

PENGARUH CAHAYA AMBIENT TERHADAP EFEKTIVITAS PENYISIHAN RHODAMINE B MENGGUNAKAN MATERIAL KOMPOSIT *SPENT BLEACHING EARTH-ZnO*

EFFECT OF AMBIENT LIGHT ON RHODAMINE B REMOVAL EFFICIENCY USING *SPENT BLEACHING EARTH-ZnO* COMPOSITE

Agus Slamet^{1*)}, Andriyan Yulikasari^{1,2)}, Ervin Nurhayati^{1,2*)}, Fransiscus Xaverius Fernando Cornelio¹⁾

¹⁾Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia

²⁾Research Center for Infrastructure and Sustainable Environmental, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia

^{*)}E-mail: agus.tlits@gmail.com, ervin@enviro.its.ac.id

Abstrak

Telah dilakukan penelitian adsorpsi menggunakan tiga jenis adsorben, yaitu SBE, ZnO, dan SBE/ZnO untuk menghilangkan rhodamine B. Dua parameter penelitian digunakan dalam penelitian ini adalah kondisi eksperimen gelap dan terang, serta konsentrasi awal larutan rhodamine B. Pengaruh cahaya *ambient* ini perlu diteliti mengingat ZnO adalah material fotokatalis. Proses komposit dalam penelitian ini menggunakan metode aktivasi SBE (maserasi dan pengasaman), dan sintesis komposit metode *sol gel*. Telah terbukti bahwa cahaya *ambient* mempengaruhi kinerja adsorben SBE/ZnO dengan peningkatan kemampuan adsorpsi sebesar 1,6 mg/g jika dibandingkan adsorpsi dalam keadaan gelap. Analisis model isotherm adsorpsi bersesuaian dengan model Langmuir dengan parameter Q_m (kapasitas adsorpsi maksimal) SBE/ZnO sebesar 147,05 mg/g.

Kata kunci: adsorben, adsorpsi, kapasitas, rhodamine B, SBE/ZnO.

Abstract

Adsorption research has been conducted using three types of adsorbents, i.e. SBE, ZnO, and SBE/ZnO for rhodamine B removal. Two research parameters used in this study are dark and light experimental conditions, as well as the initial concentration of rhodamine B solution. The effect of ambient light needs to be studied considering that ZnO is a photocatalyst material. The composite process in this study used SBE activation methods (maceration and acidification), and sol gel method composite synthesis. It has been proven that ambient light affects the performance of SBE/ZnO adsorbent by increasing the adsorption ability by 1.6 mg/g when compared to adsorption in the dark. The adsorption isotherm model analysis corresponds to the Langmuir model with the parameter Q_m (maximum adsorption capacity) of SBE/ZnO as 147.05 mg/g.

Keywords: adsorbent, adsorption, capacity, rhodamine B, SBE/ZnO.

1. PENDAHULUAN

Spent Bleaching Earth (SBE) merupakan limbah proses pemucatan atau pemurnian *Crude Plam Oil* (CPO). Berdasarkan keterangan DITJEN PSLB3 KLHK, jumlah SBE pada tahun 2019 telah mencapai 778.894 ton dan akan bertambah setiap tahunnya. Pada

Peraturan Pemerintah (PP) No. 22 Tahun 2021, limbah SBE digolongkan sebagai limbah non-B3 jika memiliki kandungan minyak residu di bawah 3%. Peraturan ini membuat upaya pemanfaatan SBE menjadi lebih mudah dan murah. Pemanfaatan SBE hingga saat telah banyak digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) pupuk NPK (Purba *et al.*, 2019), bahan pengganti semen (Sharom, 2016), bahan baku

briket (Sabarina *et al.*, 2010), dan material urugan (Utama, 2020).

Disisi lain, *zinc oxide* (ZnO) merupakan bahan semikonduktor oksida logam yang sering digunakan sebagai adsorben dalam proses adsorpsi. Keunggulan ZnO sebagai katalis adalah memiliki kemampuan fotokatalitik yang baik, memiliki *bonding excitation energy* yang tinggi, stabilitas fisik dan kimia yang bagus, pergerakan katalitik yang tinggi, serta penyerapan sinar yang intensif (Asgari *et al.*, 2021). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa komposit material berpori dan logam oksida menunjukkan efektivitas yang lebih baik, seperti MnOx/AC (Zhuang *et al.*, 2018), ZnONPs@ACP (Akpomie & Conradie, 2020), dan ZnO-ZrO₂-SiO₂ (Zhang *et al.*, 2018). Komposit material antara SBE dan ZnO untuk proses adsorpsi belum pernah dilaporkan.

Proses adsorpsi merupakan proses terjerapnya molekul pada permukaan adsorben. Proses ini berlangsung terus-menerus hingga adsorben tidak mampu lagi menyerap adsorbat, sehingga pada adsorben akan terbentuk lapisan multimolekul (Rahmiyanti, 2020). Saat ini, banyak adsorben yang dikembangkan dan memiliki keunggulan masing-masing. Sehingga, dalam penelitian ini, komposit material SBE dan ZnO digunakan dalam proses adsorpsi untuk menganalisis kemampuan fotokatalitik adsorben tersebut dalam menghilangkan perwarna. Air limbah yang digunakan adalah air limbah sintetik Rhodamine B. Pengetahuan tentang efek cahaya ambient terhadap efisiensi removal Rhodamine B dikaji dalam penelitian ini.

2. METODA

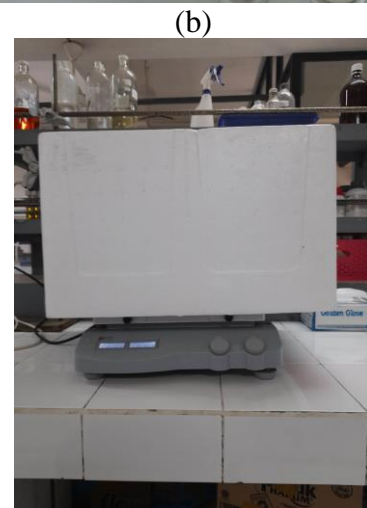
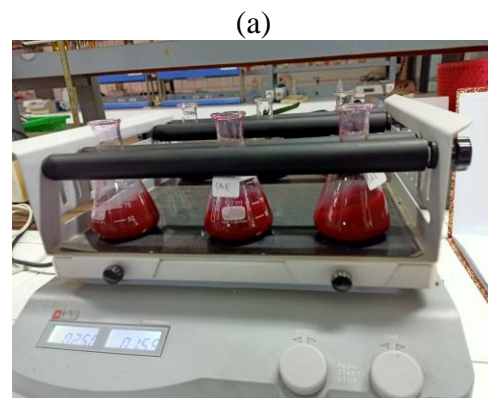
2.1 Sintesis Komposit SBE/ZnO

Proses *pre-treatment* SBE dilakukan dengan metode maserasi menggunakan pelarut n-heksana selama 4 jam pada suhu kamar dengan perbandingan 1:5 (b/v). Proses aktivasi selanjutnya dilakukan menggunakan larutan HCl 2 M selama 24 jam dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer*. Setelah itu, proses komposit dilakukan dengan metode *sol gel* dengan merefluks 45 g zinc acetate dihidrate, 25 g SBE, 80 mL etanol, dan 337,5 mL aquades dengan suhu 80°C selama 2 jam.

Campuran ini kemudian dipindahkan ke dalam beaker glass dan ditambahkan 225 mL NaOH 2 M sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Sampel kemudian diendapkan selama 12 jam, di saring, dan dikeringkan menggunakan oven pada temperature 60°C.

2.2 Eksperimen Adsorpsi

Proses adsorpsi dilakukan dalam keadaan gelap dan terang (cahaya *ambient*) Gambar 1. Adsorben yang digunakan adalah SBE, ZnO, dan SBE/ZnO. Air limbah yang digunakan adalah air limbah sintetik Rhodamine B. Eksperimen adsorpsi dilakukan menggunakan 0,5 g dari masing-masing adsorben dan ditambahkan ke dalam larutan Rhodamine B (RhB) dengan variasi konsentrasi 30, 60, 90, 120, 150, dan 180 mg/L. Proses adsorpsi berlangsung selama 2 jam diaduk menggunakan *shaker* kecepatan 250 rpm. Setelah proses selesai, larutan di saring menggunakan *syringe filter* 0,45 mikron. Analisis warna dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang 554 nm untuk menentukan *removal* Rhodamine B.



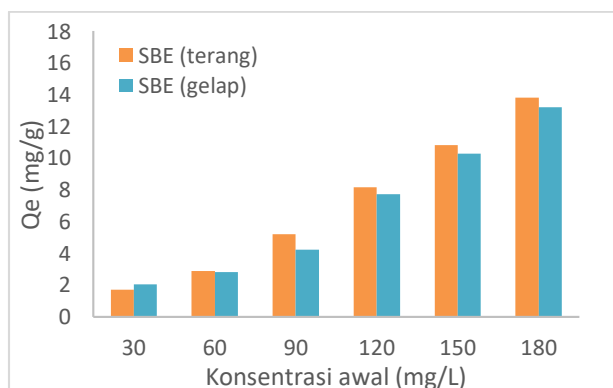
Gambar 1. Kondisi proses adsorpsi, (a) keadaan terang dan (b) keadaan gelap

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Adsorben *Spent Bleaching Earth* (SBE)

Gambar 2 menunjukkan kemampuan adsorpsi SBE terhadap RhB dalam beberapa konsentrasi yang berbeda. Dapat dilihat, dalam dua kondisi berbeda kemampuan SBE semakin meningkat seiring meningkatnya konsentrasi awal RhB. Kemampuan adsorpsi SBE tertinggi di dapat sekitar 13 mg/g. Pada kondisi eksperimen yang terang, kemampuan adsorpsi SBE menunjukkan hasil yang sedikit lebih tinggi daripada kondisi eksperimen yang gelap. Kemampuan adsorpsi ini dipengaruhi oleh luas permukaan SBE. Dalam beberapa penelitian, SBE memiliki luas permukaan sekitar 19 m²/g (Majid & Mat, 2017). Nilai ini termasuk kecil jika dibandingkan dengan adsorben yang lain seperti karbon aktif yang memiliki luas permukaan lebih dari 100 m²/g. Sehingga dengan nilai luas permukaan yang kecil, maka kemampuan adsorpsi SBE juga terbatas.

Dalam beberapa penelitian, belum ada yang menyebutkan kemampuan fotokatalis SBE. Dalam penelitian ini, kemampuan adsorpsi SBE dalam kondisi terang sedikit lebih tinggi daripada dalam kondisi gelap, yaitu sekitar 0,6 mg/g. Sehingga, hasil ini menunjukkan pengaruh cahaya terhadap proses adsorpsi SBE. Komponen senyawa SBE didominasi oleh SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, dan CaO (Rahman *et al.*, 2020). Fe₂O₃ adalah jenis semikonduktor yang memiliki kemampuan fotokatalitik, sehingga dalam hal ini SBE memiliki kemampuan fotokatalitik jika terkena cahaya (Riskiani *et al.*, 2019).

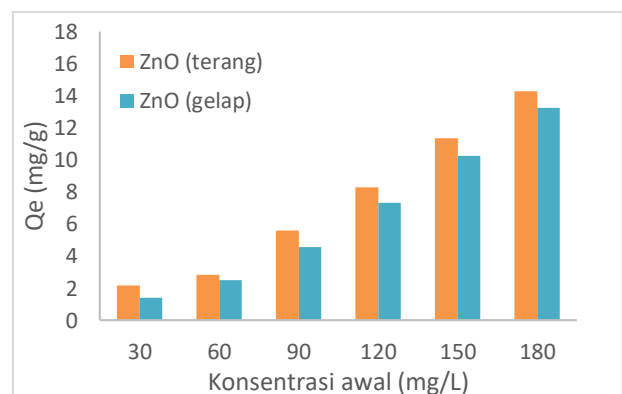


Gambar 2. Pengaruh konsentrasi RhB dan cahaya terhadap kemampuan adsorpsi SBE

3.2 Adsorben ZnO

Kemampuan adsorpsi ZnO terhadap RhB

ditunjukkan dalam Gambar 3. ZnO merupakan jenis fotokatalis yang sudah sering digunakan. Aktivitas fotokatalitik ZnO dipengaruhi oleh induksi cahaya yang diberikan dalam proses. Dalam penelitian ini, cahaya yang digunakan adalah cahaya *ambient*. Gambar 3 menunjukkan perbedaan kemampuan adsorpsi ZnO dalam kondisi terang dan gelap. Dalam kondisi terang, kemampuan adsorpsi ZnO lebih unggul atau tinggi sekitar 1 mg/g dibandingkan dalam kondisi gelap. Adsorben ZnO memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih tinggi daripada SBE. Pengaruh adanya cahaya dalam proses adsorpsi terlihat cukup memberikan dampak. Mekanisme fotokatalitik ZnO sebagai adsorben ketika di induksi cahaya akan menciptakan pasangan elektron (e⁻) dan *hole* (h⁺) dalam pita valensi dan pita konduksi. Pasangan elektron (e⁻) dan *hole* (h⁺) ini pada akhirnya dalam reaksi berantai oksigen akan menciptakan beberapa spesies aktif radikal seperti O₂^{*-} dan OH^{*} yang mampu mendegradasi RhB (Taie *et al.*, 2021). Kehadiran beberapa senyawa aktif radikal inilah yang memberikan dampak signifikan terhadap degradasi RhB.



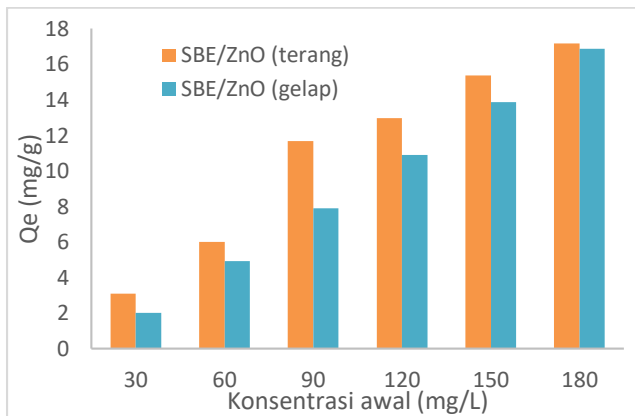
Gambar 3. Pengaruh konsentrasi RhB dan cahaya terhadap kemampuan adsorpsi ZnO

3.3 Adsorben SBE/ZnO

Kemampuan adsorpsi SBE dan ZnO mampu ditingkatkan ketika kedua material ini dikompositkan. Gambar 4 menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi SBE/ZnO meningkat ke sekitar 17 mg/g dibandingkan dengan SBE dan ZnO yang hanya mampu hingga 13 mg/g dan 14 mg/g, masing-masing. Namun, dalam dua kondisi eksperimen yang berbeda kemampuan adsorpsi SBE/ZnO menunjukkan perbedaan yang berarti, cenderung meningkat dengan rata-rata peningkatan sebesar 1,6 mg/g. Hal ini dimungkinkan karena induksi cahaya yang diberikan mampu mengeksitasi elektron,

sehingga aktivitas fotokatalitiknya dominan.

Peningkatan ini juga diindikasikan karena luas permukaan SBE/ZnO juga meningkat. SBE yang diberi perlakuan maserasi dan pengasaman memberikan peningkatan luas permukaan, karena senyawa-senyawa yang menutupi pori-pori SBE dihilangkan. Dalam beberapa penelitian SBE hasil aktivasi mampu meningkat hingga 150 m²/g (Liu *et al.*, 2020). Proses komposit juga memberikan dampak yang menjajikan, karena material komposit mempunyai dua fungsi ganda sekaligus yaitu mempunyai kemampuan adsorpsi yang baik dan kemampuan degradasi melalui aktivitas fotokatalitik karena hadirnya ZnO.



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi RhB dan cahaya terhadap kemampuan adsorpsi SBE/ZnO

3.4 Model Isotherm Adsorpsi

Model isotherm adsorpsi digunakan untuk mengetahui jenis mekanisme proses adsorpsi RhB pada adsorben SBE, ZnO, dan SBE/ZnO. Berdasarkan analisis ini, interaksi antara adsorbat dan adsorben dapat diketahui. Analisis model isotherm tersebut menggunakan perhitungan *fitting* dengan 2 jenis model isotherm yaitu, Langmuir dan Freundlich. Model Langmuir mengansumsikan bahwa adsorpsi terjadi pada permukaan adsorben yang homogen. Adsorpsi jenis ini hanya untuk satu *layer* adsorbat pada permukaan adsorben, yang artinya setiap satu pori dalam adsorben hanya dapat menjerap satu molekul adsorbat (Iryani *et al.*, 2020). Sedangkan, model Freundlich digunakan untuk merepresentasikan non-ideal heterogen karakteristik proses adsorpsi.

Persamaan isotherm untuk setiap adsorben terjadi dalam Tabel 1 dan 2. Dimana Ce

(mg/L) adalah konsentrasi equilibrium dan Qe (mg/g) adalah jumlah adsorbat per gram adsorben.

Tabel 1. Persamaan isotherm dalam kondisi terang

Pers.	SBE	ZnO	SBE/ZnO
Langmuir	1/Qe= 8,692(1/Ce)-0,0696	1/Qe= 3,362(1/Ce)+0,0651	1/Qe= 4.642(1/Ce)-0,0068
Freundlich	Log Qe= 1,523(Log Ce)-1,5363	Log Qe= 0,9271(Log Ce)-0,5606	Log Qe= 0.900(Log Ce)-0.48

Tabel 2. Persamaan isotherm dalam kondisi gelap

Pers.	SBE	ZnO	SBE/ZnO
Langmuir	1/Qe= 4,228(1/Ce)+0,0751	1/Qe= 13,596(1/Ce)-0,1322	1/Qe= 34,797(1/Ce)-3,0357
Freundlich	Log Qe= 0,9104(Log Ce)-0,6542	Log Qe = 1,706(Log Ce)-1,9753	Log Qe= 15,377(Log Ce)-15,038

Berdasarkan beberapa parameter penting dalam Tabel 3 dan 4, koefisien korelasi (R²) digunakan untuk menentukan model yang paling sesuai dengan adsorpsi RhB menggunakan SBE, ZnO, dan SBE/ZnO. Hasil menunjukkan dalam keadaan gelap dan terang, model isotherm Langmuir pada ketiga adsorben lebih sesuai digunakan untuk menerangkan proses adsorpsi yang terjadi daripada model Freundlich. Hasil ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi pada ketiga adsorben cenderung terjadi secara monolayer daripada *multi-layer*. Hasil ini juga bersesuaian dengan hasil penelitian pendahulu (Tsai *et al.*, 2004; Muhammad *et al.*, 2015). Disisi lain, parameter penting lainnya adalah kapasitas adsorpsi dari ketiga adsorben. Qm merepresentasikan kapasitas maksimum adsorpsi RhB. Dalam kondisi terang, Qm masing-masing adsorben SBE, ZnO, dan SBE/ZnO adalah 14,36, 15,36, dan 147,05 mg/g. Sedangkan dalam kondisi gelap, Qm masing-masing adsorben adalah 13,31, 7,5, dan 0,3 mg/g. Hasil yang sama juga ditunjukkan dalam penelitian Tsai *et al.*, (2004) untuk proses adsorpsi *acid orange 51* menggunakan *activated spent bleaching earth* yang menghasilkan nilai Qm

sebesar 8,45 mg/g. Dalam penelitian Muhammad *et al.*, (2015), nilai Q_m sebesar 7,41 mg/g. Nilai ini jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan beberapa adsorben lainnya, seperti karbon aktif yang mempunyai nilai Q_m sebesar 478,50 mg/g (Ding *et al.*, 2014). Perbedaan kapasitas adsorpsi ini dikarenakan adanya pengaruh beberapa parameter dalam proses adsorpsi yang dapat mempengaruhi kinerja adsorben. Namun, dalam kasus adsorben yang mengikuti model Langmuir, diameter pori dan gugus fungsi yang berada di permukaan adsorben memainkan peran yang paling penting dalam menentukan kapasitas adsorpsi (Iryani *et al.*, 2020).

Tabel 3. Parameter isotherm adsorpsi RhB dalam kondisi terang

Parameter	Langmuir	Freundlich
SBE		
R^2	0,8578	0,7374
Q_m	14,3678	
K	0,0080	2,9005
n		0,6566
ZnO		
R^2	0,6285	0,5275
Q_m	15,36009	
K	0,0193	1,47488
n		1,07863
SBE/ZnO		
R^2	0,928	0,8666
Q_m	147,059	
K	0,00146	1,39474
n		1,11086

Tabel 4. Parameter isotherm adsorpsi RhB dalam kondisi gelap

Parameter	Langmuir	Freundlich
SBE		
R^2	0,7005	0,5855
Q_m	13,3155	
K	0,0177	1,5737
n		1,0984
ZnO		
R^2	0,8917	0,7500
Q_m	7,5642	
K	0,0097	3,9321
n		0,5858
SBE/ZnO		
R^2	0,9903	0,9586
Q_m	0,3294	
K	0,0872	33642,6
n		0,06503

4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, adsorpsi rhodamine B menggunakan tiga adsorben, SBE, ZnO, dan SBE/ZnO telah berhasil dilakukan. Parameter penelitian seperti konsentrasi awal larutan dan jenis kondisi eksperimen (gelap dan terang) dilakukan dalam proses adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya pengaruh cahaya *ambient* terhadap proses adsorpsi membuat aktivitas fotokatalitik adsorben. Pengaruh cahaya *ambient* terhadap proses adsorpsi membuat kemampuan adsorpsi ketiga adsorben meningkat sekitar 0,6-1 mg/g seiring meningkatnya konsentrasi larutan rhodamine B. Model isotherm untuk ketiga adsorben semuanya mengikuti model isotherm Langmuir, yang artinya proses adsorpsi terjadi secara monolayer. Hasil analisis parameter-parameter isotherm menunjukkan bahwa kemampuan adsorpsi maksimum SBE/ZnO meningkat hingga 147,059 mg/g dalam keadaan terang. Nilai ini menunjukkan keberhasilan proses komposit yang mampu meningkatkan luas permukaan adsorben dan kemampuan fotokatalitik adsorben.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada *Taiwan-Indonesia Science and Technology Innovation Centre for Circular Economy and Green Innovative Resources* atas dana penelitian yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akpomie, K. G., and Conradie, J. 2020. Synthesis, Characterization, and Regeneration of an Inorganis-Organic Nanocomposite (ZnO@Biomass) and Its Application in The Capture of Cationic Dye. *Scientific Reports*, 10(1), 1-12.
- Asgari, E., Esrafil, A., Rostami, R., and Farzadkia, M. 2019. O₃, O₃/UV and O₃/UV/ZnO for abatement of parabens in aqueous solutions: Effect of operational parameters and mineralization/biodegradability improvement. *Process Safety and Environmental Protection*, 125, 238-250.
- Ding, L., Zou, B., Gao, W., Liu, Q., Wang, Z., Guo, Y., Wang, X., and Liu, Y., 2014.

- Adsorption of Rhodamine-B from aqueous solution using treated rice husk-based activated carbon. *Colloids Surf., A.*, 446, 1-7.
- Iryani, Ani, Hadi, Nur, Mardi, Santoso, and Djoko, Hartanto. 2020. Adsorption Study of Rhodamine B and Methylene Blue Dyes with ZSM-5 Directly Synthesized from Bangka Kaolin without Organic Template. *Indones.I. Chem.*, 20(1), 130-140.
- Liu, L., L, Y., Yoza, B.A., Hao, K., Li, Q.X., Li, Y., Wang, Q., Guo, S., and Chen, C. 2020. A Char-Clay Composite Catalyst Derived from Spent Bleaching Earth for Efficient Ozonation of Recalcitrants in Water. *Science of the Total Environment*, 699.
- Majid, R. A., dan Mat, C.R.C. 2017. Regenerated spent bleaching earth for the decolourisation and bod reduction of palm oil mill effluent. *Journal of Oil Palm Research*, 29(4), 579-587.
- Muhammad, Andi, Yusnimar, dan Sri, Helianty. 2015. Penentuan Keseimbangan Adsorpsi Regenerated Spent Bleaching Earth (RSBE) Terhadap Ion Cu(II). *Jom F. Teknik*. Volume 2, No. 2.
- Purba, R.S., Irwan, S. N.R., dan Putra, E.T.S. 2019. The Effect of Spent Bleaching Earth Filler-Based NPK Fertilization on Proline, Growth and Yield of Maize. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 35(1), 44.
- Rahman, R.F.A., Asrah, H., Rizalman, A.N., Abdul, K., and Rajak, M.A.A. 2020. Study of Eco-Processed Pozzolan Characterization as Partial Replacement of Cement. *Journal of Environmental Treatment Techniques*. 8(3), 967-970.
- Rahmiyanti, S. 2020. Pengaruh Konsentrasi NaOH pada Pembuatan Nanosilika dari Sekam Padi sebagai Adsorben Logam Fe dan Zn. Doctoral Dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Riskiani, Ermin, Iryanti, Eka S., dan James, Sibarani. 2019. Fotokatalis Bentonit-Fe₂O₃ Untuk Degradasi Zat Warna Remazol Brilliant Blue. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*. Volume 7, Nomor 1.
- Sabarina, F., Manik, F., dan Spent, P. 2010. Pemanfaatan Spent Bleaching Earth dari Proses Pemucatan CPO sebagai Bahan Baku Briket. Tugas Akhir Fakultas Teknologi Pertanian.
- Sharom, N.B.I.N. 2016. Performance of Eco Process Pozzolan Foamed Concrete as Cement Replacement. January.
- Taie, M., Fadaei, A., Sadeghi, M., Hemati, S., dan Mardani, G. 2021. Comparison of the Efficiency of Ultraviolet/Zinc Oxide (UV/ZnO) and Ozone/Zinc Oxide (O₃/ZnO) techniques as Advanced Oxidation Processes in the Removal of trimethoprim from Aqueous Solutions. *International Journal of Chemical Engineering*.
- Tsai, W.T., Chang, C.Y., Ing, C.H., and Chang, C.F. 2004. Adsorption of acid dyes from aqueous solution on activated bleaching earth. *Journal Colloid and Interface Science*. 72-78.
- Utama, W., and Andriyan, Yulikasari. 2020. Characteristic of Spent Bleaching Earth Substitution in Limestone. *Journal of Marine-Earth Science and Technology*. Vol. 1, 37-42.
- Zhang, M., Tan, X., Zhang, T., Han, Z., and Jiang, H. 2018. The Deactivation of a ZnO Doped ZrO₂-SiO₂ Catalyst in The Conversion of Ethanol/Acetaldehyde to 1,3butadiene. *RSC Advances*, 8(59), 34069-34077.
- Zhuang, H., Guo, J., and Hong, X. 2018. Advanced Treatment of Paper-Making Wastewater using Catalytic Ozonation with Waste Rice Straw-Derived Activated Carbon-Supported Manganese Oxides as a Novel and Efficient Catalyst. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(1), 451-457.