

Pengolahan limbah binatu dengan penggunaan $\text{TiO}_2\text{NP-SiO}_2\text{NP}$ sebagai fotokatalis secara adsorpsi degradasi

Laundry waste treatment with photodegradation method using photocatalyst nanoparticle $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$

Abd Mujahid Hamdan¹, Febrina Arfi², Hilda Risma¹, dan Khairun Nisah^{2,*}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ar-Raniry, Banda Aceh 23111, Indonesia,

²Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ar-Raniry, Banda Aceh 23111, Indonesia,

Abstrak. Limbah binatu yang dibuang ke lingkungan tanpa proses pengolahan berpotensi mengganggu ekosistem lingkungan. Metode fotodegradasi mampu menguraikan polutan pencemar dari limbah binatu dengan bantuan cahaya matahari dan katalis. Katalis dalam bentuk nanopartikel dapat membantu dalam metode fotodegradasi. Pada kajian ini digunakan nanopartikel titanium dioksida (TiO_2NP) dan nanopartikel silika dioksida (SiO_2NP). Tujuan penggunaan katalis untuk membantu dalam proses pendegradasian polutan binatu karena $\text{TiO}_2\text{NP-SiO}_2\text{NP}$ mempunyai kemampuan menyerap cahaya ultraviolet yang tinggi. Dari penelitian ini diperoleh dengan penambahan $\text{TiO}_2\text{NP-SiO}_2\text{NP}$ dapat menurunkan polutan limbah binatu 1 liter, dengan massa dan waktu kontak yang optimum yaitu 1 gram $\text{TiO}_2\text{NP-SiO}_2\text{NP}$ dengan waktu penyinaran selama 7 jam. Parameter limbah yang dianalisis yaitu pH, COD, TSS, fosfat dan kekeruhan. Hasil efektivitas dari uji parameter didapat untuk COD yaitu 96,77 %, TSS yaitu 83,78 %, fosfat yaitu 95,31 %, dan kekeruhan yaitu 97,72 % dan pH didapat 7,8.

Abstract. Waste that is discharged into the environment without a process for managing the environmental ecosystem. The photodegradation method is able to decompose pollutant pollutants from cleaning services with the help of sunlight and catalysts. Catalysts in the form of nanoparticles can help in photodegradation methods. In this study, titanium dioxide (TiO_2NP) and silica dioxide (SiO_2NP) nanoparticles were used. The purpose of using a catalyst to assist in the degradation process of laundry services is because $\text{TiO}_2\text{NP-SiO}_2\text{NP}$ has the ability to absorb high ultraviolet light. From this study, it was found that the addition of $\text{TiO}_2\text{NP-SiO}_2\text{NP}$ can reduce the discovery of 1 liter, with an optimal mass and contact of 1 gram of $\text{TiO}_2\text{NP-SiO}_2\text{NP}$ with an irradiation time of 7 hours. Waste parameters analyzed were pH, COD, TSS, phosphate, and turbidity. The effective results of the parameter test were obtained for COD, namely 96.77%, TSS for 83.78%, phosphate for 95.31%, and turbidity 97.72% and pH was 7.8.

Keywords: Waste design, $\text{TiO}_2\text{NP-SiO}_2\text{NP}$, photocatalyst

Pendahuluan

Pencemaran lingkungan terjadi disebabkan oleh limbah industri yang dibuang ke lingkungan tanpa dilakukan proses pengolahan terlebih dahulu. Pertumbuhan industri kian meningkat dan limbah yang dihasilkan pun kian bertambah. Limbah industri maupun limbah domestik yang dibuang ke badan air harus sesuai dengan batas maksimal yang dikeluarkan oleh Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang nilai maksimal Air Limbah. Limbah komersial dapat berasal dari industri besar, menengah dan kecil. Industri kecil dan menengah yang semakin berkembang salah satunya adalah industri binatu (*laundry*). Limbah binatu jika dibuang begitu saja dengan kandungan busa yang melimpah dapat menghambat proses transfer oksigen, mengurangi nilai estetika, dan dapat menghalangi cahaya matahari untuk masuk ke badan air dan dapat menyebabkan timbulnya eutrofikasi (Putro dkk., 2019). Pencemaran lingkungan perairan di sekitar pemukiman

penduduk dari kegiatan *laundry* yang membuang limbah cair domestik tanpa proses pengolahan ke badan air dapat mempengaruhi kesehatan manusia, menurunkan kualitas air, dan dapat berpengaruh terhadap ekosistem akuatik (Budiany dkk., 2014).

Limbah binatu mengandung senyawa yang berbahaya dengan konsentrasi tinggi seperti fosfat, TSS (*total suspended solid*), kekeruhan, dan COD (*chemical oxygen demand*) (Putro dkk., 2019). Beberapa tahun terakhir banyak munculnya beberapa penelitian untuk mengembangkan teknologi degradasi kandungan yang terdapat di dalam limbah dengan metode fotokatalis (Arutanti, 2009; Sutanto dkk., 2011; Dwiasi dan Setyaningtyas, 2014; dan Hendra dkk., 2016). Metode fotokatalis merupakan metode yang efektif digunakan dalam mendegradasi bahan anorganik dan organik di lingkungan. Metode ini juga merupakan metode yang ramah terhadap lingkungan dan biaya operasi yang relatif murah sehingga mudah untuk dilakukan (Wang, 2006).

Katalis yang banyak digunakan untuk saat sekarang ini dalam bentuk nanopartikel, sebagai pengolahan air limbah adalah titanium dioksida (TiO_2) karena dalam bentuk nanopartikel memiliki permukaan yang lebih luas (Wulandari dkk., 2018). TiO_2 memiliki keunggulan yaitu bersifat semikonduktor, tidak beracun, aktivitas fotokatalis baik, konduktivitas tinggi, harga murah dan mudah didapatkan (Rahman dkk., 2014). Menurut laporan Hendra dkk. (2016), fotokatalis TiO_2 dapat mendegradasi COD sebesar 70%, menjernihkan air limbah (Arutanti, 2009), mereduksi BOD sebanyak 5,76% mg/L dan COD sebanyak 25,22 mg/L pada sistem pengolahan air bersih (Sutanto dkk., 2011), penjernihan zat warna tartrazin pada limbah cair industri mie menggunakan lampu UV sebesar 56,81% dan dengan penyinaran sinar matahari sebesar 61,64% (Dwiasi dan Setyaningtyas, 2014).

Aktivitas fotokatalis dapat ditingkatkan dengan penambahan senyawa pendukung lainnya agar dapat merangsang pembentukan radikal hidroksil (OH) semakin banyak (Rilda dkk., 2011). TiO_2 ditambahkan dengan silika dioksida (SiO_2) berguna selaku senyawa pendukung yang bisa menaikkan kinerja fotokatalis (Wulandari dkk., 2018). SiO_2 memiliki beberapa keunggulan yaitu amorf, stabil terhadap panas, sifat mekanik tinggi, porositas dan luas permukaan besar dan memiliki daya dispersi besar (Rajendran, 2010). Fotokatalis TiO_2 - SiO_2 dengan skala nanometer maka akan memperluas permukaan partikel menjadi lebih besar, sehingga kontak molekul yang akan dikatalis dengan permukaan fotokatalis menjadi lebih banyak dan proses fotokatalis akan menjadi lebih efektif (Basthomi, 2016). Untuk mempertahankan kestabilan ukuran nanopartikel TiO_2 - SiO_2 diperlukannya material pendukung lainnya yaitu *polietilen glikol* (PEG). PEG merupakan polimer yang sangat bagus digunakan sebagai wadah dari serbuk TiO_2 - SiO_2 untuk menghindari terjadinya aglomerasi (penggumpalan) (Lubis, 2021).

Menurut Darmawan dan Agung (2020), proses fotokatalis sangat bergantung pada massa katalis yang digunakan dan lamanya waktu penyinaran. Semakin banyak massa fotokatalis yang digunakan menyebabkan radikal hidroksil (OH) yang terbentuk pun akan terus menjadi banyak dan proses fotodegradasi akan menjadi semakin efektif. Begitu juga dengan waktu penyinaran, semakin lama dilakukan penyinaran maka korelasi antara fotokatalis dengan sinar matahari yang dapat menyebabkan semakin banyak energi foton yang diserap oleh fotokatalis dan molekul air sehingga proses fotodegradasi akan menjadi lebih baik (Astuti, 2018).

Dengan deskripsi di atas, proses fotodegradasi dengan menggunakan nanopartikel titanium dioksida (TiO_2NP) dan nanopartikel silika dioksida (SiO_2NP) berpotensi menjadi katalis dalam pengolahan limbah binatu dengan menggunakan metode fotodegradasi.

Metodologi

Pembuatan Nanopartikel

Pembuatan Nanopartikel TiO_2 dan SiO_2 dengan menggunakan *Shaker Mills* PPF-UG dengan kecepatan 500 rpm selama 10 jam.

Karakteristik TiO_2NP - SiO_2NP

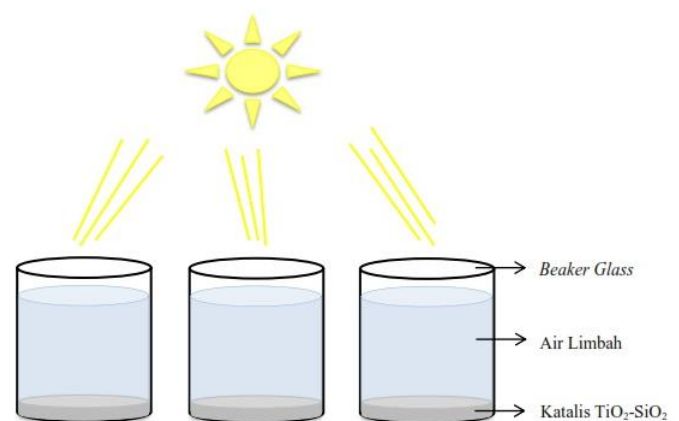
Serbuk TiO_2NP - SiO_2NP dikarakterisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*).

Sintesis TiO_2NP - SiO_2NP

Sintesis TiO_2NP - SiO_2NP menggunakan TiO_2NP 30 gram, SiO_2NP 7,5 gram yang dilarutkan dalam 100 ml *aquadest* dan ditambahkan polimer *polietilen glikol* (PEG 6000) 60 gram lalu di homogenkan dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam hingga menghasilkan larutan kental polimer. Larutan kental polimer dipanaskan pada suhu 400°C sampai mengering (Wulandari dkk., 2018).

Eksperimen Fotodegradasi

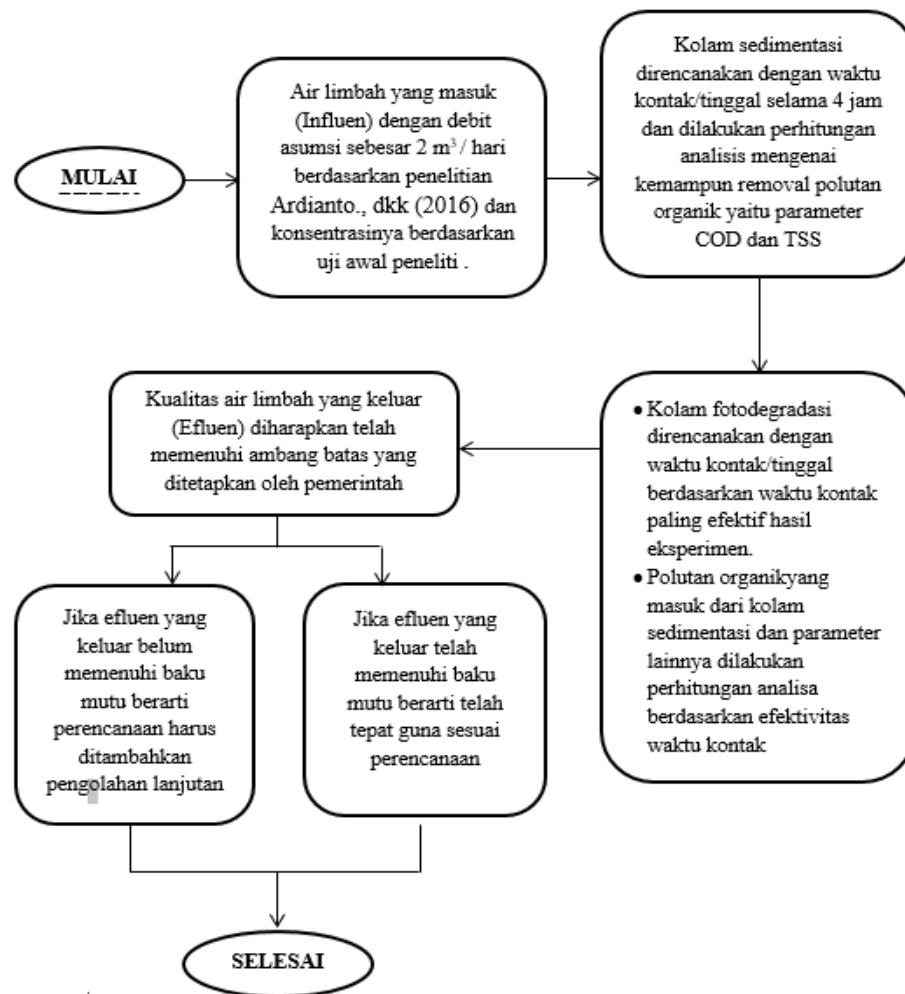
Dilakukan pengukuran intensitas cahaya pada selama 9 jam, 12 jam, dan 15 jam menggunakan alat *Lux Meter* agar dapat mengetahui *rank* intensitas cahaya yang digunakan saat proses fotokatalis. 1 liter limbah binatu dimasukkan ke dalam masing-masing 3 beaker glass dengan ukuran 1000 mL, kemudian ditambahkan dengan 0,5 gram TiO_2NP - SiO_2NP pada beaker glass 1; 0,75 gram pada beaker glass 2; dan 1 gram pada beaker glass 3, kemudian diletakkan dibawah sinar matahari langsung selama 5 jam dimulai pada pukul 09.00 WIB diulangi untuk waktu kontak selama 6 dan 7 jam, yang ditunjukkan pada Gambar 1. Sampel pada masing-masing perlakuan dilakukan pengukuran parameter pH, COD, TSS, fosfat dan kekeruhan.



Gambar 1. Alat fotodegradasi

Perancangan Implementasi

Rancangan implementasi yang digunakan pada penelitian ini telah ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perancangan implementasi

Hasil Penelitian

Hasil pengujian sampel menggunakan metode fotodegradasi terhadap limbah binatu yang terletak di Tanjung Selamat, Darussalam, Kabupaten Aceh Besar dalam mendegradasi parameter pH, COD, TSS, fosfat dan kekeruhan sebelum perlakuan, setelah perlakuan serta efektivitas eksperimen ditunjukkan pada Tabel 1. Limbah binatu diolah dengan menggunakan variasi massa yaitu 0,5 gram, 0,75 gram dan 1 gram $\text{TiO}_2\text{NP-SiO}_2\text{NP}$ dan variasi lamanya waktu penyinaran menggunakan sinar matahari selama 5 jam, 6 jam dan 7 jam. Intensitas cahaya matahari diukur dengan menggunakan alat *lux meter* pada jam 09.00 WIB, 12.00 WIB dan 15.00 WIB dengan nilai 886, 1816, dan 1327 Cd.

Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa limbah sebelum dilakukan eksperimen melebihi batas baku mutu yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau kegiatan Industri

Sabun, Deterjen, dan produk Minyak Nabati untuk parameter pH, COD, TSS dan fosfat. Hasil pengukuran masing-masing parameter yaitu pH 8,32, COD 597 mg/L, TSS 524 mg/L dan fosfat 4,05 mg/L. Sedangkan untuk parameter kekeruhan juga melebihi standar baku mutu yang telah diatur oleh Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan *Higiene Sanitasi*, Kolam Renang, *Solus Per Aqua* dengan hasil pengukuran sebelum perlakuan yaitu 223 NTU.

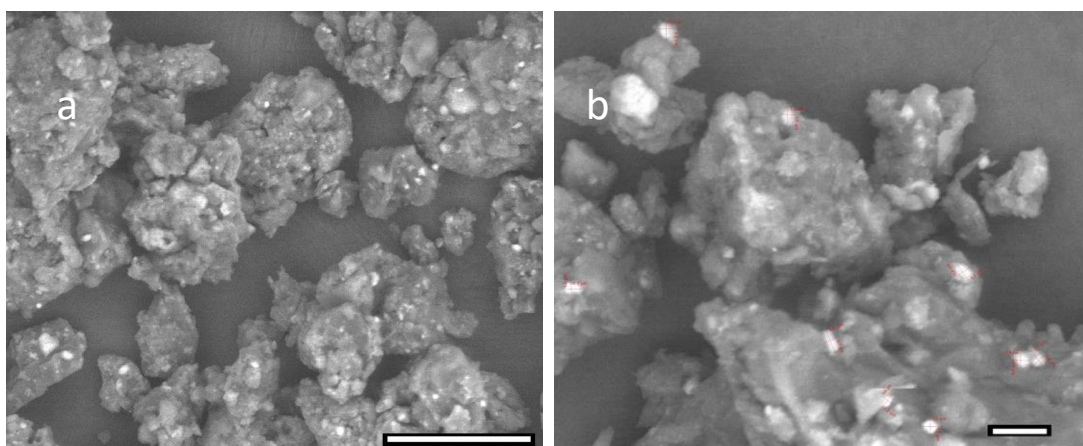
Hasil pengukuran pH sebelum perlakuan dengan nilai 8,32 tergolong nilai yang mendekati basa, dengan adanya perlakuan variasi massa dan variasi waktu mampu menetralkan nilai pH pada variasi massa 1 gram dengan waktu kontak 5, 6 dan 7 jam seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Parameter COD, TSS, fosfat dan kekeruhan terjadi penurunan yang signifikan yaitu pada variasi massa 1 gram dengan waktu kontak 7 jam. Persentase penurunan masing-masing parameter COD sebesar 96,77 %, TSS

sebesar 83,78 % Fosfat sebesar 95,31 %, dan Kekeruhan sebesar 97,72 %. Jika dilihat secara fisik air limbah binatu sebelum dilakukan proses fotodegradasi memiliki warna air yang keruh dibandingkan dengan setelah dilakukannya proses fotodegradasi. Hal ini dikarenakan Fotokatalis dapat mentransformasikan zat kimia dengan dorongan sinar. Proses ini terjadi ketika katalis di kenai cahaya yang memadai maka elektron (e^-) yang terdapat dari pita valensi akan berpindah pada pita konduksi dan kemudian meninggalkan lubang (h^+) pada pita valensi, kemudian lubang positif yang terdapat pada pita valensi akan berinteraksi dengan ion OH^- atau air sebagai sampel sehingga akan menghasilkan radikal hidroksil ($OH^\cdot$) yang reaktif menyerang molekul organik atau anorganik yang terdapat pada air atau pelarut (Andriko dan Sanjaya, 2012). Pada Gambar 3, menunjukkan tampak fisik dari limbah binatu sebelum dan sesudah proses fotodegradasi menggunakan $TiO_2NP-SiO_2NP$.

Berdasarkan karakterisasi uji SEM, hasil serbuk sintesis $TiO_2NP-SiO_2NP$ terlihat mengalami aglomerasi dengan ukuran bongkahan yang heterogen teramati pada Gambar 4. Terjadinya aglomerasi pada partikel ini diperkirakan ada teknikal error seperti keterlambatan dalam proses kalsinasi menggunakan *furnace* dan penggunaan massa *polietilen glikol* (PEG) yang terlalu banyak sehingga mempengaruhi tingkat keseragaman partikel. Menurut Prastiwi dkk. (2017), semakin banyak jumlah *polietilen glikol* (PEG) 6000 yang digunakan maka larutan akan menjadi lebih kental sehingga menyebabkan ukuran partikel menjadi lebih besar sehingga dapat mempengaruhi tingkat keseragaman partikel. Walaupun demikian berdasarkan 18 titik uji ukuran partikel menggunakan imagej didapati partikel berskala nanometer. Hasil ukur ini menunjukkan bahwa ukuran partikel TiO_2-SiO_2 dalam rentang $53,85 \pm 13,4$ nm.



Gambar 3. Limbah Binatu sebelum proses fotodegradasi dan setelah proses fotodegradasi



Gambar 4 Uji SEM TiO_2-SiO_2 (a) skala bar 50 μm , (b) skala bar 0,2 μm

Tabel 1. Hasil pengukuran sebelum dan setelah dilakukan eksperimen, tingkat efektivitas degradasi parameter pH, COD, TSS, Fosfat dan Kekeruhan dan baku mutu

Variasi eksperimen			pH	COD (mg/L)			TSS(mg/L)			Fosfat(mg/L)			Kekeruhan(NTU)		
Waktu kontak (jam)	Massa katalis (gram)	Hasil pengukuran awal	Hasil setelah fotodegradasi	Hasil pengukuran awal	Hasil setelah fotodegradasi	Efektivitas (%)	Hasil pengukuran awal	Hasil setelah fotodegradasi	Efektivitas (%)	Hasil pengukuran awal	Hasil setelah fotodegradasi	Efektivitas (%)	Hasil pengukuran awal	Hasil setelah fotodegradasi	Efektivitas (%)
5.00	0.50		8.10		155.40	73.97		256.00	51.15		0.65	83.95		56.70	74.57
	0.75		7.80		108.70	81.79		205.00	60.88		0.51	87.41		53.90	75.83
	1.00		7.70		57.30	90.40		194.00	62.98		0.42	89.63		47.90	78.52
	0.50		8.20		119.80	79.93		221.00	57.82		0.46	88.64		40.30	81.93
6.00	0.75	8.32	8.00	597.00	93.00	84.42	524.00	184.00	64.00	4.05	0.30	92.59	223.00	33.70	84.89
	1.00		7.70		59.00	90.12		157.00	70.04		0.23	94.32		23.90	89.28
	0.50		8.20		46.60	92.19		140.00	73.28		0.30	92.59		19.10	91.43
	0.75		8.00		31.30	94.76		115.00	78.05		0.20	95.06		11.50	94.84
7.00	1.00		7.80		19.30	96.77		85.00	83.78		0.19	95.31		5.09	97.72
BAKU MUTU			6-9		100			30			2			-	

Kesimpulan

Hasil penelitian proses pengolahan menggunakan metode fotokatalis sebanyak 1 liter limbah binatu menggunakan $\text{TiO}_2\text{NP-SiO}_2\text{NP}$ sebanyak 1 gram dengan waktu penyinaran selama 7 jam. Hasil efektivitas dari uji parameter didapat untuk COD yaitu 96,77 %, TSS yaitu 83,78 %, fosfat yaitu 95,31 %, dan kekeruhan yaitu 97,72 % dan pH didapat 7,8. Dari hasil perhitungan ini diperoleh desain pengolahan limbah binatu dengan volume 3,5 m³ selama 7 jam.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih banyak kepada Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh telah memberikan kepercayaan dalam penelitian dan juga terima kasih banyak pada teman-teman yang membantu dalam penelitian ini terima kasih.

Referensi

- Andriko, N., & Sanjaya, H. (2012) Penentuan kondisi optimum jumlah pelapisan dan lama penyinaran proses degradasi zat warna methylene blue pada reaktor fotokatalitik TiO_2 dengan penambahan SiO_2 . *Chemistry Journal Of State University of Padang*. **1**(1): 42–47.
- Arutanti, O., Abdullah, M., Khairurrijal., dan Mahfudz. H. (2009) Penjernihan air dari pencemar organik dengan proses fotokatalis pada permukaan titanium dioksida (TiO_2). *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. **4**: 2–4.
- Astuti, F. (2018) Efek fotodegradasi pada pengolahan surfaktan anionik dari limbah laundry. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*. **2**(1):1-5.
- Basthomi, I. A. (2016) Sintesis karakterisasi dan uji aktivitas fotokatalis titanium dioksida (TiO_2) anatase terdoping vanadium (III) menggunakan metode sonikasi. *Thesis Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang*.
- Budiany, R., Yayok, S., dan Mohamad, M. (2014) Proses elektrokoagulasi pengolahan limbah laundry. *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. **6**(1):15-12.
- Darmawan, M.D., dan Agung R, T. (2020) Penyisihan linear alkylbenzene sulfonate (LAS) dan total dissolved solid (TDS) menggunakan proses fotokatalis dengan kombinasi katalis TiO_2 - ZnO . *Jurnal Envirotek*. **12**(1): 35–43.
- Dwiasi, D., dan Setyaningtyas, T. (2014) Fotodegradasi zat warna tartrazin limbah cair industri mie menggunakan fotokatalis TiO_2 - Sinar Matahari. *Molekul*. **9**(1): 56.
- Hendra., Barlian. E., Razak. A., dan Sanjaya, H. (2016) Photo-degradation of surfactant compounds using uv rays with addition of TiO_2 catalysts in laundry waste. *Sainstek : Jurnal Sains dan Teknologi*. **7**(1): 59.
- Lubis. R. Y., dan Nasution. M. I. (2021) Sintesis dan Karakterisasi dari $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ dengan Doping CuO_2 menggunakan Metode Kopresipitasi. *EINSTEIN (e-Journal)*. **9**(1):1-5.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau kegiatan Industri Sabun, Deterjen, dan produk Minyak Nabati.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, *Solus Per Aqua*
- Prastiwi, W. D., Maulana, K. D., Wibowo, E. A. P., Aji, N. R., dan Setyani, A. (2017) Synthesis and characteristics of TiO_2 and SiO_2 application toward levels of Fe in the well water. *Jurnal Ilmiah Sains*. **17**(1): 30–34.
- Putro, R. K., Setiawan.Y. G., dan Agung. R. (2019) Degradasi surfaktan (linear alkyl benzene) pada limbah laundry dengan metode fotokatalis ZnO . *Jurnal Envirotek*. **11**(1): 25–30.
- Rahman, T., Fadhlulloh, M. A., Nandiyanto, A. B. D., dan Mudzakir, A. (2014) Review : Sintesis titanium dioksida nanopartikel. *Jurnal Integrasi Proses*. **5**(1): 15–29.
- Rajendran, V. (2010) Synthesis of nano $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ composite using sol-gel method: effect on size, surface morphology and thermal stability. *International Journal of Engineering Science and Technology*. **2**(8): 3695–3700.
- Rilda, Y., Dharma, A., Arief, S., Alief, A., dan Shaleh, B. (2011) Efek doping Ni (II) pada aktivitas fotokatalitik dari TiO_2 untuk inhibisi bakteri patogen. *MAKARA of Science Series*. **14**(1): 7–14.
- Sutanto, H., Diponegoro, U., Hidayanto, E., Diponegoro, U., Subagio, A., Diponegoro, U., Widiyandari, H., dan Diponegoro, U. (2011) Pembuatan sistem pengolah air

- bersih menggunakan material fotokatalis titania (TiO_2). *Semnas Sains dan Teknologi*. **2011**: 21–26.
- Wang, L. (2006). Preparation and characterization of properties of electrodeposited copper oxide films. *University of Texas at Arlington*. andri
- Wulandari, M., Astuti., dan Muldarisnur. (2018). Sintesis nanopartikel $\text{TiO}_2\text{-SiO}_2$ berpori sebagai fotokatalis untuk penjernihan air limbah rumah tangga. *Jurnal Fisika Unand*. **7**(1): 33–38.