



dapat diakses melalui
<https://ejournal.unsirat.ac.id/index.php/jmuo/index>



Efisiensi Adsorpsi *Ciprofloxacin* oleh *Biochar* dari Tongkol Jagung (*Zea mays L*) pada Variasi Waktu Kontak

Alexsandro Nicolay Pontoan^{a*}, Berton Maruli Siahaan^b

^aJurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Sam Ratulangi, Indonesia

^bJurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sam Ratulangi, Indonesia

KATA KUNCI

Tongkol Jagung
Biochar
 Adsorpsi
Ciprofloxacin (CIP)

ABSTRAK

Ciprofloxacin (CIP) termasuk golongan antibiotik yang berperan penting dalam terapi infeksi bakteri dan telah digunakan secara luas dalam bidang medis. Namun, penggunaan antibiotik yang masif pada manusia dan hewan menghasilkan residu yang diekskresikan melalui urin dan feses, sehingga masuk ke lingkungan melalui sistem pembuangan limbah yang tidak sepenuhnya mampu mengeliminasi senyawa aktif tersebut. CIP, yang sulit terdegradasi, terdeteksi dalam konsentrasi tinggi di perairan. Berbagai metode penghilangan CIP dari air limbah telah diusulkan, namun mahal dan tidak efisien. *Biochar* dari tongkol jagung menjadi alternatif adsorben ekonomis yang efektif untuk menghilangkan CIP dari air limbah, dengan waktu kontak sekitar 50 menit.

KEY WORDS

Corn cob
Biochar
 Adsorption
Ciprofloxacin (CIP)

ABSTRACT

Ciprofloxacin (CIP) belongs to the class of antibiotics that play a vital role in the treatment of bacterial infections and has been widely used in the medical field. However, the massive use of antibiotics in humans and animals results in residues excreted through urine and feces, which enter the environment via wastewater systems that are not fully capable of removing these active compounds. CIP, which is difficult to degrade, has been detected in high concentrations in aquatic environments. Various methods for removing CIP from wastewater have been proposed, but they are often expensive and inefficient. *Biochar* derived from corn cobs offers a cost-effective alternative adsorbent for removing CIP from wastewater, with an optimal contact time of approximately 50 minutes.

TERSEDIA ONLINE

01 Agustus 2025

Pendahuluan

Penemuan antibiotik menjadi suatu sejarah dalam bidang kesehatan yang penting dalam kehidupan umat manusia. Penggunaan antibiotik ini terbukti membantu mengurangi risiko kematian yang diakibatkan oleh infeksi bakteri. Selain pada manusia, antibiotik juga digunakan sebagai obat yang diberikan kepada

hewan. Antibiotik sering digunakan untuk meningkatkan laju pertumbuhan berbagai jenis hewan ternak, sehingga penggunaan antibiotik dapat dikatakan cukup masif baik terhadap hewan maupun terhadap manusia. Antibiotik sering terdeteksi di saluran air rumah sakit, klinik, peternakan, industri farmasi dan berbagai unit pengguna obat-obatan, maraknya penggunaan antibiotik ini tanpa disadari telah banyak berdampak terhadap pencemaran lingkungan (Harrabi *et al.*, 2018). Antibiotik dan metabolitnya secara terus menerus dibuang ke

lingkungan alam. Oleh karena itu, residu antibiotik secara tidak langsung mencemari tanah dan sumber air (Mutyar dan Mittal, 2014). Salah satu dampak dari paparan antibiotik ini adalah lingkungan perairan (Kumar *et al.*, 2019).

Paparan antibiotik seperti ciprofloxacin di lingkungan perairan dapat mengganggu keseimbangan ekosistem, termasuk menghambat pertumbuhan mikroorganisme alami, menimbulkan toksisitas terhadap organisme akuatik seperti alga dan ikan, serta berkontribusi terhadap perkembangan resistensi antibiotik pada mikroba lingkungan (Kümmerer, 2009; Rizzo *et al.*, 2013).

Ciprofloxacin (CIP) merupakan antibiotik golongan *fluoroquinolone* yang efektif dalam pengobatan penyakit yang disebabkan oleh bakteri basil gram negatif, beberapa bakteri gram positif, dan bakteri enterobacteriaceae. CIP telah terdeteksi di lingkungan perairan dalam konsentrasi tinggi

*Corresponding author:

Email address: alexsandropontoan@gmail.com

Published by FMIPA UNSRAT (2025)

dibandingkan dengan antibiotik lainnya (Ashfaq et al., 2017; Guerra et al., 2014). Karena CIP sangat stabil dan sulit didegradasi karena adanya ion fluor dalam struktur CIP (Wu et al., 2013), penghilangan CIP dari air limbah merupakan tantangan besar (Yu et al., 2016).

Berbagai metode telah diusulkan untuk menghilangkan CIP dari air tercemar, termasuk pemisahan membran (Sun et al., 2011), ozonasi (De Witte et al., 2010), fotodegradasi (Shi et al., 2013), dan biodegradasi (Girardi et al., 2011). Namun, beberapa metode tersebut dilaporkan mahal, kurang efisien, dan sulit diterapkan pada skala besar (Gadipelly et al., 2014; Rivera-Utrilla et al., 2013). Metode yang lebih baru seperti iradiasi berenergi tinggi (Trojanowicz et al., 2021) dan proses elektro-Fenton (Yao et al., 2021) menunjukkan potensi, tetapi masih memerlukan evaluasi lebih lanjut terkait efisiensi biaya, dampak lingkungan, dan penerapannya di lapangan.

Teknik *adsorpsi* menggunakan *biochar* terbukti sangat efisien untuk menghilangkan senyawa organik dari air limbah (Zhang et al., 2015). Oleh karena itu, pengembangan adsorben yang efektif dan berbiaya rendah menjadi sangat penting. Baru-baru ini, limbah pertanian dan industri yang melimpah dan berbiaya rendah telah banyak dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk produksi adsorben dalam pengolahan air, sehingga semakin mendapat pengakuan luas di bidang lingkungan (Lawal et al., 2019; Hamadeen et al., 2021; Patel et al., 2021).

Biochar merupakan produk padat dari proses pirolisis atau pemanasan biomassa dalam kondisi oksigen terbatas (Haryanto et al., 2021; Hidayat et al., 2017). *Biochar* dapat dibuat dengan memanfaatkan residu biomassa pertanian salah satunya tongkol jagung (Yuananto & Utomo, 2018). Material *biochar* telah menarik perhatian peneliti sebagai adsorben baru yang ekonomis. *Biochar* adalah material yang kaya akan karbon dan dipirolisis dalam wadah tertutup di bawah kondisi anaerobik. Karena sifat-sifat utamanya yaitu luas permukaan yang tinggi dan kapasitas tukar kation, *biochar* dapat digunakan untuk perbaikan tanah, peningkatan kesuburan, dan penyerapan karbon. *Biochar* berasal dari produk samping pertanian dan kehutanan yang berpotensi menggantikan karbon aktif sebagai adsorben ekonomis (Setiawan et al., 2020).

Tongkol jagung (*Zea mays L*) merupakan produk samping dari jagung yang jarang dimanfaatkan. Menurut Wang et al., (2011), tongkol jagung mengandung 40-44% selulosa, 31-33% hemiselulosa, 16-18% lignin, dan 3-5% abu. Kadar selulosa yang tinggi ini membuat tongkol jagung berpotensi menjadi salah satu sumber adsorben (Rokhati et al., 2021).

Material dan Metode

Tongkol jagung (*Zea mays L*). Bahan lain yang digunakan adalah *Aquades*, Kertas Saring *Whatmann* no.42, dan Ciprofloxacin

Preparasi dan Karbonisasi *Biochar* Tongkol Jagung (*Zea mays L*)

Preparasi sampel mengikuti metode Huda et al., (2020) dan Iskandar (2012) yang dimodifikasi. Pertama, tongkol jagung di hancurkan menjadi ukuran 4-5 cm dengan menggunakan palu, lalu dicuci dan dikeringkan di oven selama 2 hari dengan suhu 100°C untuk menghilangkan kandungan airnya. Kemudian, tongkol jagung tersebut di giling menggunakan *herb grinder*, lalu diayak menggunakan ayakan 200 mesh hingga menjadi serbuk yang halus. Selanjutnya, serbuk tongkol jagung hasil dari ditimbang sebanyak 45 gram pada cawan *porcelaine*. Kemudian, serbuk tongkol jagung tersebut di karbonisasi menggunakan tanur (*muffle furnace*) dengan suhu 200°C selama 3 jam. Setelah proses karbonisasi tongkol jagung dalam tanur selesai dan material padat yang terbentuk telah didinginkan, residu padat tersebut disebut sebagai *biochar*. *Biochar* kemudian diletakkan dalam desikator selama 30 menit untuk mencegah penyerapan kelembapan dari udara.

Pembuatan Kurva Standar

Sebanyak 0,05 g serbuk *ciprofloxacin* (CIP) ditimbang dan dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL dan ditambahkan *aquades* hingga tanda batas dan digojok hingga homogen, sehingga diperoleh larutan induk CIP dengan konsentrasi 200 ppm. Selanjutnya dibuat larutan standar CIP 2; 3; 4 ppm dalam labu ukur 10 mL dan diukur absorbansinya menggunakan Spektrofotometer UV-Vis dengan rentang panjang gelombang 200-400 nm. Hasil absorbansi yang diperoleh digunakan untuk pembuatan kurva kalibrasi.

Pengujian Adsorpsi *Ciprofloxacin* (CIP)

Pengujian adsorpsi CIP menggunakan *biochar* tongkol jagung mengikuti prosedur Sadia et al., 2024 yang dimodifikasi. Sebanyak 0,04 gram *biochar* ditambahkan ke dalam gelas beaker yang telah berisi 15 mL larutan CIP 25 ppm. Campuran diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, dan 100 menit untuk memastikan homogenitas larutan dan memaksimalkan kontak antara adsorben (*Biochar*) dan adsorbat (CIP) selama proses adsorpsi.

Selanjutnya campuran disaring menggunakan kertas saring dan diambil filtratnya untuk diukur absorbansinya dengan spektrofotometri UV-vis pada rentang panjang gelombang 200-400 nm. Pengukuran absorbansi dilakukan sebanyak dua kali pengulangan. Perhitungan % adsorpsi dapat dirumuskan dengan persamaan berikut:

$$\text{Perhitungan \% penurunan} = \frac{C_0 - C_t}{C_0}$$

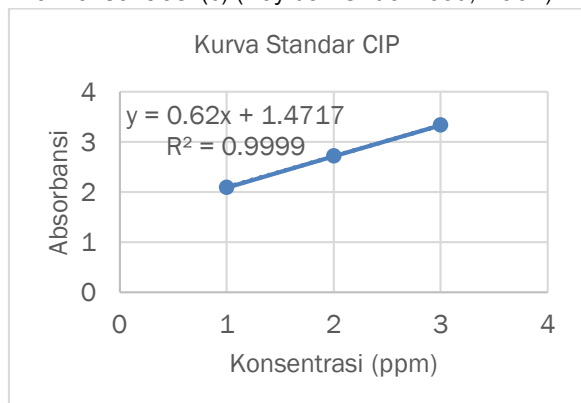
Keterangan :

C_0 = Konsentrasi Awal

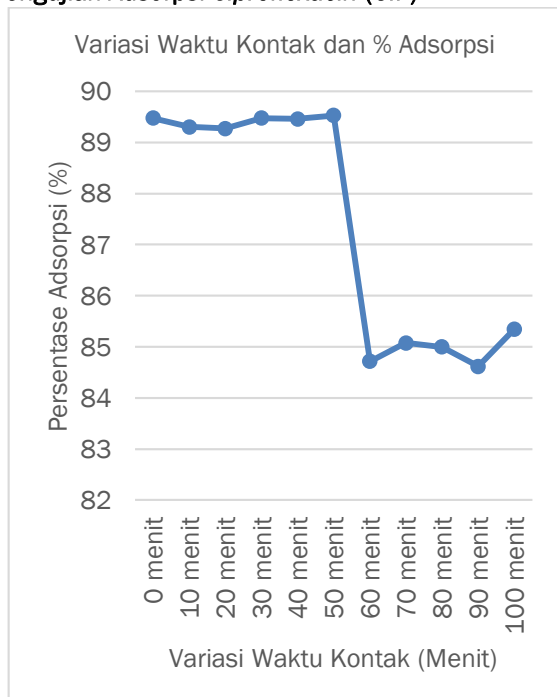
C_t = Konsentrasi Akhir

Hasil dan Pembahasan Pembuatan Kurva Standar

Larutan induk CIP 200 ppm dibuat dengan cara memasukkan 0,05 g serbuk CIP ke dalam labu ukur 250 mL dan ditambahkan akuades hingga tanda batas dan digojog hingga homogen. Larutan induk CIP 200 ppm selanjutnya diencerkan menjadi 10 ppm yang kemudian dipakai untuk membuat larutan standar CIP 2; 3; 4 ppm. Selanjutnya dilakukan pengukuran absorbansi pada masing-masing larutan standar dan dibuat kurva kalibrasi standar dan ditentukan persamaan garis lurus. Dari hasil pembacaan terhadap hubungan antara absorbansi dan konsentrasi dalam persamaan garis $y = 0.62x + 1.4717$ (Gambar 1). Nilai koefisien relasi (R^2) yang diperoleh adalah sebesar 0,9999. Harga koefisien korelasi (R^2) yang mendekati (0,999) atau sama dengan 1 dari kurva kalibrasi menunjukkan korelasi yang kuat antara konsentrasi dan absorbansi dan sesuai dengan hukum Lambert – Beer yaitu $A = abc$, dimana nilai absorbansi (A) berbanding lurus dengan nilai konsentrasi (c) (Day dan Underwood, 2002).



Pengujian Adsorpsi Ciprofloxacin (CIP)



Gambar diatas memperlihatkan angka pada sumbu X merupakan variasi waktu kontak terhadap *ciprofloxacin* dan sumbu Y menunjukkan penurunan adsorpsi *ciprofloxacin* terhadap waktu kontak. Data menunjukkan bahwa persentase adsorpsi cenderung stabil pada awal waktu adsorpsi (0–50 menit) dengan nilai di sekitar 89%. Namun, setelah 60 menit, terjadi penurunan signifikan pada persentase adsorpsi hingga mencapai titik terendah di sekitar 84% pada menit ke-90. Kemudian, persentase adsorpsi kembali sedikit meningkat hingga 85% pada menit ke-100.

Pada awal waktu adsorpsi (0–50 menit), efisiensi adsorpsi *ciprofloxacin* pada *biochar* relatif stabil, menunjukkan bahwa molekul *ciprofloxacin* secara aktif terikat pada permukaan *biochar*. Hal ini disebabkan oleh ketersediaan permukaan aktif *biochar* yang masih optimal untuk berinteraksi dengan *ciprofloxacin* (Ding et al., 2020). Namun, setelah waktu adsorpsi mencapai 60 menit, terjadi penurunan signifikan dalam persentase adsorpsi. Penurunan ini kemungkinan besar disebabkan oleh saturasi situs aktif pada permukaan *biochar*, di mana molekul *ciprofloxacin* yang telah teradsorpsi menciptakan hambatan sterik yang mengurangi peluang molekul lainnya untuk teradsorpsi (Li et al., 2020). Menariknya, pada menit ke-100 terjadi peningkatan kecil dalam efisiensi adsorpsi, yang mungkin diakibatkan oleh difusi molekul *ciprofloxacin* ke dalam pori-pori *biochar* yang lebih kecil dan memerlukan waktu lebih lama untuk mencapai kesetimbangan. Berdasarkan data yang diperoleh, menunjukkan bahwa waktu adsorpsi optimal untuk adsorpsi *ciprofloxacin* menggunakan *biochar* dari tongkol jagung adalah sekitar 50 menit, karena setelah waktu tersebut efisiensi adsorpsi cenderung menurun akibat saturasi permukaan aktif *biochar*.

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa waktu adsorpsi optimal untuk *ciprofloxacin* pada *biochar* dari tongkol jagung adalah sekitar 50 menit, di mana efisiensi adsorpsi stabil sebelum mengalami penurunan signifikan akibat saturasi situs aktif pada permukaan *biochar*. Setelah 60 menit, meskipun terjadi penurunan, sedikit peningkatan efisiensi adsorpsi terlihat pada menit ke-100, yang menunjukkan adanya difusi molekul ke dalam pori-pori *biochar*. Untuk mempertahankan efisiensi adsorpsi dalam waktu yang lebih lama, disarankan dilakukan modifikasi permukaan *biochar*, seperti aktivasi kimia atau peningkatan luas permukaan melalui perlakuan termal, serta pengendalian pH dan konsentrasi awal *ciprofloxacin* agar saturasi tidak tercapai terlalu cepat.

Daftar Pustaka

- Ashfaq, M., Khan, K.N., Rehman, M.S.U., Mustafa, G., Nazar, M.F., Sun, Q., Iqbal, J., Mulla, S. I. & Yu, C. P. (2017). Ecological risk assessment of pharmaceuticals in the receiving environment of

- pharmaceutical wastewater in Pakistan. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 136, 31–39.
- Day, R. A., & Underwood, A. L. 2002. Analisis Kimia Kuantitatif Edisi Keenam. Erlangga, Jakarta.
- De Witte, B., Van Langenhove, H., Demeestere, K., Saerens, K., De Wispelaere, P. & Dewulf, J. (2010). Ciprofloxacin ozonation in hospital wastewater treatment plant effluent: effect of pH and H₂O₂. *Chemosphere*. 78, 1142–1147.
- Ding, D., Liang, Z., Fuxing, K., Yang, S., Chen, R., Cai, T., Duan, X. & Wang, S. (2020). Synergistic Adsorption and Oxidation of Ciprofloxacin by Biochar Derived from Metal-Enriched Phytoremediation Plants: Experimental and Computational Insights. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 12(48), 53788 – 53798.
- Gadipelly, C., González, A., Yadav, G.D., Ortiz, I., Ibáñez, R., Rathod, V. K., & Marathe, K.V. (2014). Pharmaceutical industry wastewater: review of the technologies for water treatment and reuse. *Ind. Eng. Chem. Res.* 53, 11571–11592.
- Girardi, C., Greve, J., Lamshöft, M., Fetzer, I., Miltner, A., Schäffer, A., & Kästner, M., (2011). Biodegradation of ciprofloxacin in water and soil and its effects on the microbial communities. *J. Hazard Mater.* 198, 22–30.
- Guerra, P., Kim, M., Shah, A., Alaei, M., & Smyth, S. (2014). Occurrence and fate of antibiotic, analgesic/anti-inflammatory, and antifungal compounds in five wastewater treatment processes. *Sci. Total Environ.* 473, 235–243.
- Hamadeen, H. M., Elkhatib, E. A., Badawy, M. E. & Abdelgaleil, S. A., (2021b). Green low cost nanomaterial produced from *Moringa oleifera* seed waste for enhanced removal of chlorpyrifos from wastewater: mechanism and sorption studies. *J. Environ. Chem. Eng.* 9, 105376.
- Hamadeen, H. M., Elkhatib, E.A., Badawy, M. E. & Abdelgaleil, S.A., (2021a). Novel low cost nanoparticles for enhanced removal of chlorpyrifos from wastewater: sorption kinetics, and mechanistic studies. *Arab. J. Chem.* 14, 102981.
- Harrabi, M., Giustina, S., Aloulou, F., Rodríguez-Mozaz, S., Barcelo, D., & Elleuch, B. (2018). Analysis of Multiclass Antibiotic Residues in Urban Wastewater in Tunisia. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 10, 163–170.
- Haryanto, A., Hidayat, W., Hasanudin, U., Iryani, D. A., Kim, S., Lee, S., & Yoo, J. (2021). Valorization of Indonesian Wood Wastes through Pyrolysis: A Review. *Energies*. 14(5), 1407
- Hidayat, W., Qi, Y., Jang, J. H., Febrianto, F., Lee, S.-H., Chae, H. M., and Kim, N. H. (2017). Carbonization Characteristics of Juvenile Woods from Some Tropical Trees Planted in Indonesia. *Journal Faculty of Agriculture Kyushu University*. 62(1), 145-152.
- Huda, S., Ratnani, D. R., dan Kurniasari, L. (2020). Karakterisasi Karbon Aktif Dari Bambu Ori (*Bambusa Arundinacea*) Yang di Aktivasi Menggunakan Asam Klorida (HCl). *Inovasi Teknik Kimia*. 5(1), 22-27.
- Iskandar, T. 2012. Identifikasi Nilai Kalor Biochar dari Tongkol Jagung dan Sekam Padi Pada Proses Pirolisis. *Jurnal Teknik Kimia*. 7(1), 32-35
- Kumar, M., Shweta, J., Kushneet, K., Palle, S., Dileep, K., Pawan, K., & Pratyosh, S. (2019). Antibiotics Bioremediation: Perspectives on its Ecotoxicity and Resistance. *Environment International Journal*. 124(23), 448–461.
- Kummerer, K. 2013. Antibiotics in the aquatic environment - A review - Part I. *Chemosphere*. 75: 417-434.
- Lawal, I.A., Klink, M., & Ndungu, P. (2019). Deep eutectic solvent as an efficient modifier of low-cost adsorbent for the removal of pharmaceuticals and dye. *Environ. Res.* 179, 108837.
- Li, J., Yu, G., Pan, L., Li, C., You, F. & Wang, Y. (2020). Ciprofloxacin adsorption by biochar derived co-pyrolysis of sewage sludge and bamboo waste. *Environmental Science and Pollution Research*. 27, 22806-22817.
- Liu, H., Liu, Y., Li, X., Zheng, X., Feng, X. & Yu, A. (2022). Adsorption and Fenton-like Degradation of Ciprofloxacin Using Corn-cob Biochar-Based Magnetic Iron-Copper Bimetallic Nanomaterial in Aqueous Solutions. 12(4), 579.
- Mutiyar, P. K., & Mittal, A. K. (2014). Risk Assessment of Antibiotic Residues in Different Water Matrices in India: Key Issues and Challenges. *Environmental science and pollution research international*. 21(12), 7723– 7736.
- Patel, M., Kumar, R., Pittman, Jr., C. U. & Mohan, D. (2021). Ciprofloxacin and acetaminophen sorption onto banana peel biochars: environmental and process parameter influences. *Environ. Res.* 201, 111218.
- Rizzo, L., Manaia, C., Merlin, C., Schwartz, M. T., Dagot, C., Ploy, M. C., Michael, I., Kassinos-Fatta, D. 2013. Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic resistant bacteria and genes spread into the environment: a review. *Science of the Total Environment*. 447: 345-360.
- Sadia, M., Ahmad, I., Aziz, S., Khan, R., Zahoor, M., Ullah, E. & Ali, A. E. (2024). Carbon-Supported Nanocomposite Synthesis, Characterization, and Application as an Efficient Adsorbent for Ciprofloxacin and Amoxicillin. *ACS Omega*. 9, 6815–6827.
- Setiawan, H., Anindi, F. U., Pulungan, D. Y., Akbar, N. Noviyanti, & R. A. Solihudin. (2020). Biokomposit Hidroksiapatit dari Cangkang Telur Ayam dan Biochar dari Sekam Padi Sebagai Adsorben Ion Tembaga dan Metilen Biru. *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*. 29(1), 1-14.
- Shi, W., Yan, Y., & Yan, X. (2013). Microwave-assisted synthesis of nano-scale BiVO₄ photocatalysts and their excellent visible-light-driven

- photocatalytic activity for the degradation of ciprofloxacin. *Chem. Eng. J.* 215, 740–746.
- Sun, S. P., Hatton, T. A., & Chung, T. S. (2011). Hyperbranched polyethyleneimine induced cross-linking of polyamideimide nanofiltration hollow fiber membranes for effective removal of ciprofloxacin. *Environ. Sci. Technol.* 45, 4003–4009.
- Trojanowicz, M., Czajka, A., & Capodaglio, A. (2017). Can radiation chemistry supply a highly efficient AO(R) P process for organics removal from drinking and waste water (a review). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24, 20187–20208.
- Utrilla, J., Polo, M., García, M. Á., Joya, G. & Pérez, R. (2013). Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water. A review. *Chemosphere.* 93, 1268–1287.
- Wu, S., Zhao, X., Li, Y., Zhao, C., Du, Q., Sun, J., Wang, Y., Peng, X., Xia, Y., & Wang, Z. (2013). Adsorption of ciprofloxacin onto biocomposite fibers of graphene oxide/ calcium alginate. *Chem. Eng. J.* 230, 389–395.
- Yao, B., Luo, Z., Yang, J., Zhi, D., & Zhou, Y. (2021). FeII Fe-III layered double hydroxide modified carbon felt cathode for removal of ciprofloxacin in electro-Fenton process. *Environ. Res.* 197, 111144.
- Yu, F., Li, Y., Han, S., & Ma, J. (2016). Adsorptive removal of antibiotics from aqueous solution using carbon materials. *Chemosphere.* 153, 365–385.
- Yuananto, H., & Utomo, H. W. (2018). Pengaruh Aplikasi Biochar Tongkol Jagung Diperkaya Asam Nitrat Terhadap Kadar C-Organik, Nitrogen, dan Pertumbuhan Tanaman Jagung Pada Berbagai Tingkat Kemasaman Tanah. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan.* 5(1), 655-662.
- Zhang, Z., Luo, X., Liu, Y., Zhou, P., Ma, G., Lei, Z., & Lei, L. (2015). A low cost and highly efficient adsorbent (activated carbon) prepared from waste potato residue. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 49, 206–211..