

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL HIMPUNAN KIMIA INDONESIA

AUDITORIUM REKTORAT IPB DRAMAGA

12 SEPTEMBER 2006



DEPARTEMEN KIMIA FMIPA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR



HIMPUNAN KIMIA INDONESIA
CABANG JAWA BARAT DAN BANTEN

DAFTAR ISI

Daftar Isi

Sambutan Ketua Panitia Seminar Nasional Himpunan Kimia Indonesia 2006	1
Sambutan Ketua Departemen Kimia Institut Pertanian Bogor	2
Sambutan Rektor Institut Pertanian Bogor	3
Sambutan Kunci Menteri Perindustrian Republik Indonesia	5

Makalah Pembicara Utama

1. Pengkajian Teknologi Proses dalam Lingkup Agroindustri dan Bioteknologi untuk Meningkatkan Daya Saing Industri di Indonesia <i>Wahono Sumaryono</i> – Deputi Bidang Teknologi Agroindustri dan Bioteknologi BPPT	8
2. 2010 Challenges for Chemical Society in Indonesia <i>M Saleh</i> – Ketua Himpunan Kimia Indonesia Pusat	23
3. Challenges and Opportunities in Applying Temulawak (<i>Curcuma xanthorrhiza</i> Roxb.) for Industrial Oral Care Products <i>Jae-Kwan Hwang, Yaya Rukayadi</i> – Department of Biotechnology, Yonsei University, Seoul	25
4. Peranan Kimia Komputasi dalam Desain Senyawa Baru dan Optimalisasi Proses Industri <i>Harno Dwi Pranowo</i> – Jurusan Kimia, FMIPA, Universitas Gajah Mada	33
5. Kinetic Study of Enzymatic Hydrolysis of Starch Granules and Crystalline Cellulose <i>Hirosuke Tatsumi</i> – Department of Bioscience, Fukui Prefectural University, Jepang	40
6. Kimia dalam Industri Berbasis Minyak Nabati. Kasus: Konversi Asam Lemak ke Aditif Pelumasan Batas <i>Zainal Alim Mas'ud</i> – Departemen Kimia, FMIPA, Institut Pertanian Bogor	44

Makalah Presentasi Oral

1. Kinerja Fenil α -Naftilamina pada Penghambatan Oksidasi Ester Poligliserol-Estolida Asam Oleat <i>Dicky Dermawan, Arry Kusnadi, Ilowati Kumiawan</i>	49
2. Alkaloid Eritrina yang Bersifat Anthelmintik dari Biji Dadap Ayam (<i>Erythrina variegata</i>) <i>Tati Herlina, Unang Supratman, Anas Subarnas, Supriyatna Sutardjo, Hideo Hayashi</i>	55
3. Antibiotika Baru dari <i>Actinomycetes</i> dan Jamur <i>Desak Gede Sri Andayani, Linar ZU, LBS Kardono, M Hanafi</i>	59
4. Aktivitas Sitotoksik Ekstrak Rizoma Tumbuhan Spesies Zingiberaceae <i>Jasril</i>	66
5. The Effect of Ce^{3+} on The Crystallinity of Nano-Sized Yttrium Aluminum Garnet <i>Enrico F. Joland, I Made Joni, Camellia Panatarani</i>	70

6. Keterkaitan Kadar Logam-logam Transisi dengan Variasi Warna Batu Merah (Studi Eksploratif Pigmen Anorganik Alami dari Batu Merah di Desa Tajun, Kabupaten Buleleng, Bali)
I Wayan Karyasa 73
7. Pengaruh Kandungan Silika Terhadap Sifat Termal Membran Hibrida Poli(metil metakrilat)/SiO₂
Muhammad Ali Zulfikar, Abdul Wahab Mohammad, Amir H. Khadum 79
8. The Crystal Structure of An Octahedral Niobium Oxychloride Cluster Compound, Cs₂GdNb₆Cl₁₅O₃ (Abstract)
Fakhili Gulo 86
9. Sintesis Itrium Aluminium Garnet (YAG)-Ce³⁺ dengan Metode Sol-Gel
Loli Yusastri, I Made Joni, Camellia Panatarani 87
10. Adsorpsi Zn(II) dan Cd(II) pada Hibrid Amino-Silika dari Abu Sekam Padi
Nuryono, L Dewi, MR Kumiasari, Narsito 90
11. Prakonsentrasi dan Analisis Kelumit Selektif Spesies Cr(VI) Berdasarkan Teknik Analisis Injeksi Alir
Ni Luh Gede Ratna Juliasih, Muhammad Bachri Amran 101
12. Pemisahan Selektif Pr(III) dan Nd(III) dari Larutan Encer Menggunakan Resin Terimpregnasi yang Mengandung Asam Di-2-etilheksilfosfat
Ibnu Khaldun, Buchari, Muhammad Bachri Amran, Amminuddin Sulaeman 108
13. Penerapan Metode Spektrofotometer Serapan Atom Nyala-Pembangkitan Hidrida untuk Penentuan Sn(II) pada Level ng dalam Larutan
A. Sentosa Panggabean, Muhammad Bachri Amran, Buchari, Sadijah Achmad 115
14. Alumina-Asam Termodifikasi untuk Prakonsentrasi dan Analisis Kelumit Timbel Berbasis Analisis Injeksi Alir
Muhammad Iqbal, Muhammad Bachri Amran 122
15. Prakonsentrasi dan Analisis Kelumit Selektif Ion Timbel Berbasis Analisis Injeksi Alir Menggunakan Resin XAD Termodifikasi
Muhammad Bachri Amran 132
16. Isolasi dan Analisis Senyawa Antioksidan Spons *Petrosia* sp. dan Beberapa *Soft Coral* dari Perairan Kepulauan Seribu
Ifah Munifah, Thamrin Wikanta, Hedi Indra Januar 140
17. Penggunaan Kitosan untuk Meningkatkan Permeabilitas (Fluks) dan Permselektivitas (Koefisien Rejeksi) Membran Selulosa Asetat
Maria Erma, T Ariful Amri, Resti Yevira 149

18. Studi Pendahuluan: Penggunaan Berulang Larutan Natrium Hidroksida dalam Pembuatan Kitosan
Ariyanti Suhita Dewi, Yusro Nuri Fawzya 154
19. The Effect of Cinnamon on Bacterial Growth, Protein Degradation, and Amino Acid and Fatty Acid Contents of Milks at Storage
Tatik Khusniati, Yantyati Widyastuti 162
20. Pengaruh pH dan Konsentrasi Awal pada Proses Ozonisasi Limbah Pabrik Asam Tereftalat Murni
Indar Kustiningsih, Yeyen Maryani, Devi Sri Grahayu, Qoriatun Hasanah 171
21. Pentadekanal, Senyawa Antimikrob Hasil Sekresi Kimia Pertahanan Rayap Tanah *Coptotermes curvignathus* Holmgren (Isoptera: Rhinotermitidae)
Farah Diba 177
22. Isolasi dan Identifikasi Steroid dari Tumbuhan Ciplukan (*Physalis angulata*)
Susilawati, Herdini, Lusia Wilza 183
23. *In Vitro* Antifungal Activity of Xanthorrhizol Isolates from *Curcuma xanthorrhiza* Roxb. Against Pathogenic *Candida*, Opportunistic Filamentous Fungi and *Malassezia*
Yaya Rukayadi, Jae-Kwan Hwang 191
24. Keladi Tikus (*Typhonium flagelliforme*) sebagai Antikanker: Mekanisme Inhibisi Ekstrak Etanol dan Ekstrak Air terhadap Aktivitas Enzim Tirosin Kinase (Abstrak)
Dyah Iswantini, Gustini Syahbirin, Yusuf Affandi 203
25. Uji Aktivitas Antibakteri Propolis Lebah Madu *Trigona* spp.
AE Zainal Hasan, I Made Artika, Kasno, AD Anggraini 204
26. Pengolahan Limbah Fotografi Menggunakan Pirolisis Semprot Nyala
Arif Jumari, Sperisa Distantina, A Purwanto 216
27. Analisis Spesies Boron dalam Cairan Floem Tanaman Jarak (*Ricinus communis* L.) dengan Metode PNC PAGE-ICP MS
Noor Fitri, Björn Thiele, Klaus Günther, Buchari 223
28. Ekstraksi Xilan dari Tongkol Jagung untuk Medium Pertumbuhan *Bacillus pumilus* RXAIII-5 Penghasil-Xilanase
Nur Richana, Tun Tedja Irawadi, M Anwar Nur, Illah Sailah, Khaswar Syamsu, Yandra Arkenan 229
29. Beberapa Senyawa Heterosiklik yang Berpotensi sebagai Inhibitor Korosi pada Baja Karbon dalam Larutan NaCl 1%
Deana Wahyuningrum, Sadiyah Ahmad, Yana Maolana Syah, Buchari, Bambang Ariwahjoedi 237

30. Peningkatan Kandungan Unsur Hara Kalium dan pH Tanah Gambut Menggunakan *Dregea* (Limbah Bagian *Recycling* Pabrik Pulp)
Roza Linda, Rini, Admin Alif, Teguh Budi Santoso, Akmal Mukhtar 246
31. Pemanfaatan Kertas Bekas sebagai Bahan Baku Alternatif Pembuatan Etanol
Agus Rochmat, Indar Kustiningsih, Dedik Dermady, Asih Suharsih 252
32. Sintesis dan Pencirian Surfaktan Berbasis-inyak Sawit dan Karbohidrat untuk Aditif Produk Pangan dan Detergen
Komar Sutriah, Tun Tedja Irawadi, M Farid, M Khotib, Betty M. Soebrata, Henny Purwaningsih 259

Makalah Penyaji Poster

1. Senyawa Difenil Eter Terpolibrominasi dari Spons *Microciona* sp. dari Mentawai, Sumatera Barat
Irmanida Batubara, Latifah K Darusman, Anggia Murni, Ekowaty Chasanah 271
2. Perbandingan Sistem Ekstraksi dalam Penentuan Kadar Xantorizol Temulawak
Irmanida Batubara, Latifah K Darusman, Sri Wahyuni Nur 279
3. Identifikasi Fraksi Daging Buah Picung (*Pangium edule* Reinw.) yang Aktif sebagai Insektisida Botani terhadap Ulat Grayak (*Spodoptera litura* F. [Lepidoptera: Noctuidae])
Zulhan Arief, Elly Suradikusumah, Irmanida Batubara 288
4. Uji Aktivitas Antidiabetes Ekstrak Air Biji Jengkol (*Pithecellobium jiringa* [Jack] Prain ex King [Leguminosae]) pada Tikus Putih
Irma R Kartika, Muktiningsih Nurjayadi, Fera Kurniadewi, Dwianantyo Setyadi 298
5. Aktivitas Antioksidan Ekstrak Mahkota Dewa, Temu Putih, Sambiloto, dan Keladi Tikus Secara *In Vitro* (Abstrak)
Dyah Iswantini, Dedy Irawan, Gustini Syahbirin 303
6. Kajian Teknik Ekstraksi dan Identifikasi DHA, Sterol, dan Kuinon dalam Minyak *Schizochytrium* sp. Galur SR21
Tri Marwati 304
7. Spektrofotometri Derivatif Ultraviolet untuk Analisis Kuantitatif Kuinin dalam Tablet Obat
M Rafi, E Suradikusumah, I Batubara, E Daryadi 311
8. Konversi Eugenol dari Minyak Daun Cengkeh Menjadi Isoeugenol dengan Pemanasan Gelombang Mikro
Tatang Hidayat, Edy Mulyono 316
9. Daya Inhibisi Ekstrak Kasar Flavonoid Sambiloto (*Andrographis paniculata* [Burm. F.] Ness) dan Temu Putih (*Curcuma zedoaria* Roscoe) terhadap Aktivitas Tirosin Kinase secara *In Vitro*
Gustini Syahbirin, Dyah Iswantini Pradono, Tri Rahayu 323

SINTESIS DAN PENCIRIAN SURFAKTAN BERBASIS-MINYAK SAWIT DAN KARBOHIDRAT UNTUK ADITIF PRODUK PANGAN DAN DETERGEN

Komar Sutriah, Tun Tedja Irawadi, M Farid, M Khotib,
Betty M Soebrata, Henny Purwaningsih

Departemen Kimia, FMIPA, IPB

ABSTRAK

Sebagai negara penghasil minyak sawit terbesar kedua di dunia, Indonesia berpotensi mengembangkan berbagai produk industri hilir berbasis-minyak sawit. Asam lemak dalam minyak sawit dapat diubah menjadi produk industri intermediet dan hilir melalui reaksi terhadap gugus karbonil. Beberapa turunan senyawa yang dapat diperoleh ialah alkohol (*fatty alcohol*), amina (*fatty amine*), dan ester asam lemak. Senyawa-senyawa tersebut memiliki berbagai fungsi, antara lain sebagai sumber energi (*biodiesel* atau *biofuel*) dan surfaktan pada berbagai proses pelumasan, serta dalam industri farmasi dan kosmetik, pangan, dan detergen.

Penelitian ini melakukan sintesis surfaktan nonionik dari ester asam lemak minyak sawit dan glukosa melalui reaksi interesterifikasi antara glukosa pentaasetat dan ester metil dari asam lemak. Sintesis surfaktan ini menggunakan metode bebas-pelarut dengan katalis zeolit sintetis pada suhu 80–100 °C selama 6 jam. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa persen hasil semakin rendah seiring dengan bertambahnya panjang rantai asam lemak (nisbah mol tetap). Produk ester asam lemak dicirikan oleh munculnya serapan vibrasi ulur C–O ester pada 1170 cm^{-1} dan hilangnya serapan OH asam lemak pada 3000–3400 cm^{-1} .

Surfaktan yang dihasilkan memiliki kisaran pH 6.40–6.86 sehingga sesuai untuk produk perawatan diri. Semakin panjang rantai karbon pada ester asam lemak-glukosa, semakin rendah pula konsentrasi misel kritis dan *hydrophile lyophobic balance*-nya. Daya detergensi terbaik dimiliki oleh ester glukosa-oleat dan -miristat. Surfaktan yang dihasilkan memiliki stabilitas busa yang rendah dan semakin menurun dengan bertambahnya panjang rantai karbon asam lemak dan stabilitas busa terbaik diperlihatkan oleh ester glukosa laurat. Ester glukosa stearat berpotensi untuk diaplikasikan sebagai pengemulsi minyak dalam air pada produk pangan, sedangkan ester glukosa oleat sebagai detergen pada produk kosmetik dan perawatan diri.

PENDAHULUAN

Industri farmasi, kosmetik, detergen, cat, plastik, dan industri makanan berkembang cukup pesat sekarang ini. Perkembangan ini berdampak terhadap meningkatnya permintaan surfaktan yang merupakan salah satu bahan baku pada industri-industri tersebut. Tahun 2004, permintaan surfaktan di pasar internasional sebesar 11.82 juta ton per tahun, dengan pertumbuhan rerata permintaan 3% per tahun (Widodo 2005).

Surfaktan umumnya disintesis dari senyawa turunan minyak bumi, misalnya alkil benzenasulfonat dan alkohol sulfat. Hal tersebut berakibat pada semakin menurunnya cadangan minyak bumi dan timbulnya pencemaran lingkungan, karena surfaktan tersebut sukar terurai secara hayati. Karena itu, para peneliti mencari dan mengembangkan bahan baku pengganti untuk

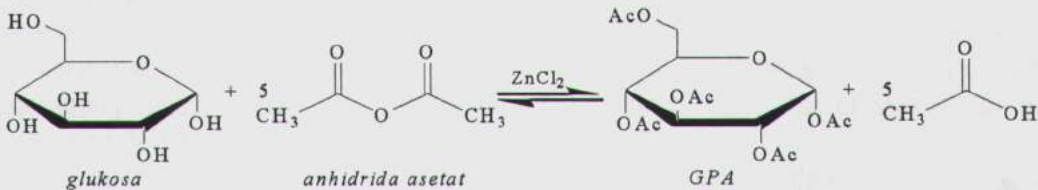
memproduksi surfaktan yang lebih ramah lingkungan. Minyak nabati, salah satunya adalah minyak sawit, telah diketahui berpotensi sebagai bahan baku surfaktan yang mudah terurai secara hayati. Selain itu, minyak nabati merupakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui sehingga kesinambungan pengadaannya tidak perlu dikhawatirkan. Sebagai negara penghasil minyak sawit terbesar kedua di dunia, Indonesia memiliki potensi yang sangat besar untuk mengembangkan industri surfaktan berbasis-minyak sawit.

Produk turunan minyak sawit yang banyak dimanfaatkan adalah asam lemak. Asam lemak akan menghasilkan ester jika direaksikan dengan suatu karbohidrat. Ester karbohidrat-asam lemak, ini merupakan jenis surfaktan nonionik yang banyak digunakan pada industri kosmetik, farmasi, detergen, dan makanan. Ester tersebut tidak bersifat racun, tidak berbau, tidak berasa, tidak mengiritasi kulit, dan mudah terurai secara hayati (Obaje 2005). Akan tetapi, ester ini umumnya disintesis dengan pelarut beracun sehingga membatasi aplikasi produknya dalam bidang farmasi dan makanan. Untuk mengatasi hal tersebut, dapat digunakan metode sintesis bebas-pelarut (Feuge *et al.* 1970; Akoh & Swanson 1990; Kuang *et al.* 2000) sehingga surfaktan yang dihasilkan lebih aman digunakan.

Penelitian ini bertujuan mensintesis dan mencirikan surfaktan-nonionik ester glukosil dari asam laurat (C₁₂), asam miristat (C₁₄), asam stearat (C₁₈), dan asam oleat (C_{18:1}). Sintesis dilakukan melalui reaksi interesterifikasi dengan metode bebas-pelarut antara glukosa pentaasetat (GPA) dan ester metil-asam lemak (FAME) menggunakan katalis zeolit. Penelitian ini diharapkan menghasilkan surfaktan yang memiliki karakteristik yang cocok untuk kebutuhan industri pangan, kosmetik, detergen, dan sebagainya.

TINJAUAN PUSTAKA

Glukosa adalah monosakarida yang mengandung gugus alkohol dan aldehida. Sama halnya dengan gugus hidroksil pada alkohol, gugus hidroksil glukosa juga dapat diesterifikasi oleh asam karboksilat atau asam anorganik. Salah satu contoh reaksi esterifikasi pada glukosa ialah asetilasi dengan anhidrida asetat. Reaksi ini menggunakan katalis asam (misalnya, ZnCl₂) dan menghasilkan GPA. GPA merupakan padatan berwarna putih dengan kisaran titik leleh 112–113 °C, tidak larut dalam air, tetapi mudah larut dalam alkohol (Furniss *et al.* 1978).

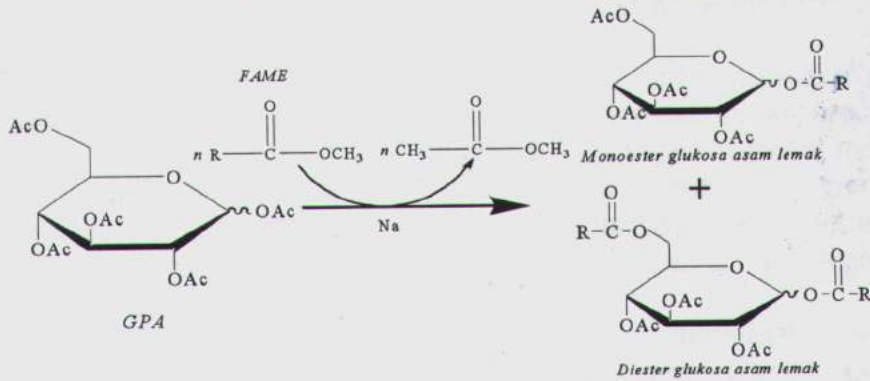


Gambar 1 Reaksi sintesis GPA.

Asam lemak merupakan komponen unit pembangun yang khas pada kebanyakan minyak dan lemak. Asam lemak memiliki gugus karboksil tunggal dan ekor hidrokarbon nonpolar yang panjang. Melalui reaksi esterifikasi secara langsung dengan metanol dan katalis asam seperti BF₃, H₂SO₄, atau HCl, maupun basa seperti NaOH, dapat dihasilkan FAME (Scrimgeour 2005).

Ester karbohidrat-asam lemak merupakan suatu surfaktan nonionik yang dapat mengaktifkan permukaan secara baik dan mudah terurai secara hayati (Kasori & Kasiwa 1999). Reaksi esterifikasi yang digunakan sering membutuhkan suhu tinggi dan pelarut beracun (misalnya, dimetilasetamida, dimetilformamida, dan dimetil sulfoksida). Menurut Rizzi & Taylor (1987), pelarut beracun aprotik digunakan untuk membentuk larutan homogen antara glukosa dan asam lemak yang tak saling campur agar dihasilkan produk yang berjumlah banyak. Namun, penggunaannya berakibat surfaktan yang dihasilkan tidak dapat digunakan sebagai aditif pada industri makanan dan kosmetik.

Feuge *et al.* (1970) melakukan esterifikasi antara sukrosa dan asam lemak tanpa menggunakan pelarut dengan katalis litium, natrium, dan kalium pada suhu 170–187 °C. Reaksi tersebut dibatasi oleh adanya kecenderungan karamelisasi glukosa pada suhu > 185 °C. Sementara Akoh & Swanson (1990) berhasil mensintesis ester karbohidrat-asam lemak melalui metode bebas-pelarut dengan mencampurkan sukrosa oktaasetat, FAME, dan 1–2% katalis logam Na pada suhu 105 °C. Dengan 2 jam reaksi pada tekanan 0–5 mmHg, persen hasil yang diperoleh ialah 99.6–99.8%. Reaksi interesterifikasi antara GPA dan FAME dari minyak inti sawit dengan katalis logam Na pada suhu 80–100 °C selama 4–6 jam juga telah dilakukan (Kuang *et al.* 2000). Produk utama yang dihasilkan adalah mono- dan diester glukosa asam lemak, masing-masing sebesar 60.5 dan 20.2%.



Gambar 2 Reaksi interesterifikasi sintesis ester glukosa asam lemak.

Obaje (2005) mensintesis ester karbohidrat-asam lemak menggunakan beberapa katalis asam seperti asam sulfat, asam tosilat, dan asam alkil sulfonat. GPA dan asam lemak dengan nisbah 1:3 dipanaskan pada suhu 80–100 °C sampai menjadi homogen. Setelah itu, 0.1% asam sulfat (atau 0.01% asam tosilat atau asam alkil sulfonat) ditambahkan dan divakum dengan tekanan 5–10 torr selama 3–6 jam. Produk reaksi tersebut dapat bercampur dengan GPA dan FAME yang tidak bereaksi sehingga diperlukan pemisahan produk dengan metode ekstraksi dan pendinginan produk. Ekstraksi akan memisahkan sisa FAME, sedangkan pendinginan akan memisahkan sisa karbohidrat.

Surfaktan (senyawa aktif permukaan) merupakan molekul amfifilik yang mengandung gugus hidrofilik (polar) dan gugus lipofilik (nonpolar) dalam satu molekul yang sama. Gugus polar dapat bermuatan negatif, positif, zwitterionik, atau tidak bermuatan (nonionik), dan memiliki afinitas yang tinggi terhadap pelarut polar. Sementara gugus nonpolarnya dapat berupa rantai hidrokarbon lurus atau bercabang dengan jumlah C > 8 yang berasal dari minyak bumi atau oleokimia, dan memiliki afinitas yang rendah terhadap pelarut polar (Gervasio 1996).

Surfaktan berperan menurunkan tegangan permukaan dan antarmuka sehingga mampu meningkatkan kestabilan partikel terdispersi dan mengontrol pembentukan emulsi. Selain itu, surfaktan dapat teradsorpsi ke dalam permukaan partikel minyak atau air sehingga menghalangi penggabungan (*coalescence*) antarpartikel yang terdispersi. Beberapa karakteristik yang berhubungan dengan surfaktan ialah tegangan permukaan dan antarmuka, *hydrophile lypophile balance* (HLB), emulsi, dan detergensi.

Tegangan permukaan adalah sifat cairan yang membuatnya berperilaku seolah-olah permukaannya terkurung dalam lapisan yang elastis. Beberapa contoh metode pengukuran tegangan permukaan ialah metode kenaikan kapiler, sudut kontak, tekanan gelembung, bobot tetes, dan tensiometer du Noüy. Metode cincin du Noüy dilakukan berdasarkan gaya yang diperlukan untuk menarik cincin Pt-Ir dari permukaan cairan (Holmberg *et al.* 2003).

Nilai HLB mewakili kecenderungan hidrofilik dan lipofilik dari suatu surfaktan. Nilai ini bergantung pada nisbah kekuatan bagian hidrofilik dan lipofilik. HLB adalah konsep untuk memilih pengemulsi, yang diperkenalkan oleh William C. Griffin (Holmberg *et al.* 2003). Menurutnya, nilai HLB

surfaktan berkisar 1–20. Surfaktan dengan nilai HLB rendah (3–6) cocok sebagai pengemulsi air dalam minyak (w/o), sedangkan surfaktan dengan HLB tinggi cocok sebagai dispersan.

Emulsi adalah dispersi dari satu cairan dalam cairan lain yang tidak saling bercampur. Stabilitas emulsi terjadi ketika sistem dapat mempertahankan tetesan fase terdispersi, yaitu ketika penggabungan antartetesan dapat dicegah oleh energi penghalang yang cukup besar. Pada umumnya energi penghalang dibangun oleh lapisan pengemulsi pada permukaan tetesan (Heusch *et al.* 1987), yang menimbulkan tolakan listrik dan rintangan sterik. Stabilitas emulsi dapat diukur dengan beberapa metode: ultrasentrifugal, listrik, dengan mengukur pemisahan emulsi setelah dibiarkan selama waktu tertentu, atau dengan mengukur ukuran partikel. Derajat stabilitas emulsi biasanya ditunjukkan oleh perubahan nilai yang diukur dengan metode-metode tersebut pada beberapa selang (Holmberg *et al.* 2003).

Detergen merupakan zat yang ditambahkan ke dalam air untuk meningkatkan daya pembersihnya. Detergen juga dapat diartikan sebagai senyawa yang menyebabkan zat nonpolar dapat larut dalam air. Sementara daya detergensi ialah kemampuan surfaktan untuk mengikat minyak dan mengangkat kotoran dari permukaan kain (Holmberg *et al.* 2003). Faktor-faktor yang memengaruhi daya detergensi adalah komposisi pengotor secara kimiawi dan fisis, suhu pada saat proses pencucian, durasi setiap tahap pencucian, jenis dan proses mekanik yang digunakan, jumlah pengotor yang terdapat dalam sistem, serta jenis dan jumlah detergen yang digunakan.

Zeolit ($M_{2/n}O \cdot Al_2O_3 \cdot ySiO_2 \cdot wH_2O$), bahan dengan rongga-rongga intrakristalin yang teratur, dibentuk oleh aluminosilikat alkali dan/atau alkali tanah terhidrasi yang mempunyai struktur kerangka 3 dimensi terbuka. Struktur 3 dimensi tersebut terbentuk karena adanya struktur tetrahedral dari SiO_4 dan AlO_4^- dengan jembatan OH sebagai penghubung antara atom Si dan Al (Ming & Mumpton 1989). Berdasarkan sumbernya, zeolit dibedakan menjadi zeolit alami dan sintetik. Zeolit alami berasal dari pelapukan abu vulkanik, perkolasi air permukaan melalui sedimentasi yang tepat, dan perkolasi air hujan melalui batuan basal, sedangkan zeolit sintetik dibuat di laboratorium. Zeolit banyak digunakan sebagai katalis karena berukuran mikrostruktur (diameter < 1.2 nm) sehingga pereaksi mudah masuk ke dalam rongga strukturnya. Kemampuan adsorpsi inilah yang memberikan aktivitas katalitik pada zeolit (Othmer 1995). Sementara jembatan gugus OH merupakan suatu asam Brönsted yang akan berinteraksi dengan ligan okso dari aluminium, suatu basa Lewis. Interaksi ini akan memperlemah ikatan hidrogen-oksigen, tetapi meningkatkan keasaman dan kebasaan ligan okso dari aluminium.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan adalah asam laurat teknis, asam miristat teknis, asam stearat p.a., asam oleat p.a., α -D-glukosa p.a., heksana teknis, etanol, metanol, anhidrida asetat, BF_3 16% dalam metanol, NaOH, NaCl jenuh, $ZnCl_2$ anhidrat, HCl, asam sulfat 98%, $NaHCO_3$, Na_2SO_4 anhidrat, $CuSO_4$, zeolit, Na_2CO_3 , asam oksalat, kertas saring, indikator pH universal, fenolftalein, jingga metil, dan air suling. Alat-alat yang digunakan antara lain ialah labu bulat, pendingin, penangas, termometer, oven, lempeng pemanas, pengaduk magnetik, batu didih, pompa vakum, neraca analitik, alat-alat kaca lainnya, dan spektrofotometer inframerah transformasi Fourier (FTIR) Bruker jenis Tentor 37.

Metode

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk memperoleh katalis terbaik. Berikutnya, dilakukan sintesis ester glukosa dari asam laurat, miristat, stearat, dan oleat dengan katalis terpilih. Tahap

selanjutnya ialah pemisahan setiap ester dari campuran reaksi dan penciriannya sebagai surfaktan. Sintesis ini dilakukan melalui jalur GPA dan FAME dengan ragam nisbah mol 1:1, 1:2, dan 1:3.

Pemilihan katalis zeolit dilakukan terhadap zeolit alami dan sintetik melalui aktivasi asam (HCl-H₂SO₄, dan HCl-CuSO₄) berdasarkan modifikasi metode Jon (2001). Esterifikasi glukosa dengan anhidrida asetat untuk memperoleh GPA mengikuti metode Furniss *et al.* (1978). Sintesis FAME dilakukan dengan mereaksikan asam lemak dengan metanol menurut metode AOAC (1999). Sementara sintesis ester glukosa asam lemak dilakukan melalui reaksi interesterifikasi antara GPA dan FAME dengan katalis zeolit menggunakan modifikasi metode Kuang *et al.* (2000). Pemisahan produk ester dari sisa GPA dan FAME dilakukan secara ekstraksi dengan pelarut etanol dan heksana berdasarkan metode Obaje (2005). Keberhasilan sintesis diamati melalui pengukuran perubahan pita serapan IR menggunakan spektrofotometer FTIR, uji titik leleh, dan perhitungan persen hasil.

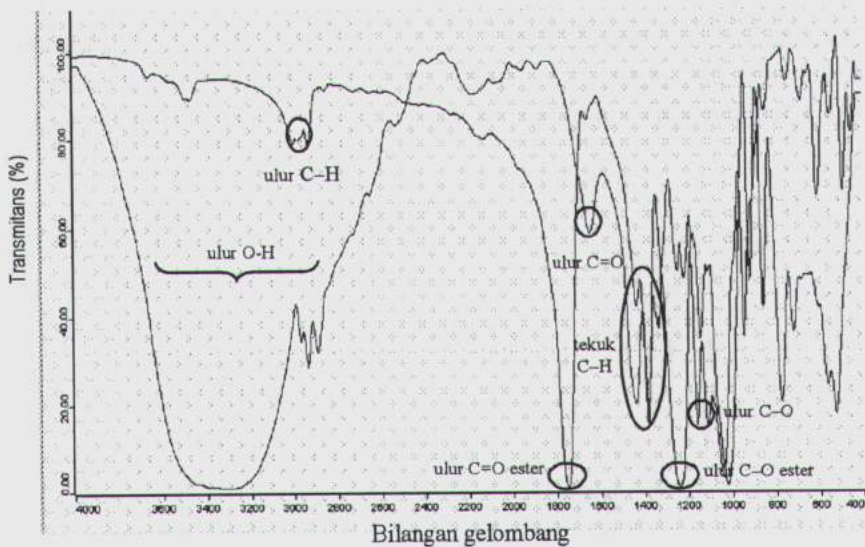
Pencirian sifat surfaktan produk ester meliputi pengukuran tegangan permukaan dan antarmuka dengan metode ASTM D1331 2000 menggunakan cincin du Noüy, penetapan angka HLB (Gupta *et al.* 1983), pengukuran stabilitas emulsi berdasarkan metode ASTM (2000) yang dimodifikasi, pengukuran daya detergensi (Lynn 1996 di dalam Martini 2003), dan pengukuran daya busanya (modifikasi Hui 1996 dalam Martini 2003).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis GPA

Walaupun anhidrida asetat tidak seaktif etanol halida, pereaksi ini dapat digunakan untuk asetilasi asalkan tidak terdapat air yang dapat mengakibatkan reaksi berbalik arah. Asetilasi antara glukosa dan anhidrida asetat dilakukan dengan katalis ZnCl₂ pada suhu 60–70 °C selama 80 menit. GPA yang diperoleh berupa padatan putih dengan kisaran titik leleh 109–112 °C, persen hasil 45.52%, dan kadar air 0.26%. Hasil percobaan pada suhu lebih tinggi (80–100 °C) menunjukkan terjadinya karamelisasi glukosa yang ditandai dengan terbentuknya warna cokelat pekat. Selain itu, GPA yang dihasilkan berwarna putih kekuningan dengan kisaran titik leleh yang lebar, yaitu 98–104 °C.

Gambar 3 memperlihatkan perbandingan antara spektrum glukosa dengan GPA hasil sintesis.



Gambar 3 Spektrum FTIR glukosa murni (–) dan GPA hasil sintesis (–).

Melemahnya serapan vibrasi ulur $-OH$ ($3200-3600\text{ cm}^{-1}$) pada produk asetilasi menunjukkan bahwa gugus hidroksil glukosa telah digantikan oleh gugus asetil dari anhidrida asetat. Hal tersebut juga didukung dengan adanya serapan yang sangat tajam dari vibrasi ulur $C=O$ ($1735-1750\text{ cm}^{-1}$) dan vibrasi ulur $C-O$ ester (1200 cm^{-1}) pada GPA. Serapan $C=O$ tersebut bergeser karena substitusi gugus asetil dapat menurunkan pergeseran mesomeri yang berakibat meningkatkan orde ikatan $C=O$ dan bilangan gelombangnya. Perbedaan lain kedua spektrum tersebut terlihat pada bilangan gelombang $2800-3000\text{ cm}^{-1}$ dan $1370-1450\text{ cm}^{-1}$ yang berturut-turut menunjukkan vibrasi ulur $C-H$ dari $-CH_3$ dan $-CH_2-$ rantai alkil serta vibrasi tekuk $C-H$ dari $OH_3C=O$ (Silverstein *et al.* 1981).

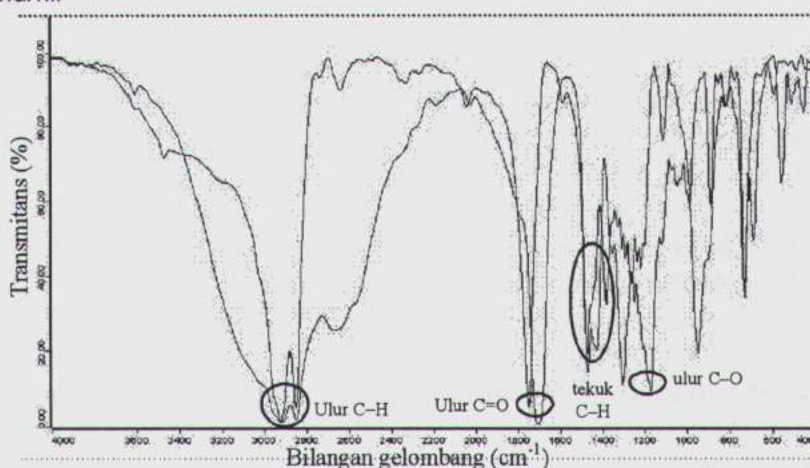
Sintesis FAME

Dari percobaan diketahui bahwa penggunaan katalis $NaOH$ dan BF_3 dalam reaksi esterifikasi menghasilkan persen hasil yang cukup tinggi (sekitar 80%). Persen hasil terbesar dicapai oleh metil oleat, yaitu 88.36%. Larutan $NaCl$ jenuh, heksana, dan Na_2SO_4 dapat memisahkan FAME dari campuran reaksi secara efektif sehingga dihasilkan FAME yang cukup murni dengan kandungan asam lemak bebas (FFA) yang rendah dan densitas yang hampir sama dengan literatur. Larutan $NaCl$ jenuh berfungsi sebagai elektrolit yang memberikan efek garam dan menarik molekul air yang merupakan hasil samping reaksi sehingga proses solvasi FAME oleh heksana berlangsung lebih baik.

Tabel 1 Data hasil sintesis FAME

FAME	Persen hasil (%)	Kisaran titik leleh ($^{\circ}C$)	FFA (%)	Densitas ($g\text{ ml}^{-1}$)
Metil laurat	79.98	-	1.71	0.8710
Metil miristat	86.62	-	2.02	0.8652
Metil stearat	84.60	39-41	1.36	-
Metil oleat	88.36	-	2.38	0.8965

Spektrum FTIR asam stearat dan metil stearat (Gambar 4) memperlihatkan serapan vibrasi ulur dan tekuk $C-H$ dari CH_3 , $-CH_2-$ rantai alkil, berturut-turut pada $2800-3000$ dan $1370-1450\text{ cm}^{-1}$. Serapan pada 1745 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur $C=O$ dan 1170 cm^{-1} vibrasi ulur $C-O$ ester. Hal ini sesuai dengan Silverstein *et al.* (1981) yang menyatakan bahwa ester metil-asam lemak rantai panjang memiliki tiga pita serapan dengan serapan yang kuat pada bilangan gelombang sekitar 1175 cm^{-1} . Hasil analisis FTIR juga memperlihatkan bahwa gugus $-OH$ asam stearat telah tersubstitusi oleh gugus metil dari metanol. Hal ini didasarkan pada hilangnya pita serapan $-OH$ ($3000-3400\text{ cm}^{-1}$) pada spektrum metil stearat. Pita serapan ini lebih sempit dibandingkan dengan gugus hidroksil pada spektrum FTIR asam stearat murni.



Gambar 4 Spektrum FTIR asam asetat murni (-) dan metil stearat hasil sintesis (-).

Sintesis Ester Glukosa Asam Lemak

Ester glukosa asam lemak yang diperoleh berupa padatan putih yang menyerupai gabus. Persen hasil cenderung berbanding terbalik dengan panjang rantai alkil asam lemak. Hal ini menunjukkan bahwa ukuran molekul berpengaruh terhadap efektivitas adsorpsi pada permukaan katalis selama reaksi. Tabel 2 memperlihatkan bahwa persen hasil terbesar (87.27%) dimiliki oleh ester glukosa miristat dengan nisbah mol GPA-FAME 1:1.

Tabel 2 Data hasil sintesis ester glukosa asam lemak.

Hasil sintesis (g=glukosa)	Persen hasil (%)			Titik leleh (°C)
	1:1	1:2	1:3	
Ester g-laurat	56.98	78.68	54.44	100–110
Ester g-miristat	87.27	41.67	30.26	115–122
Ester g-stearat	76.24	38.80	9.98	96–114
Ester g-oleat	65.55	57.77	70.64	84–112

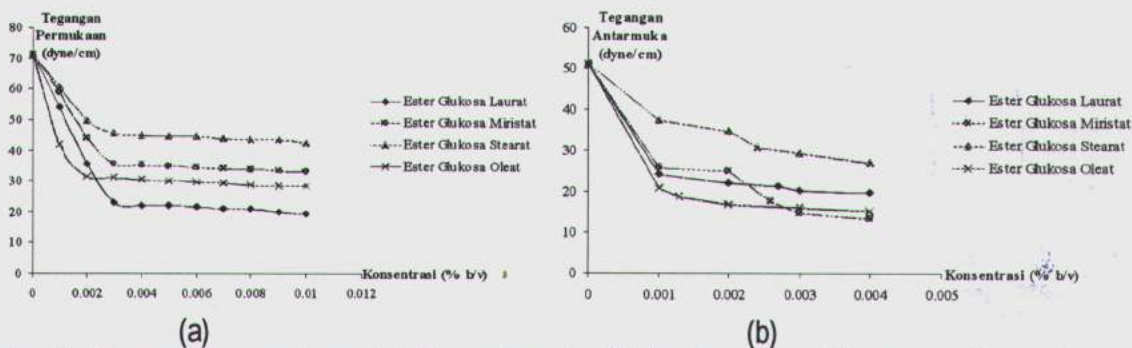
Pertukaran gugus asil FAME dengan gugus asetil GPA terjadi selama reaksi interesterifikasi. Reaksi ini termasuk jenis substitusi nukleofilik (gugus asil) dengan mekanisme adisi-eliminasi. Nukleofil (atom O dari gugus $-OCH_3$ FAME) menyerang atom C gugus karbonil GPA lalu melepas gugus pergi untuk membentuk gugus karbonil dari ester yang baru. Selain sebagai katalis, zeolit juga berperan menghomogenkan reaktan dan meratakan panas. Zeolit bertindak sebagai mediator tempat bertemunya FAME dan GPA melalui mekanisme adsorpsi. Proses katalitik terjadi di bagian antarmuka ruang kosong dalam kristal zeolit setelah molekul-molekul reaktan teradsorpsi dan berdifusi secara intrakristalin di antara celah-celah sistem saluran dalam zeolit. Setelah terjadi reaksi, produk yang dihasilkan akan terdesorpsi dan berdifusi meninggalkan permukaan zeolit.

Ester glukosa stearat dihasilkan karena substitusi gugus asetil GPA oleh gugus asil metil stearat $[CH_3-(CH_2)_{16}C=O]$. Hal tersebut menyebabkan spektrum FTIR ester glukosa stearat dan GPA hasil sintesis hanya berbeda pada serapan $2800-3000\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan vibrasi ulur C-H dari gugus CH_3 dan $-CH_2-$ pada rantai alifatik asam lemak (Silverstein *et al.* 1981). Apabila dibandingkan dengan pita spektrum GPA hasil sintesis, pita serapan ini lebih kuat karena gugus asetil GPA tergantikan oleh gugus asil FAME. Akan tetapi, serapan tersebut masih lebih lemah dibandingkan dengan serapan pada FAME karena tidak seluruh gugus asil FAME menggantikan gugus asetil GPA, akibat adanya kompetisi antargugus alkil.

Tegangan Permukaan-antarmuka dan Konsentrasi Misel Kritis (CMC)

Hasil pengukuran tegangan permukaan menunjukkan bahwa semua ester hasil sintesis mampu menurunkan tegangan permukaan air secara cukup signifikan. Kemampuan tertinggi dimiliki ester glukosa laurat (20 dyne/cm). Kemampuan sebagai penurun tegangan permukaan menurun seiring dengan semakin panjangnya rantai gugus hidrofobik. Namun, kehadiran ikatan rangkap pada gugus hidrofobik dapat meningkatkan kemampuan tersebut (Gambar 5a).

Nilai CMC yang diperoleh untuk ester glukosa laurat, miristat, stearat, dan oleat berturut-turut ialah 0.0027, 0.0026, 0.0024, dan 0.0013% (b/v). Berdasarkan data tersebut, panjang rantai berbanding terbalik dengan nilai CMC, karena jumlah molekul yang diperlukan untuk mencapai kejenuhan pada permukaan yang sama luasnya menjadi semakin sedikit. Sementara ikatan rangkap pada rantai hidrofobik ester glukosa oleat menyebabkan dimensi molekulnya menjadi lebih ramping dibandingkan dengan ester glukosa stearat. Karena itu, ester glukosa oleat diharapkan akan lebih banyak teradsorpsi, dan nilai CMC-nya lebih besar daripada ester glukosa stearat. Namun, hal ini tidak terbukti. Ketidaksiharian tersebut disebabkan oleh ketidakmurnian ester glukosa yang diperoleh.



Gambar 5 Tegangan permukaan (a) dan antarmuka (b) larutan ester glukosa: ◆ glukosa laurat, ■ glukosa miristat, ▲ glukosa stearat, dan × glukosa oleat.

Penurunan tegangan antarmuka air-xilena oleh ester glukosa juga bergantung pada besarnya konsentrasi dan panjang rantai hidrokarbon. Berdasarkan Ferrer *et al.* (2002), semakin panjang rantai hidrokarbon, semakin rendah pula tegangan antarmuka ester glukosa pada CMC. Namun, penurunan tegangan antarmuka oleh ester glukosa oleat lebih besar dibandingkan dengan ester glukosa stearat (Gambar 5b). Sebagaimana dijelaskan di muka, ikatan rangkap pada ester oleat menurunkan dimensi molekul ini sehingga lebih banyak yang teradsorpsi pada antarmuka air-xilena.

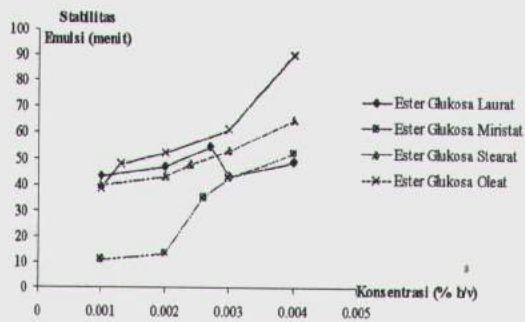
Nilai HLB

Nilai HLB ester glukosa laurat, miristat, stearat, dan oleat berturut-turut ialah 8.75, 8.30, 7.25, dan 3.85. Terlihat bahwa panjang rantai gugus hidrofobik juga berbanding terbalik dengan nilai HLB-nya. Dengan kekuatan gugus hidrofilik yang tetap, keberadaan ikatan rangkap dalam gugus hidrofobik seharusnya akan meningkatkan nilai HLB. Elektron π pada ikatan rangkap asam oleat mengurangi hidrofobisitas molekul ester glukosa oleat sehingga nilai HLB-nya lebih besar. Namun, pada penelitian ini diperoleh hal yang sebaliknya. Penyimpangan tersebut dapat disebabkan oleh ketidakmurnian ester glukosa hasil sintesis. Mengacu pada konsep Griffin, ester glukosa laurat dan miristat dapat diaplikasikan sebagai pengemulsi minyak dalam air (o/w), ester glukosa stearat sebagai *wetting agent*, sedangkan ester glukosa oleat sebagai pengemulsi w/o.

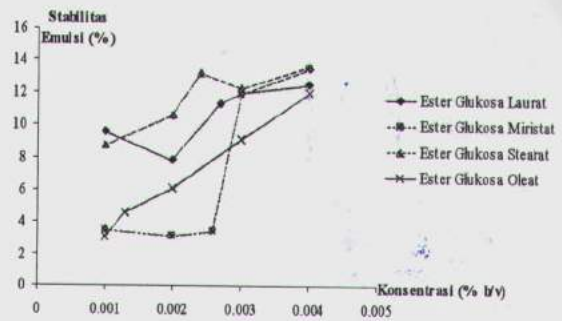
Stabilitas Emulsi

Stabilitas emulsi diukur pada sistem campuran air-xilena. Digunakan 2 nisbah volume antara larutan ester glukosa dan xilena, yaitu 0.5:9.5 (ml) dan 9.5:0.5 (ml) untuk membuktikan jenis emulsi yang telah diramalkan sebelumnya melalui nilai HLB. Emulsi dibuat dengan *ultrasonic homogenizer* pada kecepatan sedang selama 5 menit.

Gambar 6 memperlihatkan bahwa keempat surfaktan lebih mampu menstabilkan emulsi o/w daripada w/o. Emulsi o/w dapat bertahan lebih dari 24 jam, sedangkan emulsi w/o hanya bertahan selama beberapa menit saja. Hal ini membuktikan bahwa ester glukosa laurat dan miristat merupakan pengemulsi o/w, dan sesuai dengan nilai HLB kedua ester tersebut. Meskipun pada daerah sekitar CMC keempat surfaktan memiliki nilai stabilitas emulsi yang hampir sama, ester glukosa oleat memperlihatkan hasil yang tidak bersesuaian dengan konsep Griffin. Menurut Griffin, ester glukosa oleat seharusnya merupakan pengemulsi w/o. Hal ini juga dapat disebabkan ketidakmurnian ester glukosa oleat yang didukung dengan lebarnya kisaran titik leleh (98–110 °C).



(a)



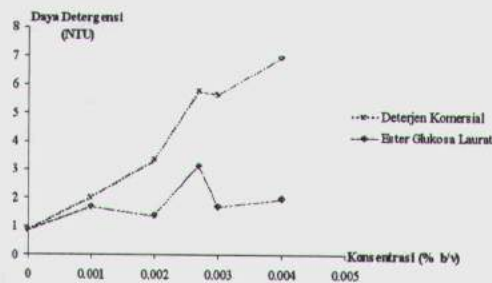
(b)

Gambar 6 Stabilitas emulsi w/o (a) dan o/w (b) ester glukosa: ◆ glukosa laurat, ■ glukosa miristat, ▲ glukosa stearat, dan × glukosa oleat.

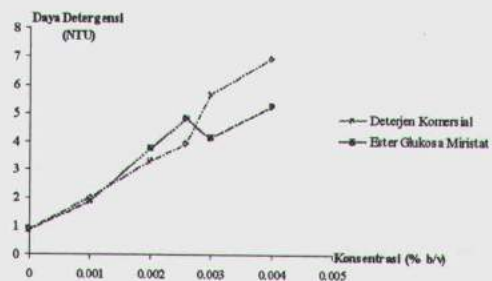
Di bawah CMC, stabilitas emulsi sebanding dengan konsentrasi. Semakin tinggi konsentrasi, stabilitas emulsi juga semakin tinggi (Friberg 1993). Hal ini juga terjadi pada keempat surfaktan ester glukosil hasil sintesis. Stabilitas emulsi juga bergantung pada panjang rantai hidrokarbon dari asam lemak yang digunakan. Pada umumnya, stabilitas emulsi meningkat dengan bertambahnya panjang rantai hidrokarbon, dan hal tersebut terbukti dalam penelitian ini. Hal ini berkaitan dengan halangan sterik yang timbul akibat panjangnya rantai hidrokarbon (Holmberg *et al.* 2003). Setelah CMC, keempat surfaktan ester memiliki kemampuan yang hampir sama sebagai pengemulsi o/w yang biasanya digunakan pada industri produk-produk perawatan diri. Sementara surfaktan yang sesuai sebagai pengemulsi w/o banyak digunakan pada industri makanan.

Daya Detergensi

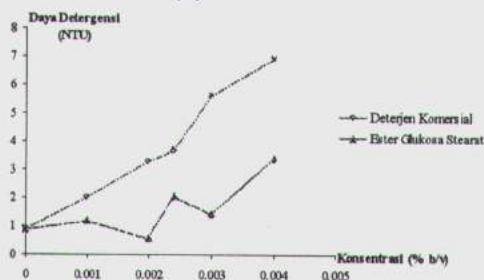
Gambar 7a, b, dan c memperlihatkan bahwa daya detergensi ester glukosa miristat paling tinggi dibandingkan dengan 2 jenis ester glukosa lainnya. Daya detergensi terendah diperlihatkan oleh ester glukosa laurat.



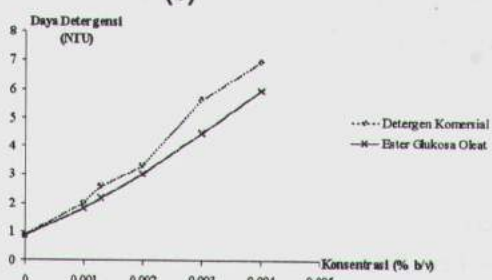
(a)



(b)



(c)



(d)

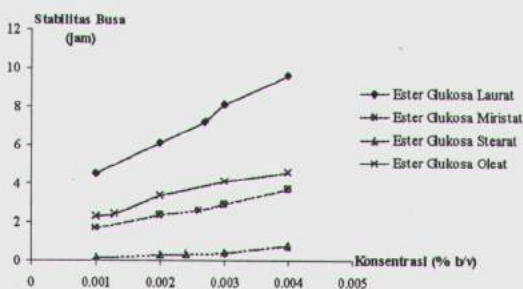
Gambar 7 Daya detergensi ester glukosa laurat (a), miristat (b), stearat (c), dan oleat (d) dibandingkan dengan deterjen komersial.

Gambar 7d memperlihatkan bahwa daya detergensi ester glukosa oleat lebih baik daripada ester glukosa stearat. Kehadiran ikatan rangkap pada rantai karbon asam oleat mampu meningkatkan daya detergensi. Fakta ini tidak sesuai dengan laporan Lynn (1993) yang menyatakan bahwa surfaktan dengan rantai hidrofobik 12–16 atom karbon memperlihatkan daya detergensi optimum, sedangkan surfaktan dengan rantai karbon lebih dari 16 akan menurunkan daya detergensinya.

Semakin tinggi konsentrasi surfaktan, semakin tinggi pula daya detergensinya. Di atas CMC, semakin tinggi konsentrasi surfaktan, misel yang terbentuk semakin banyak sehingga kotoran yang dapat terikat oleh misel tersebut juga semakin banyak (Lynn 1993).

Stabilitas Busa

Uji pembusaan dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan surfaktan dalam menghasilkan busa. Surfaktan dengan stabilitas busa yang baik diperlukan dalam industri produk-produk perawatan diri seperti sabun dan sampo. Stabilitas busa sangat bergantung pada elastisitas lapisan tipis cairan antarbusa (lamela) yang di antaranya dapat dihasilkan dengan cara adsorpsi surfaktan pada lapisan cairan (Holmberg *et al.* 2003). Gambar 8 memperlihatkan bahwa keempat jenis ester glukosa hanya dapat mempertahankan busa selama beberapa jam, bahkan ester glukosa stearat hanya beberapa menit. Rendahnya stabilitas busa keempat surfaktan yang dihasilkan disebabkan oleh meruahnya gugus hidrofobik (rantai hidrokarbon) sehingga adsorpsinya di permukaan tidak tersusun dengan baik.



Gambar 8 Stabilitas busa ester glukosa: ◆ glukosa laurat, ■ glukosa miristat, ▲ glukosa stearat, dan × glukosa oleat.

Ester glukosa laurat memiliki stabilitas busa terbaik karena gugus hidrofobiknya paling pendek. Semakin panjang gugus hidrofobik suatu ester asam lemak, stabilitas busanya akan semakin rendah pula karena strukturnya semakin meruah (Durian & Weitz 1993). Gambar 8 juga memperlihatkan bahwa stabilitas pembusaan ester glukosa oleat lebih baik daripada ester glukosa stearat. Ikatan rangkap yang memperamping dimensi molekul sehingga lebih banyak molekul yang teradsorpsi pada daerah antarmuka air-gas diduga juga mendukung elastisitas lamela.

Surfaktan nonionik lebih tepat jika diaplikasikan sebagai antibusa, terlebih jika merupakan pengemulsi o/w. Bahan yang mudah terdispersi dalam air akan menurunkan elastisitas lamela sehingga busa semakin cepat pecah.

Nilai pH

Nilai pH keempat surfaktan hampir mendekati netral dengan kisaran 6.40–6.86. Pada umumnya, surfaktan yang digunakan dalam industri produk-produk perawatan diri bersifat netral. Dengan dukungan sifat aktif permukaannya, ester glukosil cukup baik untuk diaplikasikan dalam industri produk-produk perawatan diri, karena pH-nya mendekati netral.

SIMPULAN DAN SARAN

Ester glukosa asam lemak dapat disintesis melalui reaksi interesterifikasi dengan metode bebas-pelarut antara GPA dan FAME dengan katalis zeolit sintetis pada suhu 80–100 °C selama 6 jam. Spektrum FTIR ester glukosa asam lemak menghasilkan ciri pita serapan pada 2800–3000 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ulur C–H dari CH_3 dan $-\text{CH}_2-$ rantai alifatik asam lemak. Terbentuknya ester asam lemak dicirikan oleh pita serapan pada 1170 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ulur C–O ester, dan hilangnya pita serapan OH asam lemak pada 3000–3400 cm^{-1} . Pada nisbah mol yang tetap, rantai asam lemak yang semakin panjang memberikan persen hasil sintesis yang semakin rendah.

Surfaktan yang dihasilkan memiliki kisaran pH 6.40–6.86 yang sesuai untuk digunakan pada produk perawatan diri. Semakin panjang rantai karbon pada ester glukosa asam lemak, semakin rendah nilai CMC dan nilai HLB-nya. Daya detergensi terbaik diperlihatkan oleh ester glukosa oleat dan miristat. Surfaktan yang dihasilkan memiliki stabilitas busa yang rendah dan semakin menurun dengan bertambah panjangnya gugus hidrofobik. Stabilitas busa terbaik diperlihatkan oleh ester glukosa laurat. Ester glukosa stearat berpotensi untuk diaplikasikan sebagai pengemulsi o/w pada produk pangan, sedangkan ester glukosa oleat berpotensi untuk diaplikasikan sebagai detergen pada produk kosmetik dan produk perawatan diri.

Penelitian lebih lanjut mengenai optimalisasi metode sintesis dan pemisahan ester glukosa asam lemak diperlukan untuk memperoleh persen hasil sintesis yang lebih besar dan meningkatkan kemurniannya. Selain itu, diperlukan pencirian lanjutan terhadap produk surfaktan ester glukosa asam lemak untuk mengelompokkan dan menyimpulkan kecocokan penggunaannya di bidang industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [AOAC] Associations of Official Analytical Chemists. 1999. Cunniff P, editor. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Ed ke-5. Volume 2. Maryland: AOAC.
- [ASTM] American Society for Testing Materials. 1991. *ASTM D871: Standard Test Methods of Testing Cellulose Acetate*. Philadelphia: ASTM.
- Akoh CC, Swanson BG. 1990. *Carbohydrate Fatty Acid Esters*. New York: Marcell Dekker.
- Feuge RO, Zeringue Jr HJ, Weiss TJ, Brown M. 1970. Preparation of sucrose monolaurate. *Am J Oil Chem Soc* 33:424.
- Furniss BS, Hannaford AJ, Rogers V, Smith PWG, Tatchell AR. 1978. *Vogel's Textbook of Practical Organic Chemistry*. Ed ke-4. Essex: Longman.
- Gervasio GC. 1996. Detergency. Di dalam: *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. New York: J Wiley.
- Jon H. 2001. Karakterisasi zeolit alami termodifikasi asam [skripsi]. Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- Kasori Y, Kashiwa K, penemu; Mitsubishi Chemical Cooperation. 1 Jun 1999. Method for producing a sucrose fatty acid ester. US patent 5 908 922.
- Kuang D, Obaje OJ, Ali AM. 2000. Synthesis and characterization of acetylated glucose fatty esters from palm and palm kernel oil fatty methyl esters. *J Oil Palm Res* 12:14-19.
- Ming W, Mumpton FA. 1989. Zeolites in soils. Di dalam: Dixon JB, Weed SB, editor. *Mineral in Soil Environments*. Wisconsin: Soil Science Society of America. hlm 873-911.
- Obaje OJ, penemu; URAH Resources Ltd. 25 Jan 2005. Trans-acidolysis process for the preparation of carbohydrate fatty-acid esters. US patent 6 846 916.
- Ophardt CE. 2003. Virtual chembook. [terhubung berkala]. <http://www.elmhurst.edu> [24 Mar 2005].
- Othmer K. 1995. *Encyclopedia of Chemical Technology*. Ed ke-4. New York: J Wiley.
- Parker KJ, Khan RA, Mufti KS, penemu. 1976. Process of making sucrose esters. US patent 3 996 206.
- Rizzi GP, Taylor HM. 1987. A solvent-free synthesis of sucrose polyesters. *Am J Oil Chem Soc* 55:398.

- Scrimgeour C. 2005. *Chemistry of Fatty Acid*. Dundee: Scottish Crop Research Institute.
- Silverstein RM, Bassler GC, Morrill TC. 1981. *Spectrometric Identification of Organic Compounds*. Ed ke-4. Singapura: J Wiley.
- Widodo HS. 7 Agu 2005. Produksi kelapa sawit Indonesia sebesar 11.08 juta ton per tahun. *Media Indonesia*.