

OPTIMASI PROSES DEALUMINASI MODERNITE SEBAGAI KATALIS PERENKAHAN MINYAK GORENG BEKAS MENJADI BIOFUEL

ROHMADONA MAHARANI (L2C 309 038), SIGIT BINTORO (L2C 309 039)

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH, Tembalang, Semarang telp/fax.(024)7460058

Email : sigit_sibon@yahoo.com

Abstrak

Modernite sangat baik digunakan sebagai katalis asam untuk proses perengkahan, untuk mendapatkan kadar asam yang baik dapat dilakukan modifikasi katalis dengan proses dealuminasi. Dealuminasi akan memberikan rasio Si/Al yang lebih tinggi yang dapat memberikan selektivitas katalis, dan aktivitas katalis yang lebih tinggi serta lebih stabil dibandingkan modernite dengan rasio Si/Al 20. Dalam penelitian ini menggunakan bahan baku berupa minyak goreng bekas dan katalis zeolit jenis modernite dengan merk dagang CBV 21A yang mempunyai rasio mole $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 20 dan surface area $500 \text{ m}^2/\text{g}$. Dalam penelitian variabel yang berpengaruh, didapatkan persamaan matematika untuk produk cair adalah $Y = 2,801712 + 0,296807 X_1 + 0,579137 X_2 + 0,486784 X_3 - 0,1875 X_1X_2 + 0,2125 X_1X_3 - 0,2125 X_2X_3 - 0,211775 X_1^2 + 0,467905 X_2^2 - 0,59326 X_3^2$. Sedangkan untuk produk gas persamaan matematikanya adalah $Y = 33,78127 + 1,27358 X_1 + 1,48747 X_2 + 6,078 X_3 - 3,25 X_1X_2 + 2 X_1X_3 + 1,05 X_2X_3 - 1,38162X_1^2 + 1,64508 X_2^2 - 4,61622X_3^2$, dengan Y adalah yield produk yang dihasilkan, X_1 adalah waktu dealuminasi, X_2 adalah suhu operasi, dan X_3 adalah Normalitas. Kondisi optimal jenis maksimasi terdapat pada hubungan waktu versus Konsentrasi, dengan waktu dealuminasi 8 jam dan konsentrasi 3,5 N untuk produk cair, sedangkan untuk produk gas pada waktu 8 jam dengan konsentrasi 4 N.

Kata kunci : *Modernite, katalis*

PENDAHULUAN

Minyak bumi merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbarui dan suatu saat akan habis. Secara keseluruhan Indonesia mengalami kerugian minyak mentah dan hasil minyak mencapai 7,9 miliar dolar AS pada tahun 2006. Jika kecenderungan ini terus berlanjut maka deficit minyak dari tahun ke tahun akan semakin bertambah karena produksi minyak mentah yang terus merosot. Pada tahun 1997 produksi minyak mentah Indonesia masih diatas 1,5 juta barrel per hari dan mulai tahun 2007 tinggal 950.000 barrel per hari. Indonesia merupakan negara pengimpor hasil minyak terbesar di Asia.

Penggunaan minyak nabati berulang kali sangat membahayakan kesehatan. Hal ini dikarenakan selain semakin banyaknya kotoran yang terkandung dalam minyak goreng akibat

penggorengan bahan makanan sebelumnya dan semakin banyaknya senyawa-senyawa asam karboksilat bebas di dalam minyak serta warna minyak goreng yang semakin tidak jernih jika dipakai berulang kali. Selama proses penggorengan, terjadi pemanasan dan minyak berubah menjadi berwarna gelap karena terjadinya reaksi kimia yang umumnya bersifat karsinogenik (Boyd dan Margaret, 1996).

Pengembangan bio-fuel sebagai energi nabati pengganti minyak bumi, ditinjau dari segi pembangunan kesejahteraan rakyat sangatlah bermanfaat; yakni bukan hanya dipandang dari sisi peluang penyediaan energi alternatif yang akan dapat menggantikan minyak bumi karena persediaannya semakin habis, namun juga akan memberikan kesempatan lebih besar untuk memperbaiki kualitas lingkungan hidup, menciptakan lapangan kerja, dan meningkatkan pendapatan masyarakat.

Dealuminasi Katalis

Proses dealuminasi merupakan suatu metode untuk menjaga stabilitas struktur pori dan menghilangkan alumina dari framework zeolit agar katalis ini tidak mudah mengalami deaktivasi. Proses dealuminasi biasanya dilakukan dengan menambah sejumlah asam (misalnya amonium klorida, asam klorida, asam florida, dan sebagainya) pada zeolit. Pelarut yang dipilih dalam proses dealuminasi pada penelitian ini adalah ammonium klorida.

Catalytic cracking

Catalytic cracking atau perengkahan berkatalis adalah suatu cara untuk memecah hidrokarbon kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana yang dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas produk dan juga dapat menurunkan jumlah residu yang dihasilkan.

Ada tiga tipe dari proses *catalytic cracking* yaitu *Fluid catalytic cracking* (FCC), *moving – bed catalytic cracking*, dan *thermofor catalytic cracking* (TCC).

1. Fluid catalytic cracking

Yaitu proses perengkahan dimana minyak dipecah dengan adanya katalis yang ada didalam reaktor dengan jalan menjaga aliran fluida dalam proses tersebut.

2. Moving-bed catalytic cracking

Proses ini hampir sama dengan proses *fluid catalytic cracking*. Perbedaannya terletak pada perlakuan katalis yang dipindahkan secara kontinyu untuk dijatuhkan kedalam reaktor dan kemudian diregenerasi.

3. *Thermo for catalytic cracking*

Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan minyak terlebih dahulu, kemudian dialirkan hingga mencapai reaktor bed katalitik. Dalam reaktor ini uap akan terpisah dari katalis dan mengirimnya ke kolom fraksinasi. (SET laboratories, 1999)

Karakteristik Minyak Goreng Bekas

Tabel 1. Karakteristik minyak goreng bekas (Sidjabat, 2004)

No	Karakteristik	Hasil analisis	Metode uji
1.	Spesifik gravitas, 60/60°F	0.9225	ASTM D-1298
2.	Viskositas Kinematik, 100°C, cSt	50.47	ASTM D-445
3.	Warna	>3.5	ASTM D-1500
4.	Bilangan Asam total, mg KOH/gr	5.289	ASTM D-664
5.	Residu karbon, %-brt	0.314	ASTM D-189
6.	Asam lemak bebas, %-brt	4.2	-
7.	Komposisi as.lemak, %-brt :		
	- Asam Laurat	1.606	
	- Asam palmitat	14.939	
	- Asam margarat	3.959	HPLC
	- Asam Stearat	13.121	
	- Asam Oleat	32.192	
	- Asam linoleat	5.022	
	- Asam arkhidat	2.585	

METODE PENELITIAN

Bahan

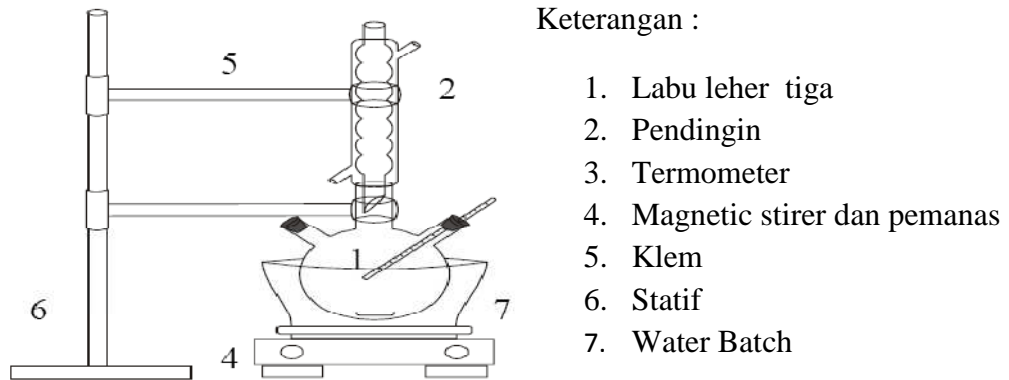
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah minyak goreng bekas. Katalis yang digunakan adalah katalis zeolit dengan jenis modernite. Katalis jenis ini bermerk dagang CBV 21A mengandung rasio Si/Al 20 dengan surface area 500 m²/g.

Peralatan

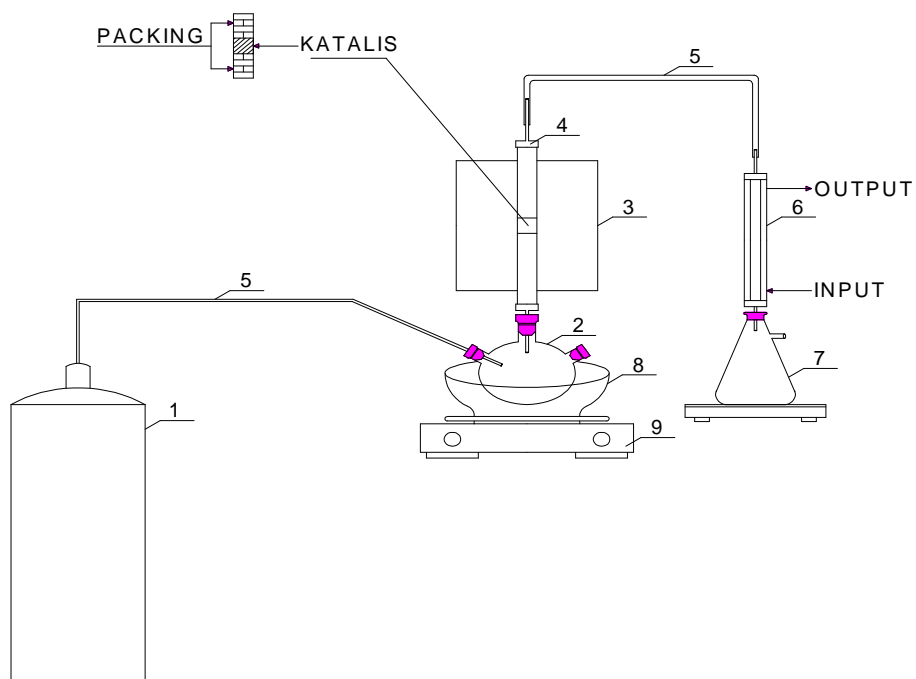
Pada dealuminasi katalis ini peralatan yang dipakai adalah sebuah labu leher tiga yang dilengkapi magnetic stirer, pemanas, waterbatch dan pendingin balik. Untuk kalsinasi katalis digunakan furnace yang dapat dikendalikan suhunya, sedangkan alat yang digunakan dalam proses perengkahan minyak jelantah adalah sebuah pemanas umpan yang fungsinya untuk mendidihkan umpan yang berupa minyak jelantah, tabung N₂ dan flowmeter yang berfungsi sebagai gas pembawa, sedangkan alat utamanya berupa sebuah reaktor pipa dengan panjang ± 50 cm dengan diameter 1 cm. Dimana pada reaktor ini dilengkapi dengan furnace elektrik yang dilengkapi dengan klem, statif dan pengontrol suhu. Pada bagian ujung atas dari reaktor disambungkan dengan sistem pendingin balik yang terbuat dari kaca, yang dialiri dengan air

sebagai media pendingin. Gas yang telah didinginkan kemudian ditampung dalam erlenmeyer yang selanjutnya akan dianalisa.

Gambar Rangkaian Alat



Gambar 1. Rangkaian Alat Dealuminasi



Gambar 2. Rangkaian Alat Cracking

Keterangan :

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1. Tabung N ₂ | 6. Pendingin liebig |
| 2. Labu leher tiga | 7. Erlenmeyer |
| 3. Furnance | 8. Waterbatch |
| 4. Reaktor katalitik | 9. Kompur listrik |
| 5. Selang tahan panas | |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Percobaan

Penelitian ini akan difokuskan pada proses dealuminasi katalis (modernite) untuk digunakan sebagai katalis dalam proses cracking minyak goreng bekas menjadi biofuel. Pada proses ini digunakan variable tetap, yaitu volume umpan (minyak goreng bekas) 150 ml, berat katalis 1,5 gram, temperatur cracking 450 °C dan waktu cracking adalah 3 jam. Sedangkan untuk variable bebasnya (independent variable) yaitu, Temperatur dealuminasi (30 – 70 °C), Konsentrasi Hcl (2-4 N), dan waktu dealuminasi (4-8 jam). Adapun hasil dari penelitiannya akan disajikan pada tabel 2 sebagai berikut :

Tabel. 2 Hasil percobaan perengkahan minyak Goreng Bekas

Run	Variabel bebas			Variabel bergantung		
	Waktu/X1 (Jam)	Suhu/X2 (°C)	Konsentrasi/X3 (N)	Y1 (%) Cair	Y2 (%) Gas	Y3 (%) Wax
1	4	30	2	0,7	18,2	81,1
2	8	30	2	2,3	29,4	68,3
3	4	30	4	1,9	28	70,1
4	8	30	4	1,6	30,9	67,5
5	4	70	2	1,9	29	69,1
6	8	70	2	3,3	35,7	61
7	4	70	4	1,3	13,3	85,4
8	8	70	4	2,9	36,7	60,4
9	6	16,36	3	2,5	29,5	68
10	6	83,64	3	3,2	35	61,8
11	6	50	1,318	2,3	33,9	63,8
12	6	50	4,68	7,3	48	44,7
13	2,6	50	3	1,1	11,7	87,2
14	9,4	50	3	2,5	34,8	62,7
15	6	50	3	2,8	32,7	64,5
16	6	50	3	2,6	34,1	63,3

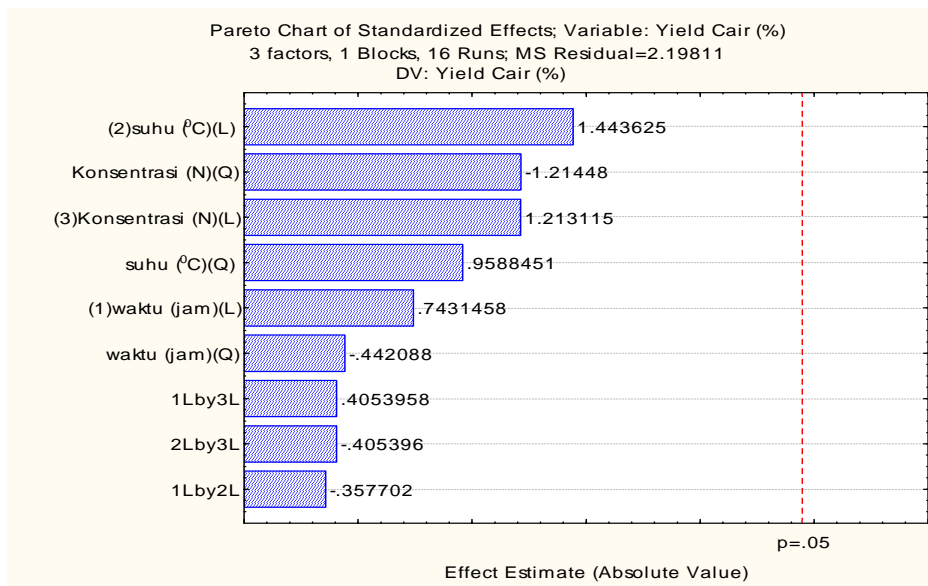
Optimasi Produksi Bahan Bakar Fase Cair

Berdasarkan data hasil percobaan yang ditampilkan di Tabel. 1 dan menggunakan bantuan software Statistika-6 data dapat diolah dengan response surface methodology (RSM) dengan dibuat model matematik empirik dengan menggunakan teknik analisa regresi multi

arah, sehingga persamaan untuk yield cair yang dihasilkan dari proses crackinag dapat dituliskan seperti persamaan (1).

$$Y = 2,801712 + 0,296807 X_1 + 0,579137 X_2 + 0,486784 X_3 - 0,1875 X_1X_2 + 0,2125 X_1X_3 - 0,2125 X_2X_3 - 0,211775 X_1^2 + 0,467905 X_2^2 - 0,59326 X_3^2 \quad (1)$$

Dari persamaan koefisien regresi diatas dapat diperjelas dengan diagram pareto (pareto chart) untuk setiap variabel. Diagram pareto untuk simulasi persamaan (1) dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar. 3 Diagram Pareto Untuk Produk Cair

Gambar. 1 menunjukkan diagram pareto produk cair untuk menentukan variabel yang berpengaruh. Pada gambar menjelaskan bahwa efek dari semua variabel dalam penelitian ini masih dibawah batas signifikan minimum ($p=0,05$) dengan teraf keberartian 95%. Variabel dengan model Linear (L) memberikan hasil yang lebih baik dari pada model Kuadrat (Q). Dengan demikian efek interaksi penelitian dari produk fase cair dapat dikatakan kurang memuaskan.

Simulasi permodelan tersebut diuji dengan menggunakan Tabel ANOVA seperti yang disajikan pada table 3 sebagai berikut :

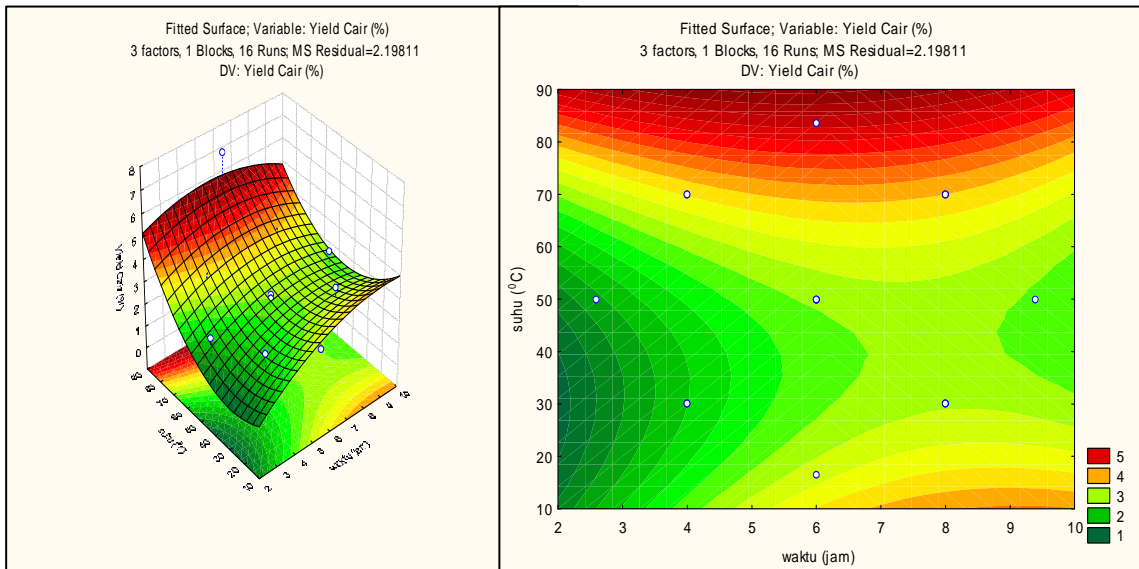
Tabel. 3 Anova untuk produksi bahan bakar cair

Sumber variasi	SS	df	MS	F-value
SS regresi	19.48884	9	2.165	0.98
SS error	13.18866	6	2.19811	
SS total	32.67750	15		
R ²	0.59(59.64)			

Hasil dari pencocokan model dengan menggunakan metode ANOVA diperoleh harga $R^2 = 0,596$ (59,64%) mengindikasikan bahwa 40,36% dari jumlah variasi tidak sesuai dengan model. Sehingga model regresi yang dihasilkan tidak cukup baik untuk digunakan.

Hubungan Antara Waktu dan Suhu

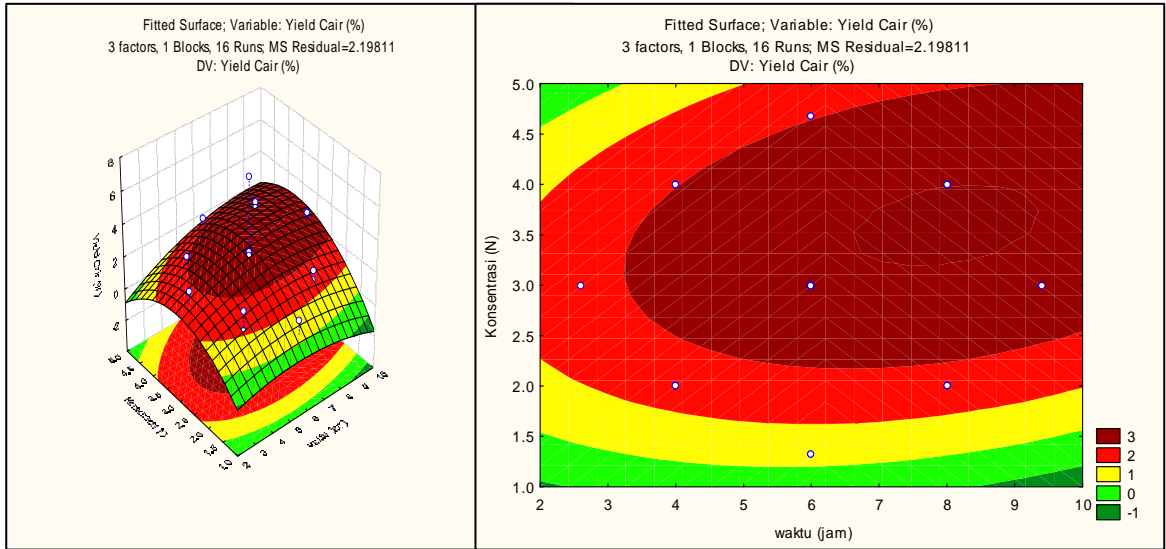
Hubungan antara waktu dealuminasi dan suhu pada proses dealuminasi terhadap yield produk cairan dari proses perengkahan katalitik minyak goreng bekas ditunjukkan pada Gambar 4. Akan tetapi hubungan waktu versus suhu ini tidak dapat ditentukan nilai optimasinya.



Gambar. 4 Profil Respon Fitted Surface dan Counter Plot Hubungan waktu vs suhu

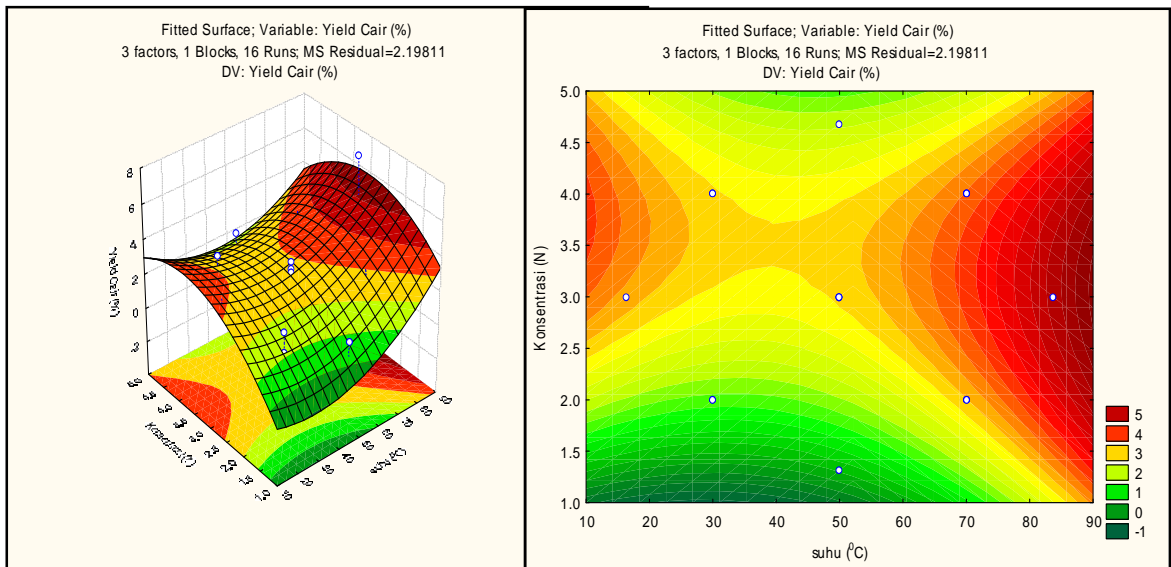
Hubungan Antara Waktu dan Normalitas HCl

Gambar hubungan antara waktu dan normalitas larutan yang ditunjukkan dengan countur permukaan dan fitted surface yang menghasilkan grafik optimasi maksimal pada waktu operasi 8 jam dengan normalitas 3,5 N dengan yield yang duhasilkan adalah 3%.



Gambar.5 Profil Respon Fitted Surface dan Counter Plot Hubungan waktu vs Normalitas

Hubungan Antara Suhu dan Normalitas HCl



Gambar.6 Profil Respon Fitted Surface dan Counter Plot Hubungan Suhu vs Normalitas

Pada gambar. 6 disajikan hubungan antara suhu dan Normalitas HCl dalam proses dealuminasi, dari hubungan suhu versus konsentrasi tidak dapat ditentukan nilai optimalnya.

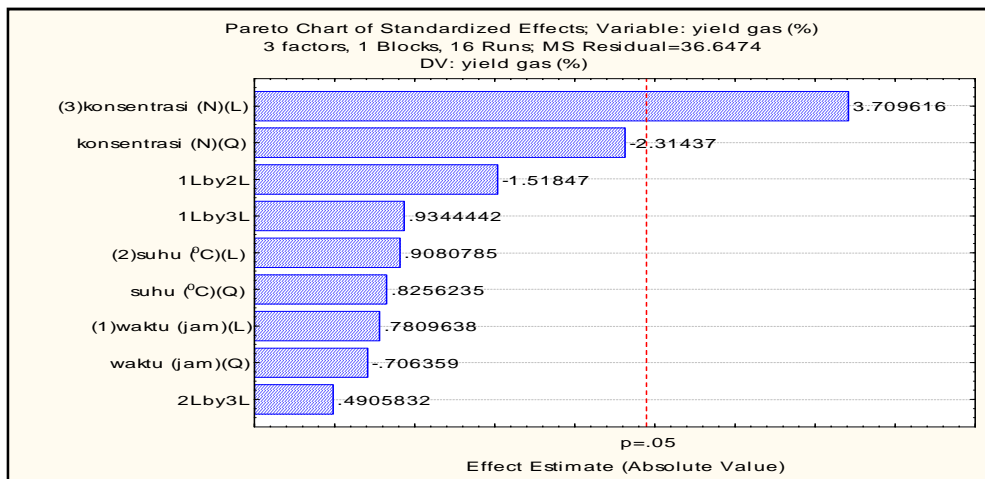
Optimasi Produksi Bahan Bakar Fase Gas

Proses perengkahan minyak goreng dengan perlakuan awal dealuminasi katalis, selain menghasilkan produk bahan bakar cair juga didapatkan produk akhir berupa gas, ini disebabkan produk yang telah terkonversi menjadi bahan bakar tidak mampu didinginkan oleh pendingin liebig secara sempurna, karena ada beberapa senyawa yang mempunyai titik cair dibawah temperatur pendingin.

Dengan bantuan software statistika 6 dapat diperoleh table koefisien regresi untuk merumuskan model matematika terhadap variable, adapun persamaan Analisa koefisien regresi ditunjukkan pada persamaan 2 sebagai berikut :

$$Y = 33,78127 + 1,27358 X_1 + 1,48747 X_2 + 6,078 X_3 - 3,25 X_1X_2 + 2 X_1X_3 + 1,05 X_2X_3 - 1,38162X_1^2 + 1,64508 X_2^2 - 4,61622X_3^2 \quad (2)$$

Dari persamaan koefisien regresi diatas dapat diperjelas dengan diagram pareto (pareto chart) untuk setiap variabel. Diagram pareto untuk simulasi persamaan (1) dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar. 7 Pareto Chart Untuk Produk Fase Gas

Berdasarkan grafik pareto pada gambar 5 Harga efek kuadrat normalitas larutan melewati garis $p = 0.05$ sehingga normalitas dari larutan sangat mempengaruhi yield yang terbentuk.

Ketepatan model regresi dari proses perengkahan minyak jelantah/ minyak goreng bekas dapat dilakukan dengan perhitungan analisa varian (ANOVA) seperti yang disajikan pada tabel 4 sebagai berikut :

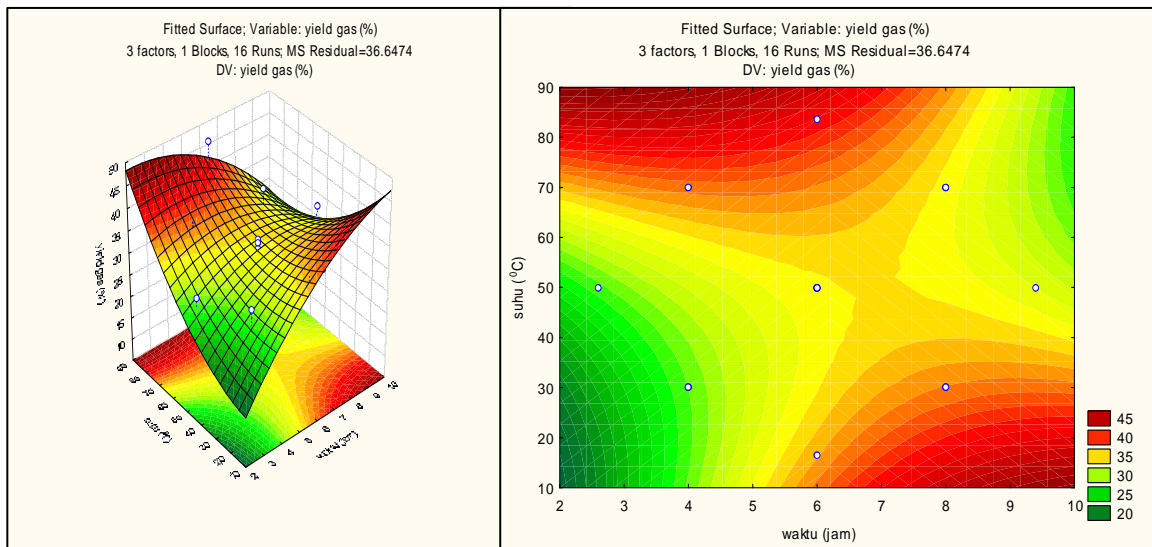
Tabel 4 Anova untuk Bahan bakar fase Gas

Sumber variasi	SS	df	MS	F-value
SS regresi	1028,235	9	114.25	3,12
SS error	219,884	6	36,65	
SS total	1248,119	15		
R ²	0,8238			

Hasil dari pencocokan model dengan menggunakan metode ANOVA diperoleh harga R² = 0,8238. Dari harga R² yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa nilai R² mendekati satu, sehingga model matematik yang diperoleh dapat mensimulasikan data hasil percobaan dan baik untuk digunakan.

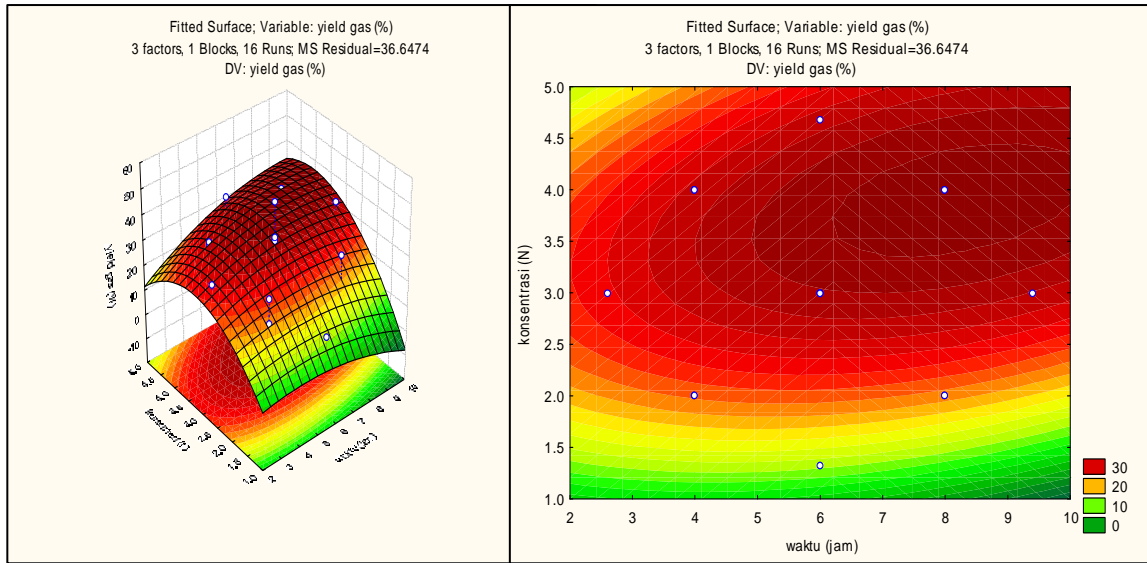
Hubungan Antara Waktu dan Suhu

Hubungan antara waktu dealuminasi dan suhu pada proses dealuminasi terhadap yield produk cairan dari proses perengkahan katalitik minyak jelantah ditunjukkan pada Gambar. 8 Dari countur plot tidak bias ditentukan nilai optimalnya.



Gambar. 8 Profil Respon Fitted Surface dan Counter Plot Hubungan waktu vs suhu

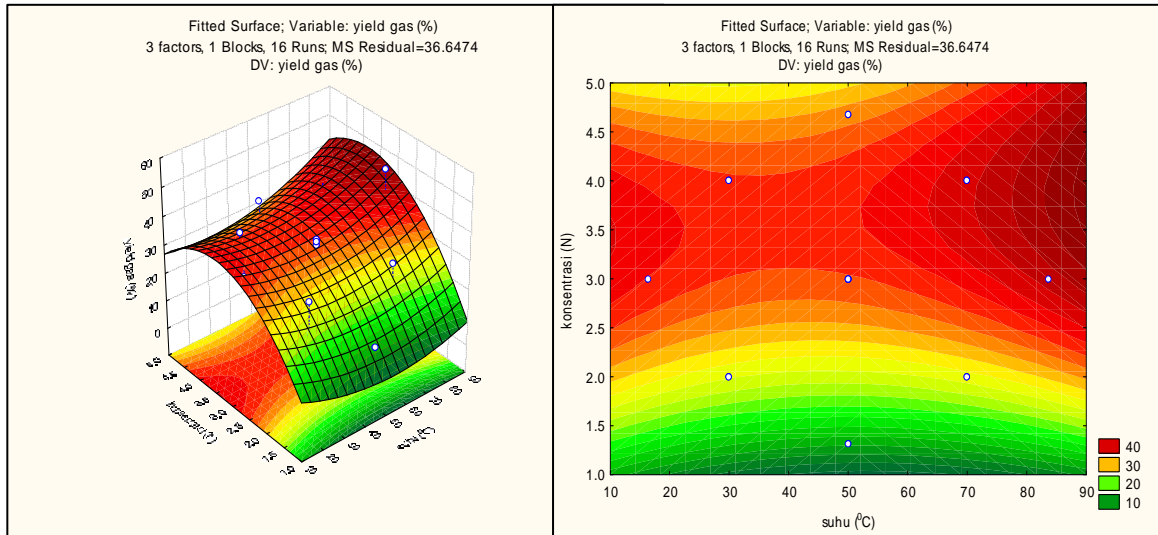
Hubungan Antara Waktu dan Konsentrasi HCl



Gambar.9 Profil Respon Fitted Surface dan Counter Plot Hubungan waktu vs Normalitas

Hubungan waktu versus konsentrasi/ normalitas larutan disajikan pada gambar 9. Dimana pada gambar ini kurva surfacenya berbentuk parabola dan kountur permukaannya berbentuk oval, ini menunjukkan bahwa jenis optimasi proses adalah maksimasi (menghasilkan hasil maksimum) pada konsentrasi/normalitas 4 N dan waktu dealuminasi 8 jam dengan yiled sebesar 30%.

Hubungan Antara Suhu dan Konsentrasi HCl



Gambar. 10 Profil Respon Fitted Surface dan Counter Plot Hubungan Suhu vs Normalitas

Pada gambar 10 disajikan hubungan suhu versus konsentrasi larutan. Dari gambar tersebut tidak dapat ditentukan nilai optimalnya.

Dari gambar yang disajikan pada produk cair dan gas untuk pengaruh masing – masing variabel adalah :

Semakin lama waktu dealuminasi menyebabkan semakin banyaknya gugus asam yang menggantikan Al dalam framework/ kerangka zeolit sehingga menyebabkan meningkatnya kadar asam dalam kerangka zeolit. Semakin tinggi temperatur maka akan mempermudah hilangnya ammonia pada situs asam bronsted sehingga diperoleh katalis H-Modernite dengan keasaman yang lebih tinggi. Sedangkan pengaruh Normalitas larutan adalah meningkatnya situs asam bronsted dengan besarnya Normalitas HCl yang ditambahkan pada proses dealuminasi, sehingga rasio Si/Al akan meningkat dan diikuti dengan menurunnya konsentrasi kation (Al) dalam katalis modernite. Dengan meningkatnya kandungan Si/Al dalam katalis modernite maka ukuran pori pada daerah mikro akan semakin meningkat yang menyebabkan selektivitas dan aktivitas katalis meningkat pula, sehingga dihasilkan yield yang lebih tinggi.

Komposisi produk bahan bakar cair

Untuk menentukan komposisi dari perengkahan minyak goreng bekas akan dilakukan dengan analisa Gas Kromatografi. Hasil analisa Gas Kromatografi (GC) untuk larutan standart Premium, kerosene, dan solar serta dari larutan sampel hasil cracking menggambarkan peak-peak yang menunjukkan waktu retensinya untuk masing-masing komponen, Dimana waktu retensi adalah waktu yang diperlukan untuk pembakaran komponen oleh gas hydrogen dalam alat gas kromatografi. Setelah terjadinya pembakaran, gas ini akan terdeteksi oleh sensor yang dihubungkan pada computer sehingga peak akan tampak pada layar computer. Senyawa yang lebih cepat terbakar akan memiliki waktu retensi yang lebih kecil.

Ditinjau dari peak yang dihasilkan pada sampel hasil perengkahan dapat diperkirakan fraksi bahan bakar yang terdapat pada sampel cracking dengan membandingkan waktu retensi terhadap area masing-masing peak yang dihasilkan. Sehingga gambar diatas dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 5 Komposisi Sampel Hasil Perengkahan Dengan Gas Kromatografi

Jenis	Variabel bebas			Variabel bergantung		
	Waktu (jam)	suhu (°C)	Konsentrasi (N)	Komposisi premium (%)	Komposisi Kerosene (%)	Komposisi Solar (%)
Sampel 1	4	30	4	2,93	13,31	24,49
Sampel 2	6	50	1,318	10,42	39,43	25,99
Sampel 3	6	50	4,68	13,87	21,46	16,79
Sampel 4	8	30	4	4,19	27,98	17,14
Sampel 5	8	70	4	7,68	30,77	17,64

Pada sampel 3 didapatkan komposisi bensin yang paling tinggi, ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi HCl yang ditambahkan maka akan menyebabkan katalis memiliki sifat keasaman yang lebih kuat sehingga mampu memutus rantai ikatan menjadi fraksi bensin (rantai pendek). Pada sampel 2 didapatkan komposisi solar yang tinggi (25,99 %), ini menandakan lemahnya kandungan asam pada katalis. Adapun hasil perengkahan minyak goreng bekas memiliki dominasi komposisi kerosene yang tinggi, ini menandakan hasil cracking hanya mampu memutus rantai panjang pada minyak goreng bekas menjadi rantai medium seperti yang dimiliki kerosene.

KESIMPULAN

Minyak goreng bekas dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair (biofuel) dengan proses katalitik cracking menggunakan katalis modernite yang sudah terdealuminasi. Proses *Dealuminasi katalis modernite* dapat meningkatkan kandungan asam pada katalis modernite dengan bertambahnya rasio Si/Al pada framework modernite. Model persamaan empirik yang diperoleh dari hasil percobaan untuk produk cair adalah :

$$Y = 2,801712 + 0,296807 X_1 + 0,579137 X_2 + 0,486784 X_3 - 0,1875 X_1X_2 + 0,2125 X_1X_3 - 0,2125 X_2X_3 - 0,211775 X_1^2 + 0,467905 X_2^2 - 0,59326 X_3$$

Sedangkan untuk produk fase gas adalah :

$$Y = 33,78127 + 1,27358 X_1 + 1,48747 X_2 + 6,078 X_3 - 3,25 X_1X_2 + 2 X_1X_3 + 1,05 X_2X_3 - 1,38162X_1^2 + 1,64508 X_2^2 - 4,61622X_3^2$$

Kondisi operasi yang optimal (optimasi maksimal) untuk produk cair ditunjukkan dari hubungan waktu dan normalitas dimana diperoleh optimasi maksimal pada waktu 8 jam dan normalitas 3,5 N dengan yield 3 %. Sedangkan optimasi maksimal untuk produk gas ditunjukkan dengan lama waktu 8 jam dengan konsentrasi (Normalitas) 4 N dengan yield sebesar 30%. Hasil komposisi produk bahan bakar cair didominasi oleh fraksi kerosene, ini menunjukkan produk hasil perengkahan mempunyai kandungan kerosene yang cukup besar.

DAFTAR PUSTAKA

Anggoro , Didi Dwi dan Faleh Setia Budi. *Proses Pirolisis Katalisis Dari Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair*. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia-SNTKI 2009. Bandung 19-20 Oktober 2009.

Anggoro, Didi Dwi dan Istadi. 2008. *Buku Ajar Teknologi Katalis*. Semarang. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Buchori, Lukman dan Widayat. *Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas Dengan Proses Catalitic Cracking*. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia-SNTKI 2009. Bandung 19-20 Oktober 2009.

Haerudin, Hery. *Katalis dan Bahan Penyusunnya Dalam Penyediaan Sumber Energi*. Pusat Penelitian Kimia-LIPI Kawasan PUSPITEK Serpong.

Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction engineering*. John Wiley and Sons. New York.

Nurjannah dkk. *Perengkahan Katalitik Asam Oleat Untuk Menghasilkan Biofuel Menggunakan HZSM-5 Sintesis*. Jurusan Teknik Kimia FTI ITS.

Richardson, James T. 1989. *Principle of Catalyst Development*. New York. Plenum Press.

Savitri, Nike Dwi dan Veronica. *Proses Produksi DiEtil Eter dengan Dehidrasi Etanol Pada Fase Cair*. Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Trisunaryati, Wega. 2009. *Zeolit alam Indonesia : Sebagai absorben dan katalisdalam mengatasi masalah lingkungan dan krisis energi*. UGM. Jogjakaarta.

Bahan Bakar dan Pembakaran.

<http://www.chemeng.ui.ac.id/~wulan/Materi/lecture%20notes/umum.PDF>

Biofuel Untuk Mesin, "Minyak Jelantah"¹ Untuk Manusia.

<http://setarajambi.org/wp-content/uploads/2008/04/21/briefieng-paperenglish-and-indonesia.pdf>

Fluid Catalitic Cracking (FCC) Proses. <http://upieks.wordpress.com/2008/05/14/fluid-catalytic-cracking-fcc-proses/>

Metode Experimental Dalam Penelitian Katalitik.

<http://www.duniakimiakita.co.cc/2009/12/metode-eksperimental-dalam-penelitian.html>

Zeolyst International.

<http://www.zeolyst.com/our-products/standard-zeolite-powders/mordenite.aspx>

