

PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU KALSINASI TERHADAP PERUBAHAN FASA TiO₂

**Rudi Subagja*, Ahmad Royani, Ariyo Suharyanto,
Lia Andriyah dan Nadia Chrisayu Natasha**
Pusat Penelitian Metalurgi dan Material LIPI
Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan
E-mail : *rudi.subagja@lipi.go.id

Masuk tanggal : 13-09-2014, revisi tanggal : 07-11-2014, diterima untuk diterbitkan tanggal : 21-11-2014

Intisari

PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU KALSINASI TERHADAP PERUBAHAN FASA TiO₂.

Dalam makalah ini disampaikan hasil kegiatan penelitian kalsinasi TiO₂ untuk membuat bahan fotokatalis TiO₂, dimana bahan TiO₂ yang digunakan merupakan hasil dari proses pengolahan ilmenit melalui jalur proses dekomposisi dengan NaOH, pelarutan titan dari kalsin hasil proses dekomposisi ke dalam larutan asam sulfat, dan pengendapan TiO₂. Proses kalsinasi TiO₂ dilakukan pada temperatur 300°C sampai dengan 1000°C pada selang waktu 0,5 jam sampai dengan 3 Jam. Kalsin TiO₂ yang dihasilkan kemudian dianalisis fasanya dengan menggunakan alat difraksi sinar-x (XRD) dan diuji sifat fotokatalitiknya untuk menguraikan zat warna *methyl orange* dan zat warna yang terkandung dalam limbah industri tekstil. Dari hasil percobaan kalsinasi TiO₂ dapat dilihat bahwa fasa anatase cenderung terbentuk pada temperatur lebih rendah dari 600°C. Kenaikan temperatur kalsinasi dari 300 °C menjadi 1000°C cenderung memperkecil terbentuknya fasa anatase, dan kalsin TiO₂ yang dipanaskan pada temperatur lebih rendah dari 600°C mempunyai sifat fotokatalitik yang baik dalam menghilangkan zat warna *methyl orange*.

Kata kunci: Ilmenit, Kalsinasi, TiO₂, Anatase, Fotokatalitik

Abstract

EFFECT OF TEMPERATURE AND CALCINATION TIME OF CHANGES IN TiO₂ PHASE. *In present work, the calcinations experiments to make TiO₂ catalytic material were carried out at laboratory scale. The raw material TiO₂ used for experiments were prepared by ilmenite decomposition with NaOH followed with titanium dissolution from those decomposed material into the aqueous sulfuric acid solutions, and precipitation of TiO₂ from the solutions. The calcinations experiments were carried out at temperature 300°C up to 1000°C for 0.5 hours until 3 hours. The calcine from experimets were analyzed with X-Ray diffraction method and their photocatalytic properties were applied to decompose the methyl orange and dyes materials generated from textile industries. From the result of calcinations experiments, it was observed that anatase was formed at calcinations temperature lower than 600°C. The increase of calcinations temperature from 300°C to 1000°C decreased the X ray intensities of anatase, and TiO₂ material heated to the temperature lower than 600°C has a better photocatalytic properties in destroying methyl orange.*

Keyword: Ilmenite, Calcination, TiO₂, Anatase, Photocatalytic

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumberdaya mineral ilmenit yang dapat dibuat menjadi TiO₂, namun sampai dengan saat ini belum dimanfaatkan secara optimal. Disisi lain kebutuhan Indonesia akan TiO₂ terutama untuk pigmen terus meningkat dan sampai dengan saat ini bahan tersebut masih harus diimport dalam jumlah yang cukup besar

dari berbagai negara. Oleh karena itu apabila ilmenit Indonesia dapat dimanfaatkan menjadi TiO₂ maka akan memberikan dampak positif bagi peningkatan nilai tambah ilmenit Indonesia dan pembangunan nasional. Permasalahannya adalah bagaimana untuk

dapat membuat TiO₂ dari ilmenit Indonesia.

Disamping untuk membuat pigmen, TiO₂ juga dapat digunakan sebagai bahan fotokatalis^[1-2], sehingga pemanfaatan titanium dioksida akan semakin penting bila dikaitkan dengan pengembangan energi terbarukan dan masalah lingkungan. Penggunaan TiO₂ sebagai bahan fotokatalis untuk mengatasi masalah lingkungan dan energi terbarukan telah berkembang dengan pesat, seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan energi dan keinginan untuk menciptakan lingkungan yang lebih sehat. Penelitian terkait bahan fotokatalitik titanium dioksida telah dipelajari oleh beberapa peneliti terdahulu^[1-8], dimana dari hasil – hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa titanium dioksida telah terbukti menjadi material yang efisien dengan sifat-sifat yang unggul dalam beberapa aplikasi fotokatalis. Hasil – hasil penelitian lainnya tentang sifat fotokatalitik TiO₂ memperlihatkan bahwa sifat fotokatalitik TiO₂ dapat ditingkatkan dengan cara menambahkan unsur-unsur Fe^[9], Pt^[10], Cd^[11], N^[12] sebagai dopan, dan penggunaan Fe sebagai dopan menjadi menarik karena unsur Fe merupakan salah satu unsur penyusun ilmenit.

Untuk mendapatkan TiO₂ sebagai bahan fotokatalis dari ilmenit Indonesia, melalui kegiatan kompetitif LIPI dari tahun 2012 sampai dengan tahun 2014, penulis telah melakukan serangkaian kegiatan penelitian, dimana sebagian dari hasil kegiatan penelitian tersebut dapat dilihat dalam beberapa literatur^[13-15], dan dari hasil penelitian tersebut ilmenit dapat dibuat menjadi TiO₂ melalui tahapan proses dekomposisi dengan basa, pelarutan asam dan hidrolisis.

Untuk mendapatkan TiO₂ yang mempunyai sifat fotokatalitik, pada tulisan ini, TiO₂ yang telah dihasilkan dari proses hidrolisis dirubah sifatnya dengan cara kalsinasi, sehingga diperoleh TiO₂ yang mempunyai sifat fotokatalitik. Beberapa literatur menjelaskan bahwa TiO₂

mempunyai 3 struktur yang berbeda yaitu: anatase, rutil, dan brookite. Dari ketiga struktur tersebut TiO₂ yang memiliki struktur anatase mempunyai sifat fotokatalitik yang paling baik^[16-17]. Oleh karena itu pada penelitian ini, proses kalsinasi diarahkan untuk mempelajari pengaruh temperatur dan waktu terhadap perubahan fasa TiO₂ dan mempelajari sifat fotokatalitiknya untuk menguraikan zat warna.

PROSEDUR PERCOBAAN

Bahan baku TiO₂ yang digunakan pada percobaan ini diperoleh dari hasil proses hidrolisis larutan TiOSO₄, dimana larutan TiOSO₄ yang digunakan adalah hasil proses pelarutan ilmenit yang telah mengalami proses dekomposisi dengan NaOH yang kemudian dilarutkan ke dalam larutan asam sulfat. Komposisi kimia TiO₂ yang digunakan pada percobaan ini diperlihatkan pada Tabel 1. Dari data pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa dalam TiO₂ yang dihasilkan dari proses hidrolisis larutan TiOSO₄ masih terdapat senyawa Fe₂O₃ sebesar 2,64 % dan SnO₂ sebesar 1,26 %.

Tabel 1. Komposisi kimia TiO₂

Senyawa	% Berat
TiO ₂	96,1
Fe ₂ O ₃	2,64
SnO ₂	1,26

Peralatan Percobaan

Peralatan yang digunakan untuk mempelajari pengaruh temperatur dan waktu terhadap perubahan fasa TiO₂ adalah tungku *muffle* yang dapat dioperasikan sampai 1500 °C dan dilengkapi dengan alat pengendali temperatur.

Prosedur percobaan kalsinasi dilakukan dengan cara meletakkan TiO₂ dalam cawan yang terbuat dari alumina, kemudian memasukkan cawan alumina tersebut ke dalam tungku dan tungku dipanaskan sampai dengan temperatur yang dikehendaki. Setelah temperatur yang

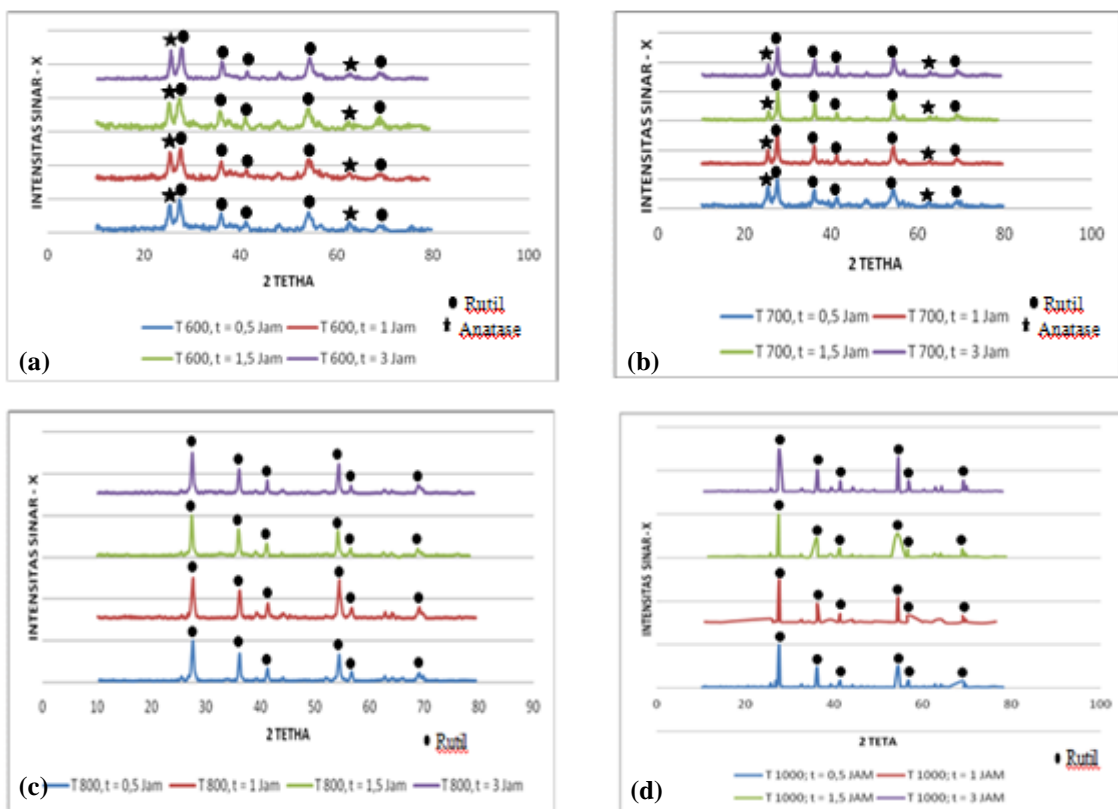
dikehendaki tercapai, cawan beserta TiO_2 yang terkandung di dalamnya ditahan dalam tungku sampai perioda waktu tertentu, kemudian dikeluarkan dari tungku untuk selanjutnya didinginkan. Setelah dingin, kalsin kemudian dianalisis dengan alat difraksi sinar-X (XRD) untuk melihat fasa-fasa yang terbentuk dalam TiO_2 .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Waktu Kalsinasi

Pengaruh waktu kalsinasi terhadap pembentukan fasa anatase dipelajari pada temperatur 600, 700, 800 dan 1000°C, sedangkan waktu kalsinasi divariasikan dari 0,5 jam sampai dengan 3 jam, hasilnya diperlihatkan pada Gambar 1. Dari hasil percobaan pada Gambar 1 dapat dilihat

bahwa fasa anatase sudah mulai terbentuk pada temperatur kalsinasi 600°C selama 0,5 jam dan cenderung konstan dengan berkembangnya waktu kalsinasi dari 0,5 jam menjadi 3 jam. Fasa anatase ini diduga sudah mulai terbentuk pada temperatur yang lebih rendah dari 600°C sebagaimana dikemukakan oleh Indarto Kaltim dan Rustiadi Purawiadi yang telah melakukan percobaan kalsinasi titan hidroksida untuk menghasilkan pigmen TiO_2 , dimana hasil percobaannya memperlihatkan bahwa fasa anatase sudah mulai terbentuk pada temperatur 100°C namun bentuk kristalnya belum sempurna dan puncak intensitas fasa anatase mulai nampak tajam pada temperatur kalsinasi 600°C [18].



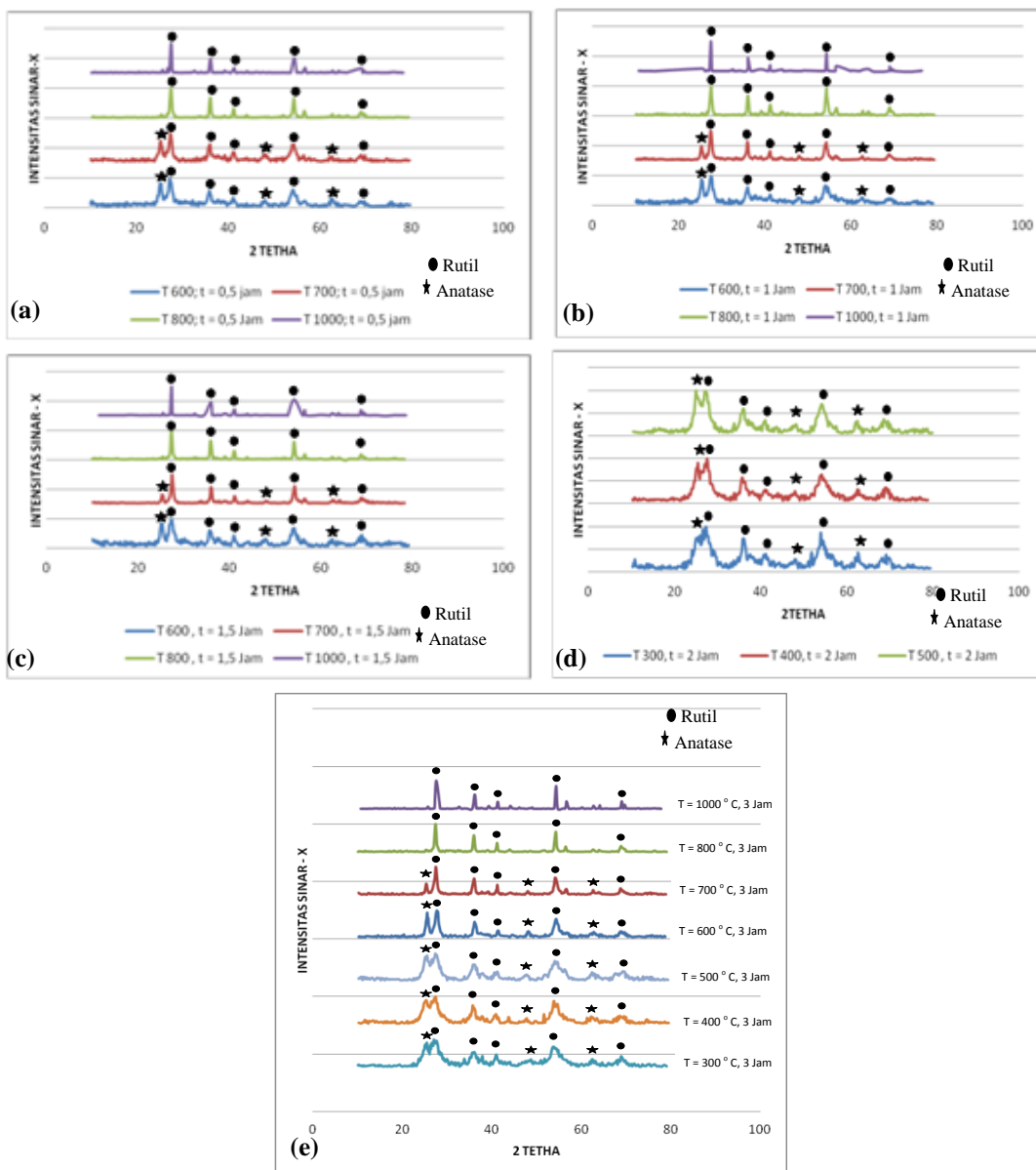
Gambar 1. Pengaruh waktu kalsinasi terhadap pembentukan fasa anatase pada; (a) T = 600°C, (b) T = 700°C, (c) T = 800°C, (d) T = 1000°C

Untuk temperatur kalsinasi 800°C dan 1000°C, data hasil percobaan pada Gambar 1(c) dan Gambar 1(d) memperlihatkan bahwa fasa anatase yang terbentuk sangat kecil, dan waktu kalsinasi tidak berpengaruh terhadap pembentukan fasa anatase, dimana fasa yang dominan muncul pada kalsinasi hasil proses kalsinasi adalah TiO₂ dalam bentuk rutil.

Pengaruh Temperatur Kalsinasi

Pengaruh temperatur kalsinasi terhadap pembentukan fasa anatase dipelajari untuk waktu kalsinasi 0,5 jam sampai dengan 3 jam, sedangkan temperatur kalsinasi divariasikan dari 300°C sampai dengan 1000°C. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 2.

Dari hasil percobaan pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa fasa anatase lebih mudah terbentuk pada temperatur rendah, sedangkan bila temperatur kalsinasi dinaikkan maka fasa anatase akan cenderung berubah menjadi rutil.



Gambar 2. Pengaruh temperatur terhadap pembentukan fasa anatase untuk waktu kalsinasi; (a) 0,5 jam, (b) 1 jam, (c) 1,5 jam, (d) 2 jam dan (e) 3 jam

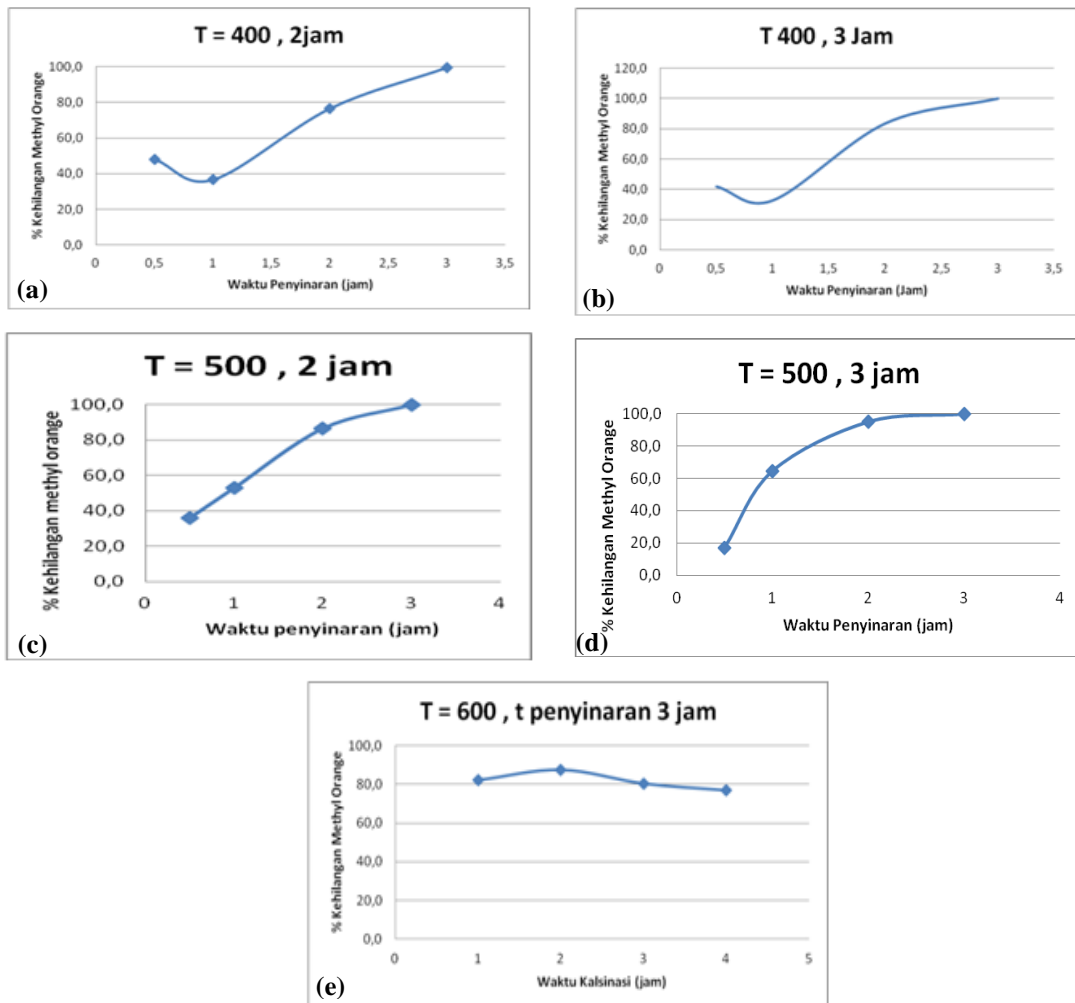
Untuk proses kalsinasi yang dilakukan selama 3 jam, data hasil percobaan pada Gambar 2(e) memperlihatkan bahwa kenaikan temperatur kalsinasi dari 300°C menjadi 1000°C menyebabkan fasa anatase yang terbentuk akan cenderung berubah menjadi fasa rutil. Kecenderungan yang sama juga dijumpai untuk waktu kalsinasi 0,5 ; 1 ; 1,5 dan 2 jam dimana bila temperatur kalsinasi dinaikkan maka fasa anatase akan cenderung berubah menjadi fasa rutil.

Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Indarto Katim dan Rustiadi^[18] yang telah melakukan percobaan kalsinasi titanium hidroksida untuk mendapatkan pigmen TiO₂, dimana dari hasil penelitiannya diketahui bahwa fasa anatase

dan rutil sudah mulai terbentuk pada saat titanium hidroksida dipanaskan pada temperatur 100°C namun intensitas fasanya belum sempurna. Intensitas fasa anatase nampak jelas pada proses kalsinasi pada temperatur 500°C dan kenaikan temperatur dari 500°C menjadi 1000°C cenderung akan meningkatkan fasa rutil.

Uji Sifat Fotokatalis Bahan TiO₂

Uji sifat fotokatalis bahan TiO₂ hasil proses kalsinasi dilakukan dengan cara menggunakan bahan fotokatalis TiO₂ tersebut untuk menguraikan *methyl orange*. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh waktu kalsinasi terhadap % Penghilangan *Methyl orange* untuk proses penyinaran yang menggunakan kalsin hasil proses kalsinasi pada; (a) T = 400 °C, t penyinaran = 2 jam, (b) T = 400 °C, t penyinaran = 3 jam, (c) T = 500 °C, t penyinaran = 2 jam, (d) T = 500 °C, t penyinaran = 3 jam dan (e) T = 600 °C, t penyinaran = 3 jam

Dari data hasil percobaan pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa proses penguraian bahan pewarna *methyl orange* akan berjalan dengan lebih baik apabila menggunakan kalsin hasil proses kalsinasi pada temperatur 400°C sampai dengan 500 °C sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3(a) sampai dengan 3(d) dimana persen penguraian *methyl orange* mencapai 100 % pada waktu penyinaran 2 sampai 3 jam bila digunakan kalsin hasil proses kalsinasi pada temperatur 500°C selama 2 jam dan persen penguraian *methyl orange* mencapai 100% pada waktu penyinaran 3 jam bila digunakan kalsin hasil proses kalsinasi pada temperatur 400°C.

Untuk proses yang menggunakan kalsin hasil proses kalsinasi pada 600°C, % *methyl orange* yang dapat diuraikan hanya mencapai sekitar 80% sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3(e). Rendahnya % penghilangan bahan *methyl orange* pada proses penghilangan bahan *methyl orange* yang menggunakan kalsin hasil kalsinasi pada 600°C disebabkan oleh karena jumlah fasa anatase yang terkandung dalam kalsin hasil proses kalsinasi pada 600°C relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan jumlah kalsin yang terkandung pada kalsin hasil proses kalsinasi pada temperatur 400°C sampai dengan 500 °C sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2 dimana intensitas difraksi sinar-x fasa anatase untuk proses pada temperatur sama dengan atau lebih rendah dari 500°C mempunyai intensitas yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan intensitas difraksi sinar-x fasa anatase untuk proses pada temperatur 600°C.

Akan tetapi pada proses penghilangan *methyl orange* yang menggunakan kalsin hasil kalsinasi pada temperatur 600°C sebagaimana diperlihatkan oleh Gambar 3(e) dapat dilihat bahwa bila digunakan kalsin hasil proses kalsinasi pada temperatur 600°C selama 1 jam maka jumlah *methyl orange* yang dapat diuraikan adalah sekitar 80%, dan kenaikan waktu kalsinasi dari 1 jam sampai 4 jam memberikan pengaruh yang

kecil terhadap proses penguraian *methyl orange*, dalam hal ini untuk waktu penguraian 2,3 atau 4 jam jumlah *methyl orange* yang dapat diuraikan sedikit berkurang.

Hal ini terkait erat dengan proses pembentukan fasa anatase sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1(a) dimana kenaikan waktu kalsinasi menyebabkan jumlah fasa anatase yang terbentuk mengalami sedikit penurunan.

Hasil percobaan ini memberi petunjuk bahwa kondisi optimal untuk proses kalsinasi adalah pada temperatur 500°C selama 3 jam, karena pada temperatur ini intensitas fasa anatase yang terbentuk relatif lebih tinggi bila dibandingkan dengan temperatur kalsinasi lainnya dan kemampuan kalsin TiO₂ untuk menghilangkan *methyl orange* mencapai > 95 % pada proses penyinaran yang relatif pendek yaitu selama 2 jam.

Uji coba penggunaan TiO₂ untuk menghilangkan zat warna tekstil

Industri tekstil merupakan salah satu industri yang berkembang di Indonesia. Perkembangan industri tekstil berbanding lurus dengan bertambahnya limbah cair yang merupakan masalah serius bagi lingkungan. Salah satu limbah cair yang dihasilkan dari industri tekstil adalah limbah zat warna. Limbah zat warna yang dihasilkan dari industri tekstil umumnya merupakan senyawa organik *non-biodegradable*, yang dapat mencemari lingkungan perairan. Zat warna tekstil umumnya sulit terdegradasi dan mempunyai resistensi terhadap lingkungan seperti derajat keasaman, temperatur dan mikroba.

Untuk menghilangkan zat warna tekstil tersebut, pada penelitian ini TiO₂ hasil proses kalsinasi dicoba untuk diaplikasikan guna menguraikan zat warna tekstil dengan cara menambahkan 0,1 gram anatase TiO₂ kedalam limbah tekstil, kemudian diaduk dan disinari sinar ultra violet (UV) dengan

daya 50 watt selama 30, 60, 90 dan 180 menit.



Gambar 4. Perubahan zat warna tekstil setelah ditambahkan 0,1 gram TiO_2 dan disinari sinar ultra violet selama 0,5 jam sampai 3 jam

Larutan limbah yang telah disinari ultra violet kemudian dianalisa dengan menggunakan uv vis. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 4.

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa warna larutan limbah tekstil berubah dengan bertambahnya waktu penyinaran dari larutan awal berwarna orange menjadi larutan tidak berwarna setelah disinari sinar ultra violet untuk waktu penyinaran 2 sampai 3 jam, hal ini mengindikasikan bahwa penambahan bahan foto katalis TiO_2 untuk menguraikan limbah zat warna dari pabrik tekstil berjalan efektif. Hasil pengukuran lebih lanjut dengan menggunakan alat UV memperlihatkan bahwa 100% zat warna yang ada dalam limbah tekstil dapat dihilangkan setelah larutan disinari dengan sinar ultra violet selama 3 jam, sedangkan untuk waktu penyinaran 2 jam hanya sekitar 97 % zat warna yang dapat dihilangkan.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan percobaan kalsinasi TiO_2 yang diperoleh dari hasil percobaan pengolahan ilmenit, untuk mendapatkan TiO_2 yang mempunyai fasa anatase kemudian dilanjutkan dengan uji coba pemakaian TiO_2 hasil proses kalsinasi untuk menghilangkan zat warna

methyl orange. Dari hasil percobaan tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Fasa anatase cenderung terbentuk pada proses kalsinasi TiO_2 yang dilakukan pada temperatur lebih rendah dari 600°C .
- Kenaikan temperatur kalsinasi dari 300°C menjadi 1000°C menyebabkan intensitas fasa anatase yang terbentuk cenderung makin kecil.
- Peningkatan waktu kalsinasi cenderung menyebabkan berkurangnya intensitas fasa anatase yang terbentuk cenderung makin kecil.
- Hasil uji sifat fotokatalis TiO_2 memperlihatkan bahwa kalsin yang dipanaskan pada temperatur 400°C sampai dengan 500°C dapat menghilangkan 100% zat warna *methyl orange*. Kenaikan waktu kalsinasi di atas 500°C cenderung akan menurunkan kemampuan untuk menghilangkan zat warna *methyl orange*.
- Kondisi optimal proses kalsinasi untuk mendapatkan kalsin yang mempunyai kemampuan menghilangkan zat warna *methyl orange* dicapai pada temperatur 500°C .
- Kalsin TiO_2 yang dihasilkan dari hasil proses pengolahan ilmenit dapat digunakan sebagai bahan fotokatalis untuk menghilangkan zat warna yang terkandung dalam limbah Industri tekstil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fujishima, K. Honda. 1972., „Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode”, *Nature* 238, 37-38.
- [2] A. Fujishima, K. Kohayakawa, K. Honda. 1975., „Hydrogen production under sunlight with an electrochemical photocell”, *J. Electrochem. Soc.* 122, 1487-1489.
- [3] Fujishima, T.N. Rao, D.A. Tryk, 2000. „Titanium dioxide photolysis”,

- J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev.* 1 (1), 1-21.
- [4] I.K. Konstantinou, T.A. Albanis. 2004. „TiO₂ assisted photocatalytic of azo dyes in aqueous solution: kinetic and mechanistic investigations”, *Appl. Catal. B: Environ.* 49 (1), 1.
- [5] J.Arona, O. Gonzalez Diaz, M. Miranda saracho, J.M Dona Radnquet, J.A Herrera Mellen, J. Perez. 2002. „Maleic acid photocatalytic degradation using Fe-TiO₂ catalyst, dependence of the degradation mechanism on the Fe catalyst content”, *Appl. Catal. B: Environ.* 36 (2), 113-124.
- [6] B. O'Regan, M. Grätzel. 1991. „Low cost high efficiency solar based on dye sensitized colloidal TiO₂ film”, *Nature* 353, 737-740.
- [7] C.J. Barbé, F. Arendse, P. Comte, M. Jirousek, F. Lenzmann, V. Shklover, M. Grätzel. 1997. „Anocrystalline Titanium Oxide Electrodes for Photovoltaic Applications”, *J. Am. Ceram. Soc.* 80 (12), 3157-3171.
- [8] Shengqin Wang, Zi-Xiang Lin, Wei-Han Wang, Chien Lin Kuo, Kuo Chu Hwang, Chien-Chong Hong. 2014. „Self-regenerating photocatalytic sensor based on dielectrophoretically assembled TiO₂ nanowires for chemical vapor sensing”, *Sens. Actuator B: Chem.* 194 (1-9), 1-9
- [9] Teruhisa Ohno, Zenta Miyamoto, Kazumoto Nishijima, Hidekazu Kanemitsu, Feng Xueyuan. 2006. „Sensitization of photocatalytic activity of S- or N-doped TiO₂ particles by adsorbing Fe³⁺ cations”, *Applied Catalysis A: General* 302, 62-68
- [10] Gratian R. Bamwenda 1, Susumu Tsubota, Toshiko Nakamura, Masatake Haruta. 1995. „Photoassisted hydrogen production from a water-ethanol solution: a comparison of activities of Au-TiO₂ and Pt-TiO₂”, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 89, 177-189.
- [11] Yao Jun Zhang, Wei Yan, Yan Pei Wu, Zhen Huan Wang. 2008. „Synthesis of TiO₂ nanotubes coupled with CdS nanoparticles and production of hydrogen by photocatalytic water decomposition”, *Materials Letters.*
- [12] Jiaqing Geng, Dong Yang, Juhong Zhu, Daimei Chen, Zhongyi Jiang. 2008. „Nitrogen-doped TiO₂ nanotubes with enhanced photocatalytic activity synthesized by a facile wet chemistry method”, *Materials Research Bulletin.*
- [13] Rudi Subagja, A. Royani, Puguh Prasetyo. 2012. „Pengaruh penambahan NaOH, Temperatur dan waktu terhadap pembentukan fasa Natrium titanat dan Natrium ferite pada proses kalsinasi Ilmenit Bangka”, *Metalurgi*, vol.27, no.3, Desember, hal. 241-249.
- [14] Rudi Subagja, Lia Andriyah and Latifa Hanum Lalasari. 2013. „Decomposition of Ilmenite from Bangka Island Indonesia with KOH solution”, *Asian Transaction on basic and applied sciences* vol. 03, issue 02, May, hal 59-64.
- [15] Rudi Subagja, Lia Andriyah and Latifa Hanum Lalasari. 2013. „Titanium Dissolution from Indonesian Ilmenite”, *International Journal of basic and applied sciences* Vo. 13 no. 04, hal.97-103.
- [16] A.M. Luís, M.C. Neves, M.H. Mendon, O.C. Monteiro. 2011. „Influence of calcination parameters on the TiO₂ photocatalytic properties”, *Materials Chemistry and Physics* 125, 20-25.

- [17] B. Mahltig, E. Gutmann, D.C. Meyer. 2011. „Solvothermal preparation of nanocrystalline anatase containing TiO_2 and $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ coating agents for application of photocatalytic treatments”, *Materials Chemistry and Physics*, 127, 285–291.
- [18] Indarto Katim dan Rustiadi Purawardi. 1995. „Proses kalsinasi titan hidroksida untuk menghasilkan pigmen TiO_2 Rutil”, *Metalurgi*, jilid 10, No. 1, Juni, hal 14 – 17.

