

## Pemanfaatan Lumpur Sidoarjo untuk Sintesis Fotokatalis *Microball* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Zeolit-Kitosan Sebagai Pendegradasi Limbah Tempe

*Utilization of sludge from Sidoarjo for synthesis of microball photocatalist of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zeolit-chitosan as fermented soybean waste-degrading agent*

Erlaningtias Hutami Ardana Putri<sup>\*)</sup>, Dwi Funky Ratnasari, Anugerah Dewi Harumsari,  
Vivid Ayu Lestari, Sri Wardhani\*

*Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Brawijaya*

<sup>\*)</sup>Email : erla.ardana@gmail.com

### ABSTRACT

The sludge from sidoarjo have high Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content of about 62,19%. This content have potential to prepare as photocatalyst for degraded *fermented soybean waste* by support sunlight. Synthesis of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zeolit-chitosan photocatalyst was carried out by impregnation into zeolite. Adding chitosan into the mixture of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zeolite then cast to be granules. Characterization of photocatalyst obtained using spectrophotometer IR, XRD, and DRS. Microball photocatalyst of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>zeolit-chitosan with variation of pH 4, 6, and 8 then were done test of degradation performance by sunlight during 4 hours. As the result, the optimum pH of photocatalyast via COD test is pH 8. The higher base of photocatalyst, decreasing of degradation is higher.

Keywords: *degradation, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, fermented soybean waste, sludge.*

### PENDAHULUAN

Pada tahun 2006 terjadi luapan lumpur Sidoarjo yang menyebabkan kerugian seperti terendamnya pemukiman, sawah hingga industri. Kandungan lumpur sidoarjo yang terbanyak ialah Fe dengan kadar sebesar 62,19% (Afida dkk, 2014). Sehingga muncullah inovasi untuk membuat fotokatalis *microball* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zeolit/kitosan untuk mendegradasi limbah industri tempe. Alasan pemilihan menggunakan limbah industri tempe karena kota Malang terkenal dengan industri tempunya yang menghasilkan limbah tempe yang dapat mencemari lingkungan. Banyak beban pencemar terbesar dalam limbah tempe adalah kandungan organik dan kekeruhan. Limbah industri tempe pada umumnya berbau asam dan busuk yang makin lama semakin menyengat sehingga semakin mengganggu lingkungan di sekitarnya (Suprapti, 2003). Sehingga permasalahan ini dapat diatasi dengan menggunakan fotokatalis *microball* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zeolit/kitosan yang disinari menggunakan sinar matahari. Pada penlitian ini, hal yang diteliti beserta tujuannya ialah mencakup pengaruh variasi pH ekstraksi Fe(OH)<sub>3</sub>, variasi massa Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada sintesis fotokatalis *microball* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-

zeolit/kitosan terhadap degradasi limbah industri, serta karakterisasi fotokatalis *microball* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – zeolit/kitosan dengan menggunakan XRF, XRD, spektra IR, dan Diffuse Reflectance. Di sisi lain, penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi menangani limbah industri tempe yang memiliki nilai COD tinggi dengan bau tidak sedap yang dapat mencemari lingkungan. Dari penelitian ini diharapkan dapat mendapat hak paten serta publikasi hasil pada seminar nasional.

Senyawa yang terkandung dalam Lumpur Sidoarjo dijelaskan pada penelitian yang dilakukan oleh (Afida *et al.*, 2014) yaitu Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (62,19%), SiO<sub>2</sub> (15%), CaO (8,25%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4,8%), TiO<sub>2</sub> (2,76%). Ekstraksi Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dari lumpur sidoarjo pernah dilakukan oleh (Yudhistia dkk, 2013) dengan menggunakan metode asam, yakni HCl pekat untuk memisahkan Fe(III) dari sampel. Fe(III) diendapkan dalam bentuk hidroksida Fe(OH)<sub>3</sub> menggunakan larutan amonium hidroksida. Endapan dikeringkan untuk membentuk Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Selanjutnya, Proses kalsinasi diatas suhu 500<sup>0</sup>C menghasilkan Hematit (α- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Dari hasil karakterisasi menggunakan XRF, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang didapatkan sebesar 79,62%.

Untuk sintesis fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Zeolit}$ , fotokatalis diimbangkan dalam zeolit kitosan agar daya serap kitosan terhadap limbah lebih besar. Hal ini dibuktikan oleh (Deka, 2011) yang menyatakan bahwa kemampuan fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  yang diimbangkan dalam zeolit lebih besar dibandingkan dengan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tanpa zeolit. Fotokatalis merupakan kombinasi proses dari fotokimia dan katalisis dimana diperlukan sinar UV dan katalis (semikonduktor) untuk melangsungkan suatu transformasi kimia (Riyani K. & Tien Setyaningtyas, 2011). Sintesis fotokatalis  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  zeolit telah dilakukan oleh (Amalia, 2012) dengan cara mengembankan kation Fe (III) dalam zeolit teraktivasi. Hal ini bertujuan untuk memperbesar luas permukaan zeolit dan menghindari proses penggumpalan logam. Kation Fe (III) diperoleh dari larutan  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Pengembangan dilakukan dengan menambahkan satu gram zeolit teraktivasi ke dalam 400 mL larutan  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , kemudian dilakukan pengocokan. Oksida  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dibentuk dari larutan  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  melalui proses kalsinasi pada temperatur  $500^\circ\text{C}$ .

Menurut penelitian (Xin Chen, dkk, 2000), kitosan dicampurkan dalam zeolit dalam rasio berbeda agar dapat diidentifikasi. Disini, kitosan berperan sebagai adsorben alami. Kitosan akan memberikan sifat lentur pada membran (zeolit). Preparasi zeolit-kitosan dapat dilakukan dengan mencampurkan 160 mL asam asetat dengan perbandingan 1:1 yang dilanjutkan dengan pengadukan dan penambahan NaOH, sehingga terbentuk material kecil berukuran  $200 \mu\text{m}$  yang digunakan sebagai adsorben (Ngah, W.S.W, dkk, 2012).

## METODE

Bahan dasar yang digunakan pada penelitian ini adalah lumpur sidoarjo yang diambil dari semburan lumpur hasil pengeboran PT. Lapindo Brantas Inc. Bahan-bahan kimia yang digunakan adalah aquades, larutan aqua regia, larutan HCl 0,4 M, zeolit, kitosan, larutan NaOH 1 M dan 0,4 M, larutan etanol, larutan asam asetat 1%,  $\text{HgSO}_4$ , larutan  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat, indikator ferroin, dan larutan ferro ammonium sulfat. Peralatan yang digunakan adalah ayakan 150 mesh, peralatan gelas, cawan porselen, aluminium foil, botol sampel, kertas saring, oven, neraca digital, shaker, mortar, desikator, hotplate, shrying, seperangkat alat refluks, seperangkat alat titrasi, pH

indikator universal, furnace, X-Ray Diffraction (XRD), spektrofotometer Diffuse Reflectance, spektrofotometer fluoresensi sinar x, spektrofotometer inframerah.

### Preparasi sampel Lumpur Sidoarjo

Lumpur Sidoarjo ditumbuk halus dan dikeringkan dalam oven selama 5 jam pada suhu  $110^\circ\text{C}$ . Kemudian lumpur diayak dengan ayakan ukuran 150 mesh. Lumpur kering yang lolos ayakan dilanjutkan dengan kalsinasi selama dua jam pada suhu  $800^\circ\text{C}$ , sehingga lumpur tersebut disebut sebagai sampel. Kemudian sampel dilakukan uji kuantitatif dengan XRF.

### Aktivasi zeolit

Zeolit dicuci dengan aquades sebanyak 1000 mL. Selanjutnya zeolit hasil pencucian disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu  $110^\circ\text{C}$  selama dua jam. Hasil pengeringan ditambahkan 250 mL HCl 0.4 M dan dikocok dalam shaker selama 2 jam. Zeolit disaring dan dinetralkan (pH=7) dengan menggunakan aquades. Zeolit yang terdapat dalam kertas saring dikeringkan dalam oven selama 2 jam pada suhu  $110^\circ\text{C}$ . Setelah didiamkan dalam desikator selama 2 jam, endapan zeolit ditimbang hingga massa konstan. Selanjutnya zeolit dikalsinasi pada suhu  $500^\circ\text{C}$  selama 4 jam dan hasil kalsinasi ditimbang massanya.

### Ekstraksi $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dari Lumpur Sidoarjo

Sampel sebanyak 5 gram yang telah dipreparasi, dilarutkan dalam larutan aqua regia ( $\text{HCl}:\text{HNO}_3$ ) sebanyak 25 mL dan dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu  $215^\circ\text{C}$  sambil diaduk menggunakan magnetic stirer. Sehingga diperoleh endapan yang akan dipisahkan dengan cara filtrasi. Endapan dikeringkan dalam oven sedangkan filtrat ditambahkan dengan larutan NaOH 1 M hingga pH filtrat menjadi 4, 6, dan 8 untuk memperoleh  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  dan didiamkan selama 1 hari. Ketiga larutan difiltrasi untuk memperoleh gel  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  pH 4, pH 6, dan pH 8.

### Sintesis $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -zeolit

Gel  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  pH 4, pH 6, dan pH 8 ditambahkan dengan 8 mL larutan etanol dan diaduk menggunakan magnetic stirer hingga larut. Kemudian masing-masing larutan ditambahkan dengan zeolit sebanyak 2 gram dan diaduk lagi hingga larutan menjadi pasta. Pasta pH 4, pH 6, dan pH 8 yang terbentuk diuapkan pada suhu  $70^\circ\text{C}$  dan berubah menjadi endapan kering.

Ketiga endapan tersebut dikeringkan dalam oven dan ditimbang massa hingga konstan. Selanjutnya ketiga endapan dikalsinasi pada suhu  $500^\circ\text{C}$  selama 4 jam untuk memperoleh  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -zeolit pH 4, pH 6, dan pH 8. Hasil kalsinasi ditimbang massanya. Hasil sintesis dilakukan uji kualitatif dengan XRD.

**Sintesis fotokatalis *microball* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zeolit-kitosan**

Larutan asam asetat 1 % sebanyak 9,5 mL ditambah dengan 0,25 gram kitosan 0,25 sambil diaduk dengan magnetic stirer selama 30 menit. Selanjutnya campuran tersebut ditambah dengan 2,5 gram hasil sintesis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zeolit pH 4 dan diaduk lagi selama 30 menit. Larutan yang terbentuk dimasukkan dalam pipet dan dikeluarkan secara perlahan ke dalam larutan NaOH 0,4 M dengan volume 100 mL. *Microball* yang terbentuk disaring dan dikeringkan dalam oven. Langkah ini diulangi untuk hasil sintesis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zeolit pH 6 dan pH 8. Hasil sintesis diuji dengan spektrofotometer Inframerah dan spektrofotometer *Diffuse Reflectance*.

**Uji aktivitas fotokatalis terhadap limbah industri tempe**

Pengujian aktivitas fotokatalis terhadap limbah industri tempe dilakukan dengan menggunakan 0,1 gram fotokatalis *microball* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zeolit-kitosan pH 4, 6, dan 8 yang dimasukkan ke dalam suatu wadah yang berisi 25 mL limbah industri tempe. Selanjutnya, wadah disinari dengan sinar matahari dengan lama penyinaran 4 jam. Dilakukan juga variasi pH limbah industri tempe yakni pH 6, 8, dan 10 dengan lama penyinaran selama 4 jam dan menggunakan fotokatalis *microball* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zeolit-kitosan pH 8. Setelah diperoleh pH optimum limbah, dilakukan variasi rasio massa fotokatalis *microball* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zeolit-kitosan pH 8 sebanyak 0,1; 0,2; 0,3 gram.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil diantaranya, pada preparasi lumpur sidoarjo diperoleh lumpur hasil kalsinasi berwarna merah bata sebesar 287,41 gram.

Sampel lumpur sidoarjo yang didapatkan dilakukan karakterisasi dengan XRF yang menunjukkan kandungan unsur Fe sebesar 53,11%. Besarnya kandungan Fe dalam lumpur sidoarjo tidak berbeda jauh dari penelitian Afida (2014). Pada Aktivasi zeolit dengan metode asam diperoleh zeolit hasil kalsinasi sebanyak 249,80

gram dan dikarakterisasi dengan menggunakan Spektrofotometer Inframerah. Hasil uji XRF sampel lumpur sidoarjo mengandung unsur Fe (53,11%), Si (16,1%), Ca (9,46%), Al (5,1%), K (3,44%).

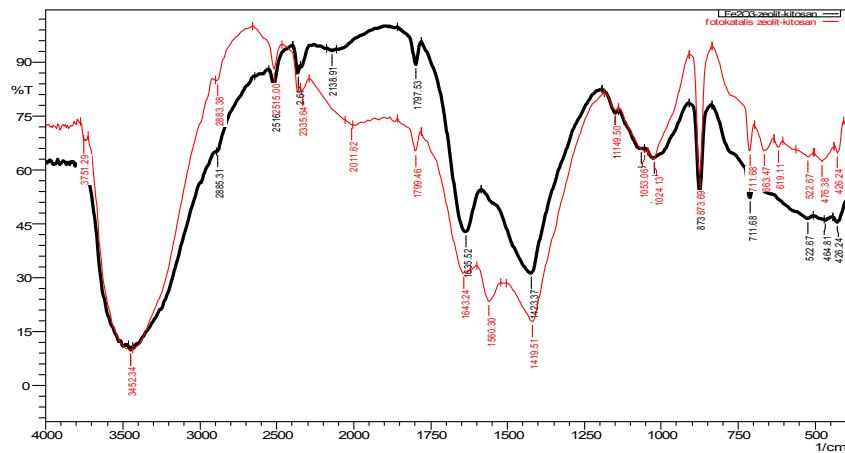
Pada proses ekstraksi Fe(OH)<sub>3</sub> diperoleh gel Fe(OH)<sub>3</sub> berwarna orange kecoklatan dimana Fe yang berhasil terdestruksi dari sampel lumpur sidoarjo sebanyak 0,9 gram dan divariasi pH filtrat dengan penambahan NaOH hingga diperoleh pH 4, 6, dan 8. Gel Fe(OH)<sub>3</sub> yang diperoleh diembankan ke dalam zeolit dengan penambahan etanol, sehingga terbentuk pasta berwarna coklat dan dilakukan kalsinasi. Massa Fe(OH)<sub>3</sub>-zeolit pH 4, 6, dan 8 yang diperoleh dari hasil kalsinasi sebanyak 1,52, 1,62, dan 1,61 gram dan berwarna coklat. Pada proses ini dilakukan penggantian metode dikarenakan sampel berbentuk kristal dan juga hangus saat dikalsinasi sehingga tidak diperoleh Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Pada sintesis fotokatalis *microball* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zeolit/kitosan pH 4, 6, dan 8 diperoleh massa sebesar 4,04 gram, 2,53 gram dan 3,08 gram dengan warna coklat muda. Fotokatalis *microball* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zeolit/kitosan diuji dengan menggunakan XRD, IR, dan DRS. Dari hasil karakterisasi IR pada fotokatalis *microball* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zeolit/kitosan menunjukkan bahwa terdapat serapan 522,67 cm<sup>-1</sup> yang mengindikasikan adanya Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan serapan 464,81 cm<sup>-1</sup> mengindikasikan adanya zeolit. Sedangkan hasil serapan pada *microball* zeolit-kitosan terdapat serapan 522,67 cm<sup>-1</sup> dan 476,38 cm<sup>-1</sup> yang mengindikasikan adanya Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan zeolit. Hasil serapan yang didapatkan sesuai dengan literatur pada Nyquist (1971), yaitu serapan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 520,74 cm<sup>-1</sup> dan serapan vibrasi bending Si-O-Si sebesar 460,96 cm<sup>-1</sup>.

Gambar 1 merupakan hasil spektrofotometer Inframerah dari Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zeolit/kitosan dan *Microball* zeolit-kitosan.

Tabel 1. Posisi 2θ pada fotokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zeolit/kitosan

Sampel	Posisi 2θ		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -zeolit/kitosan pH 4	31,7189	23,1386	39,5135
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -zeolit/kitosan pH 6	31,7732	23,1247	39,5196
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -zeolit/kitosan pH 8	31,7805	23,1639	39,5557
JCPDS No.882359	32,856	23,856	39,076



Gambar 1. Spektra Fotokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zeolit/citrus (hitam) dan *Microball* zeolit-citrus (merah)

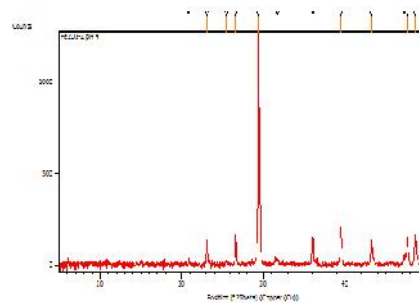
Hasil karakterisasi DRS menunjukkan bandgap dari fotokatalis *microball* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zeolit/citrus sebesar 3,158 eV sedangkan bandgap dari *microball* zeolit-citrus sebesar 1,86 eV. Menurut penelitian Shinde dkk (2011) bandgap Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 2,2-2,25 eV. Perbedaan bandgap yang sangat besar disebabkan oleh perlakuan doping zeolit pada Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dimana zeolit mengandung Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 1.27% (Aini & Lies, 2007). Hal ini menyebabkan fotokatalis yang didapatkan membutuhkan energi yang cukup besar untuk terjadinya eksitasi. Karakterisasi dengan XRD diperoleh data pada tabel 1. Pada tabel 1 menunjukkan bahwa fotokatalis *microball* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zeolit/citrus sesuai dengan **JCPDS No.882359** yang ada, yaitu Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hematite).

Uji aktivitas fotokatalis dilakukan pada limbah industri tempe dengan variabel pH pembentuk Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, yaitu pada pH 4, 6, dan 8, hasilnya dibandingkan dengan nilai COD limbah awal dan kontrol *microball* zeolit-citrus.

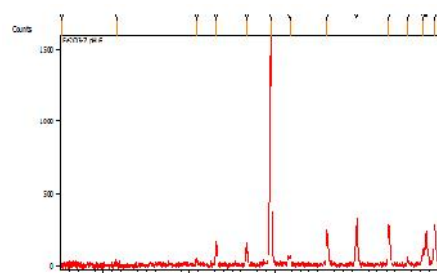
Hasil uji aktivitas didapatkan perubahan warna limbah dari kuning keruh menjadi putih keruh seperti yang tertera pada gambar 5.

Hasil uji aktivitas fotokatalis ditunjukkan dengan persen penurunan nilai COD yang tersaji pada Gambar 6 dan 7. Dari Gambar 6 dan 7 dapat disimpulkan nilai COD dari limbah yang telah didegradasi mengalami penurunan dari nilai COD limbah sebelum didegradasi. Penurunan nilai COD yang besar menunjukkan kinerja

fotokatalis *microball* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zeolit/citrus yang optimum, yaitu pH 8.



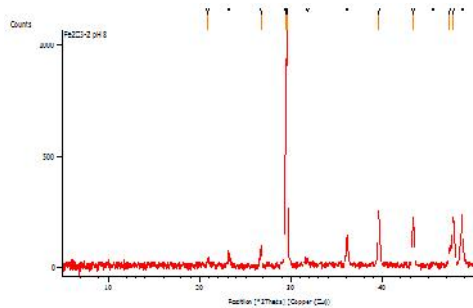
Gambar 2. Fotokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>zeolit-citrus pH 4



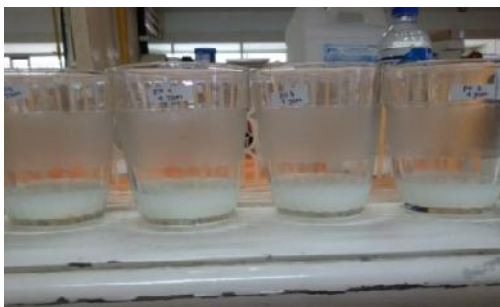
Gambar 3. Fotokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zeolit-citrus pH 6

pH ini merupakan pH pembentukan Fe(OH)<sub>3</sub>. Semakin tinggi pH maka semakin banyak Fe(OH)<sub>3</sub> yang terbentuk. Hal ini disebabkan karena konsentrasi fotokatalis meningkat sehingga sisi aktif dari fotokatalis juga mengalami peningkatan (Kadam, *et al.*, 2014). Reaksi yang mendukung penjelasan tersebut

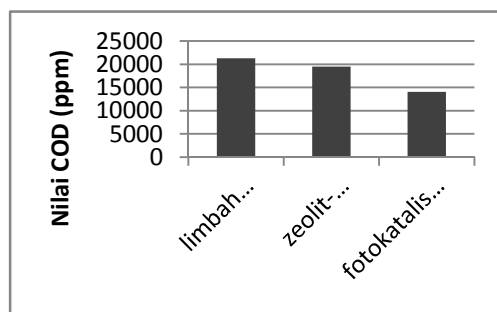
sesuai dengan reaksi fotokatalitik TiO<sub>2</sub>, oksida Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> juga memiliki reaksi fotokatalitik yang sama dengan oksida tersebut, yaitu (Cheng dkk, 2012) (Gokakakar & Salker, 2009).



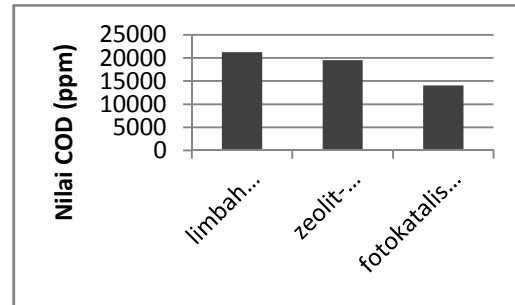
Gambar 4. Fotokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zeolit-kitosan pH 8.



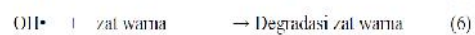
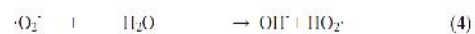
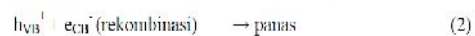
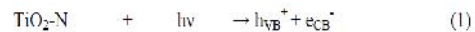
Gambar 5. Perubahan warna limbah setelah didegradasi



Gambar 6. Kurva hubungan % penurunan nilai COD dengan pH pembentuk fotokatalis



Gambar 7. Kurva hubungan penurunan nilai COD dengan limbah tempe awal, fotokatalis zeolit-kitosan, dan fotokatalis pH 8



Limbah industri tempe merupakan senyawa anionik (bermuatan negatif) akan lebih mudah terabsorpsi pada permukaan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang bermuatan positif. Fotokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang bermuatan positif memiliki PZC (*Point of Zero of Charge*) sebesar 8,6, sehingga permukaan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> akan bermuatan positif jika berada pada pH dibawah 8,6. Sebaliknya pada pH diatas 8,6, permukaan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> akan bermuatan negatif (Rizzo *et al.*, 2005) dan (Parks & Bruyn, 1962).

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi dengan XRF, kandungan Fe pada sampel lumpur sidoarjo sebesar 53,11%. Karakterisasi XRD pada sampel menunjukkan struktur α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Karakterisasi IR pada fotokatalis microball Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Zeolit-Kitosan dan *microball* zeolit-kitosan menunjukkan adanya Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pada bilangan gelombang 522,67 cm<sup>-1</sup>. Nilai Bandgap Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 3,158 eV dan Zeolit-kitosan sebesar 1,86 eV. Berdasarkan penelitian ini diketahui bahwa pH optimum fotokatalis microball Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Zeolit-Kitosan adalah pH 8.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afida, L. N., Rachmat T.T., Anna R. 2014. Sintesis Keramik Berpori berbahan Dasar Lumpur Lapindo Menggunakan Cetakan Nata De Coco. *Kimia Student Journal*, Vol.1, No.2: 57-63
- Aini, Mukharomah Nur, & Lies, L., 2007, *Proses Pemutihan Zeolit Sebagai Bahan Pemutih Kertas*, Majalah Ilmiah Vol:2, No. 1, pp 427-435, <http://www.bbpbk.go.id>
- Amalia, 2012, *Pengaruh Penambahan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> terhadap Degradasi Jingga Metil Menggunakan Fotokatalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Zeolit*, Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya Malang
- Chen, Xing, Hu Yang, Zhengyu Gu, Zhengzhong Shao, 2000, *Preparation and Characterization of HY Zeolite-Filled Chitosan Membranes For Pervaporation Separation*, Department of Macromolecul Science, The key Laboratory of Molecular Engineering of Polymers, Fudan University Shanghai
- Cheng, X., Yu, X., & Xing, Z., 2012, Characterization and Mechanism Analysis of N doped TiO<sub>2</sub> with Visible Light Response and It's Enhanced Visible Activity, *Applied Surface Science*, pp. 3244-3248
- Deka, P.T., 2011, *Uji Fotodegradasi Zat Warna Jingga Metil Menggunakan Sinar-UV dan Katalis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*, Skripsi, Laboratorium Kimia Anorganik, Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Brawijaya Malang
- Gokakakar, S. D. & Salker, A. V., 2009, Solar Assisted Photocatalytic Degradation of Methyl Orange Over Synthesized Copper, Silver, and Tin Metalloporphyrins, *Indian Journal of Chemical Technology*, 16, pp. 492-498
- Kadam, A.N., Dhabbe, R.S., Kokate, M.R., Gaikwad, Y.B., dan Garadkar, K.M., 2014, *Preparation of N doped TiO<sub>2</sub> Via Microwave-Assisted Method and Its Photocatalytic Activity for Degradation of Malathion*, Spectrochimica ACTA Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy
- Ngah, W.S.W., L.C.Teong, R.H. Toh, M. A. K. M. Hanafiah, 2012, *Utilization of Chitosan Zeolite Composite in the Removal of Cu<sub>2</sub> From Aqueous Solution: Adsorbtion, Desorption, and Fixed Bed Column Studies*, Chemical Engineering Journal 209(2012) 46-53
- Nyquist, R.A., & Kegel, R.O., 1971, *Infrared Spectra of Inorganic Compounds*, Academic Press Inc., London
- Parks, G.A., & P.L. Bruyn, 1962, *The Zero Point of Charge of Oxides I*, No.6 Vol. 66, 967-973, <http://www.mendeley.com/research/zero-point-charge-oxides/>, diakses tanggal 30 Mei 2015
- Riyani, K. & Tien Setyaningtyas, 2011, *Pengaruh Karbon Aktif Terhadap Aktivitas Fotodegradasi Zat Warna Pada Limbah Cair Industri Tekstil menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>*, Molekul, Vol. 6. No.2: 113-122
- Rizzo, L., J. Koch, V. Belgiorno, dan M.A. Anderson, 2005, *Removal of Methilene Blue in a Photocatalytic Reactor using Polimethylmethacrelate Support TiO<sub>2</sub> Film*, University of Salerno, Italy
- Shinde, S.S., R.A. Bansode, C.H. Bhosale, K.Y. Rajpure, 2011. Physical Properties of Hematite  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Thin Films: Application To Photoelectrochemical Solar Cells. *Journal of Semiconductors*, Vol. 32, No. 1
- Suprapti, M.L. 2003. *Pembuatan Tempe*. Jakarta: Kanisius
- Yudhistia, Riska, Rachmat Triandi Tjahjanto, Akhmad Sabarudin, 2013, *Fabrication of Oxide Ceramic MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Using Iron Oxide Isolated From Lapindo Mud as a Raw Material*, j. Pure App. Chem. Res, 2(3),103-109