



SPECTA Journal of Technology

E-ISSN : 2622-9099

P-ISSN : 2549-2713

Homepage journal: <https://journal.itk.ac.id/index.php/sjt>

Analisis Pengaruh Variasi Aktivator Kimia Pada Karbon Aktif Kayu Sengon Untuk Pengolahan Filtrasi Air Asam Tambang

Riza Hudayarizka^{1*}, Raudiah Tuzzahra Putri², Mochammad Purwanto³, Ismi Khairunnissa Ariani⁴

^{1*24} Program Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Teknologi Kemaritiman, Fakultas Pembangunan Berkelanjutan, Institut Teknologi Kalimantan.

³ Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknologi Rekayasa Industri, Fakultas Rekayasa dan Teknologi Industri, Institut Teknologi Kalimantan

*Corresponding email: riza.hudayarizka@lecturer.itk.ac.id

Received: 17/July/2025

Accepted: 20/August/2025

Revised: 15/August/2025

Published: 21/August/2025

To cite this article:

Hudayarizka, R., Putri, R.T., Purwanto, M & Ariani, I. K (2025). Analisis Pengaruh Variasi Aktivator Kimia Pada Karbon Aktif Kayu Sengon Untuk Pengolahan Filtrasi Air Asam Tambang. *SPECTA Journal of Technology*, 9(2), 180-186. [10.35718/specta.v9i2.8481421](https://doi.org/10.35718/specta.v9i2.8481421)

Abstract

Acid mine drainage is one of the major pollutants generated from coal mining activities, characterized by high concentrations of heavy metals such as Fe and Mn and very low pH levels, making it unsuitable for environmental discharge. This study aims to analyze the effect of different chemical activators (NaOH, H₃PO₄, HCl, and no activator) on the effectiveness of activated carbon made from sengon wood in removing contaminants from acid mine drainage. The carbonization process was carried out at high temperatures, followed by chemical activation and application as filtration media. The results showed that inactivated carbon provided the highest TSS removal efficiency at 65.79% and increased the pH to 2.7. However, all variations of activated carbon were ineffective in removing Fe and Mn, likely due to the low initial pH causing protonation of functional groups on the carbon surface, thus reducing their adsorption capacity. This study indicates that while chemical activation influences the characteristics of activated carbon, it is not yet sufficient for optimal removal of heavy metal pollutants.

Keywords: Acid Mine Drainage, Activated Carbon, Chemical Activation, Filtration, Sengon Wood

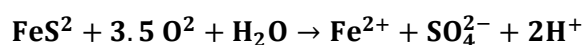
Abstrak

Air asam tambang merupakan salah satu limbah pertambangan batu bara yang mengandung logam berat seperti Fe dan Mn dengan pH sangat rendah, sehingga memerlukan pengolahan sebelum dibuang ke lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi jenis aktivator kimia (NaOH, H₃PO₄, HCl, dan tanpa aktivasi) terhadap efektivitas karbon aktif berbahan dasar kayu sengon dalam menyisihkan parameter pencemar air asam tambang. Proses karbonisasi dilakukan pada suhu tinggi, diikuti dengan aktivasi kimia, lalu digunakan sebagai media filtrasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa karbon aktif tanpa aktivasi memberikan efisiensi tertinggi dalam menurunkan TSS sebesar 65,79% dan mampu menaikkan pH hingga 2,7. Namun, semua variasi aktivator tidak efektif dalam menyisihkan logam Fe dan Mn, yang disebabkan oleh kondisi pH awal yang sangat rendah sehingga menyebabkan protonasi gugus fungsional karbon aktif dan menurunkan kemampuan adsorpsinya. Penelitian ini menunjukkan bahwa jenis aktivator kimia berpengaruh terhadap karakteristik karbon aktif, namun belum mampu mengatasi pencemar logam berat secara optimal.

Kata Kunci: Air Asam Tambang, Aktivasi Kimia, Filtrasi, Karbon Aktif, Kayu Sengon.

1. Pendahuluan

Indonesia menduduki peringkat kelima sebagai negara produsen batu bara terbesar di dunia dengan jumlah produksi lebih dari 836,13 juta ton pada tahun 2024 (ESDM, 2024). Produksi besar ini menimbulkan dampak negatif seperti kerusakan lahan, polusi udara dan pencemaran air. Salah satu bentuk pencemaran air adalah air asam tambang, yang terbentuk akibat oksidasi mineral mengandung besi dan sulfur oleh air dan oksigen (Murati et al., 2024). Air asam tambang memiliki kandungan logam berat seperti besi (Fe) dan mangan (Mn) yang tinggi, serta pH rendah (1,5-4). Kandungan Fe yang melebihi baku mutu dipengaruhi oleh Fe yang merupakan komposisi dari kandungan batu bara yang terkelupas dari tanah dan terbawa oleh air hujan, sedangkan kandungan Mn yang tinggi dari air asam tambang disebabkan karena logam Mn merupakan komposisi dari batu bara (Rahayu et al., 2020). Nilai pH yang rendah diakibatkan oleh reaksi:



Reaksi tersebut menghasilkan ion hidrogen (H^+) yang menjadi penyebab utama meningkatnya keasaman pada air asam tambang, sehingga pH menurun drastis (Kurnia Sari et al., 2020). Kondisi tersebut tidak layak digunakan untuk kehidupan sehari-hari (Muhammad Aziz Rahmatullah et al., 2023).

Untuk mengatasi hal ini, telah dikembangkan berbagai metode pengolahan seperti lahan basah buatan (*constructed wetland*) dan koagulasi-flokulasi guna menurunkan kadar logam berat Fe, Mn dan TSS (Arifin et al., 2023; Maulida & Purwanti, 2023). Pengolahan air asam tambang menggunakan filtrasi karbon aktif merupakan salah satu metode yang dinilai efektif dalam menyerap logam berat dan menurunkan kadar TSS (Saputra, 2018). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa filtrasi karbon aktif berbahan biomassa mampu menurunkan kadar Fe sebesar 79,65%–99,9%, Mn sebesar 60%–98,25%, dan TSS sebesar 81,82%–90,21% (Busyairi et al., 2019; Imani et al., 2021; Khalaf Erabee & M. Ethaib, 2018; Saleh et al., 2017).

Karbon aktif berasal dari biomassa yang mengandung lignoselulosa dan diproses melalui karbonisasi pada suhu di atas 500°C (Adhi Setiaprada et al., 2023). Setelah itu, karbon aktif diaktivasi menggunakan bahan kimia seperti NaOH, H_2SO_4 , ZnCl_2 , dan HCl untuk menghilangkan kontaminan dalam pori-pori, memperluas permukaan aktif, dan meningkatkan daya serapnya (Nandari et al., 2024; Yuliasuti & Dwicahyono, 2018). Kayu sengon pasca reklamasi lahan pasca tambang dipilih sebagai bahan baku karbon aktif dikarenakan pohon sengon mengandung lignin 23,77%, holoselulosa 88,33%, dan selulosa 74,21% (Putra et al., 2018). Kandungan lignin dapat mempengaruhi kondisi morfologi seperti distribusi pori pada karbon aktif (Guizani et al., 2024). Pohon sengon bekas lahan reklamasi pasca tambang tidak digunakan dalam produksi kayu. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh jenis aktivator NaOH, H_3PO_4 , dan HCl dengan konsentrasi 0,1 M pada karbon aktif dari kayu sengon dalam menurunkan kadar Fe, Mn, dan TSS serta meningkatkan pH air asam tambang (Erawati & Fernando, 2018; Mustafa et al., 2023).

2. Metode Penelitian

2.1 Karbon Aktif Kayu Sengon

Limbah kayu sengon dari kawasan reklamasi pertambangan batu bara dimanfaatkan sebagai bahan baku karbon aktif. Potongan kayu sengon berukuran 2 cm dicuci, dimasukkan ke dalam kaleng besi 20 L, lalu dibakar dalam drum besi 200 L selama 6 jam hingga menjadi arang. Arang kemudian dihancurkan dan diayak menggunakan saringan 8 mesh. Selanjutnya, karbon diaktivasi secara kimia dengan perendaman selama 24 jam menggunakan larutan NaOH, H_3PO_4 , dan HCl 0,1 M. Setelah itu, karbon dicuci dengan akuades hingga pH netral, dikeringkan dalam oven bersuhu 110°C selama 4 jam, lalu digunakan sebagai media filtrasi dengan ketebalan 15 cm per filter (Dirgawati et al., 2024; Hailu & Abubeker, 2023).

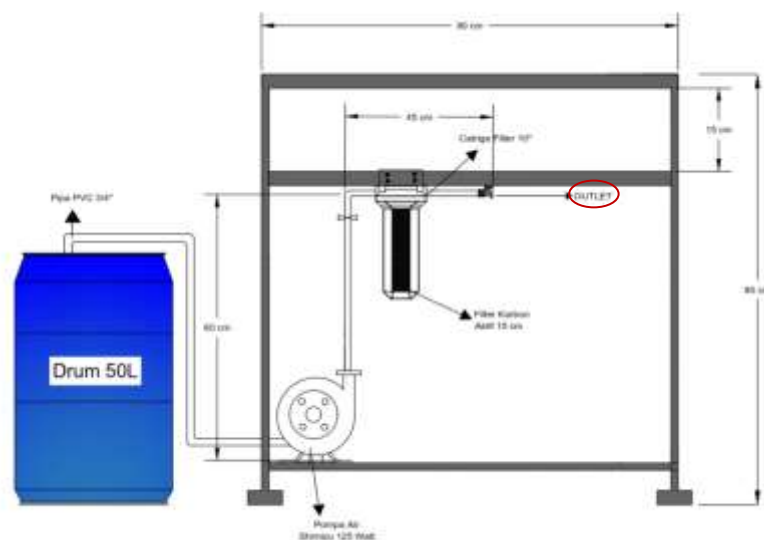
2.2 Air Baku

Air asam tambang dari kolam void digunakan untuk uji awal karakteristik pencemar Fe, Mn, TSS, dan pH. Pengambilan sampel dilakukan dengan metode grab sampling sesuai SNI 6989.59:2008, lalu

disimpan dalam jerigen plastik polietilena berkapasitas 25 liter. Sampel diawetkan menggunakan larutan HNO_3 65% hingga pH di bawah 2, kemudian disimpan dalam *cooler box*.

2.3 Penelitian Utama

Variabel bebas pada penelitian ini akan dilakukan pengolahan terhadap air asam tambang dengan filter karbon aktif variasi aktivator NaOH, H_3PO_4 , dan HCl dan tanpa aktivasi. penelitian akan dilakukan secara kontinu pada masing-masing filter. Berikut gambar design dari filter karbon aktif air asam tambang.



Gambar 1: Desain Rancang Proses Filter Air Asam Tambang

Penelitian utama dilakukan dengan mengisi air asam tambang ke dalam drum 50 liter, kemudian dialirkan ke reaktor filter karbon aktif kayu sengon menggunakan pompa 10 L/menit dan dialirkan selama 15 menit setiap kali *running*. Empat jenis filter digunakan secara bergantian: tanpa aktivasi kimia, serta teraktivasi NaOH, H_3PO_4 , dan HCl. Setelah didapatkan hasil data dari filtrasi kemudian dilakukan perhitungan efisiensi penyisihan Fe, Mn, TSS serta kenaikan pH dan dilakukan analisis statistic pada data tersebut dengan metode *one-way* ANOVA dan T-Test.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakteristik Air Asam Tambang

Pada penelitian pendahuluan ini dilakukan pengambilan sampel di lokasi yaitu pada kolam void sebanyak 100 L. Karakteristik air asam tambang yang diambil dari kolam void dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut:

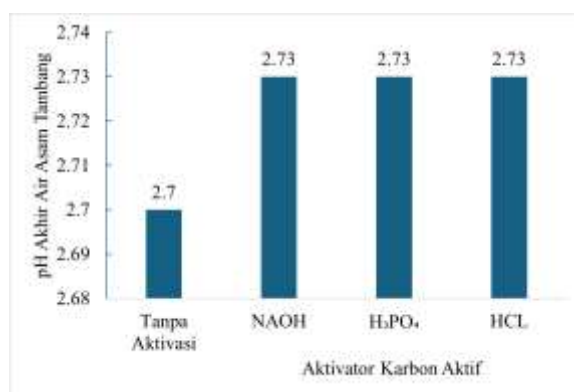
Tabel 1: Karakteristik Air Asam Tambang

Parameter	Satuan	Hasil Pengujian	Baku Mutu Badan Air Kelas Satu*)	Metode Pengujian
TSS	mg/L	38	40	Gravimetri
Besi Total (Fe)	mg/L	69,75	0,3	Spektrofotometri Serapan Atom (SAA)
Mangan Total (Mn)	mg/L	8,06	0,1	Spektrofotometri Serapan Atom (SAA)
pH	-	2,35	6,0 - 9,0	pH Meter

*) Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021

Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 1 menunjukkan bahwa parameter Fe, Mn dan pH masih melebihi nilai baku mutu lingkungan kelas satu yaitu berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang diperuntukkan sebagai sumber baku air minum.

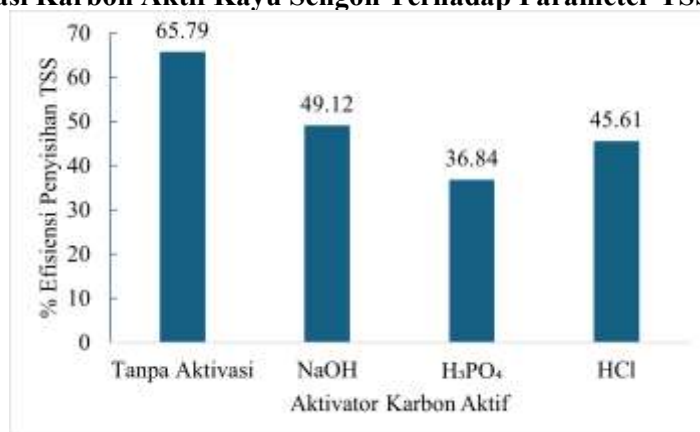
3.1 Pengaruh Filtrasi Karbon Aktif Kayu Sengon Terhadap Parameter pH



Gambar 2: Pengaruh Penggunaan Filter Karbon Aktif Terhadap pH Akhir Air Asam Tambang

Pada Gambar 2 terlihat bahwa penggunaan filtrasi karbon aktif kayu sengon secara umum memberikan peningkatan nilai pH air asam tambang. Selain itu, karbon aktif yang diaktivasi dengan larutan kimia NaOH, H₃PO₄, dan HCl menunjukkan nilai pH yang lebih tinggi dibandingkan karbon aktif tanpa aktivator. Peningkatan pH ini disebabkan oleh keberadaan gugus fungsional basa pada permukaan karbon yang terbentuk selama proses aktivasi kimia. Beberapa gugus fungsional yang berperan dalam menetralkan ion hidrogen (H⁺) adalah karboksilat (–COO[–]), fenolat (–Ph–O[–]), fosfat organik (–PO₄^{2–}), dan hidroksida (–OH). Gugus-gugus ini mampu menangkap ion H⁺ dari air asam tambang melalui reaksi elektrostatis atau reaksi asam-basa, sehingga konsentrasi ion H⁺ berkurang dan pH meningkat (Miarti & Anike, 2022). Secara umum peningkatan nilai pH tidak signifikan, hal ini karena tidak terjadi pertukaran ion yang cukup besar (Lorenzo, 2024).

3.2 Pengaruh Filtrasi Karbon Aktif Kayu Sengon Terhadap Parameter TSS

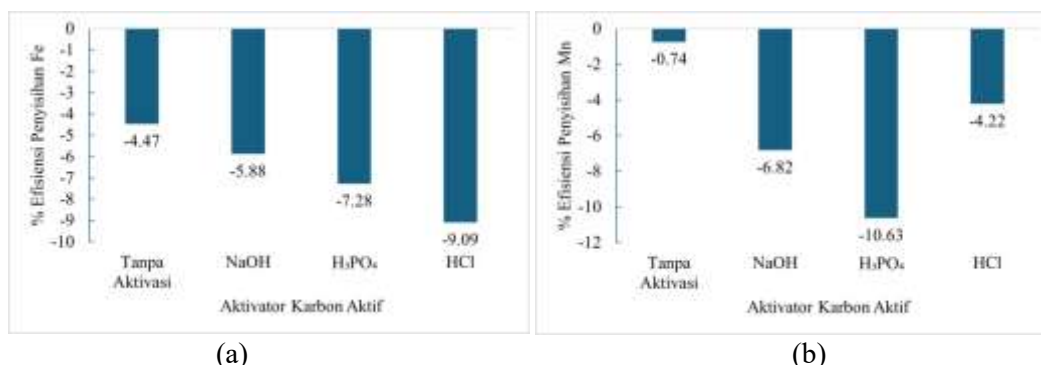


Gambar 3: Pengaruh Penggunaan Karbon Aktif Terhadap TSS Akhir Air Asam Tambang

Pada Gambar 3 di atas dapat dilihat efisiensi penyisihan TSS terhadap penggunaan hasil filtrasi menggunakan karbon aktif, nilai efisiensi penyisihan TSS justru paling tinggi terdapat pada karbon tanpa aktivasi 65,79%, dibandingkan dengan karbon aktif NaOH 49,12%, H₃PO₄ 36,84% dan HCl 45,61%. Hal ini terjadi karena karbon tanpa aktivasi masih mempertahankan struktur makropori dan mesopore, yang lebih sesuai untuk menangkap partikel tersuspensi berukuran besar. Sebaliknya, karbon

aktif yang diaktivasi kimia cenderung membentuk mikropori yang meningkatkan luas permukaan dan efektif untuk adsorpsi molekul kecil seperti ion logam, tetapi tidak ideal untuk menyerap TSS (Prayogatama & Kurniawan, 2022).

3.3 Pengaruh Filtrasi Karbon Aktif Kayu Sengon Terhadap Parameter Fe dan Mn



Gambar 4: Pengaruh Penggunaan Filtrasi Karbon Aktif Terhadap Efisiensi Penyisihan Logam Fe (a) dan Logam Mn (b) Air Asam Tambang

Berdasarkan Gambar 4 hasil penelitian menunjukkan bahwa filtrasi menggunakan karbon aktif kayu sengon tidak mampu menyisihkan logam Fe dan Mn secara efektif. Seluruh variasi karbon aktif menghasilkan nilai efisiensi negative, dengan nilai terendah pada Fe yaitu -9,09% (aktivator HCl), dan pada Mn sebesar -10,63% (aktivator H₃PO₄). Hal ini disebabkan oleh kondisi air asam tambang yang memiliki pH sangat rendah (2,35), yang menyebabkan permukaan karbon aktif mengalami protonasi, sehingga gugus fungsional seperti COO^- , OH , Dan PO_4^{3-} berubah menjadi bentuk netral (COOH , OH_2^+ , H_2PO_4^-) dan kehilangan kemampuan berikatan dengan ion logam. Muatan positive pada permukaan karbon akibat protonisasi ini juga mengakibatkan tolak-menolak elektrostatis terhadap ion logam Fe^{2+} dan Mn^{2+} , yang bermuatan positif. Akibatnya, bukan hanya tidak terjadi adsorpsi, tetapi juga terjadi desorpsi atau pelepasan logam dari permukaan karbon kedalam larutan (Raut et al., 2021; Yang et al., 2019). Berdasarkan hasil uji SEM-EDX, terdeteksi adanya kandungan logam indium pada karbon aktif kayu sengon. Kandungan ini berasal dari lingkungan tumbuh dilahan reklamasi pascatambang, dan keberadaannya dapat turut menghambat kemampuan karbon dalam menyerap logam Fe dan Mn (Kavand et al., 2020).

3.4 Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi aktivator karbon aktif terhadap parameter pH, Fe, Mn, dan TSS. Langkah awal adalah uji normalitas dan homogenitas sebagai prasyarat sebelum uji one way ANOVA dan T-Test. Jika hasil uji menunjukkan nilai signifikansi (Sig.) > 0,05, maka data dianggap berdistribusi normal dan homogen, sehingga analisis dapat dilanjutkan. Hasil dari uji ini disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2: Hasil Uji Statistik Variasi Aktivator Terhadap Parameter pH, Fe, Mn, dan TSS

Parameter	Variasi	Uji Normalitas	Uji Homogenitas	Uji Lanjutan	Hasil Sig.	Kesimpulan
pH	Aktivator	Tidak Normal	-	Kruskal-Wallis	0,748	Tidak Berpengaruh
Fe	Aktivator	Tidak Normal	-	Kruskal-Wallis	0,234	Tidak Berpengaruh
Mn	Aktivator	Tidak Normal	-	Kruskal-Wallis	0,063	Tidak Berpengaruh
TSS	Aktivator	Normal	Homogen	One Way ANOVA	0,636	Tidak Berpengaruh

Uji normalitas terhadap data variasi aktivator karbon aktif dan penambahan teknologi membran RO menunjukkan bahwa beberapa data tidak terdistribusi normal dikarenakan adanya ketidakhomogenan variasi antar kelompok. Oleh karena itu, digunakan uji non-parametrik Kruskal-Wallis dan Mann-Whitney sebagai alternatif. Berdasarkan data pada tabel yang dijelaskan sebelumnya, diketahui bahwa variasi penggunaan aktivator karbon aktif kayu sengon tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penyisihan parameter pH (sig. 0,748), Fe (sig. 0,234), Mn (sig. 0,063), dan TSS (sig. 0,636), dengan nilai signifikansi $>0,05$. Hal ini konsisten dengan hasil efisiensi penyisihan masing-masing parameter yang telah dibahas sebelumnya, dimana seluruh variasi karbon aktif, baik yang diaktivasi dengan NaOH, H_3PO_4 , HCl, maupun tanpa aktivasi, tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam meningkatkan performa penyisihan TSS, logam Fe dan Mn, serta meningkatkan pH pada air asam tambang ketika digunakan secara tunggal. Berdasarkan hasil analisis statistik, sistem filtrasi yang dikembangkan belum menunjukkan kinerja optimal dalam menurunkan konsentrasi parameter pencemar secara signifikan. Hal ini diduga disebabkan oleh keterbatasan luas permukaan adsorben, distribusi ukuran pori yang belum sesuai, serta kondisi operasi (waktu kontak, laju alir, dan dosis adsorben) yang belum teroptimasi. Selain itu, kemungkinan adanya kompetisi ion dalam larutan serta sifat kimia pencemar yang kompleks turut memengaruhi efektivitas proses filtrasi.

4. Kesimpulan

Karakteristik awal air asam tambang dari kolam void memiliki nilai pH sebesar 2,35, nilai TSS sebesar 38 mg/L, logam Fe sebesar 69,75 mg/L, dan nilai Mn sebesar 8,06 mg/L. filtrasi menggunakan karbon aktif dari kayu sengon dengan variasi aktivator kimia seperti NaOH, H_3PO_4 , HCl dan tanpa aktivator menunjukkan bahwa variasi tanpa aktivator memberikan efisiensi maksimum terhadap penurunan TSS sebesar 65,79%, dan mampu menaikkan pH hingga 2,7. Tetapi dari semua variasi aktivator karbon aktif tidak bisa menyisihkan parameter Fe dan juga parameter Mn.

Disarankan penelitian selanjutnya yaitu pengujian lebih detail terhadap proses pembuatan karbon aktif dari kayu sengon, seperti mengatur suhu dan waktu pembakaran, jenis bahan aktivator, dan kecepatan pemanasan agar diperoleh kualitas terbaik. Selain itu, perlu dilakukan analisis yang lebih lengkap untuk melihat struktur dan kemampuan penyerapan karbon aktif, serta uji coba pada air limbah asli pascatambang dengan sumber kayu lain untuk melihat keunggulannya.

Acknowledgments

Penelitian ini didanai oleh Institut Teknologi Kalimantan melalui skema Riset Pengembangan Pusat Unggulan Iptek (PUI) berdasarkan kontrak nomor 13390/IT10.L1/PPM.04/2025.

References

- Adhi Setiaprja, L., Sururi, M. R., & Rachmawati, V. (2023). Potensi Limbah Biomassa Menjadi Karbon Aktif Sebagai Upaya Resources Recovery : Studi Literatur. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), 7795–7800. <https://doi.org/10.32672/Jse.V9i1.741>
- Arifin, U. R. S., Jadid, M. M. E., & Widiono, B. (2023). Pengolahan Limbah Air Asam Tambang Emas Dengan Proses Netralisasi Koagulasi Flokulasi. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 5(2), 112–120. <https://doi.org/10.33795/Distilat.V5i2.42>
- Busyairi, M., Firlina, F., Sarwono, E., & Saryadi, S. (2019). Pemanfaatan Serbuk Kayu Meranti Menjadi Karbon Aktif Untuk Penurunan Kadar Besi (Fe), Mangan (Mn) Dan Kondisi Ph Pada Air Asam Tambang. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 11(2), 87–101. <https://doi.org/10.20885/Jstl.Vol11.Iss2.Art1>
- Dirgawati, M., Sururi, M. R., & Ridwan, Y. S. (2024). Perencanaan Sistem Pemanenan Air Hujan Sebagai Teknologi Alternatif Penyediaan Air Bersih Di Kawasan Pemukiman Kepadatan Tinggi. 25(2), 246–256.
- Erawati, E., & Fernando, A. (2018). Pengaruh Jenis Aktivator Dan Ukuran Karbon Aktif Terhadap Pembuatan Adsorbent Dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon (Paraserianthes Falcataria). *Jurnal Integrasi Proses*, 7(2), 58. <https://doi.org/10.36055/Jip.V7i2.3808>
- ESDM. (2024). *Laporan Kinerja Ditjen Mineral Dan Batubara 2024*. 1–23.
- Guizani, C., Sorsa, O., Siipola, V., Ohra-Aho, T., Paalijärvi, R., Pasanen, A., Mäkelä, M., Kalliola, A., Vilkinen, M., & Torvinen, K. (2024). The Effects Of Lignin Structure On The Multiscale Properties And Electrochemical Performance Of Activated Carbons. *Biomass Conversion And Biorefinery*, 14(17), 21149–21163. <https://doi.org/10.1007/S13399-023-04373-9>
- Hailu, G., & Abubeker, S. (2023). Adaptation And Performance Evaluation Closed Drum Type Carbonizer For

- Waste Biomass. *American Journal Of Food Science And Technology*, 2(1), 21–25. <https://doi.org/10.54536/Ajfst.V2i1.1508>
- Imani, A., Sukwika, T., & Febrina, L. (2021). Karbon Aktif Ampas Tebu Sebagai Adsorben Penurun Kadar Besi Dan Mangan Limbah Air Asam Tambang. *Jurnal Teknologi*, 13(1), 33–42. <https://dx.doi.org/10.24853/Jurtek.13.1.33-42>
- Kavand, M., Eslami, P., & Rازه, L. (2020). The Adsorption Of Cadmium And Lead Ions From The Synthesis Wastewater With The Activated Carbon: Optimization Of The Single And Binary Systems. *Journal Of Water Process Engineering*, 34(August 2019), 101151. <https://doi.org/10.1016/J.Jwpe.2020.101151>
- Khalaf Erabee, I., & M. Ethaib, S. (2018). Performane Of Activated Carbon Adsorption In Removing Of Organic Pollutants From River Water. *International Journal Of Engineering & Technology*, 7(4.20), 356–358. <https://doi.org/10.14419/Ijet.V7i4.20.26134>
- Kurnia Sari, D., Kusniawati, E., & Srimardani, R. (2020). Volume 11 No. 01 Juli 2020. *Peningkatan Kualitas Air Asam Tambang Menggunakan Zeolit Dan Bakteri Sebagai Media Adsorpsi Dengan Metode Sedimentasi Secara Anaerob Di Pt Bukit Asam, Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan*, 11(01), 13–21.
- Lorenzo, A. (2024). *Maintenance Of Ph Stability During Ion-Exchange Chromatography Elution*. 15(3), 2024. <https://doi.org/10.35248/2229-4708.24.15.273>
- Maulida, S. A., & Purwanti, I. F. (2023). Kajian Pengolahan Air Asam Tambang Industri Pertambangan Batu Bara Dengan Constructed Wetland. *Jurnal Teknik Its*, 12(1). <https://doi.org/10.12962/J23373539.V12i1.111230>
- Miarti, A., & Anike, R. S. (2022). E Efektifitas Karbon Aktif Tongkol Jagung Terhadap Kadar Ph, Tss Dan Tds Pada Limbah Cair Pt Perta Samtan Gas. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 13(01), 18–24. <https://doi.org/10.52506/Jtpa.V13i01.139>
- Muhammad Aziz Rahmatullah, Sri Widayati, & Solihin. (2023). Pengelolaan Air Asam Tambang Menggunakan Karbon Aktif Fine Coal Di Penambangan Batubara. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 47–54. <https://doi.org/10.29313/Jrtp.V3i1.2126>
- Murati, F., Iashania, Y., Firdayanti, N., Melinda, S., Yakub Reba, I., Jurusan, D., Teknik Pertambangan, P., Palangka Raya, U., Jurusan, M., & Palangka Raya Korespondensi, U. (2024). Pengelolaan Dan Pengendalian Air Asam Tambang Pada Kegiatan Pertambangan Batubara (Management And Control Of Acid Mine Water In Coal Mining Activities). *Jurnal Teknologi Pertambangan (JTP)*, 24(1), 44–51.
- Mustafa, Firman, Sirajuddin, Wahyudi, & Muh.Amin. (2023). Pengaruh Aktivator Hcl, H3PO4, NH4Cl Terhadap Kualitas Karbon Aktif Dari Tempurung Kelapa. *Majalah Teknik Industri*, 31(1), 33–40. <https://doi.org/10.61844/Majalahteknikindustri.V31i1.669>
- Nandari, W. W., Zabrina, N., & Sitta, M. P. (2024). Pengaruh Jenis Dan Konsentrasi Aktivator Pada Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa. *Jurnal Kimia Dan Rekayasa*, 4(2), 71–77.
- Prayogatama, A., & Kurniawan, T. (2022). Modifikasi Karbon Aktif Dengan Aktivasi Kimia Dan Fisika Menjadi Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 11(1), 47–58. <https://dx.doi.org/10.23887/Jst-Undiksha.V11i1>
- Putra, A. F. R., Wardenaar, E., & Husni, H. (2018). Analisa Komponen Kimia Kayu Sengon (Albizia Falcataria (L.) Fosberg) Berdasarkan Posisi Ketinggian Batang. *Jurnal Hutan Lestari*, 6(1), 83–89.
- Rahayu, N. L., Teknik, F., Universitas, I., Umar, T., Kesehatan, F., Universitas, M., & Umar, T. (2020). *Analisis Logam Berat (Mn , Fe , Cd), Sianida Dan Nitrit*. 18(1), 20–26.
- Raut, E. R., Thakur, A. B., & Chaudhari, A. R. (2021). Review On Toxic Metal Ions Removal By Using Activated Carbon Prepared From Natural Biomaterials. *Journal Of Physics: Conference Series*, 1913(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1913/1/012091>
- Saleh, M., El Enany, G., Elzahar, M., & Omran, M. (2017). Industrial Wastewater Treatment Improvements Using Limestone. *Journal Of Environmental Studies And Researches*, 7(2), 910–918. <https://doi.org/10.21608/Jesr.2017.286985>
- Saputra, F. A. (2018). Pengolahan Limbah Cair Berminyak Dengan Teknologi Membran. *Tek. Kim. Inst. Teknol. Bandung*, May. https://www.researchgate.net/profile/Firmansyah-Saputra-2/publication/303370787_Pengolahan_Limbah_Cair_Berminyak_Dengan_Teknologi_Membran/links/573ebe1f08ae9f741b3132a8/Pengolahan-Limbah-Cair-Berminyak-Dengan-Teknologi-Membran.Pdf
- Yang, X., Wan, Y., Zheng, Y., He, F., Yu, Z., Huang, J., Wang, H., Ok, Y. S., Jiang, Y., & Gao, B. (2019). Surface Functional Groups Of Carbon-Based Adsorbents And Their Roles In The Removal Of Heavy Metals From Aqueous Solutions: A Critical Review. *Chemical Engineering Journal*, 366(February), 608–621. <https://doi.org/10.1016/J.Cej.2019.02.119>
- Yuliastuti, R., & Dwicahyono, H. (2018). Penggunaan Karbon Aktif Yang Teraktivasi Asam Phosphat Pada Limbah Cair Industri Krisotil. *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri*, 3(1), 23–26. <https://doi.org/10.36048/Jtpii.V3i1.3974>