

Degradasi Limbah Detergen dengan Metode Fotokatalis Menggunakan TiO_2 / Silica Gel

Degradation of Detergent Waste by Photocatalyst Method using TiO_2 / Silica Gel

Shinta Amelia*, Siti Jamilatun, Lukhi Mulia Shitopyta, Maryudi, Mila Utami W, Ida Sriyana

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Kampus 4 Ringroad Selatan, Tamanan, Banguntapan, Bantul, DI Yogyakarta, 55164, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 28 Februari 2023
Diterima dalam revisi 7 September 2023
Diterima 8 September 2023
Online 1 November 2023

ABSTRAK: Limbah detergen dihasilkan dari laundry dan limbah rumah tangga yang menyebabkan pencemaran air yang merusak organisme dalam perairan. Detergen terdiri atas tiga komponen utama, yaitu surfaktan, builders dan aditif. Surfaktan jenis *Alkyl Benzene Sulfonat* (ABS) dan *Linear Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) merupakan senyawa aktif detergen. Tujuan dari penelitian ini untuk mempelajari proses degradasi fotokatalis dalam menurunkan konsentrasi LAS dan ABS dengan variabel bebas konsentrasi bahan aktif detergen dan waktu penyinaran. Pengolahan limbah detergen yang digunakan pada penelitian ini adalah metode fotokatalis TiO_2 dengan penyangga *silica gel*. Variasi konsentrasi LAS dan ABS yaitu 50 ppm dan 100 ppm menggunakan katalis *silica gel* / SiTiO_2 sebanyak 0,05gram dengan variasi waktu penyinaran sinar UV sampai 24 jam. Persentase degradasi yang dihasilkan dalam waktu 24 jam dengan katalis *silica gel*- TiO_2 pada ABS 50 ppm yaitu 96,08% dan ABS 100 ppm yaitu 99,00%. Sedangkan Persentase degradasi yang dihasilkan dalam waktu 24 jam dengan katalis *silica gel*- TiO_2 pada LAS 50 ppm yaitu, 96,61% dan LAS 100 ppm yaitu 99,61%. Penggunaan katalis *silica gel* - TiO_2 dalam LAS lebih efektif dan mempunyai sifat yang lebih baik dibandingkan ABS karena LAS mudah terurai sehingga semakin lama penyinaran warna larutan menjadi pudar dan proses degradasi fotokatalis menjadi lebih mudah.

Kata Kunci: ABS; Fotokatalis; LAS; Silica gel; TiO_2 .

ABSTRACT: Detergent waste is produced from laundry and household waste which causes water pollution which damages organisms in the water. Detergents consist of three main components, namely surfactants, builders and additives. Alkyl Benzene Sulfonate (ABS) and Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) surfactants are active detergent compounds. The aim of this research is to study the photocatalyst degradation process in reducing the concentration of LAS and ABS with the independent variables being the concentration of the active detergent ingredient and the irradiation time. The detergent waste processing used in this research is the TiO_2 photocatalyst method with silica gel support. Varying concentrations of LAS and ABS, namely 50 ppm and 100 ppm using a silica gel / SiTiO_2 catalyst of 0.05 grams with variations in UV light irradiation time of up to 24 hours. The percentage of degradation produced within 24 hours with the silica gel- TiO_2 catalyst at 50 ppm ABS was 96.08% and 100 ppm ABS was 99.00%. Meanwhile, the percentage of degradation produced within 24 hours with the silica gel- TiO_2 catalyst at LAS 50 ppm was 96.61% and LAS 100 ppm was 99.61%. The use of silica gel - TiO_2 catalyst in LAS is more effective and has better properties than ABS because LAS is easily decomposed so that the longer the exposure is, the color of the solution becomes faded and the photocatalyst degradation process becomes easier.

Keywords: ABS; photocatalyst; LAS; silica gel; TiO_2 .

1. Pendahuluan

Saat ini industri laundry menjadi usaha yang berkembang pesat. Perkembangan tersebut memberikan dampak positif dan juga negatif. Dampak positifnya perekonomian masyarakat meningkat dengan sektor usaha laundry sedangkan dampak negatifnya adalah limbah laundry yang

semakin banyak dan mengganggu ekosistem lingkungan. Limbah detergen mempunyai kondisi awal berwarna putih keruh, berbau, dan berbusa (Suastuti, dkk, 2015). Limbah cair mengandung detergen yang dibuang ke lingkungan akan mengganggu karena dapat menaikkan pH perairan > 8,5 sehingga mengganggu organisme dalam air. Standar baku mutu pH perairan yang diizinkan yakni 7 – 8,5 (Keputusan

* Corresponding Author: +6285869843762; fax : -

Email: shinta.amelia@che.uad.ac.id

Menteri Lingkungan Hidup Nomor 51, 2004). Sedangkan bahan antiseptik yang ditambahkan ke dalam detergen dapat mengganggu kehidupan mikroorganisme dalam air, bahkan sampai mematikan, dan ada sebagian bahan detergen yang tidak dapat didegradasi oleh mikroorganisme yang ada di dalam air. Selain itu, detergen di dalam air dapat menimbulkan busa dan menutupi permukaan air sehingga mengganggu siklus hidup biota air (Wardhana, 1995).

Detergen terdiri atas tiga komponen utama, yaitu surfaktan, bahan *builder* (senyawa fosfat) dan bahan aditif (pemutih dan pewangi). Surfaktan yang banyak digunakan sebagai detergen umumnya bersifat *anionic*, toksik dan dapat menyebabkan destabilisasi bagi makhluk hidup. Selain itu surfaktan yang memiliki gugus polar dan non polar dapat mempersatukan campuran minyak dan air. Senyawa *Linear Alkylbenzene Sulfonat* (LAS) dan *Alkyl Benzene Sulfonat* (ABS) adalah surfaktan anionik yang merupakan senyawa aktif yang terdapat didalam detergen (Hendra dkk, 2016). Senyawa ABS sulit diuraikan sehingga senyawa LAS lebih dominan digunakan untuk menggantikan senyawa ABS tersebut. Senyawa LAS dapat terurai dalam kondisi *aerob* sehingga apabila dibuang ke sungai maka senyawa LAS dapat terurai dengan mudah dan menyebabkan warna air sungai menjadi keruh (Fernianti, 2017).

Upaya pengolahan limbah detergen dapat dilakukan dengan berbagai metode baik secara fisik, kimia maupun biologis. Secara fisik pengolahan limbah detergen dapat dilakukan dengan cara adsorpsi menggunakan adsorben. Metode adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif dipilih karena luas permukaan yang tinggi dan porous maka karbon aktif dapat berperan sebagai adsorben yang baik (Adiastuti dkk, 2018). Contoh pengolahan limbah detergen secara kimia adalah menggunakan pereaksi kimia untuk mengendapkan limbah detergen tersebut. Metode pengolahan limbah detergen secara biologis dapat dilakukan dengan menggunakan biofilter dimana tanaman air digunakan sebagai medianya (Suastuti, dkk, 2015)

Metode pengolahan yang lebih spesifik dalam menangani limbah detergen adalah dengan menggunakan teknik foto degradasi memakai fotokatalis semikonduktor seperti TiO_2 , ZnO , Fe_2O_3 , dsb. Fotokatalis adalah reaksi kimia yang berjalan dengan bantuan katalis dan katalis tersebut aktif ketika disinari cahaya matahari. Metode fotokatalis dipilih karena teknologi ini merupakan salah satu metode yang efektif untuk pengolahan limbah cair karena proses oksidasi berkelanjutan yang cocok untuk mengoksidasi senyawa aktif seperti detergen. Proses oksidasi berkelanjutan ini berdasarkan pada pembentukan radikal hidroksi (OH) yang merupakan oksidator kuat yang dapat mempromosikan mineralisasi total pada polutan organik. Metode fotokatalis adalah proses yang memerlukan bantuan cahaya dan katalis semikonduktor untuk mempercepat transformasi kimia, dimana sumber cahaya bisa berasal dari sinar matahari atau sinar ultraviolet (UV) (Hidaka, 2004).

Fotokatalitik merupakan suatu proses yang dapat mempercepat fotoreaksi dengan penambahan suatu katalis, Metode fotokatalik terbagi menjadi dua jenis, yaitu fotokatalik homogen dan heterogen. Fotokatalitik homogen

adalah reaksi fotokatalitik dengan bantuan oksidator seperti ozon dan hidrogen peroksida, sedangkan fotokatalitik heterogen merupakan teknologi yang didasarkan pada iradiasi sinar UV pada semikonduktor (Romiyati, 2016). Banyak metode homogen yang bisa digunakan seperti penurunan konsentrasi deterjen menggunakan reagen fenton dengan penerapan teknologi *Advanced Oxidation Process* (AOPs) (Elfiana, 2008). Persentase *removal* diperoleh pada konsentrasi H_2O_2 15,6 mml (5,4 mL) sebesar 42,3% selama waktu pengolahan 1120 menit. Dan dari penelitian (Suhirman, 2018) oksidasi ozon terhadap konsentrasi *Linear Alkylbenzene Sulfonat* air limbah UPTD Laboratorium Kesehatan Daerah Kabupaten Semarang memperoleh konsentrasi LAS pada 45 menit 0,17 ppm. Metode tersebut menimbulkan masalah lain seperti dihasilkannya fasa baru yang mengandung polutan dan reaksi antara ozon dengan senyawa LAS berlangsung lambat. (Wulandari, 2017). Penelitian lainnya yang telah dilakukan Utomo dkk, (2018) mengenai Penurunan Kadar Surfaktan Anionik dan Fosfat dalam Air Limbah *Laundry* menggunakan Karbon Aktif dengan Proses Adsorpsi mendapatkan hasil yang menunjukkan bahwa kadar surfaktan anionik pada limbah sebelum adsorpsi sebesar 10,65 ppm dan setelah adsorpsi menurun hingga 3,102 ppm. Penelitian menggunakan metode fenton heterogen sebelumnya telah dilakukan oleh Amelia dkk, (2019) dengan judul Degradasi Surfaktan Limbah Penyamakan Kulit menggunakan Katalis Fe_2O_3 /Karbon aktif mendapatkan hasil bahwa katalis Fe_2O_3 /karbon aktif sangat efektif diaplikasikan untuk limbah surfaktan. Reaksi antara pencampuran Fe^{3+} dan H_2O_2 pada larutan asam untuk oksidasi Fe^{2+} ke Fe^{3+} dan sedikit bentuk tingginya reaksi hidroksil radikal ($\bullet\text{OH}$) (Agustina dkk, 2016). Selain itu, penelitian yang dilakukan Ramadhani dkk, (2017) menyatakan bahwa teknologi fotokatalis TiO_2 lapis tipis mampu mendegradasi bahan organik yakni air pada lahan gambut.

Salah satu teknologi alternatif yang digunakan untuk mengolah limbah ini adalah metode fotokatalis heterogen dengan menggunakan Titanium Dioksida (TiO_2) sebagai katalis. Pada penelitian ini, dipilih metode imobilisasi TiO_2 dengan *silica gel* sebagai penyangga. Dengan metode ini memudahkan dalam hal pemisahan setelah proses degradasi dan meningkatkan kemampuan adsorpsi katalis (Hidaka, 2004). Adanya TiO_2 akan meningkatkan kemampuan dari membran terhadap proses fotokatalitik. Hal ini disebabkan karena TiO_2 mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan seperti bersifat semikonduktor, stabil secara kimia dan fisika, mempunyai aktivitas yang tinggi, tahan terhadap abrasi (goresan) dan relatif murah (Rahmayeni, 2013). Selain itu, Titanium dioksida telah dipelajari secara luas karena kemampuannya untuk fotokatalitik dan aplikasinya memiliki kinerja untuk aplikasi fotovoltaiik (Gupta dkk, 2011). Baru-baru ini, degradasi limbah menggunakan TiO_2 sebagai fotokatalitik telah menarik minat yang besar karena aktivitasnya yang tinggi (Nasikhudin dkk, 2016). TiO_2 juga menunjukkan stabilitas kimia, toksisitas rendah, beban polutan rendah, dan ketersediaan dengan biaya rendah (Mau dkk, 2017; Wu dkk, 2016).

Sedangkan *Silica gel* dipilih sebagai bahan penyangga karena *silica gel* mempunyai *high thermal stability*, *excellent mechanical strength* dan terdapat dalam banyak variasi ukuran, serta mempunyai gugus hidroksil pada permukaannya yang bertindak sebagai sisi aktif atau sisi adsorptif karena karakter hidrofiliknya sehingga cocok digunakan sebagai adsorben senyawa organik.

Parameter penting dalam reaksi fotokatalitik yang terjadi pada permukaan partikel adalah pH larutan, karena menentukan sifat muatan permukaan fotokatalis dan ukuran agregat yang terbentuk (Haq dkk, 2012). Disosiasi molekul air dan oksigen adalah fenomena yang bisa diamati sebagai akibat dari kondisi yang dicapai. (Hassani dkk, 2016). pH mungkin berperan penting dalam mekanisme degradasi limbah di lingkungan. Tentang fotokatalitik, untuk jenis bahan yang berbeda mungkin memiliki berbagai arah degradasi fotolitik, transformasi produk, dan kinetika degradasi berbasis mekanisme yang berbeda pula (Salma dkk, 2016).

Tujuan dari penelitian ini untuk mempelajari proses degradasi fotokatalis dalam menurunkan konsentrasi zat aktif dalam detergen yaitu LAS dan ABS dengan variabel bebas konsentrasi LAS dan ABS serta waktu penyinaran dalam proses fotokatalis. Kebaharuan dalam penelitian ini yakni mengolah limbah detergen menggunakan metode fotokatalis heterogen dengan Titanium Dioksida (TiO_2) sebagai katalis. Pada penelitian ini, dipilih metode imobilisasi TiO_2 dengan *silica gel* sebagai penyangga. Dengan metode ini memudahkan dalam hal pemisahan setelah proses degradasi dan meningkatkan kemampuan katalis.

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Limbah detergen (LAS dan ABS) yang akan dibuat larutan sampel yang akan dicampur dengan *Metylen blue* untuk metode MBAS, TiO_2 sebagai fotokatalis, *Silica gel* granular grade 60 merk Natural sebagai penyangga, *Cloroform Pro Analisis Merck 95-97%* sebagai larutan pencuci. Sedangkan alat untuk mengukur absorbansi pada semua titik degradasi digunakan *UV Spectrophotometer*.

2.2 Metode

2.2.1 Preparasi Katalis

Sebanyak 4 gram TiO_2 dilarutkan dalam aquades, mengambil 200 mL kemudian memasukkan *silica gel* sebanyak 250 gram, memanaskan SiTiO_2 untuk menghilangkan kandungan air, kemudian memasukkan ke dalam oven pada suhu 100°C selama 2 jam, lalu memasukkan ke dalam furnace pada suhu 500°C selama 5 jam.

2.2.2 Membuat Larutan Sampel

Menimbang sampel ABS dan LAS sesuai variable konsentrasi 50 ppm dan 100 ppm, kemudian melarutkan dengan aquades sebanyak 1 liter.

2.2.3 Proses Degradasi

Sebanyak 20 mL LAS atau ABS variasi konsentrasi 50 ppm dan 100 ppm dicampur dengan *metilen blue*, kloroform 2 mL kemudian digojok dalam corong pemisah, mengambil larutan yang terpisah, kemudian mengulangi penambahan kloroform sebanyak 3 kali. Masukkan katalis *silica gel/silica-TiO₂* sebanyak 0,05 gram. Sampel dimasukkan ke dalam lampu UV dengan variasi waktu 1,2,3,4,5,6 dan 24 jam kemudian mengukur absorbansi dengan Spektrofotometri.

2.2.4 Analisis Sampel

Mengukur absorbansi dengan spektrofotometri pada Panjang gelombang 663 nm, kemudian membuat kurva hubungan antara absorbansi dan waktu operasional, maka diperoleh persamaan $y=ax+b$, kemudian menghitung persentase removal.

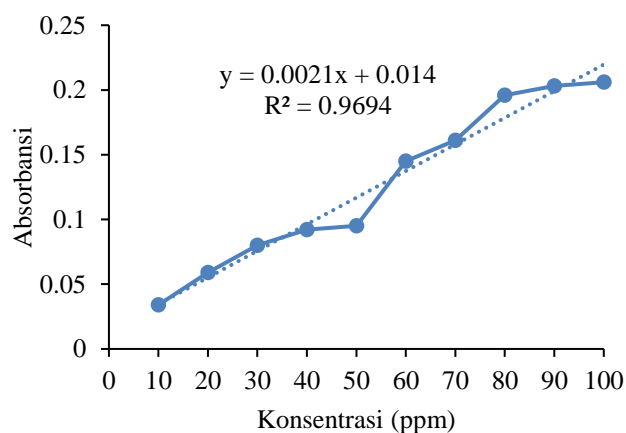
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Preparasi Katalis *silica gel* / TiO_2

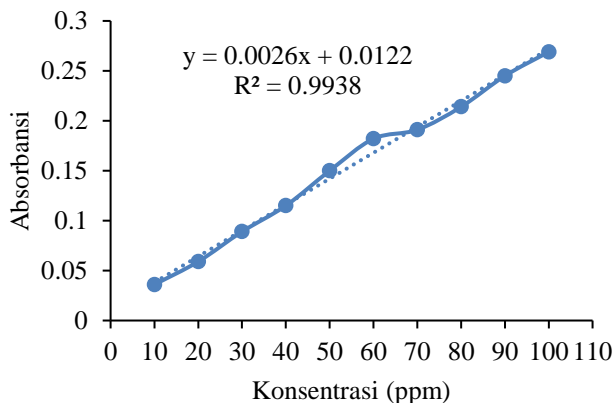
Pada penelitian ini dipilih metode imobilisasi TiO_2 dengan *silica gel* sebagai penyangga. Metode ini memudahkan dalam hal pemisahan setelah proses degradasi dan meningkatkan kemampuan degradasi katalis terhadap LAS dan ABS. Degradasi katalis dilakukan dengan membuat larutan 4 gram TiO_2 dan 200 ml aquades dan diaduk selama 20 menit. Kemudian 250 gram *silica gel* ditambahkan ke larutan TiO_2 -aquades. Lalu dikeringkan di dalam oven pada temperatur 100°C selama 2 jam dan dikalsinasi pada temperatur 500°C di dalam *furnace* selama 5 jam.

3.2 Pembuatan Kurva Standar ABS dan LAS

Larutan standar yang dibuat pada penelitian kali ini menggunakan konsentrasi larutan dalam bentuk ppm. Adapun larutan standar yang kami buat sebagai berikut 0 ppm, 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm, 60 ppm, 70 ppm, 80 ppm, 90 ppm, dan 100 ppm dengan panjang gelombang 663 nm. Kurva larutan standar dari larutan ABS dan LAS dapat dilihat dari Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Kurva standar ABS

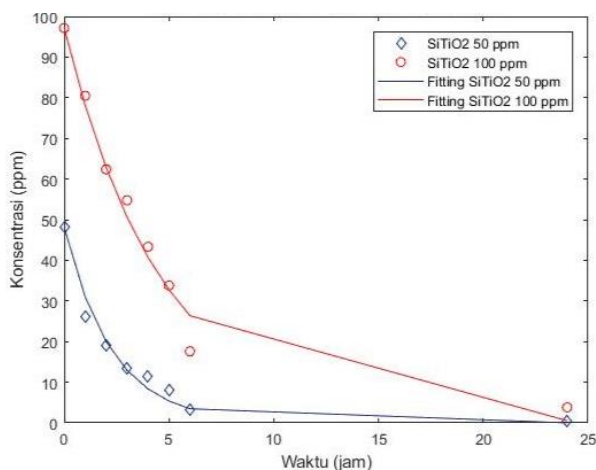


Gambar 2 Kurva standar LAS

Dilihat dari Gambar 1 dan Gambar 2 semakin besar nilai konsentrasi suatu larutan maka larutan tersebut semakin pekat dan nilai absorbansinya semakin besar. Kurva larutan standar LAS dan ABS yang menunjukkan hubungan absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi. Artinya semakin besar konsentrasi larutan standar maka semakin besar pula nilai absorbansinya. Berdasarkan persamaan kurva standar ABS diperoleh persamaan $y = 0,0021x + 0,014$ dengan $R^2 = 0,9694$ konsentrasi larutan ABS dapat dihitung dengan memasukkan nilai absorbansi. Sedangkan kurva standar LAS diperoleh persamaan $y = 0,0026x + 0,012$ dengan $R^2 = 0,9938$ konsentrasi larutan LAS dapat dihitung dengan memasukkan nilai absorbansi.

3.3 Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan ABS Pada Proses Degradasi

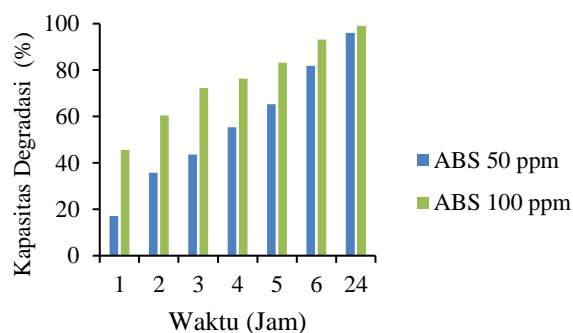
Penelitian pengolahan limbah ABS menggunakan katalis *silica gel* - TiO_2 dengan proses fotokatalitik dilakukan dengan konsentrasi 50 ppm dan 100 ppm, dengan variasi waktu penyinaran sinar UV dalam waktu 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 24 jam kemudian dimasukkan ke dalam spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui nilai absorbansinya.



Gambar 3 Hasil Degradasi Larutan ABS dengan Variasi Konsentrasi terhadap Waktu

Hasil penurunan konsentrasi tiap waktu dari masing-masing variasi konsentrasi larutan ABS dapat dilihat dalam Gambar 3.

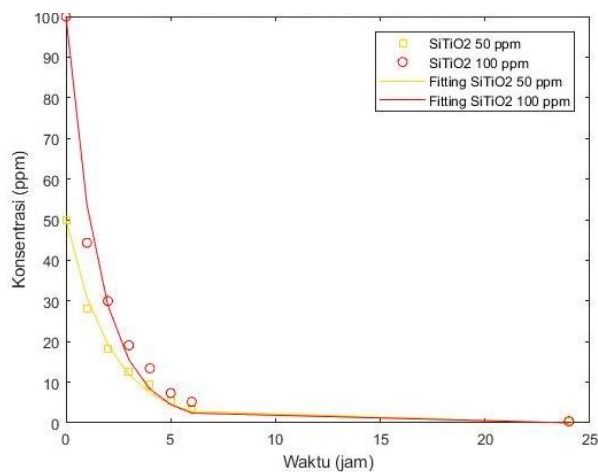
Dari Gambar 3 menunjukkan bahwa degradasi *silica gel*- TiO_2 pada konsentrasi 50 ppm mencapai penurunan konsentrasi lebih besar dibandingkan untuk *silica gel* - TiO_2 pada konsentrasi 100 ppm dengan waktu penyinaran 24 jam. Hasil kapasitas degradasi pada larutan ABS konsentrasi 50 ppm menghasilkan 96,07% sedangkan kapasitas degradasi pada konsentrasi 100 ppm menghasilkan 99,01% pada waktu yang sama yakni, 24 jam penyinaran. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Persentase Kapasitas Degradasi Larutan ABS dengan Variasi Konsentrasi terhadap Waktu

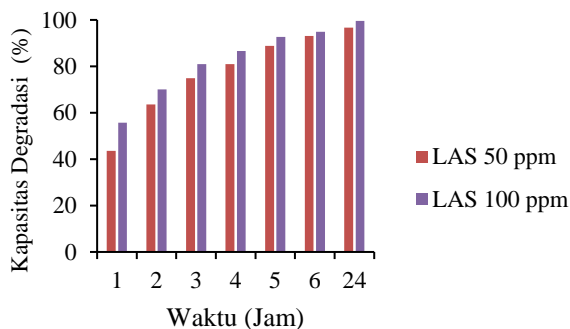
3.4 Pengaruh Variasi Konsentrasi Larutan LAS pada Proses Degradasi

Penelitian pengolahan limbah LAS menggunakan katalis *silica gel*- TiO_2 dengan proses fotokatalitik dilakukan dengan konsentrasi 50 ppm dan 100 ppm, dengan variasi waktu penyinaran sinar UV kemudian dimasukkan ke dalam spektrofotometer UV-Vis untuk mengetahui nilai absorbansinya. Hasil penurunan konsentrasi tiap waktu dari masing-masing variasi konsentrasi larutan LAS dapat dilihat dalam Gambar 5.



Gambar 5 Hasil Degradasi Larutan LAS dengan Variasi Konsentrasi terhadap Waktu

Dari Gambar 5 dapat disimpulkan bahwa degradasi katalis *silica* - TiO₂ pada konsentrasi 100 ppm yang paling cocok digunakan untuk menurunkan konsentrasi larutan LAS karena semakin lama waktu degradasi maka penurunan konsentrasi limbah akan semakin besar (Haque, 2012). Proses degradasi fotokatalis mencapai penurunan konsentrasi maksimum dengan waktu penyinaran 24 jam. Hasil kapasitas degradasi pada larutan LAS konsentrasi 50 ppm menghasilkan 96,51% sedangkan kapasitas degradasi pada konsentrasi 100 ppm menghasilkan 99,61% pada waktu yang sama yakni, 24 jam penyinaran. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Persentase Kapasitas Degradasi Larutan LAS dengan Variasi Konsentrasi terhadap Waktu

4. Kesimpulan

Hasil degradasi ABS 50 ppm setelah waktu penyinaran 24 jam dengan katalis *silica gel*-TiO₂ yaitu 0,47 ppm sedangkan hasil degradasi ABS 100 ppm setelah waktu penyinaran 24 jam dengan katalis *silica gel*-TiO₂ yaitu 3,81 ppm. Hasil degradasi LAS 50 ppm setelah waktu penyinaran 24 jam dengan katalis *silica gel*-TiO₂ yaitu 1,69 ppm sedangkan hasil degradasi LAS 100 ppm setelah waktu penyinaran 24 jam dengan katalis *silica gel*-TiO₂ yaitu 0,39 ppm. Persentase degradasi yang dihasilkan dalam waktu 24 jam dengan katalis *silica gel*-TiO₂ pada ABS 50 ppm yaitu 96,08% dan ABS 100 ppm yaitu 99,00%. Sedangkan Persentase degradasi yang dihasilkan dalam waktu 24 jam dengan katalis *silica gel*-TiO₂ pada LAS 50 ppm yaitu, 96,61% dan LAS 100 ppm yaitu 99,61%. Penggunaan katalis *silica gel* - TiO₂ dalam LAS lebih efektif dibandingkan ABS karena LAS mempunyai struktur rantai lurus sehingga semakin lama waktu penyinaran warna larutan menjadi pudar sehingga proses degradasi fotokatalis menjadi lebih mudah.

Daftar Pustaka

Adiastuti, Fany Eka dkk. (2018). *Kajian Pengolahan Air Limbah Laundry dengan Metode Adsorpsi Karbon Aktif serta Pengaruhnya Terhadap Pertumbuhan Azolla*. Volume 15, Nomor 1 ISSN: 1411-5719

Agustina, T. E., Bustomi, A. and Manalaoon, J. (2016) 'Pengaruh Konsentrasi TiO₂ dan Konsentrasi Limbah pada Proses Pengolahan Limbah Pewarna Sintetik Procion Red dengan Metode UV/Fenton/ TiO₂', *Jurnal Teknik Kimia*, 22(1), pp. 65-72

Amelia, S. *et al.* (2019) Degradation of surfactant waste of leather tanning using Fe₂O₃/activated carbon catalyst, *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, 35(2), p. 49. doi: 10.20543/mkkip.v35i2.5607.

Elfiana. (2008). Penurunan Konsentrasi LAS dalam Air Terkontaminasi Deterjen Menggunakan Reagen Fenton. *Jurnal Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe*.Vol.6 No.11, Juni 2008 ISSN 1693-248X.

Fernianti, Dewi. (2017). Pengaruh Jenis Detergen dan Rasio Pegenceran Terhadap Proses Penyerapan Surfaktan dalam Limbah Detergen Menggunakan Karbon Aktif dari Ampas Teh. *Jurnal Distilasi*, Vol. 2 No. 2, September 2017, Hal. 10-14.

Gupta S M and Tripathi M, 2011, A review of TiO₂ nanoparticles *Chinese Sci. Bull.* **56** 1639–57

Haque M M, Bahnemann D and Muneer M. (2012). Photocatalytic Degradation of Organic Pollutants : Mechanisms and Kinetics. *Photocatalytic Degrad. Org. Pollut. Mech. Kinet.* **3** 294– 326

Hassani A, Khataee A, Karaca S, Karaca C and Gholami P. (2016).Ultrasound Sonochemistry Sonocatalytic degradation of ciprofloxacin using synthesized TiO₂ nanoparticles on montmorillonite.*Ultrason. - Sonochemistry* 1–12

Hendra, H. *et al.* (2016) Photo-Degradation of Surfactant Compounds Using Uv Rays With Addition of TiO₂ Catalysts in Laundry Waste, *Sainstek : Jurnal Sains dan Teknologi*, 7(1), p. 59. doi: 10.31958/js.v7i1.126.

Hidaka, Hisao, Takayoshi Koike, Teruo Kurihara and Nick Serpone. (2004). *Dynamics and mechanistic features in the photocatalyzed oxidation of disulfonated anionic surfactants on the surface of UV-irradiated titania nanoparticles*. New J. Chem. 28, 1100-1106

Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut.

Mau D, Risti A, Dra G and Pintar A. (2017). Titania versus zinc oxide nanoparticles on mesoporous silica supports as photocatalysts for removal of dyes from wastewater at neutral pH. *Catalysis Today*, 30, 32-41.

Nasikhudin, N., Diantoro, M., Kusumaatmaja, A., & Triyana, K. (2016). Preparation of PVA/Chitosan/TiO₂ nanofibers using electrospinning method. In AIP Conference Proceedings (Vol. 1755, No. 1). AIP Publishing.

Rahmayeni. (2013). Fotokatalis Komposit Magnetik TiO₂-MnFe₂O₄. *Jurnal Prosiding Semirata*. FMIPA Universitas Lampung.

Romiyati. (2016). *Sintesis Dan Karakterisasi Nanokatalis Ni(1-X)VxFe2o4 Sebagai Fotokatalis Pada Fotodegradasi Zat Warna Remazol Golden Yellow (Tesis)*. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung Bandar Lampung: Lampung.

Salma A, Thoröe-boveleth S, Schmidt T C and Tuerk J. (2016). Dependence of transformation product formation on pH during photolytic and photocatalytic

- degradation of ciprofloxacin *J. Hazard. Mater.* **313** 49–59
- Suastuti, Ni G. A. M Dwi Adhi dkk. (2015). Pengolahan Larutan Deterjen dengan Biofilter Tanaman Kangkungan (*Ipomoea Crassicaulis*) dalam Sistem Batch (curah) Teraerasi. *Jurnal Kimia* 9 (1) ISSN, 1907-9850.
- Utomo, W. P. *et al.* (2018). Penurunan Kadar Surfaktan Anionik dan Fosfat dalam Air Limbah Laundry di Kawasan Keputih, Surabaya menggunakan Karbon Aktif. *Akta Kimia Indonesia*, 3(1), p. 127.
- Wardhana W.A. (1995). *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Andi Offset, Yogyakarta.
- Wu Y, Zhao J, Li Y and Lu K. (2016). Preparation and freezing behavior of TiO₂ nanoparticle suspensions. *Ceram. Int.* 15597–602
- Wulandari, Waninda Aji. (2017). *Studi Penurunan Senyawa Organik Dan Deterjen Dalam Limbah Domestik Boezem Kalidami Kota Surabaya Dengan Oksidator H₂O₂ Dan KmnO₄*. Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya: Surabaya.