

STUDI PERBANDINGAN EFEK FOTOKATALISIS $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ HASIL EKSTRAKSI ILMENIT BANGKA DAN P-25 DEGUSSA UNTUK APLIKASI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TPA CILOWONG

Latifa Hanum Lalasari^{1,2)}, Akhmad Herman Yuwono²⁾, Firdiyono¹⁾, Lia Andriyah¹⁾, Elfi N³⁾, Sri Harjanto²⁾, Bambang Suharno²⁾

¹⁾Pusat Penelitian Metalurgi - LIPI
Gedung 470 Kawasan Puspiptek - Serpong, Tangerang Selatan 15314
E - mail: ifa_sari@yahoo.com

²⁾Departemen Teknik Metalurgi dan Material – Universitas Indonesia
Kampus Baru Universitas Indonesia – Depok 16424
E - mail: ifa_sari@yahoo.com

³⁾Jurusan Teknik Kimia – UNTIRTA Cilegon

Masuk tanggal : 12-09-2012, revisi tanggal : 05-11-2012, diterima untuk diterbitkan tanggal : 19-11-2012

Intisari

STUDI PERBANDINGAN EFEK FOTOKATALISIS $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ HASIL EKSTRAKSI ILMENIT BANGKA DAN P-25 DEGUSSA UNTUK APLIKASI PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TPA CILOWONG. Telah dilakukan penelitian penurunan kadar BOD₅, COD, dan TDS dari lindi sampah tempat pembuangan akhir (TPA) Cilowong dengan menggunakan katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ dari hasil proses ekstraksi ilmenit Bangka Indonesia dan TiO_2 P-25 Degussa (komersial). Proses dilakukan dalam reaktor fotokatalitik berukuran 30 x 15 x 20 cm dengan radiasi sinar UV 50 watt selama 90 menit pada temperatur kamar dan setiap 15 menit diambil sampel untuk dilakukan analisa BOD₅, COD, dan TDS. Variabel percobaan yang digunakan adalah rasio volume (v/v) lindi/H₂O sebesar 1/4; 1/8; 1/12; 1/16 dengan jumlah katalis yang digunakan masing-masing sebanyak 1 gram. Hasil penelitian pada rasio volume (v/v) lindi/H₂O sebesar 1/16 menunjukkan penurunan BOD₅, COD, TDS masing-masing sebesar 45; 90,43; 100 % untuk katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ dan sebesar 80,6; 75; 100 % untuk TiO_2 P-25 Degussa. Penelitian juga memberikan gambaran bahwa mineral Ilmenit Bangka Indonesia berpotensi besar sebagai bahan baku dalam pembuatan katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$.

Kata kunci : Fotokatalitik, Lindi TPA Cilowong, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$, TiO_2 P-25 Degussa

Abstract

THE PHOTOCATALYTIC EFFECT OF P-25 DEGUSSA AND $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ DERIVED FROM BANGKA-INDONESIA ILMENITE EXTRACTION FOR WASTE WATER TREATMENT OF LEACHATE ON THE LANDFILL CILOWONG. The current work presents the results of investigation on the decreasing levels of BOD₅, COD, TDS of leachate on the landfill (TPA) Cilowong by using $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ catalyst derived from the extraction process of Bangka Indonesia ilmenite as well as commercial TiO_2 P-25 Degussa catalysts. The measurement was carried out in a photocatalytic reactor of 30 x 15 x 20 cm equipped with a 50 watt UV radiation. The process was performed for 90 minutes at room temperature, and the samples were taken every 15 min for BOD, COD, and TDS analyses. The ratio of leachate to H₂O (%v) was varied as 1/4; 1/8; 1/12 and 1/16, with the amount of catalyst used was 1 gram. The result on ratio of leachate to H₂O of 1/16 showed the decrease in BOD₅, COD, TDS with the use of $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ catalysts by 45; 90.43 and 100% for $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ catalysts, while with the use of Degussa P-25 TiO_2 catalysts the decrease in BOD₅, COD, TDS reached by 80.6; 75 and 100%, respectively. On the basis of findings, it is shown that Ilmenite Bangka Indonesia has great potential as a raw material for synthesizing the $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ catalysts.

Keywords : Photocatalytic, Leachate TPA Cilowong, TiO_2 P-25 Degussa, $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$

PENDAHULUAN

Dalam kurun waktu beberapa tahun terakhir ini, penelitian terkait dengan fabrikasi dan aplikasi katalis titanium dioksida atau titania (TiO_2) menarik perhatian secara signifikan. Titania dengan sifat fisika meliputi porositas dalam ukuran makropori (diameter pori > 50 nm), mesopori (diameter pori antara 2 – 50 nm), mikropori (diameter pori < 2 nm), dan bentuk kristal anatase atau rutil^[1] serta sifat kimia meliputi stabil pada kondisi sifat hidrofilik dan fotokatalis menyebabkan titania mampu memfasilitasi reaksi kimia apabila terkena sinar^[2] sehingga mampu diaplikasikan dalam pengolahan limbah. Pada proses tersebut fotokatalis TiO_2 berperan mendegradasi limbah yang mengandung senyawa organik maupun inorganik berbahaya menjadi senyawa yang tidak berbahaya^[3-4]. Besarnya penggunaan TiO_2 dalam berbagai aplikasi mendorong beberapa lembaga penelitian, perguruan tinggi, dan industri tertarik melakukan penelitian untuk memproduksi TiO_2 dari sumber alternatif yaitu mineral ilmenit yang saat ini kurang maksimal dimanfaatkan.

Mineral ilmenit yang lebih dikenal dengan mineral besi titania (FeO.TiO_2) cukup berpotensi untuk menghasilkan katalis heterogen Fe_2O_3 . TiO_2 yang juga mampu bersifat fotokatalis. Katalis Fe_2O_3 . TiO_2 saat ini banyak disintesis menggunakan beberapa prekursor karena keunggulannya dalam aktifitas fotokatalitik yaitu adanya unsur Fe yang didoping dalam TiO_2 ternyata mampu mencegah terjadinya rekombinasi elektron pada pita konduksi ke pita valensi sehingga aktivitas TiO_2 lebih meningkat^[5]. Mekanismenya adalah doping unsur Fe berfungsi sebagai penangkap elektron (*trapping*) dari pita konduksi unsur Ti sehingga tidak langsung rekombinasi dengan hole pada pita valensi unsur Ti.

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan terkait dengan pembuatan dan uji aktivasi fotokatalis TiO_2 yang didoping

Fe ternyata mampu meningkatkan kestabilan dan sifat fotokatalisis dibandingkan dengan TiO_2 murni^[5-10]. Mengacu pada penelitian sebelumnya maka makalah ini akan membahas tentang hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh fotokatalisis TiO_2 hasil ekstraksi Ilmenit Bangka dan P-25 Degussa untuk aplikasi pengolahan limbah cair TPA Cilowong.

Pemilihan sampel dalam uji kinerja fotokatalis didasarkan pada masalah terkini yaitu sampah. Sampah merupakan permasalahan lingkungan yang cukup serius yang masih dihadapi di negara kita. Lindi adalah substansi cairan yang dihasilkan dalam proses pembusukan sampah. Lindi mengandung zat berbahaya apalagi jika berasal dari sampah yang tercampur. Jika tidak diolah secara khusus, lindi dapat mencemari sumur air tanah, air sungai, hingga air laut dan menyebabkan kematian biota (makhluk hidup) laut. Salah satu contohnya adalah limbah cair di tempat pembuangan akhir (TPA) Piyungan, Yogyakarta, dimana berdasarkan hasil uji laboratorium Akademi Kesehatan Lingkungan Depkes Yogyakarta menunjukkan bahwa lindi TPA Piyungan setelah melalui kolam pengolahan masih mengandung *biochemical oxygen demand* (BOD) sebesar 1032 mg/l, *chemical oxygen demand* (COD) sebesar 1351 mg/l, dimana berdasarkan baku mutu lingkungan (BML) yang telah ditetapkan belum memenuhi standar, yaitu masing-masing BML BOD sebesar 150 mg/l dan BML COD sebesar 300 mg/l^[11]. Kondisi ini cukup memprihatinkan apabila penanganan terhadap lindi sampah sampai saat ini belum maksimal dilakukan.

Penelitian yang dilakukan ini mencoba memanfaatkan bahan fotokatalis TiO_2 komersial dengan merk dagang P-25 Degussa dan Fe_2O_3 - TiO_2 hasil ekstraksi ilmenit Bangka untuk mengolah lindi sampah TPA Cilowong, dimana akan dilakukan analisa perbandingan dari penggunaan kedua katalis tersebut.

PROSEDUR PERCOBAAN

Bahan Penelitian

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah lindi sampah yang diperoleh dari TPA Cilowong yang mempunyai berat jenis sebesar 1,0208 g/ml, TiO₂ komersial (P-25 Degussa) yang mempunyai komposisi kimia adalah 75 % anatase dan 25 % rutil, larutan TiOSO₄ hasil pelindian bijih ilmenit Bangka yang mengandung Ti = 55,11 g/l dan Fe = 82 g/l.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini terbagi menjadi 3 tahapan yaitu pembuatan bahan fotokatalis Fe₂O₃-TiO₂ dari hasil ekstraksi bijih ilmenit bangka, preparasi lindi sampah sebelum dilakukan proses fotokatalitik, dan uji kinerja fotokatalis TiO₂ P-25 dan Fe₂O₃-TiO₂ dalam pengolahan lindi TPA Cilowong.

Pembuatan Fotokatalis Fe₂O₃.TiO₂

Larutan TiOSO₄ hasil proses ekstraksi bijih ilmenit Bangka dihidrolisis dengan penambahan H₂O pada suhu 90 °C selama 2 jam (rasio (v/v) TiOSO₄/H₂O = 1/6) sebanyak 700 ml dalam reaktor refluk atmosferik. Kemudian dilakukan kondensasi selama 3 jam dan penyaringan untuk memisahkan TiO₂ dari larutan induknya. Titanium dioksida yang didapatkan kemudian dikeringkan selama 2 jam pada suhu 110 °C dan dilanjutkan dengan proses kalsinasi pada suhu 450 °C selama 3 jam.

Prosedur Preparasi Lindi Sampah

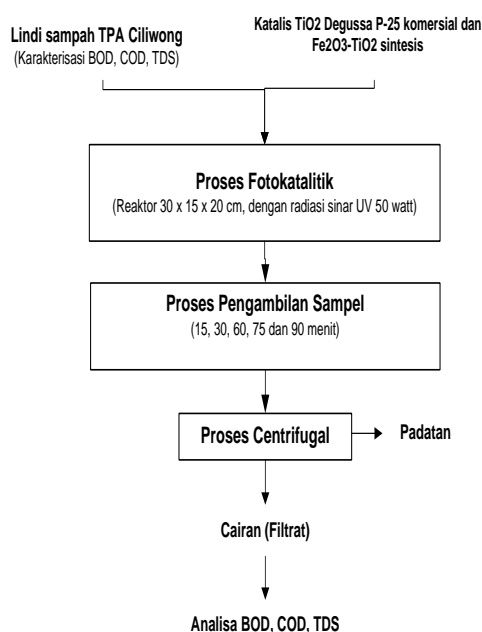
Tahapan preparasi lindi sampah adalah melakukan karakterisasi sampel limbah lindi meliputi BOD₅, COD, dan *total dissolved solid* (TDS). Kemudian lindi sampah diencerkan terlebih dahulu untuk mempercepat proses degradasi limbah

sebelum dilakukan proses fotokatalitik. Limbah yang telah diencerkan tersebut juga dilakukan analisa BOD₅, COD, dan TDS.

Uji Kinerja Fotokatalis TiO₂ P-25 dan Fe₂O₃-TiO₂

Tahapan percobaan uji kinerja fotokatalis TiO₂ (P-25 Degussa) dan Fe₂O₃-TiO₂ adalah terlebih dahulu melakukan karakterisasi BOD₅, COD dan *Total Dissolved Solid* (TDS) pada sampel lindi sampah awal dan dilanjutkan proses fotokatalitik. Pada proses fotokatalitik, larutan lindi sampah sebanyak 300 ml yang telah divariasikan pada rasio volume (v/v) lindi/H₂O sebesar 1/4; 1/8; 1/12; 1/16 dimasukkan dalam reaktor fotokatalitik yang mempunyai ukuran 30 x 15 x 20 cm. Lindi sampah tersebut kemudian ditambahkan katalis sebanyak 1 gram. Setelah itu lindi sampah diaduk dan disinari *Ultra Violet* (UV) dengan daya 50 watt selama 90 menit pada temperatur kamar dan setiap 15 menit sampel diambil untuk dilakukan analisa akhir BOD₅, COD, dan TDS.

Alur proses uji kinerja penelitian yang dilakukan, secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses

Metode Analisa Data

Metode Pengukuran BOD

Prinsip pengukuran BOD pada dasarnya cukup sederhana, yaitu mengukur kandungan oksigen terlarut awal (DO_i) dari air limbah TPA segera setelah pengambilan contoh, kemudian mengukur kandungan oksigen terlarut pada air limbah cair TPA yang telah diinkubasi selama 5 hari pada kondisi gelap dan suhu tetap (20°C) yang sering disebut dengan DO_5 . Selisih DO_i dan DO_5 ($DO_i - DO_5$) merupakan nilai BOD yang dinyatakan dalam miligram oksigen per liter (mg/L). Karena melibatkan mikroorganisme (bakteri) sebagai pengurai bahan organik, maka analisis BOD memang cukup memerlukan waktu.

Metode Pengukuran COD

Metode pengukuran COD dilakukan dengan menggunakan metode titrimetri. Pada prinsipnya pengukuran COD adalah penambahan sejumlah tertentu kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai oksidator pada sampel (dengan volume diketahui) yang telah ditambahkan asam sulfat, kemudian dipanaskan selama beberapa waktu.

Metode Pengukuran TDS

Metode pengukuran TDS dilakukan dengan menggunakan metode penyaringan (filtrasi), dimana sampel limbah cair disaring menggunakan kertas saring berpori $0,45 \mu\text{m}$. Filtrat yang dihasilkan kemudian ditampung dalam pinggan penguap, untuk selanjutnya diuapkan dalam oven sampai kering pada suhu 180°C selama ± 1 jam. Setelah itu menghitung selisih antara berat pinggan penguap kosong dengan berat pinggan yang berisi sampel hasil penguapan untuk memperoleh kadar TDS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Lindi Sampah

Hasil karakterisasi limbah untuk salah satu rasio pengenceran (v/v) Lindi/ H_2O yaitu 1:16, ditampilkan pada Tabel 1 di bawah ini:

Tabel 1. Karakterisasi lindi rasio 1:16

Parameter	Kandungan (mg/L)
BOD ₅	58,35
COD	674,13
TDS	2000

Dari Tabel 1 terlihat bahwa kandungan BOD₅ dan COD lindi sampah TPA Cilowong masih di atas baku mutu yang ditetapkan pemerintah berdasarkan pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor: KEP-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri, seperti yang tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Baku mutu limbah cair TPA^[12]

No	Parameter	Baku mutu (mg/l)
1	Total Dissolved Solid (TDS)	2000
2	Total Suspended Solid (TSS)	200
3	Biochemical Oxygen Demand (BOD ₅)	50
4	Chemical Oxygen Demand (COD)	100
5	Ammonia	1

Karakterisasi Katalis $Fe_2O_3-TiO_2$ dan P-25 Degussa

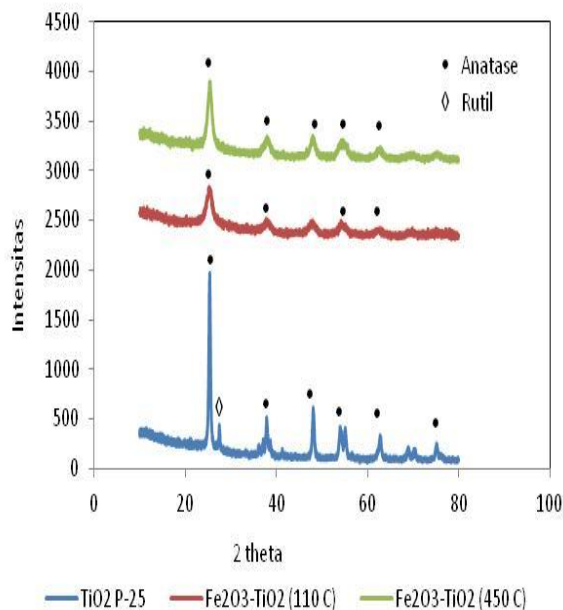
Katalis $Fe_2O_3-TiO_2$ hasil ekstraksi ilmenit Bangka dikarakterisasi menggunakan analisis *X-ray fluorescence* (XRF), *X-ray diffraction* (XRD), dan *scanning electron microscope* (SEM).

Hasil analisis ditunjukkan pada Tabel 3 serta Gambar 2 dan 3.

Tabel 3. Hasil analisis XRF katalis Fe₂O₃-TiO₂

Komponen	Kadar (%)
TiO ₂	92,8
Fe ₂ O ₃	3,20
SiO ₂	2,90
Al ₂ O ₃	0
MnO	0
MgO	0
CaO	0
K ₂ O	0
P ₂ O ₅	0,16
Cr ₂ O ₃	0,02
SnO ₂	0,95

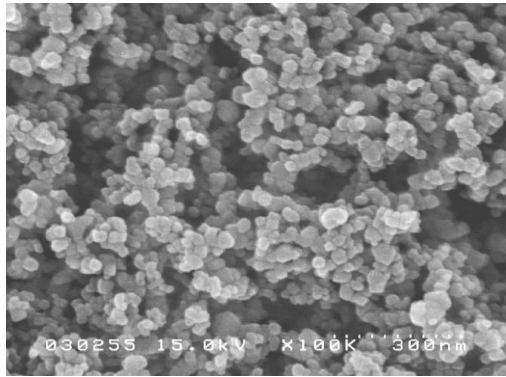
Hasil analisis XRF menerangkan bahwa katalis Fe₂O₃-TiO₂ masih mengandung pengotor (*impurities*) seperti SiO₂, P₂O₅, Cr₂O₃, SnO₂. Pengotor-pengotor tersebut menyebabkan TiO₂ mampu menyerap sinar *visible* (tampak) dengan panjang gelombang yang lebih lebar^[9].



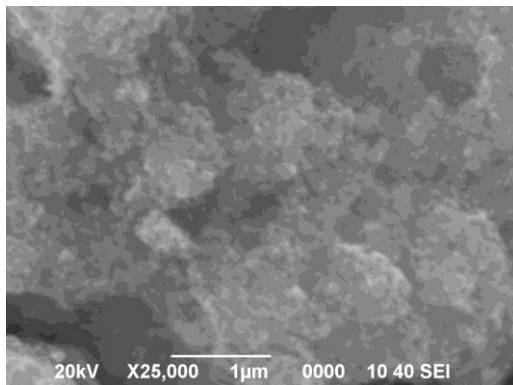
Gambar 2. Hasil analisis XRD TiO₂ P-25 (komersial) dan TiO₂ sintesis (Fe₂O₃-TiO₂) dari bijih Ilmenit

Gambar 2 menunjukkan adanya fase anatase yang terbentuk pada TiO₂ sintesis setelah mengalami pengeringan pada suhu 110 °C dan kalsinasi 450 °C. Fase anatase dapat dilihat juga pada TiO₂ P-25 yang ditunjukkan pada puncak-puncak 2θ sebesar 25,2; 37,9; 48,2; 55,0; 62,6^[5] selain tampak juga fase rutil pada puncak 27°. Pada TiO₂ sintesis, tidak terlihat puncak-puncak yang menunjukkan adanya hematit Fe₂O₃ pada TiO₂ sintesis. Tidak tampaknya hematit pada TiO₂ sintesis karena kandungan Fe₂O₃ yang terlalu kecil yang dapat lihat pada Tabel 3.

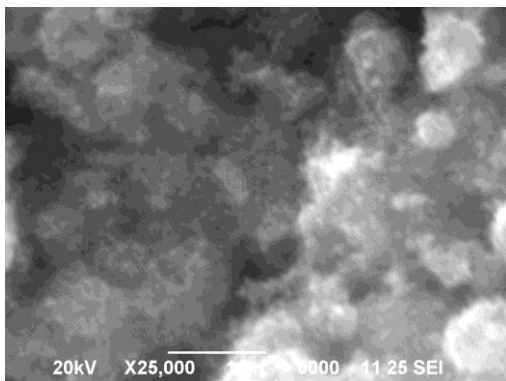
Pada TiO₂ P-25 terlihat intensitas fase anatase yang jauh lebih tinggi dibandingkan TiO₂ hasil sintesis dari bijih ilmenit. Pada TiO₂ hasil sintesis, fase anatase mempunyai intensitas lebih tinggi setelah dikalsinasi pada suhu 450 °C. Intensitas anatase yang tinggi ini menunjukkan sifat kristalin TiO₂ semakin besar. Kristalinitas TiO₂ menjelaskan bahwa atom-atom yang menyusun unsur TiO₂ tersebut tersusun secara teratur dan polanya berulang melebar secara tiga dimensi. Sifat kristalin pada TiO₂ menyebabkan TiO₂ bersifat fotoaktif yang mempunyai kemampuan menyerap energi foton ketika permukaan TiO₂ kontak dengan cahaya. Keberadaan fasa kristalin TiO₂ yang berbeda akan mempengaruhi efektivitas penyerapan energi foton oleh permukaan TiO₂. Fasa kristalin TiO₂ yang bersifat fotoaktif meliputi fasa anatase dan rutil dengan energi celah (E_g) secara berurutan 3,2 dan 3,0 eV. Perlu diketahui bahwa kristal TiO₂ dengan struktur anatase ini sangat sesuai untuk aplikasi fotokatalitik^[13-14].



(a) TiO_2 P-25^[15]



(b) $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ (110 °C)



(c) $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ (450 °C)

Gambar 3. Foto SEM : (a) TiO_2 P-25 (komersial), serta TiO_2 sintesis ($\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$) dari bijih Ilmenit setelah kalsinasi pada temperatur (b) 110 dan (c) 450 °C

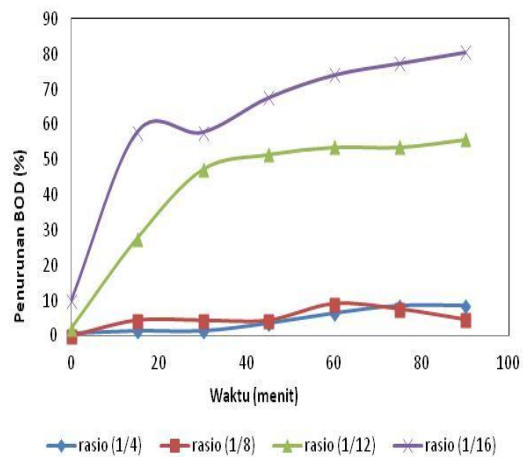
Gambar 3 menunjukkan morfologi P-25 TiO_2 dan TiO_2 yang dianalisis menggunakan SEM dimana morfologi P-25 TiO_2 berupa nano partikel dengan ukuran hampir seragam sekitar $28 \text{ nm}^{[14]}$. Morfologi $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ tampak partikel tidak seragam atau teratur dengan ukuran partikel lebih besar dari P-25 TiO_2 yaitu

berkisar $< 1 \mu\text{m}$ dilihat dari pembesaran 25000 x. Pada Gambar 3b dan 3c terlihat juga partikel mengalami agglomerasi menjadi ukuran lebih besar karena adanya deposit unsur Fe dalam TiO_2 yang tersebar secara merata dan tampak homogen. Hasil serupa juga dilakukan C.A Catro^[5] dalam penelitian pembuatan Fe-TiO_2 dimana partikel Fe terdistribusi secara merata diantara partikel satu dengan lainnya pada saat konsentrasi Fe dinaikkan sehingga memperbesar permukaan bidang Fe dalam partikel.

Uji Kinerja Katalis P-25 TiO_2 dan $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$

Penentuan Rasio Pengenceran Optimum

Penentuan variasi pengenceran optimum dilakukan dengan cara melakukan pengukuran terhadap persentase penurunan BOD₅ untuk setiap variasi rasio pengencerannya, dimana massa fotokatalis P-25 TiO_2 yang digunakan dibuat tetap yaitu sebesar 1 gram dimasukkan ke dalam lindi sebanyak 300 ml. Percobaan ini dilakukan terlebih dahulu untuk mengetahui berapa besar rasio pengenceran untuk dapat mendegradasi lindi sampah dalam waktu relatif singkat sebelum menggunakan uji kinerja katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ hasil sintesis. Hasil pengukurannya dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini :

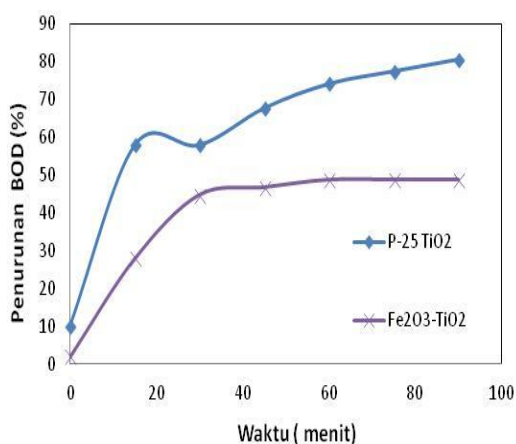


Gambar 4. Hubungan antara waktu penyinaran dengan % penurunan BOD₅ (variasi pengenceran)

Besar persentase penurunan BOD₅ semakin bertambah seiring dengan semakin lamanya waktu penyinaran. Hasil analisis pada Gambar 4 menunjukkan bahwa variasi rasio pengenceran limbah menghasilkan % penurunan BOD₅ tertinggi pada rasio pengenceran 1:16 yaitu sebesar 80,63% dengan nilai BOD sebesar 11,29 mg/l. Hal ini dikarenakan semakin encernya limbah maka penetrasi sinar UV menjadi semakin optimal sehingga kerja mikroorganisme menjadi lebih maksimal dalam menguraikan bahan organik pada limbah lindi.

Pengaruh Jenis Katalis terhadap Penurunan Kadar BOD₅

Setelah diperoleh rasio pengenceran optimum, maka dilakukan percobaan dengan melakukan variasi terhadap jenis katalis TiO₂ dan Fe₂O₃.TiO₂ masing-masing 1 gram dengan rasio pengenceran 1:16 (volume lindi setelah diencerkan sebanyak 300 ml). Hasil analisis penurunan kadar BOD₅ dapat dilihat pada Gambar 5.

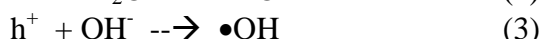


Gambar 5. Hubungan antara waktu penyinaran dengan % penurunan BOD₅ (variasi jenis katalis)

Pada Gambar 5 di atas persentase penurunan BOD₅ dengan massa katalis 1 gram lebih optimal menggunakan katalis P-25 TiO₂ dibandingkan dengan Fe₂O₃-TiO₂. Hal ini dikarenakan katalis P-25

TiO₂ bersifat kristalin dengan intensitas fase anatase yang lebih tinggi dan ukuran partikel seragam berkisar 28 nm yang akan mempunyai daya fotokatalitik yang lebih tinggi dibandingkan katalis Fe₂O₃-TiO₂^[12-13] yang bersifat kristalin namun intensitas fase anatasanya lebih rendah. Tingkat kristalinitas dan morfologi partikel dapat dilihat kembali pada Gambar 2 dan 3.

Reaksi pada permukaan fotokatalis ketika dilakukan penyinaran dengan sinar UV sebagai berikut^[16]:



Dimana :

N = normal akibat rekombinasi

h⁺ = hole

e⁻ = elektron

H⁺ = ion hidrogen

OH⁻ = ion hidroksi

Permukaan partikel TiO₂ menyerap OH⁻ dan H₂O dalam lindi sampah dan dioksidasi membentuk radikal hidroksi (•OH) (Persamaan (2) dan (3)) ketika bertemu dengan sinar UV. Ion •OH inilah yang mampu menguraikan senyawa organik berbahaya menjadi senyawa tidak berbahaya CO₂ dan H₂O. Namun yang menjadi kendala adanya rekombinasi elektron-hole (Persamaan (4)) yang cukup cepat sehingga menurunkan aktifitas fotokatalitik.

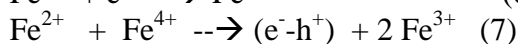
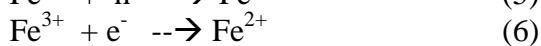
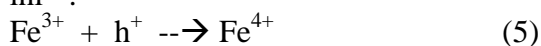
Proses fotokatalitik dipengaruhi juga kemampuan dalam menyerap foton yang dilakukan permukaan TiO₂. Katalis TiO₂ (Degussa P-25) mempunyai kemampuan fotoaktif yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan katalis Fe₂O₃-TiO₂ apabila mengalami kontak dengan cahaya UV.

Kemampuan fotokatalitik TiO₂ (Degussa P-25) yang jauh besar menyebabkan Degussa P-25 ini cukup komersial dijual, namun harganya relatif mahal. Katalis Fe₂O₃-TiO₂ hasil sintesis dari bijih ilmenit Bangka juga cukup

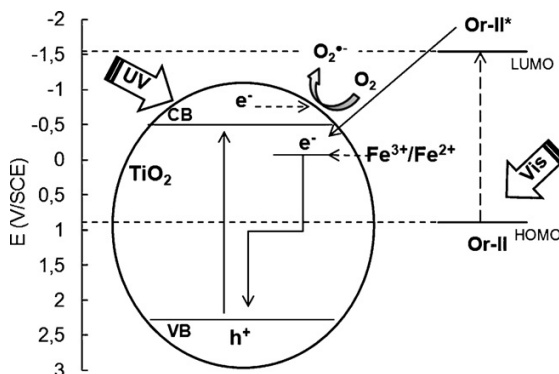
memuaskan karena mampu mendegradasi lindi sampah walaupun tidak signifikan dibandingkan Degussa P-25 (Gambar 5). Apabila katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ mempunyai spesifikasi sama dengan Degussa P-25, meliputi tingkat kristalin, presentase kristal anatase dan ukuran partikel yang sama maka kemungkinan katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ mempunyai kemampuan fotokatalitik jauh lebih besar daripada Degussa P-25^[17-18].

Katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ mempunyai kemampuan untuk menghambat reaksi rekombinasi elektron-hole (persamaan (4)) sehingga proses fotokatalitik dapat dilakukan relatif lama. Katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ juga mampu menyerap radiasi sinar UV-Visible yaitu cahaya *ultra violet* (UV) yang mempunyai panjang gelombang (100 – 400 nm) dan cahaya tampak (*Visible*) yang mempunyai panjang gelombang (400 – 800 nm). Kemampuan ini tidak dimiliki oleh katalis P-25 Degussa yang kurang sensitif menyerap energi foton pada daerah panjang gelombang cahaya tampak^[17-18].

Pada penelitian yang dilakukan disini hanya menggunakan sinar UV dalam aplikasi fotokatalitik untuk mendegradasi lindi sampah TPA Cilowong sehingga peran fotokatalis $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ tidak maksimal diberikan dibandingkan peran Degussa P-25. Mekanisme fotokatalis katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ pada saat dilakukan penyinaran adalah ion Fe^{3+} dalam matrik TiO_2 yang bertindak sebagai pembatas untuk mencegah rekombinasi elektron-hole pada pita konduksi dan valensi bereaksi membentuk ion Fe^{4+} (Persamaan (5)) dan ion Fe^{2+} (Persamaan (6)) yang akhirnya bereaksi kembali membentuk ion Fe^{3+} (Persamaan (7)) yang menyebabkan elektro-hole matrik TiO_2 mengalami rekombinasi kembali sehingga menurunkan aktifitas fotokatalitik. Namun rekombinasi elektron-hole yang relatif cepat dapat terhambat dengan keberadaan ion Fe^{3+} . Reaksi dapat dilihat di bawah ini^[5]:



Ilustrasi proses fotokatalitik $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ dengan sinar UV-Vis dapat dilihat pada Gambar 6.



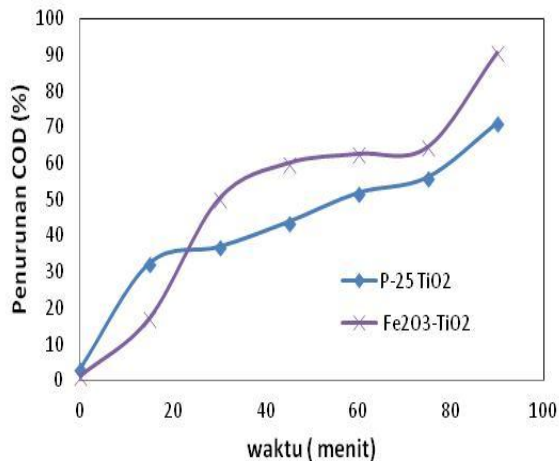
Gambar 6. Mekanisme oksidasi fotokatalis $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ menggunakan radiasi sinar UV-Vis (Solar)^[5]

Gambar 6 menunjukkan bahwa fotokatalis $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ mempunyai kemampuan oksidasi yang ganda setelah disinari dengan sinar *UV-Visible* dimana fotokatalis TiO_2 mampu menyerap sinar UV sedangkan fotokatalis Fe_2O_3 mampu menyerap sinar *visible* (cahaya tampak) yang mengakibatkan aktifitas fotokatalitik meningkat dalam menguraikan senyawa organik berbahaya menjadi senyawa CO_2 dan H_2O yang tidak berbahaya. Aktifitas fotokatalitik $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ meningkat apabila dilakukan penyinaran cahaya UV-Visible. Peran TiO_2 dan Fe_2O_3 sebagai oksidator atau agen pengoksidasi pada katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ menyebabkan katalis heterogen ini banyak diminati untuk aplikasi fotokatalitik. Namun sifat-sifat unggul katalis heterogen tersebut harus juga terpenuhi meliputi ukuran partikel, porositas, jenis stuktur kristal, dan morfologi partikel.

Pengaruh Jenis Katalis terhadap Penurunan Kadar COD

COD merupakan total kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik yang mudah urai dan sulit urai (*nonbiodegradable*) menjadi CO_2 dan H_2O . Hasil analisa penurunan kadar COD menggunakan katalis TiO_2 P-25 dan $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ masing-

masing sebanyak 1 gram sebanyak 300 ml larutan lindi (Rasio (v/v) lindi/H₂O = 1:16) dapat dilihat pada Gambar 7 di bawah ini :



Gambar 7. Hubungan antara waktu penyinaran dengan persentase removal COD

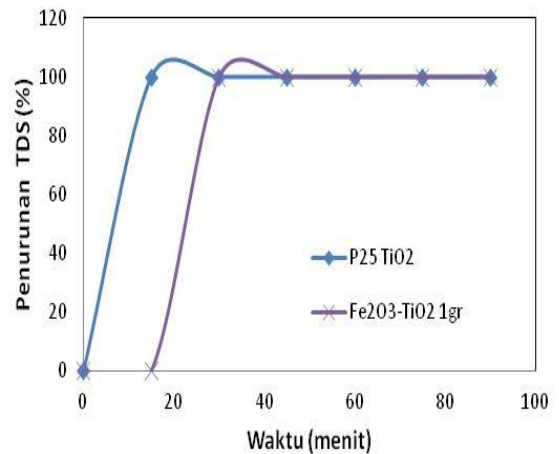
Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa persentase penurunan COD paling besar menggunakan fotokatalis Fe₂O₃-TiO₂ dibandingkan P-25 TiO₂. Hal ini dikarenakan fotokatalis Fe₂O₃-TiO₂ berperan besar dalam degradasi senyawa *nonbiodegradable* (sulit urai) dibandingkan TiO₂ (Degussa P-25). Fotokatalis Fe₂O₃-TiO₂ mampu mengoksidasi ganda senyawa *nonbiodegradable* (sulit urai) menjadi CO₂ dan H₂O dalam waktu relatif cepat akibat ion radikal hidroksi (•OH) yang dihasilkan oleh fotokatalis TiO₂ dan Fe₂O₃. Ilustrasi ini dapat dilihat pada Gambar 6.

Pengaruh Jenis Katalis terhadap Penurunan Kadar TDS

TDS merupakan total padatan terlarut yang memiliki ukuran partikel yang sangat kecil karena berupa garam-garam mineral seperti nitrat (NO₃⁻), amonium (NH₃⁺), fosfat (PO₄³⁻), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan Sulfat (SO₄²⁻); serta unsur hara mikro seperti : besi (Fe),mangan (Mn), tembaga (Cu) dan seng (Zn) dimana banyak ditemukan di dalam lindi sampah.

Pada Gambar 8 ditampilkan % penurunan TDS menggunakan katalis TiO₂

P-25 dan Fe₂O₃-TiO₂ masing-masing sebanyak 1 gram sebanyak 300 ml larutan lindi (Rasio volume (v/v) lindi/H₂O = 1:16)



Gambar 8. Hubungan antara waktu penyinaran dengan persentase penurunan TDS

Berdasarkan Gambar 8 di atas dapat dilihat bahwa % penurunan TDS untuk fotokatalis P-25 TiO₂ dan Fe₂O₃.TiO₂ memiliki nilai yang sama yaitu mencapai 100% dimana penurunan TDS terjadi semakin besar seiring dengan semakin lamanya waktu penyinaran, Penurunan TDS yang cukup signifikan pada waktu yang relatif singkat menunjukkan bahwa limbah lindi sampah lebih banyak mengandung senyawa organik yang mudah terlarut dibandingkan dengan padatan terlarut yang dapat dipisahkan menggunakan proses fisik seperti penyaringan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diberikan dalam percobaan ini adalah proses fotokatalitik dengan radiasi sinar UV dan menggunakan katalis Fe₂O₃-TiO₂ hasil ekstraksi ilmenit Bangka ternyata mampu menurunkan kandungan BOD₅, COD, TDS pada lindi sampah seperti katalis TiO₂ P-25 Degussa (komersial).

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa fotokatalis Fe₂O₃-TiO₂ juga mampu menurunkan kadar BOD meskipun lebih kecil dibandingkan katalis TiO₂ Degussa

P-25. Selain itu ditunjukkan pula bahwa katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ mampu menurunkan COD lebih besar dibandingkan katalis TiO_2 Degussa P-25. Kemampuan yang sama ditunjukkan oleh kedua katalis dimana katalis $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ dan TiO_2 P-25 Degussa mampu menurunkan TDS sesuai dengan baku mutu limbah industri yang ditetapkan pemerintah.

Saran yang diperlukan adalah perlu dikembangkan penelitian lanjut untuk meningkatkan efek fotokatalitik dari $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ sehingga menyerupai sifat TiO_2 P-25 Degussa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan pendanaan melalui Hibah Insentif Sinas 2012 tentang Konsorsium Pengembangan Teknologi Pengolahan Sumber Daya Pasir Besi Menjadi Produk Besi/Baja, Pigmen, Bahan Keramik, Kosmetik, dan fotokatalitik dalam Mendukung Industri Nasional. Ucapan terima kasih juga diberikan pada semua pihak yang membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, „Titanium Dioxida (TiO_2) Fotokatalis (photocatalist) Yang Potensial [online]”, Available at: URL: <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1694&lang=id>, Accessed June, 2, 2011.
- [2] Anonim, „Nanoteknologi, Bioteknologi, Teknologi Informasi dan Teknologi Lingkungan Teknologi Masa Depan di Jepang”, Available at: URL: http://www.id.emb-japan.go.jp/aj310_02.html, Accessed Dec, 18, 2012
- [3] X.Wang, W.Lian, X. Fu, J.M. Basset, F. Lefebuve. 2006. „Structure, preparation and photocatalytic activity of titanium oxides”. *Journal of Catalysis* : 238, 13-20.
- [4] C. Zhang, Y.F. Zhu. 2005. „Synthesis of square Bi_2WO_6 nanoplates as high-activity visible-light-driven photocatalysts”. *Chemistry of materials*. :17, 3537 – 3545.
- [5] Camilo A. Casro, Aristobulo Centeno, Sonia A. Giraldo. 2011. „Iron promotion of the TiO_2 photosensitization process towards the photocatalytic oxidation of azo dyes under solar-simulated light irradiation”. *Material Chemistry and Physics* :129, 1176-1183
- [6] Fan Dong, Haiqiang Wang, Zhongbio Wu, Jinfeng Qiu. 2010. „Marked enhancement of photocatalytic activity and photochemical stability of N-doped TiO_2 nanocrystals by $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ surface modification”. *Journal of Colloid and Interface Science* : 343, 200 – 208.
- [7] Jun-Qi Li, De-Fang Wang, Zhan-Yun Guo, Zhen-Feng Zhu. 2012. „Preparation, Characterization and visible-light driven photocatalytic activity of Fe-incorporated TiO_2 microspheres photocatalysts”. *Applied Surface Science* : 1-7.
- [8] Qi Wu, Junjie Ouyang, Kumpeng Xie, Lan Sun, Mengye Wang, Changjian Lin. 2012. „Ultrasound-assisted synthesis and visible-light-driven photocatalytic activity of Fe-incorporated TiO_2 nanotube array photocatalysts”. *Journal of Hazardous Materials* :199-200, 410 – 417
- [9] York R. Smith, K. Joseph Antony Ray, Vaidyanathan (Ravi)

- Subramaniam, B. Viswanathan. 2010. „Sulfated Fe₂O₃-TiO₂ synthesized from ilmenite ore: A visible light active photocatalyst, Colloids and surfacess A”. *Physicochem. Eng. Aspects* : 367, 140 – 147.
- [10] Jingqun Gao, Renzheng Jiang, Jun Wang, Baoxin Wang, Kai Li, Pingli Kang, Ying Li, Xiangdong Zhang. 2011. „Sonocatalytic performance of Er³⁺:YAlO₃/TiO₂-Fe₂O₃ in organic dye degradation”. *Chemical Engineering Journal* : 168, 1041 – 1048.
- [11] Riyanti. 2001, Dampak sebagai kadar lindi dari TPA Piyungan terhadap kematian ikan nila, AKL, Yogyakarta.
- [12] Menteri Negara Lingkungan, Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-51/MENLH/10/1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri.
- [13] Kitano M, Matsuoka M, Ueshima M, Anpo M. 2007. „Recent Developments in titanium oxide-based photocatalysts”. *Applcatal A Gen* : 325 (1):1-14.
- [14] R. Dholam, N. Patel, M. Adami, A. Miotello. 2009. „Hydrogen production by photocatalytic water-splitting using Cr- or Fe doped TiO₂ composite thin films photocatalyst”. *International Journal of Hydrogen Energy* : 34, 5337 – 5346.
- [15] Ling-Jung Hsu, Li-Ting Lee, Chia-Chang Lin. 2011. „Adsorption and Photocatalytic Degradation of Polyvynyl Alcohol in Aqueous Solutions using P-25 TiO₂”. *Chemical Engineering Journal* : 173, 698-705.
- [16] Xiang Li, Rongchun Xiong, Gang Wei. 2009. „Preparation and Photocatalytic activity of nanoglued Sn-doped TiO₂”. *Journal of Hazardous Materials* : 164, 587 – 591.
- [17] Qiong Sun, Wenhua Leng, Zhen Li, Yiming Xu. 2012. „Effect of surface Fe₂O₃ clusters on the photocatalytic activity of TiO₂ for phenol degradation in water”. *Journal of Hazardous Material* :229 – 230, 224 – 232.
- [18] A.V. Emerline, X. Zhang , M. Jin, T. Murakami, A. Fujishima. 2006. „Application of a black body like reactor for measurements of quatum yields of photochemical reactions in heterogeneous systems”. *J. Phys. Chem. B* 110 , 7409 – 7413.

RIWAYAT PENULIS

Latifa Hanum Lalasari lahir di Surabaya pada tanggal 21 Februari 1978. Menyelesaikan pendidikan S-1 di Teknik Kimia ITS pada tahun 2002 dan S-2 di Teknik Kimia UI pada Tahun 2009. Pengalaman kerja yang pernah di tekuni adalah sebagai asisten dosen di Teknik Kimia – ITS semasa kuliah, Staf PPIC dan Utilitas pengolahan limbah di CV. Sonokembang (Th. 2002-2004), Dosen Teknik Kimia – ITI (Th. 2005 – 2007), dan sekarang bekerja aktif di Pusat Penelitian Metalurgi – LIPI Serpong mulai Januari 2008.

