

## PENGHASILAN SURFAKTAN TAK BERION BERASASKAN LAURIL ALKOHOL DARIPADA TERBITAN MINYAK KELAPA SAWIT

Norhafifah Mohamad\*, Zarina Edris dan Mohd Ambar Yarmo

*Makmal Pemangkinan, Pusat Pengajian Sains Kimia dan Teknologi Makanan, Fakulti Sains dan Teknologi,  
43600 Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Selangor.*

**Kata kunci:** Tindak balas pengetoksilan, lauril alkohol teretoksilat, etilena oksida, minyak sawit

### Abstrak

Penghasilan surfaktan tidak berion jenis lauril alkohol teretoksilat (LAT) berasaskan produk lauril alkohol daripada minyak kelapa sawit berjaya dilakukan. Sintesis ini melibatkan tindak balas pengetoksilan antara gas etilena oksida (EO) dengan lauril alkohol ( $C_{12}$ ). Antara parameter yang dikaji dalam kajian ini adalah kesan perbezaan bilangan mol EO, tekanan dan suhu tindak balas. Tindak balas dilakukan menggunakan kalium hidroksida (KOH) sebagai mangkin homogen. Hasil terbentuk dianalisis menggunakan teknik HPLC, FTIR, ujian pembuihan, nilai Keseimbangan Hidrofilik-Lipofilik (HLB) dan Ujian Detergensi (peratus penyingkiran kotoran). Pembentukan molekul LAT dapat ditunjukkan melalui spektroskopi FTIR yang menandakan wujudnya puncak regangan C-O (kumpulan eter) pada jarak gelombang 900 – 1350  $\text{cm}^{-1}$ . Manakala pencirian menggunakan teknik HPLC menunjukkan masa penahanan produk ialah 6.201 min untuk LAT-3 EO, 6.261 min untuk LAT-5 EO dan 6.260 min untuk LAT-7 EO. Pencirian surfaktan melalui ujian pembuihan menunjukkan produk LAT yang diperolehi mempunyai kestabilan dan kekuatan buih yang baik. Secara umum hasil menunjukkan produk yang diperolehi berpotensi untuk digunakan sebagai detergen dan kegunaan industri.

### Abstract

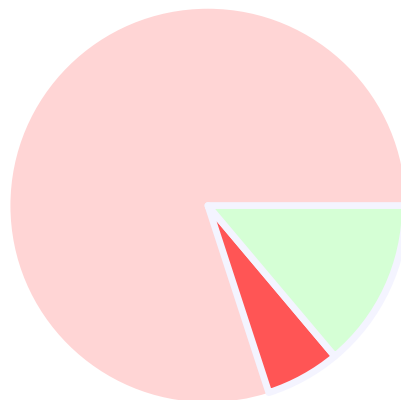
Non-ionic surfactant type of ethoxylated lauryl alcohol (LAT) based on lauryl alcohol product from palm oil was produced successfully. Ethoxylation reaction was carried out between EO with lauryl alcohol ( $C_{12}$ ). Different moles ratio of EO, reaction temperature and pressure were among various parameters investigated. The reaction was performed with KOH as a homogenous catalyst. LAT products were analyzed using FTIR, HPLC, foaming test, value of Hydrophilic-Lipophilic Balance (HLB) and detergency. The formation of LAT molecule was indicated by the C-O stretching peak (ether group) at 900 – 1350  $\text{cm}^{-1}$  of the FTIR spectrum. Characterization using HPLC showed the retention time of 6.201 minutes for LAT-3 EO, 6.261 minutes for LAT-5 EO and 6.260 minutes for LAT-7 EO. Generally, the ethoxylated product has a good potential to be used as detergent and for industrial application.

### Pengenalan

Malaysia merupakan negara pengeluar dan pengeksport terbesar minyak sawit. Sebanyak 90% minyak sawit yang dikeluarkan diguna dalam industri makanan dan industri oleokimia seperti pembuatan kosmetik, detergen dan sebagainya [1]. Disebabkan pasaran turun naik bagi bahan mentah surfaktan yang berasaskan minyak petroleum, maka satu alternatif baru telah diberi perhatian iaitu penggunaan bahan mentah yang berasaskan bahan semulajadi seperti kelapa sawit dan sayur-sayuran sebagai menggantikan penggunaan produk berasaskan petrokimia. Ini berikutan daripada tren dunia tentang penjimatan kos dan juga konsep yang lebih mesra alam.

Surfaktan yang mempunyai 2 bahagian iaitu hidrofilik (suka air) dan hidrofobik (suka minyak). meliputi kimia organik sintetik yang mana ia membantu dalam pembuihan, pemelarutan, pengemulsian, penyerakkan dan pembasuhan. Walaupun demikian, tidak kesemua surfaktan mempunyai ciri-ciri yang sama kerana ia sangat bergantung kepada struktur kimia molekul tersebut [2].

Industri surfaktan kini semakin terus berkembang pesat di mana penggunaan surfaktan dunia terus meningkat kepada 11 juta ton setiap tahun. Di samping itu penggunaan bahan pengemulsi, agen pembasah dan lain-lain lagi telah lama berkembang dalam sektor perindustrian. Surfaktan juga banyak digunakan dalam industri pemprosesan seperti industri makanan, farmaseutikal dan penjagaan diri. Surfaktan bukan sahaja penting sebagai jujuk yang aktif tetapi juga penting sebagai pengemulsi, penstabil dan pelembut fabrik. Rajah 1 menunjukkan kegunaan lemak dan minyak dunia. Pada 1990, pengeluaran surfaktan dunia mencapai sehingga 81 juta ton yang mana 11.4 juta ton menggunakan proses teknikal dan kimia [3].



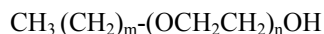
Kegunaan lemak dan minyak dunia

Industri surfaktan telah meningkat pada akhir dekad dan penggunaan bahan mentah semulajadi telah diberi perhatian bagi menggantikan produk yang berasaskan petrokimia seperti penghasilan gula berasaskan surfaktan seperti alkil glukosida [4]. Sebanyak 20 million ton bahan mentah kimia yang dikitar semula telah diguna seluruh dunia setiap tahun seperti karbohidrat 15 % (55 % daripada minyak dan lemak), glukosa, sukrosa dan bahan sorbitol (daripada penghidrogenan glukosa) merupakan sebatian polihidroksi daripada bahan semulajadi. Sebatian-sebatian ini boleh diguna tanpa had, mempunyai ekologi yang bagus, berketulenan tinggi serta kurang toksik. Oleh kerana itu, kajian secara menyeluruh tentang penggunaannya dilakukan [3].

Minyak  
makanan

Lemak alkohol teretoksilat merupakan salah satu daripada kelas surfaktan tidak berion yang penting. Tindak balas pengetoksilan lemak alkohol ini dilakukan dengan kehadiran mangkin. Mangkin aluminium alkoksida sulfat telah dikaji tentang keberkesannya dalam tindak balas pengetoksilan. Hasil yang diperolehi adalah lebih tinggi berbanding mangkin bes. Namun demikian banyak produk sampingan yang terhasil [5]. Sehingga kini, mangkin bes seperti KOH dan NaOH banyak digunakan dalam industri [6].

Kajian tindak balas pengetoksilan telah dilakukan terhadap nonilfenol oleh Santecaseria [6]. Kajian ini mengenai kinetik nonilfenol teretoksilat dengan menggunakan mangkin KOH. Selain itu, kajian tindak balas pengetoksilan juga telah dilakukan dengan menggunakan 1-dodekanol dan 4-nonilfenol sebagai reaktan. Kajian dilakukan untuk melihat keberkesanan tindak balas pada pelbagai suhu tindak balas dilakukan [7]. Formula umum bagi poliglikol eter yang terhasil daripada tindak balas pengetoksilan seperti kajian yang telah dilakukan oleh Alfonso *et.al.* pada 2004 [1] adalah seperti berikut:



### Eksperimen

#### *Penyediaan mangkin*

Mangkin KOH dalam bentuk pallet dengan ketulenan 99.9 % daripada Aldrich Chemical digunakan. Sebanyak 1.34 g KOH dilarutkan dalam campuran 0.56 ml air suling dan 0.804 ml metanol daripada Fischer Scientific dengan ketulenan 99.99 %.

#### *Bahan kimia dan reaktor*

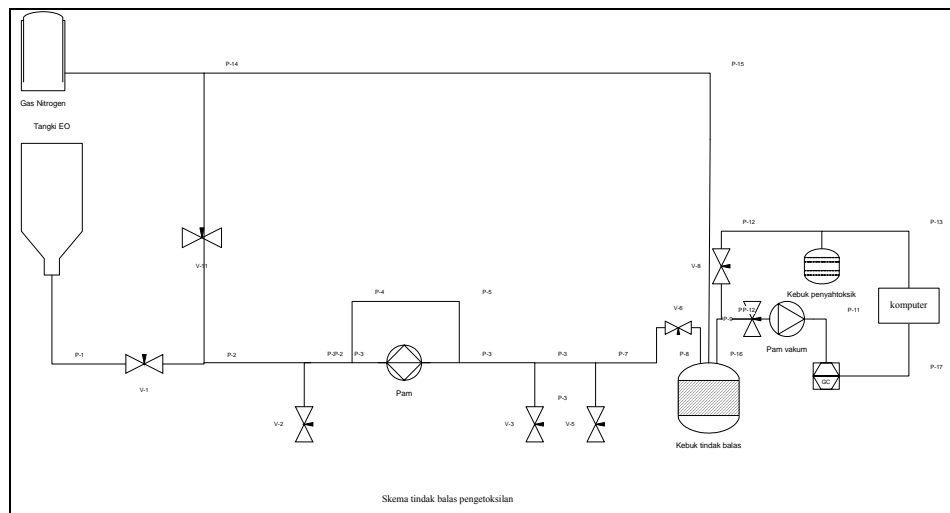
Kalsium karbonat daripada Fluka sebagai peneutral dalam bentuk serbuk dilarutkan dengan air suling, lauril alkohol berketulenan 99 % daripada Cognis Oleochemical sebagai bahan hidrofobik, gas etilena oksida (EO) daripada Fluka sebagai bahan hidrofilik dengan ketulenan 99% dan cecair nitrogen daripada Taylor Wharton berfungsi sebagai pemerangkap atau pemegun wap metanol.

*Pelarut dan bahan untuk ujian pencirian surfaktan*

Pelarut kalium bromida (KBr) digunakan dalam penyediaan sampel untuk analisis FTIR. Air suling dan metanol berketulenan 99% (Gred HPLC) daripada Fischer Scientific sebagai pelarut untuk HPLC. *Cotton AS9 pigment/oil* digunakan dalam ujian detergen untuk menentukan peratus penyingkiran kotoran.

*Kaedah Tindak balas Pengetoksilan*

Reaktor pengetoksilan yang digunakan adalah daripada Vinci Technology dari Perancis. Reaktor ini mempunyai sistem keselamatan yang tinggi bagi mengendalikan gas EO. Secara umumnya reaktor tersebut terdiri daripada tangki EO, sistem vakum, penimbang EO, pam gas EO, reaktor(sistem pengetoksilan), pengawal suhu reaktor, sistem pembuangan gas EO dan sistem kawalan komputer seperti dalam skema reaktor dalam Rajah 2.



Skema reaktor pengetoksilan.

Reaktor pengetoksilan dilengkapi dengan gas EO sebagai reaktan dan gas nitrogen sebagai gas pembawa. Gas EO akan ditukar kepada bentuk cecair melalui pam EO. Kemudian cecair EO yang terhasil akan disuntik ke dalam reaktor pengetoksilan. Rajah 3 menunjukkan reaktor pengetoksilan yang diguna dalam menghasilkan surfaktan tidak berion.

Kaedah sintesis LAT merupakan satu tindak balas pengetoksilan iaitu antara molekul etilena oksida (EO) terhadap lauril alkohol. Sebelum itu mangkin bes iaitu 1.34 g KOH dilarutkan dalam campuran 0.56 ml air dan 0.804 ml metanol. Larutan ini dimasukkan ke dalam reaktor dan dipanaskan di bawah vakum pada suhu 90°C selama 1 jam di dalam reaktor pengetoksilan. Selepas 1 jam, larutan ini akan kelihatan seperti gel berwarna putih.

Seterusnya suhu reaktor terlebih dahulu dinaikkan sehingga 100 °C. Setelah itu lauril alkohol dimasukkan ke dalam reaktor dan apabila suhu berada dalam keadaan stabil iaitu pada 70 °C, EO pula disuntik masuk melalui sistem reaktor mengikut bilangan mol yang ditetapkan. Tindak balas pengetoksilan berlaku seurus EO masuk ke dalam reaktor. Pengacauan terus dilakukan sepanjang proses tindak balas. Selepas tamat tindak balas, suhu reaktor diturunkan dan gas nitrogen dilalukan dalam reaktor bertujuan untuk menyingkirkan lebih EO yang mungkin tidak bertindak balas.



Rajah reaktor pengetoksilan.

*Pencirian*

Produk yang diperoleh dianalisis menggunakan teknik FTIR jenis Perkin Elmer Model GX dan HPLC jenis Agilent Technologies Siri 1100 dengan menggunakan pengesan ELSD jenis Altech Model 2000. Pencirian seterusnya dilakukan bagi menentukan tahap pembuihan dan kestabilannya serta peratus penyingkiran kotoran dengan melakukan ujian pembuihan dan ujian detergenasi.

*Ujian Pembuihan LAT*

Ujian LAT dilakukan untuk ujian pembuihan telah dilakukan terhadap surfaktan yang diperolehi iaitu keupayaan pembuihan (foaming power) dan kestabilan pembuihan (foaming stability).

Kaedah yang digunakan ini diperolehi daripada kaedah dalaman AOTD. Kaedah ini menggunakan silinder 500 ml yang diisi dengan larutan surfaktan (0.2 g dalam 200 ml air ternyahion). Larutan dikocak menggunakan rod selama 30 kali pada kadar yang tetap. Apabila buih terbentuk, bacaan diambil bagi mengira kadar keupayaan pembuihan iaitu kemampuan surfaktan menghasilkan buih, berdasarkan persamaan :-

$$\text{Keupayaan pembuihan} = (\text{takat atas}) - \frac{(\text{takat bawah})}{\text{Jumlah ketinggian}}$$

Manakala kestabilan pembuihan pula diukur selepas 5 minit kocakan. Kestabilan pembuihan adalah kemampuan surfaktan mengekalkan tahap pembuihan dalam masa tertentu dan ia diukur berdasarkan persamaan:-

$$\text{Kestabilan pembuihan} = (\text{takat atas}) - \frac{(\text{takat bawah})}{\text{Jumlah ketinggian}}$$

*Peratus penyingkiran kotoran*

Dalam pencucian, % keupayaan detergen diuji dengan menggunakan spektrofotometer CM36000. Dalam eksperimen ini, detergen diuji ke atas *cotton AS9 pigment/oil*. Surfaktan terhasil dicairkan dengan menggunakan 100 ml air suling dan dicampur dengan 50 ppm air liat (*hard water*) selama 3 minit. Selepas proses pencampuran, *cotton AS9 pigment/oil* dimasukkan ke dalam bekas untuk pencucian selama 10 minit. Akhir sekali, *cotton AS9 pigment/oil* dibilas sebanyak 2 kali dengan 1000 ml dan 500 ml air liat. Peratus penyingkiran kotoran dikira berdasarkan:

$$\% \text{ Penyingkirankotoran} = \frac{(AW - BW)}{(BS - BW)} \times 100$$

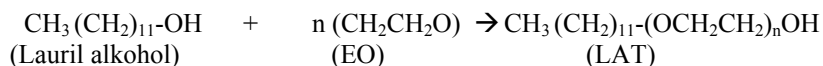
AW = intensiti kecerahan selepas cucian terhadap *cotton AS9 pigment/oil*

BW = sebelum cucian terhadap *cotton AS9 pigment/oil*

BS = sebelum cucian dalam *standard clothes*

**Hasil dan Perbincangan***Proses pengetoksilan*

Proses pengetoksilan lauril alkohol berjaya dijalankan pada julat suhu 100 °C - 135 °C dengan masa tindak balas selama 2 jam. Tindak balas yang berlaku adalah seperti berikut:

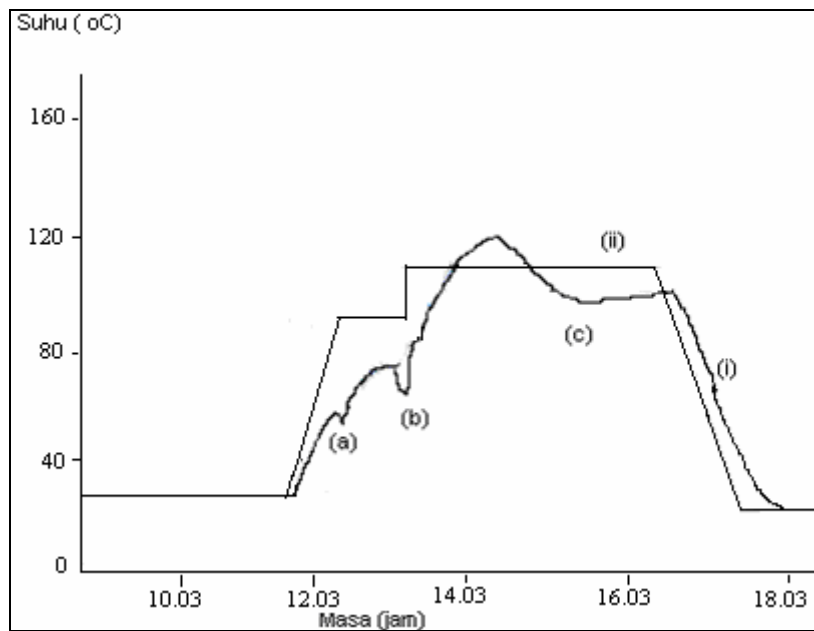


Kenaikan suhu reaktor dapat dilihat secara mendadak semasa EO disuntik ke dalam reaktor iaitu dari 60 °C sehingga 120 °C melebihi suhu yang diset pada monitor. Ini menandakan tindak balas eksotermik telah berlaku pada tindak balas pengetoksilan tersebut. Rajah 4 (i) menunjukkan profil perubahan suhu reaktor semasa tindak balas pengetoksilan berlaku dan rajah 4 (ii) pula menunjukkan graf suhu yang telah diset pada monitor.

Suhu reaktor dikawal sepenuhnya oleh komputer. Pada awalnya suhu dinaikkan sehingga 90 °C dan pada ketika suhu mencapai 50 °C lauril alkohol dimasukkan ke dalam reaktor (a). reaktor dibiarkan seketika sehingga suhu yang tercatat pada komputer adalah stabil iaitu pada 70°C dan pada ketika ini, EO disuntik (b). Peningkatan suhu secara mendadak dapat dilihat setelah EO habis disuntik iaitu daripada suhu 60 °C dan meningkat sehingga 120 °C. Ini menandakan tindak balas eksotermik berlaku. Ini adalah kerana kereaktifan molekul EO dan aktiviti mangkin yang digunakan.

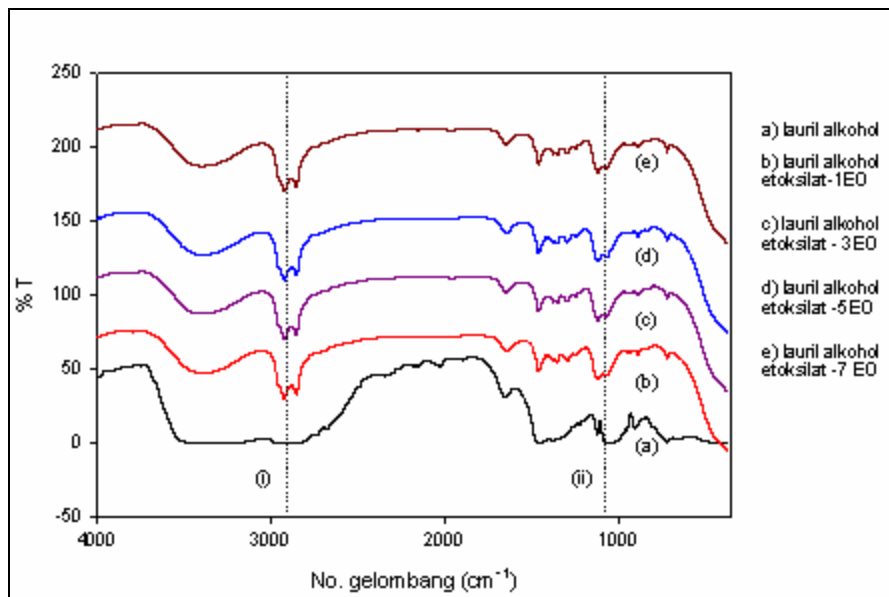
*Pencirian LAT**a) FTIR*

Perubahan warna daripada warna jernih lauril alkohol kepada warna kuning keemasan setelah proses pengetoksilan tamat menandakan wujudnya sebatian baru iaitu LAT. Produk yang terhasil dianalisis dengan menggunakan teknik FTIR. Sampel disediakan dengan menggunakan teknik lazim. Kumpulan berfungsi yang wujud dalam sebatian yang dikaji dapat diketahui melalui maklumat yang diperolehi daripada spectrum FTIR. Rajah 5 menunjukkan spektrum bagi lauril alkohol dan sebatian-sebatian LAT yang diperolehi.



Profil suhu tindak balas pengetoksilan LAT.

- (a) = Kemasukkan lauril alkohol.
- (b) = EO disuntik.
- (c) = Masa tindak balas.

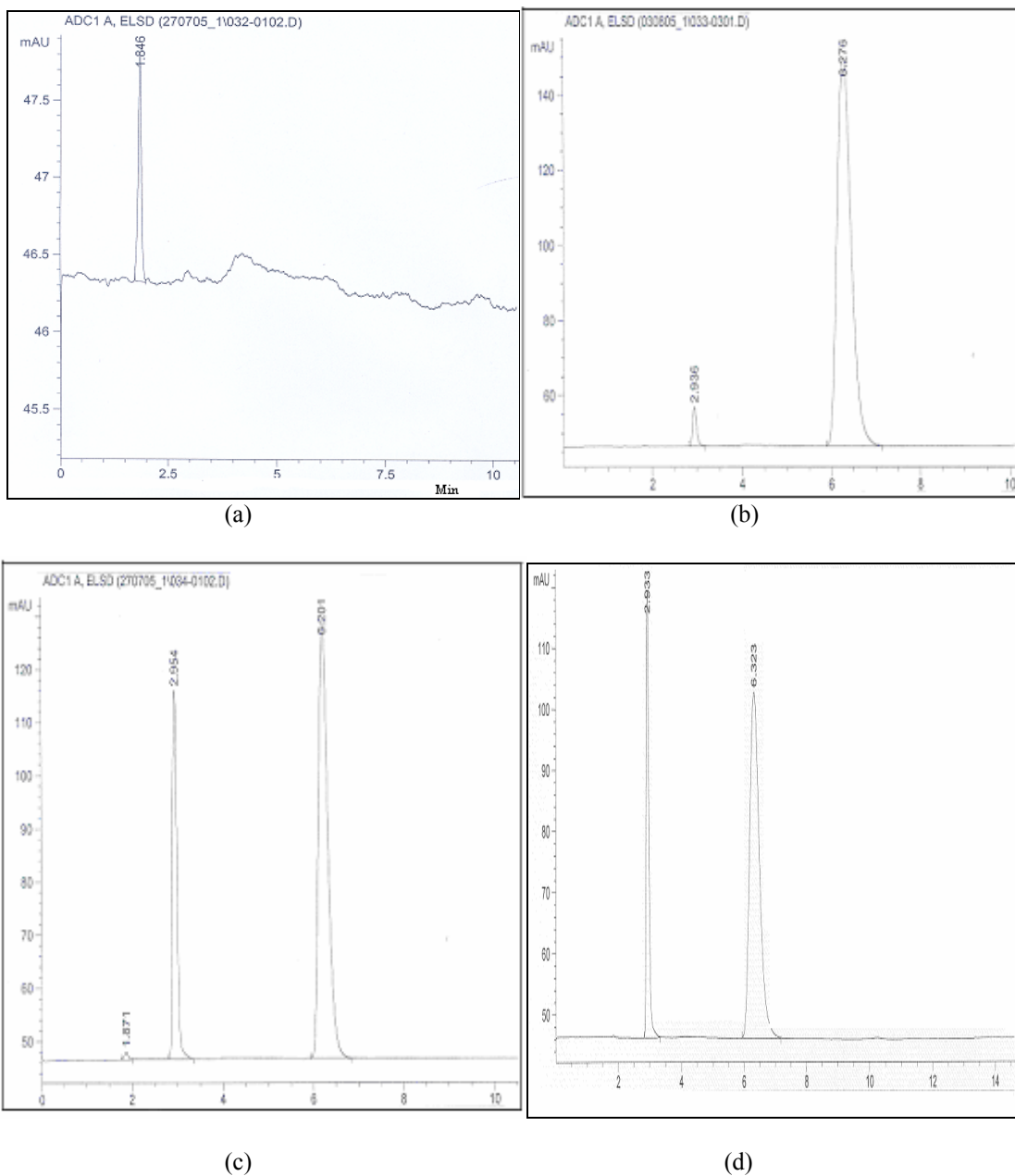


Spektrum FTIR bagi produk LAT dan lauril alkohol.

Spektrum FTIR bagi semua siri LAT dan lauril alkohol yang diperolehi menunjukkan wujudnya puncak ikatan O-H (i) pada jarak gelombang  $2500 - 3450 \text{ cm}^{-1}$  dan puncak regangan C-O (ii) pada jarak gelombang  $900 - 1350 \text{ cm}^{-1}$ . Regangan C-O menandakan bahawa hasil yang diperolehi adalah sebatian yang mempunyai kumpulan eter.

b) HPLC

Setelah itu, LAT yang diperolehi dianalisis dengan menggunakan teknik HPLC. Turus jenis Zorbax 300 SB-C18 digunakan bagi mendapatkan spektrum LAT. Pelarut yang digunakan adalah metanol dan air dengan nisbah 90:10. Sampel disuntik pada kadar 2  $\mu$ l dengan kadar alir bagi teknik ini adalah 1ml/min. Rajah 6 menunjukkan kromatogram HPLC bagi LAT yang diperolehi.



Kromatogram HPLC bagi sebatian lauril alkohol (a), LAT-3EO (b), LAT-5EO (c) dan LAT-7EO (d).

Peratus penukaran produk diperolehi berdasarkan teknik ini. Daripada analisis kromatogram, peratus penukaran produk bagi LAT hampir mencapai 100 % seperti yang tercatat dalam jadual 1 di bawah.

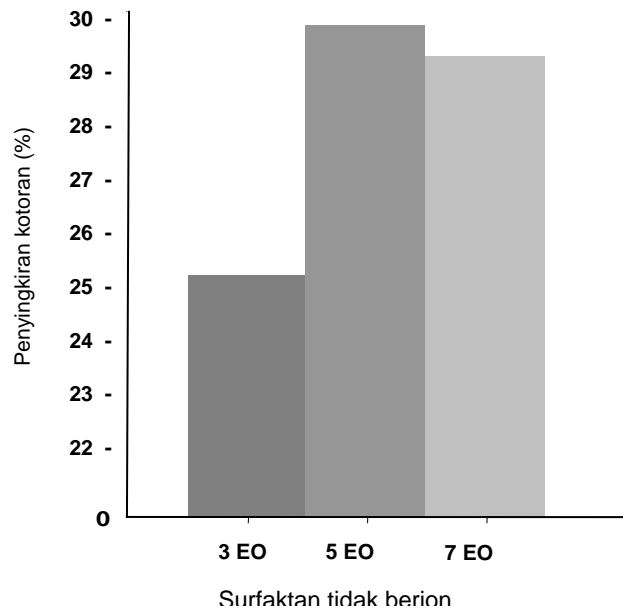
Hasil analisis berdasarkan kromatogram HPLC.

Produk	Bilangan mol EO	Masa penahanan (min)	Peratus penukaran produk
	0	1.846	0
Lauril alkohol	3	6.201	70.6
teretoksilat (LAT)	5	6.261	97.6
	7	6.260	79.8

### c) Ujian Detergensi

Ujian pencucian dilakukan terhadap LAT yang terhasil bagi menentukan peratus penyingkiran kotoran. Dalam proses ini, 3 elemen diambil kira iaitu substrat, jenis kotoran dan larutan pembersih dalam menentukan keberkesanan pencucian. Struktur kimia bagi panjang rantai kumpulan hidrofobik dan hidrofilik menentukan peratus pencucian kotoran. Panjang rantai karbon yang lurus adalah lebih baik daripada rantai karbon bercabang bagi kumpulan hidrofobik dan peningkatan panjang rantai kumpulan ini akan meningkatkan lagi keberkesanan pemindahan kotoran berminyak [8].

Manakala peningkatan kumpulan hidrofilik dalam rantai polioksietilena (POE) menunjukkan penurunan keberkesanan jerapan surfaktan ke atas suatu bahan dan ia berkaitan dengan penurunan dalam detergensi, contohnya dalam ujian detergensi kain kapas pada suhu 30 °C oleh POE nonilfenol dalam air suling menurun dengan peningkatan kumpulan EO daripada 9 kepada 20 [9]. Rajah 7 menunjukkan peratus penyingkiran kotoran LAT (surfaktan tidak berion) yang diperolehi.



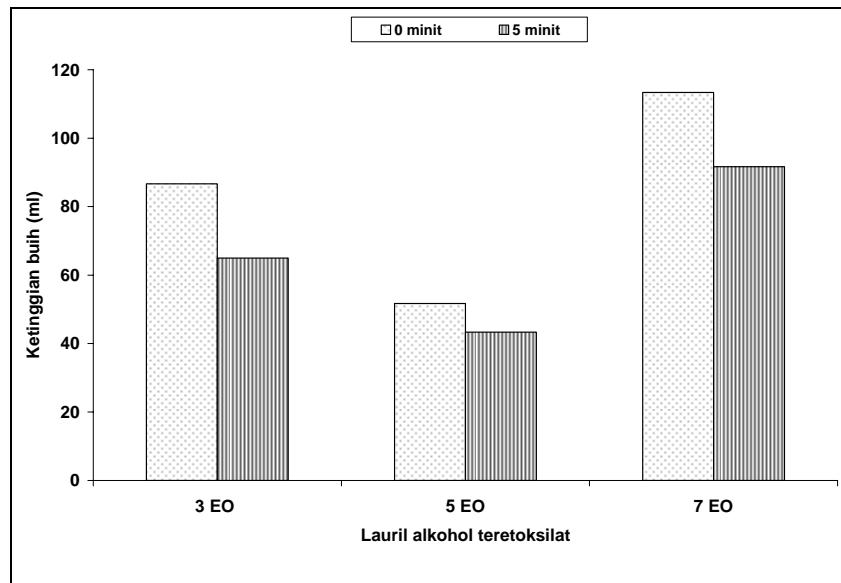
Peratus penyingkiran kotoran bagi surfaktan tidak berion.

Peratus penyingkiran kotoran bagi LAT-5 EO adalah lebih tinggi berbanding LAT-3 EO dan LAT-7 EO. Ini menunjukkan panjang rantai EO iaitu kumpulan hidrofilik mempengaruhi peratus penyingkiran kotoran, iaitu semakin panjang EO maka semakin rendah peratus penyingkiran kotoran. Namun demikian, rantai EO terlalu pendek juga mempengaruhi peratus pencucian. Oleh sebab itu, LAT dengan 5 mol EO adalah amat sesuai digunakan dalam detergen berdasarkan ujian detergensi yang dilakukan.

### d) Ujian Pembuihan

Ujian pembuihan bergantung kepada panjang rantai alkil, darjah pengetoksilan dan nisbah surfaktan yang hadir. Peningkatan darjah pengetoksilan akan menghasilkan surfaktan yang lebih larut air [10].

Semasa pembuihan, permukaan udara-air terbentuk. Secara amnya ia akan menghasilkan luas permukaan yang tinggi bagi jerapan surfaktan yang tidak lengkap. Luas permukaan akan menurun dengan masa dan ini merupakan peningkatan jerapan surfaktan. Ujian pembuihan menentukan tahap keupayaan buih dan kestabilan buih yang terhasil. Rajah 8 menunjukkan keupayaan dan kestabilan pembuihan bagi LAT yang diperolehi.



Keupayaan dan kestabilan pembuihan bagi semua siri LAT.

Keupayaan pembuihan LAT-7 EO yang terhasil adalah lebih tinggi berbanding LAT-3 EO dan LAT-5 EO. Namun, LAT-5 EO memberikan kestabilan pembuihan yang lebih baik berbanding LAT-3 EO dan LAT-7 EO. Secara amnya peningkatan bilangan kumpulan EO dalam surfaktan tidak mempengaruhi peningkatan dalam keupayaan pembuihan dan kestabilan pembuihan.

*e) Nilai Keseimbangan Hidrofilik-Lipofilik (HLB)*

Produk LAT yang diperolehi dihitung nilai HLBnya berdasarkan persamaan (i). Jadual 2 di bawah menunjukkan peratus hasilan lauril alkohol teretoksilat (LAT) yang diperolehi. Berdasarkan jadual 3, nilai HLB bagi produk LAT yang diperolehi menandakan ia mempunyai ciri-ciri sebagai agen pengemulsi yang sesuai digunakan dalam penghasilan detergen.

$$HLB = \frac{20xMh}{Mh + MI} \quad \text{Persamaan (i)}$$

Mh = berat bahagian hidrofilik

MI = berat bahagian hidrofobik

LAT yang terhasil dengan berat molekul, nilai HLB dan peratus hasilannya.			
Produk	Berat molekul	Nilai HLB	% Hasilan
LAT + 3 EO	318	8.30	91.52 %
LAT + 5 EO	406	10.84	88.96 %
LAT + 7 EO	494	12.47	99.63 %

## Ciri-ciri surfaktan berdasarkan nilai HLBnya.

Nilai HLB	Ciri-ciri surfaktan / Potensi kegunaan
3 – 6	air dalam pengemulsi minyak
7 – 9	agen pembasah
8 – 15	minyak dalam pengemulsi air
12 – 15	bersifat detergen
15 – 18	bersifat keterlarutan

### Kesimpulan

Bahan kimia berasaskan bahan semulajadi daripada minyak sawit digunakan iaitu lauril alkohol. Ini berikutan banyak kelebihan yang boleh diperolehi daripada bahan semulajadi ini. Selain daripada senang diperolehi dan murah, penggunaannya juga akan menghasilkan produk yang tidak toksik dan mudah terbiodegradasi.

Hasil analisis menunjukkan bahawa LAT telah berjaya dihasilkan berdasarkan teknik FTIR dan HPLC. Teknik FTIR menunjukkan wujudnya satu sebatian baru selepas tindak balas pengetoksilan dilakukan terhadap lauril alkohol. Terdapat puncak ikatan O-H pada jarak gelombang 2500 – 3450  $\text{cm}^{-1}$  dan puncak regangan C-O pada jarak gelombang 900 – 1350  $\text{cm}^{-1}$ . Regangan C-O menandakan hasil yang diperolehi adalah sebatian yang mempunyai kumpulan eter. Sebagaimana yang diketahui, melalui tindak balas pengetoksilan lemak alkohol akan menghasilkan sebatian poliglukol eter.

Manakala melalui teknik HPLC menunjukkan peratus penukaran produk yang tinggi iaitu menghampiri 100 % bagi produk-produk LAT ini. Setelah pelbagai pencirian surfaktan dilakukan ke atas semua siri produk LAT, dapat disimpulkan bahawa produk LAT-5 EO adalah lebih sesuai untuk kegunaan industri dan detergen. Ini adalah berdasarkan pada nilai HLBnya iaitu 10.84 dan ujian detergen yang dilakukan menunjukkan peratus pencucian bagi LAT-5 EO adalah tinggi daripada LAT-3 EO dan LAT-7 EO dan mempunyai keupayaan pembuihan yang rendah berbanding LAT yang lain. Sebagaimana yang diketahui pembuihan yang tinggi tidak menentukan detergen yang baik. LAT-5 EO adalah lebih berpotensi dalam penggunaan detergen berbanding produk LAT yang lain berdasarkan ujian-ujian yang dilakukan ke atasnya.

### Penghargaan

Setinggi-tinggi ucapan terima kasih diucapkan kepada pihak MOSTE 'Ministry of Science Technology and Innovation of Malaysia' di atas geran penyelidikan IRPA 09-02-02-0033 SR0004/05-03. Selain itu, jutaan terima kasih juga diucapkan kepada Jabatan Kimia, Pusat Sains Kimia dan Teknologi Makanan, Fakulti sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM).

### Rujukan

- Alfonso, E. S., Citterio, A., Ramis-Ramos, G., Righetti, P. G. & Sebastiano, R. (2004) "Separation of Fatty Alcohol Polyethoxylates by Capillary Electrophoresis Through Easy Electroosmotic Flow Control with a Quaternary Diammonium Salt" *Journal of Chromatography A* 1053. 235-239.
- Ishikawa, Y., Modler, R. & Mueller, S. (2004) Surfactants.
- Baumann, H. & Biermann, H. (1992) "Oleochemical Surfactants Today" *The International Journal of Oil Palm Research & Development* 6 (1).
- Johansson, I. & Svensson, M. (2001) "Surfactants Based on Fatty Acids and Other Natural Hydrophobes" *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 6. 178-188.
- Bruni, S., DiSerio, M., Gobetto, R., Iengo, P. & Santacesaria E. (1996) "Ethoxylation of Fatty Alcohols Promoted by an Aluminium Alkoxide Sulphate Catalyst" *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical* 112. 235-251.
- Massey, N. (2005) "Predicting The Distribution of Ethoxylation Homologues with a Process Simulator" *Chemstation, Inc.* 1-9.
- DiSerio M., Santacesaria E. & Tesser R. (1995) "Role of Ethylene Oxide Solubility in the Ethoxylation Processes" *Catalysis Today* 24. 23-28.
- Rosen, M. H. (1978) "Surfactants and Interfacial Phenomena" A. Wiley Interscience Publication. 272-291.
- Schwuger, A. M. (1971) *Journal Am Oil Chemistry Society* 48. 566.
- Sawicki, G. C. (2005) "Impact of Surfactant Composition and Surfactant Structure on Foam Control Performance. Colloids and Surfaces" *Physicochem. Eng. Aspects* 263. 226-232.
- Carter, D. K., Hill, E. A. & Monroe, K. R. (2005) "Surfactant Parameter Effects on Cleaning Efficiency" *Research Triangle Institute.* 405-414.
- Mccoy, M. (2005) "Soap and Detergents", C & EN Northeast News Bureau.
- <http://media.wiley.com> (2005).
- [www.epu.jpm.my](http://www.epu.jpm.my) (2005).