

## SYNTHESIS OF THIN FILM OF TiO<sub>2</sub> ON GRAPHITE SUBSTRATE BY CHEMICAL BATH DEPOSITION

### *Sintesis Lapis Tipis TiO<sub>2</sub> Pada Substrat Grafit Secara Chemical Bath Deposition*

Fitria Rahmawati\*, Sayekti Wahyuningsih and Pamularsih A.W

Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sebelas Maret University,  
Jl. Ir. Sutami, Surakarta, Central Java

Received 20 February 2006; Accepted 16 March 2006

### ABSTRACT

*Thin film of TiO<sub>2</sub> on graphite substrat has been prepared by means of chemical bath deposition. Cetyltrimethylammonium Bromide served as linking agent of synthesized TiO<sub>2</sub> to graphite substrate. The optical microscope and Scanning Electron Microscope (SEM) indicate that surfactant concentration affects the pore morphology of thin film. Surface Area Analysis (SAA) of thin film indicated that the pore of thin film included in mesopore category. The anatase phase of TiO<sub>2</sub> quantity arised as the surfactant concentration increase, gave high efficiency of induced photon conversion to current efficiency (% IPCE).*

**Keywords:** thin film, TiO<sub>2</sub>, deposition, graphite

### PENDAHULUAN

Pembuatan lapis tipis semikonduktor pada suatu substrat merupakan inovasi untuk mendapatkan semikonduktor fotokatalisis yang mudah ditangani dalam aplikasi fotokatalisis dalam arti tidak mengalami kesulitan pemisahan semikonduktor dari larutan zat yang didegradasi sehingga memungkinkan penggunaan lebih dari satu kali karena pencucian mudah dilakukan. Pemilihan substrat yang bersifat konduktif merupakan cara untuk dapat dengan mudah melakukan modifikasi penempelan logam pada permukaan semikonduktor dengan metode elektrolisis. Semikonduktor lapis tipis bersubstrat juga memudahkan metode perendaman untuk melakukan modifikasi secara *surface sensitizer* (pemisahan bentuk semikonduktor bersubstrat dari larutan *sensitizer* lebih mudah dilakukan dibandingkan bentuk powder). Sebagian besar peneliti semikonduktor fotokatalis membuat lapisan tipis semikonduktor pada plat kaca Indium tin oksida (*Indium tin oxide glass plate*) dengan menggunakan metode seperti teknik *spin coating* [1], dan magnetron sputtering [2].

Metode penempelan lapis tipis dengan memanfaatkan sifat aktif antarmuka surfaktan merupakan inovasi metode penempelan lapis tipis yang relatif sederhana dan mudah dibandingkan metode pembuatan lapis tipis yang sudah ada, seperti *magnetron sputtering dan vapor phase deposition*. Yang, *et al* [3] berhasil menumbuhkan lapisan mesopori silika dari TEOS (*Tetraorthosilicate*) yang dihidrolisis dengan asam klorida (HCl) pada permukaan grafit yang difasilitasi oleh adanya lapisan monolayer surfaktan CTACl (*Cetyltrimethylammonium Chloride*) pada antarmuka grafit-larutan sintesis. Sintesis dilakukan

dengan metode deposisi secara kimia pada suhu 80°C selama tujuh hari menggunakan konsentrasi surfaktan pada range 4 – 18 mM.

Penempelan lapis tipis semikonduktor TiO<sub>2</sub> pada substrat grafit yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode penempelan dengan memanfaatkan surfaktan CTABr (*cetyltrimethylammonium bromida*) sebagai agen penghubung antara substrat grafit dengan material TiO<sub>2</sub> yang terbentuk dari hidrolisis TiCl<sub>4</sub> dalam kondisi asam HCl dengan pelarut air dan metanol. Dalam mempelajari peran surfaktan sebagai agen penghubung terhadap permukaan grafit dan sebagai pencetak pori (*pore template*) penelitian memvariasikan penggunaan konsentrasi surfaktan pada 4, 8, 12, 16 mM dengan pertimbangan, konsentrasi yang dipakai merupakan konsentrasi di atas konsentrasi kritis misel, sehingga surfaktan sudah dapat membentuk misel dalam perannya sebagai pencetak pori, dan kisaran konsentrasi yang dipakai diharapkan dapat mewakili bentuk-bentuk misel yang mungkin dari surfaktan CTABr yang dipakai.

### METODE PENELITIAN

#### Bahan

Bahan-bahan yang digunakan meliputi batang grafit, titanium(IV) klorida (TiCl<sub>4</sub>) p.a., CTABr p.a, asam klorida 37% p.a., *deionized aquades*, metanol absolut, I<sub>2</sub> p.a., kalium iodida (KI) p.al.

#### Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: furnace *Thermolyne 48000*, alat pemotong

\* Corresponding author.

Email address : fi\_rahmawati@yahoo.com (F. Rahmawati)

grafit, pengaduk magnetik, UV-Vis spectrometer Double Beam Shimadzu UV-1601 PC, spektrofotometer X-ray diffraction Shimadzu XRD-6000, SEM (Scanning Electron Microscope), Surface Area Analysis, Spektrofotometer UV-Vis Seiki Ogawa ANA-72 V dengan lampu deuterium 100 mA dan 10 mV dan wolfram 100 mA dan 10 mV, Mikroskop optik kamera Nikon Eclipse E-400, 1 set alat uji fotoelektrokimia, Sanwa Multimeter digital CD 751 (skala  $\mu\text{A}$ , mV dan  $\Omega$ ), dan alat-alat gelas.

### Prosedur Kerja

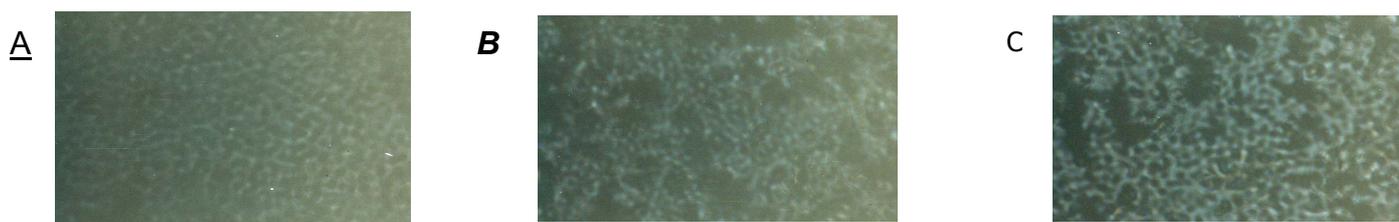
Sintesis grafit/ $\text{TiO}_2$  dilakukan dalam sel sintesis pada temperatur  $60^\circ\text{C}$  dengan larutan sintesis 1 M HCl : 0,1 M  $\text{TiCl}_4$  dan CTABr dengan variasi konsentrasi 4, 8, 12, dan 16 mM, dan lama waktu sintesis 2, 3, dan 4 hari.

Plat grafit yang sudah terlapisi  $\text{TiO}_2$  dicuci dengan *deionized aquades*, dan dikalsinasi dalam furnace dengan pemanasan pada temperatur  $450^\circ\text{C}$  selama 4 jam[3]. Lapis tipis hasil sintesis kemudian dikarakterisasi dengan XRD spectroscopy untuk mengetahui kristalinitas dan sistem kristal, UV-Vis spektrometer pada lapis tipis  $\text{TiO}_2$ /glass silika untuk mengetahui kisaran respon panjang gelombang pada daerah UV-visibel, mikroskop optik yang dihubungkan dengan kamera untuk menganalisis morfologi lapis tipis pada permukaan silika gelas didukung dengan analisis SEM, *surface area analysis* untuk mengetahui luas permukaan serta distribusi pori material, serta uji fotoelektrokimia untuk menganalisis efisiensi konversi induksi foton ke arus listrik dan stabilitas fotokimia.

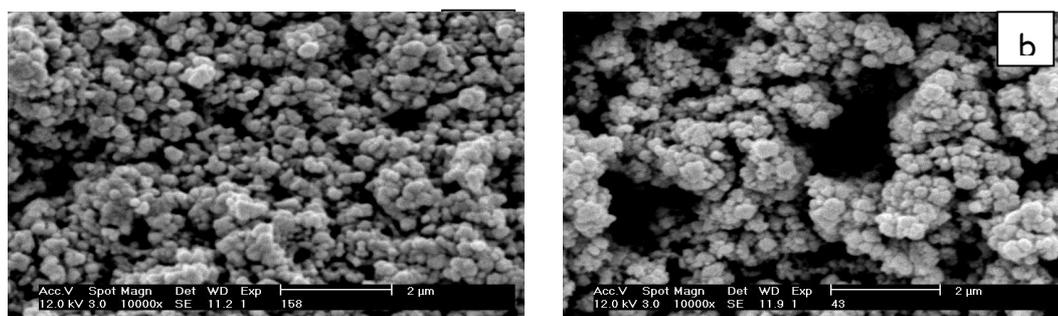
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Surfaktan CTABr yang digunakan dalam proses sintesis lapis tipis  $\text{TiO}_2$  dari hidrolisis  $\text{TiCl}_4$  dalam kondisi asam pada penelitian ini, berfungsi sebagai agen penghubung antara substrat grafit dengan  $\text{TiO}_2$ , dan sebagai media pencetak pori pada grafit. Interaksi hidrofobik antara rantai alkana surfaktan dengan grafit menyebabkan surfaktan terorientasi pada permukaan grafit. Kesesuaian geometris gugus metilen dalam rantai alkana dengan cincin aromatik karbon pada permukaan grafit, menyebabkan orientasi *head-to-head* dan *tail-to-tail* surfaktan sepanjang sumbu simetri grafit. Orientasi tersebut dipicu oleh gaya hidrofobik, gaya elektrostatis antar pasangan ion dan gaya antar *dipole* antara surfaktan dan permukaan grafit yang secara elektrik bersifat konduktif. Surfaktan ini kemudian berfungsi sebagai templat bagi penempelan  $\text{TiO}_2$  pada permukaan grafit. Kalsinasi pada  $450^\circ\text{C}$  selama 4 jam berfungsi untuk menghilangkan komponen surfaktan sehingga akan terbentuk pori-pori pada lapis tipis  $\text{TiO}_2$ .

Variasi konsentrasi surfaktan yang diterapkan pada sintesis semikonduktor lapis tipis berpengaruh pada morfologi lapisan  $\text{TiO}_2$ . Hasil foto dari mikroskop optik dapat dilihat pada Gambar 1. Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa semakin besar konsentrasi CTABr yang digunakan, morfologi pori makin tidak teratur. Hal ini dimungkinkan karena misel yang terjadi berubah bentuk dengan berubahnya konsentrasi surfaktan yang terlibat, didukung oleh hasil SEM (Gambar 2).



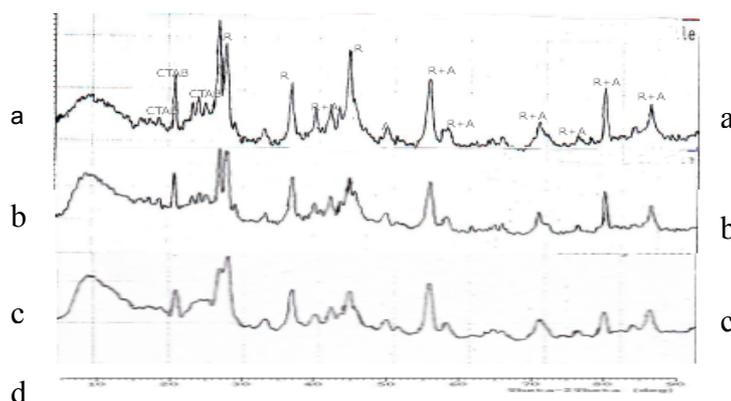
Gambar 1. Foto mikroskop optik  $\text{TiO}_2$  dengan [CTABr] 4mM (A), 12 mM (B), dan 16 mM (C)



Gambar 2. Analisis SEM pada permukaan lapisan grafit/ $\text{TiO}_2$ . a) 8 mM CTABr, b). 16 mM CTABr



**Gambar 3** Spektrum XRD untuk grafit/TiO<sub>2</sub> pada 4 hari sintesis dengan [CTABr] 4 mM (a), 8 mM (b), 12 mM (c), 16 mM (d)



**Gambar 4** Spektrum XRD untuk grafit/TiO<sub>2</sub> pada 16 mM CTABr dengan waktu sintesis 2 hari (a) 3 hari (b) dan 4 hari (c)

**Tabel 1** Kelimpahan fase rutil, anatase, dan CTABr dari hasil XRD sampel grafit/TiO<sub>2</sub> yang telah dibandingkan dengan standar JCPDS, dan ukuran kristal TiO<sub>2</sub>

[CTABr] (mM)	Waktu perendaman (hari)	% rutil	% anatase	% CTABr	d (nm)	
					anatase	rutil
4	4	56,87	31,69	11,45	18,705	10,001
8	4	58,50	33,88	7,62	39,311	11,721
12	4	64,21	33,83	1,96	10,153	9,667
16	4	63,52	36,11	0,37	32,947	9,829
16	3	60,39	36,31	3,30	31,714	11,619
16	2	58,96	35,29	5,75	53,438	11,878

Pada perbesaran yang sama (10.000 x), penggunaan surfaktan CTABr dengan konsentrasi 16 mM menghasilkan lapis tipis TiO<sub>2</sub> dengan ukuran pori yang lebih besar dibandingkan penggunaan surfaktan 8 mM. Hal ini dikarenakan terjadi perubahan bentuk dan ukuran misel dengan naiknya konsentrasi surfaktan. Konsentrasi mula – mula larutan surfaktan, dimana monomolekul berkumpul membentuk misel disebut KKM (konsentrasi kritis misel). Pada konsentrasi yang makin tinggi, misel akan mengalami perubahan bentuk dari fase sferis, silindris, heksagonal hingga lamellar [4].

Berdasarkan spektra XRD yang diperoleh (Gambar 3 dan 4), diketahui bahwa semikonduktor grafit/TiO<sub>2</sub> hasil sintesis memiliki kristalinitas yang cukup bagus, dibuktikan dari adanya peak–peak yang muncul dengan cukup tajam. Diameter kristal TiO<sub>2</sub> rata-rata berdasarkan estimasi perhitungan menggunakan rumusan Scherrer [5], diperoleh ukuran kristal TiO<sub>2</sub> rutil berkisar antara 9,667 – 11,878 nm dan anatase pada kisaran 10,153 – 53,438 nm. Perubahan ukuran kristal yang terjadi tidak menunjukkan tren tertentu dengan perubahan konsentrasi CTABr yang digunakan. Spektra yang terjadi juga tampak tidak berubah secara signifikan dengan adanya variasi konsentrasi CTABr maupun variasi lama waktu perendaman. Tidak terjadi kemunculan peak baru ataupun hilangnya peak yang pernah muncul pada spektra sampel lainnya. Perubahan spektra hanya

sedikit terjadi pada daerah  $2\theta \pm 25 - 29$  degree. Perpecahan spektra yang terjadi pada daerah tersebut menunjukkan perpaduan antar sistem kristal anatase dan rutil yang sedikit berubah dengan berubahnya [CTABr]. Peak-peak pada  $2\theta : 16,4; 20,87; 23,90$  degree merupakan peak dari CTABr yang masih ada dalam lapis tipis TiO<sub>2</sub>.

Tabel 1 menunjukkan kelimpahan masing-masing fasa yang terkandung dalam sampel TiO<sub>2</sub> yang diperoleh dari persamaan (1). Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa variasi [CTABr] berpengaruh pada kemurnian fase rutil, anatase maupun CTABr.

$$\% \text{fasa} = \frac{\sum I(\text{count}), \text{sesuai standar} [\Delta d \leq 0,02 \text{nm}]}{\sum I(\text{count}) \text{ total}} \quad (1)$$

CTABr yang tersisa sebagai pengotor makin menurun dengan pertambahan konsentrasi. Hal ini dimungkinkan karena perbedaan fase misel yang terjadi pada tiap konsentrasi. Pada [CTABr] 4 mM, misel masih berbentuk sferis (analog pada Gambar 1) sehingga ikatan antar molekul masih relatif kuat. Hal ini berakibat saat dikalsinasi CTABr masih banyak yang bertahan di dalam semikonduktor. Sementara pada [CTABr] 16 mM, misel dimungkinkan sudah bukan sferis lagi tetapi sudah berbentuk silindris, heksagonal, atau bahkan mungkin gabungan dari keduanya,

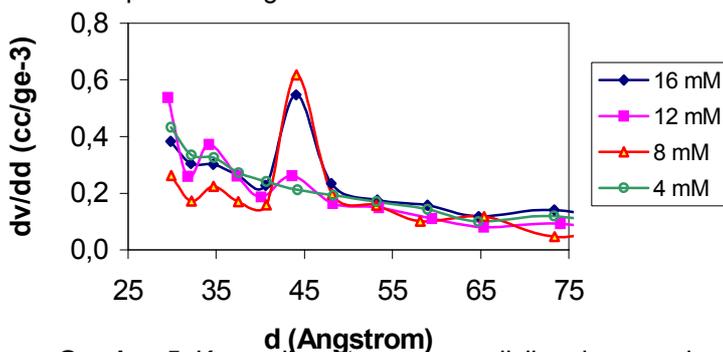
sehingga ikatan antar molekul surfaktan relatif kurang kuat dan mudah lepas pada saat kalsinasi.

Penentuan luas permukaan dan distribusi ukuran pori menggunakan SAA (*Surface Area Analysis*) dilakukan pada material TiO<sub>2</sub> hasil sintesis dengan variasi konsentrasi CTABr untuk mengetahui pengaruh CTABr sebagai media pencetak pori dalam material. Luas permukaan spesifik untuk sampel TiO<sub>2</sub> dengan [CTABr] 4 mM adalah 15,0663 m<sup>2</sup>/g, dan berturut – turut untuk [CTABr] 8, 12, dan 16 mM masing – masing adalah 11,7104 m<sup>2</sup>/g, 16,5057 m<sup>2</sup>/g, dan 14,1473 m<sup>2</sup>/g.

Distribusi ukuran pori pada TiO<sub>2</sub> dengan [CTABr] 8 mM dan 16 mM banyak berada pada sekitar 45 angstrom (Gambar 5). Sementara pada [CTABr] 4 mM dan 12 mM memiliki distribusi yang relatif lebih heterogen, tidak terdistribusi pada diameter pori tertentu. Berdasarkan ukuran jari – jari porinya, material TiO<sub>2</sub> yang telah disintesis dengan variasi konsentrasi CTABr tersebut termasuk dalam kategori mesopori (ukuran pori berada di antara 20 Å dan 500 Å).

Pengukuran serapan tepi (*absorbance edge*), λ<sub>g</sub>, dilakukan dengan mengukur absorbansi TiO<sub>2</sub> yang telah ditempelkan tipis pada kaca preparat menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir aglomerasi partikel TiO<sub>2</sub> yang mungkin terjadi. Menurut Chandler [6] untuk mencegah aglomerasi *cluster* pada semikonduktor koloid, hal yang dapat dilakukan adalah mencegah terjadinya kontak antar komponen *cluster*, yaitu dengan menempelkannya pada *stabilizing* media, seperti gelatin, kaca, atau material lainnya. Dengan demikian, pengukuran *energi gap* berdasarkan serapan tepi λ<sub>g</sub> dihitung dengan persamaan Brus [7], dilakukan dengan menempelkan tipis TiO<sub>2</sub> pada kaca preparat, kemudian diukur serapannya terhadap sinar UV maupun visibel.

Berdasarkan data Tabel 2 dan 3, E<sub>g</sub> TiO<sub>2</sub> rata – rata dari semua sampel TiO<sub>2</sub> hasil penelitian dengan berbagai variasi konsentrasi CTABr maupun waktu perendaman, diperoleh sebesar 3,744 ± 0,096 eV. Hal ini berbeda dengan E<sub>g</sub> TiO<sub>2</sub> *bulk* yaitu sekitar 3,05 hingga 3,29 eV dengan ukuran partikel sekitar 100 nm [8]. Perbedaan yang cukup besar ini dimungkinkan karena TiO<sub>2</sub> yang disintesis pada penelitian ini memiliki ukuran partikel sangat kecil.



Gambar 5. Kurva diameter pori vs selisih volume pori

Berdasarkan penelitian Chandler [6], yang mensintesis Cds dalam medium mikroemulsi, telah dibuktikan bahwa serapan tepi dari material bergeser ke energi yang lebih tinggi dengan makin kecilnya ω (rasio komposisi air dan surfaktan). Di mana makin kecil harga ω, menyebabkan ukuran partikel semakin kecil. Berdasarkan data XRD diketahui bahwa ukuran (diameter) kristal TiO<sub>2</sub> hasil sintesis berada pada range 9,667 nm hingga 53,438 nm, sehingga serapan tepinya berada di daerah energi lebih tinggi dari TiO<sub>2</sub> *bulk*.

Efektifitas fotokatalitik semikonduktor dapat diketahui dan dilihat dari efisiensi konversi foton ke arus listrik (%IPCE). Apabila suatu semikonduktor dikenai cahaya (hν) dengan energi yang sesuai, maka elektron (e<sup>-</sup>) pada pita valensi akan pindah ke pita konduksi, dan meninggalkan lubang positif (*hole*<sup>+</sup>, disingkat sebagai h<sup>+</sup>) pada pita valensi. Sebagian besar pasangan e<sup>-</sup> dan h<sup>+</sup> ini akan berekombinasi kembali, baik di permukaan atau di dalam ruah partikel. Sementara itu sebagian pasangan e<sup>-</sup> dan h<sup>+</sup> dapat bertahan sampai pada permukaan semikonduktor, dimana h<sup>+</sup> dapat menginisiasi reaksi oksidasi dan di lain pihak e<sup>-</sup> akan menginisiasi reaksi reduksi zat kimia yang ada di permukaan semikonduktor.

Mekanisme fotokatalisis tersebut akan berimplikasi pada terjadinya aliran elektron dalam semikonduktor. Apabila elektron-elektron tersebut tertangkap oleh substrat konduktif, dalam hal ini grafit merupakan substrat konduktif, kemudian melewati sirkuit eksternal, maka arus listrik yang dapat terukur oleh amperemeter. Arus listrik tersebut menunjukkan jumlah konversi energi foton ke arus listrik (%IPCE). Pada pengukuran %IPCE, semikonduktor grafit/TiO<sub>2</sub> diberi energi cahaya pada panjang gelombang UV sampai dengan visibel, yaitu pada 300 hingga 700 nm. Arus yang terukur dicatat pada setiap perubahan λ 5 nm untuk mengetahui setiap perubahan yang terjadi secara teliti. %IPCE diperoleh dari besarnya arus terukur yang diolah menggunakan persamaan (2).

$$IPCE(\%) = \frac{I_{sc} (A/cm^2)}{I_{inc} (W/cm^2)} \times \frac{1240}{\lambda (nm)} \times 100$$

Tabel 2. Data λ<sub>g</sub> dan E<sub>g</sub> berdasarkan variasi [CTABr] pada 4 hari sintesis

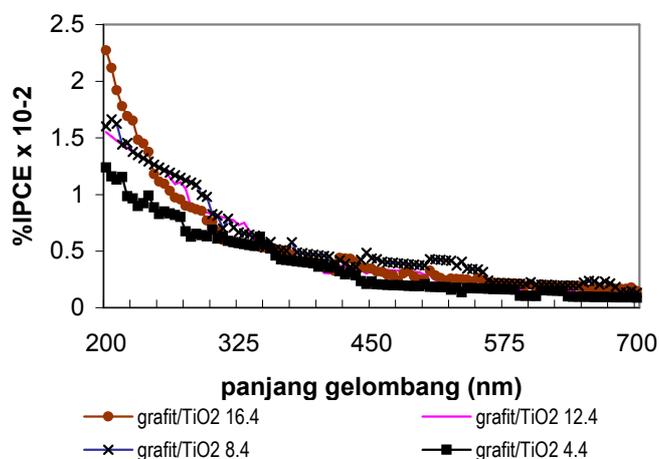
[CTABr] (mM)	λ <sub>g</sub> (nm)	E <sub>g</sub> (eV)
4	341±1,414	3,630±0,015
8	337±2,828	3,673±0,031
12	337±2,121	3,679±0,023
16	315±24,749	3,948±0,311

Tabel 3. Data λ<sub>g</sub> dan E<sub>g</sub> dengan variasi waktu perendaman pada [CTABr] 16 mM

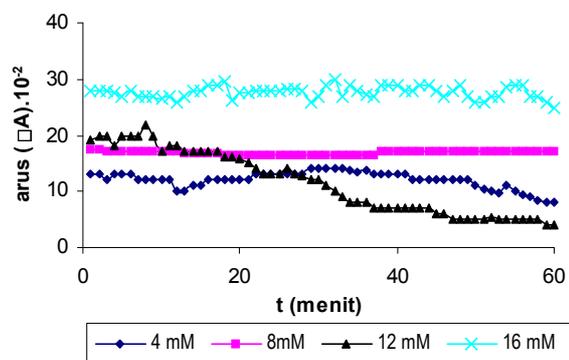
waktu perendaman (hari)	λ <sub>g</sub> (nm)	E <sub>g</sub> (eV)
2	335±0,000	3,695±0,000
3	335±2,121	3,701±0,023
4	315±24,749	3,948±0,311

Di mana  $I_{sc}$  : arus yang terukur pada tiap panjang gelombang,  $I_{inc}$  : sinar yang diberikan pada elektroda lapis tipis TiO<sub>2</sub>/grafit [9]. Gambar 6 menunjukkan bahwa lapis tipis grafit/TiO<sub>2</sub> menunjukkan aktivitas tinggi pada daerah ultra violet, dan aktivitasnya menurun pada daerah sinar tampak. Pada daerah panjang gelombang 200–250 nm %IPCE tertinggi diperoleh dari semikonduktor dengan konsentrasi surfaktan paling besar yaitu 16 mM, kemudian mendekati paparan sinar visible, %IPCE dari keempat jenis lapis tipis tersebut relatif sama (berimpit). Pada daerah ultra violet, yang merupakan daerah aktif lapis tipis hasil sintesis, diketahui bahwa grafit/TiO<sub>2</sub> yang disintesis dengan konsentrasi surfaktan cukup besar memberikan %IPCE yang lebih baik.

Gambar 6 menunjukkan bahwa penggunaan CTABr dengan konsentrasi 16 mM menghasilkan lapis tipis TiO<sub>2</sub> dengan %IPCE tertinggi pada daerah 200-250 nm. Pada konsentrasi CTABr yang cukup besar (8,12,16 mM), %TiO<sub>2</sub> secara umum lebih besar daripada penggunaan [CTABr] 4 mM, sebagaimana dapat dilihat dari data XRD (Tabel 1). Pada [CTABr] 16 mM, % TiO<sub>2</sub> dalam bentuk anatase dalam semikonduktor lebih banyak, yaitu 36,11%. Diketahui bahwa fase anatase



**Gambar 6** % IPCE grafit/TiO<sub>2</sub> pada variasi waktu sintesis

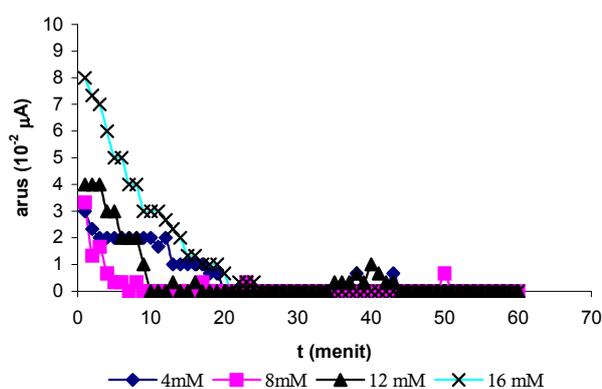


**Gambar 7** Stabilitas fotokimia grafit/TiO<sub>2</sub> hasil sintesis

memiliki aktivitas fotokatalitik yang bagus, sehingga makin banyak fase anatase TiO<sub>2</sub> yang terdapat dalam semikonduktor, kemampuan TiO<sub>2</sub> dalam merespon energi foton yang mengenainya makin bertambah sehingga hal ini berimplikasi pada efektifitas TiO<sub>2</sub> yang tampak pada %IPCE.

Stabilitas fotoelektrokimia semikonduktor grafit/TiO<sub>2</sub> ditentukan dengan metode yang sama dengan pengukuran arus untuk menentukan %IPCE. Pada pengukuran stabilitas ini arus hanya diukur pada panjang gelombang sinar tertentu saja, yaitu panjang gelombang serapan maksimum TiO<sub>2</sub>. Sinar yang diberikan pada panjang gelombang maksimum material berfungsi sebagai sumber energi foton yang akan mengeksitasi elektron sehingga akan menghasilkan arus listrik. Hasil penelitian menunjukkan panjang gelombang serapan maksimum TiO<sub>2</sub> hasil sintesis terhadap sinar UV-Visibel jatuh pada daerah UV, yaitu pada 300 nm. Untuk mengetahui kestabilan semikonduktor di tempat gelap, arus juga diukur dengan mengkondisikan semikonduktor grafit/TiO<sub>2</sub> benar-benar terlindungi dari cahaya atau sinar apapun. Data stabilitas fotoelektrokimia grafit/TiO<sub>2</sub> dengan waktu perendaman grafit dalam larutan sintesis selama 4 hari, dapat dilihat pada Gambar 7.

Secara teori, stabilitas fotoelektrokimia yang bagus ditunjukkan dengan arus yang besar tetapi memiliki slope yang kecil. Data Gambar 7 menunjukkan bahwa grafit/TiO<sub>2</sub> yang disintesis dengan [CTABr]= 16 mM memberikan arus paling besar pada penyinaran dengan panjang gelombang 300 nm dan pada pengukuran selama 60 menit menunjukkan arus terukur yang relatif stabil, berkisar 26–29  $\mu$ A. Material grafit/TiO<sub>2</sub> sebagai material fotokatalis ditunjukkan oleh besarnya pengaruh induksi foton pada besarnya arus yang terukur, hal ini terlihat pada Gambar 8, pada kondisi gelap arus yang terukur sangat kecil, bahkan setelah sekitar 12 menit arus yang terukur berada pada 0  $\mu$ A. Arus yang terukur pada kondisi gelap (*dark current*) dimungkinkan terukur sebagai hasil pergerakan ion-ion elektrolit dalam sel pengukuran (ion-ion K<sup>+</sup>, I<sup>-</sup>, dan I<sub>3</sub><sup>-</sup> yang mungkin sudah terbentuk).



**Gambar 8** *dark current* grafit/TiO<sub>2</sub> hasil sintesis

## KESIMPULAN

Lapis tipis semikonduktor grafit/TiO<sub>2</sub> dapat disintesis dengan metode *chemical bath deposition* (CBD) dari hidrolisis TiCl<sub>4</sub> pada kondisi asam HCl dengan memanfaatkan sifat antarmuka surfaktan CTABr sebagai agen penghubung ke permukaan grafit.

Konsentrasi surfaktan berpengaruh pada morfologi pori dari lapisan tipis TiO<sub>2</sub>. Pori-pori yang terbentuk berada dalam kategori mesopori. TiO<sub>2</sub> anatase meningkat dengan peningkatan konsentrasi surfaktan berakibat pada peningkatan %IPCE pada daerah aktif semikonduktor hasil sintesis yaitu daerah sinar ultra violet (200 – 250 nm) dengan kenaikan konsentrasi surfaktan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional atas pendanaan pada tahun I Proyek Hibah Bersaing XIII tahun 2005. Kepada Setyaningsih, S.Si dan Syarifah atas kerjasamanya selama masa penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Nasr, C., Kamat, P. V., and Hotchandani, S., 1998, *J. Phys. Chem. B.*, 102, 10047 – 10056.
2. Liu, F., Wang, T., Li, J.Q., and Yates, J.T., 1995, *Chem. Review*, 95, 735 – 758.
3. Yang, H., Coombs, N., Sokolov, I., and Ozin, G.A., 1997, *J. Mater. Chem*, 7(7), 1285-1290.
4. Moroi, Y., 1992, *Micelles : Theoretical and Applied Aspect*, Plenum Press, New York.
5. Manorama, S.V., Reddy, K.M., Reddy, C.V.G., Narayanan, S., Raja, P.R., and Chatterji, P.R., 2002, *J. Phys. & Chem. Solids*, 63, 135 –143.
6. Chandler, R.R., Bigham, S.R., and Coffey, J.L., 1993, *J. Chem. Educ.*, 70.
7. Nedeljkovic, J.M., Patel, R.C., Kaufman, P., Pruden, C.J., and O'Leary, N., 1993, *J. Chem. Educ.*, 70, 342 – 344.
8. Li, Y., Hagen, J., Schaffrath, W., Otschik, P., and Haarer, D., 1999, *Solar Energy Mater. & Solar Cells*, 56, 167-174
9. Sicot, L., Fiorini, C., Lorin, A., Ramond, P., Sentein, C., and Nunzi, J.M., 2000, *Solar Energy Mater. & Solar Cells*, 63, 49 –60.