



PEMBUATAN BAHAN BAKAR CAIR DARI TREMBOSO (SISA SADAPAN LATEKS)
MENGUNAKAN
KATALIS ZEOLIT MODERNITE

Dian Cahyaningrum, Nurfiana Fradevi, Dr.Ir.Didi Dwi Anggoro, M.Eng *)

Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Tembalang, Semarang telp/fax.(024)7460058

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. Dalam penelitian variabel yang berpengaruh, didapatkan persamaan matematika untuk produk cair adalah $Y = -120,858 + 4,869X_1 + 1,473X_2 + 59,183X_3 + 0,043X_1X_2 - 0,733X_1X_3 - 0,320 X_2X_3 - 0,324X_1^2 - 0,008 X_2^2 - 6,075 X_3^2$. Sedangkan untuk produk gas persamaan matematikanya adalah $Y = 122,3022 + 1,5447 X_1 - 0,8713 X_2 + 55,8804 X_3 + 0,0357 X_1X_2 - 0,8281 X_1X_3 - 0,0547 X_2X_3 - 0,0643 X_1^2 + 0,0076 X_2^2 + 10,7038 X_3^2$, dengan Y adalah yield produk yang dihasilkan, X1 adalah waktu dealuminasi, X2 adalah suhu operasi, dan X3 adalah Konsentrasi. Kondisi optimal jenis maksimasi terdapat pada hubungan waktu versus Konsentrasi, dengan waktu dealuminasi 8 jam dan konsentrasi 3 N untuk produk cair, sedangkan untuk produk gas pada waktu 8 jam dengan suhu operasi 50°C.

Kata kunci : Modernite; katalis

Abstract

Modernite very well used as an acid catalyst for the cracking process, to get a good acid levels can be modified catalyst by dealumination process. Dealumination will provide a ratio of Si / Al higher which can provide the catalyst selectivity and activity of catalysts are higher and more stable than modernite the ratio of Si / Al 20. In this study, using raw materials such as used cooking oil and zeolite catalysts modernite types. In an influential study variable, didapatkan equations for liquid products is $Y = -120.858 + 4.869 + 1.473 X_1 + X_2 + X_3 59.183 0.043 X_1X_2 - X_1X_3 0.733 - 0.320 X_2X_3 - X_1 0.324 2 to 0.008 X_22 - X_32 6.075$. As for the product gas mathematical equation is $Y = 122.3022 + 1.5447 X_1 - 0.8713 X_2 + X_3 + 55.8804 0.0357 X_1X_2 - 0.8281 X_1X_3 - X_2X_3 0.0547 - 0.0643 X_12 + 0, 10.7038 + 0076 X_22 X_32$, the Y is the yield resulting product, X1 is a dealumination, X2 is the operating temperature, and X3 is the concentration. Optimal conditions maximizing the type contained in the concentration versus time relationship, with a time of 8 hours and a concentration dealumination 3 N for liquid products, while for the product gas at 8 hours with an operating temperature of 50 ° C.

Keywords: modernite; catalyst

1. Pendahuluan

Penggunaan energi di Indonesia secara umum meningkat pesat sejalan dengan pertumbuhan penduduk, pertumbuhan perekonomian maupun perkembangan teknologi. Pemerintah RI mengeluarkan peraturan pemerintah untuk menanggulangi lonjakan kebutuhan energi tersebut yaitu PP. No. 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi Nasional. Salah satu butir PP tersebut menyebutkan tentang pemanfaatan energi baru dan terbarukan khususnya tenaga air, surya, biomasa, nuklir, tenaga

*) Penulis Penanggung Jawab (Email: anggoro_phd@yahoo.com)

angin menjadi lebih dari 5% dalam bauran energi nasional pada tahun 2025, sementara kelompok energi terbarukan tersebut menyumbang 17% pemenuhan kebutuhan energi nasional.

Getah karet diperoleh dengan menyadap kulit batang karet dengan pisau sadap sehingga keluarlah getah yang disebut lateks. Menempalnya lateks dipermukaan pohon ini biasanya oleh penduduk sekitar disebut *tremboso*. *Tremboso* oleh perusahaan perkebunan biasanya tidak dimanfaatkan lagi sehingga banyak penduduk yang mengambil *tremboso* ini untuk dijual dengan harga murah. Untuk itu, perlu kiranya dibuat suatu alat yang dapat digunakan dalam proses pengolahan *tremboso*. Dengan dua keuntungan sekaligus yaitu dapat membantu pemerintah dalam pengadaan bahan bakar cair, serta mampu menambah nilai guna hasil pertanian dari *tremboso*, maka dapat diambil suatu kesimpulan bahwa rancang bangun alat proses pembuatan bahan bakar cair dengan memanfaatkan *tremboso* ini bernilai guna apabila berhasil diterapkan dan dilaksanakan di Indonesia.

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.

Teori Cracking

Cracking adalah suatu cara untuk merengkah hydrocarbon rantai panjang menjadi hydrocarbon dengan rantai yang lebih pendek, misalnya pada proses pembuatan bahan bakar setara solar dari minyak karak. Sebenarnya proses perengkahan (cracking) ini ada beberapa macam yaitu : Thermal Cracking , Catalitic Cracking, Hydrocracking.

Catalitic cracking adalah suatu proses perengkahan hydrocarbon rantai panjang menjadi hydrocarbon dengan rantai lebih pendek. Reaksi perengkahan katalitik pada dasarnya sama dengan reaksi perengkahan pirolisis (thermal cracking). Perbedaanya adalah pada reaksi catalitic cracking dilakukan dengan bantuan katalis. Penggunaan katalis disini bertujuan untuk meningkatkan yield produk yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

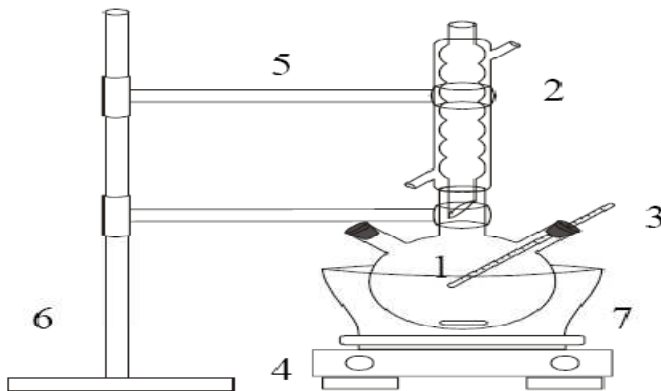
Bahan

Bahan yang digunakan adalah Tremboso (sisa sadapan lateks).Katalis yang digunakan adalah katalis jenis modernite.

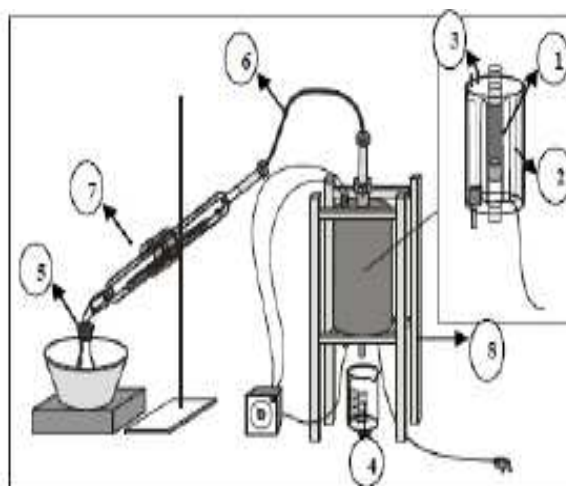
Peralatan

Pada dealuminasi katalis ini peralatan yang dipakai adalah sebuah labu leher tiga yang dilengkapi magnetic stirrer, pemanas, waterbatch dan pendingin balik. Untuk kalsinasi katalis digunakan furnace yang dapat dikendalikan suhunya, sedangkan alat yang digunakan dalam proses perengkahan tremboso adalah sebuah pemanas umpan yang fungsinya untuk mendidihkan umpan yang tremboso, 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 katalis modernite Si/Al 20



Keterangan gambar :

1. Stainless Tube Reaktor
Spesifikasi :
Diameter = 3 cm
Bahan = stainless steel
2. Furnace electric
3. Pengatur suhu
4. Beaker glass penampung wax
5. Erlenmeyer vacum
6. Selang tahan panas
7. Pendingin
8. Frame Penyangga

Gambar 2. Rangkaian alat perengkahan katalitik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Percobaan

Pada proses ini digunakan variabel tetap, yaitu 40 gram tremboso (sisa sadapan lateks) tekanan 1 atm dan suhu 450 °C. Sedangkan variabel bebas yaitu suhu operasi, waktu dan konsentrasi HCl pada proses dealuminasi. Dimana katalis hasil dari proses dealuminasi itulah, yang akan digunakan untuk proses cracking selanjutnya. Hasil percobaan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Percobaan Proses Perengkahan Katalitik Tremboso

Run	Waktu (Jam) X ₁	Suhu (°C) X ₂	Konsentrasi HCl (N) X ₃	Volume Hasil Cairan (ml)	Berat Hasil Padatan (wax) (gram)	Tremboso yang terkonversi menjadi gas (gram)	Yield Cair	Yield Gas
1	4	30	2	4,5	23,55	10,52	11,52	25,66
2	8	30	2	4,8	23,15	10,46	12	25,5
3	4	30	4	12	10,20	12,32	30	30,05
4	8	30	4	12,5	9,96	11,79	31,25	28,76
5	4	70	2	4,2	26,60	7,93	10,5	19,34
6	8	70	2	9,8	13,45	12,46	24,5	30,39
7	4	70	4	4	24,65	10,19	10	24,85
8	8	70	4	4,6	24,17	9,75	11,5	23,78
9	6	16,36	3	2	20,28	17,64	5	43,02
10	6	83,64	3	9	10,68	16,46	22,5	40,14
11	6	50	1,318	1,2	13,48	25,67	3	62,61
12	6	50	4,68	3	10,20	26,18	7,5	63,85
13	2,6	50	3	6,5	17,10	13,89	16,25	33,88
14	9,4	50	3	8,5	15,50	12,41	21,25	30,07

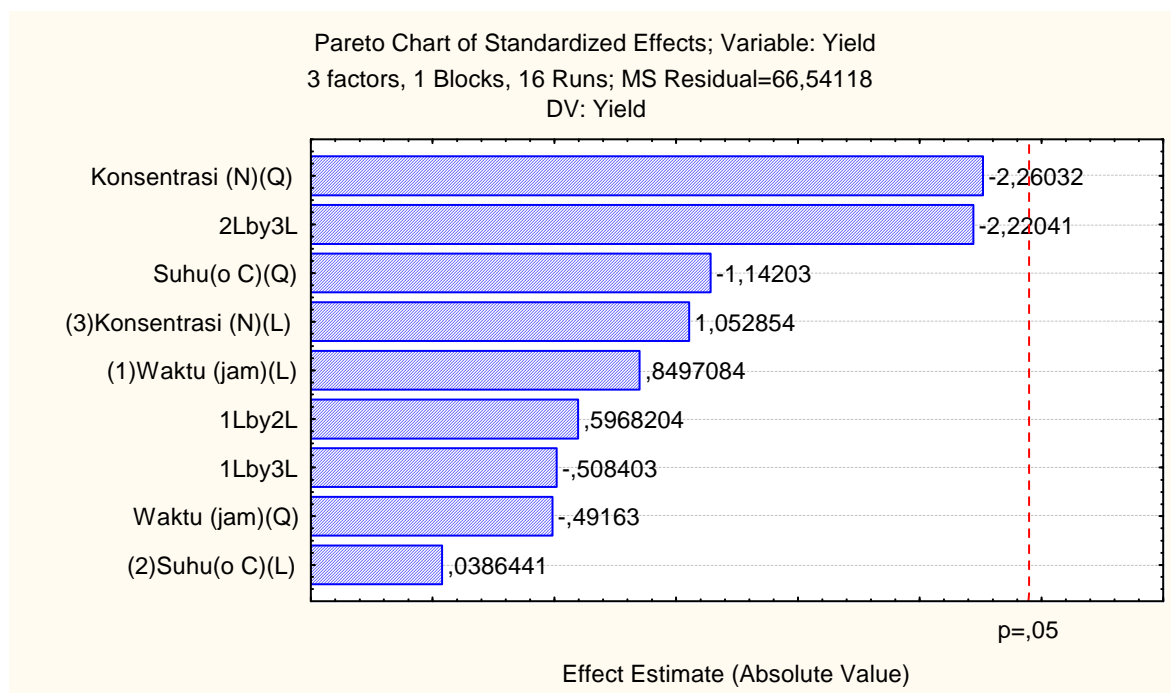
15	6	50	3	10	17,45	8,15	25	19,87
16	6	50	3	11	16,46	7,6	27,5	18,54

Optimasi Produksi Bahan Bakar Fase Cair

Berdasarkan data hasil percobaan yang ditampilkan di Tabel 4.1 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 cracking dapat dituliskan seperti persamaan (1).

$$Y = -120,858 + 4,869X_1 + 1,473X_2 + 59,183X_3 + 0,043X_1X_2 - 0,733X_1X_3 - 0,320 X_2X_3 - 0,324X_1^2 - 0,008 X_2^2 - 6,075 X_3^2 \tag{1}$$

Dari tabel 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 3. 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 tabel 2. sebagai berikut :

Tabel 2. Anova Untuk Produksi Bahan Bakar Cair

Sumber variasi	SS	df	MS	F-value
SS Regresi	933,697	9	934,5924	14,04
SS Error	399,247	6	66,5142	
SS Total	1257,752	15		
$R^2 = SS \text{ Regresi} / SS \text{ Total} = 0,74(74,23)$				

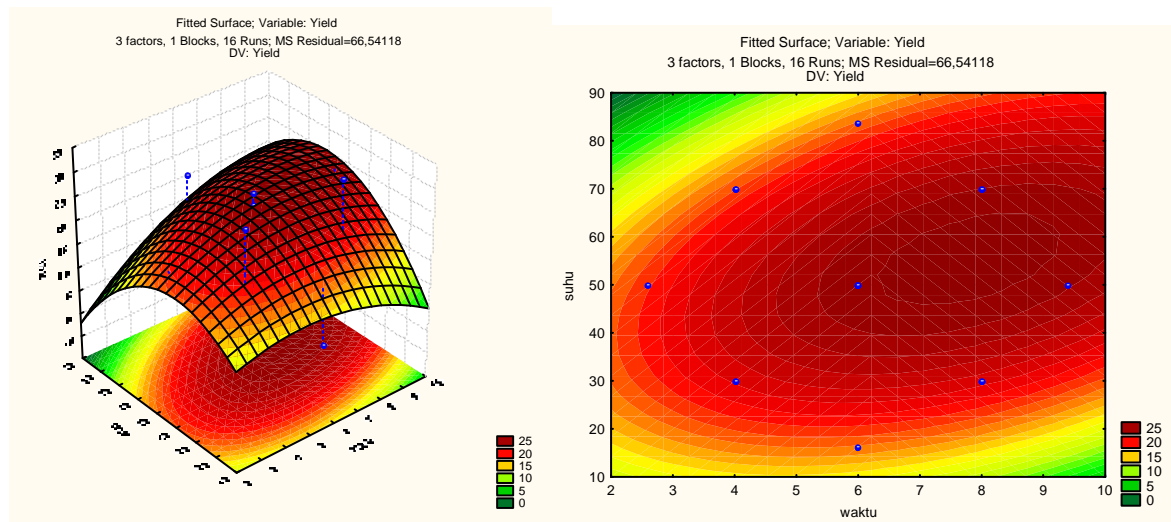
F 9,6 (0,01) = 14,04

Oleh karena harga F hitung > harga F tabel maka uji Fisher membuktikan bahwa persamaan model matematik yang dihasilkan sesuai dengan data pengamatan.

Hasil dari pencocokan model dengan menggunakan metode ANOVA diperoleh harga $R^2 = 0,74$. Dari harga R^2 yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa nilai R^2 mendekati satu, sehingga model matematik yang diperoleh dapat mensimulasikan data hasil percobaan.

Hubungan antara waktu dan suhu

Hubungan antara waktu dan suhu pada proses dealuminasi terhadap yield produk fase cair dari proses perengkahan katalitik tremboso ditunjukkan pada Gambar 4. Namun pada hubungan waktu dan suhu dapat ditentukan nilai optimalnya.

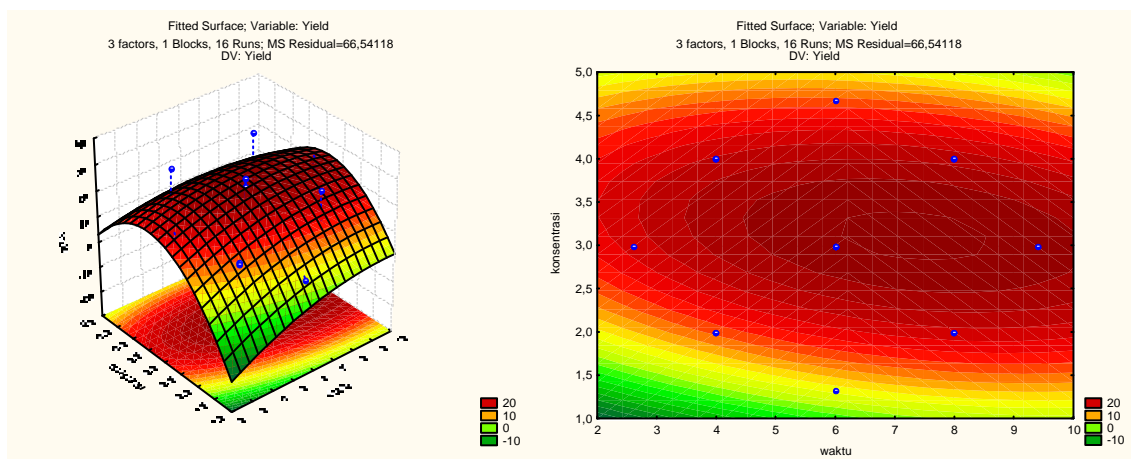


Gambar 4. Profil Respon Fitted Surface dan Counter Plot Hubungan Waktu vs Suhu

Gambar diatas menunjukkan countur permukaan hubungan waktu dan konsentrasi larutan yang menghasilkan grafik optimasi maksimal pada waktu operasi 8 jam dengan konsentrasi 3N dengan yield yang dihasilkan adalah 20%.

Hubungan antara waktu dan konsentrasi HCl

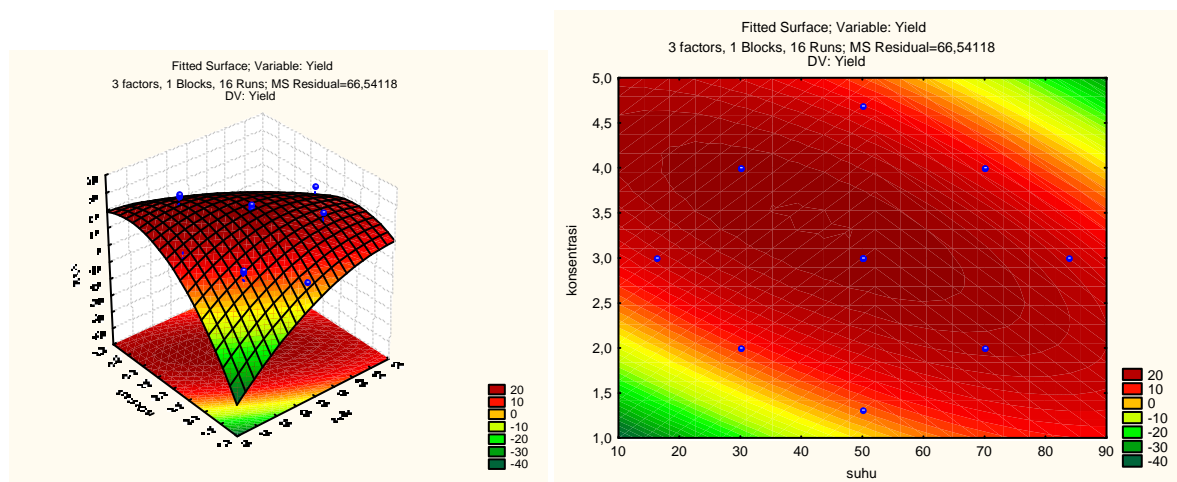
Sedangkan hubungan antara waktu dan normalitas larutan dalam proses dealuminasi disajikan pada Gambar 5.



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

Gambar diatas menunjukkan countur permukaan hubungan waktu dan konsentrasi larutan yang menghasilkan grafik optimasi maksimal pada waktu operasi 8 jam dengan konsentrasi 3N dengan yield yang dihasilkan adalah 20%.

Hubungan antara suhu dengan konsentrasi HCl



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

Pada gambar 6. disajikan hubungan antara suhu dan konsentrasi HCl dalam proses dealuminasi, Tetapi dari hubungan suhu dan konsentrasi dapat memberikan nilai yang optimal pada suhu 70°C dengan konsentrasi 2 N sehingga menghasilkan yield sebesar 20%.

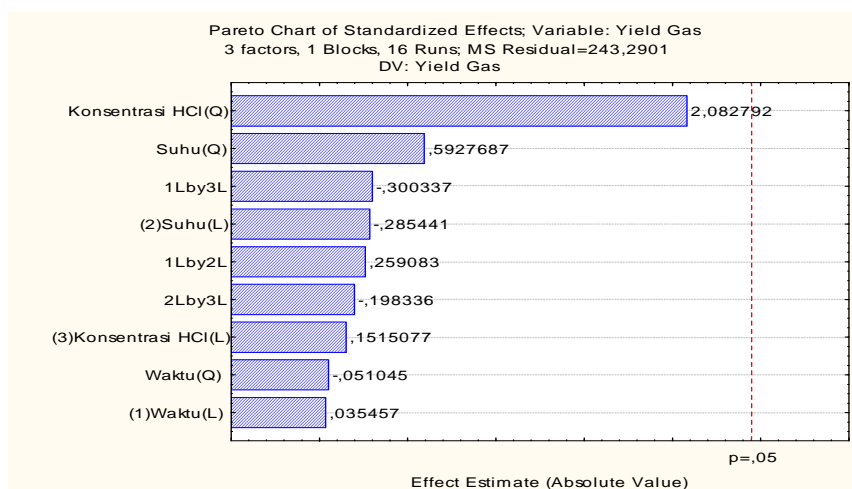
Optimasi Produksi Fase Gas

Proses perengkahan tremboso 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 Analisa koefisien regresi disajikan pada persamaan di bawah ini:

$$Y = 122,3022 + 1,5447 X_1 - 0,8713 X_2 + 55,8804 X_3 + 0,0357 X_1X_2 - 0,8281 X_1X_3 - 0,0547 X_2X_3 - 0,0643 X_1^2 + 0,0076 X_2^2 + 10,7038 X_3^2$$

Tabel koefisien regresi di atas dapat diperjelas dengan diagram pareto (pareto chart) untuk setiap variabel. Pareto chart yang dihasilkan adalah sebagai berikut:



Gambar 7. Pareto Chart Untuk Produk Fase Gas

Berdasarkan grafik pareto 7. 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 tremboso dapat dilakukan dengan perhitungan analisa varian (ANOVA) seperti yang disajikan pada tabel 4.5 sebagai berikut :

Tabel 3. Anova Untuk Bahan Bakar Fase Gas

Sumber Variasi	SS	df	MS	F-Value
SS Regresi	1215,348	9	1215,007	4,99
SS Error	1459,741	6	243,290	
SS total	2848,651	15		

$R^2 = (SS \text{ regresi} / SS \text{ total}) = 0,4266$

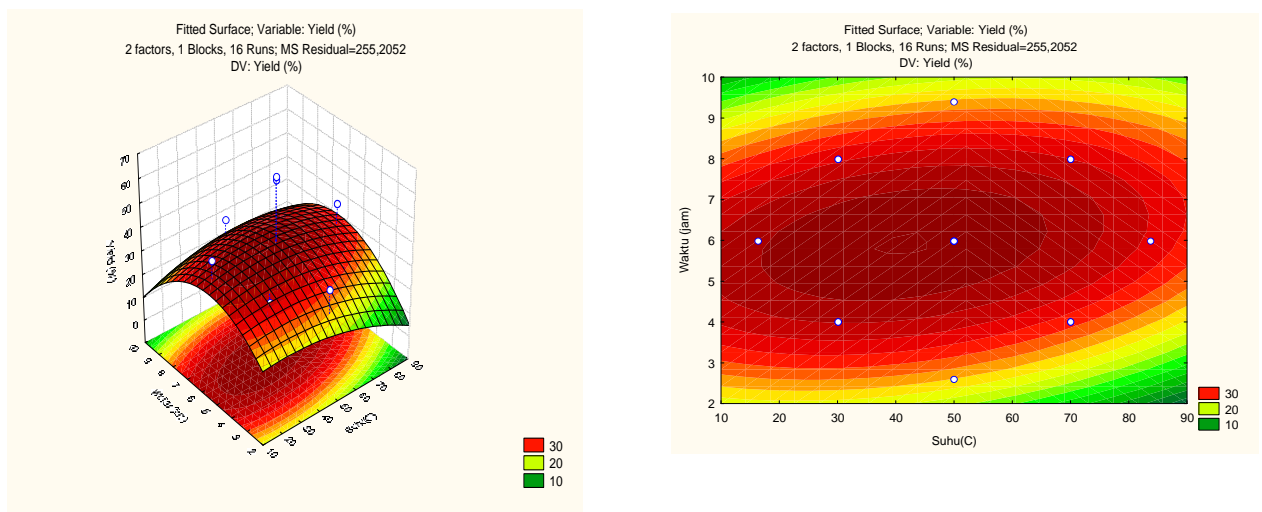
$F_{9,6} (0,01) = 4,99$

Oleh karena harga F hitung > harga F tabel maka uji Fisher membuktikan bahwa persamaan model matematik yang dihasilkan sesuai dengan data pengamatan. Hasil dari pencocokan model dengan

menggunakan metode ANOVA diperoleh harga $R^2 = 0,4266$. dari jumlah variasi tidak sesuai dengan model. Sehingga model regresi yang dihasilkan tidak cukup baik untuk digunakan.

Hubungan Antara Waktu dan Suhu

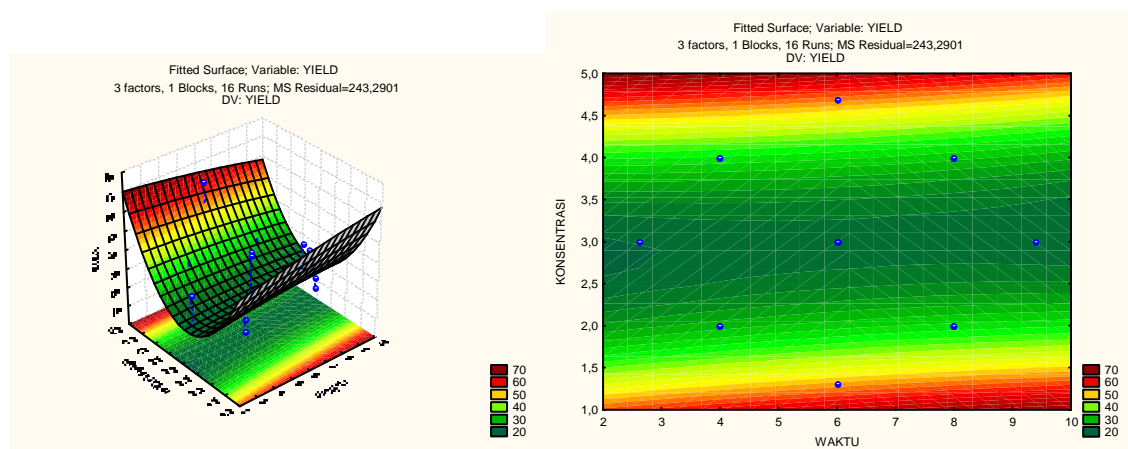
Hubungan antara waktu dealuminasi dan suhu pada proses dealuminasi terhadap yield produk cairan dari proses perengkahan katalitik tremboso ditunjukkan pada Gambar 8. Dari hubungan waktu dan suhu menunjukkan kondisi optimasi yaitu pada waktu operasi 8 jam dengan suhu operasi 50 °C dihasilkan yield sebesar 30 %.



Gambar 8. Profil Respon Fitted Surface dan Counter Plot Hubungan Waktu vs Suhu

Hubungan Antara Waktu dan Konsentrasi HCl

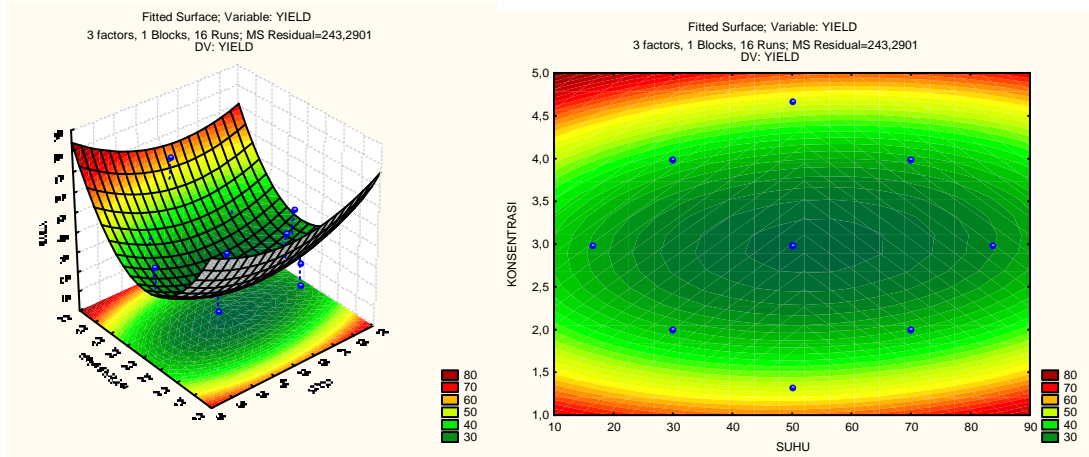
Sedangkan hubungan antara waktu dan konsentrasi larutan dalam proses dealuminasi disajikan pada Gambar 9.



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

Pada gambar 9. disajikan hubungan antara waktu dan konsentrasi HCl dalam proses dealuminasi, Tetapi dari hubungan suhu dan konsentrasi tidak dapat memberikan nilai yang optimal.

Hubungan Antara Suhu dan Normalitas HCl



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

Pada gambar 10 disajikan hubungan antara suhu dan konsentrasi HCl dalam proses dealuminasi, Tetapi dari hubungan suhu dan konsentrasi tidak dapat memberikan nilai yang optimal.

Komposisi Produk Bahan Bakar Cair

Karakterisasi dari perengkahan tremboso akan dilakukan dengan analisa Gas Kromatografi. Hasil analisa Gas Kromatografi (GC) untuk larutan standart Premium,Minyak tanah,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 4. Hasil Percobaan Proses Perengkahan Katalitik Berdasarkan Hasil Analisa Gas Chromatography (GC)

Run	Variabel Bebas			Variabel Berubah		
	Waktu (jam) X ₁	Suhu (°C) X ₂	Konsentrasi Katalis (N) X ₃	Komposisi Premium Y ₁ (%)	Komposisi Solar Y ₂ (%)	Komposisi Kerosin Y ₃ (%)
1	4	30	2	48,24	12,78	2,49
2	8	30	2	7,30	4,04	1,51
3	4	30	4	1,93	2,98	3,12
4	8	30	4	5,58	1,32	5,22
5	4	70	2	0,8	8,42	78,9
6	8	70	2	14	12	2,4
7	4	70	4	10,16	6,21	6,67
8	8	70	4	14,1	4,1	6,86

Pada sampel 1 didapatkan komposisi premium yang paling tinggi (48,24%), ini menunjukkan bahwa proses dealuminasi yang dilakukan sebelum proses cracking menyebabkan rasio Si/Al berubah. Alumina akan menurun sedangkan Si nya meningkat sehingga katalis memiliki sifat keasaman yang lebih kuat sehingga mampu memutus rantai ikatan menjadi fraksi bensin (rantai pendek). Pada sampel 1 didapatkan komposisi solar yang tinggi (12,78%), ini menandakan lemahnya kandungan asam pada katalis. Pada sampel 5 didapatkan komposisi minyak tanah yang tinggi (78,9%), ini menandakan cukupnya atau medium kandungan asam pada katalis. Adapun hasil perengkahan tremboso memiliki dominasi komposisi premium yang tinggi, ini menunjukkan produk hasil perengkahan mempunyai kandungan premium yang cukup besar.

KESIMPULAN

Tremboso dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair (biofuel) dengan proses katalitik cracking menggunakan katalis modernite yang sudah terdealuminasi. Pada proses dealuminasi faktor yang paling berpengaruh adalah konsentrasi HCl sehingga Semakin besar konsentrasi HCl maka

semakin banyak pula produk cairan yang dihasilkan. Model persamaan empirik yang diperoleh dari hasil percobaan untuk produk cair adalah :

$$Y = -120,858 + 4,869X_1 + 1,473X_2 + 59,183X_3 + 0,043X_1X_2 - 0,733X_1X_3 - 0,320 X_2X_3 - 0,324X_1^2 - 0,008 X_2^2 - 6,075 X_3^2$$

Model persamaan empirik yang diperoleh dari hasil percobaan untuk produk gas adalah :

$$Y = 122,3022 + 1,5447 X_1 - 0,8713 X_2 + 55,8804 X_3 + 0,0357 X_1X_2 - 0,8281 X_1X_3 - 0,0547 X_2X_3 - 0,0643 X_1^2 + 0,0076 X_2^2 + 10,7038 X_3^2$$

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro , Didi Dwi dan Faleh Setia Budi.2009. *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.
- Belltrame,P.Et.al.1989.Catalytic Degradation of Polymers.
- Busser,H.1990.Pengantar ke Kimia Organik.Penerbit Djambatan.Jakarta.Hal.37
- Chen,et.al. 1978. United States Patent : Method for Threatment of Rubber and Plastic Wastes.Japan
- Luqman Buchori, Didi Dwi Anggoro*), Setia Budi Sasongko dan Nita Aryanti. 2010. *PEMBUATAN BAHAN BAKAR CAIR DARI TREMBOSO (SISA SADAPAN LATEKS) MENGGUNAKAN KATALIS ZEOLIT HY DAN ZSM-5*.Seminar Rekayasa Kimia dan Proses. Indonesia.
- Harborne,J.B. 1987. *Metode Fotokimia. Penuntun Cara Modern Menganalisa Tumbuhan*. Penerbit ITB. Bandung. Hal. 123-147
- Hess, D. 1992. *Plant Phsycology*. Spinger International. Student Edition. Page 99-116
- Indriasari, Ike Yusniati. 2005. *Kuarsa sebagai Pengemban Besi Oksida*. Surakarta.
- Kusnawijaya,K.1983. *Biokimia*. Penerbit Alumni. Bandung. Hal 57-58
- Manitto, P. 1981. *Biosintesis Produk Alami*. Ellis Horwood Limited. Hal 223- 320
- Richardson, James T. 1989. *Principle of Catalyst Development*. New York. Plenum Press.
- Robinson, T. 1991. *Kandungan Organik Tumbuhan Tinggi*. Penerbit ITB Bandung. Hal 168-174
- Salisbury, F.B. dan C.W.Ross. 1992. *Fisiologi Tumbuhan Jilid II*. Terjemahan dari Plant physiology. Oleh D.R. Lukman dan Sumaryono. Penerbit ITB Bandung. Hal 91-103

W. Scherzer, H.Kaminsky. 1990. *Hidrocarbon Process*. 74, 109

Bahan Bakar dan Pembakaran.

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

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

Haerudin, Hery. *Katalis dan Bahan Penyusunnya Dalam Penyediaan Sumber Energi*. Pusat Penelitian Kimia-LIPI Kawasan PUSPITEK Serpong.
<http://katalog.pdi.lipi.go.id/index.php/searchkatalog/.../6648/6649.pdf>

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>