Jurnal Lanskap dan Lingkungan (JULIA) e-ISSN: 2988-232X

JURNAL LANSKAP DAN LINGKUNGAN

Vol 4 No 1
Juni 2026
Hal 50-56

Online Journal System: https://journal.unhas.ac.id/index.php/julia

Jenis Tulisan: Artikel penelitian

Kinetika Adsorpsi Kadar Zn (Seng) pada Limbah Cair TPA Antang Menggunakan Arang Aktif

Syardah Ugra Al Adawiyah[1], Achmad Qodim Syafaatullah[1], Dwi Setyorini[1], Sariwahyuni[*1], Muhammad Farhan[1], Nur Hamsi Narti[1], Nurul Andhini[1]

[1] Program Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik ATI Makassar, Jl. Sunu No. 220, Makassar 90211, Sulawesi Selatan, Indonesia

[*]*Corresponding Author* : sari.wahyuni@atim.ac.id

Tulisan Diterima:
10 Juli 2026

Tulisan Disetujui:
18 November 2026

Kata kunci:
Adsorpsi, Ampas Kopi, Arang Aktif, Kinetika Adsorpsi, Seng (Zn)

Keywords:
Adsorption, Coffee Grounds, Activated Carbon, Kinetics, Zinc

ABSTRAK

Pencemaran logam berat dalam limbah cair dapat berdampak buruk terhadap ekosistem dan kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi penurunan konsentrasi seng (Zn) dalam air lindi TPA Antang menggunakan arang aktif ampas kopi serta membandingkan kecocokan model kinetika orde satu dan orde dua. Arang dibuat melalui karbonisasi dan aktivasi kimia menggunakan NaOH 0,5 M. Adsorpsi dilakukan dengan 4 g adsorben dalam 100 mL sampel pada waktu kontak 0, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit. Konsentrasi Zn dianalisis menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Kadar air dan abu arang aktif masing-masing sebesar 5,72% dan 4,07%; keduanya memenuhi batas SNI 06-3730-1995. Konsentrasi Zn pada sampel turun dari 0,0618 mg/L pada waktu 0 menjadi 0,0090 mg/L pada 180 menit, meskipun terdapat kenaikan tidak terduga pada pengukuran 90 menit. Linearitas model orde dua (R^2 = 0,3960) lebih tinggi daripada model orde satu (R^2 = 0,2330), tetapi kedua nilai R^2 menunjukkan kecocokan yang rendah. Karena itu, model orde dua hanya merupakan model yang relatif lebih sesuai di antara dua model yang diuji; hasil ini belum cukup untuk menetapkan mekanisme adsorpsi.

ABSTRACT

Heavy-metal contamination in wastewater can adversely affect ecosystems and human health. This study evaluated zinc (Zn) removal from TPA Antang landfill leachate using activated carbon derived from coffee grounds and compared the fit of first- and second-order kinetic models. The carbon was prepared by carbonization followed by chemical activation with 0.5 M NaOH. Adsorption tests used 4 g of adsorbent in 100 mL of leachate at contact times of 0, 60, 90, 120, 150, and 180 min. Zn concentration was measured by atomic absorption spectrophotometry (AAS). The activated carbon had moisture and ash contents of 5.72% and 4.07%, respectively, meeting the applicable limits in Indonesian Standard SNI 06-3730-1995. Zn concentration decreased from 0.0618 mg/L at 0 min to 0.0090 mg/L at 180 min, although an unexpected increase was measured at 90 min. The second-order linearization (R^2 = 0.3960) fit better than the first-order linearization (R^2 = 0.2330), but both R^2 values indicate weak fits. Thus, the second-order model was relatively better among the two tested models, but the results are insufficient to establish the adsorption mechanism.

PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya penting bagi manusia, hewan, dan tumbuhan. Aktivitas industri, pertambangan, pertanian, serta pengelolaan sampah dapat menurunkan kualitas air melalui masuknya berbagai bahan pencemar (Riana, 2024; Saputra, 2023). Logam berat menjadi perhatian karena sebagian jenisnya bersifat toksik, sulit terurai, dan dapat terakumulasi dalam rantai makanan (Sari, 2020).

Salah satu sumber pencemaran logam berat adalah air lindi (leachate) dari tempat pemrosesan akhir (TPA). Air lindi terbentuk ketika air hujan meresap melalui timbunan sampah dan melarutkan senyawa organik maupun anorganik. Komposisinya bergantung pada karakteristik sampah dan umur timbunan. Jika tidak dikelola dengan baik, air lindi dapat meresap ke tanah atau mengalir ke badan air dan menurunkan kualitas lingkungan (Riana, 2024; Saputra, 2023).

TPA Antang merupakan salah satu lokasi pembuangan akhir terbesar di Kota Makassar yang menerima sampah dari berbagai wilayah. Aktivitas penimbunan sampah yang berlangsung dalam waktu lama berpotensi menghasilkan air lindi dengan kandungan logam berat yang cukup tinggi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kawasan TPA Antang telah mengalami akumulasi logam berat, sehingga diperlukan metode pengolahan yang efektif untuk menurunkan kandungan logam tersebut sebelum mencemari lingkungan sekitar.

Seng (Zn) merupakan unsur esensial bagi organisme dalam jumlah kecil, tetapi konsentrasi yang berlebihan dapat bersifat toksik. Oleh karena itu, pemantauan dan pengendalian Zn dalam limbah cair diperlukan untuk melindungi kualitas lingkungan (Riana, 2024; Saputra, 2023).

Metode adsorpsi banyak dikaji karena prosedurnya relatif sederhana dan dapat menggunakan beragam bahan penyerap (Sari, 2020). Kinerjanya dipengaruhi oleh karakteristik adsorben, pH, konsentrasi awal adsorbat, dosis adsorben, dan waktu kontak.

Arang aktif merupakan salah satu adsorben yang memiliki luas permukaan besar dan banyak digunakan dalam proses pemurnian air maupun pengolahan limbah. Namun demikian, penggunaan arang aktif komersial masih relatif mahal sehingga diperlukan alternatif bahan baku yang lebih ekonomis. Salah satu limbah biomassa yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku arang aktif adalah ampas kopi. Indonesia sebagai salah satu negara penghasil kopi menghasilkan limbah ampas kopi dalam jumlah yang cukup besar. Limbah ini memiliki kandungan karbon tinggi sehingga berpotensi diolah menjadi arang aktif dengan kemampuan adsorpsi yang baik (Nurmanita & Rachadian, 2020; Sunandar, 2015).

Proses pembuatan arang aktif dari ampas kopi meliputi tahap karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi bertujuan membentuk struktur karbon, sedangkan aktivasi dilakukan untuk memperbesar ukuran pori dan meningkatkan luas permukaan adsorben. Aktivasi secara kimia menggunakan NaOH diketahui mampu menghasilkan jumlah pori yang lebih banyak sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap ion logam berat.

Selain mengevaluasi penurunan konsentrasi, kinetika dapat dianalisis untuk membandingkan perubahan konsentrasi terhadap waktu. Kinetika orde satu dan orde dua digunakan untuk menggambarkan laju proses (Lagergren, 1898; Ho & McKay, 1998; Ho & McKay, 1999). Pada penelitian ini, kedua model dibandingkan melalui regresi linear dan koefisien determinasi (R^2). Kecocokan relatif yang lebih tinggi tidak dengan sendirinya membuktikan mekanisme adsorpsi.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan arang aktif berbahan dasar ampas kopi dalam menurunkan kadar Zn pada limbah cair TPA Antang menggunakan metode adsorpsi serta menentukan model kinetika adsorpsi yang paling sesuai berdasarkan variasi waktu kontak.

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan eksperimen laboratorium untuk mengkaji perubahan konsentrasi Zn dalam air lindi TPA Antang setelah kontak dengan arang aktif ampas kopi. Perlakuan berupa variasi waktu kontak. Adapun data konsentrasi yang diperoleh digunakan untuk membandingkan model kinetika.

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknologi Kimia Mineral Politeknik ATI Makassar untuk proses pembuatan arang aktif, aktivasi adsorben, pengujian adsorpsi, serta pengolahan data penelitian. Analisis konsentrasi logam seng (Zn) dilakukan di Balai Besar Industri Hasil Perkebunan (BBIHP) Makassar menggunakan instrumen Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei hingga Juni 2026.

2.2. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian meliputi oven, tanur, neraca analitik, desikator, ayakan 100 mesh, gelas kimia, erlenmeyer, magnetic stirrer, hot plate, corong Buchner, spatula, botol semprot, kertas saring, dan Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS).

Bahan yang digunakan terdiri atas ampas kopi robusta sebagai bahan baku adsorben, larutan natrium hidroksida (NaOH) 0,5 M sebagai aktivator kimia, limbah cair TPA Antang sebagai sampel penelitian, akuades, serta indikator pH.

2.3. Pembuatan Arang

Ampas kopi dicuci dengan akuades untuk menghilangkan kotoran, lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama sekitar 6 jam. Bahan kering kemudian dikarbonisasi di dalam tanur selama sekitar 30 menit hingga terbentuk arang. Suhu karbonisasi yang digunakan 400°C; kondisi wadah yang tertutup selama 1 jam. selanjutnya arang dihaluskan dan diayak hingga lolos ayakan 100 mesh.

Selanjutnya dilakukan proses aktivasi kimia menggunakan larutan NaOH 0,5 M. Arang hasil karbonisasi direndam selama 48 jam, kemudian disaring dan dicuci menggunakan akuades hingga mencapai pH netral. Arang aktif kemudian dikeringkan kembali pada suhu 110°C selama 3 jam dan didinginkan di dalam desikator sebelum digunakan sebagai adsorben.

2.4. Karakteristik Arang Aktif

Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui kualitas arang aktif yang dihasilkan. Parameter yang dianalisis meliputi kadar air dan kadar abu sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI 06-3730-1995).

Pengujian kadar air dilakukan dengan memanaskan arang aktif di dalam oven pada suhu 110°C hingga diperoleh berat konstan. Sementara itu, kadar abu ditentukan dengan memijarkan sampel menggunakan tanur pada suhu 650°C selama dua jam, kemudian didinginkan dalam desikator sebelum dilakukan penimbangan.

2.5. Proses Adsorpsi

Sebanyak 4 gram arang aktif dimasukkan ke dalam erlenmeyer yang berisi 100 mL limbah cair TPA Antang. Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada kecepatan 250 rpm dengan variasi waktu kontak 0, 60, 90, 120, 150, dan 180 menit.

Setelah waktu kontak tercapai, campuran disaring menggunakan kertas saring sehingga diperoleh filtrat yang selanjutnya dianalisis kadar Zn menggunakan metode Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). Variasi waktu kontak digunakan untuk mengetahui pengaruh lamanya proses adsorpsi terhadap penurunan konsentrasi Zn.

2.6. *Analisis Zn dengan AAS*

Konsentrasi Zn dalam sampel ditentukan menggunakan Atomic Absorption Spectrophotometer pada panjang gelombang spesifik unsur seng. Sebelum dilakukan pengukuran, sampel dipersiapkan sesuai prosedur analisis laboratorium sehingga logam dapat terukur secara optimal. Nilai absorbansi yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi konsentrasi Zn berdasarkan kurva kalibrasi instrumen.

2.7. *Analisis Data*

Data dianalisis secara deskriptif dan kuantitatif. Kadar air dan kadar abu dibandingkan dengan persyaratan mutu arang aktif menurut SNI 06-3730-1995. Konsentrasi Zn pada setiap waktu kontak digunakan untuk

mengevaluasi perubahan konsentrasi selama perlakuan.

Analisis menggunakan linearitas konsentrasi terhadap waktu: model orde satu diplot sebagai ln(Ct) terhadap t, sedangkan model orde dua sebagai 1/Ct terhadap t. Karena linearitas ini menggunakan konsentrasi larutan, hasilnya diperlakukan sebagai kecocokan model laju konsentrasi secara empiris, bukan sebagai bukti mekanisme adsorpsi berbasis kapasitas adsorpsi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi arang aktif dilakukan untuk mengetahui kualitas adsorben yang digunakan dalam proses adsorpsi logam Zn. Parameter yang dianalisis meliputi kadar air dan kadar abu karena kedua parameter tersebut sangat berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsi arang aktif (Tabel 1). Kadar air menunjukkan jumlah air yang masih terkandung di dalam adsorben, sedangkan kadar abu menggambarkan kandungan mineral atau residu anorganik yang tersisa setelah proses karbonisasi dan aktivasi.

Tabel 1. Hasil Karakteristik Arang Aktif Ampas Kopi

Parameter	***Hasil***	**Standar SNI 06-3730-1995**
Kadar Air	5,72 %	Maksimum 15%
Kadar Abu	4,07 %	Maksimum 10%

Sumber : Data penelitian setelah diolah

Berdasarkan Tabel 1, arang aktif ampas kopi memiliki kadar air 5,72% dan kadar abu 4,07%. Keduanya berada di bawah batas maksimum untuk arang aktif teknis menurut SNI 06-3730-1995, yaitu 15% untuk kadar air dan 10% untuk kadar abu.

Kadar air yang rendah menunjukkan bahwa proses pengeringan dan karbonisasi berlangsung dengan baik sehingga sebagian besar air yang terdapat pada bahan baku telah berhasil dihilangkan. Rendahnya kadar air akan meningkatkan luas permukaan efektif adsorben karena pori-pori arang aktif tidak tertutup oleh molekul air. Dengan demikian, ion Zn akan lebih mudah berinteraksi dengan situs aktif pada permukaan adsorben selama proses adsorpsi berlangsung.

Selain kadar air, kadar abu juga merupakan parameter penting dalam menentukan kualitas arang aktif. Abu merupakan residu mineral yang tertinggal setelah proses pembakaran sempurna. Kandungan abu yang tinggi dapat menyebabkan sebagian pori adsorben tertutup sehingga luas permukaan efektif menjadi berkurang. Pada penelitian ini kadar abu sebesar 4,07% menunjukkan bahwa proses karbonisasi menghasilkan arang aktif dengan kandungan mineral yang relatif rendah sehingga kemampuan adsorpsinya masih tergolong baik.

Hasil karakterisasi tersebut menunjukkan bahwa arang aktif berbahan dasar ampas kopi layak digunakan sebagai adsorben untuk proses penurunan kadar logam Zn pada limbah cair. Hasil ini juga sejalan dengan penelitian Rahmawati (2018) yang menyatakan bahwa arang aktif dari limbah biomassa dengan kadar air dan kadar abu rendah memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih baik dibandingkan adsorben yang masih mengandung kadar air dan abu tinggi.

3.1. Pengaruh Arang Aktif Ampas Kopi terhadap Penurunan Konsentrasi Zn

Analisis kadar Zn dilakukan menggunakan metode Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) setelah proses adsorpsi selesai dilakukan. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan arang aktif dari ampas kopi mampu menurunkan konsentrasi Zn pada limbah cair TPA Antang.

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa secara umum konsentrasi Zn mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu kontak antara adsorben dan adsorbat. Konsentrasi awal sebesar 0,0618 mg/L menurun menjadi 0,0408 mg/L setelah proses adsorpsi selama 60 menit. Penurunan ini menunjukkan bahwa ion Zn mulai terikat pada permukaan arang aktif melalui mekanisme adsorpsi.

Penurunan konsentrasi Zn menunjukkan bahwa arang aktif dari ampas kopi memiliki kemampuan menyerap ion logam yang cukup baik. Kemampuan tersebut dipengaruhi oleh

struktur pori yang terbentuk selama proses karbonisasi dan aktivasi kimia menggunakan NaOH. Aktivasi kimia menyebabkan terbentuknya lebih banyak pori serta meningkatkan luas permukaan adsorben sehingga jumlah situs aktif yang tersedia menjadi lebih banyak.

Tabel 2. Konsentrasi Zn pada Berbagai Variasi Waktu Kontak

Waktu Kontak (Menit)	Konsentrasi Zn (mg/L)
0	0,0618
60	0,0408
90	0,2814
120	0,0878
150	0,0319
180	0,0090

Sumber : Data penelitian setelah diolah

Mekanisme adsorpsi berlangsung melalui perpindahan ion Zn dari fase cair menuju permukaan arang aktif. Setelah mencapai permukaan adsorben, ion Zn akan berdifusi ke dalam pori-pori karbon aktif dan terikat pada gugus fungsi yang terdapat pada permukaan adsorben. Semakin banyak situs aktif yang tersedia, maka semakin besar pula jumlah ion Zn yang dapat diserap.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah ampas kopi memiliki potensi sebagai bahan baku arang aktif alternatif yang murah, mudah diperoleh, dan ramah lingkungan. Pemanfaatan limbah biomassa sebagai adsorben juga dapat meningkatkan nilai tambah limbah sekaligus mengurangi pencemaran lingkungan (Riana, 2024; Saputra, 2023).

3.2. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Adsorpsi Zn

Waktu kontak merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi proses adsorpsi karena menentukan lamanya interaksi antara adsorben dan adsorbat. Semakin lama waktu kontak diberikan maka semakin besar kesempatan ion Zn untuk berpindah dari larutan menuju permukaan adsorben hingga mencapai kondisi kesetimbangan.

Pada 60 menit, konsentrasi Zn turun menjadi 0,0408 mg/L. Namun, pada 90 menit konsentrasi yang terukur meningkat menjadi 0,2814 mg/L, lebih tinggi daripada konsentrasi awal 0,0618 mg/L. Peningkatan konsentrasi Zn pada waktu kontak 90 menit dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti distribusi adsorben yang kurang homogen, proses pengadukan yang kurang merata, terjadinya desorpsi sementara, maupun adanya kesalahan selama proses pengambilan sampel atau analisis laboratorium. Oleh karena itu, data pada waktu kontak tersebut perlu dievaluasi lebih lanjut melalui pengulangan penelitian agar diperoleh hasil yang lebih representatif. Penyebab kenaikan tersebut belum dapat dipastikan dari data yang tersedia.

Setelah waktu kontak mencapai 120 menit, konsentrasi Zn kembali mengalami penurunan menjadi 0,0878 mg/L**,** kemudian turun menjadi 0,0319 mg/L pada waktu kontak 150 menit. Konsentrasi terendah diperoleh pada waktu kontak 180 menit, yaitu sebesar 0,0090 mg/L**.**

Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak maka semakin besar peluang ion Zn berdifusi ke dalam pori adsorben dan menempati situs aktif yang tersedia. Pada waktu kontak yang lebih lama, jumlah ion Zn yang terikat pada permukaan arang aktif semakin meningkat sehingga konsentrasi Zn di dalam larutan menjadi semakin kecil.

Di antara waktu kontak yang diuji, konsentrasi terendah terukur pada 180 menit. Karena belum ada pengujian di sekitar waktu tersebut dan anomali 90 menit belum terverifikasi, 180 menit dilaporkan sebagai waktu dengan konsentrasi terukur terendah, bukan sebagai waktu optimum kesetimbangan yang telah terkonfirmasi.

3.3. Analisis Kinetika Adsorpsi

Analisis kinetika dilakukan untuk mengetahui model yang paling sesuai dalam menjelaskan proses adsorpsi Zn oleh arang aktif ampas kopi. Model kinetika yang digunakan adalah model orde satu dan orde dua (Tabel 3).

Tabel 3. Hasil Analisis Kinetika Adsorpsi

Model Kinetika	Persamaan Regresi	Nilai R^2
Orde Satu	y = -0,008511x – 2,122137	0,2330
Orde Dua	y = 0,383335x – 5,317908	0,3960

Sumber : Data penelitian setelah diolah

Hasil regresi model orde satu menghasilkan R^2 sebesar 0,2330. Nilai ini menunjukkan kecocokan yang rendah antara linearitas yang diuji dan data eksperimen.

Model orde dua menghasilkan R^2 sebesar 0,3960, lebih tinggi daripada model orde satu. Namun, nilai tersebut juga rendah. Dengan demikian, linearitas orde dua memiliki kecocokan relatif lebih baik; hasil ini belum cukup untuk menetapkan model laju atau mekanisme adsorpsi.

Nilai R^2 yang rendah dapat berkaitan dengan pola data yang tidak konsisten, terutama kenaikan konsentrasi yang terukur pada 90 menit. Karena penyebab anomali belum diketahui, interpretasi kinetika harus dipandang sebagai sementara sampai data tersebut diverifikasi.

KESIMPULAN

Arang aktif ampas kopi memiliki kadar air 5,72% dan kadar abu 4,07%, di bawah batas maksimum SNI 06-3730-1995 untuk arang aktif teknis (masing-masing 15% dan 10%).

Konsentrasi Zn yang terukur turun dari 0,0618 mg/L pada 0 menit menjadi 0,0090 mg/L pada 180 menit. Namun, nilai 0,2814 mg/L pada 90 menit menyimpang dari pola tersebut dan perlu diverifikasi melalui pemeriksaan catatan analisis serta pengulangan pengujian.

Model orde dua menghasilkan R^2 0,3960, lebih tinggi daripada R^2 model orde satu sebesar 0,2330. Karena kedua nilai R^2 rendah dan data 90 menit belum terverifikasi, hasil ini hanya menunjukkan kecocokan relatif model orde dua pada data yang tersedia; model dan mekanisme adsorpsi belum dapat ditetapkan secara meyakinkan.

Penelitian ini memberikan indikasi awal bahwa arang aktif ampas kopi dapat menurunkan konsentrasi Zn dalam sampel air lindi TPA Antang. Pengulangan pengukuran, khususnya pada 90 menit, serta pelaporan kapasitas adsorpsi diperlukan untuk menguatkan kesimpulan.

REFERENSI

Al Adawiyah, S. U. (2024). Pemanfaatan Arang Aktif Dari Ampas Kopi Sebagai Adsorben Untuk Menurunkan Konsentrasi Zn (seng) pada Limbah Cair TPA Antang Makassar. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral, 3*(2), 87–91.

Badan Standardisasi Nasional. (1995). *SNI 06-3730-1995: Arang Aktif Teknis.* Jakarta: BSN.

Ho, Y. S., & McKay, G. (1998). A Comparison of Chemisorption Kinetic Models Applied to Pollutant Removal on Various Sorbents. *Process Safety and Environmental Protection, 76*(4), 332–340. https://doi. org/10.1205/ 095758298529696.

Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-Second Order Model For Sorption Processes. *Process Biochemistry, 34*(5), 451–465. https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00112-5.

Lagergren, S. (1898). Zur Theorie der Sogenannten Adsorption Gelöster Stoffe. *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar, 24*(4), 1–39.

Nurmanita, U., & Rachadian, R. R. (2020). Pemanfaatan Ampas Kopi Sebagai Adsorben Logam Berat pada Limbah Cair. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, *13*(2), 85–94.

Rahmawati, E. S. (2018). Karakterisasi Arang Aktif dari Limbah Ampas Kopi Sebagai Adsorben. *Jurnal Kimia Terapan*, *12*(3), 67–74.

Riana, E. N. (2024). Deteksi Konsentrasi Fe, Cu, Zn, dan Pb pada Sungai dan Ikan yang Tercemar Air Limbah Menggunakan AAS. *Jurnal Sumberdaya Hayati*, *10*(2), 97–101.

Rusdianto, R. I. (2023). Pengukuran Kualitas Air Limbah Sawit Berdasarkan Baku Mutu Air Limbah Menggunakan AAS. *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, *4*(1), 1–8.

Saputra, M. A. (2023). Verifikasi Metode Pengujian Fe, Mn, dan Zn dalam air Sungai Bengawan Solo Secara Spektroskopi Serapan Atom. *Swara Patra*, *13*(2), 1–14.

Sari, D. U. (2020). Metode Adsorpsi Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Logam Berat. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, *9*(2), 101–108.

Sunandar, A. W. (2015). Pemanfaatan Arang Aktif dari Ampas Kopi Sebagai Adsorben Fenol Dalam Air. *Jurnal Kimia Mulawarman*, *12*(2), 88–93.