



Studi Aktivitas Reaksi Fotokatalisis Berbasis Katalis TiO₂-Karbon Aktif Terhadap Mutu Air Limbah *Power Plant*

Ade Sonya Suryandari*, Asalil Mustain, Dana Wahyu Pratama, Inayatul Maula

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

*E-mail: ade.sonya@polinema.ac.id

ABSTRAK

Pengolahan air limbah merupakan proses mengolah air buangan yang sudah tidak terpakai untuk dapat dikembalikan ke siklus air di lingkungan. Unit *Waste Water Treatment Plant* (WWTP) PT. Indonesia Power digunakan untuk mengolah air limbah yang berasal dari berbagai sumber salah satunya yaitu HRSG *Sump Pit*. Buangan air limbah yang berasal dari HRSG *Sump Pit* memiliki kandungan fosfat dikarenakan adanya penambahan fosfat pada unit sebelumnya yang bertujuan sebagai inhibitor proses korosi. Karakteristik limbah cair dapat ditentukan dari beberapa parameter diantaranya nilai pH, *optical density* (OD), dan kadar fosfat. Pengolahan air limbah dilakukan agar limbah cair yang dihasilkan dapat memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan sebelum dibuang ke lingkungan. Penelitian ini dilakukan dengan mengaplikasikan reaksi fotokatalisis berbasis katalis TiO₂/karbon aktif pada berbagai komposisi katalis dan durasi penyinaran. Proses fotokatalisis dilakukan dengan penambahan katalis pada perbandingan komposisi TiO₂/karbon aktif 10:1, 5:1, 3:1 dan 2:1. Sedangkan lama waktu penyinaran 3, 4, 5, dan 6 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pH terendah sesuai baku mutu yaitu 8,13 dan penurunan kadar fosfat sebesar 70,12% mampu dicapai pada komposisi katalis TiO₂/karbon aktif 3:1 dengan durasi penyinaran 5 jam. Penurunan OD tertinggi dicapai pada kondisi perbandingan komposisi katalis TiO₂/karbon aktif 10:1 dan durasi penyinaran 6 jam yaitu sebesar 98,86%.

Kata kunci: Air limbah WWTP, fotokatalisis, karbon aktif, titanium oksida.

ABSTRACT

Water treatment is the process of treating water discharges that are not used to be discarded into the environment. Wastewater Treatment Unit Plant (WWTP) of PT. Indonesia Power is used to treat wastewater coming from several sources, one of which is HRSG *Sump Pit*. Wastewater from the HRSG *Pit* contains phosphate which is related to the phosphate addition in the previous unit which is needed as an inhibitor of corrosion process. The characteristics of liquid waste can be determined from several parameters such as pH value, optical density (OD), and phosphate content. Wastewater treatment is carried out to obtain liquid waste which comply to the quality standards before being discarded into the environment. This research was carried out by applying the photocatalysis reaction based on catalyst TiO₂-activated carbon with various catalyst compositions and irradiation duration. The process of photocatalysis was carried out by adding catalysts to the ratio of the composition of TiO₂ / activated carbon 10:1, 5:1, 3:1 and 2:1. While the irradiation time is 3, 4, 5 and 6 hours. The results show that the lowest pH according to quality standards was 8.13 and a reduction in phosphate content of 70.12% was achieved in the 3: 1 TiO₂/activated carbon catalyst composition with a 5-hour irradiation duration. The highest OD reduction was achieved under the condition ratio of catalyst composition of TiO₂/activated carbon 10:1 and the irradiation duration of 6 hours that was equal to 98.86%.

Keywords: WWTP wastewater, photocatalysis, activated carbon, titanium oxide.

1. PENDAHULUAN

Air proses merupakan komponen utama dalam keberlangsungan industri penyedia tenaga listrik (*power plant*). Air tersebut menjadi umpan utama untuk unit *boiler*

yang dikonversi menjadi uap bertekanan (*steam*) yang energinya dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak turbin. Pada PT. Indonesia Power UPJP Perak Grati, air umpan *boiler* yang telah digunakan

selanjutnya diproses di Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) atau *Waste Water Treatment Plant* (WWTP). Unit WWTP di PT. Indonesia Power UPJP Perak Grati berfungsi untuk mengolah air limbah yang berasal dari berbagai sumber diantaranya *Water Treatment Plant Pit, Gas Turbine Sum Pit, Heat Recovery Steam Generator (HRSG) Sump Pit, Fresh Water ST Sump Pit, Sampling Rack, Chemical Storage Yard Pit*, dan aktivitas laboratorium. Pengolahan air limbah bertujuan untuk mengolah air buangan proses agar dapat dikembalikan ke badan air sehingga dapat dimanfaatkan kembali sebagai air baku. Buangan air limbah yang berasal dari HRSG *Sump Pit* memiliki kandungan fosfat (PO_4). Penambahan fosfat ke dalam air berfungsi sebagai inhibitor korosi berkaitan dengan perannya dalam memperlambat laju korosi. Selain itu, penambahan fosfat pada air umpan *boiler* juga berfungsi untuk menaikkan pH air *boiler* [1]. Kadar fosfat yang tidak terkendali berpotensi menjadi sumber nutrisi bagi pertumbuhan mikroorganisme dan tanaman air. Pertumbuhan mikroorganisme yang berlebihan dapat menyebabkan nilai *total suspended solid* menjadi tinggi dan pertumbuhan tanaman air yang berlebihan sehingga intensitas cahaya yang masuk ke perairan akan terganggu dan mengurangi distribusi oksigen bagi biota yang hidup pada habitat air [2].

Fotokatalisis merupakan suatu proses kimia yang terjadi dengan bantuan radiasi sinar ultraviolet (UV) dan katalis semikonduktor. Kajian tentang pemanfaatan titanium dioksida (TiO_2) dan karbon aktif sebagai katalis heterogen pada reaksi fotokatalisis telah banyak dilakukan beberapa tahun terakhir. Penelitian terdahulu menyebutkan bahwa penggunaan TiO_2 sebagai katalis pada reaksi fotokatalisis, memiliki kelebihan diantaranya ramah lingkungan dan ekonomis [3]. Selain itu, penggunaan katalis heterogen pada berbagai reaksi memiliki kemudahan dalam hal pemisahan produk hasil reaksi dengan katalis yang digunakan [4].

TiO_2 sebagai katalis dalam sistem reaksi fotokimia memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi energi foton yang dapat memicu terjadinya pengaktifan katalis sehingga substansi radikal hidroksil dapat terbentuk dengan cepat. Radikal hidroksil memiliki peranan penting dalam mendegradasi polutan organik menjadi produk akhir yang ramah lingkungan [5]. TiO_2 yang memiliki sifat semikonduktor apabila dikenai cahaya berupa sinar UV (ultraviolet) dengan energi yang sesuai, maka elektron (e^-) pada pita valensi akan berpindah ke pita konduksi dan meninggalkan lubang positif (*hole*, h^+) pada pita valensi. Terbentuknya h^+ mampu menginisiasi reaksi oksidasi sedangkan adanya elektron (e^-) akan menginisiasi reaksi reduksi di permukaan katalis [6]. Reaksi fotokatalisis ini telah banyak diterapkan pada pengolahan air limbah terutama limbah farmasi, limbah tekstil dan air gambut [7-9].

Penelitian terdahulu oleh Jayadi, dkk. (2014) diketahui bahwa reaksi fotokatalisis dengan katalis TiO_2 pada limbah air gambut mampu menurunkan nilai absorbansi air limbah tersebut hingga mencapai 89,4% dengan waktu penyinaran selama 5 jam [9]. Sedangkan penelitian oleh Rohman, dkk. (2018) menyebutkan bahwa reaksi fotokatalisis dengan bantuan katalis TiO_2 dengan waktu penyinaran 6 jam mampu menurunkan kadar fosfat hingga 88,63% [2]. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh komposisi katalis TiO_2 /karbon aktif dan waktu penyinaran sinar UV terhadap nilai pH, penurunan *optical density*, dan penurunan kadar fosfat pada air limbah WWTP PT. Indonesia Power UPJP Perak Grati.

2. METODE PENELITIAN

2.1. BAHAN

Bahan – bahan yang digunakan adalah limbah WWTP PT. Indonesia Power UPJP Perak Grati, TiO_2 (Tiona), karbon aktif (Calgon), dan aquadest. Bahan kimia yang

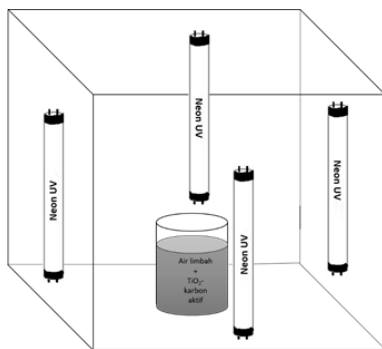
digunakan didapatkan dari pasar lokal tanpa pemurnian lebih lanjut.

2.2. PREPARASI KATALIS TiO_2 /KARBON AKTIF

Preparasi katalis TiO_2 /karbon aktif diawali dengan aktivasi karbon aktif melalui pemanasan pada furnace dengan suhu 200°C selama 80 jam. Kemudian TiO_2 dilarutkan dalam air demineralisasi disertai pengadukan selama 30 menit hingga dihasilkan larutan berwarna putih. Karbon aktif ditambahkan ke dalam larutan TiO_2 dan diaduk selama 30 menit. Campuran TiO_2 /karbon aktif kemudian diendapkan dan disaring. Produk padat hasil penyaringan dikeringkan menggunakan *furnace* pada suhu 200°C selama 30 menit.

2.3. UJI FOTOKATALISIS

Pengujian reaksi fotokatalisis dilakukan pada reaktor *batch* dengan sistem tertutup yang terdiri atas *box* dengan ukuran 32 cm x 32 cm x 40 cm 4 yang dilengkapi dengan lampu UV dengan daya masing – masing 8 watt. Lampu UV diletakkan pada bagian tepi *box* dengan jarak antara lampu UV dan beaker glass berisi sampel adalah 8 cm.



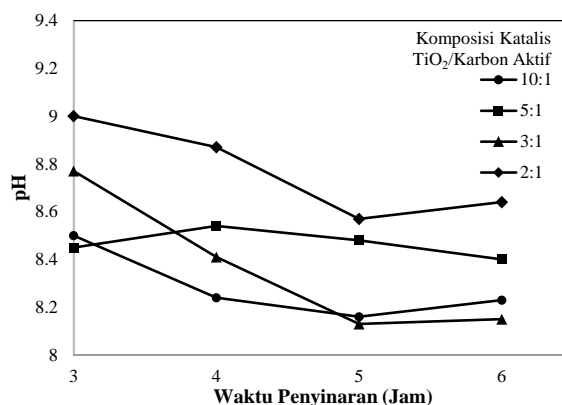
Gambar 1. Skema konfigurasi reaktor fotokatalisis

Selanjutnya, katalis TiO_2 /karbon aktif ditambahkan ke dalam 200 mL air limbah dengan dosis 2,5% (m/V) dari air limbah. Campuran air limbah dan katalis diletakkan ke dalam reaktor fotokatalisis dan dilakukan penyinaran selama 3,4,5, dan 6 jam. Setelah reaksi selesai, air limbah disaring dengan

kertas saring yang memiliki ukuran pori 1,5 μm dan dilakukan analisa sampel berupa nilai pH, kadar fosfat dan *optical density* (OD).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor yang berpengaruh terhadap kualitas air salah satunya adalah pH yang menunjukkan derajat keasaman dari air. Sebelum dilakukan reaksi fotokatalisis, pH air limbah WWTP dianalisa dan memiliki nilai sebesar 10,27. Nilai tersebut diatas nilai ambang batas yang dipersyaratkan yaitu antara 6-9. Pengaruh komposisi katalis TiO_2 /karbon aktif dan durasi penyinaran dipelajari pada penelitian ini.



Gambar 2. Pengaruh komposisi katalis TiO_2 /karbon aktif dan waktu penyinaran terhadap nilai pH air limbah WWTP

Gambar 2 menunjukkan hasil pengolahan air limbah melalui reaksi fotokatalisis pada berbagai komposisi katalis dan waktu penyinaran. Nilai pH air limbah cenderung mengalami penurunan dari kondisi awal sebanding dengan kenaikan kandungan TiO_2 di dalam campuran katalis dan juga waktu penyinaran. Penurunan nilai pH air limbah disebabkan oleh adanya reaksi fotodegradasi yang terjadi ketika proses fotokatalisis. Proses fotodegradasi diawali dengan loncatan elektron dari pita valensi ke pita konduksi sehingga menghasilkan lubang (*hole*, h^+) yang kemudian akan bereaksi dengan air menghasilkan radikal $\cdot\text{OH}$. Radikal tersebut merupakan pengoksidasi

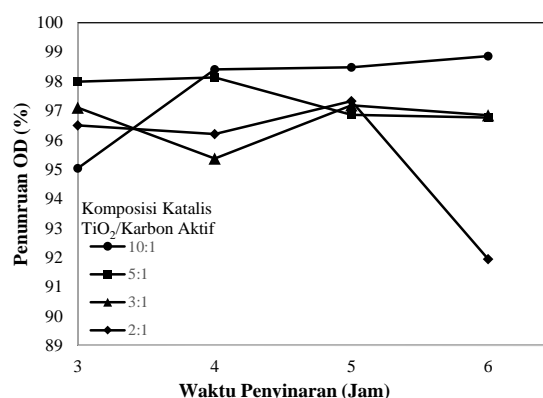
kuat, sementara e^- bereaksi dengan oksigen membentuk superoksida dan bereaksi lebih lanjut dengan air menghasilkan $\bullet\text{OH}$ yang akan mendegradasi senyawa organik menjadi senyawa yang ramah lingkungan seperti CO_2 dan H_2O [10]. Karbon dioksida larut dalam air dan membentuk H_2CO_3 . Adanya kandungan CO_2 , H_2CO_3 , dan HCO_3^- (bikarbonat) dan CO_3^{2-} (karbonat) menyebabkan turunnya nilai pH karena sifatnya yang asam [11].

Pada penelitian ini dipelajari pengaruh komposisi katalis TiO_2 /karbon aktif dan lama penyinaran terhadap nilai pH air limbah yang didapatkan. Semakin besar komposisi TiO_2 di dalam katalis cenderung menyebabkan nilai pH semakin turun dan semakin lama waktu penyinaran menyebabkan nilai pH cenderung semakin turun. Akan tetapi, pada waktu penyinaran 6 jam, nilai pH sedikit mengalami kenaikan dibandingkan dengan waktu penyinaran 3, 4, dan 5 jam. Penurunan aktivitas katalis TiO_2 /karbon aktif dapat disebabkan oleh jenuhnya sisi aktif dari katalis sehingga kemampuan katalis dalam menyediakan sisi aktif untuk reaksi fotokatalisis berkurang [12]. Hasil penurunan nilai pH terbaik terjadi pada kondisi perbandingan massa TiO_2 /karbon aktif 3:1 dengan lama waktu penyinaran 5 jam. Hal ini ditunjukkan dengan nilai pH air limbah yang didapatkan yaitu mencapai 8,13. Nilai pH tersebut sesuai dengan baku mutu yang dipersyaratkan yaitu 6-9.

Optical density (OD) adalah jumlah cahaya yang dihamburkan dan diserap oleh sel atau padatan dalam suatu larutan. Semakin banyak partikel dalam suatu campuran maka akan menyebabkan suspensi tersebut akan semakin keruh, sehingga nilai %T akan semakin kecil dan nilai absorbansi akan semakin besar. OD secara langsung maupun tidak langsung mengindikasikan adanya partikel-partikel termasuk mikroba yang terkandung dalam air limbah. Besarnya nilai OD menunjukkan besarnya nilai absorbansi suspensi partikel [13]. Air limbah PT. Indonesia Power UPJP Perak Grati sebelum

dilakukan pengolahan dengan metode fotokatalisis memiliki nilai OD sebesar 1,1785.

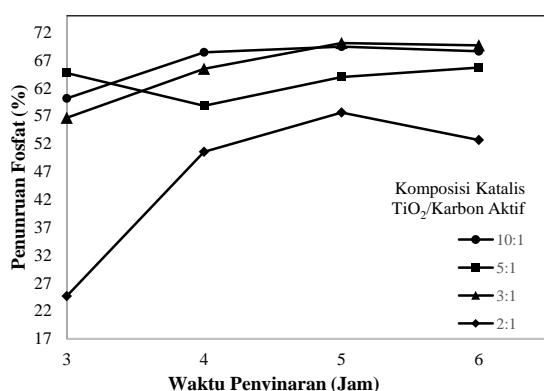
Gambar 3 menunjukkan pengaruh komposisi katalis TiO_2 /karbon aktif dan waktu penyinaran terhadap nilai OD air limbah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengolahan air limbah melalui reaksi fotokatalisis mampu menurunkan nilai OD dari air limbah dari kondisi awal. Penurunan nilai OD yang identik dengan penurunan nilai absorbansi air limbah disebabkan oleh reaksi fotodegradasi yang menghasilkan radikal hidroksil $\bullet\text{OH}$ yang akan terus menerus terbentuk selama paparan sinar UV masih mengenai katalis TiO_2 . Aktivitas radikal hidroksil $\bullet\text{OH}$ tersebut mampu mendegradasi partikel-partikel termasuk polutan-polutan organik maupun mikroba yang terkandung dalam air limbah [14].



Gambar 3. Pengaruh komposisi katalis TiO_2 /karbon aktif dan waktu penyinaran terhadap penurunan nilai OD air limbah WWTP

Analisa nilai OD dilakukan menggunakan alat spektrofotometer dengan mengukur nilai absorbansi air limbah. Pada penelitian ini tidak dilakukan pengendalian ukuran partikel katalis yang digunakan yaitu TiO_2 /karbon aktif sehingga TiO_2 mungkin kembali tersuspensi ke dalam air limbah meskipun sebelumnya telah melalui proses impregnasi pada permukaan karbon aktif [15]. Hal ini menyebabkan penurunan nilai OD yang fluktuatif pada berbagai komposisi katalis dan waktu penyinaran. Penurunan

nilai OD terbaik terjadi pada kondisi perbandingan TiO_2 /karbon aktif 10:1 dengan lama waktu penyinaran 6 jam. Hal ini ditunjukkan dengan penurunan nilai OD sebesar 98,86%. Perbandingan komposisi katalis TiO_2 /karbon aktif 10:1 memiliki massa TiO_2 yang paling banyak dibandingkan dengan variabel perbandingan katalis TiO_2 /karbon aktif lainnya sehingga komposisi ini memiliki sisi aktif katalis yang lebih banyak dibandingkan yang lain. Selain komposisi katalis, durasi waktu penyinaran juga berpengaruh terhadap nilai OD yang didapatkan.



Gambar 4. Pengaruh komposisi katalis TiO_2 /karbon aktif dan waktu penyinaran terhadap penurunan kadar fosfat air limbah WWTP

Kadar fosfat air limbah WWTP PT. Indonesia Power UPJP Perak – Grati sebelum dilakukan proses fotokatalisis memiliki nilai sebesar 5,0233 ppm. Kandungan fosfat didalam air limbah WWTP berasal dari *low pressure* dan *high pressure blow down*. Pada unit tersebut diinjeksikan fosfat dengan tujuan menaikkan pH air untuk umpan *boiler*, sehingga semakin tinggi kadar fosfat di dalam air limbah mengindikasikan bahwa nilai pH juga akan semakin meningkat.

Hasil pengolahan air limbah melalui reaksi fotokatalisis yang disajikan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa penurunan kadar fosfat pada air limbah cenderung mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan kandungan TiO_2 di dalam komposisi katalis

dan juga waktu penyinaran. Penurunan kadar fosfat pada air limbah setelah melalui proses fotokatalisis dapat terjadi berkaitan dengan terbentuknya radikal hidroksil OH yang berperan sebagai agen reduktor senyawa organik termasuk fosfat. Adanya interaksi antara radikal OH dengan fosfat akan menghasilkan senyawa yang tidak berbahaya [2]. Gambar 4 menunjukkan bahwa komposisi katalis TiO_2 /karbon aktif dan lama penyinaran memiliki pengaruh terhadap nilai penurunan kadar fosfat pada air limbah. Semakin tinggi konsentrasi TiO_2 di dalam komposisi katalis cenderung menyebabkan nilai fosfat semakin turun sehingga penurunan kadar fosfat mengalami peningkatan. Hal yang sama juga terjadi pada waktu penyinaran, semakin lama waktu penyinaran cenderung menyebabkan nilai fosfat semakin turun sehingga nilai penurunan kadar fosfat mengalami peningkatan. Akan tetapi, setelah waktu penyinaran lebih dari 5 jam yaitu saat 6 jam, penurunan kadar fosfat cenderung mengalami sedikit kenaikan. Penurunan aktivitas katalis TiO_2 /karbon aktif dapat disebabkan karena jenuhnya sisi aktif dari katalis [12]. Hasil penurunan nilai fosfat terbaik terjadi pada kondisi perbandingan massa TiO_2 /karbon aktif sebesar 3:1 dengan lama waktu penyinaran 5 jam. Hal ini ditunjukkan dengan nilai penurunan kadar fosfat air limbah mencapai 70,12%

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan disimpulkan bahwa komposisi katalis TiO_2 /karbon aktif dan waktu penyinaran mempengaruhi proses fotokatalisis pada reaktor *batch*. Semakin tinggi kandungan TiO_2 di dalam komposisi katalis TiO_2 /karbon aktif menyebabkan nilai pH air limbah cenderung mengalami penurunan setelah dilakukan proses fotokatalisis. Semakin tinggi kandungan TiO_2 di dalam komposisi katalis TiO_2 /karbon aktif juga menyebabkan persen penurunan OD dan kadar fosfat mengalami kenaikan. Reaksi fotokatalitik dengan waktu penyinaran 3, 4, dan 5 jam menunjukkan

bahwa semakin lama waktu penyinaran pada saat proses fotokatalitik menyebabkan nilai pH semakin turun, sedangkan persen penurunan OD dan penurunan kadar fosfat di dalam air limbah WWTP di PT. Indonesia Power UPJP Perak Grati cenderung mengalami kenaikan. Pada saat lama waktu penyinaran mencapai 6 jam, performa katalis TiO₂/karbon aktif mengalami penurunan karena kondisinya yang telah jenuh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. S. Fardhyanti, Uji Efektivitas Natrium Fosfat sebagai Inhibitor pada Korosi Baja Tulangan Beton, *J. Kim. Sains & Apl.*, vol. 7, no. 2, hal. 28-34, 2004.
- [2] T. Rohman, A. Irwan, Z. Rahmi, Penurunan Kadar Amoniak dan Fosfat Limbah Cair Tahu Secara Foto Katalitik Menggunakan TiO₂ dan H₂O₂, *J. Sains Natural*, vol. 8, no. 2, hal. 87-93, 2018.
- [3] A. Mishra, A. Mehta, S. Basu, Clay supported TiO₂ nanoparticles for photocatalytic degradation of environmental pollutants: A review, *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 6, no. 5, hal. 6088-6107, 2018.
- [4] F. A. Santoso, S. Soe'eib, A. S. Suryandari, N. P. Asri, Utilization of Kapok Seed Oil (*Ceiba pentandra*) for Biodiesel Production using MgO/CaO Bimetallic Oxide Catalysts, in ICGT, (Proceedings of the International Conference on Green Technology), Malang, hal. 209-215, Oct. 2017.
- [5] M. S. Sianita, A. Darmawan, C. Azmiyawati, Uji Aktivitas Fotokatalis Genteng Berglasir Silika/TiO₂ terhadap Degradasi Larutan Indigo Carmine, Metanil Yellow dan Rhodamin, *J. Kim. Sains & Apl.*, vol. 20, no. 2, hal. 53-57, 2017.
- [6] H. Subiyanto, M. Abdullah, K. Khairurrijal, H. Mahfudz, Pelapisan Nanomaterial TiO₂ Fasa Anatase pada Nilon Menggunakan Bahan Perekat Aica Aibon dan Aplikasinya Sebagai Fotokatalis, *J. Nano Saintek.*, vol. Edisi Khusus, Agustus 2009, hal. 50-52, 2009.
- [7] S. Fatmawati, Penggunaan Kombinasi Fotokatalis TiO₂ dan Arang Aktif untuk Pengolahan Limbah Farmasi, *J. Inov. Tek. Kim.*, vol. 2, no. 2, hal. 1-5, 2017.
- [8] R. Tussa'adah, A. Astuti, Sintesis Material Fotokatalis TiO₂ untuk Penjernihan Limbah Tekstil, *J. Fis. Unand*, vol. 4, no. 1, hal. 91-96, 2015.
- [9] S. F. Jayadi, L. Destiarti, B. Sitorus, Pembuatan Reaktor Fotokatalis dan Aplikasinya untuk Degradasi Bahan Organik Air Gambut Menggunakan Katalis TiO₂, *J. Kimia Kemasan*, vol. 3, no. 3, hal. 55-58, 2014.
- [10] V. Kumaravel, S. Mathew, J. Bartlett, S. C. Pillai, Photocatalytic hydrogen production using metal doped TiO₂: A review of recent advances, *Appl. Catal. B-Environ.*, vol. 244, hal. 1021-1064, 2019.
- [11] H. Effendi, Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan Perairan. Yogyakarta: Penerbit Kanisius, 2003.
- [12] A. Aryanto, I. Nugraha, Kajian Fotodegradasi Methyl Orange dengan Menggunakan Komposit TiO₂-Montmorillonit, *Molekul*, vol. 10, no. 1, hal. 57-65, 2015.
- [13] L. Lizayana, M. Mudatsir, I. Iswadi, Densitas Bakteri pada Limbah Cair Pasar Tradisional, *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Biologi*, vol. 1, no. 1, hal. 95-106, 2016.

- [14] T. E. Agustina, A. Bustomi, J. Manalaoon, Pengaruh Konsentrasi TiO_2 dan Konsentrasi Limbah pada Proses Pengolahan Limbah Pewarna Sintetik Procion Red dengan Metode UV/Fenton/ TiO_2 , *J. Tek. Kim.*, vol. 22, no. 1, hal. 65-72, 2016.
- [15] D. A. T. Mahardika, M. M. Sari, Pengaruh Konsentrasi NaOCl dan TiO_2 Terhadap Nilai Optical Density serta Mutu Air Limbah WWTP di PT. Indonesia Power Perak Grati, Laporan Akhir Program Diploma III, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Malang, 2018.