

PENGARUH UKURAN PARTIKEL ADSORBEN HASIL PIROLISIS LIMBAH BIOMASSA SERBUK GERGAJI BATANG POHON KELAPA TERHADAP ADSORPSI LOGAM BESI (FE) & TIMBAL (PB) PADA AIR

Andi Artiningsih¹, Syarwan Hamid², Rosita³, Sulfiyanti⁴

andi.artiningsih@umi.ac.id¹, syarwanhamid46@umi.ac.id², rositahamzah12@gmail.com³,
ssulfiyanti2@gmail.com⁴

Universitas Muslim Indonesia

ABSTRAK

Air merupakan kebutuhan dasar makhluk hidup, namun kualitasnya terus menurun akibat pencemaran dan sanitasi yang buruk. Pencemaran air oleh limbah dan kontaminasi tinja dapat menyebabkan berbagai penyakit, seperti diare, disentri dan kolera. Oleh karena itu, pemantauan kualitas air sangat penting untuk menjaga kesehatan masyarakat. Salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah adsorpsi menggunakan bioadsorben dari hasil pirolisis serbuk gergaji batang pohon kelapa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran partikel bioadsorben terhadap kemampuan adsorpsi logam Fe dan Pb pada limbah cair. Penelitian dilakukan menggunakan bioadsorben dengan variasi ukuran partikel 70, 100, 120, 140 dan 200 mesh. Proses adsorpsi dilakukan terhadap 50 mL limbah cair menggunakan 0,5 g adsorben untuk Fe selama 150 menit dan 1 g adsorben untuk Pb selama 90 menit. Konsentrasi logam sebelum dan sesudah adsorpsi dianalisis menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran partikel adsorben, semakin tinggi kemampuan adsorpsinya. Ukuran partikel 200 mesh memberikan hasil terbaik dengan menurunkan konsentrasi Fe dari 2,5849 menjadi 0,0473 mg/L (efisiensi 98,2%) dan Pb dari 3,4260 menjadi 0,0178 mg/L (efisiensi 99,5%). Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa variasi ukuran partikel berpengaruh terhadap efisiensi adsorpsi logam Fe dan Pb, dengan ukuran partikel 200 mesh memberikan hasil terbaik di antara variasi ukuran partikel yang diuji. Bioadsorben hasil pirolisis serbuk gergaji batang pohon kelapa berpotensi menjadi adsorben alternatif yang efektif, ramah lingkungan dan ekonomis untuk pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat.

Kata Kunci: Bioadsorben, Adsorpsi, Ukuran Partikel, Limbah Cair.

ABSTRACT

Water is a basic necessity for all living organisms; however, its quality continues to decline due to pollution and poor sanitation. Water pollution caused by wastewater and fecal contamination can lead to various diseases, such as diarrhea, dysentery, and cholera. Therefore, monitoring water quality is essential to protect public health. One alternative method for treating contaminated water is adsorption using bioadsorbents produced through the pyrolysis of coconut trunk sawdust. This study aimed to determine the effect of bioadsorbent particle size variation on the adsorption capacity of iron (Fe) and lead (Pb) in wastewater. The bioadsorbent was prepared in five particle sizes: 70, 100, 120, 140, and 200 mesh. The adsorption process was carried out using 0.5 g of adsorbent for Fe with a contact time of 150 minutes and 1 g of adsorbent for Pb with a contact time of 90 minutes in 50 mL of wastewater. Metal concentrations before and after adsorption were analyzed using an Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). The results showed that smaller particle sizes resulted in higher adsorption capacities. The 200-mesh bioadsorbent exhibited the best performance, reducing the Fe concentration from 2.5849 to 0.0473 mg/L (98.2% removal efficiency) and the Pb concentration from 3.4260 to 0.0178 mg/L (99.5% removal efficiency). The results of this study indicate that particle size variation affects the adsorption efficiency of Fe and Pb, with the 200-mesh particle size providing the best performance among the particle sizes tested. Furthermore, the bioadsorbent produced from the pyrolysis of coconut trunk sawdust has the potential to serve as an effective, environmentally friendly, and cost-effective alternative adsorbent for the treatment of heavy metal-contaminated wastewater.

Keywords: Bioadsorbent, Adsorption, Particle Size, Wastewater.

PENDAHULUAN

Air merupakan senyawa yang tersusun atas dua atom hidrogen dan satu atom oksigen yang berikatan kovalen. Sebagai kebutuhan dasar makhluk hidup, kualitas air menjadi perhatian global akibat pencemaran dan sanitasi yang buruk. Pembuangan limbah cair atau buang air besar sembarangan dapat mencemari air tanah dan air permukaan sehingga menurunkan kualitasnya. Menurut World Health Organization (WHO), sekitar 2 miliar orang masih mengonsumsi air yang terkontaminasi tinja. Kondisi ini dapat menyebabkan penyakit seperti diare, disentri dan kolera. Air minum yang tercemar mikroorganisme diperkirakan mengakibatkan sekitar 485.000 kematian akibat diare setiap tahun (Revansyah dkk., 2022).

Besi (Fe) merupakan unsur penting bagi organisme hidup karena berperan dalam berbagai aktivitas biologis, seperti mengangkut oksigen dan elektron melalui senyawa kompleks porfirin pada hemoglobin, mioglobin dan sitokrom. Dalam air, Fe umumnya terdapat dalam bentuk Fe (II) dan Fe (III) yang dapat saling bertransformasi. Namun, keberadaan Fe dalam air minum dapat menimbulkan rasa pahit serta membentuk endapan akibat oksidasi, di mana air yang awalnya tampak jernih dapat berubah warna setelah terpapar udara (Sari dkk, 2019).

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang memiliki afinitas yang sangat tinggi terhadap unsur suatu belerang sehingga dapat merusak ikatan pada suatu enzim. Karena sifat toksiknya, timbal (Pb) digolongkan sebagai bahan pencemar yang berbahaya. Upaya yang dapat dilakukan untuk menurunkan kadar timbal dalam air adalah melalui suatu proses adsorpsi. Metode tersebut banyak dipilih karena sifatnya yang relatif sederhana, efisien, serta dapat memungkinkan untuk penggunaan adsorben berbahan alami yang berasal dari limbah biomassa (Widayatno dkk, 2017).

Logam besi (Fe) dan Timbal (Pb) merupakan logam yang sering ditemukan sebagai pencemar pada air limbah sehingga perlu dihilangkan sebelum dibuang ke lingkungan. Salah satu metode yang efektif untuk menurunkan konsentrasi kedua logam tersebut adalah adsorpsi, yaitu proses penyerapan ion logam pada permukaan adsorben. Pada proses ini, ion Pb^{2+} dan Fe^{3+} berikatan dengan gugus aktif pada adsorben melalui mekanisme interaksi fisik maupun kimia. Keberhasilan adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti pH larutan, waktu kontak, dan kapasitas adsorben. Semakin sesuai kondisi adsorpsi, semakin tinggi kemampuan adsorben dalam mengikat ion Pb dan Fe sehingga konsentrasi logam di dalam larutan dapat berkurang secara signifikan (Busroni dkk., 2023)

Penelitian yang dilakukan oleh Efiyanti dkk., (2022), menggunakan arang hasil pirolisis bambu andong yang dipirolisis dengan menghasilkan adsorben, dengan variasi ukuran partikel 60 dan 100 mesh, menyatakan bahwa peningkatan daya adsorpsi ini disebabkan oleh ukuran partikel yang lebih kecil sehingga luas permukaan meningkat dan interaksi antara adsorben dan adsorbat menjadi lebih efektif. Dengan demikian, karbon tersulfonasi dari bambu andong, terutama berukuran 100 mesh, memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai adsorben dan katalis hijau terbarukan dalam berbagai aplikasi lingkungan maupun industri kimia.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Fitri dkk., (2021), menggunakan tanah gambut sebagai adsorben dengan variasi ukuran mesh 60, 80 dan 100, menunjukkan bahwa ukuran partikel 100 mesh memberikan hasil terbaik dengan efisiensi penyisihan zat organik, membuktikan bahwa semakin kecil ukuran partikel adsorben, maka semakin besar luas permukaan aktif dan jumlah pori yang tersedia, sehingga proses penyerapan zat pencemar

berlangsung lebih efektif.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Syarif dkk., (2024), menggunakan arang hasil pirolisis serbuk gergaji batang kelapa sebagai bioadsorben alami dalam proses pemurnian Virgin Coconut Oil (VCO) dengan variasi ukuran partikel 50 dan 100 mesh, menunjukkan bahwa ukuran partikel lebih halus (100 mesh) menghasilkan tingkat kejernihan terbaik karena luas permukaan aktif yang lebih besar memungkinkan proses penyerapan kotoran berlangsung lebih efektif. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada suhu pirolisis atau jenis aktivator, sedangkan pengaruh ukuran partikel terhadap efisiensi adsorpsi masih belum banyak yang mengkaji. Oleh karena itu, penelitian ini menghadirkan kebaruan melalui penggunaan variasi ukuran partikel bioadsorben dari serbuk gergaji batang kelapa untuk menurunkan kadar logam berat (Fe dan Pb) pada limbah cair, sekaligus mendukung pemanfaatan limbah biomassa secara ramah lingkungan dan bernilai ekonomi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan Laboratium Riset dan Proses Jurusan Teknik Kimia, FTI UMI, untuk proses penyerapan logam Besi dan Timbal. Pengujian kadar logam Besi dan Timbal pada sampel dilakukan di Laboratorium BBIHP Makassar. Penelitian ini direncanakan selama 3 bulan dimulai dari identifikasi masalah hingga pelaporan hasil penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

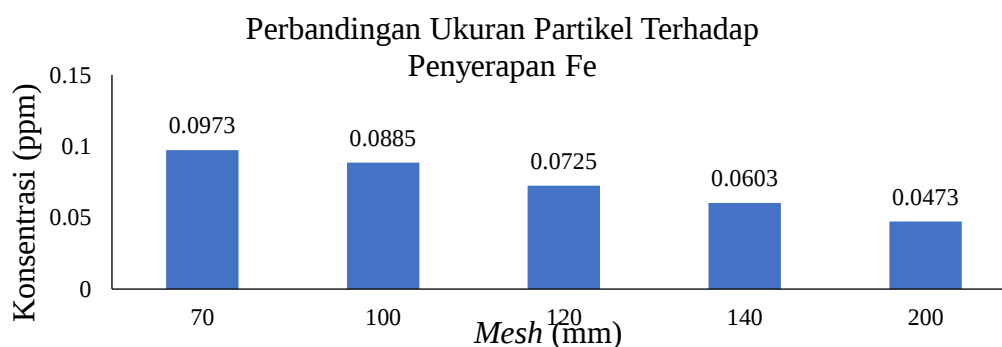
Hasil penelitian diperoleh dari proses adsorpsi limbah cair yang mengandung logam besi (Fe) dan timbal (Pb) menggunakan bioadsorben hasil pirolisis serbuk gergaji batang pohon kelapa dengan variasi ukuran partikel 70, 100, 120, 140 dan 200 *mesh*, diperoleh hasil sebagai berikut.

Pengaruh Ukuran Partikel Adsorben terhadap Penyerapan Logam Besi (Fe) dan Timbal (Pb)

Tabel 1 Hasil Pengujian Awal Logam Besi (Fe) dan Timbal (Pb)

Data Sampel	Besi (Fe)	Timbal (Pb)
Abs	0,3131	0,0528
Ppm	2,5894	3,4620

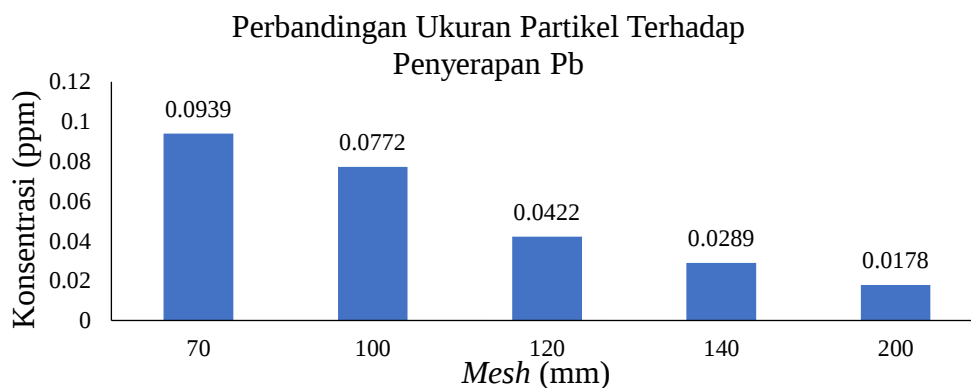
Berdasarkan Tabel 1, konsentrasi awal logam Fe sebesar 2,5894 ppm, sedangkan konsentrasi awal logam Pb sebesar 3,4260 ppm. Konsentrasi awal Pb lebih tinggi dibandingkan Fe karena larutan limbah buatan disiapkan dengan konsentrasi yang berbeda sesuai rancangan penelitian. Nilai konsentrasi awal tersebut digunakan sebagai acuan untuk menghitung konsentrasi akhir serta persentase penurunan setelah proses adsorpsi menggunakan bioadsorben hasil pirolisis serbuk gergaji batang pohon kelapa.



Gambar 1 Grafik Pengaruh Ukuran Partikel Adsorben terhadap Penyerapan Logam Besi (Fe)

Berdasarkan Gambar 1, ukuran partikel adsorben memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penyerapan logam besi (Fe), dimana konsentrasi awal Fe sebesar **2,5849 ppm** mengalami penurunan setelah proses adsorpsi menggunakan adsorben tersebut dengan variasi ukuran *mesh*. Pada ukuran **70 mesh**, konsentrasi Fe menurun menjadi **0,0973 ppm**, kemudian terus menurun pada **100 mesh** sebesar **0,0885 ppm**, **120 mesh** sebesar **0,0725 ppm**, **140 mesh** sebesar **0,0603 ppm**, dan mencapai nilai terendah pada **200 mesh**, yaitu **0,0473 ppm**.

Efisiensi penyerapan logam Fe cenderung meningkat seiring dengan semakin kecilnya ukuran diameter partikel adsorben. Adsorben dengan ukuran **200 mesh** menunjukkan persentase penyerapan yang lebih tinggi dibandingkan ukuran **70, 100, 120 dan 140 mesh**. Kondisi ini mengindikasikan bahwa ukuran partikel adsorben berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi logam Fe. Semakin kecil ukuran partikel, semakin besar luas permukaan spesifik dan jumlah situs aktif yang tersedia untuk proses adsorpsi, sehingga interaksi antara adsorben dan ion Fe berlangsung lebih efektif. Oleh karena itu, ukuran partikel **200 mesh** merupakan ukuran terbaik pada penelitian ini karena mampu menghasilkan efisiensi penyerapan logam Fe yang paling tinggi dibandingkan ukuran partikel lainnya hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Zega dkk., 2021).

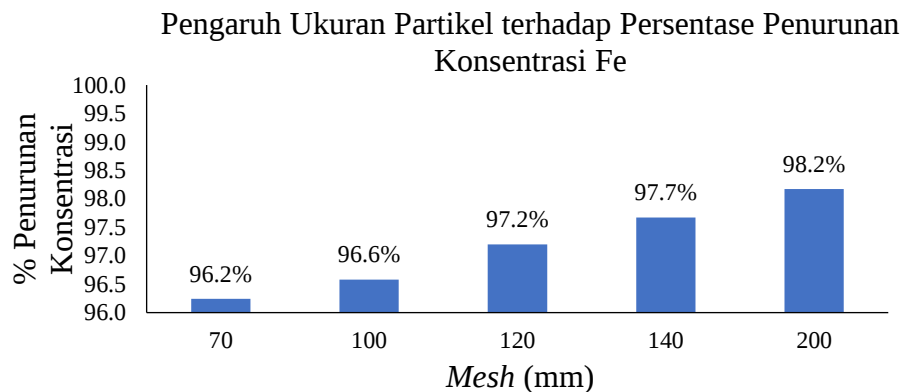


Gambar 2 Grafik Pengaruh Ukuran Partikel Adsorben terhadap Penyerapan Logam Timbal (Pb)

Berdasarkan Gambar 3, ukuran partikel adsorben berpengaruh terhadap kemampuan penyerapan logam timbal (Pb). Konsentrasi awal Pb sebesar **3,4260 ppm** mengalami penurunan yang signifikan setelah proses adsorpsi menggunakan adsorben dengan variasi ukuran *mesh*. Pada ukuran **70 mesh**, konsentrasi Pb turun menjadi **0,0939 ppm**, kemudian menurun lagi pada **100 mesh** sebesar **0,0772 ppm**. Pada **120 mesh** konsentrasi Pb tercatat **0,0422 ppm**, selanjutnya menjadi **0,0289 ppm** pada **140 mesh** dan mencapai nilai terendah sebesar **0,0178 ppm** pada **200 mesh**.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa **adsorben** memiliki kemampuan penyerapan logam berat paling tinggi pada ukuran partikel **200 mesh**. Semakin kecil ukuran partikel adsorben, semakin besar persentase logam berat yang dapat diserap. Arang aktif dengan ukuran partikel **200 mesh** menunjukkan efisiensi adsorpsi Pb tertinggi di antara variasi ukuran partikel yang diuji. Peningkatan kemampuan adsorpsi tersebut disebabkan oleh bertambahnya luas permukaan spesifik yang menyediakan lebih banyak situs aktif untuk mengikat ion logam. Oleh karena itu, semakin kecil ukuran partikel adsorben, semakin rendah konsentrasi logam berat yang tersisa dalam larutan setelah proses adsorpsi hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Eso dkk., 2025).

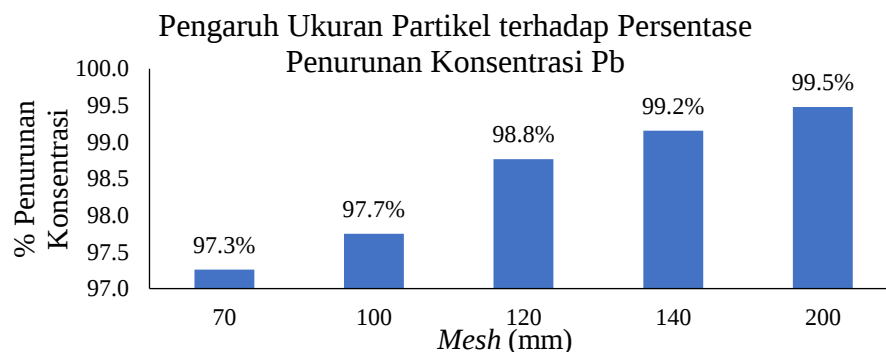
Pengaruh Ukuran Partikel Adsorben terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Logam Besi (Fe) dan Timbal (Pb)



Gambar 3 Grafik Pengaruh Ukuran Partikel Adsorben terhadap Penyerapan Persentase Penurunan Konsentrasi Besi (Fe)

Berdasarkan Gambar 3, ukuran *mesh* bioadsorben berpengaruh terhadap persentase penurunan konsentrasi logam Fe. Persentase penurunan Fe meningkat seiring dengan semakin kecilnya ukuran partikel bioadsorben. Pada ukuran 70 *mesh* diperoleh efisiensi penyerapan sebesar **96,2%**, kemudian meningkat menjadi **96,6%** pada ukuran 100 *mesh*, **97,2%** pada ukuran 120 *mesh*, **97,7%** pada ukuran 140 *mesh*, dan mencapai nilai tertinggi sebesar **98,2%** pada ukuran 200 *mesh*. Hasil ini menunjukkan bahwa bioadsorben dengan ukuran partikel paling halus 200 *mesh* menghasilkan efisiensi penyisihan Fe tertinggi sebesar 84,67%, memiliki kemampuan adsorpsi yang paling baik dibandingkan ukuran partikel yang lebih besar.

Ukuran partikel 200 *mesh* merupakan ukuran partikel yang memberikan kinerja adsorpsi Fe terbaik di antara variasi ukuran partikel yang diuji, karena ukuran partikel yang lebih halus meningkatkan luas permukaan adsorben sehingga memperbesar kapasitas adsorpsi hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Zega dkk., 2021).



Gambar 4 Grafik Pengaruh Ukuran Partikel Adsorben (*Mesh*) terhadap Penyerapan Persentase Penurunan Konsentrasi Timbal (Pb)

Berdasarkan Gambar 4, ukuran *mesh* bioadsorben berpengaruh terhadap persentase penurunan konsentrasi logam timbal (Pb). Persentase penurunan Pb meningkat seiring dengan semakin kecilnya ukuran partikel bioadsorben. Pada ukuran 60 *mesh* diperoleh persentase penurunan sebesar **97,3%**, kemudian meningkat menjadi **97,7%** pada ukuran 100 *mesh*, **98,8%** pada ukuran 120 *mesh*, **99,2%** pada ukuran 140 *mesh* dan mencapai nilai tertinggi sebesar **99,5%** pada ukuran 200 *mesh*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa bioadsorben dengan ukuran partikel paling halus (200 *mesh*) memiliki kemampuan adsorpsi paling tinggi dalam menurunkan konsentrasi Pb, dengan persentase penurunan sebesar 99,5%, sehingga menunjukkan kinerja adsorpsi terbaik di antara variasi ukuran partikel yang diuji pada penelitian ini.

Adsorben berbahan dasar kelapa memiliki kemampuan adsorpsi Pb yang tinggi karena ukuran partikel yang lebih halus menghasilkan luas permukaan dan volume pori yang lebih besar. Kondisi tersebut meningkatkan jumlah gugus aktif yang berinteraksi dengan ion Pb sehingga efisiensi adsorpsi menjadi lebih tinggi hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Zhang dkk., 2022).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi ukuran partikel adsorben hasil pirolisis limbah biomassa serbuk gergaji batang pohon kelapa terhadap adsorpsi logam besi (Fe) dan timbal (Pb) pada limbah cair, dapat disimpulkan bahwa, ukuran partikel adsorben berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsi logam besi (Fe) dan timbal (Pb). Semakin kecil ukuran partikel atau semakin besar nilai mesh, semakin tinggi kemampuan adsorben dalam menurunkan konsentrasi logam Fe dan Pb. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya luas permukaan spesifik dan jumlah situs aktif yang tersedia untuk proses adsorpsi. Berdasarkan variasi ukuran partikel yang diuji, ukuran 200 mesh memberikan hasil adsorpsi terbaik dalam penelitian ini. Pada ukuran tersebut diperoleh konsentrasi akhir logam Fe sebesar 0,0473 mg/L dari konsentrasi awal 2,5894 mg/L dengan efisiensi penurunan 98,2%. Sementara itu, untuk logam Pb diperoleh konsentrasi akhir sebesar 0,0178 mg/L dari konsentrasi awal 3,4260 mg/L dengan efisiensi penurunan 99,5%. Hasil pirolisis serbuk gergaji batang pohon kelapa terbukti efektif digunakan sebagai adsorben alternatif dalam menurunkan konsentrasi logam berat Fe dan Pb dan memiliki potensi yang baik sebagai adsorben yang ramah lingkungan, ekonomis serta mudah diperoleh sehingga berpotensi diaplikasikan dalam pengolahan limbah cair yang mengandung logam berat.

Saran

Penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan limbah cair industri dengan komposisi yang lebih kompleks agar efektivitas bioadsorben dapat dievaluasi pada kondisi yang lebih mendekati aplikasi nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Aktawan, A., Maryudi, Marzun, M.H. dan Noor A.S. (2020) 'Gasifikasi Serbuk Gergaji Batang Kelapa untuk Menghasilkan Bahan Bakar Gas', *Jurnal Konversi*, 9(1), pp. 1–6.
- Aladin, A., Syarif, T., Suryanto, A., Magefira, A. dan Ardan (2023) 'Penentuan Suhu Optimum Pirolisis Serbuk Gergaji Batang Kelapa', *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, 9(2), pp. 132–139.
- Aliah, P.P.H., Sakke, D.A.P. dan Hamid, S. (2025) 'Adsorption of Cadmium Metal in Liquid Waste using Adsorbent Product of Pyrolysis of Teak Wood Biomass Waste', *Journal of Green Chemical and Environmental Engineering*, 1(1), pp. 1–10.
- Ardillah, Y. (2016) 'Faktor Risiko Kandungan Timbal di dalam Darah', *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, 7(3), pp. 150–155.
- Arifiyana, D. dan Devianti, V.A. (2020) 'Biosorpsi Logam Besi (Fe) dalam Media Limbah Cair Artifisial menggunakan Adsorben Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*)', *Jurnal Kimia Riset*, 5(1), pp. 1–8.
- Atikah, U., Purnaini, R. dan Asbanu, G.C. (2023) 'Analisis Kualitas Air Baku dan Kualitas Air Hasil Produksi pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) Unit Mukok PDAM Tirta Pancur Aji Kota Sanggau', *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(2), pp. 297–303.
- Busroni, Anwar, C. dan Santosa, S.J. (2023) 'Penjerapan Kation Fe^{3+} , Pb^{2+} Menggunakan TBKA dan TBMTKA sebagai Bahan Penjerap : Kajian Variasi pH, Kapasitas Adsorpsi dan Waktu Kontak', *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 24(1), pp. 50–57.
- Darmawan, M., Sakti, I., Hamid, S., Yani, S. dan Sabara, Z. (2023) 'Pemanfaatan Arang Aktif Limbah Serbuk Gergaji Kayu Merbau Hasil Pirolisis Sebagai Bioadsorben Limbah Cair (Boron) di PT. Pertamina Geothermal Lahendong', *Journal of Materials Processing and Environment*, 1(1), pp. 1–7.

- Desiasni, R., Widyawati, F. dan Monica, R. (2022) 'Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Komposit Limbah Gergaji Kayu Jati dengan Matrik Resin Epoxy', *Hexagon, Jurnal Teknik dan Sains*, 3(1), pp. 46–52.
- Efiyanti, L., Paramasari, A., Hastoeti, P., Setiawan, D., Hastuti, N., Sari, N.R. dan Iryani, A. (2022) 'Karakterisasi dan Adsorpsi Karbon Tersulfonasi dari Bambu Andong dengan Perbedaan Ukuran Partikel', *Penelitian Hasil Hutan*, 40(2), pp. 115–124.
- Eso, R., Irawati., Bahdat., Asmadin., Arman., Alfat, S. dan Hasan, E.S. (2025) 'Heavy Metal Absorption in Lasolo Bay using a Composite of Cashew-Based Activated Charcoal and Iron Sand, Southeast Sulawesi, Indonesia', *Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 17(2), pp. 441–450.
- Firmanto, R.P., Setyowati, R.D.N. dan Suprayogi, D. (2021) 'Kemampuan Adsorben dari Limbah Serbuk Gergaji Kayu Jati terhadap Penurunan Kandungan Timbal (Pb) pada Limbah Cair dengan menggunakan Sistem Batch', *Journal of Research and Technology*, Vol. 7 No.(2), pp. 195–206.
- Fitri, R.F., HS, E. dan Daud, S. (2021) 'Pengaruh Kecepatan Pengadukan dan Ukuran Partikel Adsorben Tanah Gambut dalam Penyisihan Zat Organik, Besi (Fe) dan pH pada Air Gambut', *Jom Fteknik*, 8(2), pp. 1–7.
- Hamid, S., Aladin, A., Modding, B., Syarif, T., Wiyani, L. dan Arman, M. (2023) 'Pengaruh Aliran Nitrogen Kontinu ke dalam Reaktor Pirolisis Limbah Biomassa Serbuk Gergaji Batang Kelapa (Cocos Nucifera) terhadap Nilai Kalor', *Journal of Chemical Process Engineering*, 8(1), pp. 1–6.
- Imelda, D., Khanza, A. dan Wulandari, D. (2019) 'Pengaruh Ukuran Partikel dan Suhu terhadap Penyerapan Logam Tembaga (Cu) dengan Arang Aktif dari Kulit Pisang Kepok (Musa Paradisiaca Formatypica)', *Jurnal Teknologi*, 6(2), pp. 107–118.
- Istighfarani, S.A.E., Daud, S. dan Hs, E. (2017) 'Pengaruh Massa dan Ukuran Partikel Adsorben Sabut Kelapa terhadap Efisiensi Penyisihan Fe Pada Air Gambut', *Jom Fteknik*, 4(1), pp. 1–8.
- Lubis, N., Rangkuti, K. dan Hafidzun, M. (2025) 'Analisis Perbandingan Produktivitas Komoditi Kelapa di Indonesia dan Malaysia', *Jurnal Agristan*, 9(1), pp. 86–94.
- Malik, M.R., Sugrani, A., Fitriana dan Taufiq, N. (2023) 'Analisis Logam Berat pada Air Waduk Tunggu Pampang', *Jurnal Sehat Mandiri*, 18(1), pp. 105–112.
- Martiyah, Roziqin dan Rosdiana (2020) 'Penegakan Hukum terhadap Pencemaran Imbah Cair Pabrik Kelapa Sawit di Kabupaten Penajam Paser Utara Berdasarkan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup', *Jurnal Lex Supreme*, 2(1), pp. 147–167.
- Nanda, M.F., Maulanah, S., Hidayah, T.N., Taufiqurrahman, A.M. dan Radianto, D.O. (2024) 'Analisis Pentingnya Pengelolaan Limbah terhadap Kehidupan Sosial Bermasyarakat', *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(2), pp. 97–107.
- Pada, A.T., Aladin, A. dan Yani, S. (2022) 'Pengolahan Limbah Cair Laboratorium menggunakan Bioadsorben Hasil Pirolisis Limbah Serbuk Gergaji Kayu Bitti (Vitex Cofassus)', *Journal of Technology Process*, 2(2), pp. 105–111.
- Pambudi, D.S., Santosa, I. dan W, G.R. (2019) 'Analisis Kekuatan Gesek dan Kekerasan pada Komposit dengan Variasi Serbuk Kerang Sebagai Bahan Pembuatan Sliding Pad', *Mestro Jurnal Ilmiah*, 1(2), pp. 16–25.
- Purwitasari, D.G., Tussania, R. dan Fathoni, R. (2022) 'Adsorpsi Logam Kadmium (Cd) pada Kadmium Sulfat (CdSO₄) menggunakan Batang Pohon Pisang Sebagai Adsorben', *Jurnal Chemurgy*, 6(1), pp. 131–136.
- Putri, S.A., Hanavia, M.S., Chrisnandari, R.D., Ningsih, W. dan Azkiya, N.I. (2024) 'Efektifitas Karbon Aktif Limbah Kulit Kacang Termomodifikasi dengan Metode Kopresipitasi Sebagai Adsorben Tembaga dan Besi pada Limbah Cair Elektroplating Artificial', *Jurnal Teknologi Separasi*, 10(4), pp. 798–811.
- Saputro, H.D. dan Dwiprigitaningtias, I. (2022) 'Penanganan pada Limbah Infeksius (Sampah Medis) Akibat Covid 19 untuk Kelestarian Lingkungan Hidup', *Jurnal Dialektika Hukum*, 4(1), pp. 1–18.

- Sari, R.M.C., Marlin, E. dan Hartati, Y.W. (2019) 'Penentuan Besi (III) Secara Voltammetri menggunakan Elektrode Grafit Pensil', *Chimica et Natura Acta*, 7(3), pp. 138–146.
- Selvina, M., Fahrialam, A., Wijaya, L.A., Karunianti, A.R. dan Warmada, I.W. (2021) 'Studi Karakteristik Zeolit di Yogyakarta Serta Pemanfaatannya Sebagai Builder Agent untuk Memproduksi Deterjen Ramah Lingkungan', *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 22(4), pp. 189–196.
- Setiorini, I.A., Agusdin, Mardiana, V., Prakasa, M.W. dan Sujarwo, A. (2018) 'Pengaruh Massa Adsorben Karbon Aktif Batubara terhadap Penyerapan Kandungan Nilai COD dan TOC dalam Limbah Kain Jumpitan pada Rancang Bangun Alat Adsorber', *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 9(1), pp. 14–27.
- Syarif, T., Aladin, A., Arman, M., Sangadji, M.Y. dan Mirasati, R. (2024) 'Penentuan Rasio Optimum Bioadsorben Halal dari Produk Pirolisis Serbuk Gergaji Batang Kelapa dalam Penjernihan Virgin Coconut Oil (VCO)', *Jurnal Of Chemical Process Engineering*, 9(1), pp. 70–79.
- Syauqiah, I., Amalia, M. dan Kartini, H.A. (2011) 'Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengaduk pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat dengan Arang Aktif', *Info Teknik*, 12(1), pp. 11–20.
- Wibowo, A.Y. dan Putra, A. (2013) 'Pengaruh Ukuran Partikel Batu Apung terhadap Kemampuan Serapan Cairan Limbah Logam Berat', *Jurnal Fisika Unand*, 2(3), pp. 155–161.
- Widayatno, T., Yuliawati, T. dan Susilo, A.A. (2017) 'Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif', *Jurnal Teknologi Bahan Alam*, 1(1), pp. 17–23.
- Widodo, L.U., Najah, S. dan Istiqomah, C. (2020) 'Pembuatan Adsorben Berbahan Baku Tanah Liat dari Limbah Industri Pencucian Pasir Silika dengan Perbedaan Konsentrasi Hcl dan Waktu Aktivasi', *Journal of Research and Technology*, 6(1), pp. 10–15.
- Winoto, E., Surya, H. dan Sobirin (2020) 'Pemanfaatan Karbon Aktif dari Serbuk Kayu Merbau dan Tongkol Jagung Sebagai Adsorben untuk Pengolahan Limbah Cair AAS', *Universitas PGRI Palembang*, 5(1), pp. 32–46.
- Zazira, A.Z., Fachraniah dan Ridwan (2024) 'Pengaruh Jenis Aktivator terhadap Karakteristik Karbon Aktif Berbahan Ampas Tebu', *Jurnal Teknologi*, 24(1), pp. 9–15.
- Zega, F.I., Selly, R. dan Zubir, M. (2021) 'Review of Adsorption of Fe Metal by Activated Carbon Adsorbent', *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, 04(2), pp. 74–78.
- Zhang, H., Su, S., Zeng, Y. dan Lam, J.F.I. (2022) 'An Experimental Study on the Effectiveness of Students' Learning in Scientific Courses through Constructive Alignment-A Case Study from an MIS Course', *Education Sciences*, 12(338), pp. 1–15.
- Zulfania, F., Aribadin, Fathoni, R. dan Nur, A.M. (2022) 'Kemampuan Adsorpsi Logam Berat Zn dengan menggunakan Adsorben Kulit Jagung (Zea Mays)', *Jurnal Chemurgy*, 6(2), pp. 65–69.
- Zustriani, A.K., dan Faza, N.L.Z. (2023) 'Adsorpsi Logam Cd pada Limbah Cair Laboratorium menggunakan Adsorben Arang Aktif dari Kulit Buah Matoa', *Integrated Lab Journal*, 11(01), pp. 50–60.