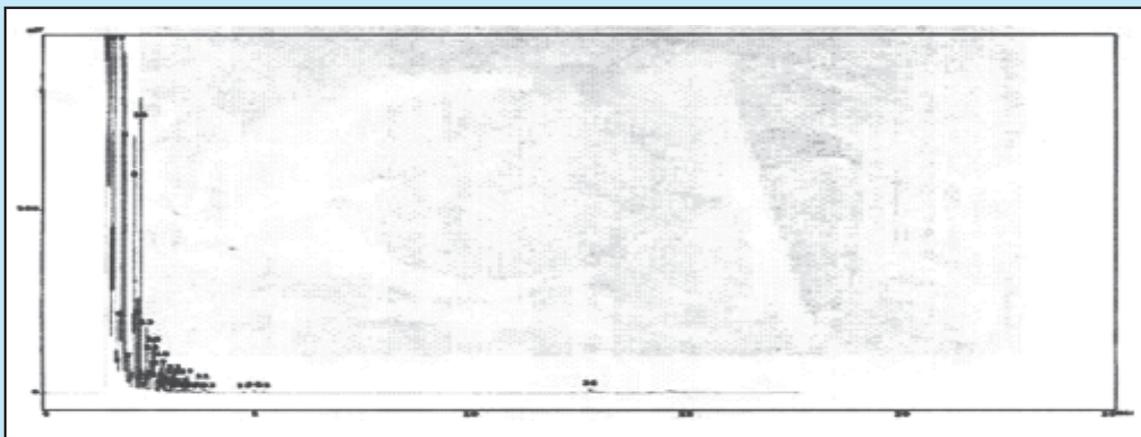
Senyawa produk yang dihasilkan dengan menggunakan berbagai katalis dengan logam aktif Ca-Cr memberikan derajat kemiripan dengan senyawa bensin sampai 59%. Keadaan ini menunjukkan bahwa katalis Ca-Cr/ZS dalam mengkonversi minyak sawit dapat berperan lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan katalis HZSM-5.<sup>6,9</sup>

**V. KESIMPULAN**

1. Katalis yang dipreparasi dapat dipakai dalam proses konversi katalitik minyak nabati menjadi

fraksi bio-bensin setara fraksi bensin.

2. Katalis dengan campuran dua logam Ca 3% dengan Cr 5%, Ca3-Cr5/ZS, mampu menghasilkan fraksi pendek paling banyak pada suhu reaksi 450°C yakni sebanyak 88 fraksi dengan waktu retensi 1-15.
3. Suhu optimum pada proses konversi katalitik ini adalah 475°C.
4. Katalis campuran dua-logam aktif (Ca-Cr/ZS) rata-rata mampu mengkonversi umpan minyak



**Gambar 5.8**  
Kromatogram Bensin

**Tabel 3**  
Capaian MEPO, Produk Organik Cair Terhadap Senyawa Bensin

	Bensin	MEPO awal	Ca-3/ZS	Ca-6/ZS	Ca-10/ZS	Ca-3-Cr-5/SZ	Ca-6-Cr-5/ZS	Ca-10-Cr-5/ZS
1 - 5	99,816	0,7088	44,1339	59,3562	28,3761	50,5219	57,8673	59,4255

**Tabel 4**  
Kemiripan Senyawa Produk Dengan Bensin

	MEPO awal	Ca-3/ZS	Ca-6/ZS	Ca-10/ZS	Ca-3-Cr-5/ZS	Ca-6-Cr-5/ZS	Ca-10-Cr-5/ZS
% Kemiripan	0,7101	44,2153	59,4656	28,4284	50,6150	57,9740	59,5350

nabati, *methyl ester palm oil* menjadi fraksi yang mirip dengan fraksi bensin pada waktu retensi 1-5, sebesar 50,52 - 59,42%.

#### KEPUSTAKAAN

1. Adjaye, J.D.; Katikaneni, S.P.R.; Bakhshi, N.N., 1996, "Catalytic Conversion of a biofuel to Hydrocarbons: Effect of Mixtures of HZSM-5 and Silica-Alumina catalysts on Product Distribution. *Fuel Process. Technol.* vol.48, p. 115-143.
2. Katikaneni, S.P.R.; Adjaye, J.D.; Bakhshi, N.N., 1995, "Catalytic Conversion of Canola Oil to Hydrocarbons: Influence of Hybrid Catalyst and Steam, *Energy Fuels*, vol.9, p. 599-609.
3. Prasad, Y.S.; Bakhshi, N.N.; Mathews, J.F.; Eager, R.L., 1986, "Catalytic Conversion of Canola Oil to Fuels and Chemicals Feedstock, Part I: Effects of HZSM-5 Catalyst", *Can. J. Chem. Eng.* vol 64, p.278-284.
4. Adjaye, J.D.; Bakhshi, N.N., 1995, "Production of Hydrocarbon by Catalytic Upgrading of a fast Pyrolysis Bio-Oil, part I: Conversion over Various Catalyst. *Fuel Process Technol.* vol. 45, p.161-183.
5. Farouq A. Twaiq, Zabidi NAM, Bhatia 1999, "Catalytic conversion of palm oil to hydrocarbons: Performance of various zeolite catalysts. *Ind. Eng. Chem. Res.* Vol 38. p. 3230-3237.
6. Iden RO, Katikaneni SPR, Bakhshi N.N., 1997 "Catalytic conversion of canola oil to fuels dan chemicals: roles of catalyst acidity, basicity and shape selectivity on product distribution. *Fuel Processing Technology* Vol. 51, p. 101-125.
7. Thomas JM, Thomas, WJ., 1997, "Principle and practice of heterogeneous catalysts, VHC Publisher Inc., New York.
8. Nasution A.S, 1980, "Proses Katalitik Kraming" *Lembaran Publikasi PPPTM-LEMIGAS* No.1, tahun XIV, p.10-22.
9. Leng TY, Mohamed AR, Bhatia S., 1999, "Catalytic Conversion of Palm Oil to fuels and chemicals. *The Canadian Journal of Chemical Engineering.* Vol. 77, p. 156-162.
10. Bekkum H. van, Flanigen, E.M, Jansen J.C., 1991, "Introduction to Zeolite Science and Practice", Vol. 58, Elsevier.
11. Chang, C.D., and A. J. Silvestri, 1977. The conversion of methanol and other compounds to hydrocarbon over zeolite catalysts, *J. Catal.* 47:249-259.
12. Corma, A., V. Fornes, F. A. Mocholi, J. B. Monton, and F. Rey 1991. Influence of Superacid Sites in Ultrastable Y Zeolites on Gas Oil Cracking. In *Fluid Catalytic Cracking II: Concepts in Catalyst Design*. Edited by M. L. Occelli. Washington D.C.: American Chemical Society. 12-25.
13. A Farizul, HK., N.A.S Amin, Suhardy, B., Saiful Azhar, A., Mohd. Nazry, S, 2006, "Catalytic Conversion of RBD Palm Oil to gasoline: The Effect of Silica-Alumina ration in HZSM-5", *Proceedings of the 1<sup>th</sup> International Conference on Natural Resource Engineering & Technology 2006*, 24-24<sup>th</sup> July, Putrajaya, Malaysia, 262-273.
14. Setyawan P.H.D., 2002, Pengaruh Perlakuan Asam, Hidrotermal dan I, pregnasi Logam Kromium Pada Zeolit Alam dalam Preparasi Katalis, *Jurnal Ilmu Dasar*, Universitas Jember, Volume 3 No2, Juli 2002.
15. Chen, N. Y., Degnan Jr, T. F and koening, L. R. (1986). *Liquids Fuels from Carbohydrates*, Chemtech. 506-5211.
16. Jose Ribamar Segundo Dos ANJOS, et al., Catalytic Decomposition of Vegetable oil, *Applied Catalysis*, 5 (1983) 299-307.
17. Smith, K., 1992, *Solid Support and Catalyst in Organic Synthesis*, Ellis Horwood PTR, Prentice Hall, London.
18. Hart, H. (1987). *Organic Chemistry: A short Course*, 7th ed. USA: Houghton Mifflin Company.
20. Weast, R.C, and Astle, M.J. eds (1985), *Hand Book of Data on Organic Compounds (Vol 1 & 2)*, Florida: CRC Press.
21. Satterfield, C. N. (1991). *Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice*. New York: Mc Graw-Hill.
22. Da Rocha Filho, G.N., Brodzki, D. And Djega-Mariadassou, G. (1993). Formation of Alkanes, Alkylsycloalkanes and Alkylbenzene during the Catalytic Hydrocracking of Vegetables Oils. *Fuel.* 72: 543-549.