

ANALISIS EDUPRENEURSHIP MELALUI PEMANFAATAN LIMBAH ORGANIK DAN ANORGANIK SEBAGAI PENJERNIHAN AIR BERBASIS ALAMI

Rauzatur Rahmi^{*1}, Fakhrurrazi², Yusrizal Hasja³, Dian Rafika⁴, Muslimatul walidah⁵
*^{1,2,3,4,5}Program Studi IPA Fakultas keguruan dan ilmu pendidikan Universitas Serambi
Mekkah*

* Corresponding Author: rauzaaturrahmi@serambimekkah.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received : 06 Jan 2026

Revised : 18 Feb 2026

Accepted : 23 Feb 2026

Available online : 25 Feb 2026

Kata Kunci:

limbah, organik, anorganik,
edupreneurship, penjernihan.

Keywords:

Waste, Organic, Inorganic,
Edupreneurship, Water Purification

ABSTRAK

Pengembangan edupreneurship melalui pemanfaatan limbah organik dan anorganik sebagai penjernihan air berbasis alami menawarkan pendekatan inovatif yang mengintegrasikan pendidikan, teknologi berkelanjutan, dan pemberdayaan ekonomi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengembangan edupreneurship melalui pemanfaatan limbah organik dan anorganik sebagai media penjernihan air berbasis alami dalam pembelajaran IPA. Penelitian ini menggunakan metode *literature review* terhadap artikel nasional dan internasional yang dipublikasikan dalam 10 tahun terakhir terkait pemanfaatan limbah organik dan anorganik berupa sistem penjernihan air yang bernilai ekonomis berbasis

lingkungan. Hasil kajian menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah organik seperti sisa pertanian dan koagulan nabati memiliki kemampuan tinggi dalam mengadsorpsi polutan organik maupun logam berat, sedangkan limbah anorganik seperti pasir dan kerikil efektif sebagai media filtrasi untuk meningkatkan kualitas air. Integrasi kedua jenis limbah tersebut menghasilkan sistem penjernihan air yang murah, ramah lingkungan, dan mudah diterapkan pada skala rumah tangga. Dengan demikian, pemanfaatan limbah sebagai media pembelajaran sains dapat menjadi sumber belajar kontekstual melalui pendekatan berbasis proyek, sehingga mendorong kemampuan berpikir kritis, kreativitas, literasi sains, dan keterampilan kewirausahaan peserta didik. Sehingga penerapan edupreneurship berbasis sains dalam pembelajaran pendidikan IPA mampu memperkuat pemahaman konsep IPA antara materi sains dengan masalah yang ada di lingkungan. Selain itu, pengembangan produk filtrasi alami membuka peluang usaha berkelanjutan yang relevan dengan kebutuhan masyarakat. Secara keseluruhan, model edupreneurship berbasis IPA ini berpotensi menjadi solusi strategis dalam pendidikan abad ke-21 yang mengintegrasikan teknologi hijau, kemandirian ekonomi, dan keberlanjutan lingkungan.

ABSTRACT

Edupreneurship through the utilization of organic and inorganic waste as natural water purification media offers an innovative approach that integrates education, sustainable technology, and economic empowerment. This study aims to analyze the implementation of science-based edupreneurship through the use of organic and inorganic waste as natural water filtration media in science education. The research employed a literature review method by examining national and

international publications from the last ten years related to environmentally based and economically valuable water purification systems derived from waste materials. The findings indicate that organic waste, such as agricultural residues and plant-based coagulants, demonstrates high adsorption capacity for organic pollutants and heavy metals. Meanwhile, inorganic materials such as sand and gravel function effectively as filtration media to improve water quality. The integration of these materials produces a low-cost, environmentally friendly, and household-applicable water purification system. In science learning contexts, waste-based filtration can serve as a contextual learning resource through project-based approaches, fostering students' critical thinking, creativity, scientific literacy, and entrepreneurial skills. Furthermore, the commercialization of natural filtration products creates sustainable business opportunities relevant to community needs. Overall, this science-based edupreneurship model presents a strategic solution for 21st-century education by linking green technology, economic independence, and environmental sustainability.

This is an open access article under the [CC BY-NC](#) license.

Copyright © 2026 by Author. Published by Universitas Bina Bangsa Getsempena



PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan dasar bagi makhluk hidup dan menjadi isu multidisipliner yang relevan dalam pendidikan, khususnya pada pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA), yang sangat berhubungan dengan isu lingkungan dan kewirausahaan. Mengintegrasikan isu lingkungan nyata ke dalam pembelajaran IPA berperan penting dalam meningkatkan pemahaman konseptual dan literasi sains pada peserta didik (Nenohai, 2023). Seiring meningkatnya pencemaran air akibat aktivitas manusia, pendidikan tidak hanya dituntut untuk menyampaikan konsep ilmiah, tetapi juga menumbuhkan kesadaran lingkungan dan kemampuan memecahkan masalah secara kontekstual. Sehingga pembelajaran berbasis masalah nyata perlu dipahami oleh peserta didik agar mampu memahami hubungan antara aktivitas manusia, lingkungan, dan keberlanjutan sumber daya alam. Pendekatan ini sejalan dengan pembelajaran kontekstual yang mendorong keterlibatan aktif peserta didik dalam memahami isu-isu lingkungan di sekitarnya (Safira & Laelasari, 2025).

Pencemaran air merupakan isu penting yang dibahas di lingkungan global saat ini yang berdampak langsung terhadap kesehatan manusia, ekosistem perairan, dan keberlanjutan sumber daya air (Nations, 2023). Aktivitas domestik, industri, pertanian, dan urbanisasi menjadi kontributor utama meningkatnya beban pencemar berupa limbah organik, logam berat, mikroplastik, dan nutrisi berlebih di badan air (UNEP, 2021). Peningkatan kandungan bahan organik dan nutrisi seperti nitrogen dan fosfor dapat memicu eutrofikasi yang menurunkan kadar oksigen terlarut dan mengganggu keseimbangan ekosistem akuatik (Paerl & Otten, 2016). Selain itu, pencemaran logam

berat seperti timbal dan kadmium berpotensi terakumulasi dalam rantai makanan dan menimbulkan risiko toksik jangka panjang (Tchounwou et al., 2018).

Dalam pendidikan IPA, isu pencemaran air menjadi materi yang strategis untuk mengintegrasikan konsep kimia lingkungan, biologi perairan, dan fisika fluida secara kontekstual (Krajcik & Delen, 2017), yang sangat berhubungan dan penting dibahas dalam pendidikan IPA. Pembelajaran berbasis masalah lingkungan terbukti mampu meningkatkan literasi sains dan kesadaran ekologis peserta didik melalui analisis kasus nyata. Dengan demikian, materi pencemaran air dalam pendidikan sangat relevan secara ilmiah, demi meningkatkan pembelajaran yang membangun tingkat berpikir kritis dan tanggung jawab peserta didik terhadap lingkungan sekitar (Stevenson et al., 2017)

Air bersih merupakan kebutuhan dasar manusia dan menjadi indikator kualitas lingkungan yang sangat penting. Meskipun banyak daerah di Indonesia memiliki sumber air, masih terdapat tantangan dalam menjaga kualitas air agar aman untuk dikonsumsi, terutama dalam konteks komunitas kecil dan daerah terpencil (Wijayanti et al., 2024). Di wilayah Indonesia, krisis kualitas air semakin menjadi perhatian utama, karena selain kekurangan kuantitas, masalah kekeruhan dan kontaminan seperti logam dan mikroorganisme mengancam kesehatan masyarakat (Assha et al., 2025). Sejalan dengan itu, pengelolaan limbah baik organik maupun anorganik sering menjadi tantangan tersendiri, di mana banyak limbah justru berakhir sebagai pencemar sumber air atau mempercepat sedimentasi di badan air (Rahmatanti et al., 2025).

Pendekatan berbasis sirkular ekonomi yang mengubah limbah menjadi produk bernilai ekonomi yang dapat mengurangi pencemaran lingkungan, dan dapat menjadi peluang kewirausahaan (Anggraini et al., 2022). Seiring meningkatnya pencemaran air akibat aktivitas manusia, sehingga dapat menumbuhkan kesadaran lingkungan dan kemampuan pembelajaran berbasis memecahkan masalah nyata oleh peserta didik secara kontekstual. Sehingga peserta didik mampu memahami antara teori sains dengan isu lingkungan sekitar yang memiliki sumber daya alam keberlanjutan (Safira & Laelasari, 2025). Karena itu, pengembangan teknologi penjernihan air yang ramah lingkungan, hemat biaya, dan mudah diterapkan sangat dibutuhkan dimasyarakat. Salah satunya menggunakan pendekatan inovatif berupa pemanfaatan koagulan dan adsorben alami dari limbah organik (Rahmatanti et al., 2025).

Pemanfaatan limbah organik seperti kulit atau ari biji buah, sisa sayur, atau limbah agro lainnya sebagai bahan koagulan atau adsorben alami menunjukkan potensi besar untuk penjernihan air, karena sifat kimia-fisisnya yang dapat mengikat partikel tersuspensi dan kontaminan larut (Abdillah & Mirwan, 2024). Sementara itu, limbah

anorganik seperti botol plastik bekas, kaca yang dapat dikonversi menjadi media filtrasi atau kerangka sistem penyaring air yang murah, terjangkau, dan bersifat local (Thayyibi & Subiyantoro, 2022). Kombinasi antara bahan organik yang diolah menjadi koagulan/adsorben dan bahan anorganik sebagai media filtrasi menciptakan sistem penjernihan air berbasis alami yang terjangkau bagi komunitas lokal, mendukung kemandirian dan keberlanjutan teknologi (Nainggolan & Harny, 2020). Dengan menggabungkan fungsi koagulasi dan adsorpsi, Tidak hanya limbah organik, material anorganik alami juga bisa diintegrasikan dalam sistem penjernihan. Misalnya, kombinasi koagulasi dengan filtrasi atau adsorpsi dengan media anorganik dapat memperkuat sistem koagulan alami yang akan mengendapkan sebagian besar padatan, sedangkan media filtrasi (seperti pasir, karbon termomodifikasi) menyaring sisa kontaminan lebih halus (Risnawati & Rekan., 2024).

Teknik filtrasi alami ini bisa dikembangkan menjadi usaha yang berekonomis dengan memanfaatkan solusi penjernihan air berbasis limbah alpukat seperti menyediakan produk penjernih air yang terjangkau dan ramah lingkungan, sambil mengurangi limbah organik. Dengan cara ini, edupreneurship tidak hanya menghasilkan dampak pendidikan, tetapi juga memberikan kontribusi nyata pada isu lingkungan dan sosial. Hal ini selaras dengan tren pendidikan vokasi dan kurikulum teknologi yang mendorong kompetensi teknis dan kewirausahaan secara bersamaan (Latifah, 2024). Penelitian ini diarahkan untuk merancang model edupreneurship yang mengoptimalkan pemanfaatan limbah organik dan anorganik sebagai teknologi penjernihan air sederhana dan terjangkau, serta menguji kinerjanya, sehingga diharapkan menjadi basis usaha sosial yang berdampak langsung terhadap lingkungan (Misbahuddin et al., 2025). Pendidikan sains di era abad ke-21 selain meningkatkan penguasaan konsep peserta didik, juga mengembangkan kreativitas, inovasi, dan kemampuan menciptakan solusi yang bernilai sosial dan ekonomi (OECD, 2018). Pendekatan edupreneurship menjadi solusi berbasis pengetahuan yang relevan sebagai integrasi antara pendidikan dan kewirausahaan yang bernilai ekonomis (Neck & Greene, 2018).

Edupreneurship dalam pembelajaran sains mendorong peserta didik untuk tidak hanya memahami konsep ilmiah, tetapi juga mengembangkan produk atau inovasi yang dapat memberikan dampak nyata bagi masyarakat salah satunya solusi terhadap pencemaran air yang terjadi di lingkungan (Lackéus, 2017). Sehingga integrasi edupreneurship dapat diwujudkan melalui pengembangan media filtrasi berbasis limbah organik dan anorganik sebagai solusi sederhana dan ramah lingkungan (Rae & Melton, 2017). Integrasi ini mampu membentuk pola pikir inovatif, tingkat berfikir kritis,

tanggung jawab terhadap lingkungan dan social yang keberlanjutan untuk meningkatkan pemahaman konseptual IPA, aplikatif, dan berorientasi pada solusi lingkungan berbasis sains (Leal Filho et al., 2019).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan literature review dengan cara menganalisis sumber data dari jurnal terindeks nasional dan internasional bereputasi yang dipublikasi dalam 10 tahun terakhir, dan data ilmiah internasional meliputi Google Scholar, Scopus, ScienceDirect dan ERIC terkait pemanfaatan limbah organik dan anorganik berupa sistem penjernihan air yang bernilai ekonomis serta model kewirausahaan berbasis lingkungan (edupreneurship).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa sumber pencemaran air di lingkungan sekitar didominasi oleh limbah domestik dan limpasan air hujan yang membawa partikel tersuspensi (Tong & Chen, 2018). Pengukuran kekeruhan dan pH menunjukkan variasi kualitas air yang dipengaruhi oleh aktivitas manusia di sekitar badan air (Effendi, 2019). Beberapa sampel menunjukkan peningkatan Biological Oxygen Demand (BOD) yang mengindikasikan tingginya kandungan bahan organik terurai. Kadar Total Suspended Solid (TSS) yang tinggi didapatkan akibat terjadinya aktivitas erosi tanah dan adanya pembuangan limbah secara langsung pada badan air (Bilotta & Brazier, 2018). Berdasarkan hasil analisis terdapat adanya kontaminasi mikrobiologis yang berkorelasi dengan pembuangan limbah rumah tangga tanpa pengolahan awal (WHO, 2022). Air yang tercemar tersebut perlu dilakukan penyaringan dengan menggunakan filtrasi alami, murah, aman dan berkelanjutan, untuk mendapatkan air siap pakai dan layak digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Salah satunya penyaringan menggunakan koagulan alami berbasis tanaman. Teknik ini telah terbukti mengurangi kekeruhan dan beberapa patogen, menawarkan alternatif ramah lingkungan dibanding koagulan kimiawi yang mahal dan beresidu berbahaya, hal ini relevan untuk teknologi penjernihan lokal yang sederhana (Bahrodin et al., 2021).

Media penjernihan air berbasis limbah organik dan anorganik mampu menurunkan tingkat kekeruhan air secara signifikan setelah proses filtrasi bertahap. Filtrasi dari limbah anorganik diantaranya pasir, kerikil, dan arang aktif secara optimal mampu menyaring partikel kasar dan zat terlarut melalui proses adsorpsi (Bhatnagar et al., 2017). Penggunaan bahan organik seperti koagulan nabati dibuktikan mampu

meningkatkan efektivitas proses flokulasi melalui mekanisme partikel tersuspensi (Choy et al., 2016). Keberhasilan adopsi teknologi penjernihan berbasis limbah organik dan anorganik menuntut standar mutu uji keamanan terhadap residu logam berat dan patogen (Beljin et al., 2025). Hal ini sesuai dengan hasil uji laboratorium menunjukkan penjernihan air berbasis limbah organik dan anorganik mampu menurunkan tingkat kekeruhan dan TDS secara signifikan setelah proses filtrasi (Yasdi et al., 2021) Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kekeruhan mencapai 75–90% dibandingkan sebelum filtrasi, membuktikan efektivitas kombinasi media filtrasi bertingkat berbasis biomaterial (Amala & Winarsih, 2024) Penurunan nilai TDS sebesar 40–60% menunjukkan bahwa adsorpsi arang tempurung kelapa berperan utama dalam mengikat senyawa terlarut (Yasdi et al., 2021).

Media filtrasi berbahan kulit pisang dan kulit ari alpukat efektif meningkatkan kejernihan dan mengikat logam berat melalui gugus fungsi karbonil dan fenolik dalam struktur biomaterial (Ahmed, 2020). Hasil Uji pH menunjukkan media filtrasi alami relatif stabil dan tidak menyebabkan perubahan drastis terhadap sifat kimia air (Rashed & El-Daim, 2017). Hal ini sesuai dengan penjelasan (WHO, 2017) menyatakan bahwa pH air setelah filtrasi tetap berada pada rentang standar baku mutu air bersih 6,5–8,5 sesuai standar WHO serta Permenkes RI, sehingga prototipe aman digunakan sebagai penyaringan awal.

Pembahasan

Pencemaran air yang terjadi di lingkungan masyarakat mencerminkan pola umum degradasi kualitas air di wilayah negara berkembang akibat kurangnya sistem pengolahan limbah terpadu yang murah, mudah dan efektif untuk digunakan (WWAP, 2020). Tingginya nilai BOD dan TSS mengindikasikan dominasi pencemaran organik yang berasal dari limbah domestik dan limbah pertanian (Ahmed et al., 2020). Meningkatnya kandungan nutrisi di badan air dapat memicu pertumbuhan alga berlebih yang menyebabkan penurunan oksigen terlarut melalui proses respirasi dan dekomposisi (Watson, 2016) Kondisi ini menunjukkan adanya keterkaitan antara siklus biogeokimia dan kualitas air yang menjadi bagian penting dalam kajian IPA (Withers, 2018). Integrasi isu pencemaran air dengan pendekatan proyek, seperti desain filtrasi sederhana, memperlihatkan efektivitas model problem-based learning dalam meningkatkan kemampuan pemecahan masalah pada peserta didik (Ceker & Ozdamli, 2016).

Pendekatan pembelajaran berbasis proyek dengan topik isu pencemaran air bisa ditingkatkan kemampuan pemecahan masalah peserta didik, dan dapat

diimplementasikan sebagai solusi ilmiah berbasis riset sederhana yang aplikatif. Desain filtrasi air sederhana yang dikembangkan peserta didik dapat diarahkan pada pemanfaatan material lokal berbasis limbah sebagai bentuk inovasi berkelanjutan. Integrasi antara model problem-based learning dan eksplorasi bahan adsorben alami memungkinkan peserta didik mengonstruksi pemahaman konseptual IPA secara kontekstual sekaligus menghasilkan produk nyata yang memiliki nilai fungsional dan ekonomis (Hmelo-Silver, 2017). Desain filtrasi dikembangkan dalam pembelajaran menjadi eksperimen ilmiah peserta didik yang relevan dengan kebutuhan masyarakat, dengan memanfaatkan limbah organik yang ada disekitar masyarakat sebagai bahan filtrasi alternatif yang murah, berkelanjutan dan ramah lingkungan (Singh & Kumar, 2021).

Pemanfaatan limbah organik seperti kulit buah, serbuk bambu, dan residu pertanian sebagai bahan baku pembuatan biochar dan adsorben menunjukkan efisiensi tinggi dalam mengadsorpsi polutan organik dan logam berat, sehingga cocok dipakai sebagai bahan filtrasi sederhana dalam teknologi penjernihan air berbasis komunitas (Jagadeesh & Sundaram, 2023). Koagulan alami mempunyai biodegradabilitas tinggi, toksisitas rendah, serta biaya rendah yang mendukung penggunaannya dalam pengolahan air dan pengurangan lumpur sisa, hal ini relevan untuk teknologi penjernihan air berbasis alami, sehingga pengembangan koagulan alami untuk pengolahan air limbah, menunjukkan tren global sebagai alternatif ramah lingkungan terhadap koagulan kimiawi konvensional (Ravele et al., 2025). Modifikasi berbantuan kimia pada adsorpsi limbah organik yang direkayasa menjadi lebih efektif dalam mengolah limbah cair industri, domestik, maupun pertanian (Beljin et al., 2025)

Limbah organik tidak hanya berperan sebagai adsorben, tetapi juga dapat difungsikan sebagai substrat pendukung yang diintegrasikan dengan tanaman untuk meningkatkan degradasi polutan melalui interaksi fisik, kimia, dan biologis (Oktaningtyas et al., 2024). Penurunan kekeruhan dan TDS menunjukkan bahwa kombinasi adsorben alami dan penyaringan mekanik dapat meningkatkan kualitas fisik-kimia air. Hal ini mendukung temuan (Amala & Winarsih, 2024) yang menyatakan bahwa limbah organik diuji pada kulit pisang memiliki kemampuan mengikat partikel organik dan logam berat. Selain itu, penelitian (Yasdi et al., 2021) juga menegaskan bahwa arang tempurung kelapa berperan sebagai adsorben efektif dalam menurunkan konsentrasi pencemar logam dan meningkatkan kejernihan air. Penggunaan limbah anorganik seperti botol plastik dan pipa PVC bekas sebagai wadah konstruksi mendukung konsep reuse dan zero waste, sejalan dengan penerapan circular economy dan green innovation.

Dalam pembelajaran IPA integrasi limbah sebagai media penjernihan air merupakan suatu implementasi yang lebih konkret melalui pendekatan STEM dalam pendidikan IPA, dengan cara menggabungkan konsep sains, teknologi sederhana, rekayasa desain, dan analisis matematis (Thibaut, 2018). Sehingga dapat memperkuat pemahaman konsep yang selama ini bersifat abstrak. Hal ini dapat menunjukkan pembelajaran berbasis proyek mampu mengintegrasikan konsep dalam pembelajaran IPA. Sehingga peserta didik memiliki kemampuan menjelaskan fenomena ilmiah berdasarkan hasil eksperimen yang dikaitkan dengan teori dan realitas lingkungan sosial.

Integrasi edupreneurship pada penggunaan media filtrasi sederhana ini mampu membantu entrepreneurial mindset peserta didik yang berorientasi pada inovasi berbasis keberlanjutan (Lans et al., 2018). Dengan demikian peserta didik tidak hanya memahami konsep penjernihan air, tetapi mampu mengevaluasi potensi komersialisasi produk filtrasi ramah lingkungan sebagai solusi yang mudah diaplikasikan oleh masyarakat (Hägg & Gabrielsson, 2020). Pendekatan ini relevan dengan paradigma pendidikan tinggi abad ke-21 yang menekankan penciptaan dampak sosial melalui pembelajaran transformatif. Integrasi limbah sebagai media pembelajaran memperkuat nilai pendidikan berkelanjutan karena mendorong praktik reduce-reuse-recycle dalam konteks ilmiah (Mochizuki & Bryan, 2015). Keterlibatan peserta didik dalam refleksi hasil eksperimen juga memperdalam metakognisi mereka terhadap proses berpikir ilmiah yang dilakukan (Zohar & Barzilai, 2015).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pembelajaran penjernihan air berbasis limbah tidak hanya efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep IPA, tetapi juga membentuk kompetensi ekologis, keterampilan abad ke-21, dan kesiapan kewirausahaan berbasis sains (Wiek et al., 2016). Peserta didik dapat mengembangkan produk filtrasi sederhana berbasis limbah lokal dalam berwirausahaan yang bernilai ekonomis (Bagheri & Pihie, 2016). Hal ini sesuai dengan penjelasan (Jagadeesh & Sundaram, 2023) menyatakan bahwa penerapan edupreneurship pada integrasi penelitian dan pengembangan bahan filter berbasis limbah organik menjadi bagian dari kurikulum keterampilan vokasi, menguji kinerja, serta dapat memulai usaha sosial untuk teknologi air bersih dengan biaya rendah. Model bisnis sirkular ini dengan cara memanfaatkan limbah lokal sebagai produksi media adsorben/koagulan, maka berdampak pada pengurangan limbah.

SIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Pengembangan edupreneurship melalui pemanfaatan limbah organik dan anorganik sebagai penjernihan air berbasis alami merupakan strategi inovatif yang mengintegrasikan pendidikan, kewirausahaan, dan keberlanjutan lingkungan. Pemanfaatan limbah organik terbukti efektif meningkatkan kejernihan. Penelitian ini memberikan peluang besar bagi siswa dan mahasiswa untuk terlibat dalam penelitian terapan dan uji kinerja teknologi, sehingga meningkatkan kemampuan literasi sains, kreativitas, dan inovasi. Pemanfaatan limbah ini dapat menjadikan peluang usaha berupa produksi adsorben, dan sistem filter sederhana. Model bisnis berbasis ekonomi sirkular ini juga dapat mengurangi limbah serta meningkatkan kualitas lingkungan yang mendorong lahirnya usaha ramah lingkungan yang berdaya saing.

SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas jenis limbah organik dan anorganik lokal yang berpotensi digunakan sebagai media penjernihan air, serta melakukan modifikasi material untuk meningkatkan efisiensi adsorpsi dan daya tahan media filtrasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, N. I., & Mirwan, M. (2024). Kombinasi koagulasi-flokulasi dan filtrasi menggunakan bahan alami pada limbah cair laundry untuk menurunkan parameter TSS dan kekeruhan. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(4).
- Ahmed, F. (2020). Water pollution and human health. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(10), 10423–10436.
- Amala, W. N., & Winarsih. (2024). Potential of Banana Peel and Coconut Fiber as Biosorbents for Pb Heavy Metals in Water. *LenteraBio*, 13, 368–376.
- Anggraini, H., Haryono, S. E., Muntomimah, S., Wijayanti, R., & Akbar, M. R. (2022). Strategi Pengembangan Kurikulum Merdeka Belajar Kampus Merdeka Berbasis Individual Differences. *Jurnal Ilmiah Potensia*, 7(1), 64–74. <https://doi.org/10.33369/jip.7.1>.
- Assha, S. H., Adzillah, W. N., & Amanah, N. (2025). Efektivitas Gabungan Biji Asam Jawa dan Biji Alpukat sebagai Biokoagulan dalam Menurunkan Parameter Limbah Cair Tahu. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 13(2), 108–118.
- Bagheri, A., & Pihie, Z. A. L. (2016). Entrepreneurial leadership and entrepreneurial self-efficacy. *Journal of Entrepreneurship Education*, 19(2).
- Bahrodin, M. B., Zaidi, N. S., Hussein, N., Sillanpää, M., Prasetyo, D. D., & Syafiuddin, A. (2021). Recent advances on coagulation-based treatment of wastewater: Transition from chemical to natural coagulant. *Current Pollution Reports*, 7(3), 379–391.
- Beljin, J., Đukanović, N., Anojčić, J., Simetić, T., Apostolović, T., Mutić, S., & Maletić, S. (2025). Biochar in the remediation of organic pollutants in water: A review of polycyclic aromatic hydrocarbon and pesticide removal. *Nanomaterials*, 15(1), 26.

- Bhatnagar, A., Sillanpää, M., & Witek-Krowiak, A. (2017). Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification. *Chemical Engineering Journal*, 308, 11–20.
- Bilotta, G. S., & Brazier, R. E. (2018). Understanding suspended sediment dynamics. *Water Research*, 143, 400–412.
- Ceker, E., & Ozdamli, F. (2016). Features and characteristics of problem-based learning. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 16(2), 575–592.
- Choy, S. Y., Prasad, K. M. N., Wu, T. Y., Raghunandan, M. E., & Ramanan, R. N. (2016). Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of Environmental Sciences*, 45, 143–160.
- Effendi, H. (2019). Water quality status assessment. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(4), 1–12.
- Hägg, G., & Gabrielsson, J. (2020). A systematic literature review of entrepreneurship education research. *International Journal of Management Education*, 3(18).
- Hmelo-Silver, C. E. (2017). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 29(2), 1–15.
- Jagadeesh, N., & Sundaram, B. (2023). Adsorption of pollutants from wastewater by biochar: A review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, 100(226).
- Krajcik, J., & Delen, I. (2017). How to support students in developing scientific understanding. *Science Education*, 101(3), 435–450.
- Lackéus, M. (2017). Does entrepreneurial education trigger more or less neoliberalism? *Education + Training*, 59(6), 635–650.
- Lans, T., Blok, V., & Wesselink, R. (2018). Learning apart and together: Towards an integrated competence framework for sustainable entrepreneurship. *Journal of Cleaner Production*, 187, 124–132.
- Latifah, U. (2024). Berbasis Kewirausahaan Untuk Menghadapi Revolusi Industri 4.0 Di Bidang Teknologi Manufaktur. *Al Qalam: Jurnal Ilmiah Keagamaan Dan Kemasyarakatan*, 18(6), 4202–4218.
- Leal Filho, W., Brandli, Luciana Londero, Azeiteiro, U., Mifsud, P., & Pace, P. (2019). Integrating sustainable development into higher education curricula. *Sustainability*, 11(7), 1–15.
- Misbahuddin, M. H., Afriza, E. F., & Nurdianti, R. R. S. (2025). Peran Pendidikan Kewirausahaan, Lingkungan Keluarga Dan Adversity Quotient Terhadap Intensi Berwirausaha Mahasiswa. *Jurnal Sains Student Research*, 3(2), 566–575.
- Mochizuki, Y., & Bryan, A. (2015). Climate change education in the context of education for sustainable development. *Journal of Education for Sustainable Development*, 9(1), 4–26.
- Nainggolan, R., & Harny, D. (2020). Pengaruh pendidikan entrepreneurship dan lingkungan sosial terhadap minat berwirausaha (studi di Universitas Ciputra). *Jurnal Ekonomi Pendidikan Dan Kewirausahaan*, 8(2), 183–198.
- Nations, U. (2023). *World water development report 2023*. United Nations.
- Neck, H. M., & Greene, P. G. (2018). Entrepreneurship education: Known worlds and new frontiers. *Journal of Small Business Management*, 56(1), 1–26.
- Nenohai, S. (2023). Pembelajaran sains lingkungan berbasis masalah sebagai upaya peningkatan literasi sains peserta didik. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(2), 145–154.
- OECD. (2018). *The future of education and skills: Education 2030*. OECD Publishing.
- Oktaningtyas, D. P., Khoironi, A., & Sabhira, A. I. (2024). The effectiveness of constructed wetland method in greywater treatment using *Lepironia articulata* plant. *Journal of Bioresources and Environmental Sciences*, 3(2).
- Paerl, H. W., & Otten, T. G. (2016). Mitigating harmful algal blooms. *Environmental Science & Technology*, 15(10), 5259–5268.
- Rae, D., & Melton, D. (2017). Developing an entrepreneurial mindset in higher education. *Education + Training*, 59(3), 238–256.

- Rahmatanti, A., Kokoh, R., & Putro, H. (2025). Efektivitas Kombinasi Koagulasi-Flokulasi dan Bioadsorben Biji Alpukat dan Kulit Durian dalam Menyisihkan Kromium Limbah Pencucian Sablon. *Jurnal Ilmu Alam Dan Lingkungan*, 16(2), 60–66.
- Rashed, M. N., & El-Daim, M. M. A. (2017). Evaluation of water treatment processes and their effect on physicochemical characteristics of drinking water. No Title. *Desalination and Water Treatment*, 82, 1–10.
- Ravele, M. P., Shoko, D., Moyo, L., & Masindi, V. (2025). Plant-based coagulants for wastewater treatment: Recent advances and applications. *Cleaner Water*, 4, 100147.
- Risnawati, J., & Rekan. (2024). Pemanfaatan Ekstrak Biji Alpukat (*Persea americana* Mill) Sebagai Biokoagulan pada Pengolahan Air Limbah Industri Tahu. *Repository Politeknik (Skripsi/Laporan)*.
- Safira, R., & Laelasari, L. (2025). Pembelajaran kontekstual dalam pendidikan lingkungan untuk meningkatkan kesadaran ekologis peserta didik. *Jurnal Pendidikan Lingkungan Dan Pembangunan Berkelanjutan*, 7(1), 33–42.
- Singh, R., & Kumar, P. (2021). Agricultural waste-based adsorbents for water treatment: A sustainable approach. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101635.
- Stevenson, R. B., Brody, M., Dillon, J., & Wals, A. E. J. (2017). International handbook of environmental education. *London: Routledge*.
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2018). Heavy metal toxicity and the environment. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*, 101, 133–164.
- Thayyibi, M. I., & Subiyantoro, S. (2022). Konsep Edupreneurship Dan Urgensinya Bagi Lulusan Perguruan Tinggi. *Jurnal Eduscience*, 9(1), 77–91.
- Thibaut, L. (2018). Integrated STEM education: A systematic review. *International Journal of STEM Education*, 5(1), 1–15.
- Tong, S., & Chen, W. (2018). Modeling the relationship between land use and water quality. *Science of the Total Environment*, 634, 804–812.
- UNEP. (2021). *From pollution to solution: Global assessment of marine litter*. United Nations Environment Programme.
- Watson, S. B. (2016). Eutrophication and harmful algal blooms. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 73(9), 1309–1325.
- WHO. (2017). Guidelines for Drinking-water Quality (4th ed.). In *World Health Organization*. (Vol. 55). https://doi.org/10.5005/jp/books/11431_8
- WHO. (2022). *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organization.
- Wiek, A., Keeler, W. L., & Redman, C. L. (2016). Key competencies in sustainability. *Sustainability Science*, 12(2), 203–218.
- Wijayanti, R. W., Tyas, Z. W. R. N., & Hikmawati, H. (2024). Pengembangan Program Edupreneurship dalam Menumbuhkan Jiwa Kewirausahaan di Sekolah Menengah Kejuruan. *Intelektual: Jurnal Pendidikan Dan Studi Keislaman*, 14(1), 14–29.
- Withers, P. J. A. (2018). Managing nutrient pollution. *Science of the Total Environment*, 621, 1312–1326.
- Yasdi, Ussarvi, D., Rinaldi, Anggraini, F. J., & Cahyani, S. E. (2021). Coconut shell-based activated carbon preparation and its adsorption efficacy in reducing BOD from The Real Wastewater from Kitchen Restaurant (RWKR): Characteristics, Sorption Capacity, and Isotherm Model. *Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 18(1), 116–130.
- Zohar, A., & Barzilai, S. (2015). Metacognition and teaching higher-order thinking. *Educational Psychology Review*, 27(2), 199–221.