
PEMBUATAN SISTEM PENGOLAH AIR BERSIH MENGGUNAKAN MATERIAL FOTOKATALIS TITANIA (TiO_2)

Heri Sutanto, Eko Hidayanto, Agus Subagio, Hendri Widiyandari,
Indro Adi Nugroho dan Zakiyah Rahmawati

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA UNDIP
Jl. Prof. Soedharto, SH, Tembalang-Semarang
e-mail: herisutanto@undip.ac.id ; herisutato@gmail.com

Abstrak

Telah berhasil dibuat sistem pengolah air bersih menggunakan material fotokatalis titania (TiO_2). Sistem pengolah air bersih yang terdiri dari 2 pompa yang bertujuan untuk mengalirkan air kotor ke bak penampungan pertama, dan pompa kedua untuk mensirkulasikan air yang telah melewati biofilter untuk diolah melalui reaktor foto katalis TiO_2 yang diaktifasi dengan menggunakan lampu UV sebanyak 2 buah masing-masing dengan daya 10 W. Lapisan tipis TiO_2 dideposisi di atas substrat gelas dengan metode sol-gel teknik spray coating. Titanium Tetraisopropoxide 0,5 M dilarutkan ke dalam Diethylene Glycol dengan perbandingan mol DEG: ($Ti(OC_3H_7)_4$) adalah 4:1 lalu diaduk dengan magnetic stirrer pada laju putar sebesar 1500 rpm selama 2 jam. Gel TiO_2 hasil sintesis kemudian dimasukkan ke dalam tabung spray-coater dan diberi tekanan. Sebelum disemprot, substrat gelas dipanaskan pada temperatur $70^\circ C$ untuk meningkatkan daya ikat antara larutan dengan substrat. Lapisan hasil penyemprotan selanjutnya di oven pada temperatur $200^\circ C$ selama 30 menit dan sintering pada temperatur $450^\circ C$ selama 2,5 jam. Hasil pengujian struktur kristal dengan x-ray diffractometer (XRD) menunjukkan bahwa semakin banyak pelapisan yang dilakukan menyebabkan kualitas kristal dari lapisan tipis TiO_2 meningkat. Hal ini ditunjukkan dengan semakin menurunnya nilai FWHM. Selain itu, semakin banyaknya pelapisan yang dilakukan menyebabkan ukuran kristalit dari lapisan tipis TiO_2 meningkat. Citra SEM lapisan tipis TiO_2 menunjukkan bahwa semakin besar molaritas prekursor TiO_2 menyebabkan kuantitas keretakan pada permukaan semakin menurun. Hasil pengujian BOD dan COD dari sistem pengolah air bersih menunjukkan bahwa sistem yang dibuat telah mampu mereduksi kandungan BOD hingga 5,76 mg/L dan COD hingga 25,22 mg/L.

Kata kunci: Lapisan Tipis TiO_2 , Spray Coating, Foto Katalis, Substrat Gelas

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan vital hidup sehari-hari. Hampir semua aspek kehidupan membutuhkan air bersih untuk kebutuhan air minum, memasak, mandi maupun mencuci. Namun demikian, secara umum pemenuhan kebutuhan air bersih saat ini sudah mulai berkurang oleh menurunnya kualitas maupun kuantitas air di lingkungan kita. Saat ini, berbagai upaya telah dilakukan untuk mendapatkan air bersih yang bebas dari pencemaran akibat banyaknya aktivitas manusia dewasa ini. Secara umum ada 4 kegiatan dalam siklus perputaran air berkaitan aktivitas manusia, yaitu eksplorasi air, konsumsi air, produksi air limbah dan penjernihan air limbah. Pada kegiatan keempat yaitu penjernihan air limbah, terdapat beberapa proses kegiatan, antara lain penyaringan, sedimentasi, filtrasi dan disinfeksi. Meskipun sistem penjernihan ini tergolong efektif, namun demikian masih cukup mahal terkait dengan sistem dan material yang digunakan.

Salah satu teknologi yang memungkinkan untuk mengatasi bau maupun kekeruhan air adalah dengan memanfaatkan material foto katalis sebagai fotodegradasi polutan dengan menggunakan material oksida semikonduktor. Oksidasi foto katalis merupakan proses dimana partikel semikonduktor di dalam suspensi air limbah/kontaminan menangkap cahaya ultra-violet (UV) dan selanjutnya energi ini digunakan untuk menghasilkan pasangan elektron dan lubang (hole). Bahan titanium dioksida dikenal dengan titania (TiO_2) bersifat foto katalis. Sifat foto katalis tersebut dapat digunakan untuk pemecahan ikatan-ikatan kimia yang terjadi pada air limbah. Peranan material TiO_2 apabila dikenai cahaya UV akan merusak polutan sehingga akan mereduksi keberadaannya di air (Chang W. dan Lin W.Y., 1994). Beberapa penelitian yang telah dilakukan dengan sistem aliran air limbah dengan melewati air limbah tersebut ke dalam media dengan dosis TiO_2 sebesar 1 gram/liter selama 30 menit sambil diberi paparan cahaya UV dapat membunuh 100% bakteri yang ada di air limbah tersebut. Penelitian lain dengan sistem penjernihan

menggunakan cahaya UV dengan panjang gelombang 254 nm telah dapat menghilangkan 99,9999% bakteri patogen dan 99,99% virus (Abbaszadegan dan Morteza, 1997).

Penggunaan serbuk TiO_2 yang disebar secara langsung ke dalam air limbah masih memiliki kekurangan. Hal ini disebabkan karena ketika proses pembersihan polutan organik telah selesai dilakukan air menjadi tercemar oleh serbuk TiO_2 . Kekurangan yang ada diselesaikan dengan melapiskan partikel TiO_2 pada partikel transparan, dalam penelitian ini akan digunakan gelas sebagai substrat. Berbagai metoda telah banyak digunakan peneliti dalam deposisi lapisan tipis TiO_2 antara lain sol-gel (Liu X., dkk, 2000), deposisi langsung dari endapan larutan (Shimizu K., dkk, 1999), sputtering (Teresa Viseu M.R., dkk, 1999), ultrasonic spray pyrolysis (Blesic M.D., dkk, 2002), laser-assisted pyrolysis (Carotta M.C., dkk, 1999), co-precipitation method (Lee D.S., dkk, 1999) dan hydrothermal crystallisation (Ruiz A.M., dkk, 2005). Namun metoda deposisi lapisan tipis dengan sol-gel mempunyai keuntungan-keuntungan daripada teknik-teknik lain yaitu sangat baik dalam kontrol komposisi, mempunyai homogenitas tinggi pada tingkat molekuler, menurunkan suhu kristalisasi, serta mampu memproduksi lapisan tipis dengan luas permukaan TiO_2 yang sangat luas dibandingkan dengan metode lain seperti sputtering, CVD (Chemical Vapor Deposition), dan MBE (Molecular beam epitaxy) yang umumnya menghasilkan deposisi lapisan dengan luas yang terbatas. Selain itu, metode sol gel mampu menghasilkan lapisan tipis dalam berbagai bentuk dengan cara deposisi secara spray-coating. Keuntungan dari spray-coating dibandingkan dengan proses yang lain seperti PVD (Physical Vapour deposition), CVD (Chemical Vapor Depositin), Brazing, Cladding, dan elektro plating adalah laju deposisi yang tinggi, dapat dilakukan pada kondisi atmosfer, beragam jenis bahan dapat dideposisikan dengan mudah sesuai dengan aplikasi yang diinginkan, dan lebih ramah lingkungan, yaitu tidak memiliki limbah buangan yang berbahaya pada lingkungan (Prawara, 2006). Ketebalan Pada lapisan tipis TiO_2 dapat mempengaruhi pemanfaatan energi foton untuk mengeksitasi pembawa muatan dari pita valensi ke pita konduksi. Semakin tebal lapisan maka energi foton yang diserap akan semakin banyak (Usman, 2008).

Dalam makalah ini, dibahas tentang pengaruh ketebalan pelapisan deposisi dan molaritas larutan terhadap mikrostruktur lapisan tipis TiO_2 yang dideposisi di atas substrat gelas menggunakan metode sol-gel yang dikomposisi dengan teknik spray-coating. Lapisan tipis titania yang dihasilkan digunakan untuk aplikasi pengolah air. Reaksi fotokatalisis dilakukan terhadap air polder tawang dalam sebuah reaktor yang dilengkapi dengan lampu UV-C Sankyo Denki G10T8 10 Watt.

METODOLOGI

Film tipis TiO_2 dideposisi di atas substrat gelas (microscopy glass preparat) menggunakan metode sol-gel teknik spray-coating. Sebelum deposisi, substrat gelas dibersihkan dari pengotor organik dengan merendam substrat ke dalam aseton lalu metanol masing-masing selama 5 menit dengan ultrasonic bath. Selanjutnya substrat direndam ke dalam DI water lalu dikeringkan dengan disemprot gas nitrogen.

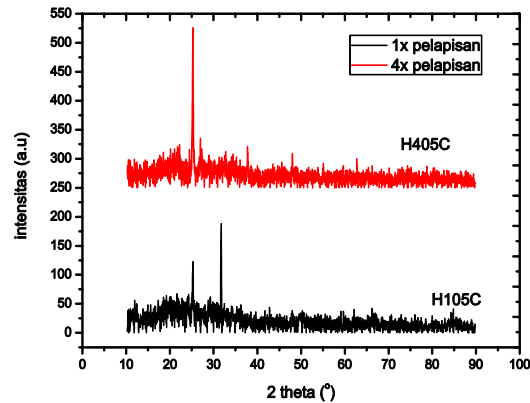
Sebelum deposisi, dilakukan pembuatan larutan TiO_2 dari serbuk TiO_2 (Merck, Chemical, 99,98%). Titanium Tetraisopropoxide 0,5 M dilarutkan ke dalam Diethylene Glycol dengan perbandingan mol DEG: $(\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4)$ adalah 4:1 lalu diaduk dengan magnetic stirrer pada laju putar sebesar 1500 rpm selama 2 jam Setelah 2 jam pengadukan, ditambahkan aquades (H_2O) dengan perbandingan mol H_2O : $(\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4)$ 2:1 dan TiO_2 powder sebanyak 50gr/l ditambahkan secara perlahan kemudian dilakukan pengadukan lagi selama 12 jam hingga menghasilkan larutan berwarna putih dengan molaritas larutan sebesar 0,5 M. Gel TiO_2 hasil sintesis kemudian dimasukan ke dalam tabung spray-coater dan diberi tekanan 30 psi. Sebelum disemprot larutan TiO_2 , substrat gelas dipanaskan pada temperatur 70°C untuk meningkatkan daya ikat antara larutan dengan substrat. Lapisan hasil penyemprotan selanjutnya di oven pada temperatur 200°C selama 30 menit dan sintering pada temperatur 450°C selama 2,5 jam.

Untuk mengetahui sifat-sifat struktur lapisan TiO_2 hasil deposisi dilakukan dengan analisis struktur kristal dengan metode x-ray diffractometer (XRD), morfologi dengan SEM. Sifat optik lapisan dilakukan dengan uji transmisi UV-Vis Spectrofotometer. Hasil uji degradasi polutan limbah air dengan sistem fotokatalis dilakukan dengan pengujian kandungan BOD dan COD pada air hasil treatment.

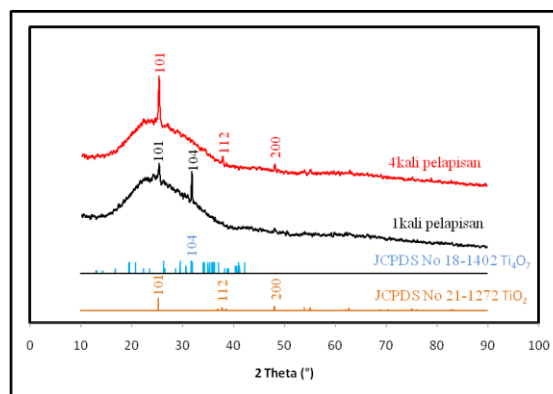
HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Kristal Lapisan Tipis TiO₂

Pola XRD hasil pengujian struktur kristal lapisan tipis titania (TiO₂) dengan variasi banyaknya pelapisan ditunjukkan pada gambar 1. Melalui identifikasi data menggunakan program JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) nomor 18-1402 dan nomor 21-1272 memperlihatkan kualitas kristal yang terbentuk pada lapisan tipis TiO₂ dengan pelapisan sebanyak 4x adalah kristal tunggal anatase sedangkan pada pelapisan sebanyak 1x kualitas kristal yang terbentuk adalah polikristal. Sifat kristal tunggal anatase pada pelapisan sebanyak 4x ditunjukkan oleh pola difraksi sinar-x yang hanya menunjukkan beberapa bidang orientasi kristal (101), (112) dan (200). Hal ini masih sesuai dengan struktur kristal material TiO₂ (Merck Chemical, 99,89%). Sifat polikristalin pada pelapisan sebanyak 1x dari lapisan tipis Titanium Dioksida (TiO₂) ditunjukkan oleh terbentuknya orientasi kristal pada bidang (101) dan (104).



(a)



(b)

Gambar 1. Pola XRD Lapisan Tipis Titania (TiO₂) Dengan Variasi Pelapisan (a) Sebanyak 1x dan 4x dan (b) dipadukan dengan Standar.

Dari hasil pengolahan data XRD dengan Microcal Origin Lab 7.5 dapat digunakan untuk menentukan nilai *full width at half maximum* (FWHM). Hasil fitting Lorentzian dengan Origin diperoleh nilai FWHM untuk pelapisan 1x sebesar 0,30925° dan 4x sebesar 0,20074°. Dari hasil ini menunjukkan bahwa kualitas kristal lapisan TiO₂ untuk pelapisan sebanyak 4x mempunyai kualitas yang lebih baik dibandingkan pada pelapisan 1x. Hal ini dimungkinkan pada lapisan dengan pelapisan 4x pola keteraturan atom-atom Ti dan O₂ semakin baik karena kestabilan bulir kristal sudah stabil dengan peningkatan ketebalan lapisan.

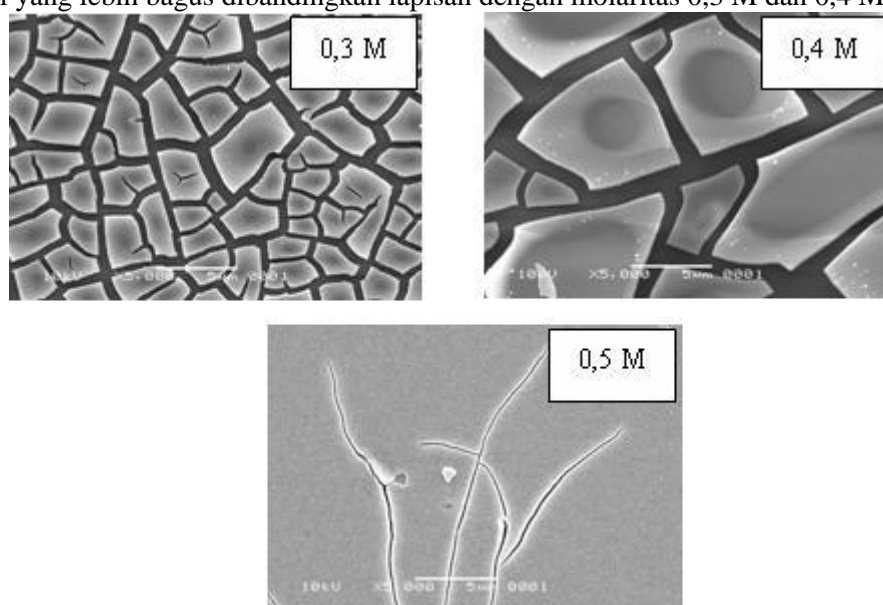
Hasil Analisis Komposisi Kimia Lapisan Tipis TiO₂ dengan EDS

Hasil uji komposisi dari lapisan tipis dilakukan untuk mengetahui komponen kimia penyusun lapisan tipis TiO₂. Lapisan tipis TiO₂ yang diuji bervariasi molaritas prekursor awalnya. Hal ini dilakukan untuk memperoleh informasi tentang molaritas prekursor terhadap komposisi. Hasil uji komposisi dengan metode energy dispersive spectroscopy (EDS). Dari hasil uji EDS

tersebut menghasilkan komposisi oksigen (O) yang semakin tinggi dengan peningkatan molaritas prekursor TTiP nya. Hal ini menunjukkan bahwa semakin pekat prekursor mengakibatkan reaksi Ti dengan O berkurang sehingga tingkat reaktifitas Ti semakin menurun. Hasil yang diperoleh ini kurang stoikiometrik dengan fasa TiO₂ yang seharusnya mempunyai perbandingan Ti:O₂ = 33 : 67%.

Morfologi Lapisan Tipis TiO₂

Hasil uji morfologi permukaan dilakukan untuk mengetahui citra permukaan dari lapisan tipis TiO₂ hasil deposisi. Hasil uji SEM dengan perbesaran 5.000x menunjukkan bahwa secara umum lapisan tipis TiO₂ hasil deposisi mengalami keretakan/crack. Semakin tinggi kekentalan/molaritas larutan prekursor TTiP menghasilkan lapisan tipis titania dengan keretakan permukaan lapisan yang semakin menurun atau meningkatkan koalisi antar bulir-bulir kristal penyusun lapisan. Selain itu, penambahan konsentrasi prekursor mampu meningkatkan adhesi antar permukaan lapisan. Mode penumbuhan lapisan ini masih bersifat mode penumbuhan pulau-pulau (islands growth). Hasil morfologi dengan konsentrasi prekursor 0,5 M telah menunjukkan performansi yang lebih bagus dibandingkan lapisan dengan molaritas 0,3 M dan 0,4 M.



Gambar 3. Morfologi Permukaan Lapisan Tipis TiO₂ dengan Variasi Molar Prekursor TiO₂.

Hasil Uji Pengolah Air Bersih

Sistem pengolah air bersih telah dibuat, terdiri dari 2 pompa yang bertujuan untuk mengalirkan air kotor ke bak penampungan pertama, dan pompa kedua untuk mensirkulasikan air yang telah melewati biofilter untuk diolah melalui reaktor foto katalis TiO₂ yang diaktifasi dengan menggunakan lampu UV sebanyak 2 buah masing-masing dengan daya 10 W. Hasil-hasil pengolahan air telah diujikan sifat kimia dan biologis nya antara lain uji kandungan Biological Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) pada air hasil pengolahan ditunjukkan tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji BOD dan COD.

Kadar	AL	SM-3	SM-6	UV-3	UV-6	Air Bersih
BOD (mg/l)	21,69	15,74	14,21	14,19	5,76	< 10
COD (mg/l)	87,60	36,86	31,82	38,80	25,22	20

Tabel 1 memperlihatkan bahwa setelah melalui proses *treatment* air polder tawang mengalami penurunan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) dan BOD (*Biological Oxygen*

Demand). BOD adalah parameter penduga jumlah oksigen yang diperlukan oleh perairan untuk mendegradasi bahan organik yang dikandungnya, sekaligus merupakan gambaran bahan organik mudah urai (*biodegradable*) yang ada dalam air atau perairan yang bersangkutan. COD adalah parameter penduga jumlah total bahan organik yang ada dalam air atau perairan, baik yang mudah urai maupun yang sulit urai. Dengan membandingkan nilai COD dan BOD, akan diketahui gambaran jumlah bahan organik persisten (sulit urai) yang terkandung di dalamnya. Semakin menurunnya kadar COD dan BOD maka tingkat pencemaran pada air polder tawang mengalami penurunan setelah melalui proses *treatment* dengan lapisan tipis TiO₂.

Reaksi fotokatalisis dilakukan terhadap air polder tawang (sampel air limbah). Reaksi fotokatalisis dilakukan dalam sebuah reaktor yang dilengkapi dengan lampu UV-C *Sankyo Denki GIOT8* 10 Watt. Sinar UV-C mampu mengeksitasi elektron TiO₂. Eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi yang pada akhirnya akan menghasilkan gugus radikal hidroksil (*OH) yang merupakan oksidator kuat, sehingga mampu mengoksidasi senyawa organik. Radikal-radikal ini akan terus menerus terbentuk selama TiO₂ disinari dengan sinar UV. Radikal tersebut akan menyerang polutan sehingga polutan yang ada pada air polder tawang tersebut akan terdegradasi. Dari hasil eksperimen diperoleh perlakuan yang terbaik adalah dengan pemaparan lampu ultra violet selama 6 jam telah mampu menurunkan kadar BOD dan COD berturut-turut 72,5% dan 71,2%.

KESIMPULAN

Telah berhasil dideposisi lapisan tipis TiO₂ kristalin di atas substrat gelas dengan metode sol-gel teknik *spray-coating* dengan temperatur sintering 450°C. Hasil pengujian struktur kristal dengan x-ray diffractometer (XRD) menunjukkan bahwa semakin tebal lapisan tipis TiO₂ maka kualitas kristal dari lapisan tipis TiO₂ meningkat. Hal ini ditunjukkan dengan semakin menurunnya nilai FWHM. Selain itu, semakin tinggi molaritas prekursor TTP menghasilkan komposisi oksigen (O) yang semakin tinggi dan pola keretakan pada morfologi permukaan lapisan tipis TiO₂ semakin menurun. Hasil pengujian kadar BOD dan COD pada sampel air limbah yang telah diproses pada sistem pengolahan air mengalami penurunan kadarnya berturut-turut untuk BOD sebesar 72,5% (5,76 mg/L) dan 71,2% (25,22 mg/L). Sistem pengolahan yang telah dibuat juga telah mampu mereduksi bau pada air limbah dan dapat menjernihkan air limbah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas pendanaan riset dari DP2M Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementrian Pendidikan Nasional Republik Indonesia, melalui proyek Hibah Penelitian Strategis Nasional, dengan Judul “Pembuatan Sistem Pengolah Air Bersih Menggunakan Material Foto Katalis Titania (TiO₂) dan Silika (SiO₂)”, 2010 dengan No Kontrak No.: 154/SP2H/PP/DP2M/III/2010.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Khairurrujal, dan Mahfudz, H., 2009, *Pendekatan Baru Penjernihan Air Limbah: Berbasis Nanomaterial dan Zero Energy*, Bandung: Berita Penelitian ITB
- Akhadi, M., 2004, *Unjuk Kerja Pemantau Radiasi Semikonduktor*, Jakarta: Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir – BATAN
- Amrina, Q. H., 2008, *Sintesa Hidroksiapatit Dengan Memanfaatkan Limbah Cangkang Telur: Karakterisasi Difraksi Sinar-X Dan Scanning Electron Microscopy (Sem)*, Bogor: Institut Pertanian Bogor
- Arutanti, O., Abdullah, M., Khairurrijal, dan Mahfudz, H., 2009, *Penjernihan Air Dari Pencemar Organik dengan Proses Fotokatalis pada Permukaan Titanium Dioksida (TiO₂)*, Jurnal nanosains dan Nanoteknologi Edisi khusus, ISSN 1979-088V
- Benedix, R., Dehn, F., Quaas, J., dan Orgass, M., 2000, *Application of Titanium Dioxide Photocatalysis to Create Self-Cleaning Building Materials*, LANCER no. 5,2000
- Carp, O., Haisman, C.L., dan Reller, A., 2004, *Photoinduced Reactivity of Titanium Dioxide*, Progress in Solid State Chemistry 32 (2004) 33-177

- Diebold, U., 2002, *The Surface Science of Titanium Dioxide*, New Orleans: Surface Science Report 48 (2003) 53-229
- Fatimah, is dan Karna, W., 2005, *Sintesis TiO₂/Zeolit Sebagai Fotokatalis Pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tapioka Secara Adsorpsi-Fotodegradasi*, Jogjakarta: TEKNOIN, Vol. 10, No. 4, Desember 2005, 257-267
- Hilton, A. R., 2010, *Chalcogenide Glasses for Infrared Optics*, Texas: Amorphous Materials, Inc
- Iliopoulos, Eleftherios., 2002. *Growth Kinetics and Investigations of Spontaneous Formation of Superlattices in AlGa_N Alloys*. Disertasi Doktor. Boston University.
- Kajitvichyanukul, P., Ananpattarachai, J., dan Pongpom, S., 2005, *Sol-gel preparation and properties study of TiO₂ thin film for photocatalytic reduction of chromium(VI) in photocatalysis process*, Science and Technology of Advanced Materials 6 (2005) 352-358
- Prawara, B., 2006, *Rancang Bangun Thermal Spray Coating Dengan Menggunakan Sistem High Velocity Oxygen Fuel*. Kegiatan: 4977.0127: Rekayasa Peralatan
- Priowirjanto, G., 2003, *Ilmu Bahan Listrik*. Jakarta: Dikmenjur
- Ramamurthy, V. dan Schanze, K. S., 2003, *Semiconductor Photochemistry and Photophysics*. USA: Marcel Dekker, Inc
- Setiawan, jan, 2006, *Kajian Pemutakhiran Penyimpan Citra Sem*, Jeol Jsm 840a, Dengan Memanfaatkan Modul Tvd, Hasil-hasil Penelitian EBN, ISSN 0854 – 5561
- Smallman dan Bishop, 2000, *Metalurgi Fisik Modern Dan Rekayasa Material*, Jakarta: Erlangga
- Stamate, M. dan Gabriel, L., 2007, *Application of Titanium Dioxide Photocatalysis to Create Self-Cleaning Materials*, Romania: Bacau University, Bacau, Calea Marasesti nr. 157
- Slamet, Ellyana, M., dan Bismo, S., 2008, *Modifikasi Zeolit Alam Lampung Dengan Fotokatalis TiO₂ Melalui Metode Sol Gel dan Aplikasinya Untuk Penyisihan Fenol*, Depok: Jurnal Teknologi, Edisi No. 1 Tahun XXII, Maret 2008, 59-68 ISSN 0215-1685
- Usman, I. dan Winata, T., 2008, *Pengaruh Ketebalan Lapisan Aktiv Terhadap Karakteristik sel Surya Berbasisi a-Si: H yang Ditumbuhkan dengan Teknik HWC-VHF-PECVD*. Bandung : Jurnal Matematika dan Sains, Desember 2008, Vol. 13 no 4
- Weldon, D. G., 2009, *Failure Analysis of Paints and Coatings*. USA: Weldon Laboratories, inc, Imperial
- Weber, J., Grove, M., Kocur, G. J., dan Lakes, L., 2004, *Method For Spray-Coating a Medical Device Having a Tubular Wall Such as a Stent*. Weber et al, US 6,743,463 B2, Jun. 1, 2004.