

Optimasi Proses Polimerisasi *Diphenyl Methane Diisocyanate* dengan Polyalkohol Minyak Goreng Bekas menjadi Busa *Polyurethane*

Faleh Setia Budi*, Didi Dwi Anggoro*, Agus Suprihanto**

*Jurusan Teknik Kimia FT UNDIP

*Jurusan Teknik Mesin FT UNDIP

Jl. Prof. Soedharto, SH Tembalang Semarang

Telp: (024)7460058/Fax: (024) 76480675

Email: faleh@alumni.undip.ac.id

ABSTRAK

Minyak goreng bekas yang selama ini dibuang dan menjadi limbah yang mencemari lingkungan mempunyai potensi untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan polyurethane. Sebelum digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan minyak goreng bekas harus dikonversi terlebih dahulu menjadi polyol. Kemudian polyol minyak goreng bekas tersebut direaksikan dengan Diphenyl Methane diisocyanate (MDI). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh rasio MDI/Polyol dan jumlah ethylene glikol terhadap kuat tekan polimer yang dihasilkan. Perancangan percobaan dan pengolahan datanya menggunakan metode central composite design. Variabel yang dipilih sebagai variabel bebas adalah rasio MDI/Polyol (1, 2 dan 3) dan jumlah ethylene glikol (10, 20 dan 30 ml). Sedangkan variabel yang dipilih sebagai variabel tetap adalah suhu (suhu ruang), jumlah katalis 1 % dan volume massa reaksi 5 lt. Jumlah run percobaan yang harus dilakukan sebanyak 10 run. Berdasarkan harga estimasi efek dan grafik pareto variabel linier dan kuadrat rasio MDI/Polyol dan interaksi variabel sangat berpengaruh terhadap kekuatan tekan polyurethane. Kondisi operasi optimal dicapai pada rasio MDI/Polyol 1,82 dan volume ethylene glikol 25,177 ml. Polyurethane yg dihasilkan mempunyai kekuatan tekan 1051.1 N/m².

kata kunci: minyak goreng bekas, polyalkohol, polimerisasi, polyurethane

ABSTRACT

The used frying oil which was usually threw out and to be the waste has potency to be used as the material of polyurethane. Previously, it must be converted into the polyol and then it is reacted with the Diphenyl Methane Diisocyanate (MDI). This research aims to know the effect of MDI/polyol ratio and the quantity of the ethylene glycol on the compressive strength of polyurethane. The research is design by the Central Composite Design and the data is processed by the Response Surface Method. The calculation of data uses The Statistic 6. The choose variables as the independent variable were MDI/Polyol ratio (1, 2, and 3) and the quantity of ethylene glycol (10, 20, and 30 ml). The others were the fixed variable such as temperature (ambient), the quantity of catalyst (1 %) etc. The number of experiment which had to be done was 10 run. Based on the result of the data processing, the variable of MDI/Polyol ratio mostly affected the compressive strength of polyurethane. The optimal operation condition was achieved at MDI/Polyol ratio 1.82 and the quantity of ethylene glycol 25.177 ml. The produced polyurethane had the compressive strength 1,051.1 N/m².

Key words: The used frying oil, polyalcohol, polymerization, polyurethane

PENDAHULUAN

Selama ini polyurethane dibuat dengan menggunakan bahan baku polyol dan isocyanate yang diproduksi secara komersial dari produk petrokimia/minyak bumi. Minyak bumi merupakan bahan baku yang tidak terbarukan dan cadangannya semakin menipis sehingga perlu juga dilakukan usaha penelitian untuk mencari bahan baku pengganti/alternatif. Salah satu bahan yang mempunyai potensi untuk dijadikan sebagai bahan baku alternatif pengganti minyak bumi adalah minyak goreng/minyak goreng bekas.

Pada saat ini minyak goreng yang dikonsumsi di Indonesia umumnya merupakan salah satu produk turunan minyak sawit. Minyak sawit adalah minyak nabati dan termasuk sumber daya alam yang dapat diperbarui. Indonesia dikenal sebagai negara produsen minyak sawit terbesar kedua setelah malaysia dengan jumlah produksi 13,6 juta ton pada tahun 2005 (Biro Pusat Statistik, 2005). Sekitar 6,328 juta minyak sawit digunakan untuk memproduksi minyak goreng (RBD oil).

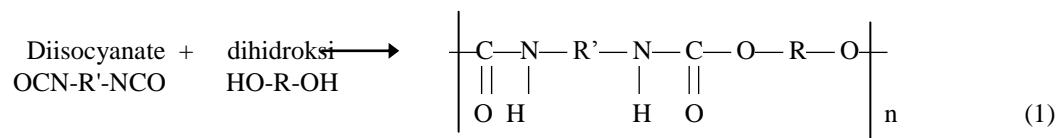
Minyak goreng yang telah dipakai berulang-ulang tidak bisa dipakai lagi karena kadar asam lemak bebasnya sudah meningkat akibat proses oksidasi yang terjadi selama proses pemanasan. Minyak goreng biasanya tidak diijinkan untuk dipakai secara berulang lebih dari 3x. Oleh karena itu minyak goreng yang telah dipakai secara berulang lebih dari 3x akan menjadi minyak goreng bekas dan menjadi limbah dan kurang lebih 75 % dari minyak goreng yang digunakan akan menjadi limbah. Pada tahun 2005 konsumsi minyak goreng sawit Indonesia mencapai 6 juta ton (Biro Pusat Satatistik, 2005). Jika 75 % dari minyak goreng yang digunakan menjadi limbah, maka limbah minyak goreng bekas yang dihasilkan

sekitar 4,5 juta ton. Pembuangan limbah minyak goreng bekas ke lingkungan jelas akan sangat mengganggu lingkungan. Keberadaan limbah minyak goreng bekas di lingkungan akan meningkatkan BOD dan COD sehingga banyak makhluk hidup di sekitar lingkungan akan mati, menimbulkan bau busuk dan masalah lingkungan lainnya.

Pada penelitian ini minyak goreng bekas digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan poliurethane yang sebelumnya minyak goreng bekas tsb dikonversi dulu menjadi polyalkohol. Proses pembuatan polyurethane dari minyak goreng bekas ini mempunyai beberapa keunggulan, diantaranya: biaya produksi yang murah karena menggunakan bahan baku minyak goreng bekas, bahan baku minyak goreng bekas yang berasal dari minyak sawit merupakan sumber daya alam yang terbarukan sehingga tidak akan kehabisan pasokan, mengatasi problem lingkungan yang ditimbulkan jika limbah minyak goreng bekas dibuang ke lingkungan dan meningkatkan nilai ekonomi minyak goreng bekas.

Penelitian yang dilakukan mempunyai tujuan memproses polyol dari minyak goreng bekas menjadi polyurethane, mengetahui kecenderungan pengaruh rasio TDI/Polyol dan jumlah ethylene glikol terhadap kekuatan tekan polyurethane yang dihasilkan dan mendapatkan komposisi yang dapat menghasilkan polyurethane dengan kekuatan tekan yang tinggi.

Polyurethane merupakan bahan polimer yang dibuat melalui proses reaksi polyadisi antara isocyanate (polyisocyanate) dengan polyol. Struktur umum Polyurethane yang diturunkan dari senyawa dihidroksi (HO-R-OH) dan diisocyanate sebagai berikut:



Gambar 1. Reaksi pembentukan polyurethane

Polyurethane yang dihasilkan dari reaksi polyadisi ini sangat bervariasi dan kompleks. Kompleksitas polymer ini disebabkan oleh sangat banyaknya variabel yang mempengaruhi sifat-sifat fisik akhir polymer. Sebagian variabel-variabel tersebut adalah :

1. Berat molekul dan fungsionalitas polyol dan polyisocyanate.
2. Sifat-sifat kelarutan komponen dan hasil reaksi.
3. Variasi pada kinetika reaksi polyadisi menyebabkan macam-macam efek dan pengendaliannya.
4. Penggunaan bermacam-macam katalis, surfaktan, aditif dan filler untuk memodifikasi sifat-sifat fisik dan performan polymer.

Manipulasi dari variabel-variabel ini menghasilkan polimer yang berbeda antara satu dengan yang lain, bervariasi dengan density dan kekerasan polymer, *termoplastic elastomer*, *thermoset elastomer*, *engineering thermoplastic*, *structural polymer*, *rigid cellular plastic* dan *fleksible cellular plastic*.

Polyol adalah polymer yang mempunyai komposisi berat, fungsionalitas dan berat molekul yang sangat bervariasi. Berat molekulnya dari 250 - 8000 dan fungsionalitas hidroksil dari 1 - 8. Karakteristik-karakteristik penting dari polyol yang berkaitan dengan aplikasi untuk polyurethane adalah fungsionalitas hidroksil

dan distribusinya, berat equivalen hidroksil, komposisi rantai polimer dan struktur gugus hidroksil. Karakteristik ini menentukan sifat-sifat fisik polyol seperti reaktifitas dan kompatibilitasnya dengan komponen-komponen lain dari formula polyurethane. Sifat-sifat spesifik polyol dapat diperoleh dengan sintesis secara langsung atau pencampuran polyol yang berbeda tipe, reaktifitas, berat molekul dan fungsionalitasnya. Ada dua kelompok polyol yang dikenal digunakan sebagai bahan dalam pembuatan polyurethane adalah polyether polyol dengan gugus hidroksil diujung. Polyether polyol dibagi menjadi 2 kelompok seperti terlihat pada tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik polyether polyol.

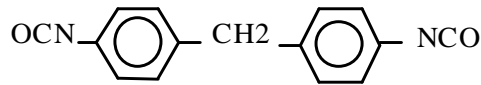
No	Karakteristik	BM tinggi	BM rendah
1	Rantai molekul	lurus	Bercabang
2	Fungsionalitas hidroksil rata-rata	2 -3	3 - 7
3	Berat molekul	1000 - 8000	250 - 1000
4	Aplikasi	fleksibel	rigid/kaku

Polyether polyol biasanya dibuat dari alkylene oksida melalui reaksi polyadisi dengan alkohol atau amina sebagai starter atau inisiator. Alkylene oksida yang digunakan untuk membuat polyether polyol merupakan produk turunan minyak bumi (petrokimia). Mengingat minyak bumi merupakan bahan yang tidak terbarukan dan cadangannya semakin menipis, mendorong para peneliti untuk mencari bahan alternatif. Bahan yang mendapat perhatian adalah minyak nabati dan hewani (lemak).

Dalam terminologi polyurethane, istilah "polyol" meliputi semua komponen yang mengandung gugus hidroksil, termasuk diantaranya polihidroksi trigliserida. Polihidroksi trigliserida dapat disintesis melalui epoksidasi minyak diikuti dengan pembukaan cincin epoksi oleh air atau donor hidrogen lain seperti alkohol dan amina. Proses sintesis ini disebut juga dengan proses hidroksilasi.

Isocyanate yang biasa digunakan dalam pembuatan polyurethane ada 2 jenis, yaitu isocyanate aromatis dan alifatis. Polyurethane yang dibuat dari isocyanate alifatis mempunyai warna yang stabil. Tetapi isocyanate alifatis kurang reaktif dibandingkan dengan isocyanate aromatis dan harga isocyanate alifatis lebih mahal. Oleh karena itu hampir 95 % produk polyurethane dihasilkan dari isocyanate aromatis, yakni *toluene diisocyanate* (TDI), *diisocyanato-diphenylmethane* (MDI) dan turunannya. Volatilitas TDI yang tinggi menimbulkan beberapa masalah sehingga dikembangkan MDI (*4,4- diisocyanate diphenylmethane*) yang memiliki tekanan uap $6 \cdot 10^{-4}$ Pa pada suhu 25 °C. MDI ini tersedia dalam dua tipe, yakni MDI yang berbentuk monomer yang dimurnikan (*purified monomeric*) dan polimer. MDI murni mengandung *4,4-diisocyanate diphenylmethane* (*4,4-MDI*) dan biasanya ditambah 2,4-MDI. Kelompok-kelompok senyawa yang bereaksi dengan isocyanate adalah kelompok amina, hidroksil dan karboksil. Isocyanate bereaksi dengan amina membentuk urea, dengan amida membentuk acyl urea, dengan urea membentuk biuret, dengan alkohol membentuk urethane atau carbamate, dengan urethane membentuk

allofanat, dengan air membentuk amina dan CO₂ serta dengan asam karboksilat membentuk urethane dan CO₂.



Struktur molekul 4,4-MDI

Reaksi pembentukan polyurethane dari isocyanate dan polyol memerlukan beberapa bahan kimia tambahan (zat aditif). Beberapa zat aditif tersebut adalah katalis, pemanjang rantai (chain extender) dan zat pengembang (blowing agent).

Tabel 4. Reaksi phenyl isocyanate dengan 2-ethylheksanol

No.	Katalis	pKa	k x 10 ⁴ lt/mol dtk (dlm benzene)
1	Triethyleneamina	3,36	5,3
2	Triethylenediamina	5,4	21,7
3	N,N-dimethylpiperazina	5,71	4,3

Keterangan : reaktan = 0,072 M ; katalis = 0,0014 pada suhu 23 °C

Sejumlah katalis dapat digunakan untuk reaksi isocyanate dengan polyol, antara lain senyawa amina tersier alifatis dan aromatis serta senyawa organo-metalik seperti senyawa timah, merkuri atau timbal. Meningkatnya kekuatan basa katalis juga disertai dengan meningkatnya kekuatan katalis, kecuali jika ada hambatan sterik yang mengganggu. Triethylenediamina merupakan salah satu katalis yang kuat, seperti yang terlihat pada tabel 4.

Zat pemanjang rantai ini biasanya berupa senyawa difungsional, seperti glikol, diamina atau hidroksi amina dengan berat molekul yang rendah. *Chain extender* digunakan dalam polyurethane fleksibel seperti busa fleksibel, elastomer mikroseluler, *cast elastomer* dan sistem RIM (*Reaction injection Moulding*). *Chain extender* bereaksi dengan diisocyanate membentuk segmen polyurethane atau polyurea dalam polymer urethane. *Chain extender* biasanya ditambahkan dalam jumlah yang cukup untuk memungkinkan pemisahan hasil segmen keras dengan meningkatkan temperatur transisi gelas (Tg) dan modulus polymer. Temperatur gelas (Tg) menunjukkan ukuran titik lunak (*softening point*) polymer dan indikator batas atas temperatur kerjanya. Jika diamina digunakan sebagai aditif dengan berat molekul sama seperti glikol akan bereaksi lebih cepat dengan isocyanate. Hasil polyurethane bersegmen keras mempunyai kepadatan ikatan sekunder lebih tinggi sehingga stabilitas thermal dan temperatur gelas (Tg) polymer meningkat. Contoh *extender* dengan dua gugus fungsional adalah *ethylene glycol*, *1,4-butanediol*, *1,6-hexanediol*, *cyclohexane dimethanol*, dan *hidroquinon bis(2-hydroxyethyl) eter*, sedangkan yang mempunyai tiga gugus fungsional adalah *glycerol*, *trimethylpropane*, dan *1,2,3 hexanetriol*.

Untuk mensintesis busa polyurethane diperlukan senyawa yang dapat menghasilkan gelembung-gelembung gas yang kemudian terperangkap pada matrik polyurethane sehingga dihasilkan busa dengan fleksibilitas tertentu.

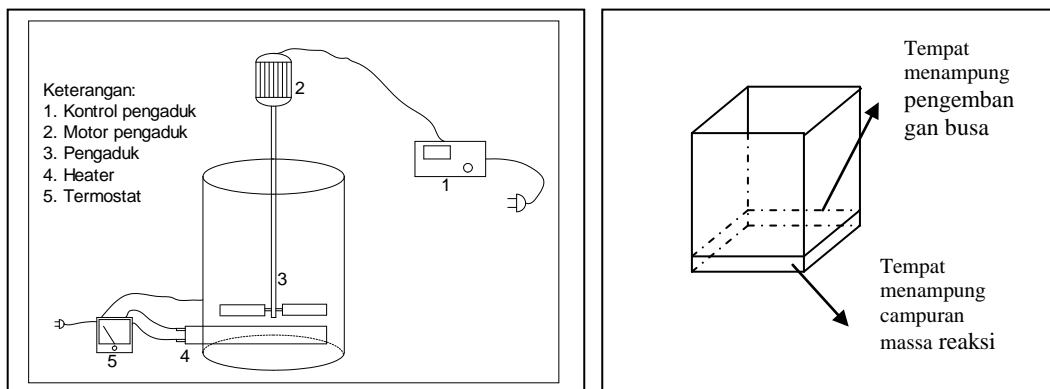
Senyawa tersebut adalah zat pengembang. *Blowing agent* yang digunakan dalam pembentukan gelembung terbagi atas dua jenis, yaitu *Chemical blowing agent* dan *Physical blowing agent*. Gelembung gas CO₂ yang dihasilkan oleh *chemical blowing agent* berasal dari reaksi blowing agent tsb dengan isocyanate. Contoh tipe blowing agent ini adalah air dan asam karboksilat. Blowing agent jenis ini banyak digunakan dalam pembuatan busa fleksibel. Sedangkan *physical blowing agent* memiliki titik didih yang rendah sehingga mudah menguap bila menerima panas reaksi pembentukan polyurethane. Contohnya adalah senyawa hidrokarbon (terutama isomer pentana) dan hidrogen terhalogenasi parsial seperti *trichlorofluoromethane*, *trichlorodichloroethane* dan lain-lain. *Blowing agent* jenis ini banyak digunakan dalam pembuatan *foam polyurethane* kaku (*rigid*).

METODOLOGI

Bahan-bahan yang digunakan dalam proses polimerisasi minyak goreng bekas menjadi poliurethane antara lain limbah minyak goreng bekas yang telah dihidroksilasi menjadi polyol. Minyak goreng bekas diperoleh dari beberapa penjual gorengan di sepanjang jalan ke kampus (Jl. Prof. Soedarto SH Semarang), MDI dan katalis yang diperoleh dari industri pembuat busa, Ehtylene Glikol (Chain extender) dan Methylene Chlorida (Blowing Agent) yang dibeli dari toko Multi Kimia Raya.

Peralatan yang digunakan selama percobaan antara lain reaktor polimerisasi, pengaduk, motor pengaduk, termometer dan cetakan. Gambar rangkaian alat yang digunakan bisa dilihat di gambar 1.

Percobaan dirancang dengan metode central composite design dengan 2 variabel bebas. Variabel yang dipilih sebagai variabel bebas adalah rasio MDI/Polyol (1, 2 dan 3) dan volume ethylene glikol/zat pengembang (10, 20 dan 30), sedangkan variabel yang dipilih sebagai variabel tetap antara lain volume masa reaksi (300 ml), suhu ruang dan katalis 1 %. Jumlah percobaan yang harus dilakukan sebanyak 10. Parameter atau respon yang diamati dari hasil percobaan adalah kuat tekan dan struktur molekul polyurethane yang dihasilkan.



Gambar 1. Rangkaian alat proses polimerisasi dan cetakan.

HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

Pada saat terjadi reaksi polimerisasi, suhu mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi polimerisasi polyurethane bersifat eksotermis.

Peningkatan suhu setiap run sangat bervariasi pada rentang 80 °C–135 °C dan dari suhu awal 30 °C. Kemudian suhu konstan beberapa saat dan selanjutnya turun secara perlahan ke suhu ruang. Kenaikan temperatur sampai konstan memerlukan waktu ±5 menit. Pada saat reaksi berlangsung, juga terjadi pembentukan buih yang nantinya akan membentuk busa.

Polyurethane yang dihasilkan dilakukan karakterisasi untuk mengetahui sifat-sifatnya. Karakterisasi yang dilakukan meliputi parameter kuat tekan untuk mengetahui kekuatan tekan dari polyurethane yang dihasilkan dan analisa FTIR untuk mengetahui struktur molekulnya. Hasil uji kuat tekan dapat dilihat pada tabel 5.

Data yang diperoleh dari percobaan diolah dengan metode Response Surface Methodology untuk mendapatkan harga estimasi efek utama dan interaksi, persamaan model matematik, uji model persamaan matematik, perbandingan hasil percobaan dengan hasil prediksi persamaan model matematik dan kondisi operasi optimum.

Tabel 5. Data analisis kuat tekan poliurethane

Run	Rasio MDI/Polyol	Ethylene glikol (ml)	Gaya tekan (N)	Rata2 (N)	Kuat Tekan (N/cm ²)
1	1	10	49.800	44.700	2.277,71
			39.600		
2	1	30	14.000	12.825	653,50
			11.650		
3	3	10	1.200	1.100	56,05
			1.000		
4	3	30	4.000	4.400	224,20
			4.800		
5	0,586	20	5.400	4.700	239,49
			4.000		
6	3,414	20	1.950	1.975	100,64
			2.000		
7	2	5,85	2.800	3.600	183,44
			4.400		
8	2	34,142	31.800	31.300	1.594,90
			30.800		
9	2	20	13.000	14.825	755,41
			16.650		
10	2	20	27.200	24.500	1.248,41
			21.800		

Keterangan: diameter specimen 5 cm

Harga estimasi efek pada tabel 6 menunjukkan besarnya pengaruh masing-masing variabel terhadap kekuatan tekan produk polyurethane. Variabel linier dan kuadrat rasio MDI/Polyol mempunyai pengaruh negatif terhadap kekuatan tekan produk polyurethane (menurunkan). Sedangkan variabel linier dan kuadrat volume ethylene glikol (EG) serta variabel interaksi rasio MDI/Polyol dan volume ethylene glikol mempunyai pengaruh positif terhadap kekuatan produk

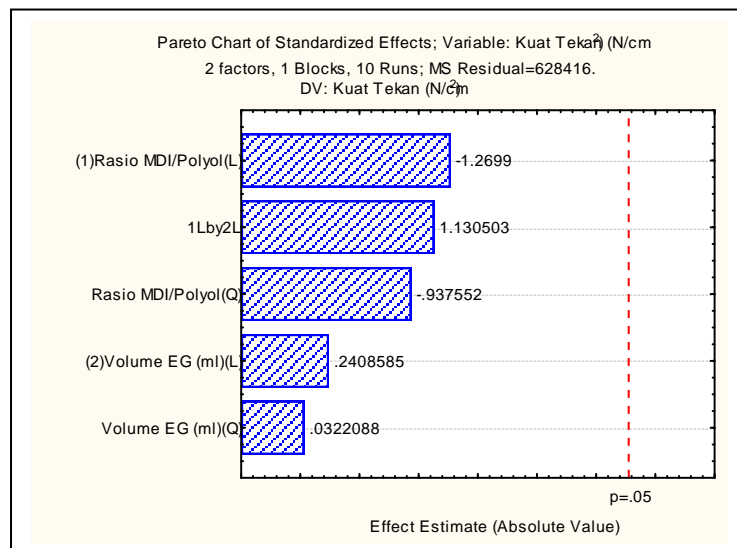
polyurethane (meningkatkan). Harga estimasi efek variabel linier dan kuadrat rasio MDI/Polyol serta variabel interaksi rasio MDI/Polyol dan volume glikol cukup signifikan sehingga variabel rasio MDI/Polyol maupun variabel volume ethylene glikol tidak bisa diinterpretasi secara sendiri-sendiri.

Untuk mengukur pengaruh variabel rasio MDI/Polyol, variabel ethylene glikol dan variabel interaksi terhadap kekuatan produk polyurethane juga bisa dilihat di grafik pareto (gambar 2).

Tabel 6. Harga estimasi efek utama, interaksi dan koefisien regresi.

No		Estimasi Efek	Koefisien regresi
1	Mean/Interc.	1001,910	1001,910
2	(1)Rasio MDI/Polyol(L)	-711,831	-355,915
3	Rasio MDI/Polyol(Q)	-695,221	-347,611
4	(2)Volume EG (ml)(L)	135,011	67,506
5	Volume EG (ml)(Q)	23,884	11,942
6	1L by 2L	896,180	448,090

Harga koefisien regresi yang terdapat di tabel 10 digunakan untuk menyusun persamaan model matematik yang menyatakan hubungan antara kekuatan produk polyurethane dengan variabel rasio MDI/Polyol dan volume ethylene glikol.



Gambar 2. Grafik pareto

Persamaan model matematik yang diperoleh adalah sebagai berikut:

$$Y = 1001,91 - 355,915 x_1 + 67,506 x_2 + 448,09 x_1x_2 - 347,611 x_1^2 + 11,942 x_2^2$$

x_1 : Variabel tak berdimensi rasio MDI/Polyol

x_2 : Variabel tak berdimensi volume ethylene glycol

Persamaan model matematik tersebut bisa digunakan untuk memprediksi kekuatan tekan produk polyurethane dengan rasio MDI/Polyol dan volume

ethylene glikol tertentu. Perbandingan antara kekuatan produk polyurethane hasil percobaan dengan kekuatan produk polyurethane hasil prediksi ditampilkan di tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan kekuatan polyurethane hasil percobaan dan prediksi.

Run	X ₁	X ₂	Y _o	Y _p	Residual/error
1	1.000	10.000	2277.710	1402.741	874.969
2	1.000	30.000	653.500	641.572	11.928
3	3.000	10.000	56.050	-205.270	261.320
4	3.000	30.000	224.200	825.922	-601.722
5	0.586	20.000	239.490	810.029	-570.539
6	3.414	20.000	100.640	-196.652	297.292
7	2.000	5.858	183.440	930.326	-746.886
8	2.000	34.142	1594.900	1121.261	473.639
9	2.000	20.000	755.410	1001.910	-246.500
10	2.000	20.000	1248.410	1001.910	246.500

Keterangan:

X₁ : variable rasio MDI/Polyol

X₂: variable volume ethylene glikol (ml)

Y_o : Kekuatan polyurethane hasil pengamatan/percobaan.

Y_p: Kekuatan polyurethane hasil prediksi dengan model matematik.

Uji signifikasni persamaan model regresi/matematik digunkana hipotesis H₀ dan H₁ serta tabel analisa varian (table 8).

H₀ : semua parameter/koefisien regresi mempunyai harga 0.

H₁: Paling sedikit 1 parameter/koefisien regresi yang tidak mempunyai harga 0.

Harga F perhitungan adalah 0,8117. Sedangkan harga F_{5,4} (F_{p-1,N-p}) pada tabel distribusi F dengan tingkat kepercayaan α=5 % adalah 6,26

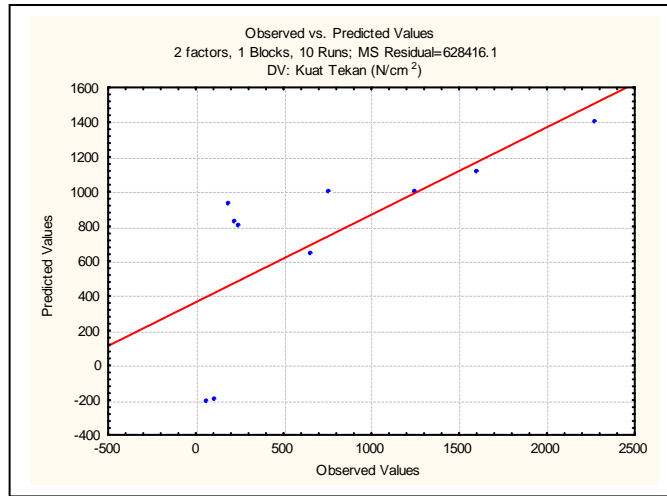
Tabel 8. Analisa varian

Sumber	dk	SS	MS	F	R ²
Regresi	5	2550391	510078	0.8117	0.50
Residual (Error)	4	2513665	628416		
Total	9	5064055			

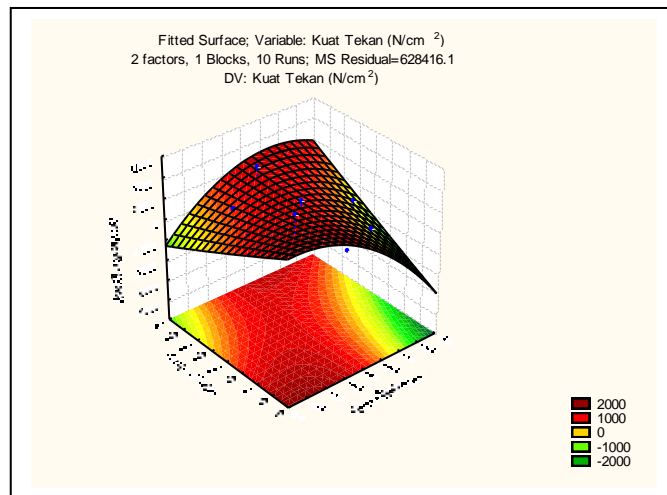
H₀ dinyatakan ditolak jika $F < F_{5,4}$ yang berarti bahwa semua parameter/koefisien regresi tdk berharga 0. Harga R² merupakan ukuran proporsi variasi total dari Y prediksi terhadap Y rata-rata. Harga R² akan mendekati satu jika model tidak sesuai. Karena harga R² sama dengan 0,5 (jauh dibawah 1) maka persamaan model matematik yang diperoleh dinyatakan cocok. Masing-masing dari harga yang teramati dibandingkan dengan harga prdiksi bisa dilihat di gambar 3.

Kurva pada grafik optimasi 3 dimensi (gambar 4) dan grafik kontur permukaan (gambar 5) berbentuk saddle/hyperbolic paraboloid. Bentuk kurva tersebut mempunyai titik optimum di saddle point (1,82 : 25.177). Kedua gambar

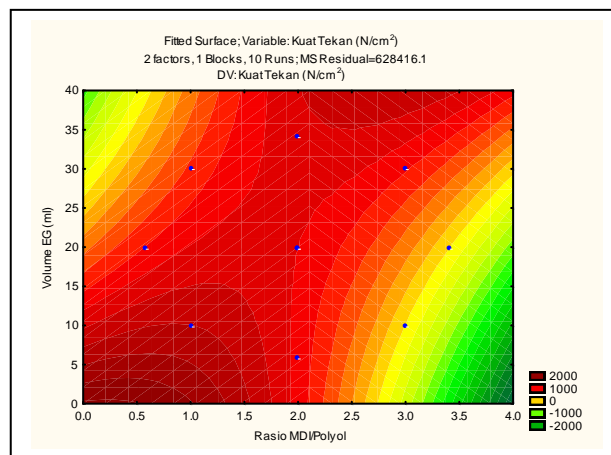
tersebut menunjukkan bahwa kekuatan tekan produk polyurethane yang optimum akan dicapai pada rasio MDI/Polyol 1,82 dan volume ethylene glikol 25,177 ml dan produk polyurethane yang dihasilkan mempunyai kekuatan tekan 1051.1 N/cm².



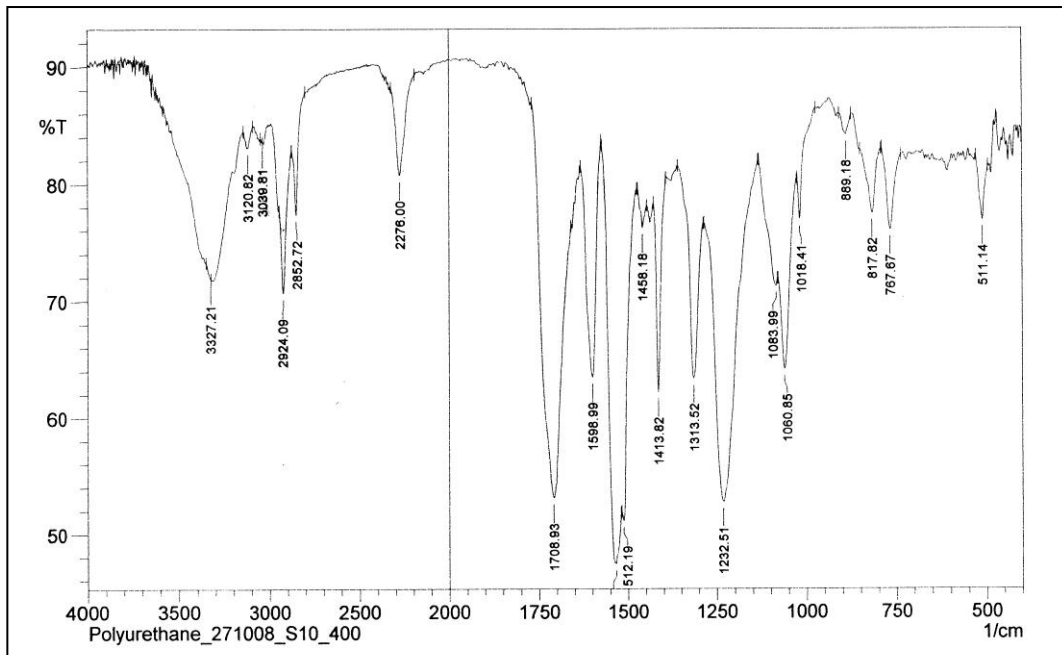
Gambar 3. Perbandingan kuat tekan teramati dan kuat tekan prediksi



Gambar 4. Grafik optimasi 3 dimensi kuat tekan (N/cm²) vs rasio MDI/Polyol



Gambar 5. Grafik kontur permukaan kuat tekan (N/cm²) vs rasio MDI/Polyol



Gambar 6. Spektrum FTIR Polyurethane yang dihasilkan

KESIMPULAN

1. Harga estimasi efek dan grafik pareto menunjukkan bahwa variabel linier dan kuadrat rasio MDI/Polyol serta variabel interaksi rasio MDI/Polyol dengan volume ethylene glykol sangat berpengaruh terhadap kekuatan tekan polyurethane.
2. Pengaruh variabel rasio MDI/Polyol dan volume ethylene glykol terhadap kekuatan tekan polyurethane tidak bisa diinterpretasi secara sendiri-sendiri (individual).
3. Kondisi optimum produksi polyurethane dicapai pada rasio MDI/Polyol 1,82 dan volume ethylene glykol 25,177 ml. Polyurethane yg dihasilkan mempunyai kekuatan tekan 1051.1 N/cm².

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada

1. Direktorat Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiayai kegiatan peneliti ini dalam Program Hibah Bersaing tahun 2008.
2. Ruri Masruri dan Syamsu Rohmat yang telah membantu pelaksanaan kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Deffense E. (1985), "Fractionation of Palm Oil", *J. Am. Oil Chem. Society* : 2 (February), page : 376 – 385.
2. Budi, F.S. dan Abidin, Z., (2002), "Proses Konversi Minyak Sawit Menjadi Polyurethane" Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
3. Cornell J.A., et al. (1990), "How to Apply Response Surface Methodology in USA", American Society for Quality Control

4. George et. all (1992), "Lipid Profile of Process of Palm Oil", *J. Am. Oil Chem. Society*:69 (March), page : 283-287.
5. Gunstone (1995), *The Lipid Handbook*, 2nd edition, Chapman and Hall.
6. Gunter O. (1994), *Polyurethane Handbook*, 2nd edition, Hanser, Munich.
7. Ketaren S. (1986), *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*, Penerbit UI, Jakarta (hal : 195 – 203).
8. Leppekes, 1995, "*Polyurethnae, Material with many Faces*", Verlag Modern Industry AG, Germany
9. Lubis dan Naibaho, *Prospek Pengembangan Industri Hilir Pengolah Kelapa Sawit*, Pusat Penelitian Perkebunan Marihat – Bandar Kuala.
10. Schwartz S.S., *Plastic Materials and Process*, Van Nost Land Reinhold Co.
11. Silverstein dkk (1986), *Penyidikan Spektrometri Senyawa Organik*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
12. Wilson F. Gum et all, (1992), "*Reaction Polymers*", Hanser Publishers, New York.
13. Woods, G. (1990), *The ICI Polyurethane Book*, 2nd edition , John Wiley and Sons, Chicester.