

Pengaruh Pelapisan Titanium Dioksida (TiO_2) Pada Plat Kaca Terhadap Efektivitas Fotodegradasi *Methyl Orange* Menggunakan Metode Sodis (Solar Disinfection Water)

Qurrotul Ayun , Rosyid Ridho, Eko Malis

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas PGRI
Banyuwangi

Email korespondensi*: rosyidridho@gmail.com

Maret 2019

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan TiO_2 -Plat Kaca untuk fotokatalis dan pengujian aktivitas katalitiknya dalam proses fotodegradasi zat warna *Methyl Orange*. Pembuatan TiO_2 -Plat Kaca dilakukan dengan melapiskan larutan TiO_2 yang mengandung etanol pada substrat kaca. Struktur kristalnya dianalisis menggunakan difraktometer sinar-X (XRD). Pada penelitian ini analisis difraktometer sinar-X (XRD) dilakukan untuk mengetahui telah terbentuk atau tidaknya fotokatalis. Hasil dari XRD menunjukkan bahwa fotokatalis TiO_2 -Plat Kaca telah terbentuk dan kristal yang terbentuk ialah anatase. Pengujian aktivitas fotokatalis dilakukan dengan mereaksikan 0,01 gram TiO_2 Serbuk serta mereaksikan 2 buah TiO_2 -Plat Kaca untuk mendegradasi 50 mL larutan *Methyl Orange* 5 ppm yang disinari oleh sinar matahari sebagai sumber cahaya dengan variasi waktu penyinaran (1/2, 1, 2, 4 dan 6 jam). Dari hasil penyinaran menunjukkan bahwa semakin tinggi waktu penyinaran semakin tinggi % *Methyl Orange* terdegradasi, dalam penelitian ini efektivitas fotokatalis terbaik adalah pada waktu 4 dan 6 jam.

Kata Kunci: Fotokatalis, TiO_2 -Plat Kaca, Sodis, Methyl Orange.

PENDAHULUAN

Diera globalisasi saat ini banyak permasalahan pencemaran limbah. Permasalahan tersebut akibat dari berkembangnya industri di Indonesia, berkembangnya industri menyebabkan limbah buang dari industri juga bertambah serta pengolahan limbah buang yang tidak diolah dengan baik. Industri tekstil merupakan salah satu bidang yang berkembang pesat di Indonesia. Umumnya proses industri tekstil akan menghasilkan limbah zat warna non-biodegradable (Wijaya dkk., 2006). Zat warna yang terkandung dalam limbah industri tekstil tersebut diantaranya methyl orange. Zat warna methyl orange ini sangat berbahaya karena dapat menyebabkan alergi, iritasi kulit, serta kanker (Cahyadi, 2006). Peneliti terdahulu pernah melakukan penelitian tentang menanggulangi limbah zat warna dengan metode koagulasi, penukar ion, dan ozonasi. Akan tetapi dengan metode tersebut membutuhkan biaya yang relatif tinggi dalam pengoprasiannya (Widhianti, 2010).

Dalam industri tekstil, Methyl Orange termasuk salah satu zat warna yang sering digunakan. Methyl Orange merupakan salah satu zat warna azo yang digunakan dalam pewarnaan kain. Methyl orange termasuk jenis zat warna azo. Zat warna azo mempunyai sistemkromofor dari gugus azo ($-N=N$) yang berikatan dengan gugus aromatik. Disamping itu, perombakan zat warna azo secara anaerobik pada dasar perairan menghasilkan senyawa amina aromatik yang lebih toksik dibandingkan dengan zat warna azo itu sendiri (Van der Zee, 2002).

Langkah-langkah pengelolaan yang dilaksanakan secara terpadu dapat dimulai dengan upaya meminimalisir limbah (waste minimization), pengolahan limbah (waste treatment), hingga pembuangan limbah (disposal). Pengolahan limbah cair sebagai sampah hasil produksi bertujuan untuk mengurangi volum, konsentrasi, dan toksisitas limbah yang dihasilkan. Untuk itu diperlukan suatu material yang dapat diaplikasikan guna menanggulangi permasalahan limbah cair, terutama limbah yang berasal dari senyawa azo.

Fotokatalis TiO₂ menerima banyak perhatian besar karena secara kimia stabil (Chrysiopoulou, 1998), dan aman bagi manusia (Masahiro, 2001) Fotokatalis dibagi menjadi dua jenis yaitu yang mobil dan imobil (tetap) (Li Zhang, 2000). Fotokatalis yang mobil umumnya berbentuk serbuk. Fotokatalis bentuk serbuk sangat efektif untuk menghancurkan zat organik sebagai polutan seperti zat warna (*methyl orange*) karena luas permukaan yang besar. Tetapi pengumpulan kembalinya menjadi masalah besar, karena itu imobilisasi TiO₂-plat kaca sebagai fotokatalis sangat diperlukan untuk mengatasi masalah ini. Imobilisasi fotokatalis TiO₂ dapat dilakukan dengan berbagai cara. Salah satunya adalah dengan membuat film tipis atau pelapisan TiO₂ (*TiO₂ thin film*). Salah satu keuntungan teknologi film tipis adalah film dapat dilapiskan pada bahan kaca tanpa mengganggu transparansinya. Sebagai fotokatalis yang membutuhkan cahaya, bahan kaca ini dapat menerima radiasi cahaya dengan maksimal.

Dalam penelitian ini digunakan TiO₂ sebagai fotokatalis yang di imobilisasikan pada kaca sebagai bahan alternatif dalam proses fotodegradasi *methyl orange* dengan menggunakan sumber sinar matahari. Semikonduktor mempunyai kemampuan fotokatalitik yang apabila terkena cahaya dengan panjang gelombang yang sesuai, akan menghasilkan oksidator dengan kemampuan untuk mendegradasi sejumlah polutan organik menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana dan lebih aman untuk lingkungan.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang sudah ada, maka Pelapisan TiO₂ pada plat kaca diharapkan dapat mendegradasi *methyl orange* terhadap radiasi sinar matahari dengan pengaruh sumber sinar matahari.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan suatu penelitian tentang **Pengaruh Pelapisan Titanium Dioksida (TiO₂) Pada Plat Kaca Terhadap Efektivitas Fotodegradasi *Methyl Orange* Menggunakan Metode Sodis (Solar Disinfection Water)**

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat peralatan

gelas laboratorium seperti erlenmeyer, beaker glass, spatula besi, spatula kaca, kaca arloji, labu ukur, dll. Satu set alat pengaduk magnetik stirer, neraca analitik, oven merek Memmert, spektrofotometer uv-vis merek Simadzu, plat kaca 1,5 cm x 1,5 cm. Titanium (IV) Isopropoksida buatan e-merck, Aquadest, Aluminium voil, Kertas saring, *Methyl Orange* (KOBICA), aseton buatan Merck KGaA, etanol, H_3PO_4 .

Preparasi Pelapisan TiO_2

Plat kaca tipis berbentuk persegi berukuran 1,5 cm x 1 direndam dengan H_3PO_4 dimana H_3PO_4 sebagai aktivator dibilas dengan aquades, dan dibilas dengan aseton. pada suhu $45^{\circ}C$ selama 1 jam, dan ditimbang.

Pelapisan TiO_2 Pada Plat Kaca

TiO_2 dilapiskan pada plat kaca dengan metode perendaman. Reagen TiO_2 dituangkan ke dalam wadah dimana plat kaca akan direndam, kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $200^{\circ}C$ Proses pelapisan ini dilakukan sebanyak 25 kali hingga didapatkan lapisan putih tipis yang merata pada permukaan plat kaca.

Menentukan Waktu Optimum Degradasi *Methyl Orange*

Katalis TiO_2 plat kaca dimasukkan dalam Erlenmeyer sebanyak 2 buah dan ditambahkan kedalam *Metil Orange* 5 ppm sebanyak 25 mL kemudian diaduk dan disinari matahari langsung dengan variasi waktu yaitu 1/2, 1, 2, 4, dan 6 jam

Mencari Konsentrasi Optimum *Methyl Orange*

Katalis TiO_2 plat kaca dimasukkan dalam erlenmeyer kemudian ditambahkan kedalam konsentrasi *Methyl Orange* 1 ppm, 2,5 ppm, 5 ppm, 10 ppm dan 25 ppm sebanyak 25 mL.

Mencari Penggunaan TiO_2 plat kaca dengan TiO_2 serbuk yang paling efektif terhadap degradasi *Mehtyl Orange*

TiO_2 sebanyak 0,01 gram dalam erlenmeyer kemudian ditambahkan kedalam *Methyl Orange* 5 ppm sebanyak 25 mL kemudian diaduk dan disinari matahari langsung dengan variasi waktu yaitu 1/2, 1, 2, 4, dan 6 jam lalu dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-vis. TiO_2 sebanyak 0,01 gram dalam

erlenmeyer kemudian ditambahkan kedalam konsentrasi *Methyl Orange* 1 ppm, 2,5 ppm, 5 ppm, 10 ppm dan 25 ppm sebanyak 25 mL.

(X-Ray Diffraction) 3.3.2. Analisis Sampel *Methyl Orange*

Analisis sampel konsentrasi *Methyl Orange* menggunakan metode Spektrofoto UV-vis untuk menentukan konsentrasi akhir dari masing-masing sampel yang telah difotodegradasi menggunakan metode sodis (Solar Disinfection Water)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi Fotokatalis TiO₂-Plat Kaca

TiO₂ pada plat kaca akan membuat ukuran partikel TiO₂ menjadi lebih kecil. Ukuran yang kecil akan memberikan luas permukaan fotokatalis yang lebih besar. Selain itu, imobilisasi juga mencegah dispersi TiO₂ dalam larutan sehingga diharapkan aktivitas fotokatalis menjadi lebih tinggi.

Dari pembuatan fotokatalis TiO₂-plat kaca didapatkan hasil TiO₂-plat kaca yang berwarna putih yang mempunyai berat 0,4316 gram.



Gambar 4.4 Plat Kaca dan TiO₂-Plat Kaca

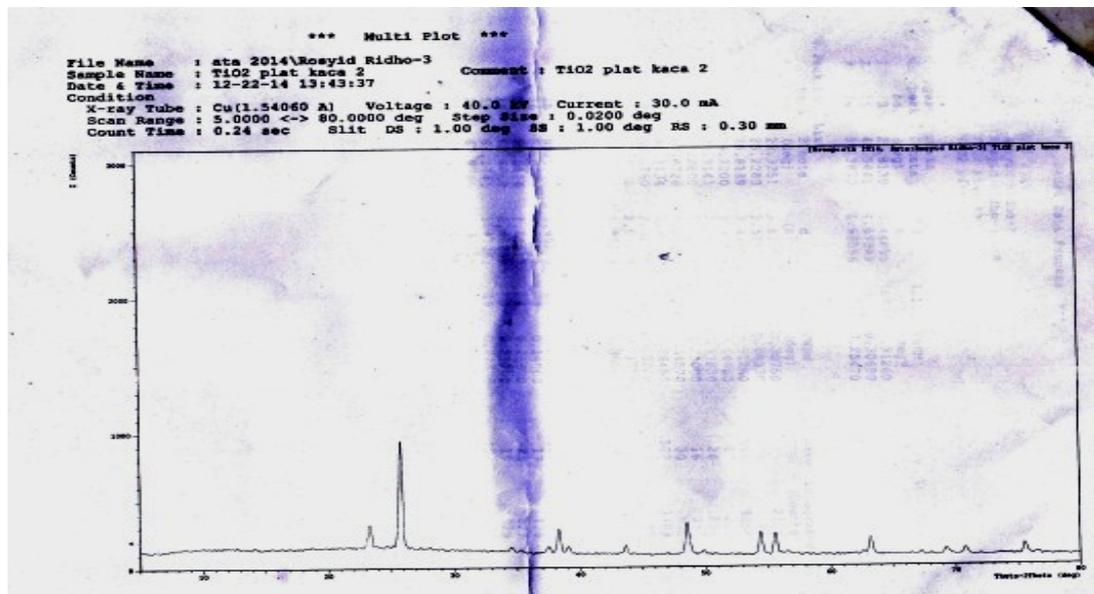
4.2. Karakterisasi XRD TiO₂- Plat Kaca

Karakterisasi XRD pada penelitian ini ialah untuk melihat derajat kristalisasi dari lapisan tipis yang terbentuk dan dianalisis dengan X-Ray Diffraction (XRD).

Gambar 4.2. Data hasil karakterisasi TiO₂ serbuk

Dari data gambar di atas menunjukkan munculnya puncak-puncak pada sudut $2\theta = 25^\circ$ dengan intensitas tinggi, 37° dengan intensitas rendah dan pada sudut

48° dengan intensitas sedang.

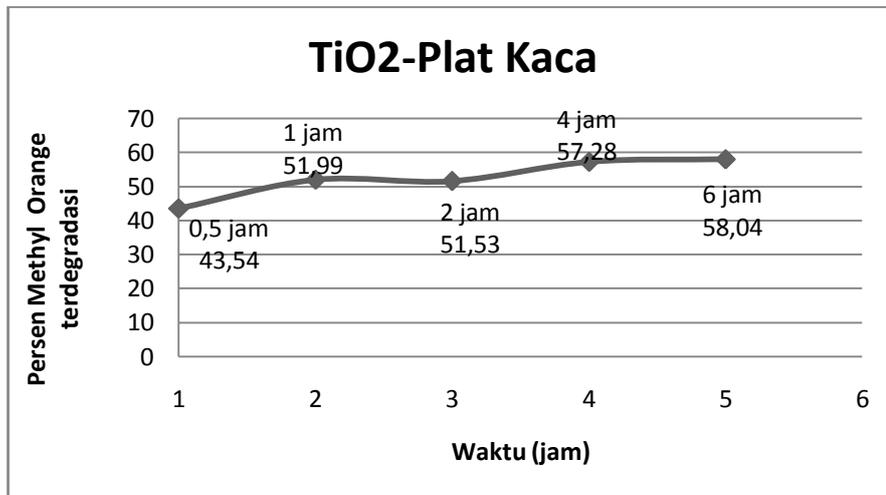


Gambar 4.2.1 Data hasil karakterisasi TiO₂-plat kaca

Untuk serapan pada plat kaca menunjukkan puncak pada sudut $2\theta = 25,8^\circ$ dengan intensitas tinggi, dan $48,5^\circ$ dengan intensitas sedang. Serta serapan pada TiO₂-plat kaca menunjukkan puncak pada sudut $2\theta = 54,3^\circ$ dengan intensitas rendah. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa telah terbentuk TiO₂-plat kaca.

Penentuan Waktu Penyinaran Optimum

Penentuan waktu penyinaran optimum proses fotodegradasi methyl orange dengan katalis TiO₂- Plat Kaca dilakukan dengan variasi waktu penyinaran dengan sinar matahari selama 0,5, 1, 2, 4 dan 6 jam terhadap campuran larutan Methyl Orange 5 ppm dan 2 buah TiO₂- plat kaca. Dari proses tersebut diperoleh hasil yang ditunjukkan pada grafik di bawah ini.



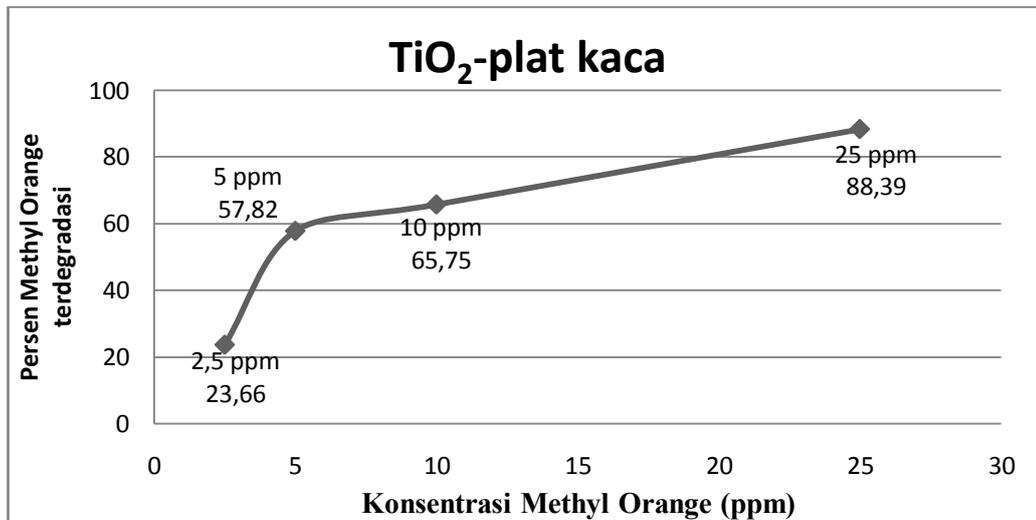
Gambar 4.3.1 Pengaruh variasi waktu terhadap efektivitas fotodegradasi *Methyl Orange*.

Terlihat pada gambar 4.3.1 di atas menunjukkan bahwa semakin lama waktu penyinaran dengan sinar matahari langsung efektivitas fotodegradasi *Methyl Orange* semakin tinggi karena tersedianya energi (foton) yang cukup untuk transisi elektron dari pita valensi ke pita konduksi pada katalis TiO_2 sehingga tersedia hole dan elektron untuk proses degradasi *Methyl Orange*.

4.3.2. Penentuan Variasi Konsentrasi *Methyl Orange* (MO)

Variasi konsentrasi *methyl orange* digunakan untuk mengetahui besarnya konsentrasi *methyl orange* optimum yang mampu didegradasi oleh katalis TiO_2 -Plat Kaca. Proses degradasi *methyl orange* ini berlangsung dengan dikenainya TiO_2 oleh sinar matahari langsung sehingga terjadi eksitasi elektron dari pita konduksi menuju pita valensi. Pita valensi terbentuk hole dan berinteraksi dengan air menghasilkan OH radikal. Pita konduksi terdapat elektron dan bereaksi dengan oksigen membentuk O_2 radikal. OH radikal merupakan spesi oksidator dan O_2 radikal merupakan spesi reduktor.

Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi awal *Methyl Orange* dilakukan dengan penyinaran 25 ml larutan *Methyl Orange* dengan variasi konsentrasi 2.5, 5, 10, 25 ppm dan 2 buah TiO_2 -Plat Kaca, yang ditunjukkan pada gambar 4.3.2 berikut :



Gambar 4.3.2 Pengaruh variasi Konsentrasi *Methyl Orange* terhadap efektivitas TiO₂-plat kaca.

Pada gambar 4.3.2 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi *methyl orange* yang digunakan maka semakin tinggi % terdegradasinya hal ini dikarenakan luas permukaan TiO₂ pada plat kaca lebih besar dari pada TiO₂ Serbuk sehingga untuk penyerapannya pun lebih banyak, oleh sebab itu persen terdegradasi TiO₂-plat kaca semakin tinggi pada konsentrasi 25 ppm sebesar 88,39 %.

4.3.3. Penentuan Penggunaan TiO₂ plat kaca dengan TiO₂ serbuk

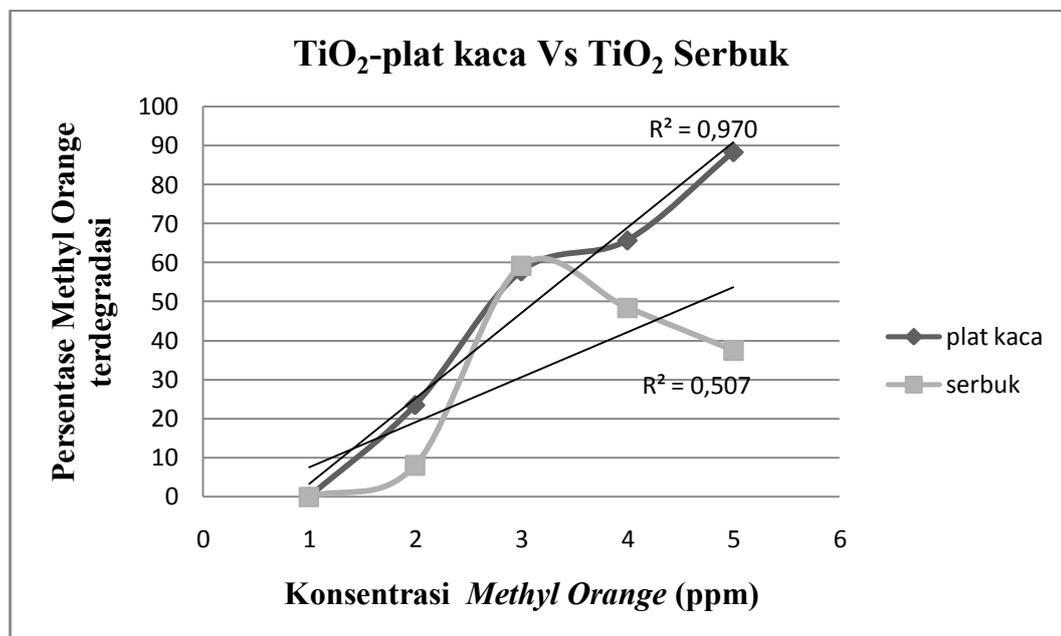
Penentuan Penggunaan TiO₂ plat kaca dengan TiO₂ serbuk bertujuan untuk mengetahui manakah yang memiliki kemampuan efektivitas degradasi paling tinggi yang dilakukan dengan menggunakan analisis varian (ANOVA) dua faktor. Data dari analisis Anova ditunjukkan pada tabel 4.3.3

Tabel 4.3.3 Perhitungan Anova

| ANOVA | | | | | | |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|---------------|
| <i>Source of Variation</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>P-value</i> | <i>F crit</i> |
| Sample | 0,052501 | 1 | 0,052501 | 121155,8 | 2,64E-39 | 4,351243 |
| Columns | 0,126953 | 4 | 0,031738 | 73241,85 | 2,42E-41 | 2,866081 |
| Interaction | 0,039291 | 4 | 0,009823 | 22668,08 | 2,99E-36 | 2,866081 |
| Within | 8,67E-06 | 20 | 4,33E-07 | | | |
| Total | 0,218753 | 29 | | | | |

Dari data Tabel 4.3.3 diatas menunjukkan bahwa nilai F hitung (121155,8) lebih besar dari F tabel (4,351243) maka H_0 ditolak H_1 diterima . Hal ini berarti ada pengaruh antara penggunaan TiO_2 serbuk dan TiO_2 -plat dengan waktu penyinaran terhadap efektifitas fotodegradasi *methyl orange*.

Variasi konsentrasi *Methyl Orange* terhadap pengaruh penggunaan TiO_2 -plat kaca dengan TiO_2 serbuk. Bertujuan Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi awal *methyl orange* yang dilakukan dengan menyinari 25 mL larutan *methyl orange* dengan variasi konsentrasi 2,5 ppm, 5 ppm, 10 ppm dan 25 ppm. Dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.2 Variasi Konsentrasi *Methyl Orange* Terhadap Penggunaan TiO_2 -plat kaca dan TiO_2 serbuk

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa grafik TiO_2 -plat kaca mengalami kenaikan hal ini dikarenakan luas permukaan TiO_2 pada plat kaca lebih besar dari pada TiO_2 Serbuk sehingga untuk penyerapannya pun lebih banyak, oleh sebab itu persentedergradasinya semakin tinggi. Sedangkan pada grafik TiO_2 serbuk mengalami penurunan, karena pada TiO_2 serbuk semakin besar konsentrasi *methyl orange* yang digunakan maka semakin banyak jumlah molekulnya. Banyaknya molekul tersebut menyebabkan kompetisi antar molekul *methyl orange* untuk

terdegradasi oleh katalis TiO_2 serbuk semakin besar. Selain itu, konsentrasi *methyl orange* yang besar akan mempengaruhi sinar matahari yang sampai pada katalis TiO_2 serbuk. Jika sinar matahari yang sampai pada fotokatalis sedikit, maka energi foton yang mengenai fotokatalis juga semakin sedikit dan dapat mengakibatkan kemampuan elektron bereksitasi semakin kecil. Dengan demikian maka akan menghasilkan OH radikal yang semakin sedikit dan kemampuan mengoksidasi semakin menurun.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan diatas maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pelapisan TiO_2 pada Plat Kaca telah berhasil dilakukan dengan metode coating menggunakan larutan TTiP sebagai sumber ion Ti dan disertai dengan kalsinasi pada suhu 200°C dan kristal yang terbentuk pada TiO_2 -plat kaca ialah kristal anatase.
2. Semakin lama waktu penyinaran maka akan meningkatkan efektivitas fotodegradasi larutan *Methyl Orange*.
3. Semakin tinggi konsentrasi awal *Methyl Orange* menghasilkan efektivitas atau % fotodegradasi *Methyl Orange* yang semakin rendah untuk TiO_2 serbuk dan semakin tinggi % terdegradasi *Methyl Orange* untuk TiO_2 -plat kaca..
4. Fotodegradasi terhadap 25 mL larutan *Methyl Orange* 5 ppm dapat tercapai secara maksimal, yaitu sebesar 58,04% untuk TiO_2 -Plat Kaca dengan lama waktu penyinaran selama 6 jam. Dan sebesar 52,76% untuk TiO_2 serbuk dengan lama waktu penyinar selama 4 jam.
5. TiO_2 -plat kaca lebih efektif dalam mendegradasi *Methyl orange* dari pada TiO_2 serbuk.

5.2. Saran

Sebagai upaya pengembangan penelitian perlu dilakukan analisis dengan

menggunakan media lain untuk mendapatkan hasil yang lebih baik serta perlu adanya analisis XRD untuk uji serapan plat kaca.

DAFTAR PUSTAKA

- A.L.Linsebigler, G.Lu JT. Yates. Chem. Rey. 95 (1995) 753
- Amemiya, S. 2004, Titanium-Oxide Photocatalyst, Three Bond Technical News, Vol. 62, Three Bond Company Ltd., Tokyo.
- Cahyadi, W., 2006, *Analisis dan Aspek Kesehatan Bahan Tambahan Pangan*, Jakarta: Bumi Aksara
- Dahlan, D., 2009, Elektrodeposisi of Cu₂O particles by Using Electrolyte Solution Containing Glucopone as Surfactant, Jurnal Ilmiah Fisika (JIF) ISSN 1979-4657.
- Endang, Palupi. 2006. *Degradasi Methylene Blue dengan Metode Fotokatalisis dan Fotoelektrokatalisis Menggunakan Film TiO₂*. Skripsi. FMIPA, IPB. Bogor.
- Ewing, G. W. 1960. Instrumental Methods of Chemical Analysis. 3rd Edition. Mc Graw Hill Book Company Inc. Kogakusha Company LTD., Tokyo.
- Fujishima, A. dan T.N. Rao. 1998. Interfacial Photochemistry : Fundamental and Application. Pure Appl. Chem. Vol 70 No. 11, Hal 2177-2187.
- Fujishima, Akira., kazuhita Hashimoto., Toshiya Watanabe., 1999., TiO₂ Photocatalysis: Fundamentals and Applications., Bkc, Inc., Tokyo.
- Gunlazuardi, J.. 2001. *Fotokatalis pada Permukaan TiO₂ : Aspek Fundamental dan Aplikasinya*, Seminar Nasional Kimia Fisika II, UI : Jakarta.
- Hardjono Sastrohamidjojo. 1991. *Dasar-Dasar Spektroskopi*. Penerbit Liberty. Yogyakarta

- Hariyadi, H., 2010, Pengaruh Ukuran Partikel TiO₂ Terhadap Efisiensi Sel Surya Jenis DSSC (Dye Sensitized Solar Cell), Skripsi, Jurusan Fisika, FMIPA Univ Diponegoro, Semarang.
- Hoffman, M.R., S.T. Martin, W.J. Choi, D.W. Bahnemann. 1995, **Environmental Applications of Semiconductor Photocatalysis**, *Chem.Rev.*, 95, Hal 69-96.
- Isminingsih, G.L. Djufri, dan Rassid; 1982. *Pengantar Kimia Zat Warna*, ITB Bandung.
- Khopkar, S.M., 1990, Konsep Dasar Kimia Analitik, UI Press, Jakarta.

- Lei Ge., Xu, M., Fang, H., dan Sun, M., 2006, Preparation of TiO₂ Thin Film From Autoclaved Sol Containing Needle-like Anatase Crystals, Jurnal 720-725, Technology of Ministry of Education, Tianjin University, China.
- Lokhande, C.D., Park, B.O., Park, H.S., Jung, K.D., dan Joo, O.S., 2005, Elektrodeposition of TiO₂ and RuO₂ Thin Film For Morphology Dependent Applications, Jurnal 267-274, Korea Institute of Science and Technology, University of Sogang, Korea.
- Masahiro Terashima, Narumi Inoue, Shigeru Kashiwabara, Ryiozo Fujimoto, Photocatalytic TiO₂ thin films deposited by pulsed laser ablation technique, Applied Surface Science 169-170(2001)535.
- Mudjijono. 1998. *Fotodegradasi Beberapa Zat Warna Menggunakan TiO₂*. Proseding Seminar Nasional II, Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia. Yogyakarta.
- O. Carp, C. L. Huisman, A. Reller. (2004). Photoinduced reactivity of titanium dioxide. Progress in Solid State Chemistry.
- Park, N.G., G. Schlichthorl, J. Van de Lagemaat, H.M. Cheong, A. Mascarenhas, A.J. Frank. 2004, *Morphological and Photoelectrochemical Characterization of Core-Shell Nanoparticle Film for Dye-Sensitized Solar Cells: Zn-O Type Shell on SnO₂ and TiO₂ Cores*, Langmuir., 20, Hal 4246-4253. Mc Graw Hill Book Company Inc. Kogakusha Company LTD., Tokyo.
- Priyo, A. Purwanto, W., dan Pramono E.P., 1999. Daur Ualng Limbah Hasil.
- R. Argazzi, C. A. Bignozzi. (2002). Solvatochromic Dye Sensitized Nanocrystalline Solar Cells. Nano Lett. 2 625-628.
- Rahmayanti. 2007. *Optimasi pH dan Waktu Kontak Biosorpsi Zat Warna Remazol Yellow oleh Biomasa Rhyzopus Oryzae Aktif dan Terimobilisasi*. Skripsi. Jurusan Kimia UNS.
- Rahmawati, Z., 2010, Deposisi Lapisan Tipis Titanium Dioxide (TiO₂) Di atas Substrat Gelas Dengan Metoda Spray-Coating Untuk Aplikasi Penjernihan Air Polder Tawang, Skripsi, Jurusan Fisika, FMIPA Univ Diponegoro, Semarang.
- Rasjid. 1976. *Teknologi Pengelantangan, Pencelupan, dan Pencapan*. Institut Teknologi Tekstil, Bandung.
- Ridho. 2013. Preparasi dan Karakterisasi Fotokatalis TiO₂-Resin serta Aplikasinya dalam Fotoreduksi Ion Hg²⁺. Jurnal Analisis Vo. 9 No. 24.
- Saraswati, T. E. 2003. Efektifitas Zeolit-TiO₂ sebagai Fotokatalis dalam Reaksi Fotodegradasi Larutan Zat Warna Metilen Blue. Skripsi. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Timuda, G.E., 2009, Sintesis Nanopartikel TiO₂ Dengan Menggunakan Metode Sonokimia Untuk Aplikasi Sel Surya Tersensitasi Dye (Dye Sensitized Solar Cell-DSSC) Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Manggis dan Plum Sebagai Photosensitizer, Tesis, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Underwood, A.L., and R.A. Day. 1980. Quantitative Analysis. 4th Edition. Prentice-Hall, Inc. Hal 393-395.

Van der Zee. 2002. *Anaerobic Azo Dye Reduction*. Thesis_(tidak diterbitkan).

Wageningen University. Netherlands.

West, A.R.,1984. *Solid State Chemistry and Its Applications*. 1stEdition. John Willey & sons, New York. Hal 121-123.

Widhianti, W.D., 2010, Pembuatan Arang Aktif Dari Biji Kapuk (*Ceiba petandra* L.) Sebagai Adsorben Zat Warna Rhodamin B, *Skripsi S-1 Jurusan Kimia*, Surabaya : Fakultas SAINTEK Universitas Airlangga.

Wijaya, K., Sugiharto, E., Fatimah, I., Sudiono, S., dan Kurniaysih, D., 2006, Utilisasi TiO₂-Zeolit Dan Sinar Uv.

Yongfa Zu, Li Zhang, Wenqing Yao, Lili Cao, The chemical state and properties of doped TiO₂ film photocatalyst prepared using the Sol-Gel method with TiCl₄ as a precursor, *Applied Surface Science* 158 (2000)32.

Yu, J.C., and L.Y.L. Chan.1998, Photocatalytic Degradation of a Gaseous organic Pollutant, *Journal of Chemical Education*, Vol. 75, No.6