

ELIMINASI SENYAWA AZOBENZENE PADA LIMBAH BATIK MENGUNAKAN NANOKATALIS $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ DAN SINAR MATAHARI

ELIMINATION AZOBENZENE COMPOUNDS OF WASTE BATIK USING NANOKATALIS $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ AND SUNLIGHT

Siti Wardiyati, Adel Fisli, dan Sari Hasnah Dewi

Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, BATAN, Kawasan Puspipetek, Serpong,
Tangerang selatan 15314

Email : siti-war@batan.go.id, adel-fisli@batan.go.id, sari hasnah@batan.go.id

ABSTRAK

Bahan nanokatalis magnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ telah berhasil disintesis dengan metode gabungan yaitu presipitasi dan sol-gel menggunakan prekursor besi oksida, tetraethyl ortho silicate dan tetrabutyl orthotitanate. Untuk mengetahui kinerja katalitik bahan tersebut dilakukan eliminasi limbah batik warna orange dari PT. Roro djonggrang Yogyakarta. Limbah batik warna orange dari PT. Roro djonggrang Yogyakarta mengandung senyawa azo yang banyak digunakan oleh industri tekstil. Senyawa azo merupakan pewarna sintesis yang berbahaya bagi lingkungan, oleh karena perlu dilakukan eliminasi untuk menurunkan kandungan senyawa tersebut sebelum dibuang ke lingkungan. Parameter percobaan yang dilakukan pada penelitian ini adalah pH larutan, waktu iradiasi, jenis sinar dan dosis katalis. Dari hasil percobaan diperoleh kondisi optimal proses eliminasi limbah batik warna orange menggunakan nanokatalis magnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ dicapai pada pH larutan limbah 2,0 – 4,0; waktu iradiasi sekitar 2 – 3 jam; dan dosis katalis katalis 1,0g/L. Pada kondisi tersebut bahan nanokatalis magnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ mampu mengeliminasi warna orange hingga 90 %. Dari percobaan ini terbukti bahwa pengolahan limbah warna menggunakan nanokatalis magnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ sangat efektif karena sederhana, praktis, dan efisien serta ekonomis karena dapat dilakukan di bawah sinar matahari langsung dan katalis dapat dipakai ulang.

Kata kunci : Limbah warna, Fotokatalitik, Katalis heterogen, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$

ABSTRACT

Nanocatalyst magnetic $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ has been successfully synthesized by a combination of methods, namely precipitation method and sol-gel using iron oxide, tetraethyl ortho silicate and tetrabutyl orthotitanate as precursors. To determine the performance of $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ has been done in orange batik waste elimination of PT. Roro Djonggrang Yogyakarta. Orange batik waste from PT. Roro Djonggrang Yogyakarta containing azo compound, where the compound is widely used by the textile industry. Azo compound is a synthetic dye that is harmful to the environment, therefore need to be eliminated to reduce the content of the compound before being discharged into the environment. Parameter of experiments conducted on this study is the pH of the solution, irradiation time, the light type and dose of the catalyst. From the experimental results obtained optimal condition of the elimination process of orange colors using magnetic nanocatalis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ reached on waste solution pH 2.0 to 4.0; irradiation time of about 2-3 hours; and dosage of catalyst 1.0 g / L, on these conditions the nanocatalis magnetic $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ able to eliminate up to 90% orange color. From this experiment proved that the magnetic nanocatalis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ very effective for treatment of dyes because they are simple, practical, efficient and economical because it can be performed under direct sunlight and catalyst can be reused.

Keywords: Dyes, Photocatalytic, catalyst, Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂

Diterima (received) : 28 Desember 2016, Direvisi (reviewed) : 11 Februari 2017,
Disetujui (accepted) : 02 Maret 2017

PENDAHULUAN

Permasalahan limbah merupakan permasalahan yang sangat klasik yang sampai sekarang belum bisa terselesaikan. Ada beberapa faktor yang menjadi penyebab tentang permasalahan limbah di Indonesia hingga saat ini belum bisa terselesaikan, diantaranya kesadaran bangsa Indonesia yang masih minim baik secara pribadi maupun organisasi terhadap penanganan limbah, kurangnya sosialisasi metoda pengolahan limbah yang praktis dan efektif kepada masyarakat ataupun industri, dan kurangnya mediator antara peneliti dengan industri atau masyarakat sehingga komunikasi tidak berjalan.

Metoda pengolahan limbah organik secara praktis, efektif dan ekonomis dewasa ini sedang dikembangkan baik di luar negeri maupun di dalam negeri, yaitu secara fotokatalitik dengan menggunakan bahan nanokatalis magnetik^{1,2,3}). Pengolahan limbah organik dengan proses fotokatalitik yang sedang dikembangkan diantaranya limbah rumah sakit, limbah industri tekstil, penyamakan kulit dan lain sebagainya⁴). Bahan katalis yang umum digunakan untuk mendegradasi senyawa organik adalah titanium dioksida (TiO₂). Titanium dioksida merupakan bahan katalis yang telah terbukti sangat efisien untuk mendegradasi senyawa organik, karena TiO₂ khususnya fasa anatase mempunyai ukuran kecil, luas permukaan besar dan energi gap besar sekitar 3,2 eV⁵). Bahan katalis TiO₂ mempunyai sifat terdispersi sempurna di dalam air, sehingga mempunyai kendala dalam pengambilan kembali setelah penggunaannya, oleh karena itu perlu dilakukan pencangkakan dengan bahan magnet agar dapat mempermudah pengambilan kembali setelah penggunaan bahan katalis tersebut. Bahan magnet yang dapat digunakan sebagai pencangkakan bahan katalis adalah bahan magnet yang bersifat superparamagnetik, yaitu bahan magnet yang bersifat magnet bila diberi medan magnet, dan sifat magnet tersebut akan hilang bila medan magnet dihilangkan. Bahan super paramagnetik yang cocok untuk bahan nanokatalis magnetik tersebut adalah Fe₃O₄ yang selanjutnya akan membentuk Fe₃O₄/TiO₂. Bahan magnetik Fe₃O₄/TiO₂ ini masih kurang optimal dalam mendegradasi senyawa organik karena adanya proses

disolusi elektron dari TiO₂ ke Fe₃O₄, oleh karena itu perlu ditambahkan bahan lain yang berfungsi sebagai penghalang terjadinya proses disolusi elektron. Bahan penghalang terjadinya disolusi elektron pada katalis magnetik Fe₃O₄/TiO₂ harus bisa mempertahankan efektifitas katalis TiO₂ maupun fungsi Fe₃O₄, dan relatif stabil yaitu SiO₂^{6,7}). Dengan penambahan SiO₂ pada katalis magnetik Fe₃O₄/TiO₂ akan terbentuk komposit Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂. Proses fotokatalitik dengan nanokatalis magnetik Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ sama dengan proses fotokatalitik dengan TiO₂⁸), akan tetapi proses fotokatalitik dengan Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ dapat dilakukan dibawah sinar matahari. Hal ini dikarenakan dengan pencangkakan TiO₂ pada bahan magnet Fe₃O₄/SiO₂ panjang gelombang serapan bahan bergeser ke daerah visible, sehingga proses lebih praktis, efektif dan ekonomis.

Bahan nanokatalis Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ telah berhasil di sintesis dengan metode gabungan yaitu presipitasi dan sol-gel pada penelitian sebelumnya⁹) dengan spesifikasi : ukuran agglomerasi komposit Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ 200 nm; nilai saturasi magnetik (Ms) 22,5 emu/g; dan daerah serapan 200 – 800 nm. Untuk mengetahui uji kinerja Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ hasil sintesis perlu dilakukan uji katalitik bahan tersebut terhadap limbah organik. Oleh karena itu pada kesempatan ini peneliti melakukan percobaan eliminasi limbah batik warna orange yang berasal dari perusahaan batik Rorodjonggrang Yogyakarta dengan tujuan untuk menguji sifat fotokatalitik Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ hasil sintesis. Parameter yang diuji pada penelitian ini yaitu pH larutan, jenis sinar (UV dan matahari), dosis katalis dan waktu iradiasi.

METODOLOGI

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah TiO₂, Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ hasil sintesis, NaOH, H₂SO₄, limbah batik warna orange dari perusahaan Batik Rorodjonggrang Yogyakarta, dan air demin.

Peralatan yang digunakan untuk proses fotokatalitik adalah magnetik strirrer, sinar UV model pen dengan panjang gelombang 356 nm, sinar matahari, dan peralatan umum laboratorium, sedangkan peralatan analisis

yang digunakan adalah Fourier Transformation Infra Red (FTIR) Bruker Jerman untuk analisis limbah sebelum proses eliminasi dan Spektrofotometer UV-Vis Lambda25 dari Perkin Elmer untuk analisis limbah sebelum dan sesudah proses eliminasi.

Cara kerja :

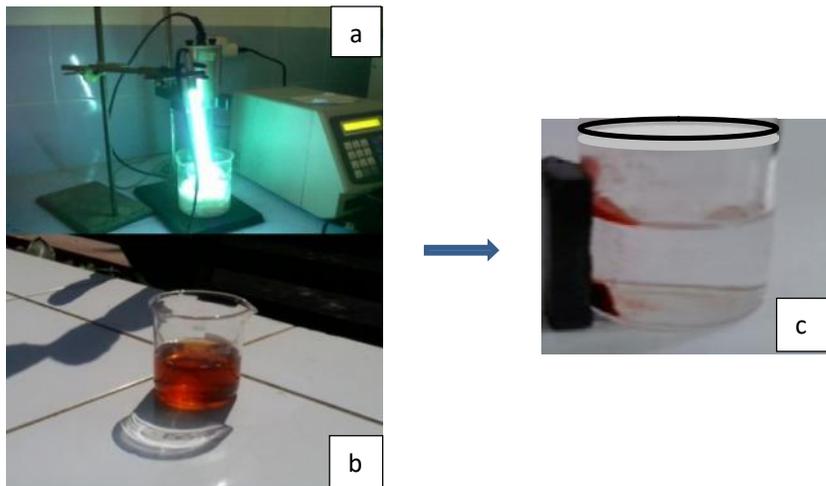
1. Analisis limbah batik

Analisis limbah batik dilakukan untuk mengetahui jenis senyawa pewarna yang terdapat pada limbah tersebut dengan menggunakan alat Spektrofotometer FTIR dan UV-Vis.

2. Uji kinerja $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$

Prosedur percobaan degradasi limbah batik warna orange oleh $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ dilakukan dengan cara limbah batik sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam gelas beker 500 L,

atur pH larutan limbah bervariasi dari 2, 4, 6, 8, 10, dan 12, kemudian ke dalam limbah tersebut ditambahkan nanokatalis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ sebanyak (25, 50, 75, dan 100) mg. Selanjutnya dilakukan iradiasi dengan menggunakan lampu UV model pena (lihat Gb. 1a) dan sinar matahari secara langsung dengan cara beker gelas diletakkan di ruang terbuka yang terkena sinar matahari selama (15, 30, 45, 60,75, 90, 120) menit seperti ditunjukkan pada Gambar 1b. Untuk percobaan dengan sinar matahari dilakukan pada jam 09 – 14.30 dengan suhu luar 38-40°C. Setelah proses eliminasi, katalis dipisahkan dengan magnetik permanen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.(c). Kandungan senyawa organik yang tersisa dianalisis dengan Spektrofotometer UV-Vis Lambda25 PERKIN ELMER.



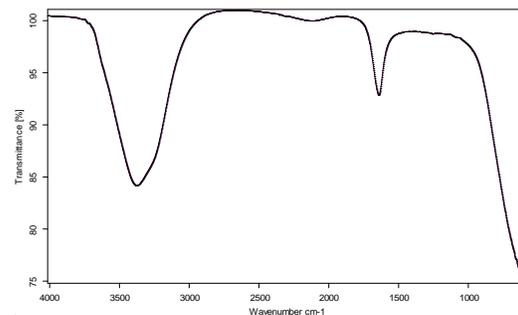
Gambar 1.

Proses fotokatalitik limbah batik oleh $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ dengan (a) sinar UV model lampu, (b) sinar matahari, dan (c) proses *recovery* katalis dengan magnet permanen

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis limbah batik menggunakan UV-Vis dan FTIR

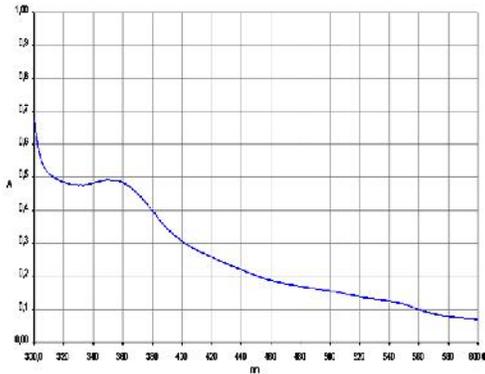
Hasil analisis limbah warna orange dari perusahaan batik Rorodjoggrang Yogyakarta menggunakan Spektro-fotometer FTIR dan UV-Vis ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3 Pada Gambar 2. terlihat adanya pita serapan pada angka gelombang sekitar 3400 cm^{-1} dan sekitar 1700 cm^{-1} . Pita serapan pada angka gelombang 3400 cm^{-1} merupakan gugus fungsional $-\text{OH}$ yang berasal dari H_2O , sedangkan pita serapan pada angka sekitar 1700 cm^{-1} menunjukkan gugus $-\text{C}=\text{O}$ dari $-\text{COOH}$.



Gambar 2.

Spektra FTIR limbah batik warna orange

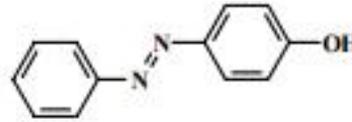
Menurut Robert dkk. serapan pada daerah 1700 cm^{-1} merupakan serapan pewarna jenis azo¹⁰⁾, dimana Zat warna azo adalah senyawa kimia xenobiotik yang mempunyai ciri-ciri struktur tidak alami dan tidak biasa ditemukan di alam. Karena tidak ditemukan di alam, maka jarang terjadi reaksi biologi dan harus dibuat sesuai dengan lingkungan.



Gambar 3. Spektrogram limbah batik warna orange dengan alat Spektrofotometer UV-Vis Lambdha25

Pada Gambar 3 di atas ditunjukkan hasil analisis limbah batik warna orange dari Perusahaan Rorodjonggrang Yogyakarta dengan menggunakan FTIR, pada gambar

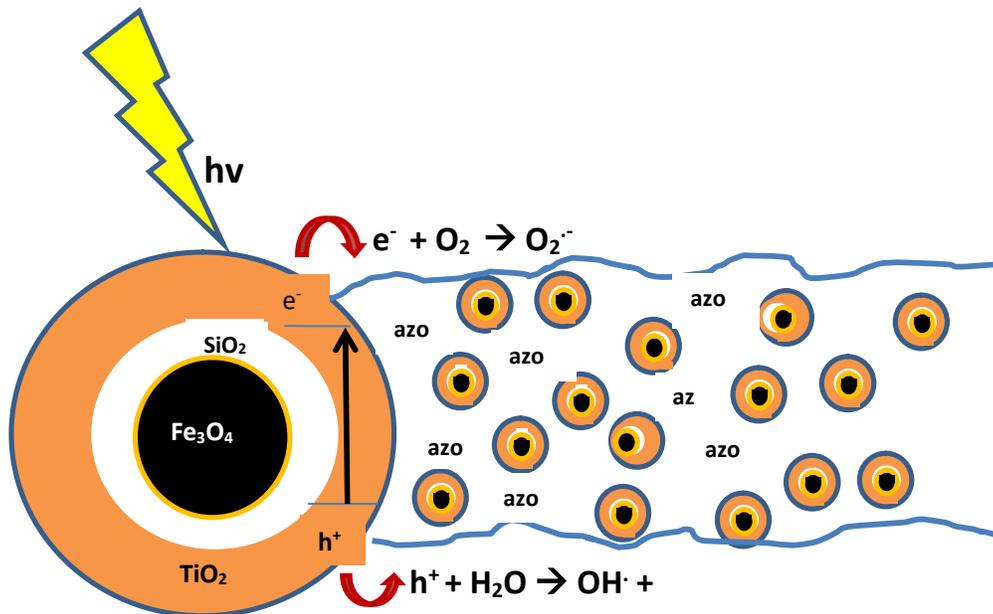
tersebut terlihat adanya puncak pada panjang gelombang 350 nm, yang mana senyawa tersebut merupakan senyawa azo. Senyawa azo yang mempunyai serapan maksimum pada panjang gelombang $\pm 350\text{ nm}$ menurut pustaka¹¹⁾ adalah azobenzene dengan struktur molekul sebagai berikut;



Dari data analisis dengan menggunakan FTIR dan UV-Vis disimpulkan bahwa senyawa yang terkandung dalam limbah batik dari perusahaan Rorodjonggrang Yogyakarta adalah senyawa azobenzene. Senyawa azo merupakan zat warna sintetis yang banyak digunakan sebagai pewarna tekstil.¹¹⁾

2. Eliminasi limbah batik warna orange

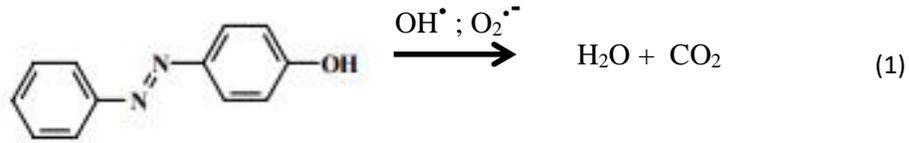
Proses degradasi senyawa azo secara fotokatalitik menggunakan bahan nanokatalis magnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ dan sinar matahari dapat digambarkan seperti Gambar 4 berikut ini;



Gambar 4. pembentukan radikal bebas oleh $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ dan sinar matahari

Radikal bebas $\text{OH}\cdot$ dan $\text{O}_2\cdot^-$ yang terbentuk selanjutnya digunakan untuk mendegradasi senyawa azobenzene yang terdapat dalam limbah batik menjadi senyawa yang

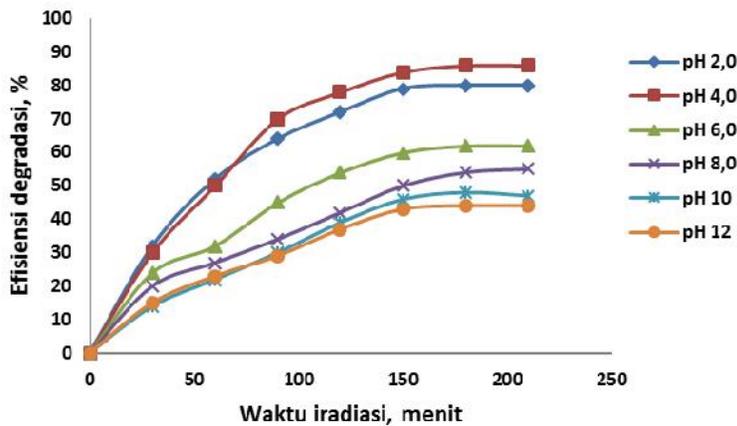
tidak berbahaya yaitu H_2O dan CO_2 mengikuti reaksi 1 berikut ini;



2.1. Pengaruh pH larutan limbah terhadap efisiensi degradasi

Keasaman atau pH merupakan salah satu faktor yang penting pada proses fotodegradasi senyawa azobenzene, karena

pembentukan radikal bebas pada proses fotokatalitik sangat dipengaruhi oleh pH larutan¹². Proses eliminasi limbah warna orange (azobenzene) oleh nanokatalis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ pada berbagai pH dengan sinar matahari ditunjukkan pada Gambar 5.

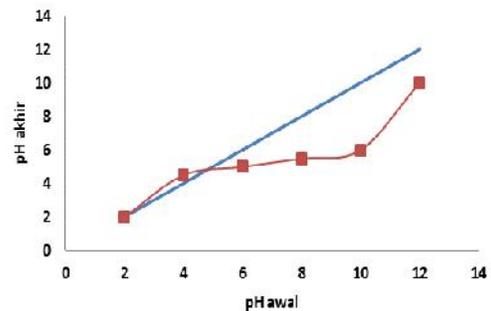


Gambar 5.

Pengaruh pH larutan limbah terhadap efisiensi degradasi

Pada Gambar 5. terlihat bahwa semakin tinggi pH larutan limbah, efisiensi degradasi semakin berkurang. pH optimum proses degradasi limbah orange dengan nanokatalis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ dicapai antara pH 2,0 – 4,0, dimana pada pH tersebut efisiensi degradasi mencapai 66 %. Nilai pH optimum proses degradasi ini dipengaruhi oleh nilai Pzc dari bahan katalis yang digunakan, Pzc atau point zero charge adalah titik temu antara kurva garis lurus pH (kurva pH awal sama dengan pH akhir) dengan kurva perubahan pH (kurva gelombang). Kurva gelombang adalah kurva perubahan pH larutan setelah digunakan untuk merendam bahan (yang diukur Pzc nya) hingga pH stabil [3]. Dari hasil percobaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 diperoleh nilai Pzc $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ adalah 5,0. Bila nilai $\text{pH} > \text{Pzc}$ permukaan adsorben memiliki muatan negatif, dan bila $\text{pH} < \text{Pzc}$ permukaan adsorben memiliki muatan positif [13]. Melihat struktur jenis senyawa pewarna yang terkandung dalam limbah batik adalah azo benzene seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2., maka muatan

yang ada dipermukaan adalah muatan negatif (OH^-) sehingga proses degradasi akan efektif pada pH asam. Dengan demikian hasil percobaan degradasi limbah batik orange oleh $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ optimum pada pH asam telah sesuai dengan nilai Pzc dari bahan katalis tersebut.



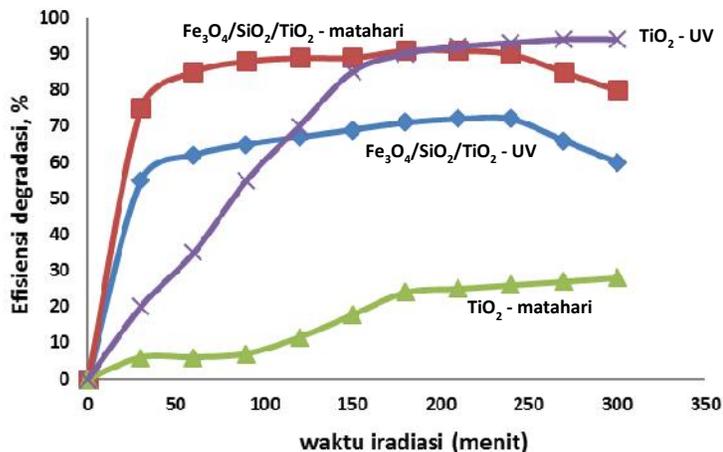
Gambar 6.

Point zero charge $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ hasil pengukuran

2.2. Pengaruh waktu iradiasi dan jenis sinar terhadap efisiensi degradasi

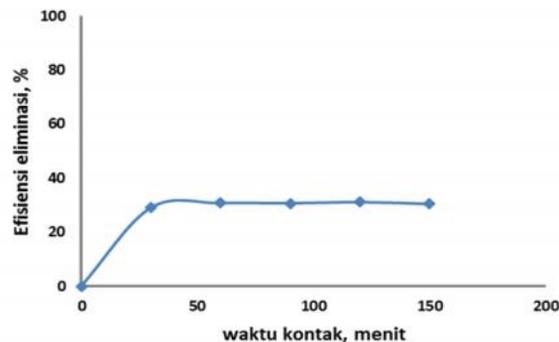
Waktu iradiasi pada proses eliminasi senyawa organik secara fotokatalitik mempunyai pengaruh yang sangat besar. Untuk mempelajari pengaruh waktu iradiasi dan jenis sinar terhadap efisiensi degradasi limbah batik warna orange, dilakukan percobaan eliminasi warna orange dengan menggunakan sinar matahari dan sinar UV.

Bahan katalis yang digunakan $Fe_3O_4/SiO_2/TiO_2$ sebagai bahan yang diuji kinerja katalitiknya dan TiO_2 sebagai pembanding. Pengaruh waktu iradiasi dan jenis sinar pada proses eliminasi limbah batik warna orange menggunakan bahan nanokatalis $Fe_3O_4/SiO_2/TiO_2$ dan TiO_2 terhadap efisiensi degradasi ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Eliminasi senyawa azobenzene oleh nanokatalis $Fe_3O_4/SiO_2/TiO_2$ dan TiO_2 dengan sinar UV dan matahari

Pada Gambar 7. terlihat bahwa pada awal penyinaran hingga 30 menit proses eliminasi senyawa azo pada limbah batik oleh nanokatalis magnetik $Fe_3O_4/SiO_2/TiO_2$ menggunakan sinar matahari maupun sinar UV efisiensi degradasi naik secara cepat, sedangkan setelah waktu penyinaran diatas 30 menit efisiensi degradasi naik secara perlahan. Kenaikkan efisiensi degradasi pada awal proses eliminasi menunjukkan bahwa pada proses eliminasi limbah warna orange menggunakan nanokatalis magnetik $Fe_3O_4/SiO_2/TiO_2$ baik dengan sinar matahari maupun UV terjadi dua (2) proses yaitu absorpsi dan fotokatalitik. Terjadinya proses adsorpsi warna orange oleh nanokatalis magnetik $Fe_3O_4/SiO_2/TiO_2$ ini dibuktikan dengan melakukan percobaan eliminasi warna tanpa menggunakan sinar, caranya bahan katalis $Fe_3O_4/SiO_2/TiO_2$ sebanyak 50 mg dimasukkan kedalam 100 mL larutan limbah warna orange, kemudian secara periodik larutan limbah diambil untuk dianalisa kandungan senyawa azobenzene yang tersisa pada larutan tersebut. Hasil percobaan eliminasi limbah batik warna orange oleh $Fe_3O_4/SiO_2/TiO_2$ tanpa sinar ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Eliminasi senyawa azo pada limbah batik oleh $Fe_3O_4/SiO_2/TiO_2$ tanpa sinar

Gambar 8. membuktikan bahwa bahan $Fe_3O_4/SiO_2/TiO_2$ bersifat absorb terhadap warna orange, hal ini ditunjukkan karena terjadi eliminasi warna orange sekitar 30 % meskipun tanpa dilakukan penyinaran.

Pada Gambar 6. juga terlihat bahwa pada proses eliminasi warna orange oleh katalis $Fe_3O_4/SiO_2/TiO_2$ untuk waktu iradiasi (t) > 240 menit terjadi penurunan efisiensi degradasi, hal ini dimungkinkan karena $Fe_3O_4/SiO_2/TiO_2$

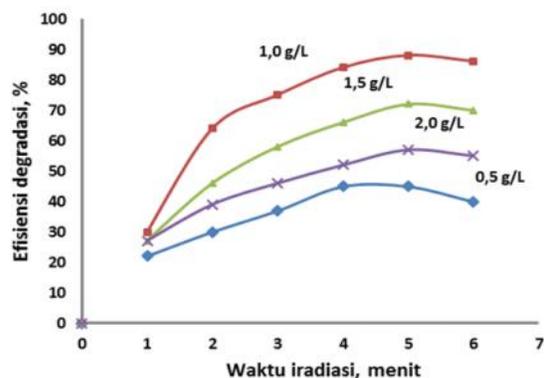
bila diiradiasi terlalu lama ($t > 240$ menit) mulai tidak stabil, karena Fe_3O_4 akan teroksidasi menjadi Fe_2O_3 sehingga senyawa azo yang tadinya terikat secara fisik oleh Fe_3O_4 terlepas kembali ke larutan limbah. Hal ini berbeda dengan penggunaan nanokatalis TiO_2 , yang mana menaikkan efisiensi degradasi dari awal penyinaran hingga akhir naik secara bertahap baik pada penggunaan sinar UV maupun sinar matahari, hal ini menunjukkan bahwa proses eliminasi warna oleh TiO_2 hanya secara fotokatalitik. Pada Gambar 7. juga terlihat bahwa proses eliminasi warna orange oleh nanokatalis TiO_2 lebih efektif di bawah sinar UV daripada sinar matahari, sedangkan pada proses eliminasi warna orange oleh nanokatalis magnetik $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ lebih efektif menggunakan sinar matahari dari pada sinar UV. Hal ini dikarenakan panjang gelombang serapan TiO_2 berada di daerah UV yaitu di bawah 400 nm [14], sedangkan serapan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ berada di kisaran lebih luas yaitu 280 s/d 600 nm [9]. Bahan katalis yang mempunyai serapan pada panjang gelombang (λ) 400 nm proses fotokatalitik efektif di bawah sinar ultra violet (UV). Sedangkan untuk bahan katalis yang mempunyai serapan pada λ 400 nm proses katalis efektif di bawah sinar tampak atau matahari.

Pada Gambar 7 terlihat bahwa efisiensi degradasi warna orange oleh $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ maksimum 72% dengan sinar UV, 90% dengan sinar matahari, sedang kan oleh TiO_2 dengan sinar matahari efisiensi degradasi relatif kecil yaitu sekitar 25%.

Pengaruh dosis katalis terhadap efisiensi degradasi

Dosis katalis berpengaruh terhadap efisiensi degradasi, semakin banyak jumlah katalis, radikal bebas yang terbentuk semakin banyak, akan tetapi perlu diperhatikan karena terlalu banyak jumlah katalis akan terjadi penumpukan sehingga sinar yang masuk oleh bahan katalis itu sendiri. Pengaruh dosis katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ terhadap efisiensi degradasi limbah batik warna orange ditunjukkan pada Gambar 9.

Pada Gambar 9. terlihat jelas adanya perubahan efisiensi degradasi dengan perubahan dosis katalis. Pada mulanya menaikkan jumlah katalis akan menaikkan efisiensi degradasi, akan tetapi setelah dosis katalis melebihi 1,0 g/L limbah, menaikkan jumlah katalis tidak lagi menaikkan efisiensi degradasi akan tetapi terjadi sebaliknya. Hal ini disebabkan karena sinar yang masuk akan terhalang oleh katalis itu sendiri.



Gambar 9.

Pengaruh jumlah katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ terhadap efisiensi degradasi Senyawa azobenze pada limbah batik warna orange

SIMPULAN

Dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ sangat efektif dan praktis digunakan untuk eliminasi limbah batik, karena proses eliminasi dapat dilakukan di bawah sinar matahari langsung dengan efisiensi degradasi 90 %, waktu eliminasi relatif singkat yaitu 60 - 90 menit dan penggunaan katalis relatif sedikit yaitu 1,0 g/L limbah dan katalis bisa dipakai ulang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terselesainya penelitian ini kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu hingga penulisan makalah ini selesai. Penelitian ini didanai dari dana DIPA 2014 dengan judul kegiatan "Optimasi pengolahan limbah dengan metoda fotokatalitik", Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir, BATAN

DAFTAR PUSTAKA

1. Rijing Wang, Xiaohong Wang, Xiaoguang Xi, Ruanbing Hu, and Guohua Jiang, Preparation and photocatalytic activity of magnetic $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ composite, *Advances in Materials Science and Engineering*, Volume 2012, article ID 409379, 8 pages.
2. Zheanghua Wang, Ling Shen, and Shiyu Zhu, Synthesis of Core-shell $\text{Fe}_3\text{O}_4@/\text{SiO}_2@/\text{TiO}_2$ Microsphere and Their Application as Recyclable Photocatalysts, *International Journal of*

3. Photoenergy, volume 2012, article ID 202519, 6 pages.
4. Sari Hasnah Dewi, Sutanto, A Fisli, and S Wardiyati, Synthesis and Characterization of Magnetized Photocatalyst $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ by Heteroagglomeration Method, *Journal of Physics: Conference Series* 739 (2016) 012113.
5. F.A. Aisien, N.A. Amenaghawon, and E.F. Ekpenisi, Photocatalytic decolourisation of industrial wastewater from a soft drink company, *Journal of Engineering and Applied Sciences* 9 (2013), 11-16.
6. Siti Wardiyati, Adel Fisli, dan Sari Hasnah Dewi, Sintesis nanokatalis TiO_2 anatase dalam larutan elektrolit dengan metoda sol-gel, *Journal Sains Materi Indonesia*, Vol. 15, No. 3, 2014 (153-157).
7. Fatimah I. Dispersi TiO_2 ke dalam SiO_2 montmorillonit : efek jenis prekursor, *Jurnal Penelitian Saintek*, Vol. 14, April 2009, pp. 41-58.
8. Music S., Filiponic – Vincekovic N., Sekovanic L., "Percitation on amorphous SiO_2 particles and their properties, *Brazilian Journal of EGINEERING*", Vol. 28, No. 01, January – March, 2011, pp. 89-94.
9. Siti Wardiyati, Uji kinerja fotokatalitik TiO_2 hasil sintesis secara sol-gel, prosiding Seminar nasional XVII "Kimia dalam Pembangunan", Hotel Phoniex Yogyakarta, 19 juni, 2014.
10. Siti Wardiyati, Wisnu Ari Adi dan Didin S. Winatapura, Pengaruh penambahan SiO_2 terhadap karakteristik dan kinerja fotokatalitik $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$, *Journal Kimia Kemasan* 2016.
11. Robert M., Silvestein, David J. Kienne, *Spectrometric Identification of Organic Coumpounds*, 7th Edition, John Wiley and Sons Inc (2005).
12. GENERAL INTRODUCTION TO THE CHEMISTRY OF DYES, IARC MONOGRAPHS VOLUME 99, <https://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol99/mono99-7.pdf>
13. Salmin S. Al-Shamali, Photocatalytic Degradation of Methylene Blue in Presence of TiO_2 Catalyst assisted solar radiation, *Australian Journal of Basic and Applied Science*, 7(4): 172-176, 2013.
14. V.Vijayakumaran, S. Arivoli, Equilibrium and Kinetic modeling on the Removal of malachite green from aqueous solution using odina wodier bark Carbon, *J. Mater. Environ. Sci.* 3 (3) (2012) 525-536.
15. Structure and Photocatalysis of TiO_2/ZnO Double-Layer Film Prepared by Pulsed Laser Deposition Lei Zhao, Maosheng Xia, Yuhua Liu, Biju Zheng, Qing Jiang and Jianshe Lian, *Materials Transactions*, Vol. 53, No. 3 (2012) pp. 463 to 468.