

Biosorben Tongkol Jagung Untuk Mereduksi Logam Fe Pada Irigasi Sawah Disekitar TPA Pakusari Jember

Corn Cob Biosorbent for Reducing Fe Metal in Rice Field Irrigation around TPA Pakusari Jember

Siska Nuri Fadilah^{1*)}, I Made Arimbawa²

¹Program Pascasarjana Pengelolaan Lingkungan Universitas Sriwijaya, Palembang 30131, Sumatera Selatan, Indonesia

²Program Studi Teknik Kimia Universitas Jember, Jember 68121, Jawa Timur, Indonesia

^{*)}Penulis untuk korespondensi: siskanurifadilah12@gmail.com

Sitasi: Fadilah, S.N., & Arimbawa, I.M., (2023). Corn cob biosorbent for reducing fe metal in rice field irrigation around TPA Pakusari Jember. *In: Herlinda S et al. (Eds.), Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-11 Tahun 2023, Palembang 21 Oktober 2023.* (pp. 439–446). Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI).

ABSTRACT

Water sources that are close to landfills have the potential to be polluted by leachate from landfills and if it enters rice field irrigation channels, it will pollute agricultural products. This study aimed to determine the potential of acid-activated corn cob adsorbent in absorbing Fe metal in rice field irrigation water sources around Pakusari Jember landfill, as well as the effect of acid addition and activation time on adsorbent absorption. The research was conducted using nitric acid activator with variation of activation time ranging from 1 - 4 hours. The effect of acid activation time on mass gain and Fe content of adsorbent was analyzed using analysis of variance (ANOVA). The results of this study indicate that acid-activated corn cob biosorbent causes the number of active sides on the adsorbent to become more so that after activation it is able to absorb metals. Activation time for 2 hours is the most optimal variation because it absorbs Fe metal with the highest level of 2.14%. At 3 - 4 hours of activation, the desorption process occurs so that Fe levels are lower. All four samples have Fe levels that exceed the Ministry of Health's recommendation so it is recommended to do water treatment first before being used for irrigating rice fields.

Keywords: acid, activator, adsorbent, contaminant, leachate

ABSTRAK

Sumber air yang jaraknya berdekatan dengan tempat pembuangan akhir (TPA) berpotensi tercemar lindi yang berasal dari timbunan sampah dan apabila masuk kedalam saluran irigasi sawah akan mencemari hasil pertanian. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi adsorben tongkol jagung teaktivasi asam dalam menyerap logam Fe di sumber perairan irigasi sawah sekitar TPA Pakusari Jember, serta pengaruh penambahan asam dan waktu aktivasi terhadap daya serap adsorben. Penelitian dilakukan menggunakan aktivator asam nitrat dengan variasi waktu aktivasi mulai dari 1 – 4 jam. Pengaruh waktu aktivasi asam terhadap kenaikan massa dan kandungan Fe pada adsorben dianalisis menggunakan analisis varian (ANOVA). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa biosorben tongkol jagung teraktivasi asam menyebabkan jumlah sisi aktif pada adsorben menjadi lebih banyak sehingga setelah diaktivasi mampu menyerap logam. Waktu aktivasi

Editor: Siti Herlinda et. al.

ISSN: 2963-6051 (print); 2986-2302 (online)

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

selama 2 jam merupakan variasi paling optimal karena menyerap logam Fe dengan kadar tertinggi yaitu sebanyak 2,14%. Pada aktivasi 3 – 4 jam terjadi proses desorpsi sehingga kadar Fe lebih rendah. Keempat sampel memiliki kadar Fe yang melebihi anjuran Kementerian Kesehatan sehingga disarankan untuk melakukan pengolahan air terlebih dahulu sebelum digunakan untuk pengairan sawah.

Kata kunci: adsorben, aktivator, asam, kontaminan, lindi

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya krusial yang mendukung kehidupan dan pertanian, salah satunya adalah pertanian padi, yang berperan penting dalam penyediaan pangan global (Hiroyuki Konuma, 2018). Pertanian padi adalah salah satu sektor utama yang sangat bergantung pada air untuk keberhasilan tanaman. Kabupaten Jember merupakan daerah yang memproduksi padi terbanyak kedua di Jawa Timur setelah Kabupaten Lamongan yaitu sebesar 916.992 ton pada tahun 2017 (BPS, 2018). Kualitas air untuk irigasi sawah menentukan kualitas padi atau beras yang dihasilkan, apabila air yang digunakan sebagai sumber utama perairan tercemar, maka beras yang dihasilkan juga akan tercemar (Adeloju *et al.*, 2021; Ustaoglu *et al.*, 2021). Sumber air yang jaraknya berdekatan dengan tempat pembuangan akhir (TPA) berpotensi tercemar lindi yang berasal dari timbunan sampah. Lindi merupakan cairan yang secara alami akan meresap membawa zat tersuspensi dari hasil dekomposisi sampah. Lindi bersifat toksik, sehingga dapat membahayakan kesehatan manusia jika sampai mencemari air irigasi sawah disekitar TPA (Handayani *et al.*, 2022; Meyrita *et al.*, 2023). Salah satu komponen yang bersifat toksik dalam air lindi adalah logam berat. Logam berat tidak dapat didegradasi sehingga akan terakumulasi di lingkungan dan didalam tubuh organisme (Handayani *et al.*, 2022). Akumulasi logam berat dapat menimbulkan berbagai macam penyakit diantaranya jantung kronis, stroke, dan kematian akibat kanker (Duan *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2020).

Salah satu elemen yang perlu diperhatikan adalah logam besi (Fe), yang meskipun penting untuk tanaman, dapat menjadi bahaya ketika terdapat dalam jumlah yang berlebihan di dalam air irigasi. Air irigasi yang mengandung logam Fe dapat membawa potensi risiko pada hasil panen dan kualitas tanaman, serta lingkungan sekitarnya. Beberapa teknologi yang diterapkan untuk menghilangkan kontaminan logam pada lingkungan perairan diantaranya yaitu teknologi membran (Abdullah *et al.*, 2019), pengendapan kimia (Wang *et al.*, 2019), flotasi ion (Hoseinian *et al.*, 2020; Saleem *et al.*, 2019), pertukaran ion (Bashir *et al.*, 2019; Zhao *et al.*, 2019), koagulasi/flokulasi (Sun *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020) dan elektrokimia (Wu *et al.*, 2019). Namun metode ini mempunyai beberapa kekurangan yaitu produksi lumpur tinggi dan beracun sehingga memerlukan pengolahan lebih lanjut, efisiensi pembuangan yang rendah dan kebutuhan energi yang tinggi (He *et al.*, 2019). Teknologi baru yang lebih efisien, lebih ekonomis dan inovatif sedang diselidiki. Baru-baru ini fotokatalisis, elektrodialisis, hidrogel, dan pengenalan adsorben telah dikembangkan untuk adsorpsi yang lebih baik. Adsorben dianggap sebagai metode sederhana, efektif, dan ekonomis karena dapat disintesis dari biomassa lignoselulosa yang berasal dari limbah pertanian (Muharja *et al.*, 2022).

Salah satu biomassa yang potensial digunakan sebagai adsorben yaitu tongkol jagung karena memiliki kandungan selulosa tinggi sebesar 41% (Irfandy *et al.*, 2021; Wulandari *et al.*, 2020). Tongkol jagung merupakan bagian terbesar dari massa jagungnya namun pengolahannya belum maksimal. Selain selulosa, tongkol jagung juga mengandung lignin sebesar 16% dan hemiselulosa 36% (Rengga *et al.*, 2019). Pemanfaatan tongkol jagung sebagai adsorben telah terbukti dapat menyerap berbagai jenis logam (Fathurrahman *et al.*,

Editor: Siti Herlinda et. al.

ISSN: 2963-6051 (print); 2986-2302 (online)

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

2020; Kusumo *et al.*, 2022; Pratiwi *et al.*, 2023; Rokhati *et al.*, 2021; Winoto *et al.*, 2020). Meskipun penelitian tentang adsorben dari tongkol jagung telah diteliti, belum pernah dilakukan penelitian biosorben tongkol jagung dalam aplikasinya untuk mereduksi kandungan logam pada saluran irigasi pertanian didaerah sekitar TPA Pakusari Jember. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi adsorben tongkol jagung teraktivasi asam untuk menyerap logam Fe di sumber perairan irigasi sawah sekitar TPA Pakusari Jember, serta pengaruh penambahan asam dan waktu aktivasi terhadap daya serap adsorben.

BAHAN DAN METODE

Persiapan Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Kimia Universitas Jember pada bulan Agustus – Oktober 2019. Sampel air diambil di daerah persawahan sekitar TPA Pakusari Jember. Alat dan bahan yang digunakan terdiri dari alat pemotong, blender, ayakan 140 *mesh*, pipet mohr, labu ukur 250 mL, gelas beaker, gelas ukur, *ball pipet*, corong, erlenmeyer dan XRF (*X-Ray Fluorescence*), sampel air parit sawah, tongkol jagung, aquades, kertas saring, aluminium foil dan HNO₃ 68%. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu waktu aktivasi (1 – 3 jam) dengan tiga kali pengulangan.

Pelaksanaan Penelitian

Preparasi sampel

Limbah tongkol jagung dipotong menjadi bagian-bagian yang lebih kecil. Selanjutnya tongkol jagung dicuci hingga bersih untuk menghilangkan materi-materi kasar yang masih menempel. Tongkol jagung kemudian dikeringkan dibawah sinar matahari selama 24 jam untuk mengurangi kadar airnya. Selanjutnya dihaluskan menggunakan blender dan kemudian diayak dengan menggunakan ayakan 140 *mesh*. Serbuk tongkol jagung ditimbang sebanyak 0,825 g untuk seluruh percobaan dengan 3 kali pengulangan.

Aktivator adsorben

HNO₃ konsentrasi 1 M digunakan sebagai aktivator tongkol jagung. Sampel dimasukkan kedalam gelas *beaker* dan kedua jenis larutan asam-basa dipipet kedalam gelas beaker sebanyak 25 mL untuk setiap sampel. Tongkol jagung direndam dengan variasi waktu yaitu 1, 2 dan 3 jam. Setelah itu tongkol jagung dipisahkan dengan cairannya menggunakan kertas saring dan didiamkan hingga mencapai suhu ruangan. Setiap sampel dicuci dengan aquades dan dikeringkan kembali.

Proses kontak dengan sampel air

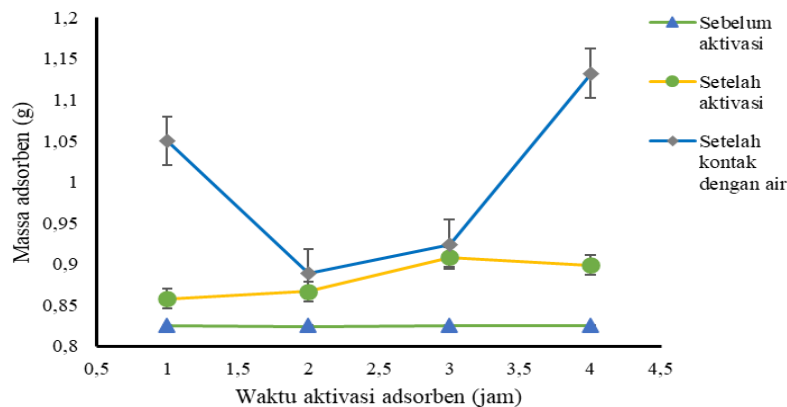
Sampel air sawah dituangkan sebanyak 40 mL pada setiap sampel biosorben. Kemudian ditempatkan pada *stirrer* dan diaduk selama 10 menit dengan kecepatan pengadukan sebesar 360 rpm. Kemudian biosorben dipisahkan dengan sampel air sawah dan dikeringkan. Selanjutnya padatan diukur kandungan logam Fe menggunakan alat XRF sehingga didapatkan kadar Fe yang dapat teradsorp oleh biosorben.

Analisis Data

Pengaruh penambahan aktivator asam dan waktu terhadap penyerapan logam terhadap adsorben dilakukan dengan analisis varian (ANOVA) (Fadilah *et al.*, 2022). Taraf uji signifikansi ditetapkan pada nilai 5%. ANOVA dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel.

HASIL

Hasil analisis massa adsorben dari sebelum aktivasi, setelah aktivasi, dan setelah kontak dengan air sampel sawah irigasi menunjukkan peningkatan massa (Gambar 1). Pengaruh waktu terhadap massa adsorben yaitu semakin lama waktu aktivasi, maka massa adsorben yang dihasilkan juga semakin besar. Kenaikan massa setelah proses kontak menunjukkan adanya molekul-molekul yang terserap oleh adsorben. Kenaikan massa adsorben setelah kontak dengan air selama 1 – 4 jam berturut-turut yaitu 1,05 g; 0,89 g; 0,92 g; 1,13 g. Analisis varian (ANOVA) menunjukkan bahwa waktu berpengaruh signifikan terhadap kenaikan massa adsorben dengan *p-value* <0,05 (Tabel 1).

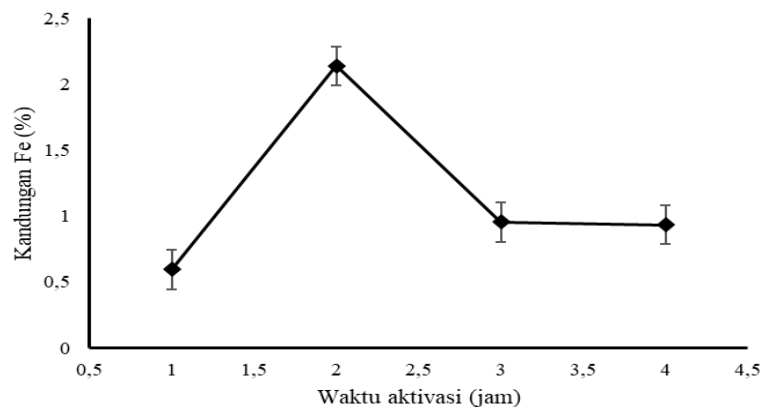


Gambar 1. Pengaruh waktu aktivasi terhadap massa adsorben

Tabel 1. Anova satu arah

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value
Between Groups	7,72009512	3	2,57336504	6,127148	0,00905
Within Groups	5,039927072	12	0,419993923		
Total	12,76002219	15			

Pengujian kandungan logam berat dilakukan terhadap 4 sampel adsorben yang telah dikontakkan dengan sampel air sawah menggunakan XRF (Gambar 2). Hasil menunjukkan bahwa adsorben yang diaktivasi asam nitrat selama dua jam lebih banyak mengandung logam Fe dibandingkan dengan sampel adsorben yang lainnya. Nilai Fe tertinggi yang didapatkan yaitu sebesar 2,14% pada waktu aktivasi dua jam sedangkan nilai terendah yaitu 0,595% pada saat adsorben diaktivasi selama satu jam.



Gambar 2. Pengaruh waktu aktivasi terhadap kandungan Fe pada adsorben

PEMBAHASAN

Pemilihan asam nitrat sebagai aktivator asam anorganik mempunyai daya yang lebih besar untuk memperluas luas permukaan adsorben dibandingkan menggunakan asam organik seperti asam sitrat (Kasturi *et al.*, 2019). Hal tersebut terjadi karena ion H^+ pada asam nitrat lebih kuat untuk memungkinkan terjadinya pembentukan ion baru pada adsorben. Proses aktivasi dengan asam nitrat menyebabkan jumlah sisi aktif pada adsorben menjadi lebih banyak. Penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa sekam padi termodifikasi asam seperti asam sitrat, asam salisilat, asam tartarat, asam oksalat, asam mandelat, asam malat, dan asam nitritoltriasetat berhasil menyerap tembaga dan timbal (Mathew *et al.*, 2016). Tongkol jagung mengandung selulosa tinggi sehingga sangat potensial sebagai adsorben yang kuat untuk adsorpsi ion logam dan juga selulosa mengandung asam karboksilat dan fenolik yang merupakan gugus fungsi polar yang membantu dalam pengikatan logam. Adsorben yang disintesis dari biomassa efektif dalam larutan asam untuk menyerap logam karena mekanisme pertukaran ion. Dengan menggunakan larutan asam encer, sifat adsorpsi dipertahankan dengan baik (Mathew *et al.*, 2016). Adsorben berbiaya rendah seperti tongkol jagung sangat direkomendasikan untuk aplikasi pengolahan air limbah karena dapat diperoleh secara lokal dan bersifat teknis.

Proses aktivasi bertujuan untuk memperluas pori-pori adsorben. Berdasarkan penelitian sebelumnya, waktu aktivasi selama 2 jam menghasilkan daya serap adsorben semakin besar karena pori-porinya semakin banyak dibandingkan dengan aktivasi dibawah 2 jam. Dalam penelitian ini, aktivasi adsorben menggunakan asam nitrat selama 3 & 4 jam menghasilkan daya adsorpsi logam Fe yang menurun dibandingkan dengan waktu aktivasi 2 jam. Hal ini dapat terjadi karena pada waktu aktivasi 3 dan 4 jam dengan waktu kontak 10 menit, adsorben telah berada pada kondisi jenuh sehingga adsorben tidak dapat lagi menyerap ion logam Fe dan terjadi desorpsi. Desorpsi merupakan peristiwa dimana adsorbat terlepas dari adsorben yang menandakan telah terjadinya kesetimbangan pada adsorben (Fajrianti *et al.*, 2016). Desorpsi merupakan peristiwa *reversible* yang menyebabkan ion Fe terlepas kembali ke sampel air. Selain itu, peristiwa lain yang dapat terjadi yaitu perebutan sisi aktif adsorben oleh ion Fe dengan ion-ion lainnya yang terkandung didalam sampel air yang tidak dianalisis dalam penelitian ini. Sampel yang dianalisis mengandung logam Fe melebihi ambang batas yang ditetapkan oleh Menteri Kesehatan yaitu 1 mg/L (Kemenkes RI, 2017). Kadar Fe yang berlebih dapat berpotensi diserap oleh tanaman khususnya padi yang ada di lahan persawahan disekitar TPA Pakusari, Jember. Apabila kandungan logam ini terserap oleh tanaman dapat menyebabkan padi bersifat toksik sehingga beras yang dihasilkan berbahaya jika dikonsumsi. Potensi tersebut meningkat karena air lindi yang berasal dari timbunan sampah TPA Pakusari berada dalam tanah yang tergenang air akibat potensial redoks yang rendah. Kondisi tersebut menyebabkan akar tanaman dapat menyerap Fe lebih banyak. Makanan yang mengandung logam berat seperti besi dapat mengakibatkan penyakit berbahaya seperti kanker apabila dikonsumsi dalam jumlah yang banyak (Onakpa *et al.*, 2018; Rehman *et al.*, 2021).

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mensintesis adsorben dari tongkol jagung dengan aktivasi asam. Semakin lama proses aktivasi dalam asam nitrat maka semakin banyak ion Fe yang diserap dengan waktu optimal aktivasi 2 jam. Adsorben teraktivasi asam mampu menyerap logam karena mekanisme pertukaran ion. Kandungan Fe terbesar yang dapat diserap oleh

adsorben sebesar 2,14%. Keempat sampel memiliki kadar Fe yang melebihi anjuran Kementerian Kesehatan sehingga disarankan untuk melakukan pengolahan air terlebih dahulu sebelum digunakan untuk pengairan sawah. Tongkol jagung dapat menjadi biomassa potensial sebagai adsorben ekonomis dan ramah lingkungan untuk mereduksi kandungan logam pada saluran air disekitar TPA Pakusari Jember.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Teknik Kimia Universitas Jember yang telah memberikan fasilitas secara gratis hingga terealisasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, N., Yusof, N., Lau, W. J., Jaafar, J., & Ismail, A. F. (2019). Recent trends of heavy metal removal from water/wastewater by membrane technologies. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 76, 17–38. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.029>
- Adelaju, S. B., Khan, S., & Patti, A. F. (2021). Arsenic contamination of groundwater and its implications for drinking water quality and human health in under-developed countries and remote communities—a review. In *Applied Sciences* (Vol. 11, Nomor 4). <https://doi.org/10.3390/app11041926>
- Bashir, A., Malik, L. A., Ahad, S., Manzoor, T., Bhat, M. A., Dar, G. N., & Pandith, A. H. (2019). Removal of heavy metal ions from aqueous system by ion-exchange and biosorption methods. *Environmental Chemistry Letters*, 17(2), 729–754. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-00828-y>
- BPS. (2018). *Produksi Padi Menurut Kabupaten/Kota di Jawa Timur Tahun 2007 - 2017 (Ton)*.
- Duan, W., Xu, C., Liu, Q., Xu, J., Weng, Z., Zhang, X., Basnet, T. B., Dahal, M., & Gu, A. (2020). Levels of a mixture of heavy metals in blood and urine and all-cause, cardiovascular disease and cancer mortality: A population-based cohort study. *Environmental Pollution*, 263, 114630. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114630>
- Fadilah, S. N., Khamil, A. I., Muharja, M., Darmayanti, R. F., & Aswie, V. (2022). Enhancement of the quality of onion drying using tray dryer. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*, 5(2), 74–81. <https://doi.org/10.25273/cheesa.v5i2.13968.74-81>
- Fajrianti, H., Oktawian, W., & Wardhana, I. W. (2016). Pengaruh waktu perendaman dalam aktivator NaOH dan debit aliran terhadap penurunan krom total (Cr) dan seng (Zn) pada limbah cair industri elektroplating dengan menggunakan arang aktif dari kulit pisang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(1), 1–9.
- Fathurrahman, M., Taufiq, A., Widiastuti, D., & Hidayat, F. D. F. (2020). Synthesis and characterization of silica gel from corncob ash as adsorbent of Cu (II) metal ion. *Jurnal Kartika Kimia*, 3(2), 89–95. <https://doi.org/10.26874/jkk.v3i2.66>
- Handayani, C. O., Sukarjo, S., & Dewi, T. (2022). Penilaian tingkat cemaran logam berat pada lahan pertanian di hulu sungai Citarum, Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(3), 508–516. <https://doi.org/10.14710/jil.20.3.508-516>
- He, J., Strezov, V., Kumar, R., Weldekidan, H., Jahan, S., Dastjerdi, B. H., Zhou, X., & Kan, T. (2019). Pyrolysis of heavy metal contaminated *Avicennia marina* biomass from phytoremediation: Characterisation of biomass and pyrolysis products. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1235–1245. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.285>

Editor: Siti Herlinda et. al.

ISSN: 2963-6051 (print); 2986-2302 (online)

Penerbit: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI)

- Hiroyuki Konuma. (2018). Status and Outlook of Global Food Security and the Role of Underutilized Food Resources: Sago Palm. In H. Ehara, Y. Toyoda, & D. V. Johnson (Ed.), *Sago Palm: Multiple Contributions to Food Security and Sustainable Livelihoods* (hal. 3–17). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5269-9_17
- Hoseinian, F. S., Rezai, B., Kowsari, E., & Safari, M. (2020). A hybrid neural network/genetic algorithm to predict Zn(II) removal by ion flotation. *Separation Science and Technology*, 55(6), 1197–1206. <https://doi.org/10.1080/01496395.2019.1582543>
- Irfandy, F., Ristianingsih, Y., & Istiani, A. (2021). Study of the activity of activated carbon impregnated with Fe₂O₃ as a biosorbent for methylene blue from wastewater. *Eksergi*, 18(2).
- Kasturi, Saisa, & Sartika, Z. (2019). Pengaruh karbon aktif batubara sub-bituminous diaktivasi menggunakan HNO₃ dan C₆H₈O₇. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia UNPAM*, 3(1), 29–36.
- Kemendes RI. (2017). *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, dan Pemandian Umum*.
http://hukor.kemkes.go.id/uploads/produk_hukum/PMK_No._32_ttg_Standar_Baku_Mutu_Kesehatan_Air_Keperluan_Sanitasi,_Kolam_Renang,_Solus_Per_Aqua_.pdf
- Kusumo, P., Mulyaningsih, S., Zulaidah, A., & C, M. (2022). Pengambilan logam Cd (Cadmium) dengan tongkol jagung sebagai adsorben. *Neo Teknika*, 8(1), 34–41. <https://doi.org/10.37760/neoteknika.v8i1.1908>
- Mathew, B. B., Jaishankar, M., Biju, V. G., & Krishnamurthy Nideghatta Beeregowda. (2016). Role of bioadsorbents in reducing toxic metals. *Journal of Toxicology*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/4369604>
- Meyrita, S, F. S., Najmi, I., Firdus, S, A. R., & Nasir, M. (2023). Kontaminasi logam berat pada air sumur warga akibat air lindi dari tempat pemrosesan akhir (TPA). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(2), 425–433.
- Muharja, M., Fadilah, S. N., Arimbawa, I. M., Hasanah, S., Darmayanti, R. F., Rois, M. F., & Asrofi, M. (2022). Low-cost, sustainable, and high-capacity magnetite–cellulose adsorbent from Ramie stem (*Boehmeria nivea* L.) as oil spill solution. *Chemical Papers*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s11696-022-02423-6>
- Onakpa, M. M., Njan, A. A., & Kalu, O. C. (2018). A review of heavy metal contamination of food crops in Nigeria. *Annals of Global Health*, 84(3), 488–494. <https://doi.org/10.29024/aogh.2314>
- Pratiwi, W., Syarif, T., & Jaya, F. (2023). Pemanfaatan arang tongkol jagung sebagai adsorben logam besi (Fe) dengan variasi aktivator asam. *Journal of Materials Processing and Environment*, 1–6.
- Rehman, A. U., Nazir, S., Irshad, R., Tahir, K., ur Rehman, K., Islam, R. U., & Wahab, Z. (2021). Toxicity of heavy metals in plants and animals and their uptake by magnetic iron oxide nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids*, 321, 114455. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114455>
- Rengga, W. D. P., Harianingsih, Erwanto, A., & Cahyono, B. (2019). Keseimbangan adsorpsi isothermal logam Pb dan Cr pada limbah batik menggunakan adsorben tongkol jagung (*Zea Mays*). *Journal of Chemical Process Engineering*, 4(2), 57–62.
- Rokhati, N., Prasetyaningrum, A., Hamada, N., ‘Aini, Utomo, A. L. C., Kurniawan, H. B., & Nugroho, I. H. (2021). Pemanfaatan tongkol jagung sebagai adsorben limbah logam berat. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 6(2), 89. <https://doi.org/10.31942/inteka.v6i2.5508>

- Saleem, H., Pal, P., Haija, M. A., & Banat, F. (2019). Regeneration and reuse of bio-surfactant to produce colloidal gas aphanes for heavy metal ions removal using single and multistage cascade flotation. *Journal of Cleaner Production*, 217, 493–502. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.216>
- Sun, Y., Zhou, S., Pan, S.-Y., Zhu, S., Yu, Y., & Zheng, H. (2020). Performance evaluation and optimization of flocculation process for removing heavy metal. *Chemical Engineering Journal*, 385, 123911. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123911>
- Ustaoglu, F., Taş, B., Tepe, Y., & Topaldemir, H. (2021). Comprehensive assessment of water quality and associated health risk by using physicochemical quality indices and multivariate analysis in Terme River, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(44), 62736–62754. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15135-3>
- Wang, Q., Yu, J., Chen, X., Du, D., Wu, R., Qu, G., Guo, X., Jia, H., & Wang, T. (2019). Non-thermal plasma oxidation of Cu(II)-EDTA and simultaneous Cu(II) elimination by chemical precipitation. *Journal of Environmental Management*, 248, 109237. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.07.008>
- Winoto, E., Hatina, S., & Sobirin. (2020). Pemanfaatan karbon aktif dari serbuk kayu merbau dan tongkol jagung sebagai adsorben untuk pengolahan limbah cair Aas. *Jurnal Redoks*, 5(1), 32–46. <https://doi.org/10.31851/redoks.v5i1.4027>
- Wu, T., Liu, C., Kong, B., Sun, J., Gong, Y., Liu, K., Xie, J., Pei, A., & Cui, Y. (2019). Amidoxime-functionalized macroporous carbon self-refreshed electrode materials for rapid and high-capacity removal of heavy metal from water. *ACS Central Science*, 5(4), 719–726. <https://doi.org/10.1021/acscentsci.9b00130>
- Wulandari, C., Sofia, F. H., & Udyani, K. (2020). Pengolahan limbah cair pembuatan sarung tenun menggunakan biosorben tongkol jagung teraktivasi HNO₃. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN)*, 3, 1–6.
- Yang, A.-M., Lo, K., Zheng, T.-Z., Yang, J.-L., Bai, Y.-N., Feng, Y.-Q., Cheng, N., & Liu, S.-M. (2020). Environmental heavy metals and cardiovascular diseases: Status and future direction. *Chronic Diseases and Translational Medicine*, 6(4), 251–259. <https://doi.org/10.1016/j.cdtm.2020.02.005>
- Zhang, Q., Ye, X., Li, H., Chen, D., Xiao, W., Zhao, S., Xiong, R., & Li, J. (2020). Cumulative effects of pyrolysis temperature and process on properties, chemical speciation, and environmental risks of heavy metals in magnetic biochar derived from coagulation-flocculation sludge of swine wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(6), 104472. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104472>
- Zhao, C., Ge, R., Zhen, Y., Wang, Y., Li, Z., Shi, Y., & Chen, X. (2019). A hybrid process of coprecipitation-induced crystallization-capacitive deionization-ion exchange process for heavy metals removal from hypersaline ternary precursor wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 378, 122136. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122136>