



Perancangan reaktor fotokatalis untuk aplikasi degradasi limbah tekstil

Yoga Pratama David, Andi Nuraliyah^{1*}

¹ Program Studi Teknik Kimia, Universitas Bhayangkara, Jakarta Selatan, DKI Jakarta, 12550, Republik Indonesia.

*Correspondence: andi.nuraliyah@dsn.ubharajaya.ac.id

Received: 02 Juni 2024

Revised: 29 Juli 2024

Accepted: 20 Agustus 2024

ABSTRAK

Pendahuluan: Industri tekstil saat ini mengalami kemajuan pesat, tidak terlepas pula dari hasil akhir proses produksi yang menghasilkan limbah cair sehingga berdampak pada permasalahan lingkungan khususnya pada pencemaran perairan. Methylene blue merupakan zat pewarna yang sering digunakan dalam industri tekstil yang sulit untuk didegradasi sehingga perlu diatasi dalam proses pengolahan limbah. Salah satu alternatif pengolahan limbah tekstil adalah menggunakan prinsip fotokatalis. Tujuan dari penelitian ini untuk merancang reaktor fotokatalis yang dapat digunakan untuk mendegradasi zat methylene blue dengan nanotube TiO₂. **Metode:** Penelitian ini pun menggunakan tiga variabel pendukung dalam proses perancangan reaktor fotokatalis, yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Untuk prosedur perancangan reaktor fotokatalis terdapat dua tahapan. Pertama, tahap perancangan reaktor yang dilengkapi dengan dua kipas. Kedua, tahap degradasi limbah cair industri. **Temuan:** Reaktor fotokatalis yang telah terbentuk dapat diaplikasikan untuk mendegradasi zat pewarna methylene blue dengan katalis nanotube TiO₂. Selanjutnya, pembentukan reaktor fotokatalis memberikan hasil bermanfaat yang dapat digunakan secara berkelanjutan oleh praktikan dikemudian hari. **Kesimpulan:** Reaktor fotokatalis diharapkan dapat digunakan sebagai alat uji sampel TiO₂. Hasil penelitian pun dapat memberikan alternatif untuk mendegradasi limbah cair pada industri tekstil dan nilai ekonomis dalam pengolahan limbah cair.

KATA KUNCI: reaktor fotokatalis; nanotube TiO₂; limbah methylene blue.

ABSTRACT

Introduction: The textile industry is currently experiencing rapid progress, inseparable from the end result of the production process that produces liquid waste so that it has an impact on environmental problems, especially on water pollution. Methylene blue is a dye that is often used in the textile industry that is difficult to degrade so it needs to be addressed in the waste treatment process. One alternative to textile waste treatment is using the photocatalyst principle. The purpose of this research is to design a photocatalyst reactor that can be used to degrade methylene blue with TiO₂ nanotubes. **Methods:** This study also used three supporting variables in the process of designing a photocatalyst reactor, namely independent variables, dependent variables, and control variables. For the photocatalyst reactor design procedure, there are two stages. First, the reactor design stage is equipped with two fans. Second, the degradation stage of industrial wastewater. **Findings:** the photocatalyst reactor that has been formed can be applied to degrade methylene blue dye with TiO₂ nanotube catalyst. Furthermore, the establishment of the photocatalyst reactor provides useful results that can be used sustainably by practitioners in the future. **Conclusion:** The photocatalyst reactor is expected to be used as a test tool for TiO₂ samples. The research results can also provide an alternative to degrade liquid waste in the textile industry and economic value in liquid waste treatment.

KEYWORDS: photocatalyst reactor; TiO₂ nanotubes; methylene blue waste.

Cite This Article:

David, Y. P., & Widodo, H. (2024). Perancangan reaktor fotokatalis untuk aplikasi degradasi limbah tekstil. *Sustainable Urban Development and Environmental Impact Journal*, 1(2), 71-81. <https://doi.org/10.61511/sudeij.v1i2.2024.1101>

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi di Indonesia saat ini semakin pesat dikarenakan banyaknya jumlah industri yang memproduksi suatu produk dalam rangka untuk memenuhi kebutuhan hidup seperti industri makanan, industri minuman, industri obat-obatan, industri pakaian dan berbagai jenis industri lainnya. Diantara industri pakaian yang sudah beroperasi mengeluarkan limbah cair yang terkadang masih memiliki tingkat konsentrasi pencemaran diatas nilai ambang batas minimum yang telah ditetapkan, salah satu bahan pencemar adalah jenis methylene blue yang sering digunakan pada industri tekstil. Akan tetapi dalam penggunaan pewarna tekstil sintetis bisa menimbulkan masalah, yaitu limbah yang dihasilkan masih berwarna dan sulit terdegradasi. Limbah pewarna tekstil harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke saluran air (Naimah et al, 2014).

Beberapa cara pengolahan limbah cair tekstil secara konvensional telah banyak dikembangkan oleh para peneliti antara lain klorinasi, ozonisasi, dan biodegradasi. Beberapa kelemahan dari metode tersebut antara lain biaya operasional tinggi dan relatif sulit diterapkan di Indonesia. Proses adsorpsi yang saat ini banyak digunakan kurang efektif, karena limbah organik yang teradsorpsi masih terakumulasi di dalam adsorben yang pada suatu saat nanti akan menimbulkan masalah baru bagi lingkungan (Utubira et al, 2006).

Salah satu alternatif pengolahan limbah tekstil adalah dengan menggunakan prinsip fotokatalitik (Alinsafi et al, 2006). Pasangan electron hole positif mengalami reaksi reduksi oksidasi yang menghasilkan radikal hidroksil (OH) yang diduga dapat mendegradasi polutan organik berbahaya. Kelebihan proses fotokatalitik dibandingkan dengan metode konvensional lain adalah hasil limbah tidak berbahaya dan lebih hemat dalam pemakaian bahan kimia serta energi. Fotokatalitik juga merupakan metode yang potensial dan efektif dalam mengolah limbah-limbah senyawa organik dan non organik karena mempunyai kemampuan sebagai reduktor dan oksidator (Parent et al, 1996).

Material fotokatalis yang biasa digunakan adalah Titanium dioksida (TiO₂). Titanium dioksida atau dikenal dengan titania secara alami merupakan oksida dari titanium. Beberapa keunggulan yang dimiliki oleh Titanium dioksida diantaranya memiliki sifat optik yang baik, tidak toksin, memiliki aktivitas fotokatalis yang baik, memiliki band gap yang lebar, dan ketersediaannya yang melimpah di alam.

Penelitian ini membuat rancangan reaktor fotokatalis yang telah dimodifikasi yang bertujuan untuk mendegradasi limbah cair dengan katalis Titanium dioksida (TiO₂) (Jayadi et al, 2015). Sehingga diharapkan memiliki potensi besar untuk mempercepat degradasi khususnya ini bertujuan untuk mendeskripsikan kondisi reaktor fotokatalis yang telah dirancang dan mengetahui keberfungsian reaktor untuk mendegradasi zat methylene blue dengan baik. Selain itu, mengetahui keberfungsian reaktor fotokatalis sebagai aset kelengkapan alat laboratorium sehingga dapat digunakan oleh peneliti selanjutnya.

1.1 State of the art

State of the art adalah analisa berdasarkan penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan dengan mengguakan konsep yang berhubungan dengan penelitian yang penulis lakukan, bertujuan sebagai referensi dan acuan dalam melakukan penelitian. Dibawah ini adalah kumpulan referensi sebelumnya terkait dengan penelitian yang sedang dilakukan.

Tabel 1 State of the art

No	Peneliti	Judul	Tahun	Hasil
1	Sony Fajar Jayadi, Lia Destiarti, Berlian Sitorus.	Pembuatan Reaktor Fotokatalis Dan Aplikasinya	2014	Proses fotokatalis dalam reaktor batch selama 5 jam mampu mendegradasi bahan organik dalam air gambut. Penurunan terbaik dalam degradasi air gambut dengan pengukuran absorbansi pada proses

		Untuk Degradasi Bahan Organik Air Gambut Menggunakan Katalis TiO ₂		fotokatalisis TiO ₂ sebesar 89,4% dan penurunan bilangan permanganat sebesar 83,52%.
2	Cholid Syahroni dan Djarwanti.	Pengembangan Reaktor Fotokatalitik Rotating Drum Untuk Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil.	2015	Proses anodizing dilakukan dengan bias potensial sebesar 40 volt selama 2 jam menggunakan elektrolit etilen glikol yang mengandung amonium fluorida dan air. Fluorida dan air. Uji karakterisasi secara XRD dan SEM menunjukkan bahwa struktur kristal TiO ₂ adalah anatase dengan ukuran kristalit 8–19 nm. Bentuk kristal nanotube, dengan diameter 30–110 nm. Hasil uji coba menunjukkan bahwa degradasi secara fotokatalitik dengan penambahan H ₂ O ₂ 0,15% terhadap air limbah bisa menurunkan COD 72,12% dalam waktu 2 jam.
3	Akhmad Herman Yuwono, Alfian Ferdiansyah, Nofrijon Sofyan, Indriana Kartini, Tego Hadi Pujianto	TiO ₂ Nanotubes of Enhanced Nanocrystallinity and Well Preserved Nanostructure by Pre Annealing and Post-Hydrothermal Treatments.	2011	proses modifikasi yang menggabungkan treatment pre-annealing pada suhu 3000C selama 6 jam dan post-hydrothermal pada suhu 1000C-1500C telah berhasil dirancang untuk meningkatkan tingkat nano kristalisasi dari fase anatase TiO ₂ menjadi nanotube TiO ₂ secara signifikan menghasilkan ukuran kristal terbesar sebesar 18,30 nm dan nilai energi band gap terendah sebesar 3,21 eV.

(Jayadi et al, 2014; Syahroni & Djarwanti, 2015; Yuwono et al, 2011)

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, sebagian besar metode yang digunakan untuk membuat media pendegradasi adalah metode hydrothermal pada TiO₂, karena pada metode ini terbukti efektif dapat menghasilkan nanotube TiO₂ sehingga mampu digunakan sebagai media pendegradasi yang cukup efektif, dan juga rancangan reaktor fotokatalis dari penelitian tersebut dapat digunakan untuk mendegradasi limbah cair. Oleh karena itu penulis mendesain alat reaktor fotokatalis yang telah dimodifikasi sehingga memiliki potensi besar pada nanotube TiO₂ sebagai katalis untuk mempercepat degradasi limbah tekstil.

1.2 Limbah industri

Seiring dengan bertambahnya jumlah industri di Indonesia, menimbulkan banyaknya berbagai masalah baru yang diantaranya adalah masalah limbah cair yang dikeluarkan ke lingkungan. Pengertian umum mengenai limbah adalah suatu buangan yang kehadirannya pada suatu saat dan tempat tertentu tidak di inginkan atau dikehendaki oleh lingkungannya karena limbah tersebut tidak mempunyai nilai ekonomis. Limbah yang mengandung bahan polutan yang memiliki sifat racun dan berbahaya dikenal dengan limbah B3, yang dinyatakan sebagai bahan yang dalam jumlah relatif sedikit tetapi berpotensi untuk merusak lingkungan hidup dan sumberdaya (Ginting, 2007).

1.3 Limbah cair industri

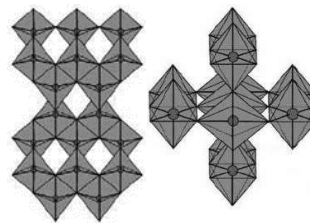
Jenis - jenis limbah yang dikeluarkan oleh sektor industri tergantung dari jenis produk yang telah mereka hasilkan, beberapa diantaranya adalah limbah padat, limbah udara, dan limbah cair. Limbah cair merupakan suatu jenis limbah yang proses pembuangannya dilakukan bersamaan dengan air, biasanya pembuangan dilakukan didaerah sungai-sungai sekitar pabrik industri berada, adapun limbah cair industri ini biasanya mengandung

berbagai macam zat berbahaya sehingga dikhawatirkan dapat merusak ekosistem didalam sungai, beberapa bahan berbahaya yang ikut terbawa dalam aliran pembuangan limbah adalah logam berat seperti Pb, Cd, As, Fe, Zn, Cu, Fe, Hg, zat pewarna pakaian seperti methylene blue dan masih banyak lagi.

Problematika masalah yang ditimbulkan dari adanya limbah cair tersebut adalah kematian flora dan fauna yang berada di sekitar area pembuangan limbah, keracunan pada manusia yang bisa terjadi dalam waktu jangka pendek maupun waktu jangka panjang serta berbagai jenis masalah lainnya yang dapat merugikan dan mengganggu ekosistem lingkungan.

1.4 Titanium dioksida (TiO₂)

TiO₂ merupakan suatu jenis material semikonduktor dengan lebar pita energi 3,2 eV (anatase) (Shi-qian, et al., 2014). TiO₂ tidak sensitif terhadap cahaya tampak dan dapat diaktifkan dengan cahaya ultraviolet yang mempunyai panjang gelombang sebesar 385 nm. TiO₂ juga memiliki beberapa aktivitas yang cukup efektif selain murah dan non toksik. Reaksi fotokatalis TiO₂ dalam bentuk kristal anatase, TiO₂ ternyata sebagai komponen yang aktif sedangkan bentuk rutile sangat kurang menunjukkan aktifitasnya. TiO₂ dalam bentuk kristal rutile dan anatase ketika dikenai suatu sinar UV dengan panjang gelombang yang lebih kecil dari 385 nm untuk anatase dan panjang gelombang sebesar 405 nm untuk rutile akan membuat spesies oksidator pada permukaannya. Titanium dioksida merupakan spesies oksidator yang kuat, hal ini ditunjukkan hole pada permukaannya. Oleh karena itu titanium dioksida mampu mengoksidasi spesies kimia yang memiliki potensi redoks yang kecil (Fatimah & Wijaya, 2005).



Gambar 1. Struktur Kristal TiO₂ (a) Anatase, (b) Rutile (Diebold, 2003)

Tabel 2. Sifat fisis TiO₂

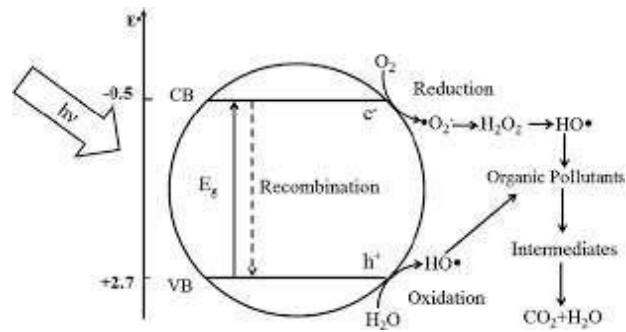
Sifat	Rutile	Anatase
Bentuk Kristal	Tetragonal	Tetragonal
<i>a</i>	4,58 Å	3,7300 Å
<i>c</i>	2,95 Å	9,3700 Å
Kerapatan	4,23 g/cm ³	3,78 g/cm ³
<i>Melting point</i>	1843 °C	1843 °C
<i>Boiling point</i>	2972 °C	2972 °C
Massa molar	79.866 g/mol	79.866 g/mol
Energi Gap	3,0 eV	3,2 eV

(Diebold, 2003)

1.5 Prinsip dasar fotokatalis

Fotokatalis adalah suatu aktivitas proses fotokimia dan proses katalisis. Proses fotokimia adalah proses sintesis atau transformasi secara kimiawi dengan menggunakan cahaya matahari sebagai pemicunya, sedangkan pada proses katalisis merupakan proses yang dapat mempercepat laju reaksi tanpa ikut bereaksi secara keseluruhan. Artinya pada awal dan akhir reaksi, maka jumlah katalisnya adalah sama. Hal ini dapat terjadi dikarenakan adanya beberapa penyebab katalisis memiliki kemampuan untuk mengadakan

interaksi dengan minimal satu molekul reaktan yang menghasilkan beberapa senyawa yang lebih reaktif. Katalis pada proses ini disebut sebagai fotokatalis yang memiliki kemampuan dalam menyerap energi dari foton. Dari penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa fotokatalis merupakan suatu proses transformasi kimia yang menggunakan unsur cahaya matahari dan katalis dalam melangsungkan dan mempercepat proses transformasi yang terjadi. Suatu sistem fotokatalis berisi partikel semikonduktor yang berhubungan dengan medium reaksi baik gas maupun cairan. Gambar 2.5 menunjukkan ilustrasi reaksi fotokatalis. Struktur pita dari material semikonduktor terdiri dari pita konduksi dan pita valensi. Perbedaan energi antara tingkat energi yang paling rendah pada pita konduksi dan tingkat energi yang paling tinggi pada pita valensi disebut celah pita energi. Celah pita energi dari material semikonduktor ini terkait dengan energi minimum. Sedangkan cahaya yang digunakan untuk membuat material tersebut menjadi konduktif (Afrozi, A.S, 2010) (Afrozi, 2010).



Gambar 2. Mekanisme fotokatalis

1.6 Perancangan reaktor fotokatalis

Reaktor fotokatalis yang akan dibuat berbentuk kubus dengan ukuran panjang = 40 cm, lebar = 45 cm, tinggi = 80 cm. Reaktor ini terdiri dari 5 buah lampu UV black light dengan total 60 watt. Pada bagian dalam reaktor fotokatalis ini memiliki bidang area yang cukup luas sehingga dapat ditambahkan dengan memasukkan magnetic stirrer untuk menguji sampel. Reaktor ini pula dilengkapi dengan kipas sebanyak dua buah, fungsi dari kipas tersebut adalah untuk menetralkan suhu panas yang ditimbulkan oleh lampu UV, sehingga diharapkan sample yang akan di uji memiliki suhu temperatur yang mendekati dengan suhu lingkungan sekitar.



Gambar 3. Reaktor Fotokatalis

2. Metode

2.1 Variabel penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan April 2019 hingga bulan September 2020 di Laboratorium Kimia Universitas Bhayangkara Jakarta Raya Kampus II Bekasi. Terdapat tiga variabel pendukung yang digunakan selama proses penelitian, yaitu variabel bebas,

terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas adalah variabel yang memengaruhi variabel lain. Pada penelitian ini variabel bebas tidak ditentukan karena hasil yang didapat dari penelitian akan dibandingkan dengan penelitian selanjutnya. Proses membandingkan dilakukan untuk melihat TiO₂ komersil P25 Degussa yang diolah, khusus melihat bentuk nanotube TiO₂ yang lebih baik daripada mineral ilmenite yang telah diolah ataupun sebaliknya.

Selanjutnya, variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Pada penelitian ini variabel terikat diperuntukkan untuk menguji sample TiO₂ dalam mendegradasi limbah tekstil. Proses uji meliputi proses perancangan reaktor fotokatalis, pengumpulan alat dan bahan, serta perakitan hingga reaktor fotokatalis selesai dibuat. Sedangkan, variabel kontrol adalah variabel konstan tanpa dipengaruhi oleh variabel lainnya. Pada penelitian ini variabel konstan meliputi prosedur urutan proses perancangan reaktor fotokatalis, serta ciri keberhasilan dari rancangan yang telah dibuat.

2.2 Prosedur perancangan reaktor fotokatalis

2.2.1 Tahap pembuatan reaktor

Reaktor yang akan dibuat berbentuk balok dengan ukuran panjang = 40 cm, lebar = 45 cm, tinggi = 80 cm. Reaktor ini terdiri dari 5 buah lampu UV black light dengan total 60 watt. Pada bagian dalam reaktor ditempatkan dengan magnetic stirrer untuk menguji sampel.

Reaktor ini pula dilengkapi dengan kipas sebanyak dua buah, fungsi dari kipas tersebut adalah untuk menetralkan suhu panas yang ditimbulkan oleh lampu UV, sehingga diharapkan sample yang akan di uji memiliki suhu temperatur yang mendekati dengan suhu lingkungan sekitar

2.2.2 Tahap degradasi limbah cair industri

Zat methylene blue yang akan didegradasi oleh reaktor fotokatalis dimasukkan ke dalam gelas beaker. Agar terjadi reaksi ditambahkan TiO₂ degussa sebanyak 1 gram. Kemudian dihomogenkan dengan magnetic stirrer selama beberapa waktu tertentu dengan variabel berbeda. Untuk pengujian ini dilakukan dalam penelitian sebelumnya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik reaktor fotokatalis

Karakteristik reaktor fotokatalis yang telah dibuat dapat dilihat bentuk visualnya sebagai berikut.



Gambar 4. Hasil perancangan reaktor fotokatalis dalam kondisi off

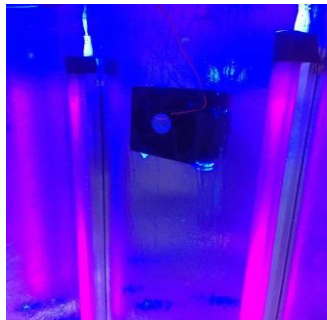
Pada pengamatan visual gambar yang dihasilkan dapat terlihat dengan jelas yaitu pada sisi kanan dan kiri terdapat masing-masing lampu Ultra Violet sebanyak dua buah di sisi kanan dan dua buah di sisi kiri. Pada bagian atas terdapat sebuah lampu Ultra Violet dengan ukuran yang lebih kecil menggunakan ulir atau rumah lampu jenis E27 agar lebih fleksibel dalam pengujian sample.

Dari kelima buah lampu Ultra Violet memiliki total daya sebesar 60 watt. Adapun pada sisi kanan bagian atas terdapat kipas untuk ventilasi udara dari luar yang akandibuang melalui celah lubang ventilasi yang ada di sisi kiri bagian atas, dan pada bagian sisi kiri bawah juga terdapat kipas untuk mengalirkan udara dari luar bagian kiri bawah menuju bagian kanan bawah, sehingga diharapkan reaktor ini memiliki sirkulasi pertukaran udara yang baik dengan tujuan untuk menurunkan suhu yang dihasilkan oleh lampu Ultra Violet, sehingga suhu pada sample yang akan di uji mendekati dengan suhu lingkungan sekitar.



Gambar 5. Hasil perancangan reaktor fotokatalis dalam kondisi menyala

Pada gambar visual ini merupakan hasil dari perancangan alat reaktor fotokatalis dalam kondisi ON atau menyala. Dapat terlihat dengan jelas dengan pengamatan visual bahwa kelima buah lampu yang digunakan adalah lampu jenis Ultra Violet dengan daya keseluruhan mencapai 60 watt.



Gambar 6. Foto kipas angin dc bagian kanan dalam reaktor fotokatalis dalam kondisi menyala

Pada gambar ini merupakan kipas angin DC yang letaknya berada di bagian dalam pada reaktor fotokatalis bagian sisi kanan atas yang bermanfaat untuk sirkulasi udara bagian atas dan juga dapat bermanfaat untuk menstabilkan suhu reaktor dengan lingkungan.



Gambar 7 Foto kipas angin dc bagian kiri dalam reaktor fotokatalis dalam kondisi menyala

Pada gambar ini merupakan kipas angin DC yang letaknya berada di bagian dalam pada reaktor fotokatalis bagian sisi kiri bawah yang bermanfaat untuk sirkulasi udara bagian bawah dan juga untuk menstabilkan suhu reaktor dengan suhu lingkungan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari penelitian yang di lakukan dapat disimpulkan bahwa perancangan reaktor fotokatalis didapatkan hasil sebagai berikut. Reaktor fotokatalis yang telah terbentuk dapat diaplikasikan untuk mendegradasi zat pewarna methylene blue dengan katalis nanotube TiO₂. Nanotube TiO₂ diharapkan dapat digunakan untuk pengelolaan limbah khususnya limbah cair pada industri tekstil yang biasa menggunakan methylene blue sebagai zat pewarna bahan pakaian yang mereka gunakan sebelum dibuang ke lingkungan. Selanjutnya, pembentukan reaktor fotokatalis memberikan hasil bermanfaat yang dapat digunakan secara berkelanjutan oleh praktikan dikemudian hari. Hasil penelitian ini pun dapat memberikan alternatif untuk mendegradasi limbah cair pada industri tekstil dan nilai ekonomis dalam pengolahan limbah cair.

Penelitian ini juga memberikan saran atas proses yang telah dilakukan sebagai bahan pertimbangan pada bagian akhir dari penelitian ini penyusun mengemukakan beberapa saran sebagai berikut. Pertama, berdoa kepada Tuhan YME agar diberi kelancaran dalam penelitian. Kedua, dibutuhkan analisis dan pengujian lebih lanjut mengenai penggunaan alat reaktor fotokatalis yang telah dibuat terhadap nanotube TiO₂ dalam mendegradasi limbah cair untuk penelitian selanjutnya. Ketiga, etape gunakan alat pelindung diri selama proses penelitian berlangsung

Kontribusi Penulis

Penulis berkontribusi penuh dalam penelitian ini.

Pendanaan

Penelitian ini tidak mendapat sumber dana dari manapun.

Pernyataan Dewan Peninjau Etis

Tidak berlaku.

Pernyataan *Informed Consent*

Tidak berlaku.

Pernyataan Ketersediaan Data

Tidak berlaku.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

Open Access

©2024. The author(s). This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if

changes were made. The images or other third-party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Referensi

- Afrozi, A. S. (2010). Sintesis dan karakterisasi katalis nanokomposit berbasis titania untuk produksi hidrogen dari gliserol dan air. *Doctoral dissertation*, Universitas Indonesia. <https://lib.ui.ac.id/detail.jsp?id=136077>
- Alinsafi, A., Da Motta, M., Le Bonté, S., Pons, M. N., & Benhammou, A. (2006). Effect of variability on the treatment of textile dyeing wastewater by activated sludge. *Dyes and Pigments*, 69(1-2), 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2005.02.014>
- Diebold, U. (2003). The surface science of titanium dioxide. *Surface science reports*, 48(5-8), 53-229. [https://doi.org/10.1016/S0167-5729\(02\)00100-0](https://doi.org/10.1016/S0167-5729(02)00100-0)
- Fatimah, I., & Wijaya, K. (2005). Sintesis TiO₂/zeolit sebagai fotokatalis pada pengolahan limbah cair industri tapioka secara adsorpsi-fotodegradasi. *Jurnal Fakultas Hukum UII*, 10(4), 257-267. <https://doi.org/10.20885/v10i4.102>
- Hayashi, H., & Hakuta, Y. (2010). Hydrothermal synthesis of metal oxide nanoparticles in supercritical water. *Materials*, 3(7), 3794-3817. <https://doi.org/10.3390/ma3073794>
- Jayadi, S. F., Destiarti, L., Sitorus, B. (2014). Pembuatan Reaktor Fotokatalis Dan Aplikasinya Untuk Degradasi Bahan Organik Air Gambut Menggunakan Katalis TiO₂. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 3(3), 55-58. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmpa/article/view/7636>
- Kasuga, T., Hiramatsu, M., Hoson, A., Sekino, T., & Niihara, K. (1998). Formation of titanium oxide nanotube. *Langmuir*, 14(12), 3160-3163. <https://doi.org/10.1021/la9713816>
- Kasuga, T. (2006). Formation of titanium oxide nanotubes using chemical treatments and their characteristic properties. *Thin solid films*, 496(1), 141-145. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2005.08.341>
- Kocaman, S., Chatterjee, R., Panoiu, N. C., McMillan, J. F., Yu, M. B., Osgood, R. M., ... & Wong, C. W. (2009). Observation of zeroth-order band gaps in negative-refraction photonic crystal superlattices at near-infrared frequencies. *Physical review letters*, 102(20), 1-4. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.102.203905>
- Naimah, S., Jati, B. N., Aidha, N. N., & Cahyaningtyas, A. A. (2014). Degradasi Zat Warna Pada Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit TiO₂-Zeolit. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 36(2), 225-236. <https://www.neliti.com/publications/107753/degradasi-zat-warna-pada-limbah-cair-industri-tekstil-dengan-metode-fotokataliti>
- Nugroho, F., Hamda, A. F., & Bahri, S. Kristalisasi TiO (OH) 2 dari Titanyl Sulfat Pada Pembuatan Titanium Dioksida (TiO₂) dari Ilmenit. *Conference: Seminar Nasional Teknologi Oleo & Petrokimia Indonesia*, 1-6. https://www.researchgate.net/publication/286864996_Kristalisasi_TiOOH_2_dari_Titanyl_Sulfat_Pada_Pembuatan_Titanium_Dioksida_TiO_2_dari_Ilmenit
- Parent, Y., Blake, D., Magrini-Bair, K., Lyons, C., Turchi, C., Watt, A., ... & Prairie, M. (1996). Solar photocatalytic processes for the purification of water: state of development and barriers to commercialization. *Solar Energy*, 56(5), 429-437. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(96\)81767-1](https://doi.org/10.1016/0038-092X(96)81767-1)
- Syahroni, C., Djarwanti. (2015). Pengembangan Reaktor Fotokatalitik Rotating Drum Untuk Pengolahan Air Limbah Industri Tekstil. *Journal of Industrial Pollution Prevention Technology*, 6(2), 35-44. <https://doi.org/10.21771/jrtppi.2015.v6.no2.p35-44>

- Utubira, Y., Wijaya, K., Triyono, T., & Sugiharto, E. (2006). Preparation and Characterization of Tio 2-Zeolite and Its Application to Degrade Textille Wastewater By Photocatalytic Method. *Indonesian Journal of Chemistry*, 6(3), 231-237. <https://doi.org/10.22146/ijc.21724>
- Yuwono, A. H., Sofyan, N., Kartini, I., Ferdiansyah, A., & Pujiyanto, T. H. (2011). Nanocrystallinity enhancement of TiO2 nanotubes by post-hydrothermal treatment. *In Advanced Materials Research*, 277, 90-99. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.277.90>

Biographies of Authors

Yoga Pratama David, Program Studi Teknik Kimia, Universitas Bhayangkara, Jakarta, Republik Indonesia.

- Email: N/A
- ORCID: N/A
- Web of Science ResearcherID: N/A
- Scopus Author ID: N/A
- Homepage: N/A

Andi Nuraliyah, Program Studi Teknik Kimia, Universitas Bhayangkara, Jakarta, Republik Indonesia.

- Email: andi.nuraliyah@dsn.ubharajaya.ac.id
- ORCID: N/A
- Web of Science ResearcherID: N/A
- Scopus Author ID: N/A
- Homepage: <https://sinta.kemdikbud.go.id/authors/profile/6172343>