

SINTESIS LAPISAN TIPIS NANOKOMPOSIT TiO₂/CNT MENGUNAKAN METODE SOL-GEL DAN APLIKASINYA UNTUK FOTODEGRADASI ZAT WARNA AZO ORANGE 3R

Rizky Bimanda Sakti, Agus Subagio, dan Heri Sutanto
Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang
E-mail: rizkybimanda@gmail.com

ABSTRACT

Nanocomposite thin film of TiO₂/CNT as a photocatalyst material was synthesized using the sol-gel method with the dispersion of commercial TiO₂ Merck in CNT. The crystal structure and nanocomposite thin film morphology of TiO₂/CNT were characterized using X-Ray Diffraction (XRD) and Scanning Electron Microscopy (SEM). Sol TiO₂ 0.3 M was mixed into the sol CNT with mass ratio of CNT:TiO₂ was 1:5. Sol TiO₂/CNT was sprayed on a glass substrate that was heated at a temperature of 250 °C, then it was heated at the temperature of 450 °C for 60 minutes. Photodegradation was done by dipping the nanocomposite thin film of TiO₂/CNT into 100 mL Azo Orange 3R dye sol 10 ppm, then was irradiated using UV light with a wavelength 380 nm. XRD pattern analysis showed that TiO₂ has anatase structure with crystallite size at the range from 72-92 nm by using Scherrer equation. SEM image analysis showed that the grains of TiO₂ spheris pattern and was dispersed on CNT. Refluks TiO₂/CNT nanocomposite thin film had been able to degrade Azo Orange 3R dye sol for 12 hours until percentage of 98,2% which was much better than the non reflux TiO₂/CNT nanocomposite thin film as 97,2% and the TiO₂ thin film as 90,9%.

Keywords : TiO₂, carbon nanotubes, thin film, nanocomposite, photodegradation, Azo Orange 3R dye.

ABSTRAK

Lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT sebagai material fotokatalis telah disintesis menggunakan metode *sol-gel* melalui pendispersian TiO₂ Merck komersial pada CNT. Struktur kristal dan morfologi lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)* dan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. *Sol* TiO₂ 0,3 M dicampurkan ke dalam *sol* CNT dengan rasio massa CNT:TiO₂ adalah 1:5. *Sol* TiO₂/CNT yang terbentuk disemprotkan pada substrat kaca yang telah dipanaskan pada temperatur 250 °C, selanjutnya dipanaskan pada temperatur 450 °C selama 60 menit. Fotodegradasi dilakukan dengan mencelupkan lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT ke dalam 100 ml larutan zat warna Azo Orange 3R 10 ppm, kemudian diiradiasi menggunakan cahaya UV dengan panjang gelombang 380 nm. Analisis pola XRD menunjukkan bahwa TiO₂ memiliki struktur *anatase* dengan ukuran kristalit dalam rentang 72-92 nm dengan menggunakan persamaan Scherrer. Analisis citra SEM menunjukkan bahwa bulir TiO₂ berbentuk sferis dan terdispersi pada CNT. Lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT refluks mampu mendegradasi zat warna Azo Orange 3R selama 12 jam sampai dengan prosentase sebesar 98,2 % yang jauh lebih baik dari lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT non refluks sebesar 97,2 % dan lapisan tipis TiO₂ sebesar 90,9 %.

Kata kunci : TiO₂, *carbon nanotubes*, lapisan tipis, nanokomposit, fotodegradasi, dan zat warna Azo Orange 3R.

PENDAHULUAN

Zat warna azo termasuk dalam kelompok bahan aromatik yang sukar terdegradasi secara biologi karena adanya ikatan azo [1]. Rendahnya tingkat degradabilitas senyawa azo secara biologi disebabkan oleh sifat penguraian bakteri aerob yang secara alamiah terdapat di lingkungan hanya mampu mendegradasi satu senyawa azo

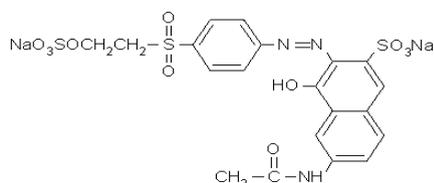
tertentu dan kurang efisien untuk mengolah campuran warna yang umumnya dijumpai dalam air limbah industri [2]. Sementara itu, kebanyakan bakteri yang aktif pada kondisi anaerobik akan mereduksi senyawa azo menjadi aromatik amina yang bersifat toksik dan karsinogenik [3].

Salah satu cara degradasi polutan yang kini dikembangkan adalah proses

fotokatalis dengan semikonduktor [4]. TiO_2 adalah salah satu semikonduktor yang banyak digunakan sebagai fotokatalis untuk mengolah limbah-limbah organik karena bersifat inert, stabil dan pengoksidator kuat [5]. Fotokatalis dapat mendegradasi senyawa-senyawa organik dengan mengubahnya menjadi produk inorganik yang aman bagi lingkungan yaitu CO_2 dan H_2O [6]. Daya adsorpsi yang lemah oleh kebanyakan semikonduktor merupakan masalah bagi proses fotokatalis. Untuk menutupi kekurangan tersebut, maka proses fotokatalis oleh semikonduktor perlu ditopang dengan suatu adsorben sebagai penyangga [7]. Salah satu material adsorben yang baik adalah *carbon nanotubes* (CNT), material adsorben CNT menyerap hampir dua kali lebih volume CO_2 jika dibandingkan dengan karbon aktif [8]. Penelitian ini bertujuan membuat lapisan tipis nanokomposit TiO_2/CNT pada permukaan gelas dengan metode *sol-gel* dan meningkatkan efektifitas fotodegradasi senyawa azo. Dengan menggabungkan material fotokatalis dengan CNT, diharapkan memperluas permukaan TiO_2 sehingga kontak material fotokatalis dengan polutan menjadi lebih efektif. Selain itu, adsorben yang digunakan tidak perlu diregenerasi karena polutan yang menempel pada adsorben akan didegradasi oleh material fotokatalis sehingga kejenuhan adsorben dapat dihindari [9].

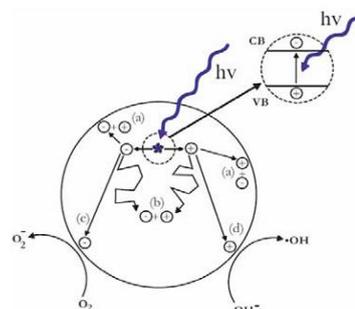
DASAR TEORI

Zat warna azo adalah senyawa yang paling banyak terdapat dalam limbah tekstil, yaitu sekitar 60 % - 70 %. Senyawa azo memiliki memiliki gugus $-\text{N}=\text{N}-$ yang dinamakan struktur azo. Gambar 1 menunjukkan struktur senyawa Azo Orange 3R.



Gambar 1. Struktur Kimia Azo Orange 3R [10].

Fotokatalis merupakan suatu proses kombinasi antara proses fotokimia dan katalis, yaitu suatu proses sintesis secara kimiawi dengan melibatkan cahaya sebagai pemicu dan katalis sebagai pemercepat proses transformasi tersebut [9]. Proses fotokatalis diawali dengan terbentuknya pasangan elektron-hole positif (e^- ; h^+) dalam partikel semikonduktor. Kemudian pasangan elektron-hole positif mengalami reaksi reduksi oksidasi menghasilkan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$). Radikal hidroksil inilah yang diduga mendegradasi polutan organik berbahaya. Gambar 2 menjelaskan Ilustrasi skematis proses fotokatalis pada suatu semikonduktor.



Gambar 2. Ilustrasi skematis proses fotokatalis pada suatu semikonduktor [5]

Persamaan prosentase degradasi adalah

$$\% \text{ degradasi} = (C_o - C_t) / C_o \times 100\% \quad (1)$$

dengan C_o adalah konsentrasi awal, C_t adalah konsentrasi akhir.

CNT merupakan material karbon berbentuk tabung dengan ukuran nanometer. CNT memiliki luas permukaan yang besar dan mampu menyerap benzene, methanol, dan molekul lain [11]. Selain itu, CNT dapat menyerap hampir dua kali lebih volume CO_2 jika dibandingkan dengan karbon aktif [8]. Berkaitan dengan material fotokatalis TiO_2 , CNT mampu meningkatkan fotodegradasi TiO_2 karena CNT membantu meningkatkan luas permukaan spesifik TiO_2 . Selain itu, CNT mampu mencegah rekombinasi elektron pada TiO_2 . Rekombinasi elektron yang telah

tereksitasi pada proses fotodegradasi dapat mengganggu proses fotodegradasi.

Teknik preparasi mempunyai peran penting dalam menentukan jenis kristal yang akan dihasilkan, ukuran, dan keseragaman dari lapisan tipis TiO₂. Lapisan tipis merupakan material dengan ketebalan tidak lebih dari 10 μm yang melapisi suatu substrat dan didefinisikan sebagai material berdimensi rendah yang terbentuk melalui proses kondensasi ion/molekul/atom suatu materi. Beberapa metode telah digunakan untuk melapiskan film TiO₂, termasuk *sol-gel*, *dip-coating*, deposisi uap kimia, deposisi uap fisik, deposisi *elektroforesis*, *sputtering*, oksidasi logam induk (Ti) dan *spray coating* [12].

Contoh *spray coating* adalah pembentukan partikel yang dimulai dari koloid. Koloid mula-mula di *spray* sehingga terbentuk droplet (butiran) yang mengandung partikel-partikel koloid. Saat melewati pemanas, zat cair menguap dan droplet berubah menjadi partikel berukuran beberapa mikrometer atau submikrometer [13]. *Spray coating* merupakan metode yang sederhana untuk membuat lapisan tipis dan menghasilkan butiran nanopartikel yang seragam [14].

METODE PENELITIAN

Lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT sebagai material fotokatalis disintesis menggunakan metode *sol-gel* melalui pendispersian TiO₂ Merck komersial pada CNT. Sol TiO₂ 0,3 M dicampurkan ke dalam sol CNT dengan rasio massa CNT:TiO₂ adalah 1:5. Penambahan TEOS (*Tetra Ethyl Ortho Silicate*) sebanyak 2% dari total volume pelarut, kemudian dilakukan pengadukan dan sonifikasi. Sol TiO₂/CNT yang terbentuk disemprotkan pada substrat kaca yang telah dipanaskan pada temperatur 250 °C, selanjutnya dipanaskan pada temperatur 450 °C selama 60 menit.

Struktur kristal dan morfologi lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

Fotodegradasi dilakukan dengan mencelupkan lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT ke dalam 100 ml larutan zat warna Azo Orange 3R 10 ppm, kemudian diiradiasi menggunakan cahaya UV dengan panjang gelombang 380 nm. Pengukuran konsentrasi (ppm) zat warna Azo Orange 3R sebelum dan sesudah mengalami proses fotodegradasi dilakukan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 463 nm yang merupakan nilai absorbansi maksimum dari zat warna Azo Orange 3R. Proses fotodegradasi dilakukan pada 100 ml zat warna Azo Orange 3R selama 12 jam.

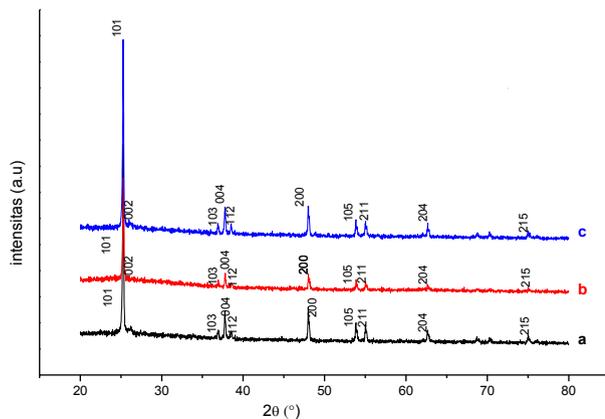
HASIL DAN PEMBAHASAN

Mikrostruktur Lapisan Tipis Nanokomposit TiO₂/CNT

Spektra XRD hasil pengujian struktur lapisan tipis TiO₂ komersial, lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT non refluks dan lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT refluks ditunjukkan pada gambar 3. Puncak difraksi yang kuat dan tajam menunjukkan sampel memiliki kristalinitas yang baik. Pada sampel a memiliki sembilan puncak difraksi yaitu pada bidang-bidang orientasi (101), (103), (004), (112), (200), (105), (211), (204) dan (215). Identifikasi data menggunakan program ICDD-PCPDF WIN *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* menunjukkan kesesuaian antara pola difraksi data sampel dengan pola difraksi data referensi JCPDS nomor 21-1272. Dapat diketahui bahwa TiO₂ komersial tersebut memiliki struktur *anatase*.

Pada sampel b dan c memiliki sepuluh puncak difraksi yang sama yaitu pada bidang-bidang orientasi (101), (002), (103), (004), (112), (200), (105), (211), (204) dan (215). Identifikasi data menggunakan program ICDD-PCPDF WIN *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* menunjukkan kesesuaian antara pola difraksi data sampel dengan pola difraksi data referensi JCPDS nomor 21-1272 dan JCPDS

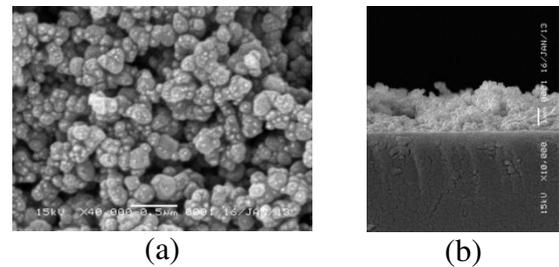
41-1487. Dapat diketahui bahwa TiO_2 tersebut memiliki struktur *anatase*, sedangkan struktur grafit ditunjukkan pada bidang orientasi (002) yang merupakan spektra difraksi dari CNT.



Gambar 3. Spektra XRD (a) lapisan tipis TiO_2 (b) lapisan tipis nanokomposit TiO_2/CNT non refluks (c) lapisan tipis nanokomposit TiO_2/CNT refluks

Ukuran kristalit dihitung menggunakan persamaan Scherrer dan untuk menentukan nilai *full width at half maximum* (FWHM) dengan fitting menggunakan Microcal Origin Pro 8.0. Ukuran kristalit memberikan nilai sebesar 72,68 nm untuk lapisan tipis TiO_2 ; 87,61 nm untuk lapisan tipis nanokomposit TiO_2/CNT non refluks dan 91,24 nm untuk lapisan tipis nanokomposit TiO_2/CNT refluks.

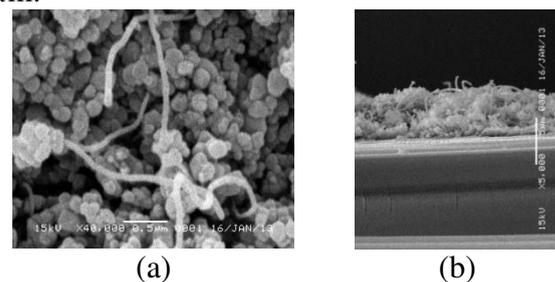
Hasil pengujian SEM berupa citra morfologi permukaan lapisan TiO_2 diperlihatkan pada gambar 4 (a) tampak bahwa ukuran bulir-bulir lapisan TiO_2 tidak seragam, saling menyatu (aglomerasi), memiliki bentuk bulat (*sferis*) dengan diameter bulir rata-rata sebesar 180 nm. Hasil pengujian SEM berupa penampang lintang lapisan TiO_2 diperlihatkan pada gambar 4 (b). Tampak bahwa ukuran bulir-bulir lapisan TiO_2 tidak seragam. Bulir TiO_2 memiliki bentuk bulat (*sferis*) dengan ketebalan lapisan sekitar 2,5 μm . Bulir-bulir tersebut tersusun oleh kristalit-kristalit kecil yang menunjukkan bahwa lapisan TiO_2 bersifat polikristalin sesuai dengan pola difraksinya.



Gambar 4. Citra SEM lapisan tipis TiO_2 (a) permukaan (b) penampang lintang

Hasil pengujian SEM morfologi permukaan lapisan tipis nanokomposit TiO_2/CNT diperlihatkan pada gambar 5 (a). Tampak bulir-bulir TiO_2 memiliki bentuk sferis, ukuran bulir-bulir TiO_2 hampir homogen, bulir lebih terdispersi (tidak muncul aglomerasi yang kuat). Hal tersebut menguatkan dugaan bahwa penambahan CNT memperkecil aglomerasi. Bulir TiO_2 menempel pada permukaan dinding CNT dengan diameter rata-rata sebesar 178,6 nm. Ukuran bulir TiO_2 pada lapisan tipis nanokomposit TiO_2/CNT lebih kecil dari ukuran bulir TiO_2 pada lapisan tipis TiO_2 . Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan CNT memperluas permukaan TiO_2 .

Citra SEM penampang lintang lapisan tipis nanokomposit TiO_2/CNT refluks diperlihatkan pada gambar 5 (b). Tampak bahwa bulir-bulir TiO_2 yang berbentuk *sferis* menempel pada CNT dan dapat dianalisis bahwa lapisan tipis nanokomposit TiO_2/CNT refluks memiliki ketebalan lapisan sekitar 5 μm .

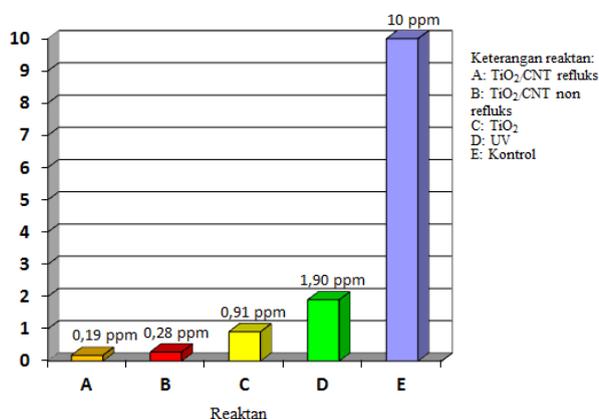


Gambar 5. Citra SEM lapisan tipis nanokomposit TiO_2/CNT refluks (a) permukaan (b) penampang lintang

Fotodegradasi Zat Warna Azo Orange 3R Menggunakan Lapisan Tipis Nanokomposit TiO₂/CNT

Grafik konsentrasi zat warna Azo Orange 3R setelah fotodegradasi dengan lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT dan cahaya UV ditampilkan pada gambar 6. Penurunan konsentrasi paling efektif terjadi pada lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT refluks, yaitu sebesar 0,18 ppm. Pemurnian pada CNT menyebabkan berkurangnya pengotor Fe. Hal ini memudahkan TiO₂ terdispersi dengan baik pada CNT, sehingga diduga memperluas permukaan TiO₂ yang berpengaruh pada meningkatnya interaksi antara material fotokatalis dengan polutan.

Penurunan cukup efektif terjadi pada lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT non refluks, yaitu sebesar 0,28 ppm. Hal ini juga diduga terjadi kombinasi adsorpsi dan degradasi, namun tidak seefektif lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT refluks. CNT non refluks diduga masih banyak pengotor Fe. Pengotor Fe menyebabkan TiO₂ yang terdispersi pada CNT kurang merata, sehingga hanya berpengaruh kecil terhadap penambahan luas permukaan TiO₂. Pada lapisan tipis TiO₂ terjadi penurunan sebesar 0,91 ppm yang diduga juga terjadi kombinasi adsorpsi dan degradasi. Kemampuan adsorpsi dan degradasi lapisan tipis TiO₂ tidak terlalu kuat.



Gambar 6. Degradasi konsentrasi zat warna Azo Orange 3R pada fotodegradasi selama 12 jam dengan variasi reaktan

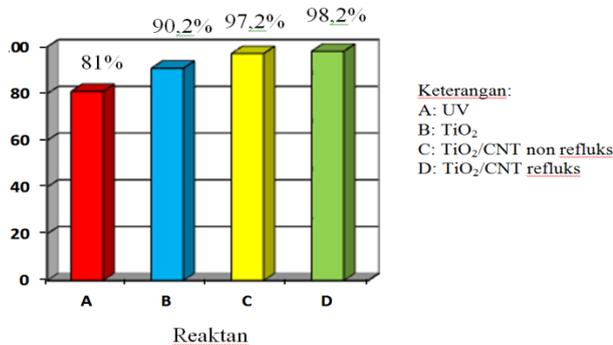
Zat warna Azo Orange 3R yang disinari cahaya UV saja terjadi penurunan konsentrasi sebesar 1,90 ppm. Hal ini terjadi akibat pemecahan sebagian rantai zat warna Azo Orange 3R. Gambar 7 menunjukkan perubahan warna setelah mengalami fotodegradasi selama 12 jam pada variasi reaktan.



Gambar 7. Warna sampel hasil fotodegradasi selama 12 jam: (a) Lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT refluks, (b) Lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT non refluks, (c) Lapisan tipis TiO₂ (d) UV (e) control

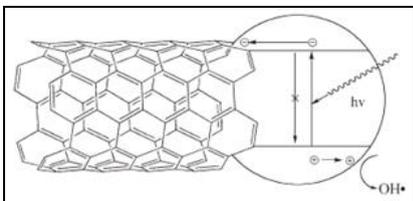
Fotodegradasi zat warna Azo Orange 3R menggunakan lapisan tipis komposit TiO₂/CNT terjadi melalui proses adsorpsi zat warna Azo Orange 3R ke permukaan partikel fotokatalis. TiO₂ yang disinari sinar UV secara simultan menghasilkan radikal hidroksil yang berperan dalam proses fotodegradasi terhadap zat warna Azo Orange 3R.

Presentase degradasi konsentrasi zat warna Azo Orange 3R selama 12 jam menggunakan variasi reaktan diperlihatkan pada gambar 8. Tampak bahwa presentase degradasi konsentrasi zat warna Azo Orange 3R selama 12 jam ketika dibandingkan dengan konsentrasi awal sampel berturut-turut menunjukkan nilai 81 % untuk UV; 90,2% untuk lapisan tipis TiO₂; 97,2% untuk lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT non refluks; dan 98,2% untuk lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT refluks. Presentase degradasi zat warna Azo Orange 3R pada penelitian ini paling besar terjadi pada lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT refluks yaitu sebesar 98,2%.



Gambar 8. Prosentase degradasi konsentrasi zat warna Azo Orange 3R pada fotodegradasi selama 12 jam dengan variasi reaktan

Menurut [15], ada beberapa hal yang menyebabkan CNT mampu meningkatkan fotodegradasi TiO₂. Pertama, CNT membantu meningkatkan luas permukaan spesifik TiO₂. Pada penelitian ini, hal tersebut ditunjukkan dengan ukuran bulir TiO₂ pada lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT refluks lebih kecil dari ukuran bulir TiO₂ pada lapisan tipis TiO₂, seperti dilihat pada citra SEM gambar 4 (a) dan 5 (a). Kedua, CNT mampu mencegah rekombinasi elektron pada TiO₂, rekombinasi elektron dapat mengganggu proses fotodegradasi. CNT merupakan bahan konduktor, sehingga elektron di pita konduksi TiO₂ dapat didistribusi ke CNT, kemudian elektron disimpan oleh CNT. Hal ini sesuai dengan [16], CNT dapat menyimpan elektron yang dieksitasi oleh cahaya secara efektif dalam TiO₂ yang terdispersi ke dinding CNT. CNT memiliki kapasitas penyimpanan elektron yang besar (satu elektron untuk tiap 32 atom karbon). Dengan demikian rekombinasi dapat dihindari selama fotodegradasi. Ilustrasi mekanisme transfer elektron dari TiO₂ ke CNT dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Mekanisme transfer elektron dari TiO₂ ke CNT [17]

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT telah berhasil disintesis menggunakan metode *sol-gel*, dengan teknik pelapisan *spray-coating*.
2. Penggunaan lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT refluks pada larutan zat warna Azo Orange 3R mampu menurunkan konsentrasi dari 10 ppm menjadi 0,19 ppm selama 12 jam.
3. Lapisan tipis nanokomposit TiO₂/CNT refluks mampu mendegradasi zat warna Azo Orange 3R selama 12 jam sampai dengan prosentase 98,2 % yang lebih baik dari lapisan tipis TiO₂ dengan prosentase 90,9 %. Hal ini karena TiO₂ yang dikomposit CNT memiliki ukuran bulir lebih kecil sehingga memperluas permukaan TiO₂. Selain itu, CNT juga berperan mencegah rekombinasi elektron pada TiO₂ sehingga meningkatkan efektifitas fotokatalis TiO₂ pada proses fotodegradasi zat warna Azo Orange 3R.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Leisinger, T., dan Brunner, W., 1986, *Poorly Degradable Substances, dalam Biotechnology, a Comprehensive Treatise in Eight Volumes, Vol 8: Microbial Degradations*, editors: Rehm, H.J., dan Reed, G., VCH Verlagsgesellschaft MBH, Weinheim, FRG, hal 497-498.
- [2]. Cripps, C., J.A. Bumpus, dan S.D. Aust, 1990, *Biodegradation of Azo and Heterocyclic Dyes by Phanerochaete chrysosporium*, *Applied and Environmental Microbiology*, 56(4): 1114-1118.

- [3]. Pasti-Grigsby, M.B., A. Paszczyński, S. Goszczyński, D.L. Crawford, dan R.L. Crawford, 1992, *Influence of Aromatic*
- [4]. Litter, M.I., dan Navio, J.A., 1996, *Photocatalytic properties of iron doped titania semiconductors*, *J. Photochem, Photobiol, A:Chemistry*, 98, 171-181.
- [5]. Gunlazuardi, 2001, *Fotokatalis Pada Permukaan TiO₂:Aspek Fundamental dan Aplikasinya*, Prosiding Seminar Nasional Kimia Fisika II, Jakarta, hal 1-15.
- [6]. Matos, J., J. Laine, and J.M. Herrmann, 1998, *Synergy effect in the photocatalytic degradation of Phenolon a Suspended Mixture of Titania and Activated*
- [7]. El-Maazawi, M., Finken, A.N., Nair, A.B., Grassian, A.V., 2000, *Adsorption and Photocatalytic Oxidation of Acetone on TiO₂: An in Situ Transmission FT-IR Study*, *J. Catal.*, 191, hal, 138-146.
- [8]. Meyyappan, M., 2005, *Carbon Nanotubes Science and Applications*, NASA Ames Research Center Moffet Field, CA CRC PRESS, Boca Raton London New York Washington, D.C.
- [9]. Slamet, Bismo, S., Rita, A., 2007, *Modifikasi Zeolit Alam dan Karbon Aktif dengan TiO₂ serta Aplikasinya sebagai Bahan Adsorben dan Fotokatalis untuk Degradasi Polutan Organik*, Laporan Penelitian Hibah Bersaing Universitas Indonesia.
- [10]. Swamy dan Ramsay, 1999, *The evaluation of white rot fungi in the decoloration of textile dyes*, *Microb. Technol*, 24: 130–137.
- [11]. Eswaramoorthy, M., Rahul, Sendan C. N., R. Rao, 1999, *A Study Of Micropores In Single-Walled Carbon Nanotubes By The Adsorption Of Gases And Vapors*, Chemistry and Physics of Materials Unit, Jawaharlal Nehru Centre for Advanced Scientific Research, Jakkur P.O., Bangalore 560064, India.
- [12]. Colmenares, dkk, 2009, *The effects of thermal spray technique and post-deposition treatment on the photocatalytic activity of TiO₂ coatings*, science direct: *Surface & Coatings Technology* 204 (2009) 423–427.
- [13]. Abdullah, M., 2008, “*Pengantar Nanosains*”, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [14]. Vicent, dkk, 2011, *Dispersion of TiO₂ nanopowders to obtain homogeneous nanostructured granules by spray-drying*, *Journal of the European Ceramic Society* 31 (2011) 1413–1419.
- [15]. Lee, Sung-Hwan., 2004, *Photocatalytic Nanocomposite Based on TiO₂ And Carbon Nanotubes*, Disertasi, University of Florida, Florida.
- [16]. Woan, Karran, Pyrgiotakis, Georgios, Sigmund, Wolfgang, 2009, *Photocatalytic Carbon Nanotube-TiO₂ Composites*, *Advanced Materials*, 21, 223.

