

KARAKTERISTIK FISIKA DAN KIMIA AIR GAMBUT KABUPATEN TANJUNG JABUNG BARAT, PROVINSI JAMBI

Yulia Morsa Said¹, Yudi Achnopa², Wahyudi Zahar¹, Yudha Gusti Wibowo³

¹Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi

²Fakultas Pertanian, Universitas Jambi

³Program Pascasarjana, Universitas Jambi

Email : wahyudizahar@unja.ac.id

Abstrak

Air bersih menjadi permasalahan pada daerah rawa gambut. Kualitas air pada wilayah rawa gambut memiliki karakteristik berwarna kecokelatan hingga hitam pekat, memiliki nilai pH yang rendah serta mengandung logam berat yang tinggi sehingga tidak layak digunakan untuk memenuhi kebutuhan seperti mandi, cuci kakus dan minum. Tungkal Ilir, Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Provinsi Jambi merupakan salah satu daerah dengan kualitas air yang buruk. Tungkal Ilir merupakan daerah rawa gambut dengan kualitas air berwarna kecokelatan, bersifat asam, memiliki kandungan Total Suspended Solid (TSS), Total Dissolve Solid (TDS), Daya Hantar Listrik (DHL), Biological Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) yang tinggi sehingga tidak layak digunakan untuk kebutuhan masyarakat. Makalah ini akan membahas parameter fisika dan kimia air gambut Tungkal Ilir secara jelas dan sistematis serta memberikan solusi untuk meningkatkan kualitas air gambut Tungkal Ilir agar dapat layak digunakan untuk kebutuhan sehari-hari.

Kata kunci: air bersih, air gambut, air tercemar, kualitas air, tungkal ilir

Abstract

Clean water becomes a problem in the peat area. Water quality in peatland area has characteristics brown till black, low pH, high heavy metals content be used for daily activities. Tungkal Ilir, Tanjung Jabung in Jambi Province is a place that has low quality water resources caused by peat. The high of total suspended solids (TSS), total dissolved solid (TDS), conductivity (DHL), biological oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), low pH, and high heavy metals are the characteristics of this peat water. This paper will describes physical and chemical parameters on peat water clearly, systematic and give alternatives solution to solve this problem.

Keywords: clean water, peat water, Tungkal ilir, water quality, wastewater

1. PENDAHULUAN

Jumlah air bersih terus berkurang seiring terjadinya pencemaran lingkungan yang di akibatkan oleh sampah (Ramadan dkk., 2013), aktivitas industri (Wibowo dkk., 2018 dan Winarno dkk., 2019) serta kondisi yang disebabkan oleh alam seperti daerah rawa gambut. Daerah rawa gambut menyebabkan kondisi air menjadi tercemar. Air gambut memiliki pH yang rendah, tinggi kandungan logam berat, serta memiliki nilai TSS, TDS, BOD dan COD yang tinggi (Naswir dkk., 2014). Kondisi wilayah rawa gambut yang memiliki sumberdaya air dengan kualitas yang rendah akan menyebabkan lingkungan yang tidak sehat (Wibowo dkk., 2019) dan berdampak pada kesehatan. Logam berat pada air dapat menyebabkan keracunan, alergi dan sakit pada kulit,

Dikirim/submitted: 10 Februari 2019

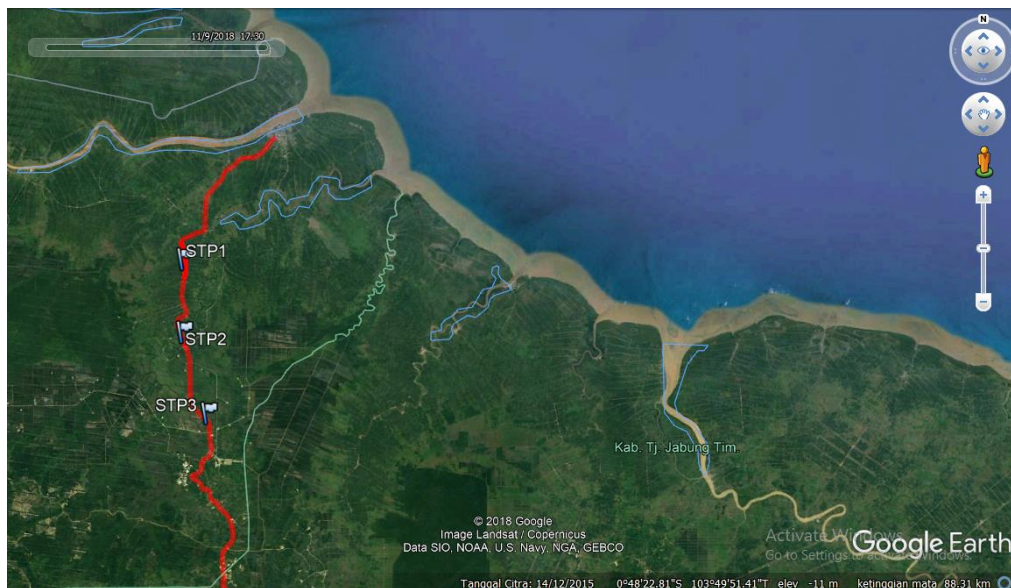
Diterima/accepted: 31 Mei 2019

muntah-muntah, pusing, kanker hingga kematian (Kim dkk., 2007; Liao dkk., 2016; Nzediegwu dkk., 2019; Tepanosyan dkk., 2018). *Paper* ini akan membahas mengenai kualitas air gambut daerah Tungkal Ilir dengan sistematis dan terperinci berdasarkan aspek fisika dan kimia air serta memberikan rekomendasi agar permasalahan air gambut Tungkal Ilir dapat diselesaikan.

2. METODE PENELITIAN

Pengambilan sampel dilakukan di Sungai Pabunga, Sungai Serdang Jaya dan Sungai Mahang di Tungkal Ilir Kabupaten Tanjung Jabung Barat menggunakan metode *random sampling*. Ketiga sungai dipilih karena representatif dalam mewakili kondisi air gambut daerah Tungkal Ilir.

Titik pengambilan sampel pertama (STP1) dilakukan pada $00^{\circ}56'66,9''$ LS dan $103^{\circ}22'71,3''$ BT, sampel kedua (STP2) diambil pada $01^{\circ}00'61,8''$ LS dan $103^{\circ}22'68,8''$ BT dan sampel ketiga (STP3) diambil pada lokasi $01^{\circ}04'99,4''$ LS dan $103^{\circ}24'0,25''$ BT. Ketiga lokasi tersebut terlihat pada Gambar 1. Parameter fisika yang diamati pada ketiga sampel air gambut adalah suhu, TSS, TDS, DHL, warna, kekeruhan, pH, BOD, COD, Fe dan Mn.



Gambar 1. Lokasi titik pengambilan sampel

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Parameter Air Gambut

Air gambut pada daerah Tungkal Ilir, Kabupaten Tanjung Jabung Barat memiliki parameter fisika dan kimia air tercemar sehingga menyebabkan air berwarna coklat kehitaman, tinggi kandungan

logam berat yang disebabkan oleh kontaminasi rawa gambut, DHL yang tinggi, serta memiliki nilai pH yang sangat rendah (Tabel 1).

Suhu pada air gambut di tiga lokasi berbeda tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan, suhu pada ketiga lokasi masih normal dan tidak berbahaya bagi lingkungan maupun kesehatan manusia. TSS pada STP 1 lebih tinggi apabila di bandingkan dengan 2 lokasi lainnya, hal ini disebabkan karena STP 3 yang semakin dekat dengan laut sehingga terjadi kontaminasi air laut dan menurunkan kadar TSS pada air gambut. Kandungan TSS yang tinggi dapat menyebabkan penurunan kualitas air sehingga tidak layak dikonsumsi, semakin tinggi kandungan TSS pada air maka air akan mengandung gumpalan partikel mikro yang sebelumnya belum menggumpal. Beberapa penelitian menginformasikan bahwa TSS merupakan parameter air tercemar yang harus di hilangkan, upaya penyaringan menjadi salah satu cara dalam menurunkan kadar TSS pada air tercemar (Petala dkk., 2006). TSS dapat ditemukan pada seluruh air tercemar akibat industri (Irfan dkk., 2013) maupun yang diakibatkan oleh alam seperti air gambut.

Tabel 1. Parameter air gambut

Parameter	Lokasi Pengambilan Sampel		
	STP 1	STP 2	STP 3
Suhu (°C)	28,0	28,4	27,5
TSS (mg/L)	12	9	7
TDS (mg/L)	567	81,8	107,9
DHL (μ s/cm)	853	123,2	162,5
Warna (Pt.Co)	56	58	206
Kekeruhan (NTU)	4,26	3,36	10,58
pH (mg/L)	2,35	3,67	3,1
BOD (mg/L)	5,70	9,30	25,80
COD (mg/L)	16	19	81
Fe (mg/L)	0,068	0,129	0,239
Mn (mg/L)	<0,0034	<0,0034	<0,0034

TDS merupakan salah satu indikator air tercemar. TDS dapat disebabkan oleh senyawa organik maupun non-organik, namun pada air gambut TDS berasal dari bahan organik yaitu gambut yang terkontaminasi air. TDS memiliki ukuran kurang dari satu nanometer dengan satuan ppm atau mg/l. TDS dapat ditemukan di seluruh air tercemar seperti limbah aktivitas industri dan air gambut.

DHL juga disebut konduktivitas air, air tercemar memiliki nilai konduktivitas tinggi. Nilai konduktivitas yang tinggi menyebabkan air mudah menghantarkan listrik dan mengindikasikan

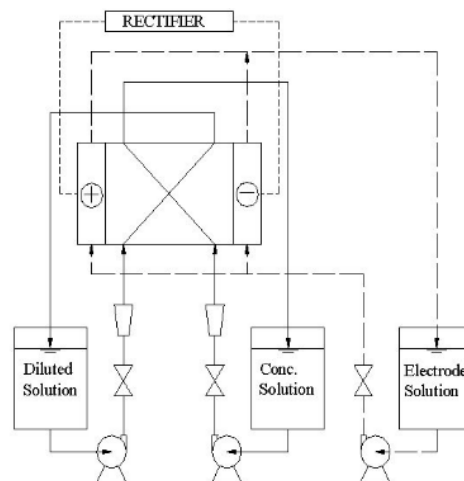
adanya kandungan garam yang tinggi. Kandungan garam yang tinggi pada air gambut akan menyebabkan air memiliki rasa asin sehingga tidak layak untuk di konsumsi. Konduktivitas air gambut menjadi permasalahan di setiap negara dengan kondisi memiliki lahan gambut, Netherlands adalah salah satu negara dengan permasalahan air gambut. Model matematis hubungan kadar air dengan konduktivitas air gambut pernah dilakukan di Netherlands. Penelitian ini menginformasikan bahwa kadar air dan konduktivitas air gambut memiliki hubungan yang signifikan berdasarkan model matematis. Sampel air gambut diambil pada tiga lokasi air gambut yang berbeda, Model ini mengasumsikan bahwa konduktivitas elektrolitik bersifat paralel: konduktivitas elektrolitik ditemukan secara linear tergantung pada konduktivitas pori gambut, konduktivitas permukaan dimodelkan dengan hukum daya konduktivitas fluida pori, di mana parameter model memperhitungkan sifat porositas dan permukaan. Berdasarkan hasil penelitian ini diketahui bahwa suhu berpengaruh terhadap konduktivitas air gambut, riset ini menjelaskan bahwa suhu tinggi memberikan dampak konduktivitas cairan pori menjadi independen terhadap salinitas (Ponziani dan Slob, 2012).

Air gambut memiliki warna coklat hingga hitam pekat yang disebabkan oleh material organik tumbuhan yang berubah menjadi gambut, selain warna air gambut memiliki kekeruhan cukup tinggi, nilai pH yang rendah (kurang dari tujuh) dan kadar BOD serta COD yang tinggi. Warna air gambut yang coklat hingga hitam di akibatkan dari tingginya kandungan zat organik (bahan humus) terlarut dalam bentuk asam humus dan turunannya. Asam humus tersebut berasal dari dekomposisi bahan organik seperti daun, pohon, atau kayu dengan berbagai tingkat dekomposisi. pH air gambut yang rendah menyebabkan air terasa asam yang dapat menimbulkan kerusakan gigi dan sakit perut, pH air gambut yang rendah disebabkan oleh asam fulvat, humin dan asam humat. Kadar BOD dan COD yang tinggi diakibatkan oleh tumbuhan yang terdekomposisi dan berasosiasi dengan air sehingga menyebabkan kadar BOD yang tinggi, sementara kadar COD yang tinggi disebabkan oleh limbah buangan rumah tangga yang tidak di kelola dengan baik sebelum di buang ke aliran sungai pada daerah penelitian. Berdasarkan hasil penelitian, kadar COD yang tinggi dapat disebabkan oleh limbah deterjen dan bahan-bahan kimia yang digunakan pada aktivitas rumah tangga lainnya, berbagai upaya telah dilakukan untuk menurunkan kadar parameter air tercemar dengan berbagai inovasi seperti penggunaan bubuk MgO (Oladipo dkk., 2017)

Kandungan logam berat yang tinggi pada air gambut akan menyebabkan berbagai permasalahan lingkungan dan kesehatan seperti pencemaran tanah, air dan berbagai penyakit pada manusia (Candeias dkk., 2011; Handayani dan Sulistyono., 2009; Nzediegwu dkk., 2019 dan Sun dkk., 2018). Kandungan Fe dan Mn pada tiga lokasi pengambilan sampel dikategorikan rendah. Khusus untuk Fe, konsentrasinya terus meningkat pada wilayah yang semakin dekat dengan laut yang mungkin disebabkan oleh pencemaran logam berat yang tinggi pada laut sehingga STP 3 memiliki nilai Fe lebih tinggi dibandingkan STP 1 dan STP 2. Namun, analisis konsentrasi logam berat di laut perlu dilakukan sebelum membuat kesimpulan tersebut. Nilai konsentrasi Fe di muara serupa terjadi pada penelitian Sagala dkk. (2014) dimana massa air yang mengandung Fe terbawa dari dan ke muara sungai sehingga cenderung lebih tinggi Sementara kadar Mn masih di bawah standar baku mutu yaitu lebih rendah dari 0,00034, hal ini di sebabkan oleh limit deteksi instrumen *atomic absorption spectrophotometry* yang digunakan.

3.2 Solusi Permasalahan Kualitas Air Gambut

Suhu air gambut masih termasuk dalam kategori normal dan tidak berbahaya bagi kesehatan manusia maupun lingkungan. Beberapa penelitian menginformasikan upaya penurunan TDS pada air tercemar dengan menggunakan elektrodialisis. Studi penurunan TDS pada limbah polimer yang dihasilkan industri memiliki konsep yang sama dan dapat di terapkan pada air gambut (Gambar 2).

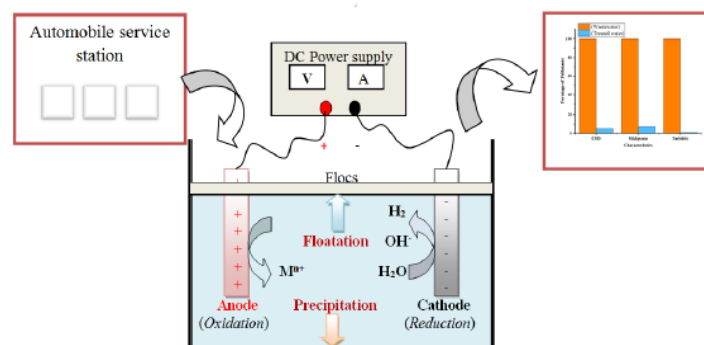


Gambar 1. Metode Elektrodialisis dalam menurunkan TDS

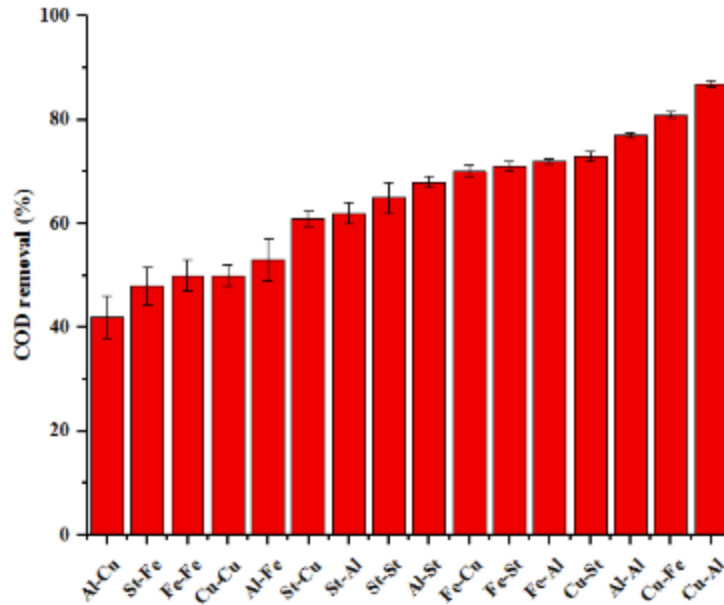
Kandungan TDS pada air tercemar juga dapat dikurangi menggunakan adsorben. Adsorben tersebut dapat dibuat dengan menggunakan kombinasi material alam (organik) seperti *bead* dan

membrane bio-komposit. Membran nano bio-komposit memiliki luas area dan ukuran pori yang baik sebagai adsorben untuk mengurangi TDS. Adsorben yang dibuat tidak hanya mampu mengurangi kandungan TDS namun juga dapat mereduksi kandungan logam berat pada air tercemar, kombinasi nano-komposit ini mampu menurunkan kadar TDS pada air tercemar sebesar 93.4.8% sampai dengan 99.8% (Das dkk., 2015), TSS, DHL dan warna pada air gambut dapat di reduksi dengan menggunakan karbon aktif dan *biochar* yang dibuat dari limbah batok kelapa (Wibowo dan Naswir, 2019; Wibowo dkk., 2019), bentonite (Naswir dkk., 2019) dan limbah cangkang kerang darah untuk menetralkan pH pada air gambut. Limbah cangkang kerang diketahui memiliki kandungan CaCO_3 yang tinggi dan dapat di sintesis menjadi CaO menggunakan metode kalsinasi (Naswir dan Lestari, 2014). Cangkang kerang yang telah di kalsinasi mampu meningkatkan nilai pH air gambut dari dua menjadi tujuh.

Karbon aktif juga dapat memperbaiki warna dan kekeruhan air gambut menjadi lebih jernih, hal ini disebabkan oleh zat organik pada air gambut masuk ke dalam pori karbon aktif sebagai adsorben. BOD dan COD pada air gambut dapat di reduksi dengan menggunakan bioreaktor, COD juga dapat mempengaruhi nutrisi pada tanah (Neculita, 2007) sehingga diperlukan adanya upaya dalam mengurangi jumlah COD pada air tercemar. Kandungan COD pada air tercemar juga dapat di hilangkan dengan menggunakan metode elektrokoagulasi (Gambar 3) dengan menggunakan elektroda Al, Fe, St, dan Cu dengan panjang elektroda 10 cm, 5 cm, dan 2.5 cm, kuat arus 5 A/m^2 sampai dengan 30 A/m^2 dan waktu kontak 10 sampai dengan 60 menit. Hasil penggunaan elektroda Al, Fe, St, dan Cu yang digunakan secara variasi menghasilkan persen penurunan COD bervariasi hingga mencapai 80% (Gambar 4) (Priya dan Jeyanthi, 2019).



Gambar 2. Metode elektrokoagulasi untuk mengurangi kandungan COD pada air gambut (Priya dan Jeyanthi, 2019)



Gambar 3. Efek penggunaan katoda pada metode elektrokoagulasi terhadap penurunan COD (Priya dan Jeyanthi, 2019)

Fe dan Mn menjadi permasalahan bagi lingkungan dan kesehatan manusia, permasalahan logam berat dapat terjadi pada tanah (Deng dkk., 2018), air (Hao dkk., 2018; Safaei Khorram dkk., 2016 dan Xu dkk., 2018), bahkan bahan pangan utama seperti padi (Mao dkk., 2019). Distribusi logam berat yang masuk ke dalam seluruh aspek kehidupan manusia semakin mengkhawatirkan seiring tumbuhnya berbagai industri yang menyebabkan pencemaran di seluruh aspek lingkungan. Teknologi filtrasi menggunakan membran, karbon aktif dan elektrokoagulasi dapat diterapkan untuk menurunkan kontaminasi logam berat di perairan (Wang dkk., 2019).

Teknologi yang dipaparkan sebelumnya merupakan pilihan-pilihan solusi dalam menyelesaikan permasalahan air gambut guna memenuhi kebutuhan air bersih di Indonesia. Teknologi tersebut diharapkan dapat diterapkan dan digunakan secara kontinu dengan produktivitas tinggi agar permasalahan air khususnya di kawasan gambut marginal dapat diminimalisir.

4. KESIMPULAN

Air gambut merupakan salah satu air tercemar yang ditandai dengan tingginya kandungan logam berat, DHL, BOD, COD, warna yang cokelat kehitaman, nilai pH yang rendah. Berdasarkan parameter fisika dan kimia air gambut, air gambut Tungkal Ilir, Kabupaten Tanjung Jabung Barat

sangat berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Solusi permasalahan air gambut Tanjung Jabung Barat dapat diselesaikan dengan memanfaatkan karbon aktif, bentonit, biochar, filtrasi, elektrokoagulasi, dan bioteknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Candeias, C., Ávila, P., Coelho, P., dan P.Teixeira, J. (2011). Mining Activities : Health Impacts. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 1–15
- Das, D., Varghese, L. R., & Das, N. (2015). Enhanced TDS removal using cyclodextrinated , sulfonated and aminated forms of bead – membrane duo nanobiocomposite via sophorolipid mediated complexation. *Desalination*, 360, 35–44
- Deng, H., Ge, C., Yu, H., Huang, P., Xu, W., Luo, J., & Li, X. (2018). Effect of cassava waste biochar on sorption and release behavior of atrazine in soil. *Science of The Total Environment*, 644, 1617–1624
- Handayani, M., & Sulistyono, E. (2009). Uji Persamaan Langmuir Dan Freundlich Pada Penyerapan Limbah Chrom (VI) Oleh Zeolit. *Prosiding Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir PTNBR - BATAN*, (Vi), 130–136
- Hao, Z., Wang, C., Yan, Z., Jiang, H., & Xu, H. (2018). Magnetic particles modification of coconut shell-derived activated carbon and biochar for effective removal of phenol from water. *Chemosphere*, 211, 962–969
- Irfan, M., Butt, T., Imtiaz, N., Abbas, N., Ahmad, R., & Shafique, A. (2013). The removal of COD , TSS and colour of black liquor by coagulation – flocculation process at optimized pH , settling and dosing rate. *ARABIAN JOURNAL OF CHEMISTRY*, 10(2), 2307-S2318
- Kim, J. Y., Lee, B. T., Shin, K. H., Lee, K. Y., Kim, K. W., An, K. G., Kwon, Y. H. (2007). Ecological health assessment and remediation of the stream impacted by acid mine drainage of the Gwangyang mine area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 129(1–3), 79–85
- Liao, J., Wen, Z., Ru, X., Chen, J., Wu, H., & Wei, C. (2016). Ecotoxicology and Environmental Safety Distribution and migration of heavy metals in soil and crops affected by acid mine drainage: Public health implications in Guangdong. *Ecotoxicology and Environmental*

Safety, 124, 460–469

- Mao, C., Song, Y., Chen, L., Ji, J., Li, J., Yuan, X., ... Theiss, F. (2019). Catena Human health risks of heavy metals in paddy rice based on transfer characteristics of heavy metals from soil to rice. *Catena*, 175(November 2018), 339–348
- Naswir, M., Arita, S., Hartati, W., Septiarini, L., & Wibowo, Y. G. (2019). Activated Bentonite : Low Cost Adsorbent to Reduce Phosphor in Waste Palm Oil. *International Journal of Chemistry*, 11(2), 67–76
- Naswir, M., Arita, S., Marsi, & Sani. (2014). Activation of Bentonite and Application for Reduction pH, Color, Organik Substance, and Iron (Fe) in the Peat Water. *Science Journal of Chemistry*, 1(5), 74
- Naswir, M., & Lestari, I. (2014). Characterization Active Carbon and Clum Shell In Reducing pH , Color , COD , Fe and Organik Matter On Peat Water. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE)*, 1(11), 137–146.
- Neculita, C. (2007). Passive Treatment of Acid Mine Drainage in Bioreactors using Sulfate-Reducing Bacteria: Critical Review and Research Needs. *Journal of Environmental Quality*, 36(1), 1–16
- Nzediegwu, C., Prasher, S., Elsayed, E., Dhiman, J., Mawof, A., & Patel, R. (2019). Effect of biochar on heavy metal accumulation in potatoes from wastewater irrigation. *Journal of Environmental Management*, 232(October 2018), 153–164
- Oladipo, A. A., Adeleye, O. J., Oladipo, A. S., & Aleshinloye, A. O. (2017). Bio-derived MgO nanopowders for BOD and COD reduction from tannery wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 16, 142–148
- Petala, M., Tsiridis, V., Samaras, P., Zouboulis, A., & Sakellaropoulos, G. P. (2006). Wastewater reclamation by advanced treatment of secondary effluents. *Desalination*, 195, 109–118
- Ponziani, M., & Slob, E. C. (2012). Experimental validation of a model relating water content to the electrical conductivity of peat. *Engineering Geology*, 129–130, 48–55

- Priya, M., & Jeyanthi, J. (2019). Removal Of Cod, Oil And Grease From Automobile Wash Water Effluent Using Electrocoagulation Technique. *Microchemical Journal*, *150*, 1–25
- Ramadan, B. S., Safitri, R. P., Cahyo, M. R. D., & Wibowo, Y. G. (2013). Optimasi sistem pengangkutan sampah kecamatan jati, kabupaten kudas, jawa tengah. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, *16*(1), 8–15
- Safaei Khorram, M., Zhang, Q., Lin, D., Zheng, Y., Fang, H., & Yu, Y. (2016). Biochar: A review of its impact on pesticide behavior in soil environments and its potential applications. *Journal of Environmental Sciences (China)*, *44*, 269–279
- Sagala, S.L., Bramawanto, R., Kuswardani, A.R.T.D. & Pranowo, W.S. (2014). Distribusi Logam Berat di Perairan Natuna. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, *6*(2), 297-310.
- Sun, D., Zhang, D.-X., Wu, W., Wu, P., Zhou, Y.-K., & Yang, F. (2018). Assessment of heavy metal pollution and human health risks in urban soils around an electronics manufacturing facility. *Science of The Total Environment*, *630*, 53–61
- Tepanosyan, G., Sahakyan, L., Belyaeva, O., Asmaryan, S., & Saghatelyan, A. (2018). Continuous impact of mining activities on soil heavy metals levels and human health. *Science of the Total Environment*, *639*, 900–909
- Wang, F., Wang, J., Han, M., Jia, C., & Zhou, Y. (2019). Heavy metal characteristics and health risk assessment of PM 2.5 in students' dormitories in a university in Nanjing, China. *Building and Environment*, *160*(February), 106206
- Wibowo, Y. G. (2019). Managing Sport for Healthy Lifestyle: A Brief Review and Future Research Directions. *Indonesian Journal of Sport Science and Coaching*, *1*(2), 49–57.
- Wibowo, Y. G., Maryani, A. T., Rosanti, D., Rosarina, D., Program, P., Jambi, U., & Tangerang, U. M. (2019). Microplastic in Marine Environment and Its Impact. *Sainmatika: Jurnal Ilmiah Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, *16*(1), 81–87
- Wibowo, Y. G., & Naswir, M. (2019). A Review of Biochar as a Low - cost Adsorbent for Acid Mine Drainage Treatment. *Prosiding Seminar Nasional Hari Air Dunia 2019*, 1–10.

- Wibowo, Y. G., Ramadan, B. S., Anurogo, D., & Illiandri, O. (2019). *Qualitative Analysis To Reduce Unhealthy Houses on Kerinci District*
- Wibowo, Y. G., Rosarina, D., Fardillah, F., & Gusva, D. W. (2019). An Overview ; Wastewater Treatment Using Biochar to Reduce Heavy Metals. *Prosiding Seminar Nasional Hari Air Dunia 2019*, 11–16.
- Wibowo, Y. G., Zahar, W., & Maryani, A. T. (2018). Case Study of Pump Planning at PIT Donggang Utara Blok 32 Open Mining, PT Buana Bara Ekapratama. *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, 10(2), 115–124.
- Wibowo, Y. G., Zahar, W., Syarifuddin, H., Asyifah, S., & Ananda, R. (2019). Pengembangan Eco-Geotourism Geopark Merangin Jambi. *Indonesian Journal of Environmental Education and Management*, 4(1), 23–43.
- Winarno, H., Muhammad, D., Ashyar, R., & Wibowo, Y. G. (2019). Pemanfaatan Limbah Fly Ash dan Bottom Ash dari PLT SUMSEL-5 Sebagai Bahan Utama Pembuatan Paving Block. *Jurnal Teknik*, 11(1), 1067–1070.
- Xu, H., Li, L., Wang, C., Xie, Y., Liu, H., Zhang, A., & Xu, F. (2018). Effect of modified coconut shell biochar on availability of heavy metals and biochemical characteristics of soil in multiple heavy metals contaminated soil. *Science of The Total Environment*, 645, 702–709