Jurnal Teknologi Industri Pertanian
22 (1):51-57 (2012)

OPTIMASI PROSES PRODUKSI SURFAKTAN NONIONIK ALKIL POLIGLIKOSIDA (APG) DENGAN METODE PERMUKAAN RESPONS

PROCESS OPTIMIZATION FOR PRODUCTION OF ALKYL POLYGLYCOSIDES NONIONIC SURFACTANT USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

Adisalamun[1*)], Djumali Mangunwidjaja[2)], Ani Suryani[2)], Titi Candra Sunarti[2)], Yandra Arkeman[2)]

[1)]Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh
Email: adisalamun@yahoo.com
[2)]Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

Development of the surfactant is strongly influenced by using material to produce alkyl polyglycosides (APG) surfactant, such as starch or glucose and dodecanol. The objectives of this study were to obtain optimization of process conditions for the APG production from glucose and dodecanol using the response surface methodology and to characterize the APG. The independent variables used were glucose-dodecanol mol ratio of 1:3 to 1:6 and acetalization temperature of 100-120^oC. The optimum process conditions for the synthesis of APG from glucose was obtained at mole ratio of glucose to dodecanol of 1:4.7 and temperature of 111.4°C with the APG emulsion stability of y 75%. The optimum process conditions were verified to strengthen the model equations obtained using response surface method. The results of verification were tested surface tension, interfacial tension, HLB, and confirmation of its structure. Surface tension and interfacial tension decreased indicated by the increasing concentration of surfactant. HLB obtained was the O/W emulsifier and as a solubilizing agent.

Keywords: alkyl polyglycosides(APG), dodecanol, emulsion stability

ABSTRAK

Pengembangan proses produksi surfaktan sangat dipengaruhi oleh penggunaan bahan baku potensial untuk pembuatan surfaktan seperti pemanfaatan komponen gula/pati-patian serta dodekanol. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi optimum proses produksi APG dari glukosa dan dodekanol menggunakan metode permukaan respons dan mendapatkan karakteristik dari APG yang dihasilkan. Variabel bebas yang digunakan adalah nisbah mol glukosa-dodekanol 1:3 hingga 1:6 dan suhu asetalisasi 100–120^{o}C. Hasil optimasi didapatkan stabilitas emulsi air:xilena dengan adanya APG sebesar 75% yang dihasilkan dari nisbah mol glukosa-dodekanol 1:4,7 dan pada suhu proses asetalisasi 111,4^{o}C. Kondisi proses optimum diverifikasi untuk memperkuat persamaan model yang diperoleh dengan metode permukaan respons, dan diuji tegangan permukaan, tegangan antarmuka, HLB, dan konfirmasi strukturnya. Tegangan permukaan dan tegangan antarmuka berkurang dengan meningkatnya konsentrasi surfaktan. Berdasarkan nilai HLB yang diperoleh APG yang dihasilkan tergolong dalam pengemulsi O/W dan sebagai solubilizer.

Kata kunci: alkil poliglikosida (APG), dodekanol, stabilitas emulsi

PENDAHULUAN

Berbagai produk berbasis sumber daya terbarukan merupakan produk yang banyak diterima di negara-negara maju. Banyak negara maju mensyaratkan produk-produk yang masuk ke negaranya tidak bersifat merusak lingkungan dan tidak berasal dari bahan baku serta tahapan proses produksi yang mencemari lingkungan. Industri kosmetik, detergen, *personal care*, hingga industri pertanian seperti industri herbisida saat ini berkembang semakin pesat. Meningkatnya produk-produk tersebut mengakibatkan kebutuhan bahan aditif seperti surfaktan turut meningkat pula. Menurut BPS (2010) permintaan surfaktan Indonesia pada tahun 2005 sekitar 18.000 ton dan pertumbuhan permintaan surfaktan rata-rata 3% per tahun, dan mengarah pada produk yang ramah lingkungan.

Alkil poliglikosida (APG) merupakan salah satu surfaktan yang dibuat dari bahan alami terbarukan, yaitu karbohidrat dan alkohol lemak (El-Sukkary *et al*., 2008). APG merupakan surfaktan nonionik yang mempunyai sifat-sifat ekologi dan toksikologi serta sifat antarmuka yang baik (Rodriguez *et al*., 2005). APG juga aman terhadap mata dan kulit (Mehling *et al*., 2007). APG biasa digunakan sebagai aditif pada formulasi beberapa produk seperti formulasi herbisida, produk-produk perawatan diri (*personal care products*), kosmetik maupun untuk pemucatan kain/tekstil (Hill dan Rhode, 1999).

APG pertama sekali disintesis dan diidentifikasi oleh Emil Fischer (Hill, 1997).

*Penulis untuk koresponsdensi

Glikosida dengan proses Fischer dikenal sebagai metode tertua dalam produksi APG. Proses sintesis surfaktan APG dengan metode Fischer ini dapat dilakukan dengan dua varian proses, yaitu dengan proses satu tahap (sintesis langsung), yaitu secara langsung mereaksikan glukosa dengan alkohol lemak, dan proses dua tahap melalui reaksi butanolisis dan transasetalisasi (von Rybinski dan Hill, 1998).

Glukosa ataupun fraksi pati terdegradasi dapat digunakan sebagai bahan baku dalam produksi surfaktan APG (Holmberg, 2001). El-Sukkary *et al*. (2008) telah mensintesis sederetan APG menggunakan glukosa dan alkohol lemak dengan panjang rantai alkil berbeda menggunakan proses dua tahap. Ware *et al*. (2007) juga telah menggunakan proses dua tahap dalam memproduksi APG dari glukosa dan alkohol lemak. Penelitian ini akan mensintesis APG dari glukosa dan alkohol lemak melalui proses satu tahap.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimasi kondisi proses asetalisasi. Optimasi dilakukan dengan menggunakan metode permukaan respons (*Responsse Surface Methodology*/RSM) dengan mengkaji pengaruh nisbah glukosa-dodekanol dan suhu asetalisasi.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan adalah dodekanol (PT. Ecogreen Oleochemical), glukosa teknis, asam p-toluena sulfonat, NaOH 50%, H_2O_2, dan akuades. Bahan yang digunakan untuk analisis meliputi xilena, piridina, benzena, span 20, tween 80, asam oleat, dan akuades.

Alat yang digunakan dalam sintesis APG meliputi reactor *double* jaket yang dilengkapi dengan termoset, kondensor, pompa vakum ½ HP, pompa sirkulasi, dan *hotplate stirrer*. Alat untuk analisis meliputi *vortex mixer*, *tensiometer du Nuoy*, buret serta peralatan gelas.

Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan optimasi sintesis APG menggunakan metode permukaan responss (*Responsse Surface Methods*) dan penelitian menggunakan rancangan komposit terpusat. Metode ini sesuai untuk memfitting permukaan kuadratik dan membantu mengoptimum parameter-parameter efektif dengan jumlah percobaan minimum, dan juga untuk menganalisis interakasi antar parameter.

Dalam studi ini, faktor yang dianalisis adalah:

1. Nisbah glukosa dodekanol (x_1) dalam rentang 1:3–1:6.
2. Suhu proses asetalisasi (x_2) dalam rentang 100–120°C.
3. Basis percobaan adalah 45 g glukosa. Dalam rancangan percobaan ini semua variabel bebas dikodekan menurut Persamaan 1:

$$X_i = \frac{2x_i - (x_{\text{maks}} + x_{\text{min}})}{x_{\text{maks}} - x_{\text{min}}} \quad \text{..... (1)}$$

dimana x_i adalah variabel i sebenarnya, X_i adalah variabel i yang dikodekan tanpa dimensi dan x_{maks} dan x_{min} adalah harga maksimum dan minimum dari variabel bebas i. Matriks rancangan percobaan yang dihasilkan dengan rancangan komposit terpusat disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks rancangan percobaan dan hasil stabilitas emulsi

No.	Nisbah mol glukosa-dodekanol	Suhu asetalisasi (^{o}C)	Stabilitas emulsi (%)
1	1:3 (-1)	100 (-1)	37
2	1:6 (+1)	100 (-1)	41
3	1:3 (-1)	120 (+1)	42
4	1:6 (+1)	120 (+1)	62
5	1:2,38 (-1,414)	110 (0)	46
6	1:6,62 (+1,414)	110 (0)	47
7	1:4,5 (0)	95,86 (-1,414)	43
8	1:4,5 (0)	124,14 (+1,414)	45
9	1:4,5 (0)	110 (0)	75
10	1:4,5 (0)	110 (0)	74
11	1:4,7	111,4	75*

Ket: *Hasil validasi pada kondisi optimum

Responss yang dianalisis adalah stabilitas emulsi (Y) dari APG yang dihasilkan. Respons ini telah digunakan untuk mengembangkan model empiris yang menghubungkan respons dengan variabel-variabel bebas dengan menggunakan persamaan polinomial kuadratik (Persamaan 2)

$$Y = b_0 + \sum_i b_i X_i + \sum_i b_{ii} X_i^2 + \sum_{ij} b_{ij} X_i X_j \text{ ..... (2)}$$

dimana Y adalah respons yang diprediksi, b_0 adalah koefisien intersep, b_i adalah koefisien dari suku linear, b_{ii} adalah koefisien dari suku kudratik, b_{ij} adalah koefisien dari suku interaksi, dan X_i dan X_j adalah variabel bebas yang dikodekan.

Nilai-nilai koefisien dari Persamaan 2 ditentukan dengan menggunakan teknik analisis regresi ganda yang termasuk dalam RSM.

Produksi Alkil Poligikosida (APG)

Bagan alir proses produksi APG satu tahap disajikan pada Gambar 1. Proses asetalisasi ini dilakukan dengan mencampurkan dodekanol dan glukosa dengan perbandingan mol 3:1 sampai dengan perbandingan 6:1 dengan bantuan katalis asam p-toluene sulfonat. Suhu reaksi diatur pada

suhu 100–120°C selama 3–4 jam dan tekanan 15–25 mmHg. Selanjutnya campuran dinetralisasi hingga pH 8–10 menggunakan NaOH 50%. Pada tahap ini terbentuk APG kasar yang masih mengandung residu (air dan dodekanol). Residu dipisahkan dengan distilasi vakum pada suhu 160–200°C. APG murni diperoleh melalui proses pemucatan menggunakan H_2O_2 pada suhu 50–100°C selama ±2 jam.

APG yang dihasilkan dikonfirmasi struktur kimianya dengan menggunakan *tool* analisis *Fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR) dan dievaluasi sifat-sifat aktif permukaannya. Evaluasi sifat-sifat aktif permukaan ini meliputi tegangan permukaan, tegangan antarmuka, nilai HLB, dan kestabilan emulsi. Karakteristik APG yang dihasilkan dibandingkan dengan APG komersial (Cognis) sebagai standar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan Persamaan Model Empiris

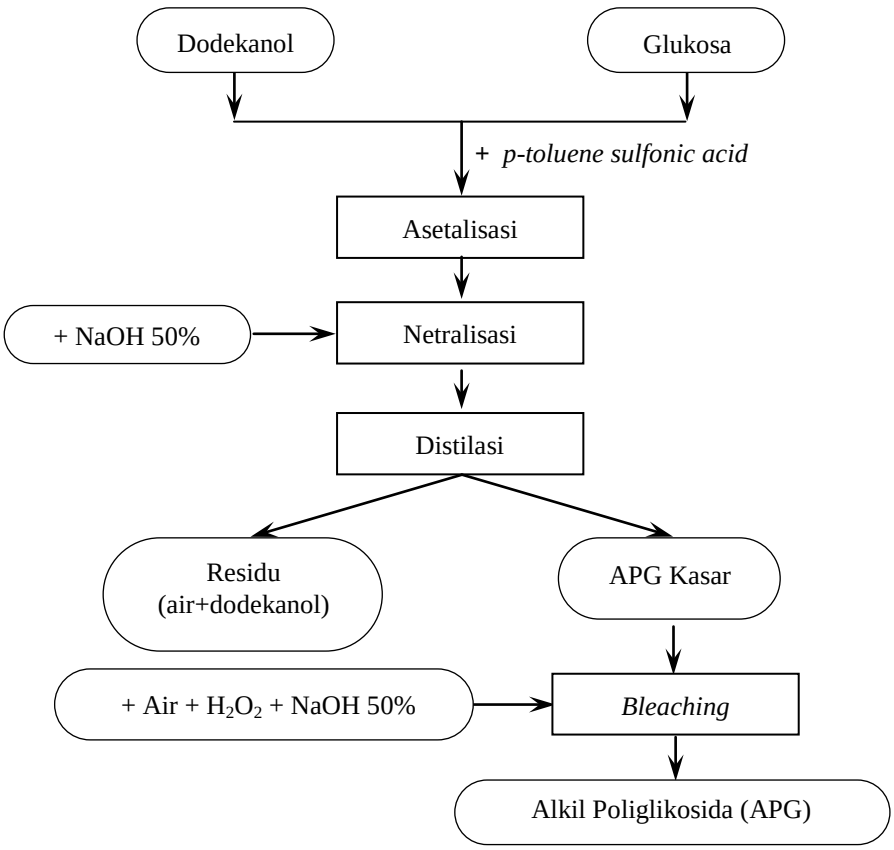
Rancangan komposit terpusat telah digunakan untuk mengembangkan korelasi antara variabel-variabel nisbah glukosa–dodekanol dan suhu asetalisasi terhadap kestabilan emulsi. Matriks rancangan percobaan bersama harga respons (stabilitas emulsi) yang didapatkan dari penelitian disajikan pada Tabel 1.

Menurut model sekuensial jumlah kuadrat, model dipilih berdasarkan polinomial ordo tertinggi dimana terminologi tambahan signifikan dan model tidak *aliased*. Untuk stabilitas emulsi larutan APG model kuadrat lebih disarankan, yang dalam hal ini dipilih karena polinomial ordo yang lebih tinggi.

Koefisien model untuk respons ditentukan dengan menggunakan teknik analisis regresi ganda yang termasuk dalam RSM. Model kuadrat yang diperoleh dalam variabel-variabel yang dikodekan disajikan pada Persamaan 3.

$$Y = 74{,}5 + 3{,}18X_1 + 3{,}6X_2 - 13{,}94X_1^2 - 15{,}19X_2^2 + 4X_1X_2 \quad \text{..... (3)}$$

Kecocokan model empiris yang dikembangkan dievaluasi berdasarkan nilai koefisien korelasi. Nilai *R* untuk Persamaan (3) adalah 0,962. Nilai *R* ini relatif tinggi, yang menunjukkan bahwa kesesuaian yang baik antara nilai percobaan dan nilai prediksi dari model. Nilai koefisien determinasi R^2 adalah 0,9246. Ini menunjukkan bahwa 92,46% dari total variasi stabilitas emulsi dapat dihubungkan dengan variabel bebas yang dikaji dan hanya 7,54% dari total variasi tidak dapat dijelaskan oleh model. Standar deviasi adalah 5,73. Semakin dekat nilai R^2 dengan satu dan semakin kecil standar deviasi akan



Gambar 1. Diagram alir sintesis alkil poliglikosida (APG) satu tahap

didapat model yang lebih baik, dimana model tersebut akan memberikan nilai prediksi yang lebih dekat dengan nilai sebenarnya. Kesesuaian model selanjutnya dijustifikasi melalui analisis varian (ANOVA). Hasil ANOVA untuk model kuadratik stabilitas emulsi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis varian (ANOVA) untuk stabilitas emulsi

Sumber	Jumlah kuadrat	DK*	Kuadrat rata-rata	*F-value*	Prob>*F*
Model	1612,10	5	322,42	9,81	0,0230
X_1	80,74	1	80,74	2,46	0,1922
X_2	103,88	1	103,88	3,16	0,1501
X_1^2	888,02	1	888,02	27,01	0,0065
X_2^2	1054,45	1	1054,45	32,07	0,0048
$X_1 X_2$	64,00	1	64,00	1,95	0,2354
Residual	131,50	4	32,88		

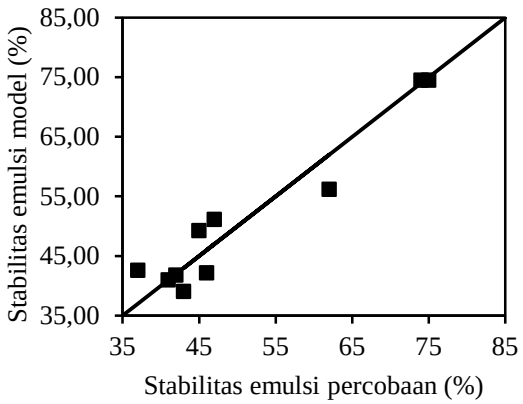
*DK = derajat kebebasan

Bila nilai Prob>*F* kurang dari 0,05 menunjukkan bahwa suku-suku model signifikan dan bila nilai Prob>*F* lebih besar dari 0,1 menunjukkan bahwa suku-suku model tidak signifikan. Dari ANOVA didapatkan *F-value* model 9,81, ini menyiratkan bahwa model itu signifikan. Berdasarkan *F-value* terlihat baik nisbah mol glukosa-dodekanol dan suhu asetalisasi tidak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap stabilitas emulsi air-xilena. Namun suku-suku kuadratik dari nisbah mol glukosa-dodekanol dan suhu asetalisasi mempunyai pengaruh yang signifikan. Pengaruh interaksi antar peubah bebas juga tidak signifikan terhadap stabilitas emulsi air-xilena.

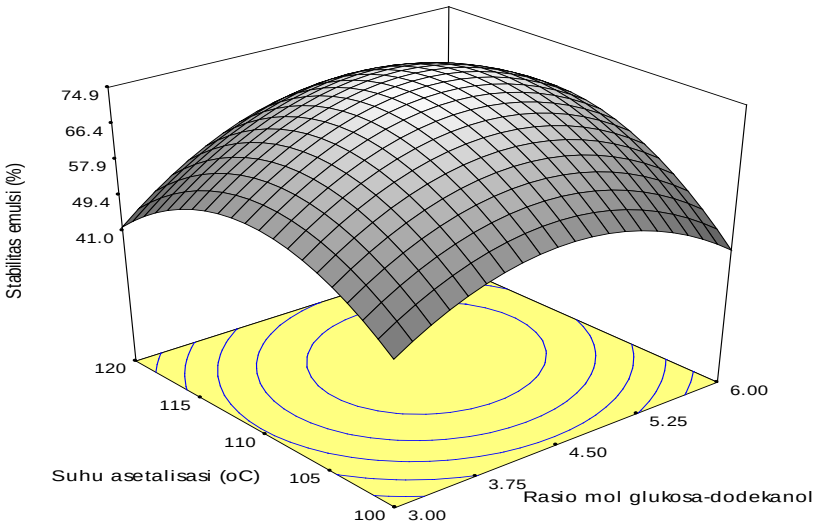
Dari hasil statistik yang diperoleh menunjukkan bahwa model di atas cukup memadai untuk memprediksi stabilitas emulsi dalam kisaran variabel yang diteliti. Gambar 2 menunjukkan nilai-nilai stabilitas emulsi prediksi versus stabilitas emulsi percobaan. Seperti terlihat, nilai-nilai prediksi yang diperoleh cukup dekat dengan nilai-nilai percobaan, hal ini menunjukkan bahwa model yang dikembangkan berhasil mengkorelasikan antara variabel-variabel bebas (nisbah mol glukosa dengan dodekanol dan suhu asetalisasi) dengan stabilitas emulsi.

Stabilitas emulsi dari air-xilena dengan adanya larutan APG divisualisasikan melalui plot permukaan respons tiga dimensi (Gambar 3) dan kontur permukaan respons (Gambar 4).

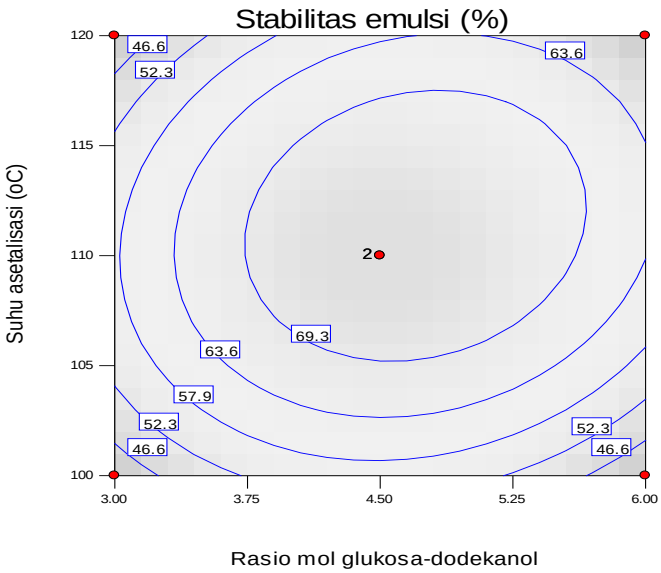
Dari Gambar 4 terlihat bahwa stabilitas emulsi air-xilena meningkat dengan meningkatnya suhu asetalisasi dan nisbah mol glukosa-dodekanol. Nilai stabilitas emulsi optimum didapatkan ketika kedua peubah bebas berada pada titik optimum dalam rentang yang dipelajari.



Gambar 2. Perbandingan antara stabilitas emulsi percobaan dan yang prediksi dari model



Gambar 3. Permukaan respons tiga dimensi dari kestabilan emulsi air:xilena.



Gambar 4. Plot kontur permukaan respons kestabilan emulsi air:xilena

Kondisi proses optimum didapatkan pada nisbah mol glukosa-dodekanol 1:4,7 dan suhu asetalisasi 111,4^{o}C dengan stabilitas emulsi air-xilena sebesar 75%.

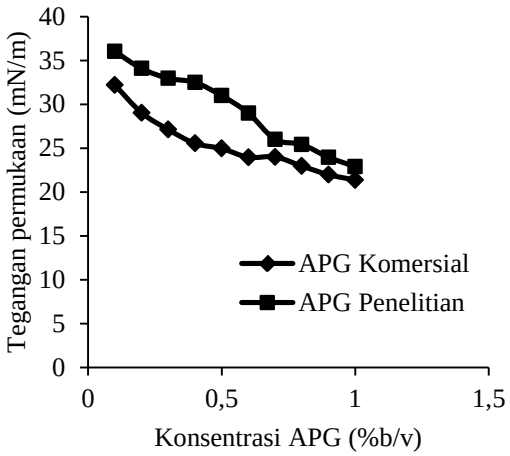
Karakteristik APG

Kondisi proses optimum akan divalidasi untuk meyakinkan persamaan model yang diperoleh dengan metode permukaan respons. Hasil validasi menunjukkan nilai kestabilan emulsi sebesar 75%. Kemudian APG hasil sintesis pada kondisi optimum dibandingkan sifat-sifat permukaan dan kinerjanya dengan APG komersial sebagai standar.

Penurunan Tegangan Permukaan

Pengukuran tegangan permukaan air pada berbagai konsentrasi APG telah dilakukan dengan metode du Nouy. Pada metode ini tegangan permukaan sebanding dengan gaya yang diperlukan untuk menarik cincin hingga lapisan tipis tepat putus. Gambar 5 menunjukkan variasi tegangan permukaan air pada berbagai konsentrasi surfaktan APG.

Dari Gambar 5 terlihat bahwa tegangan permukaan berkurang dengan meningkatnya konsentrasi larutan APG. Karena APG larut dalam air, maka APG bermigrasi ke permukaan air sehingga mengurangi tegangan permukaannya. Sebaliknya, bagian yang hidrofobik dari molekul menarik (*repeals*) molekul air, yang bergerak ke atas ke udara sedangkan kepala dari molekul tetap dalam air, ini mengakibatkan reduksi tegangan permukaan pada batas air-udara. Kenaikan konsentrasi APG akan meningkatkan migrasi molekul-molekul ke permukaan hingga konsentrasi tertentu dimana permukaan menjadi jenuh. Pada titik ini molekul-molekul APG masih di dalam badan larutan kemudian membentuk misela, dimana ekor-ekor APG mengumpul (*aggregate*) dalam misela, dengan kepala molekul-molekul APG terbentuk pada permukaan bagian luar misela. Bila konsentrasi CMC (*critical micella concentration*) ini tercapai tidak ada lagi perubahan harga tegangan permukaan dari larutan.

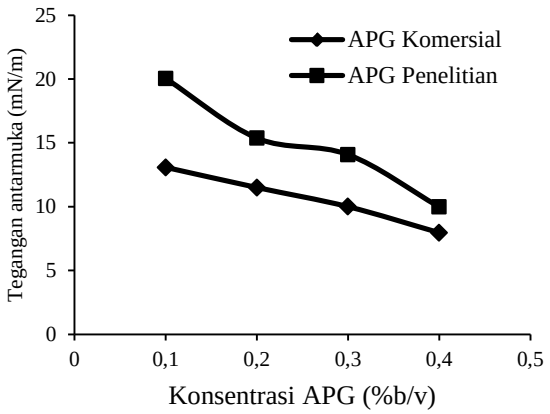


Gambar 5. Tegangan permukaan air pada berbagai konsentrasi APG

Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian El-Sukkary *et al.* (2008) dan Ware *et al.* (2007). Mereka juga mendapatkan tegangan permukaan air berkurang dengan meningkatnya konsentrasi APG di dalam larutan hingga konsentrasi tertentu. Di luar konsentrasi ini tidak ada penurunan tegangan permukaan lagi. Dari Gambar 5 juga terlihat bahwa penurunan tegangan permukaan pada APG komersial sedikit lebih besar daripada APG hasil penelitian.

Penurunan Tegangan Antarmuka

Pengukuran tegangan antarmuka air:xilena dengan adanya surfaktan APG pada berbagai konsentrasi telah dilakukan dengan menggunakan tensiometer metode du Nouy. Gambar 6 menunjukkan variasi tegangan antarmuka air:xilena pada berbagai konsentrasi APG yang dihasilkan. Dari Gambar 6 juga terlihat bahwa tegangan antarmuka berkurang dengan tajam dengan meningkatnya konsentrasi surfaktan. Hasil ini didukung oleh Moecthar (1989) yang menyatakan bahwa tegangan antarmuka sebanding dengan tegangan permukaan, akan tetapi nilai tegangan antarmuka akan selalu lebih kecil daripada tegangan permukaan pada konsentrasi yang sama.



Gambar 6. Tegangan antarmuka air-xilena pada berbagai konsentrasi APG

Hydrophile-Lipophile Balance (HLB)

HLB merupakan nilai yang ditentukan dari perbandingan antara rantai hidrofilik dan lipofilik suatu molekul surfaktan. Semakin panjang rantai hidrofilik maka semakin tinggi nilai HLB. Sebaliknya semakin panjang rantai lipofilik maka semakin rendah nilai HLB. Surfaktan mempunyai dua aksi yang berbeda yaitu membantu pembentukan suatu sistem emulsi dan menentukan suatu jenis emulsi yang terbentuk apakah bentuk minyak dalam air (O/W) atau air dalam minyak (W/O). Penentuan suatu jenis emulsi ini berhubungan erat dengan nilai HLB. Surfaktan dengan nilai HLB rendah larut dalam minyak dan dapat meningkatkan emulsi air dalam minyak (W/O). Sebaliknya surfaktan dengan nilai HLB tinggi larut dalam air dan dapat meningkatkan emulsi minyak dalam air (O/W). Nilai HLB berkisar 1 hingga 20 (Holmberg *et al.*, 2003).

Hasil pengukuran nilai HLB dari APG komersial dan APG hasil penelitian pada kondisi optimum diperoleh dengan cara interpolasi dengan kurva standar. Nilai HLB yang diperoleh untuk APG komersial adalah 13,64 dan untuk APG hasil penelitian adalah 12,31. Berdasarkan konsep Grifin dalam Holmberg *et al*. (2003), APG komersial dan APG hasil penelitian tergolong dalam pengemulsi O/W dan pelarut (*solubilizer*).

Analisis Gugus Fungsi APG Dengan FTIR

Pencirian gugus fungsi dengan *Fourier transform infrared* s*pectroscopy* (FTIR) dilakukan untuk perbandingan antara APG komersial dan APG yang dihasilkan. Dari hasil analisis FTIR secara umum diperoleh pita serapan yang hampir sama antara APG komersial dan APG hasil penelitian, tetapi pada APG hasil penelitian terbentuk banyak pita serapan yang tidak terbentuk pada kurva APG standar, ini diperkirakan karena ketidakmurnian APG hasil sintesis yang bercampur dengan kerak-kerak sehingga muncul gugus-gugus tersebut. Terbentuknya gugus eter (C–O–C) menandakan bahwa sintesis antara gugus hidroksil dari glukosa dengan alkohol lemak telah terjadi, sedangkan gugus O–H menunjukkan bahwa gugus hidrofilik dari APG telah terbentuk (El-Sukkary *et al*., 2008). Hasil yang sama juga didapatkan oleh El-Sukkary *et al*. (2008) sebagaimana tercantum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Pita serapan spektrofotometer FTIR dari APG komersial dan APG hasil penelitian

Gugus fungsi	Bilangan gelombang (cm^{-1})		
	APG komersial	**APG hasil penelitian**	**El-Sukkary *et al*. (2008)**
CH_2 $(CH_2)_n$ ganda	721,26	714,94	720
Tekuk asimetrik	1.465,54	1.460,94	1.461
Ulur simetrik	2.853,29	2.855,79	2.854
Ulur asimetrik	2.923,25	2.928,88	2.932
O–H	3.400,34	3.243,27	3.200–3.400
C–O	1.050,30	1.065,31	1.055
C–O–C	1.151,73	1.152,56	1.150

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kondisi proses optimum untuk sintesis APG satu tahap diperoleh pada nisbah mol glukosa dan dodekanol 1:4,7 dan suhu asetalisasi 111,4^{o}C dengan stabilitas emulsi yang dihasilkan adalah 75% serta karakteristik APG hasil penelitian memiliki karakteristik yang sama APG komersial, berdasarkan parameter tegangan permukaan, tegangan antarmuka, dan konfirmasi struktur dengan FTIR. Dengan nilai HLB 12,31 maka APG yang dihasilkan tergolong pengemulsi (O/W) dan pelarut (*solubilizer*).

Saran

Perlu penelitian lebih lanjut mengenai proses pemurnian agar produk APG lebih jernih lagi dan mengenai lama dan suhu distilasi vakum agar pemisahan residu dengan APG optimum.

DAFTAR PUSTAKA

BPS. 2010. *Statistik Perdagangan Ekspor-Impor Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.

El-Sukkary MMA, Syed NA, Aiad I, El-Azab WIM. 2008. Synthesis and Characterization of Some Alkyl Polyglycosides Surfactants. *J Surfact Deterg.* 11 (2):129–137.

Hill K. 1997. History of Alkyl Polyglycosides. Di dalam von Rybinski W, Stoll G (ed.). *Alkyl Polyglycosides: Technology, Properties and Applications*. Weinheim. Germany: VCH Verlagsgesellschaft mbH. p1–7.

Hill K dan Rhode O. 1999. Sugar-Based Surfactants for Consumer Products and Technical Applications. *Fett/Lipid.* 101 (1): S.25–33.

Holmberg K. 2001. Natural Surfactants. *Curr Opin Coll Interface Sci.* 6:148–159.

Holmberg K, Kronberg B, dan Lindman B. 2003. *Surfactant and Polimer in Aques Solution*. 2rd Ed. Chichester: John Wiley & Sons.

Mehling A, Kleber M, dan Hensen H. 2007. Comparative Studies on The Ocular and Dermal Irritation Potential of Surfactants. *J Food and Chem Toxicol.* 14:747–758.

Moechtar. 1989. *"Farmasi Fisika": Bagian Larutan dan Sistem Dispersi.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Rodriguez VB, Alameda EJ, Requena AR, López AIG, Bailón-Moreno R, Aranda MC. 2005. Determination of Average Molecular Weight of Commercial Surfactants: Alkylpolyglucosides and Fatty Alcohol Ethoxylates. *J Surfact Deterg.* 8 (4):341–346.

von Rybinski W dan Hill K. 1998. Alkyl Polyglycosides—Properties and Applications of a New Class of Surfactants. *Angew Chem Int Ed.* 37:1328–1345.

Ware AM, Waghmare JT, dan Momin SA. 2007. Alkylpolyglycoside: Carbohydrate Based Surfactant. *J Dispers Sci Technol.* 28:437–444.