

## Hidrolisis Poliuretana Tegar Sawit

Syuhada Mohd Tahir  
Khairiah Haji Badri  
Syahidah Mohd Tahir  
Mariya Mohd Tahir  
Jamil Mohd Sapari

### ABSTRAK

*Kajian ini dijalankan untuk mengkaji tindak balas hidrolisis poliuretana tegar sawit. Poliuretana tegar disintesis menggunakan monoester-OH isirung sawit (PKO). Sampel poliuretana yang dihasilkan direndam di dalam larutan akues natrium hidroksida (NaOH) berkepekatan 0 %, 10 %, 20 %, 30 % dan 40 %. Larutan akues NaOH beralkali boleh mempercepatkan kadar hidrolisis. Sampel kek poliuretana terhidrolisis dan larutan hasil turasan dianalisis setiap 7, 14, 21, dan 28 hari. Timbangan menunjukkan jisim kek poliuretana terhidrolisis meningkat. Ini menunjukkan pembengkakan berlaku akibat penyerapan larutan. Selepas sampel kek poliuretana terhidrolisis tersebut dikeringkan dan diulang timbang, didapati jisimnya berkurang sehingga lebih rendah daripada jisim asal sebelum tindak balas hidrolisis dilakukan. Ini menunjukkan sebahagian struktur poliuretana telah terurai akibat tindak balas hidrolisis. Semakin tinggi kepekatan larutan akues NaOH, semakin tinggi jisim bahan terurai. Analisis spektroskopi FTIR menunjukkan penguraian struktur poliuretana melalui kehilangan puncak serapan bagi C=O, C-O-C dan C-N. Analisis menggunakan mikroskop optik menunjukkan diameter partikel poliuretana berkurang selepas ditindakbalas dan dikeringkan. Daripada semua analisis, disimpulkan bahawa penguraian poliuretana melalui tindak balas hidrolisis menyebabkan pemutusan rantai poliuretana, di mana segmen lembut iaitu monoester-OH terurai, manakala segmen keras dengan taut silang pula kekal dalam struktur poliuretana.*

**Kata Kunci:** hidrolisis beralkali, poliuretana, penguraian, polimer bersegi

### Pengenalan

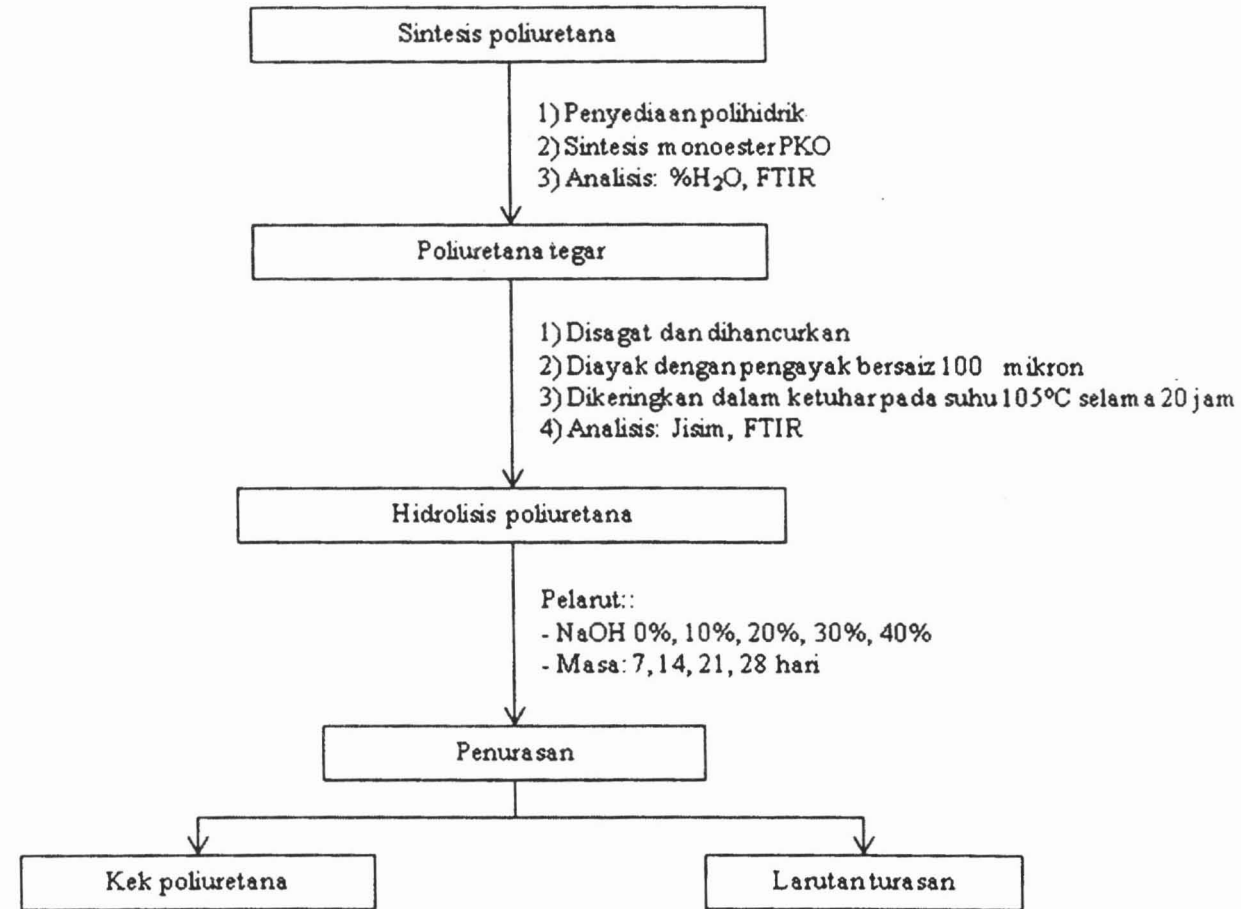
Pada masa kini poliuretana dapat dilihat dalam pelbagai bentuk. Aplikasinya merangkumi produk-produk industri seperti bahan pembinaan, peralatan sukan, kelengkapan perubatan, bahan perekat dan bahan penyalut. Poliuretana disintesis dengan kaedah pempolimeran penambahan melibatkan tindak balas antara polioliol, isosianat dan pemanjang rantai (Park et al. 2007). Kebanyakan polioliol yang digunakan sekarang untuk mensintesis poliuretana ialah daripada sumber petroleum. Penyusutan sumber yang tidak boleh diperbaharui ini menyebabkan perhatian beralih kepada minyak berasaskan tumbuhan seperti minyak soya, minyak jarak dan minyak sawit untuk penghasilan polioliol. Minyak sayuran ini bukan sahaja boleh diperbaharui dan terbiodegradasi, malah lebih menjimatkan kos dan mesra alam berbanding minyak petroleum. Daripada aspek teknologi pula, poliuretana berasaskan minyak tumbuhan mempunyai kelebihan dari segi kekuatan dan kekakuan, ketahanan terhadap persekitaran serta jangka hayat yang panjang (Sharma & Kundu 2008). Malaysia merupakan pembekal minyak sawit antara yang terbesar di dunia (Sumathi et al. 2008). Ini menyebabkan penghasilan polioliol berasaskan minyak sawit sangat sesuai dijalankan di Malaysia.

Walaupun bagaimanapun, penggunaan produk polimer asas tumbuhan terbiodegradasi mempunyai kekurangan iaitu strukturnya mudah terurai dalam keadaan persekitaran yang berkelembapan tinggi (Kim & Kim 2008). Perubahan kimia dan morfologi polimer akibat kesan persekitaran boleh mempengaruhi jangka hayat polimer tersebut. Pelbagai kajian telah membuktikan bahawa hidrolisis memainkan peranan penting dalam penuaan polimer. Tindak balas hidrolisis boleh menyebabkan pemecahan pada ikatan uretana atau ester dalam struktur poliuretana, seterusnya menyebabkan berlakunya perubahan jisim molekul yang boleh memberi impak yang besar terhadap sifat fizik dan mekanik poliuretana (Thompson et al. 2006). Hidrolisis yang berlaku pula boleh berlaku dalam medium cecair samada dalam keadaan neutral, berasid atau beralkali, bergantung kepada larutan yang bersentuhan pada permukaan polimer. Pelbagai kajian mengenai hidrolisis poliuretana telah dijalankan oleh para penyelidik, antaranya ialah mentaksir jangka hayat produk poliuretana dengan menyediakan keadaan tindak balas menyerupai keadaan sebenar dari segi kelembapan, pH serta suhu (Ayres et al. 2007; Davies & Evrard 2007; Kim & Kim 2008; Mahkam & Sharifi-Sanjani 2003; Thompson et al. 2006), menambah baik sifat poliuretana dengan menukar ganti struktur poliuretana untuk meningkatkan kerintang hidrolisis poliuretana (Ayres et al. 2007; Chan-Chan et al. 2010; Mahkam & Sharifi-Sanjani 2003; Mequanint &

Sanderson 2006; Murata et al 1997; Park et al. 2007) dan menggunakan hidrolisis sebagai kaedah untuk mengitar semula poliuretana (Howard 2002; Mahkam & Sharifi-Sanjani 2003; Santerre et al. 2005).

**Bahan dan Kaedah**

Kajian ini melibatkan beberapa peringkat iaitu penghasilan polioli melalui tindak balas esterifikasi, penghasilan poliuretana, hidrolisis poliuretana dan akhir sekali analisis hasil hidrolisis seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.



Rajah 1 Carta alir tindak balas hidrolisis poliuretana sawit

Peringkat pertama iaitu penghasilan polioli atau monoester-OH minyak isirung sawit (PKO) dimulakan dengan menyediakan larutan polihidrik dengan mencampurkan 90 bahagian dietanolamina (DEA), 7 bahagian monoetilena glikol (MEG) dan 3 bahagian kalium asetat (PA). Campuran digoncang dan dibiarkan sehingga larut. Jumlah bahan yang digunakan untuk menyediakan 300g larutan polihidrik disenaraikan dalam Jadual 1 di bawah. Struktur bahan-bahan kimia tersebut pula ditunjukkan dalam Rajah 2 berikut.

Jadual 1 Bahan kimia untuk penyediaan sebatian polihidrik

Bahan kimia	Bahagian mengikut berat (bmb)
DEA	90
MEG	7
PA	3

Kemudian larutan polioliol atau monoester-OH minyak isirung sawit disediakan melalui tindak balas pengesteran dengan mencampurkan 20 bahagian polihidrik dan 80 bahagian minyak isirung sawit (PKO). Proses penyediaan ester minyak isirung sawit ini dijalankan seperti yang dicadangkan oleh Badri et al. (2000). Proses ini dijalankan dalam sebuah reaktor kaca 2 liter yang disambung dengan kondenser refluks. Gas nitrogen dialirkan disepanjang proses untuk mengelakkan proses pengoksidaan berlaku. Campuran sebatian polihidrik dan monoester-OH PKO diadun dengan menggunakan mesin pengadun dengan kelajuan rotor 200 r.p.m. Pemanasan dilakukan sehingga mencapai suhu 195°C dan kemudian suhu ditetapkan dan dikawal pada julat 185°C sehingga 195°C selama 20 minit. Monoester-OH yang terhasil dianalisa menggunakan spektrometer inframerah Fourier Transform (FTIR) dan penentuan peratus kandungan air (% H<sub>2</sub>O).

Peringkat kedua ialah penghasilan poliuretana daripada monoester-OH yang telah dihasilkan. Dalam kajian ini, penghasilan poliuretana ialah hanya untuk menyeragamkan sampel yang perlu digunakan untuk tindak balas hidrolisis bagi memastikan keputusan kajian tidak dipengaruhi oleh jenis poliuretana yang berbeza. Proses ini dimulakan dengan menyediakan resin dengan mengadun bahan-bahan kimia mengikut bahagian seperti yang disenaraikan dalam Jadual 2 berikut. 2,4-difenilmetanadiisosiyanat (MDI) kemudiannya dicampurkan ke dalam resin dengan nisbah 1:1. Busa poliuretana dibiarkan dalam acuan selama 10 minit sebelum dikeluarkan dan dibiarkan pada suhu bilik selama 16 jam. Busa poliuretana yang terhasil disayat dan dihancurkan kemudian diayak menggunakan pengayak dengan liang bersaiz 100 mikrometer. Debu poliuretana yang terhasil tersebut dikeringkan di dalam ketuhar pada suhu 105 °C selama 20 jam. Poliuretana kemudian dianalisa menggunakan spektrometer inframerah Fourier Transform (FTIR).

Jadual 2 Komposisi bahan dalam penyediaan resin

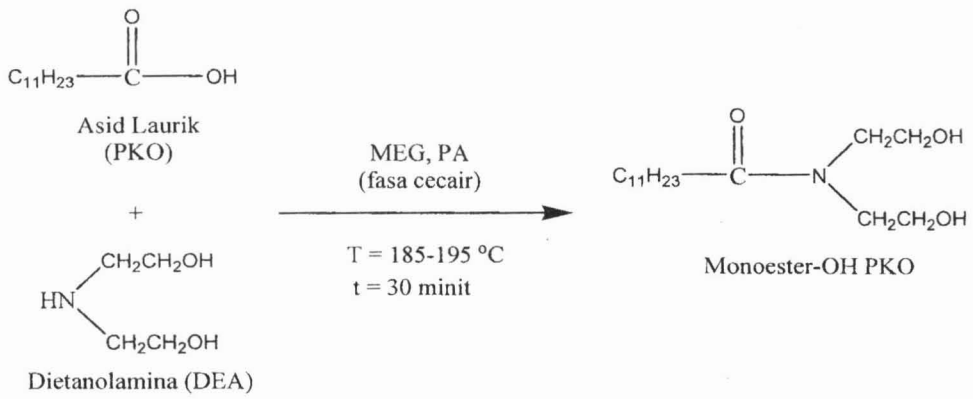
Bahan	Bahagian mengikut berat (bmb)
Polioliol monoester-OH	90.0
Gliserol	10.0
Niax	2.0
TMHDA	0.4
PMDETA	0.2
H <sub>2</sub> O	4.0

Peringkat ketiga ialah hidrolisis poliuretana. Tindak balas hidrolisis poliuretana dijalankan menggunakan larutan akues natrium hidroksida (NaOH). Tindak balas ini dijalankan mengikut kaedah ujian piawai ASTM D543-87. Larutan akues NaOH pada lima kepekatan berbeza iaitu 0 %, 10 %, 20 %, 30 % dan 40 % disediakan. Kemudian, 2 gram sampel poliuretana direndam dalam setiap larutan tersebut. Tindak balas ini dijalankan pada suhu bilik iaitu 28 °C. Campuran dituras pada setiap 7, 14, 21 dan 28 hari untuk mendapat kek poliuretana terhidrolisis dan larutan turasan. Kek poliuretana terhidrolisis ditimbang, dikeringkan dan ditimbang semula. Kemudian, ia dianalisis menggunakan spektroskopi FTIR dan mikroskop optik.

## Keputusan dan Perbincangan

### Monoester-OH Minyak Isirung Sawit (PKO)

Sebatian polihidrik disediakan daripada dietanolamina (DEA) dan monoetilena glikol (MEG) dengan kalium asetat (PA) sebagai mangkin. MEG digunakan sebagai pengemulsi untuk menserasikan PKO dan DEA (Badri et al. 2001). Bagi memastikan peratus penukaran maksimum PKO kepada monoester-OH yang mempunyai kefungsiian dan nilai hidroksil (OH) yang tinggi, pemilihan sebatian polihidrik dan mangkin adalah sangat penting. Mangkin alkali kalium asetat (PA) yang digunakan sebanyak 3 % nisbah mengikut berat dapat menghasilkan esteramida sebanyak 98.2 %, iaitu hampir semua hasil yang diperolehi adalah monoester-OH (Badri 2005). Monoester-OH berkefungsiian tinggi diperlukan untuk bertindak balas bersama isosiyanat bagi menghasilkan poliuretana yang berkualiti. Rajah 2 menunjukkan tindak balas penghasilan monoester-OH PKO.

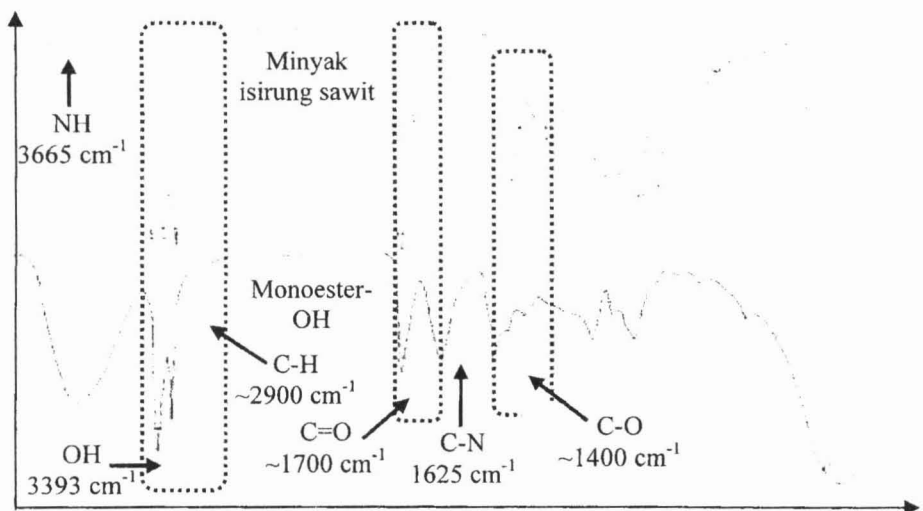


Rajah 2 Tindak balas penghasilan monoester-OH PKO

Kandungan air dalam monoester-OH PKO adalah sangat penting untuk menentukan penambahan air sebagai agen penghambusan dalam rumusan sistem poliuretana. Tindak balas antara air dan kumpulan isosianat akan menghasilkan gas karbon dioksida yang berfungsi dalam proses pembusaan. Jumlah karbon dioksida menentukan ketumpatan sel busa poliuretana. Ini kerana gas karbon dioksida tersebut akan membentuk buih gas dalam struktur poliuretana yang terhasil. Kandungan air yang tinggi menyebabkan saiz buih dalam struktur poliuretana menjadi tidak seragam dan menurunkan kekuatan dan ketegaran busa poliuretana (Badri et al. 2000).

Peratus kandungan air dalam monoester-OH yang terhasil didapati rendah iaitu adalah sebanyak 0.21 %. Kandungan air yang rendah ini adalah baik jika pembusaan tidak memuaskan, penambahan air boleh dilakukan. Peratus kandungan air pada PKO ini menunjukkan kepada molekul air yang terikat kepada monoester-OH dengan ikatan hidrogen yang lemah. Penentuan warna monoester-OH PKO pula diperhatikan. Pada awal tindak balas campuran adalah kelihatan keruh dengan warna kuning keperangan. Apabila mencapai suhu 185 °C monoester-OH mulai terhasil, campuran bertukar menjadi jernih dan akhirnya bewarna kuning keemasan menandakan pembentukan monoester-OH telah lengkap. Monoester-OH yang terhasil adalah dalam fasa cecair yang homogen pada suhu bilik.

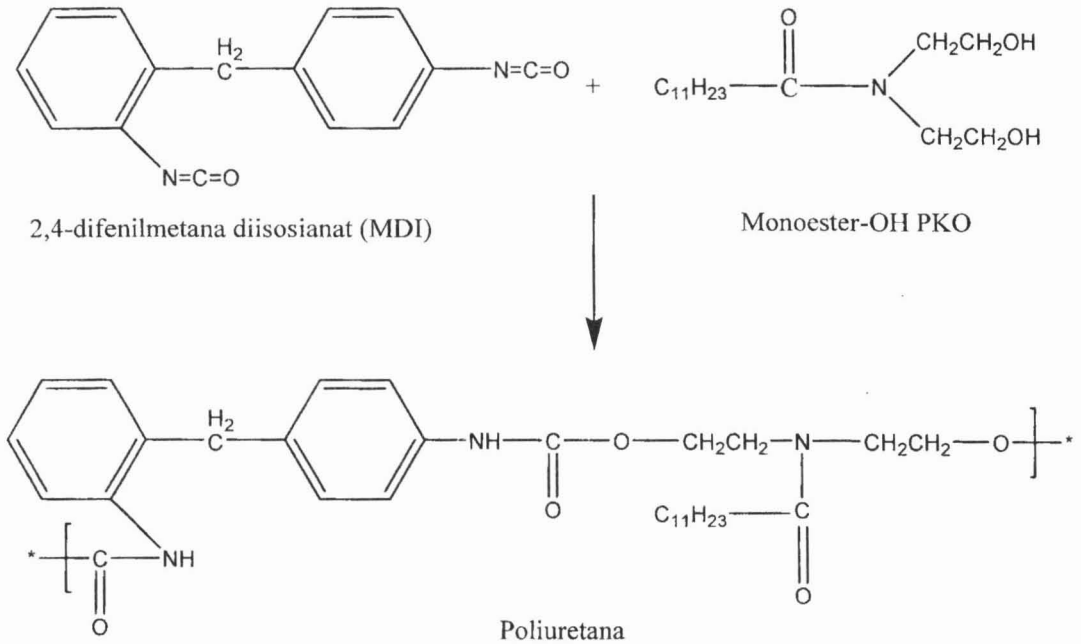
Bagi analisis FTIR monoester-OH PKO, tiga pencirian puncak penting bagi memastikan PKO telah ditindak balas untuk bertukar kepada monoester. Rajah 3 jelas menunjukkan puncak hidroksil (-OH) dan karbamat (-CN). Spektrum FTIR monoester-OH dibandingkan dengan spektrum FTIR minyak isirung sawit (PKO) sebagai pengesahan. Tindak balas minyak isirung sawit dengan kumpulan hidroksil menyebabkan puncak hidroksil lebar dan kuat terhasil pada serapan pada nombor gelombang 3393  $\text{cm}^{-1}$ . Serapan pada nombor gelombang 1740  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan kumpulan berfungsi karbonil hadir dan pada serapan nombor gelombang 1625  $\text{cm}^{-1}$  pula menunjukkan kehadiran kumpulan berfungsi karbamat (-CN). Ini mengesahkan hasil bahawa ester PKO berjaya terhasil.



Rajah 3 Perbandingan spektrum FTIR minyak isirung sawit (PKO) dan monoester-OH PKO

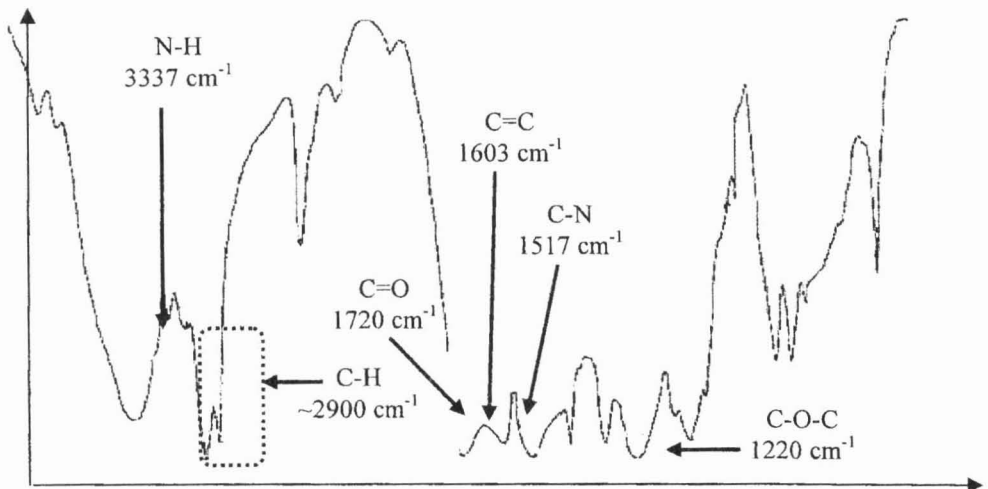
**Poliuretana Tegar**

Rajah 4 berikut menunjukkan tindak balas penghasilan poliuretana menggunakan monoester-OH PKO.



Rajah 4 Tindak balas pembentukan poliuretana asas sawit

Analisis FTIR dapat mengenalpasti kumpulan-kumpulan berfungsi utama dalam poliuretana berasaskan monoester-OH PKO. Rajah 5 menunjukkan spektrum FTIR bagi poliuretana tegar yang terhasil. Dalam rajah tersebut, didapati puncak serapan bagi kumpulan berfungsi N-H berada di  $3337\text{ cm}^{-1}$  dan C-N di  $1517\text{ cm}^{-1}$ , C=O bagi kumpulan poliuretana di  $1720\text{ cm}^{-1}$ , C=C dalam gelang aromatik di  $1603\text{ cm}^{-1}$ , C-H di  $2925\text{ cm}^{-1}$  dan serapan pembengkokan C-O-C didapati di  $1220\text{ cm}^{-1}$ . Kumpulan N-H wujud di  $3337\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan interaksi dengan oksigen daripada kumpulan C=O dalam rantaian uretana di mana daya penolakan berlaku antara C=O dan N-H yang menyebabkan frekuensi getaran berkurang. Walau bagaimanapun, C-N tidak berinteraksi dengan oksigen daripada kumpulan karboksil disebelahnya, menyebabkan tiada perubahan pada frekuensi getarannya (Skoog et al. 1998).



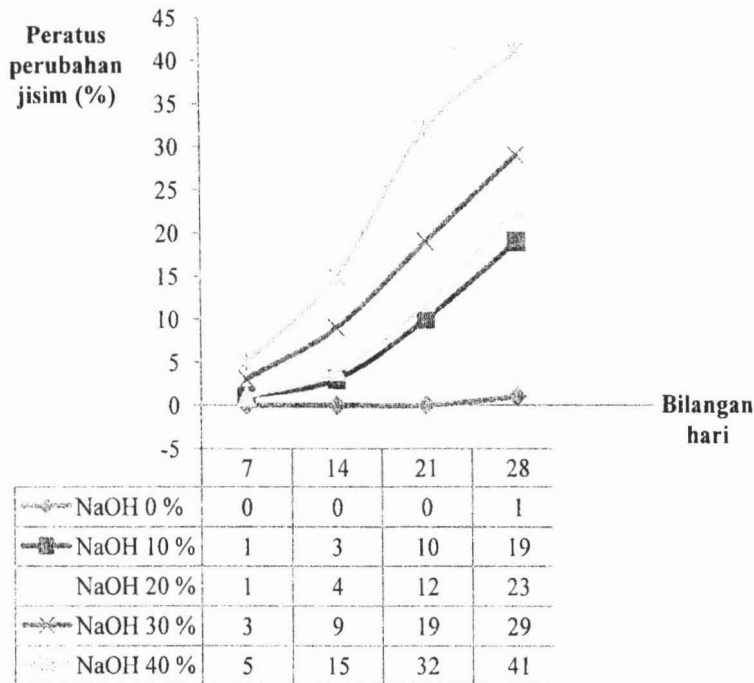
Rajah 5 Spektrum FTIR poliuretana tegar asas sawit

## Hidrolisis Poliuretana

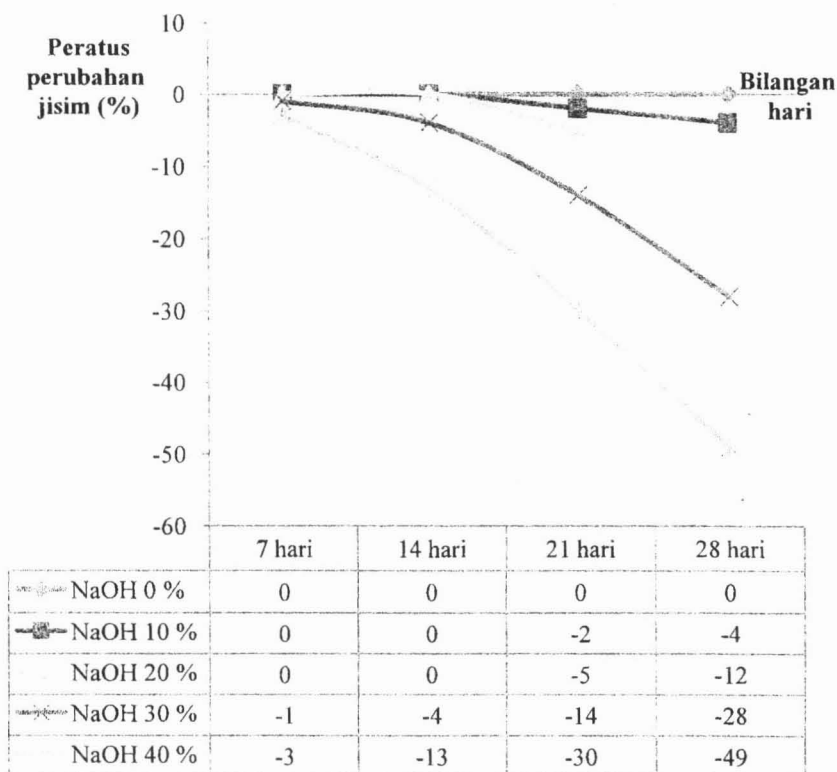
Menurut kajian-kajian terdahulu, tindak balas hidrolisis akan menyebabkan pembengkakan serta menaikkan jisim polimer. Bagaimanapun, pengeringan semula selepas pembengkakan akan membawa kepada penguraian struktur polimer dan pengurangan jisim sehingga lebih rendah dari jisim asal sebelum tindak balas hidrolisis. Dalam kajian ini, fenomena tersebut telah diperhatikan. Jadual 3 berikut menyenaraikan jisim poliuretana sebelum (0 bilangan hari) dan selepas tindak balas hidrolisis. Jisim poliuretana selepas tindak balas diambil dalam keadaan basah untuk melihat kesan pembengkakan serta dalam keadaan kering untuk melihat kadar penguraian. Rajah 6 dan Rajah 7 menunjukkan peratus perubahan jisim poliuretana. Didapati peratus kenaikan jisim akibat pembengkakan serta peratus pengurangan jisim akibat penguraian berkadar langsung dengan bilangan hari tindak balas. Peratus penurunan jisim yang lebih besar, yang menunjukkan kadar penguraian lebih tinggi, diperhatikan bagi sampel yang direndam dalam larutan NaOH yang berkepekatan tinggi. Ini menunjukkan medium beralkali boleh mempercepatkan tindak balas hidrolisis seperti yang dinyatakan oleh kajian terdahulu (Zia et al. 2007).

Jadual 3 Perubahan jisim poliuretana

Kepekatan NaOH (%)	Jisim basah (g)					Jisim kering (g)				
	Bilangan hari proses hidrolisis									
	0	7	14	21	28	0	7	14	21	28
0	2.00	2.00	2.00	2.00	2.01	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
10	2.00	2.01	2.03	2.10	2.19	2.00	2.00	2.00	1.98	1.96
20	2.00	2.01	2.04	2.12	2.23	2.00	2.00	2.00	1.95	1.88
30	2.00	2.03	2.09	2.19	2.29	2.00	1.99	1.96	1.86	1.72
40	2.00	2.05	2.15	2.32	2.41	2.00	1.97	1.87	1.70	1.51



Rajah 6 Perubahan jisim selepas hidrolisis (sebelum dikeringkan)



Rajah 7 Perubahan jisim selepas dihidrolisis (selepas dikeringkan)

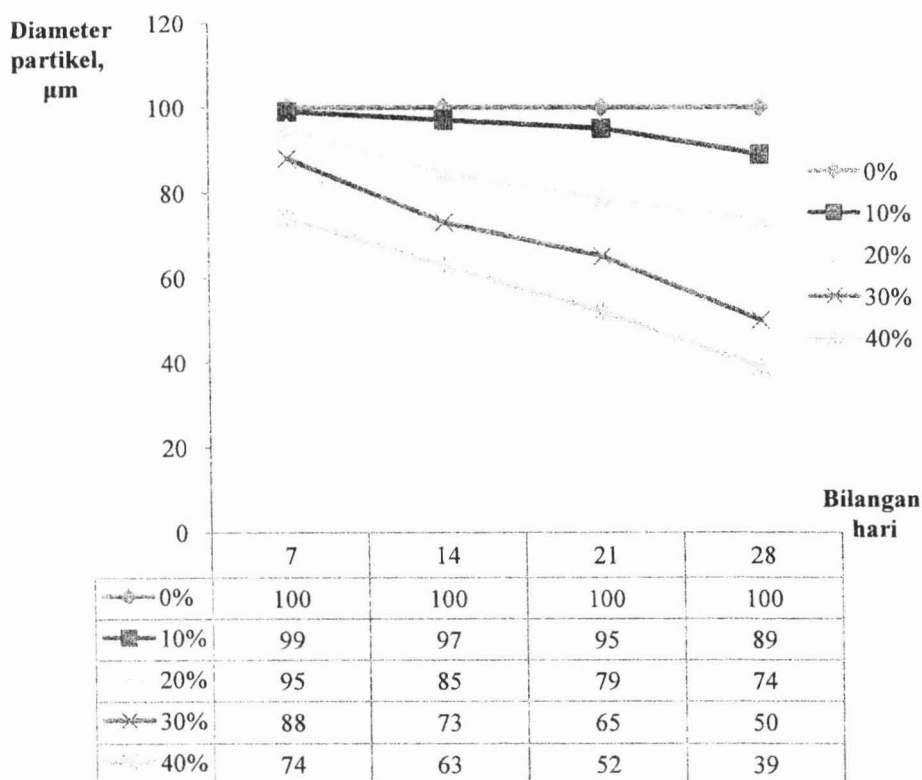
Analisis spektroskopi FTIR bagi poliuretana terhidrolisis penting untuk mengetahui kumpulan berfungsi yang hilang kerana penguraian struktur poliuretana akibat hidrolisis. Jadual 4 berikut merupakan perbandingan antara kumpulan berfungsi yang wujud dan yang hilang selepas hidrolisis. Bagi sampel poliuretana yang direndam ke dalam air ataupun ditulis sebagai larutan NaOH 0 %, didapati tiada perubahan yang berlaku melainkan peralihan nombor gelombang yang kecil sahaja. Ini menunjukkan bahawa air biasa tidak mampu mengubah struktur poliuretana, apatah lagi menguraikannya. Manakala bagi sampel yang direndam ke dalam larutan NaOH yang berkepekatan 10%, didapati puncak regangan C=O pembengkokan C-O-C hilang. Selain itu, bagi sampel poliuretana yang direndam ke dalam larutan NaOH berkepekatan 20%, 30%, dan 40%, puncak C-N juga didapati hilang. Kehilangan puncak-puncak ini menunjukkan penguraian struktur poliuretana.

Jadual 4 Huraian puncak-puncak serapan poliuretana tegar terhidrolisis

Puncak serapan	Nombor gelombang, cm <sup>-1</sup>					
	Bil. Hari	0	7	14	21	28
N-H	Kepekatan	3337	3411	3366	3338	3366
C-N	NaOH	1517	1525	1517	1516	1517
C=O	0 %	1720	1720	1719	1720	1720
C-H		2925	2923	2925	2924	2925
C=C		1603	1604	1615	1603	1603
C-O-C		1220	1219	1220	1220	1221
N-H	Kepekatan	3337	3339	3392	3369	3368
C-N	NaOH	1517	1517	1560	1561	1563
C=O	10 %	1720	-	-	-	-
C-H		2925	2926	2921	2923	2923
C=C		1603	1603	1660	1656	1655
C-O-C		1220	1230	1227	-	-
N-H	Kepekatan	3337	3430	3369	3368	3366
C-N	NaOH	1603	1646	-	-	-
C=O	20 %	1720	-	-	-	-
C-H		2925	2925	2922	2923	2923

C=C		1517	1441	1445	1440	1454
C-O-C		1220	1200	-	-	-
N-H	Kepekatan	3337	3430	3461	3307	3368
C-N	NaOH	1603	1649	1645	-	-
C=O	30 %	1720	-	-	-	-
C-H		2925	2923	2923	2923	2923
C=C		1517	1444	1454	1450	1440
C-O-C		1220	-	-	-	-
N-H	Kepekatan	3337	3411	3460	3366	3412
C-N	NaOH	1603	1643	-	-	-
C=O	40 %	1720	-	-	-	-
C-H		2925	2934	2923	2923	2918
C=C		1517	1441	1453	1444	1446
C-O-C		1220	-	-	-	-

Mikrograf optik digunakan untuk menentukan perubahan saiz partikel poliuretana selepas tindak balas hidrolisis. Rajah 8 menunjukkan graf perubahan diameter partikel poliuretana selepas tindak balas hidrolisis. Diameter poliuretana menurun dengan pertambahan bilangan hari tindak balas. Keputusan ini selari dengan hasil timbangan yang menunjukkan jisim poliuretana berkurang selepas hidrolisis dan dikeringkan.

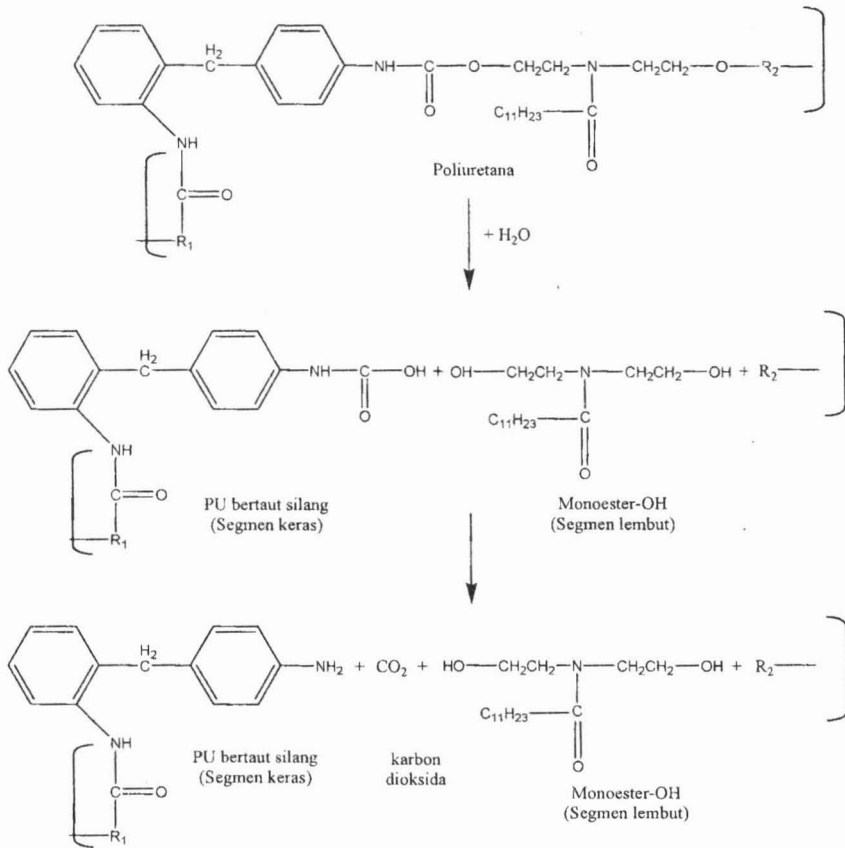


Rajah 8 Perubahan diameter partikel poliuretana selepas tindak balas hidrolisis

### Tindak Balas Hidrolisis

Rajah 9 menunjukkan tindak balas yang berlaku hasil tindak balas hidrolisis terhadap poliuretana tegar.





Rajah 9 Tindak balas hidrolisis poliuretana

## Kesimpulan

Daripada keputusan semua analisis yang dijalankan, disimpulkan bahawa tindak balas hidrolisis menyebabkan pemutusan rantai poliuretana, di mana segmen lembut iaitu monoester-OH terurai dan karbon dioksida dihasilkan, manakala segmen keras dengan taut silang pula kekal dalam struktur poliuretana.

## Penghargaan

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia atas kerjasama yang telah diberikan.

## Rujukan

- Ayres, E., Orefice, R.L. & Yoshida M.I. (2007). Phase morphology of hydrosable polyurethanes derived from aqueous dispersion. *European Polymer Jurnal*, 43, 3510-3521.
- Badri, K.H., Ahmad, S.H. & Zakaria, S. (2000). Development of zero ODP rigid polyurethane foam from RBD palm kernel oil. *Jurnal of Material Science Letters*, 19, 1355-1356.
- Badri, K.H., Ahmad, S.H. & Zakaria, S. (2001). Production of high functionality RBD palm kernel oil-based polyester polyol. *Jurnal of Applied Polymer Science Letters*, 81, 384-389.
- Badri, K.H. Ahmad, H.U. Othman, Z. & Sahaldin, F.H. (2005). Shear strength of wood to wood adhesive based on palm kernel oil. *Jurnal of Applied Polymer Science*, 15, 1760-1764.
- Chan-Chan, L.H., Solis-Correa, R., Vargas-Coronado, R.F., Cervantes-Uc, J.M., Cauich-Rodríguez, J.V., Quintana, P. & Bartolo-Pérez, P. (2010). Degradation studies on segmented polyurethanes prepared with HMDI, PCL and different chain extenders. *Acta Biomaterialia*, 6, 2035-2044.

- Davies, P. & Evrard, G. (2007). Accelerated ageing of polyurethanes for marine applications. *Polymer Degradation & Stability*, 92, 1455-1464.
- Howard, G.T. (2002). Biodegradation of polyurethane: a review. *International Biodeterioration & biodegradation*, 49, 245-252.
- Kim, H.S. & Kim H.J. (2008). Enhanced hydrolysis resistance of biodegradable polymers and biocomposites. *Polymer Degradation & Stability*, 93, 1544-1553.
- Mahkam, M. & Sharifi-Sanjani, N. (2003). Preparation of new biodegradable polyurethanes as a therapeutic agent. *Polymer Degradation and Stability*, 80, 199-202.
- Mequanint, K. & Sanderson, R. (2006). Hydrolytic stability of nano-particle polyurethane dispersions: Implications to their long-term use. *European Polymer Journal*, 42, 1145-1153.
- Murata, S., Nakajima, T., Tsuzaki, N., Yasuda, M. & Kato, T. (1997). Synthesis and hydrolysis resistance of polyurethane derived from 2,4-diethyl-1,5-pentanediol. *Polymer Degradation & Stability*, 61, 527-534.
- Park, S.H., Chung, I.D., Hartwig, A. & Kim, B.K. (2007). Hydrolytic stability and physical properties of waterborne polyurethane based on hydrolytically stable polyol. *Colloids & Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 305, 126-131.
- Sharma, V. & Kundu, P.P. (2008). Condensation polymers from natural oils. *Progress in Polymer Science*, 33, 1199-1215.
- Skoog, D.A., Holler, F.J. & Niemann, T. (1998). *Principle of Instrumental Analysis*. Ed. Ke-5. Australia: Thompson Learning Inc.
- Sumathi, S., Chai, S.P. & Mohamed, A.R. (2008). Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 12, 2404-2421.
- Thompson, D.G., Osborn, J.C., Kober, E.M. & Schoonover J.R. (2006). Effect of hydrolysis-induced molecular weight changes on the phase separation of a polyester polyurethane. *Polymer Degradation & Stability*, 91, 3360-3370.
- Zia, K.M. Bhatti, H.N. & Bhatti H.A. (2007). Methods for polyurethane and polyurethane composites, recycling and recovery: A review. *Reactive and Functional Polymers*, 67, 675-692.
- 

SYUHADA MOHD TAHIR, KHAIRIAH HAJI BADRI, SYAHIDAH MOHD TAHIR, MARIYA MOHD TAHIR, JAMIL MOHD SAPARI, Universiti Teknologi MARA Pahang.