

PENGARUH SENYAWA SILAN TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL PELAPIS PADUAN HIBRID EPOKSI TERMODIFIKASI POLIURETAN

THE INFLUENCE OF SILANE ON MECHANICAL PROPERTIES OF MODIFIED EPOXY POLYURETHANE

Savitri¹⁾, Evi Triwulandari¹⁾, Agus Haryono¹⁾, O.A. Syahputra²⁾

¹⁾ Pusat Penelitian Kimia – LIPI Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang, Indonesia 15314

²⁾ Universitas Negeri Sebelas Maret, FMIPA, Jurusan Kimia, Jl. Ir. Sutami No. 36A, Surakarta,
Jawa Tengah 57126

Email : savi002@lipi.go.id

Diterima: 03 Maret 2015, Revisi: 13 Maret 2015, Disetujui: 10 April 2015

ABSTRAK

Pembuatan material pelapis hibrid epoksi termodifikasi poliuretan (ETP) dari epoksi, poliuretan dan senyawa silan (Si) telah dilakukan. Resin epoksi dan poliuretan dimodifikasi dengan senyawa silan, menggunakan γ -Glisidoksil propil trimetoksisilan (GPTMS) dan γ -Aminopropil trietoksisilan (γ -APS) serta katalis *dibutyltindilaurate* (DBTL). Hasil karakterisasi spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) menunjukkan bahwa material pelapis hibrid telah terbentuk. Hasil analisis % NCO sisa dan konversi isocyanat (α) juga memperkuat dugaan material pelapis hibrid ETP - Si telah terbentuk. Penambahan senyawa silan sebagai gugus Si-O sebanyak 30% menunjukkan %NCO sisa yang paling rendah untuk material pelapis hibrid dengan konsentrasi poliuretan 5% dan 10%. Komposisi ETP 5% - Si 30% merupakan komposisi optimum berdasarkan analisis sifat mekanik.

Kata Kunci: Pelapis hibrid, poliuretan, epoksi, silan, ETP-Si

ABSTRACT

*Preparation of hybrid coating material from modified epoxy polyurethane (ETP) and silan (Si) has been done. Epoxy and polyurethane were modified with silan using γ -Glisidoksil propil trimetoksisilan (GPTMS) and γ -aminopropyl triethoxysilane (γ -APS) and also *dibutyltindilaurate* (DBTL) as catalyst. Fourier Transform Infrared (FTIR) characterization indicated that the hybrid coating material has been formed. The results of the analysis of NCO percent and conversion rate of isocyanates (α) also verified that the ETP-Si hybrid coatings have been formed. The addition 30% of silane as Si-O group indicated the rest of NCO*

percent was the lowest for hybrid coating material with polyurethane concentration of 5% and 10. The composition of ETP5% - Si 30% was the optimum composition from the ETP-Si hybrid coating material based on the mechanical analysis.

Key words: hybrid coating, polyurethane, epoxy, silane, ETP – Si

PENDAHULUAN

Teknologi pelapis hibrid (*hybrid coating*) dewasa ini banyak dimanfaatkan untuk bahan anti korosi. Pelapis atau *coating* selain tergolong murah, juga mudah untuk dibuat dan diaplikasikan⁽¹⁾. Sistem pelapis berbasis epoksi banyak diaplikasikan di bidang industri transportasi, perkapalan, perminyakan dan alat-alat rumah tangga yang terbuat dari besi.

Sistem pelapis konvensional biasanya menggunakan bahan dari resin organik, yaitu epoksi atau poliuretan. Epoksi tergolong senyawa reaktif, yang memiliki struktur molekul cincin oksirena yang bersifat tidak stabil pada perlakuan panas⁽²⁾. Kelebihan dari penggunaan resin epoksi sebagai material pelapis adalah sifat mekanik yang tinggi dan ketahanan terhadap korosi, adesi serta lingkungan yang baik⁽³⁻⁵⁾.

Pembuatan pelapis berbasis poliuretan dan epoksi telah dilakukan oleh Kostrzewa⁽⁴⁾ dan dipublikasikan dalam tesis doctoralnya. Epoksi dimodifikasi menggunakan poliuretan yang dibuat dari dua jenis polioliol (polietilen glikol dan polioksipropilen diol) dengan dua jenis isosianat juga 2,4-toluene diisosianat (TDI) dan 4,4-difenilmetan diisosianat (MDI) untuk meningkatkan kekuatan pelapis secara mekanik. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa modifikasi epoksi dengan poliuretan dari polietilen glikol menyebabkan pelapis menjadi lebih elastis dan fleksibel sedangkan modifikasi epoksi dengan poliuretan dari polioksipropilen diol menyebabkan pelapis menjadi lebih keras. Hal ini menunjukkan bahwa poliuretan dengan polioliol yang memiliki bagian lembut yang lebih panjang struktur molekulnya menyebabkan pelapis menjadi lebih kuat dan keras.

Menurut Keijman⁽⁶⁾ sistem pelapis hanya dengan menggunakan resin epoksi memiliki kelemahan yaitu lambat mengering pada suhu rendah, ketahanan terhadap cuaca buruk dan bersifat getas. Berdasarkan penelitian yang merujuk bahwa pelapis dengan hanya menggunakan bahan epoksi memiliki beberapa kelemahan, maka untuk mendapatkan material pelapis yang lebih kuat dan tahan lama perlu dimodifikasi dengan penambahan senyawa polimer lain seperti poliuretan. Senyawa ini memiliki ketahanan terhadap pelarutan dan abrasi serta memiliki sifat tahan terhadap cuaca⁽⁷⁾.

Pelapis hibrid (*hybrid coating*) merupakan sifat dari dua sistem pengikat (*binder*) yang memiliki sifat yang berbeda yang bekerja sama untuk membentuk satu sistem baru resin. Jenis pelapis ini dihasilkan dari mekanisme *persilangan* jaringan ikatan untuk meningkatkan stabilitas termal dan karakteristik hidrofobik dibandingkan dengan yang diperoleh dari teknik pencampuran⁽⁷⁾.

Ide dasar pengembangan senyawa *hybrid coating* bahan anorganik-organik adalah kombinasi dari gugus anorganik dan organik pada skala molekul untuk mencapai kombinasi sinergis sifat khas dari masing-masing konstituen. Modifikasi jenis dan proporsi komponen organik dan anorganik memungkinkan disengaja untuk menyesuaikan sifat dan menggabungkan komponen organik dan anorganik⁽⁸⁻¹²⁾.

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan pelapis hibrid epoksi termodifikasi poliuretan-senyawa *silan* (ETP-Si). Harapan dari material pelapis hibrid ETP-Si ini dapat diaplikasikan pada industri transportasi dan perkapalan. Adanya gugus siloksan (ikatan - Si-O-) yang berasal dari senyawa *silan* diharapkan memberikan sifat material yang memiliki ketahanan terhadap degradasi oleh panas, bahan kimia, dan paparan sinar UV. Ikatan -Si-O- pada siloksan memiliki energi yang lebih besar (445 KJ/mol) dari pada ikatan - C - C - (358 KJ/mol)⁽¹³⁾. Dengan adanya modifikasi dari epoksi dengan poliuretan dan senyawa *silan*, maka material hasil sintesis memiliki sifat mekanik dan ketahanan termal yang lebih baik dibandingkan dengan hanya menggunakan resin epoksi.

Tulisan dari hasil penelitian ini berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah dikerjakan sebelumnya^(19,20,21), yang sudah memvariasi jenis polioliol serta jenis senyawa isosianat (dua komponen tersebut yang membentuk senyawa poliuretan) dan variasi penambahan senyawa polisiloksan (sebagai gugus ikatan - Si - O).

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi bahan utama dan bahan untuk analisa. Bahan utama adalah epoksi diglisidil eter bisfenol A (epoksi YD 128 dengan *Epoxy Equivalent*

Weight (EEW) = 180-190), polipropilen glikol (PPG) dengan bilangan hidroksil = 193,262 mgKOH/g, tolonate HDT (%NCO = 31,6155%), senyawa *silan* dengan nama dagang Silquest A-187 atau γ -Glisidoksil propil trimetoksisilan (GPTMS) dan γ -Aminopropil trietoksisilan (γ -APS) serta katalis *dibutyltindilaurate* (DBTL) yang berfungsi untuk meningkatkan laju reaksi pembentukan senyawa *hybrid* ETP-Si. Bahan utama epoksi, Silquest A-187, tolonat serta γ -APS diperoleh dari P.T. Sigma Utama yang bertempat di Cibinong. PPG dan DBTL berasal dari Merck p.a Jerman. Bahan-bahan yang digunakan untuk analisa %NCO sisa adalah toluen, larutan dibutylamin dalam toluen, 2-propanol, larutan HCl p.a, dan indikator bromtimol biru dalam metanol. Keseluruhan bahan analisa % NCO yang digunakan berasal dari Merck p.a, Jerman.

Sintesis Epoksi Termodifikasi Poliuretan dan Senyawa *Silan* (ETP-Si)

Tabel 1 menunjukkan komposisi berbagai bahan baku yang digunakan dalam pembuatan ETP. Masing-masing komponen seperti epoksi, PPG dan tolonat dimasukkan kedalam labu leher tiga disertai dengan penambahan katalis DBTL. Proses

pencampuran dilakukan selama 30 menit pada suhu 70-80 °C⁽⁹⁾, kemudian ditambahkan silquest A-187 dan γ -APS. Suhu pencampuran diturunkan menjadi 50 °C dan diaduk selama 1 jam 30 menit. Rasio NCO/OH dalam pembuatan ETP-Si ini adalah 2,5.

Analisa gugus NCO

Masing-masing formula ETP-Si ditimbang sebanyak $\pm 0,15$ gr dan ditambahkan masing-masing toluena dan dibutil amin sebanyak 12,5 mL. Campuran diaduk selama 15 menit dalam suhu ruang. Sebanyak 50 mL 2-propanol ditambahkan dalam larutan campuran dan ditetesi 3 tetes indikator bromkresal hijau sampai berwarna biru. Larutan dititrisi dengan larutan HCl yang sudah distandarisasi. %NCO sisa dihitung menggunakan Persamaan (1) yang berdasarkan Polymer Testing 28 (2009)⁽¹⁰⁾.

$$\%NCO = \frac{(V_o - V_i) \times N_{HCl} \times 0,042}{W_{sampel}} \times 100\% \quad [1]$$

Keterangan:

V_o dan V_i = volume HCl (mL)

N_{HCl} = normalitas HCl

W_{sampel} = berat sampel (gram)

Tabel 1. Komposisi Material Hibrid ETP-Si

| No | Komposisi | Epoksi (gram) | Poliuretan (%) [*] | Silane (%) [*] | APS (%) ^{**} | DBTL (%) ^{***} | Notasi |
|----|--------------|---------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|--------|
| 1 | ETP5%-Si10% | 100 | 5 | 10 | 1 | 0,1 | F1A |
| 2 | ETP5%-Si20% | 100 | 5 | 20 | 1 | 0,1 | F2A |
| 3 | ETP5%-Si30% | 100 | 5 | 30 | 1 | 0,1 | F3A |
| 4 | ETP5%-Si40% | 100 | 5 | 40 | 1 | 0,1 | F4A |
| 5 | ETP10%-Si10% | 100 | 10 | 10 | 1 | 0,1 | F1B |
| 6 | ETP10%-Si20% | 100 | 10 | 20 | 1 | 0,1 | F2B |
| 7 | ETP10%-Si30% | 100 | 10 | 30 | 1 | 0,1 | F3B |
| 8 | ETP10%-Si40% | 100 | 10 | 40 | 1 | 0,1 | F4B |
| 9 | ETP20%-Si10% | 100 | 20 | 10 | 1 | 0,1 | F1C |
| 10 | ETP20%-Si20% | 100 | 20 | 20 | 1 | 0,1 | F2C |
| 11 | ETP20%-Si30% | 100 | 20 | 30 | 1 | 0,1 | F3C |
| 12 | ETP20%-Si40% | 100 | 20 | 40 | 1 | 0,1 | F4C |

Keterangan :

* % (w/w) terhadap berat epoksi

** % (w/w) terhadap berat silquest

*** % (w/w) terhadap berat total epoksi dan poliuretan

Karakterisasi FTIR

Bahan baku berupa epoksi, PPG, tolonat, silquest A-187 dianalisa menggunakan spektrofotometer *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), IR-Prestige-21 SHIMADZU dari Jepang. Selain itu, material hibrid ETP-Si dengan komposisi poliuretan (PU) 5% dan silquest 10% dianalisa dengan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi struktur kimia masing-masing bahan baku yang digunakan dan produk pelapis yang dihasilkan.

Pengujian Mekanik

Pengujian mekanik berupa pengujian kuat tarik mengacu pada metode ASTM [11,12]. Spesimen uji dengan ukuran 5×70 mm² diuji dengan *Universal Testing Mechine* (UTM) Ray-Ran M500-50CT dengan kecepatan tarik 10 mm/menit.

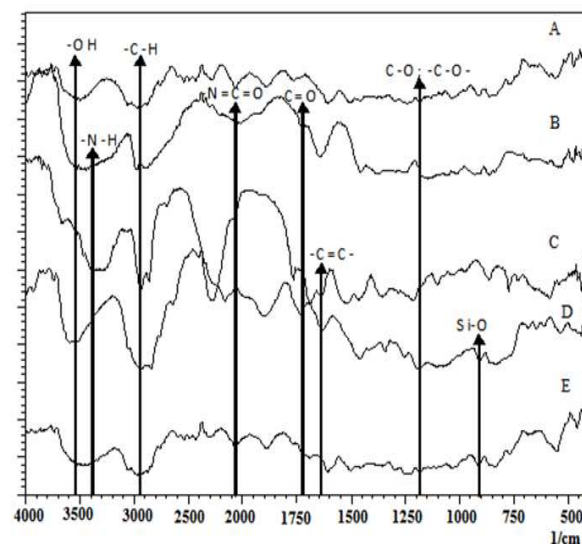
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Gugus Fungsi

Gambar 1 menunjukkan spektra FTIR dari bahan baku dan produk pelapis hibrid. Analisa gugus fungsi dari komponen penyusun pembuatan material pelapis hibrid ETP-Si ini menunjukkan bahwa terdapat pita serapan khas dari struktur senyawa-senyawa tersebut. Spektra FTIR epoksi menunjukkan adanya serapan tajam pada bilangan gelombang 1186,22 cm⁻¹ dimana menunjukkan adanya gugus C-O eter serta serapan pada 1190,08 cm⁻¹ yang juga menunjukkan gugus -C-O dari cicin epoksi. Spektra FTIR PPG gugus hidroksil ditunjukkan pada bilangan gelombang 3439,08 cm⁻¹.

Analisa FTIR untuk senyawa tolonat menunjukkan adanya serapan di bilangan gelombang 2063,83 cm⁻¹ yang merupakan gugus -N=C=O yang ada pada struktur bahan baku ini, selain itu terdapat pula

gugus karbonil pada bilangan gelombang 1764,87 cm⁻¹. Silquest A-187 atau γ -Glisidoksil propil trimetoksilan mempunyai serapan khas Si-O pada bilangan gelombang 906,54 cm⁻¹.



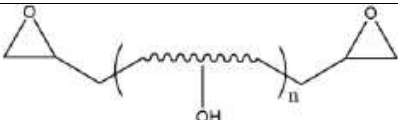
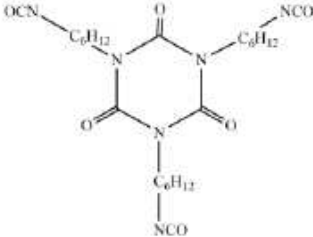
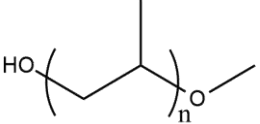
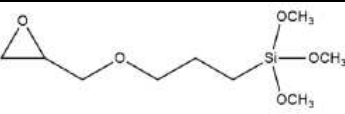
Gambar 1. Spektra FTIR dari (A) Epoksi, (B) Tolonat, (C) PPG, (D) Silquest, (E) Pelapis hibrid epoksi termodifikasi-silan (ETP-Si)

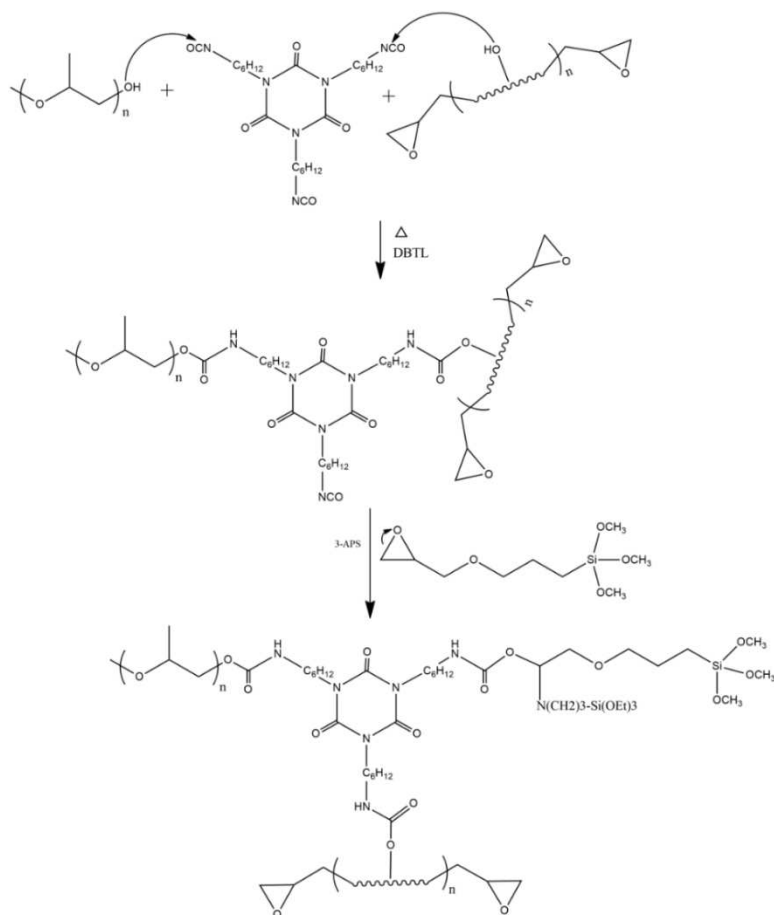
Keseluruhan analisa FTIR gugus dari struktur kimia bahan-bahan baku pembentuk pelapis hibrid ini ditunjukkan pada Tabel 2 (berdasarkan Gambar 1).

Spektra FTIR produk pelapis hibrid pada Gambar 1 (E) menunjukkan adanya serapan tajam di 3437,15 cm⁻¹ yang merupakan gugus -OH. Selain itu, terdapat pula serapan khas gugus -N=C=O dari tolonat pada bilangan gelombang 2063,83 cm⁻¹ dan serapan pada rentang 2839,22 sampai 2966,52 cm⁻¹ yang menunjukkan -C-H *stretching* dari metil pada PPG⁽⁷⁾.

Kedua serapan ini menunjukkan bahwa ETP telah terbentuk. Terdapat pula serapan di 912,23 cm⁻¹ yang mirip dengan serapan gugus -Si-O yang ada pada senyawa *silan*.

Tabel 2. Struktur kimia dan karakteristik spektra FTIR masing-masing komponen penyusun ETP-Si.

| Senyawa | Struktur kimia | Bilangan gelombang (cm ⁻¹) | Gugus fungsi |
|-----------------------------------|---|--|---------------------------------------|
| Epoksi diglisidil eter bisfenol A |  | 3549,02 2870,08-2962,66 1186,22 | -OH -C-H str -C-O eter |
| tolonat |  | 3242,34 dan 3375,42 2858,51 dan 2929,87 2063,83 1764,87 | -N-H -C-H str -N=C=O -C=O |
| Poli propilen glikol |  | 3439,08 2883,58 dan 2985,80 1645,28 dan 1458,18 | -OH -C-H str -C=C- |
| Silquest A-187 |  | 3547,09 2841,15 dan 2937,59 1190,08 906,54 | -OH -C-H str -C-O eter -Si-O |

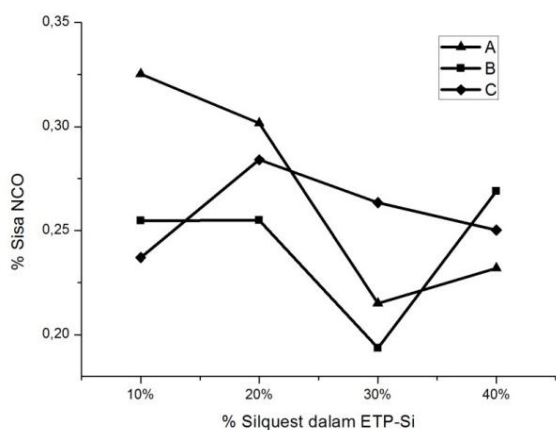


Gambar 2. Prediksi mekanisme reaksi pembentukan senyawa hibrid epoksi termodifikasi-silan (ETP-Si)⁽⁷⁾

Reaksi polimerisasi pembentukan poliuretan adalah suatu reaksi antara senyawa isosianat dengan suatu poliol⁽⁹⁾. Pada penelitian ini isosianat yang digunakan adalah tolonat yang memiliki %NCO sebesar 31,62 %, sedangkan poliol yang digunakan adalah PPG. Adanya gugus hidroksi pada PPG akan berikatan dengan gugus isosianat pada tolonat, dimana ikatan rangkap dari -C=N pada tolonat akan terbuka dan menyebabkan atom C parsial positif. PPG yang memiliki gugus hidroksi akan menyerang atom C parsial positif dan membentuk ikatan uretan (-N(C=O)O-) sesuai dengan mekanisme reaksi pada Gambar 2.

Analisis %NCO Sisa

Grafik hubungan antara % silquest dalam ETP-Si dengan % sisa NCO dari masing-masing formulasi ditunjukkan pada Gambar 4. Dari data tersebut terlihat bahwa, semakin banyak kadar dari silquest menyebabkan % sisa dari NCO semakin berkurang. Hal ini terjadi karena adanya gugus hidroksi dari silquest yang berasal dari gugus oksirena (epoksi) yang semakin banyak, maka menyebabkan semakin banyak pula ikatan uretan yang terbentuk. Sehingga, gugus isosianat dari tolonat terkonversi menjadi ikatan uretan.



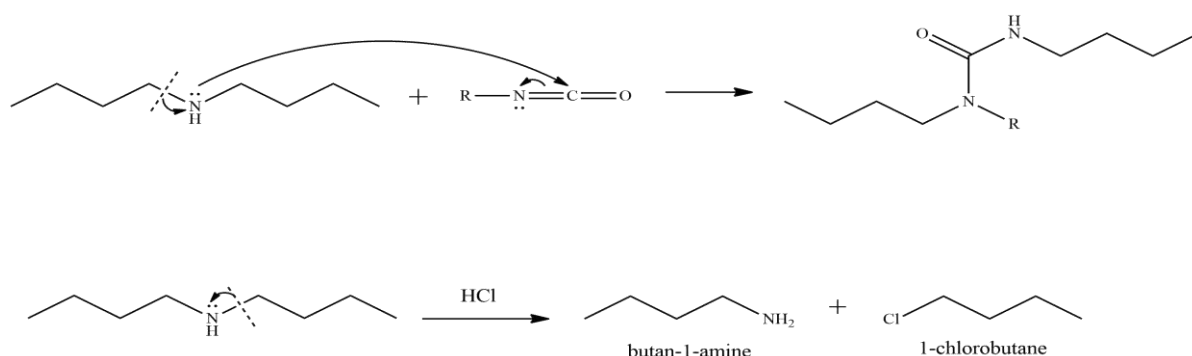
Gambar 3. Grafik % sisa NCO dalam (A) ETP5%, (B) ETP10% dan (C) ETP20%

Prinsip dari analisa NCO ini adalah titrasi asam-basa, yang bertujuan untuk mengetahui masih ada atau tidaknya gugus isosianat yang ada pada material pelapis hibrid ETP-Si yang dilarutkan dalam campuran toluena dan dibutil amin dan dititrasi dengan HCl. Dibutil amin yang bersifat basa dan HCl sebagai asam akan bereaksi membentuk garamnya. Jika di dalam sampel ETP-Si terdapat gugus NCO, maka dibutil amin akan bereaksi dengan gugus NCO sehingga membentuk suatu garam atau produk. Produk ini jika dititrasi dengan asam klorida tidak akan membentuk garam butan-1-amina dan 1-klorobutana yang memberikan perubahan warna pada sampel, semakin banyak sisa NCO maka asam klorida yang dibutuhkan untuk titrasi akan semakin sedikit. Adapun mekanisme reaksinya ditunjukkan oleh Gambar 4.

Dari perhitungan % sisa NCO maka diperoleh tingkat konversi isosianat yang ditunjukkan oleh Tabel 3. Tingkat atau derajat konversi isosianat adalah persentase dari gugus isosianat yang bereaksi membentuk ikatan uretan dengan bahan baku lainnya. Jika derajat konversi isosianat mendekati atau sama dengan 100 %, maka gugus isosianat yang ada di dalam sistem telah bereaksi. Tabel 3 menunjukkan bahwa bila dilihat dari konversi isosianat yang nilainya hampir sama yaitu sekitar 99 %, sehingga hal ini menunjukkan bahwa pada berbagai variasi tersebut reaksi telah berjalan dengan sempurna.

Sifat Mekanik ETP-Si

Analisa sifat mekanik dengan menggunakan metode ASTM D 638-10 bertujuan untuk mengetahui karakter-karakter secara mekanik dari berbagai komposisi material pelapis hibrid ETP-Si. Selain itu, dari hasil analisa ini dapat ditentukan komposisi optimum dari material pelapis hibrid ETP-Si berdasarkan kekuatan mekaniknya.



Gambar 4. Kemungkinan mekanisme reaksi titrasi penentuan % NCO sisa

Tabel 3. Tingkat konversi isosianat dalam ETP-Si

| No | Komposisi | NCO sisa (%) | α (%) |
|----|--------------|--------------|--------------|
| 1 | ETP5%-Si10% | 0.33 | 98.97 |
| 2 | ETP5%-Si20% | 0.30 | 99.04 |
| 3 | ETP5%-Si30% | 0.22 | 99.32 |
| 4 | ETP5%-Si40% | 0.23 | 99.27 |
| 5 | ETP10%-Si10% | 0.25 | 99.19 |
| 6 | ETP10%-Si20% | 0.26 | 99.17 |
| 7 | ETP10%-Si30% | 0.19 | 99.39 |
| 8 | ETP10%-Si40% | 0.27 | 99.15 |
| 9 | ETP20%-Si10% | 0.24 | 99.25 |
| 10 | ETP20%-Si20% | 0.28 | 99.10 |
| 11 | ETP20%-Si30% | 0.26 | 99.17 |
| 12 | ETP20%-Si40% | 0.25 | 99.21 |

Adapun sifat mekanik yang dianalisa dengan menggunakan alat Universal Testing Mechine (UTM) Ray-Ran tipe M500-50CT ini adalah kekuatan tarik (*tensile strenght*), % elongasi dan *modulus young* pada Tabel 4.

Tensile strenght (kuat tarik)

Kuat tarik atau *tensile strenght* merupakan salah satu karakter dari pengujian mekanik

Kuat tarik menunjukkan kuat atau tidaknya suatu material saat diberikan gaya tarik secara vertikal. Tabel 4 menunjukkan kekuatan tarik dari berbagai komposisi ETP-Si. Dari data kuat tarik didapat bahwa formula ETP-Si F1B dengan komposisi ETP10 %-Si10 % memiliki kekuatan tarik lebih besar, yaitu 55.13 ± 2.61 MPa. Jika ditelaah lebih lanjut, ternyata pada penambahan *silan* 10 % untuk masing-

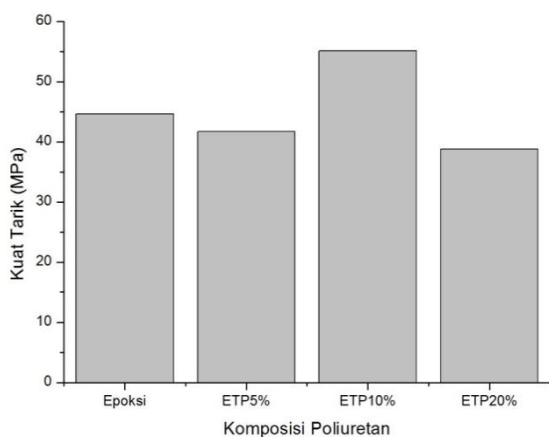
masing komposisi ETP-Si baik ETP 5 %, 10 % dan 20 % memiliki kekuatan tarik yang lebih besar dibandingkan sampel dengan komposisi *silan* 10, 20 dan 40 %.

Gambar 5 menunjukkan grafik dari pengaruh penambahan poliuretan terhadap sifat kuat tarik ETP pada konsentrasi *silan* 10%. Dari data tersebut diperoleh bahwa penambahan poliuretan 10 % memberikan sifat kuat tarik yang lebih besar dibandingkan penambahan 5 % maupun 20 %. Selain itu, adanya penambahan poliuretan 10 % mampu meningkatkan sifat kuat tarik dari epoksi.

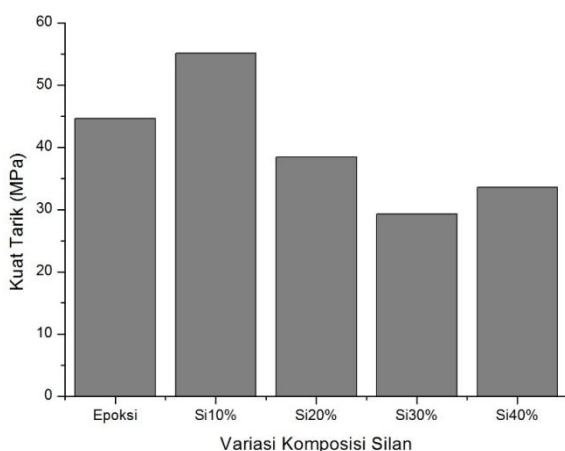
Penambahan senyawa *silan* pada material ETP-Si juga mempengaruhi sifat mekanik dari material tersebut. Gambar 6 menunjukkan pengaruh penambahan senyawa *silan* pada material ETP-Si dengan konsentrasi poliuretan 10 %. Adanya penambahan senyawa *silan* yang semakin banyak ternyata menurunkan sifat kuat tarik dari material ETP-Si. Sedangkan menurut Lul *et al*⁽³⁾ kehadiran epoksi sebagai bahan baku akan memberikan sifat mekanik yang lebih baik. Adanya penurunan kuat tarik pada penambahan senyawa *silan* pada konsentrasi 20 sampai 40 % tidak terikat dalam struktur dari ETP. Penambahan 10 % senyawa *silan* merupakan komposisi yang optimum dari pembuatan ETP-Si, sehingga jika dilakukan penambahan senyawa *silan* berlebih maka kemungkinan tidak bereaksi dengan ETP dan mengakibatkan turunnya sifat mekanik dari ETP- Si.

Tabel 4. Sifat mekanik material pelapis hibrid ETP-Si

| Komposisi | Kuat Tarik (MPa) | Elongasi (%) | Modulus Young (GPa) |
|--------------|------------------|--------------|---------------------|
| Epoksi | 44.65 ± 8.13 | 1.35 ± 0.49 | 340.81 ± 62.70 |
| ETP5%-Si10% | 41.71 ± 1.08 | 1.98 ± 0.32 | 213.09 ± 29.41 |
| ETP5%-Si20% | 36.13 ± 2.38 | 2.58 ± 0.43 | 140.98 ± 13.99 |
| ETP5%-Si30% | 32.52 ± 0.68 | 2.44 ± 0.26 | 133.58 ± 11.24 |
| ETP5%-Si40% | 25.73 ± 1.27 | 1.25 ± 0.02 | 205.67 ± 6.49 |
| ETP10%-Si10% | 55.13 ± 2.61 | 2.19 ± 0.09 | 251.13 ± 4.73 |
| ETP10%-Si20% | 38.41 ± 0.38 | 1.19 ± 0.29 | 330.67 ± 77.34 |
| ETP10%-Si30% | 29.24 ± 0.85 | 2.05 ± 0.32 | 144.78 ± 18.78 |
| ETP10%-Si40% | 33.55 ± 0.93 | 1.54 ± 0.51 | 236.74 ± 86.01 |
| ETP20%-Si10% | 38.78 ± 2.07 | 2.35 ± 1.29 | 196.39 ± 116.18 |
| ETP20%-Si20% | 32.84 ± 2.48 | 2.43 ± 0.48 | 137.41 ± 22.01 |
| ETP20%-Si30% | 21.37 ± 0.38 | 1.09 ± 0.24 | 199.35 ± 40.08 |
| ETP20%-Si40% | 28.43 ± 0.04 | 1.94 ± 0.29 | 149.41 ± 22.71 |



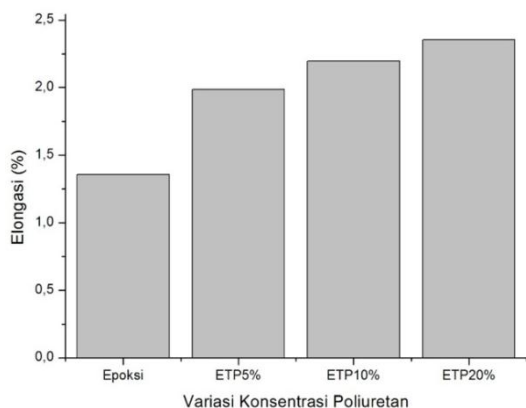
Gambar 5. Kekuatan tarik berbagai komposisi ETP pada silan 10 %



Gambar 6. % Pengaruh variasi senyawa silan pada kuat tarik dengan konsentrasi poliuretan 10 %.

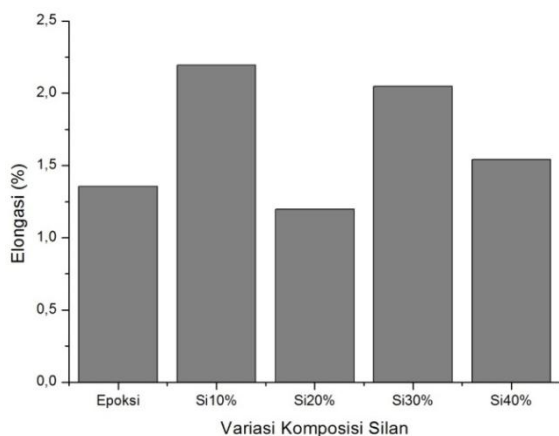
Persen (%) elongasi

Analisa % elongasi adalah suatu persentase pertambahan panjang suatu spesimen uji saat dilakukan penarikan secara vertikal. % elongasi menunjukkan keelastisan suatu material yang ditunjukkan dengan adanya kemuluran pada spesimen uji saat diberikan gaya tertentu. Gambar 7 menunjukkan % elongasi penambahan berbagai komposisi poliuretan pada material pelapis hibrid ETP-Si 10 %. Pada sampel dengan silan 10 %, ternyata % elongasi dari material pelapis hibrid ETP-Si meningkat dengan penambahan konsentrasi dari poliuretan. Hal ini terjadi karena poliuretan adalah suatu material termoplastik yang memiliki sifat elastis. Pada penelitian yang dilakukan oleh Barletta *et al*⁽¹⁷⁾, poliuretan memiliki % elongasi sebesar 57.86 %, sedangkan epoksi sebesar 18.87 %. Sehingga dengan adanya penambahan poliuretan, maka % elongasi dari material pelapis hibrid ETP-Si semakin besar.



Gambar 7. Persen elongasi berbagai komposisi ETP pada Si 10%

Adapun pengaruh penambahan senyawa *silan* dalam elastisitas material pelapis hibrid ETP-Si ditunjukkan pada Gambar 8. Dari gambar tersebut diperoleh bahwa penambahan senyawa *silan* ternyata mempengaruhi persen elongasi dari material ETP Si secara fluktuatif. Senyawa *silan* yang digunakan pada penelitian ini memiliki gugus oksirena dimana bersifat kaku seperti epoksi. Oleh karenanya, dengan adanya penambahan senyawa *silan*, akan menyebabkan material pelapis hibrid ETP-Si menjadi kaku atau kurang elastis. Hal ini menyebabkan elongasi dari material ini berkurang dengan penambahan senyawa *silan*.

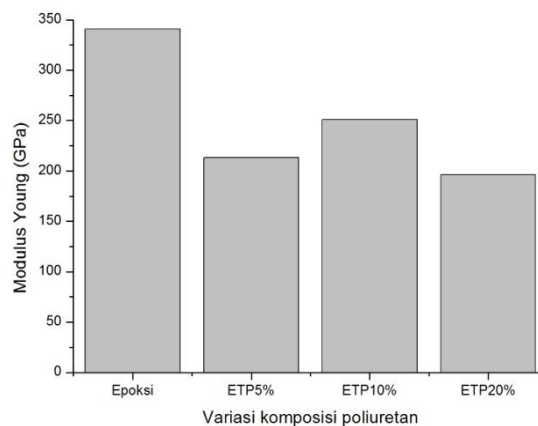


Gambar 8. Persen elongasi material ETP 10% dengan variasi senyawa *silan*

Modulus young

Selain data kekuatan tarik dan elongasi, dari pengujian mekanik ini juga diperoleh data *modulus young*. *Modulus young* didefinisikan sebagai rasio tegangan dalam sistem koordinasi kartesian terhadap regangan sepanjang aksi pada jangkauan tegangan dimana hukum *hook* berlaku [18].

Jika suatu bahan semakin kaku, maka harga dari *modulus young* akan semakin besar, karena pada material yang memiliki tingkat kekakuan yang besar memerlukan energi yang besar pula untuk menarik material tersebut sampai putus, tetapi pertambahan panjang atau sifat elastisitas dari material tersebut rendah. Data *modulus young* yang ditunjukkan oleh Gambar 9 memberikan profil tentang korelasi kekuatan tarik dengan elongasi (ukuran elastisitas suatu material) untuk material pelapis hibrid ETP-Si 10 % dengan berbagai variasi konsentrasi poliuretan.



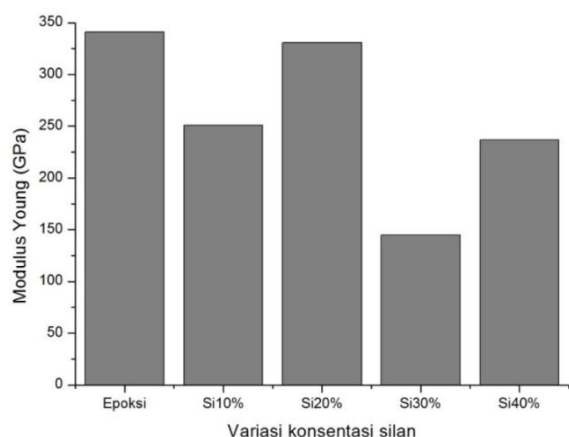
Gambar 9. Modulus Young material ETP-Si 10% dengan variasi poliuretan

Gambar 9 menunjukkan penambahan poliuretan yang memiliki sifat elastisitas menurunkan harga modulus young dari suatu material. Hal ini selaras dengan dengan definisi *modulus young* tersebut, yang berbanding lurus dengan kuat tarik dan berbanding terbalik dengan elastisitas. Apabila suatu material memiliki sifat elastisitas yang tinggi, maka *modulus young*

akan rendah. *Modulus young* juga dapat menerangkan kekakuan dari suatu material.

Pada material epoksi tanpa penambahan poliuretan memiliki harga *modulus young* sebesar 340.81 ± 62.70 GPa. Hal ini terjadi karena sifat kekakuan dari material ini tinggi sedangkan elastisitasnya yang rendah, karena itu harga *modulus young* dari epoksi akan tinggi.

Berbeda jika pada material epoksi yang ditambah dengan poliuretan (ETP), penambahan poliuretan akan meningkatkan sifat elastisitas dari suatu material yang menyebabkan faktor kekakuannya akan menurun. Pada komposisi poliuretan 10% memiliki harga *modulus young* yang lebih tinggi dibandingkan komposisi. Hal ini terjadi karena komposisi ini memiliki kuat tarik dan elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan komposisi-komposisi yang lain. Pengaruh penambahan senyawa *silan* juga mempengaruhi nilai *modulus young* dari material ETP-Si yang ditunjukkan oleh Gambar 10.



Gambar 10. Pengaruh konsentrasi *silan* terhadap modulus young ETP-Si

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa senyawa *silan* yang digunakan pada penelitian ini memiliki gugus oksirena yang memiliki karakter mekanik yang sama dengan epoksi. Penambahan senyawa *silan* dengan konsentrasi 20 % memberikan

harga modulus young yang hampir mirip dengan epoksi yaitu 330.67 ± 77.34 GPa.

Jika dilihat dari data kuat tarik dan % elongasi (Gambar 5, 6, 7 dan 8) komposisi ini memiliki karakter yang hampir mirip dengan epoksi. Oleh karenanya dapat disimpulkan bahwa pada komposisi ini pengaruh dari poliuretan maupun senyawa *silan* terhadap sifat mekanik dari epoksi kecil.

Nilai persen elongasi dan *modulus young* trendnya tidak beraturan, hal ini disebabkan karena reaksi pembuatan ETP-Si dilakukan secara simultan, jadi struktur jaringan ikat silang polimer yang terbentuk tidak beraturan dimana akan mempengaruhi sifat mekanik sesuai dengan data-data pada Tabel 4.

KESIMPULAN

Karakterisasi gugus fungsi dengan menggunakan spektrofotometri FTIR menunjukkan bahwa material pelapis hibrid ETP-Si telah terbentuk yang dilihat dari adanya pergeseran dan hilangnya spektra beberapa *raw material* yang ada pada spektra FTIR ETP-Si. Hal ini didukung juga dengan data analisa % NCO sisa dan tingkat konversi isosianat yang menunjukkan hampir semua isosianat bereaksi dengan bahan baku lainnya.

Pengujian mekanik menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi poliuretan yang semakin banyak mampu meningkatkan sifat elastisitas dari material ETP-Si pada komposisi *silan* 10 %. Dari hasil pengujian mekanik diperoleh bahwa material dengan formulasi ETP 10 %-Si 10 % memiliki kekuatan mekanik yang lebih besar dibandingkan dengan formulasi ETP-Si lainnya. Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya ^[21], dengan menggunakan senyawa polisiloksan sebagai ikatan - Si - O, kuat tarik yang dihasilkan lebih besar (10.8 MPa) dan % elongasi lebih kecil (2.92).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Kompetitif LIPI 2014 atas dukungan finansial yang telah diberikan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ibu Hadidjah dan saudara Herlan Herdiawan yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian

DAFTAR PUSTAKA

1. S.Ahmad, F.Zafar, E. Sharmin, N. Garg, M. Kashif. *Progress in Organic Coatings*. Vol. 73: 112– 117 (2012).
2. T. M. Goulding. *Epoxy Resin Adhesives*. CRC Press. Chapter 43 (2003).
3. S. Lul, J. Ban, C. Yu, and W. Deng. *Iranian Polymer Journal*. Vol. 19 (9): 669-678 (2010).
4. M., Kostrzewa. Thesis. *Thomas Bata University in Zlin*. 2011.
5. C. A., May. *Epoxy Resin Chemistry and Technology*, 2nd Edition. Marcel Dekker: New York. 1988.
6. J.M. Keijman. Properties and use of inorganic polysiloxane *hybrid coatings* for the protective *coatings* industry. 2^{as} Jornadas Da Revista Corrosão E Protecção de Materiais. Lisboa. 2000.
7. A., Prabu dan M., Alagar. Mechanical and Thermal Studies of intercross-linked networks based on siliconized polyurethane-epoxy/unsaturated polyester coatings. *Progress in Organic Coatings*, 49, 236-243. (2004).
8. D.K., Chattopadhyay and K.V.S.N., Raju. Structural engineering of polyurethane coatings for high performance applications. *Prog. Polym. Sci.* 32, 352 – 418 (2007).
9. F. M. B., Countinho. M. C., Delpech. and L. S. Alves. *Journal of Applied Polymer Science*. vol. 80: 566-572. (2001).
10. *Polymer Testing* 28. pp. 773 – 779. 2009.
11. ASTM D 638-14. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic.
12. ASTM D 882-12. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting.
13. K. B. Gireesh, K. K. Jena, S. Allaudin, K. R. Radhika, R. Narayan, K. V. S. N. Raju. *Progres in Organic Coating*. Vol. 68: 165-172 (2010).
14. T. J. Lee, S. H. Kwon, B. K. Kim. *Progress in Organic Coating*. Vol. 77: 1111-1116 (2014).
15. C. Fu, Z. Yang, Z. Zheng, L. Shen. *Progress in Organic Coating*. Vol. 77: 1241-1248 (2014).
16. I. Diaz, B. de la Fuente Chico, D. Simancas, J. Vega, J. M. M. Morcillo. *Progress in Organic Coating*. Vol. 69: 278-286 (2010).
17. M. Barletta, S. Pezzola, M. Puopolo, V. Tagliaferri, S. Vesco. *Material and Design*. Vol. 54: 924-933 (2014)
18. A. D. McNaught, and A. Wilkinson. IUPAC: Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). *Blackwell Scientific Publications*: Oxford. 1997.
19. E. Triwulandari, M. Ghozali, A. Haryono. Karakteristik binder epoksi sebagai bahan coating dengan variasi jenis dan komposisi hardener. Seminar Nasional Kimia Terapan Indonesia. Solo. ISSN 2088-9828. 2013
20. Savitri, M. Ghozali, E. Triwulandari. Karakteristik Binder Epoksi Termodifikasi Poliuretan (ETP) Sebagai Bahan Coating Dengan Variasi Jenis Dan Komposisi Polioliol. Prosiding Seminar Nasional Ilmu Pengetahuan

Teknik. Yogyakarta. ISSN 2303-0798.
2013.

21. E. Triwulandari, A. Haryono, M. Ghozali, Savitri, Y. A. Devi, Hadidjah. Proses pembuatan hybrid coating berbasis epoksi termodifikasi poliuretan dan polisiloksan sebagai bahan anti korosi pada logam. Draft paten dengan nomor pendaftaran P05122013. Tangerang. 2013.