



Konflik pengelolaan logam berat dalam sistem pertanian berkelanjutan: Pemanfaatan kitosan cangkang kerang sebagai flokulan berteknologi elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi

Akhyar Arista Widya^{1*}, Desynia Widyasari², Eddi Prayitno³

¹ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta, Kulon Progo, Yogyakarta 55652, Indonesia;

² Program Studi Administrasi Perkantoran, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta, Kulon Progo, Yogyakarta 55652, Indonesia;

³ Program Studi Tata Boga, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta, Kulon Progo, Yogyakarta 55652, Indonesia.

*Korespondensi: akhyararista.2022@student.uny.ac.id

Disetujui: 31 Agustus 2024

ABSTRAK

Latar Belakang: Air merupakan unsur yang memiliki peran sentral dalam menjaga keberlanjutan kehidupan manusia dan ekosistem di Bumi. Air digunakan dalam berbagai aspek kehidupan sehari-hari, termasuk kebutuhan akan konsumsi, pertanian, maupun industri. Namun, masalah lingkungan saat ini menunjukkan bahwa kita mengalami gangguan serius dalam ekosistem air, terutama dalam hal pencemaran air. Dalam upaya mengatasi permasalahan ini, solusi yang diajukan adalah mengimplementasikan prinsip-prinsip elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi untuk mendaur ulang limbah cair industri tahu untuk mengatasi permasalahan serius pencemaran air. **Metode:** Penelitian ini berupa eksperimen yang menguji alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi, serta efektivitas kitosan cangkang kerang hijau sebagai adsorben. Penelitian akan dilakukan di Boyolali selama dua bulan, menggunakan tanaman cabai dan ikan nila sebagai sampel. Sampel diberikan tiga perlakuan: air limbah, air daur ulang, dan air sumur (kontrol). Prosedur penelitian meliputi pembuatan alat, pengujian, dan evaluasi. Data dianalisis melalui uji pH, suhu, DO, TAN, kandungan logam air, serta pertumbuhan tanaman dan daya tahan hidup ikan nila. **Temuan:** Prinsip elektrokoagulasi sebagai tahap awal dalam pengolahan limbah bertujuan untuk mengendapkan partikel-padatan melalui reaksi redoks, sementara tahap absorpsi menggunakan kitosan dari kerang hijau dirancang untuk menyaring ion-ion logam beracun secara efektif. Selanjutnya, filtrasi lanjutan dilakukan untuk meningkatkan efisiensi penyaringan. Selain manfaat lingkungan, inovasi ini juga memberikan potensi ekonomi melalui pemanfaatan kerang hijau untuk menghasilkan kitosan. Kitosan, dengan sifat-sifat kationik, biologi non-toksik, dan reaktif kimianya, menjadikannya sebagai agen absorpsi yang ideal. Dalam manajemen pelaksanaan solusi ini, ada empat tahap utama: 1) Tahap perencanaan (*Plan*); 2) Tahap pelaksanaan (*Implementation*); 3) Tahap kontrol (*Check*); 4) Tahap tindakan (*Action*); Implementasi. **Kesimpulan:** Hasil air daur ulang limbah tahu diharapkan mampu meningkatkan pertanian berkelanjutan, sebagai pengganti air pokok, terutama saat musim kemarau. **Kebaruan/Orisinalitas artikel ini:** Penelitian ini mengkaji solusi berkelanjutan untuk pencemaran air menggunakan elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi dengan kitosan cangkang kerang hijau, memanfaatkan potensi ekonomi kerang hijau, serta mengaplikasikan air daur ulang pada pertanian dan peternakan.

KATA KUNCI: absorpsi; elektrokoagulasi; filtrasi; pertanian berkelanjutan.

Kutip Artikel Ini:

Widya, A. A., Widyasari, D., & Prayitno, E. (2024). Konflik pengelolaan logam berat dalam sistem pertanian berkelanjutan: Pemanfaatan kitosan cangkang kerang sebagai flokulan berteknologi elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi. *Environment Conflict*, 1(2), 107-120. <https://doi.org/10.61511/environc.v1i2.2024.1263>

Hak cipta: © 2024 dari Penulis. Dikirim untuk kemungkinan publikasi akses terbuka berdasarkan syarat dan ketentuan dari the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



ABSTRACT

Background: Water plays a central role in sustaining human life and ecosystems on Earth. It is used in various aspects of daily life, including consumption, agriculture, and industry. However, current environmental issues indicate that we are experiencing severe disruptions in water ecosystems, especially concerning water pollution. To address this problem, the proposed solution is to implement the principles of electrocoagulation, adsorption, and filtration to recycle wastewater from the tofu industry and mitigate serious water pollution issues. **Methods:** This study is an experiment testing electrocoagulation, adsorption, and filtration devices, as well as the effectiveness of green mussel shell chitosan as an adsorbent. The study will be conducted in Boyolali for two months, using chili plants and Nile tilapia as samples. The samples will be given three treatments: wastewater, recycled water, and well water (control). The research procedure includes device fabrication, testing, and evaluation. Data will be analyzed through pH, temperature, DO, TAN, metal content in water, plant growth, and Nile tilapia survival rate tests. **Findings:** Electrocoagulation as the initial stage of wastewater treatment aims to precipitate solid particles through redox reactions, while the adsorption stage using chitosan from green mussels is designed to effectively filter toxic metal ions. Subsequently, advanced filtration is performed to enhance filtering efficiency. In addition to environmental benefits, this innovation also offers economic potential through the use of green mussels to produce chitosan. Chitosan, with its cationic properties, non-toxic biological profile, and chemical reactivity, makes it an ideal adsorption agent. The management of this solution involves four main stages: 1) Planning stage (Plan); 2) Implementation stage; 3) Control stage (Check); 4) Action stage; Implementation. **Conclusion:** The recycled wastewater from tofu production is expected to support sustainable agriculture, serving as a substitute for main water sources, especially during the dry season. **Novelty/Originality of this article:** This research explores a sustainable solution for water pollution using electrocoagulation, adsorption, and filtration with green mussel shell chitosan, leveraging the economic potential of green mussels, and applying recycled water to agriculture and aquaculture.

KEYWORDS: adsorption; electrocoagulation; filtration; sustainable agriculture.

1. Pendahuluan

Air merupakan salah satu unsur yang sangat penting bagi lingkungan hidup, termasuk untuk keberlangsungan hidup manusia. Hal ini mencakup seluruh kegiatan manusia mulai dari kebutuhan pangan dan kebutuhan industri. Lingkungan dapat dikatakan baik apabila unsur-unsurnya dapat terjaga dengan baik. Akan tetapi, yang terjadi pada lingkungan saat ini mulai terganggu. Sebagai contoh yaitu adanya pencemaran limbah cair yang dapat mengganggu hingga dapat menurunkan kualitas lingkungan. Limbah adalah bahan sisa dari suatu usaha atau aktivitas yang mengandung bahan berbahaya atau beracun. Salah satu sumber pencemaran air akibat limbah yakni dari sentra industri tahu. Industri tahu sendiri memiliki pertumbuhan yang sangat pesat, hal ini dikarenakan tingginya tingkat konsumen terhadap tahu. Pada tahun 2017 berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik di Kabupaten Boyolali sendiri terdapat 138 sentra industri tahu (Badan Pusat Statistik Kabupaten Boyolali, 2018).

Pada umumnya rumah tangga dan industri mengalirkan air limbahnya ke saluran pembuangan, permukaan tanah, sungai bahkan ke area pertanian. Ketika limbah tahu yang dibuang dalam sistem perairan tanpa pengelolaan yang tepat, dapat berdampak tidak hanya mempengaruhi ekosistem air dan keanekaragaman hayati saja, akan tetapi juga kesehatan manusia bahkan ketersediaan sumber daya air yang semakin terbatas. Hal ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Pembuangan limbah tahu di area sungai (Dokumentasi Survey Pendahuluan)

Selain itu, terdapat pula permasalahan mengenai keberadaan limbah kerang hijau juga menjadi salah satu persoalan. Dimana limbah cangkang kerang hijau kurang dimanfaatkan. Padahal, di dalam cangkang kerang hijau terdapat kandungan kitin yang mampu dijadikan produk kitosan. Kedua limbah tersebut jika tidak dikelola sebagai mana mestinya akan mengakibatkan kerusakan lingkungan.

Maka dari itu, peneliti mengajukan sebuah solusi untuk menangani hal tersebut, yaitu dengan mendaur ulang limbah cair untuk menjadi air jernih yang dapat digunakan kembali dengan menggunakan prinsip elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi, dengan melibatkan kitosan dari kerang hijau sebagai bahan absorben. Dengan demikian, diharapkan bahwa pendekatan inovatif ini mampu mengurangi dampak pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh limbah cair industri tahu. Selain itu, penelitian ini juga akan menganalisis penerapan penggunaan air hasil pengolahan tersebut terhadap produksi pertanian, guna mencapai efisiensi sumber daya air dan mendukung keberlanjutan pertanian.

1.1 Pencemaran lingkungan

Menurut SK Menteri Kependudukan Lingkungan Hidup No, 02/MENKLH/1988, Pencemaran Lingkungan adalah penggabungan bahan kimia, energi, dan benda kehidupan dan/atau zat lain ke udara atau air, dan/atau modifikasi urutan komposisi udara dan air karena tindakan dan prosedur manusia alam, sehingga kualitas air dan udara menjadi atau tidak lagi dapat beroperasi sesuai dengan namanya (Kementrian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup, 1988). Pencemaran lingkungan harus dikendalikan dengan menetapkan standar kualitas lingkungan untuk menghentikan lingkungan terkontaminasi oleh berbagai kegiatan industri dan manusia. Batas tingkat yang dapat diterima untuk senyawa atau polutan yang ada di lingkungan yang tidak mempengaruhi tumbuhan, hewan, atau benda lain dikenal sebagai standar kualitas lingkungan (Hasan *et al.*, 2020). Kontaminasi lingkungan saat ini terjadi di seluruh dunia dengan kecepatan yang sangat cepat.

Dengan masuknya limbah industri dari berbagai bahan kimia, termasuk logam berat, beban lingkungan akibat polusi telah meningkat. Kontaminasi air merupakan salah satu jenis pencemaran lingkungan, polusi udara, dan pencemaran tanah (Sompotan & Sinaga, 2022). Menurut Undang-Undang No. 23 Tahun 1997, pencemaran lingkungan hidup adalah masuknya makhluk hidup, zat energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan oleh aktivitas manusia, yang mengakibatkan penurunan kualitas lingkungan hingga tidak dapat lagi berfungsi sebagaimana mestinya (Presiden Republik Indonesia, 1997). Setiap tindakan yang melepaskan limbah ke lingkungan adalah sumber polusi. Manusia pada akhirnya akan bersentuhan dengan polutan ini, yang dapat berupa padatan, cairan, gas, atau partikel tersuspensi pada konsentrasi tertentu yang dilepaskan ke atmosfer melalui udara, air, atau tanah. Siklus pencemaran lingkungan akan memfasilitasi penelitian, pengumpulan sampel lingkungan, dan analisis sampel lingkungan (Utari *et al.*, 2022).

1.2 Kitosan

Di Indonesia, kitosan, polimer alami, tersedia secara luas. Deasetilasi kitin yang diperoleh dari cangkang krustasea dan fungusida menghasilkan kitosan. Melalui empat langkah demineralisasi, deproteinisasi, deklorasi, dan deasetilasi mengubah kitin menjadi kitosan. Makromolekul kitosan yang mengandung beberapa gugus 2-amino-2-desoksi-D-glikopiranosida dan beberapa rantai D-glukosamin asetilasi adalah hasil akhirnya (Hakim, 2024). Komponen jamur, arthropoda, dan krustasea adalah kitin. Selain mengikat protein dan kalsium karbonat untuk menghasilkan struktur cangkang seperti kera, rantai molekul kitin digabungkan oleh ikatan hidrogen (Prasetyo, 2024).

Karena kitosan memiliki gugus fungsional gugus amino, ini adalah polielektrolit kationik yang mudah terurai secara hayati dan tidak beracun. Gugus hidroksil primer dan sekunder hadir selain gugus amino (Mainnah *et al.*, 2023). Penggunaan aluminium sulfat

sehari-hari untuk menggumpalkan kontaminan di udara adalah ilustrasi dari proses koagulasi.

1.3 Elektrokoagulasi

Elektrolisis sel berfungsi sebagai dasar teoritis untuk proses elektrokoagulasi. Salah satu perangkat yang dapat mengubah energi listrik DC (Arus searah) menjadi elektronik reaktif adalah sel elektrolisis (Nur et al., 2020). Katoda dan anoda adalah dua elektroda yang ditemukan di setiap sel elektrolisis. Jenis elektroda yang digunakan adalah aluminium, yang berfungsi sebagai proses koagulasi koagulan dalam dan sumber ion Al^{3+} dalam anoda (Prasetyo, 2024). Reaksi katodik terjadi di katoda, menghasilkan gelembung gas hidrogen yang berfungsi untuk mengangkat flok terapung yang tidak dapat mengendap. Polutan seperti partikel tersuspensi, logam berat, tinta, bahan organik (termasuk sampah rumah tangga), minyak dan lemak, ion, dan radionuklida semuanya dapat diproses dalam reaktor elektrokoagulasi. Sifat polutan berdampak pada mekanisme pemrosesan seperti padatan tersuspensi bermuatan akan diserap oleh koagulan bermuatan, sedangkan polutan ionik akan dipecah oleh curah hujan (Amri et al., 2020). Teknik elektrokoagulasi memiliki manfaat tidak menggunakan bahan kimia, yang menghilangkan masalah netralisasi (Legawa et al., 2024). Karena medan listrik digunakan di dalam air untuk mempercepat gerakan dan membantu proses sedimentasi, teknik elektrokoagulasi mengurangi partikel koloid terkecil lebih cepat (Mardhatillah et al., 2023).

1.4 Absorpsi

Cairan yang memiliki kemampuan untuk melarutkan suatu zat yang akan diserap di permukaannya dikatakan penyerap. Penyerap yang paling sering digunakan adalah yang didasarkan pada penyerap, seperti monoethanolamine (MEA), diethanolamine (DEA), N-methyldietanolamina (MDEA), dan di-2-propanolamine (DIPA), karena reaktivitasnya yang kuat dengan CO_2 dan reaksi reversibel, yang memfasilitasi proses penghilangan (Purwoto, 2023). Salah satu teknik paling populer untuk menghilangkan logam berbahaya dari air limbah adalah proses penyerapan (Karimah et al., 2023). Proses penyerapan fisik-kimia terjadi ketika polutan, atau penyerap lainnya, menumpuk di permukaan padatan yang dikenal sebagai penyerap. Penyerapan proses bekerja dengan baik untuk air limbah industri dengan konsentrasi logam rendah dan kendala anggaran (Nur et al., 2020). Koagulasi senyawa terlarut dalam larutan oleh permukaan penyerap yang memungkinkan bahan masuk dan terkumpul dalam zat penyerap dikenal sebagai adsorpsi. Keduanya secara bersamaan sebagai sebuah proses, yang biasa disebut sebagai penyerapan (Hamdan et al., 2022).

1.5 Filtrasi

Menggunakan media berpori, filtrasi adalah metode menghilangkan partikel tersuspensi dari air. Cara lain untuk memikirkan filtrasi adalah sebagai prosedur pemisahan cairan menggunakan cara memisahkan atau menghilangkan sebanyak mungkin partikel kecil padatan tersuspensi dari cairan dengan melewatkannya melalui bahan atau media berpori (Budiman et al., 2023). Filtrasi adalah proses melewatkan kombinasi padatan dan cairan melalui bahan filter untuk memisahkan campuran (Mardhatillah et al., 2023). Filtrasi digunakan secara luas dalam industri, seperti di pabrik kertas, pemurnian air minum, dan pemisahan kristal garam dari cairan induk, di antara aplikasi lainnya (Novia et al., 2019). Adanya gaya dorong dalam bentuk berbagai tekanan, seperti gravitasi atau putaran gaya, menyebabkan umpan mengalir dalam semua proses penyaringan (Susanti et al., 2024). Pemrosesan diperlukan untuk menurunkan tingkat BOD dan COD. Salah satu tekniknya filtrasi adalah prosedur pemrosesan yang efektif (Izarna, 2022).

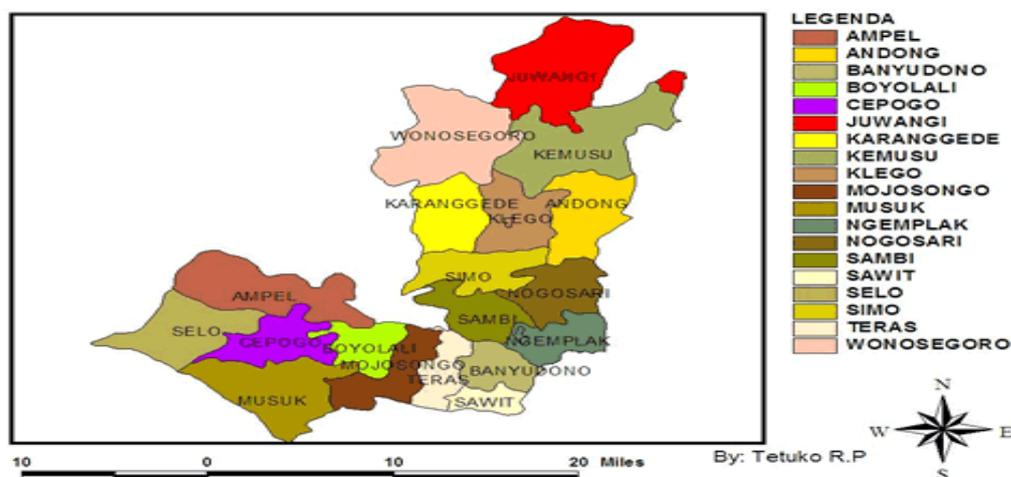
1.6 Pertanian berkelanjutan

Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2019 tentang Sistem Budidaya Pertanian Berkelanjutan, yang menjelaskan bahwa penting untuk mempromosikan pembangunan berkelanjutan dalam penciptaan untuk mencapai kedaulatan, pertanian menggunakan sistem budidaya pertanian (Badan Pemeriksaan Keuangan, 2019). Pertanian berkelanjutan didefinisikan sebagai perusahaan pertanian yang menggunakan sumber daya seefisien mungkin sambil juga melestarikannya untuk menghasilkan barang yang dipanen dengan biaya yang wajar, memenuhi standar keberlanjutan sosial, ekonomi, dan lingkungan, dan memanfaatkan metode produksi dan produktivitas terbarukan (Rachmawatie, 2020).

2. Metode

Jenis penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan menguji alat elektrokoagulasi, absorbis, dan filtrasi. Kemudian menguji efektivitas kitosan cangkang kerang hijau sebagai absorben, dan terakhir menguji efektivitas air daur ulang terhadap tanaman cabai dan ikan nila. Penelitian ini juga dilakukan dengan metode kepustakaan untuk mendukung data primer. Penelitian ini akan dilaksanakan di Boyolali dalam kurun waktu dua bulan. Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu akuarium, adaptor, dan alumunium. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu kitosan cangkang kerang hijau, zeolit, pasir silika, arang aktif, HCl, dan NaCl. Adapun sampel yang digunakan pada penelitian ini berupa tanaman cabai (*Capsicum annum L*) dan ikan nila (*Oreochromis niloticus*). Tanaman cabai (*Capsicum annum L*) yang digunakan berumur 10 hari dengan tinggi 5 cm sejumlah 50 buah. Sedangkan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) yang digunakan berumur 30 hari dengan panjang 5 cm sejumlah 500 ekor. Sampel terdiri dari 10 tanaman cabai (*Capsicum annum L*) disiram air limbah, 30 tanaman disiram air daur ulang yang terbagi menjadi 3 treatment dan 10 tanaman disiram air sumur sebagai kontrol. Sedangkan pada ikan nila (*Oreochromis niloticus*), 100 ekor diberi air limbah, 300 ekor diberi air daur ulang yang terbagi menjadi 3 treatment, dan 100 ekor diberi air sumur sebagai kontrol.

Prosedur penelitian meliputi pembuatan skema alat, penyiapan alat bahan, pembuatan alat, penyiapan sampel, pengujian alat, hingga evaluasi. Adapun analisis data yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu a) Uji pH air kolam ikan nila, menggunakan pH meter, b) Uji suhu air kolam ikan nila, menggunakan termometer, c) Uji DO air kolam ikan nila, menggunakan metode Winkler, d) Uji TAN air kolam ikan nila, menggunakan metode Nessler, e) Uji kandungan logam pada air menggunakan uji laboratorium air secara fisika kimia terbatas di laboratorium f) Analisis efektivitas air daur ulang terhadap tanaman cabai (*Capsicum annum L*) menggunakan tabel untuk parameter ketinggian tanaman dan kelembatan daun, g) Analisis efektivitas air daur ulang terhadap ikan nila (*Oreochromis niloticus*) menggunakan tabel daya tahan hidup ikan.



Gambar 2. Lokasi penelitian
(Komputer, 2011)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Mekanisme kerja alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi

Solusi permasalahan yang dapat dilakukan dengan melibatkan berbagai tindakan yang dapat membantu mengurangi pencemaran sungai dan meningkatkan mutu air adalah dengan menciptakan inovasi alat berupa elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi. Alat ini terbagi menjadi 4 kotak. Setiap kotak memiliki ukuran panjang 24 cm, lebar 24 cm, dan tinggi 30 cm. Kotak pertama alat elektrokoagulasi dan filtrasi merupakan kotak proses elektrokoagulasi dengan alumunium sebagai koagulan. Aluminium terdiri dari 6 plat yang diberi jarak antar plat 1 cm. Pada aluminium diberikan listrik satu arah menggunakan adaptor yang terdapat muatan (-) negatif yang terletak berselang seling dengan plat yang dialiri arus (+) positif.

Pada kotak kedua, air limbah mengalami proses adsorpsi. Proses adsorpsi inimenyerap kandungan logam pada air limbah oleh adsorben (kitosan cangkang kerang hijau (*Perna viridis*) masuk kedalam pori-pori adsorben. Sehingga terjadi penurunan kandungan logam berat serta kotoran yang ada pada air limbah. Setelah mengalami proses adsorpsi, limbah dialirkan lagi menuju kotak ketiga untuk mengalami proses filtrasi. Proses filtrasi ini berfungsi untuk menghilangkan zat berbahaya yang masih terkandung dalam air, serta memperbaiki sifat fisik air. Dalam proses filtrasi terdapat 3 rangkaian filter yaitu pada proses filter pertama, air hasil elektrokoagulasi dialirkan ke sekat berisibatu zeolit. Zeolit berfungsi sebagai pengikat flok-flok yang masih terlarut oleh air ke dalam pori-pori zeolit. Filter pertama menggunakan zeolit aktif karena memiliki kandungan ferri- oksida (Fe_2O_3) dan mangan-dioksida (MnO_2) yang dapat mengikat kotoran pada air limbah. Untuk proses filter kedua air hasil koagulasi akan masuk ke sekat yang berisipasir silika aktif. Disini terjadi proses penjernihan air koagulasi dengan menyerap lumpur tanah sedimen. Hal ini terjadi karena, pasir silika aktif memiliki kandungan Na, K dan Ca yang dapat melekatkan zat pengotor pada pasir silika. Penggunaan pasir silika juga mampu memperbaiki sifat fisik air berupa bau air limbah yang menjadi lebih baik.

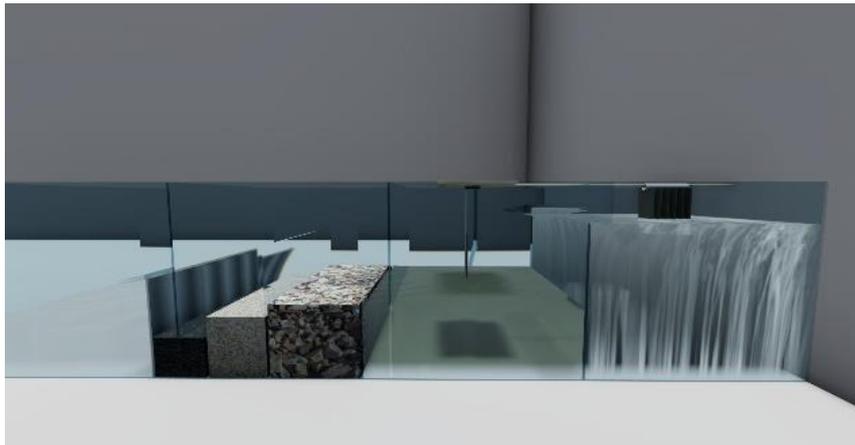
Filter ketiga berisikan arang aktif yang berfungsi untuk menghilangkan bau, menjernihkan air limbah, dan mengambil klorin. Arang aktif ini dibuat dari tempurung kelapa, di mana dapat mengikat zat yang mengandung bau, rasa, warna, logam dan kapur (CaCO_3) sehingga bahan organik air akan berkurang. Zat ini akan tertampung pada pori-pori permukaan arang aktif sehingga tidak akan terbawa lagi oleh air. Dalam kapasitas arang aktif mampu digunakan sampai dengan masa jenuh ± 3 bulan. Sehingga hasil dari proses elektrokoagulasi, adsorpsi dan filtrasi dapat dikatakan sebagai air bersih karena memiliki pH di antara 6.5 – 8,5 sebagai batas minimum dan maksimum air bersih. Selain itu air mengalami perbaikan pada kandungan logam berat dan sifat fisik berupa bau dan kejernihan air.

3.2 Strategi manajemen pelaksanaan dalam menerapkan alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi sebagai inovasi pertanian berkelanjutan

Adapun manajemen pelaksanaan yang digunakan dalam menerapkan alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi yaitu tahap awal yang dilakukan adalah dengan melaksanakan survey pendahuluan. Hal tersebut bertujuan untuk memperoleh data awal seperti tempat lokasi mitra yang akan mengimplementasikan alat tersebut. Selain itu, tahap ini juga mendesain rancangan alat dengan menggunakan aplikasi Lumion (*Rendering*) dimana rancangan ini bertujuan agar alat bekerja dengan baik sesuai dengan perencanaan, alat ini membutuhkan analisis kebutuhan komponen dan alat apa saja yang dibutuhkan. Alat yang digunakan pada alat ini yaitu akuarium, adaptor, dan alumunium. Serta bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu kitosan kerang hijau, zeolit, pasir silika, arang aktif, HCl, dan NaCl. Disamping itu, kami melakukan survey pengecekan cangkang kerang hijau yang akan dijadikan sebagai kitosan.

Pada tahap Pelaksanaan (*Implementation*), alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi dirakit sesuai dengan desain yang telah dibuat. Penyiapan alat dan bahan pembuatan akuarium elektrokoagulasi dan filtrasi seperti aluminium, adaptor, akuarium, gearbox, dan lem. Setelah itu dilanjutkan penyiapan alat dan bahan pengaktifan media filter (zeolit, pasir silika, dan arang aktif) seperti panci presto, oven, mortir, HCl, dan NaOH. Terakhir penyiapan alat dan bahan pembuatan kitosan kerang hijau meliputi oven, neraca, cawan porselen, kertas saring, HCl, NaOH, dan aquades.

Akuarium dengan panjang = 96 cm, lebar = 24 cm, dan tinggi = 24 cm kemudian diberi sekat setiap panjang 24 cm sehingga terbagi menjadi 4 kotak. Setelah itu, merangkai aluminium secara berselang-seling pada kutub positif dan negatifnya sebagai media elektrokoagulasi. Kemudian pemasangan gearbox pada kotak kedua. Terakhir pembuatan sekat filter sebagai pembatas media filtrasi agar tidak tercampur pada kotak ketiga. Hal tersebut dapat dilihat pada desain berikut.



Gambar 3. Desain alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi (Dokumen Pribadi)

3.2.1 Kontrol (*Check*)

Pelaksanaan tindakan ini melakukan pengecekan alat dengan menyiapkan limbah tahu sebagai sampel. Sampel limbah cair tahu yang telah disiapkan kemudian dilakukan pengolahan elektrokoagulasi dan filtrasi. Pada kotak pertama, air limbah dielektrokoagulasi, kotak kedua air limbah mengalami absorpsi karena pemberian kitosan cangkang kerang hijau, kotak ketiga difiltrasi, dan terakhir penampungan air hasil elektrokoagulasi dan filtrasi pada kotak keempat. Dalam tahap ini alat akan diujikan sebelum diimplementasikan kepada sentra industri tahu. Apabila alat belum bekerja secara maksimal, maka akan dikembalikan pada tahap merancang alat dan mencari kesalahan dalam penyusunannya.

3.2.2 Tindakan (*Action*)

Setelah alat diujikan maka selanjutnya adalah tahap implementasi pada sentra industri tahu secara langsung. Dimana sentra industri tahu yang sudah menjalin mitra dengan kami akan dilakukan uji coba alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi. Mitra yang dipilih akan mencoba mengolah limbah hasil industrinya dengan menggunakan alat tersebut. Selain itu, kami akan melakukan kerjasama dengan pemerintah setempat untuk melakukan sosialisasi kepada pelaku industri tahu terkait penggunaan alat dan pengolahan limbah yang dibuang. Sehingga diharapkan para pelaku sentra industri tahu dapat memanfaatkan alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi dalam mengolah hasil limbahnya.

3.2.3 Implementasi dalam pertanian berkelanjutan

Setelah alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi diuji dan digunakan oleh mitra

industri tahu, langkah selanjutnya adalah menerapkan air hasil olahan limbah tersebut untuk mendukung produksi pertanian yang berkelanjutan. Air yang telah diproses melalui alat ini memiliki potensi untuk digunakan sebagai air irigasi dalam kegiatan pertanian, karena telah mengalami tahap penyaringan yang menghilangkan zat-zat berbahaya. Penggunaan air hasil olahan limbah ini bertujuan untuk mengurangi ketergantungan terhadap sumber air bersih, serta mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan dari pembuangan limbah secara langsung ke lingkungan. Selain itu, penggunaan air limbah olahan dalam pertanian diharapkan dapat membantu menjaga keberlanjutan sumber daya air dan mendukung upaya pertanian yang lebih ramah lingkungan.

Gagasan pengembangan alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi memperlihatkan pendekatan yang holistik dalam pengolahan limbah cair industri tahu. Metode elektrokoagulasi, dengan prinsip dasar reaksi reduksi-oksidasi (redoks), berperan dalam menetralkan dan mengendapkan partikel-partikel padatan dalam limbah. Ini merupakan langkah kritis dalam meminimalkan kontaminan sebelum masuk ke tahapan absorpsi. Proses absorpsi, yang dilakukan dengan memanfaatkan kitosan dari cangkang kerang hijau sebagai absorben, menjadi inti dari peningkatan kualitas air limbah. Kitosan, dengan sifat kationiknya yang bermuatan positif, bukan hanya menjadi penyerap efektif bagi ion-ion logam beracun, tetapi juga menunjukkan sifat biologi yang non-toksik, membuatnya aman dalam konteks pengelolaan limbah (Mahiti, 2015).

Selain itu, kitosan juga memiliki sifat kimia yang reaktif, termasuk gugus amino dan hidroksil yang memberikan karakteristik polielektrolit linier dan poliamin. Aplikasi kitosan yang luas dalam berbagai bidang, seperti yang dijelaskan oleh (Sandford & Hutchings, 1987), menunjukkan potensinya untuk digunakan sebagai absorben dalam pengolahan limbah. Integrasi teknologi ini diharapkan dapat mencapai efisiensi tinggi dalam menurunkan kadar pencemar dan merestorasi kualitas air limbah. Dengan demikian, pengembangan ini tidak hanya menciptakan solusi teknis yang canggih, tetapi juga memiliki dasar ilmiah yang kuat melalui pemanfaatan sifat-sifat unik kitosan dari cangkang kerang hijau dalam mengatasi tantangan pencemaran limbah industri tahu di Boyolali. Adapun analisis SWOT (*Strengths, Weakness, Opportunities, Threats*) dari alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi antara lain.

Tabel 1. Analisis SWOT

<p style="text-align: center;">Internal</p> <p>Eksternal</p>	<p><i>Strengths</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Alat ini tergolong ramah lingkungan 2. Bahan-bahan yang digunakan mudah didapatkan 3. Biaya pengoperasian alat tidak terlalu besar 4. Alat tersebut di desain praktis dan mudah dipindah tempatkan 5. Tidak memakan banyak tempat 6. Mudah dalam penggunaannya sehingga dapat diterapkan oleh para sentra industri tahu 7. Alat ini bekerja secara otomatis dengan pemanfaatan gaya grafitasi 	<p><i>Weakness</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Kapasitas alat yang masih tergolong kecil
--	--	---

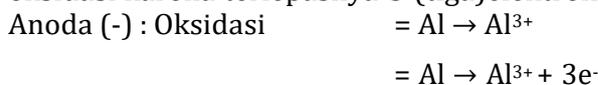
<p><i>Opportunities</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. bahan kitosan yang melimpah 2. masih banyak para pelaku usaha industri tahu yang belum mengolah limbahnya dengan maksimal 	<p><i>SO (Strength – Opportunity)</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. banyaknya bahan pembuatan kitosan sehingga alat ini dapat digunakan untuk jangka panjang 2. alat ini dapat diimplementasikan kepada beberapa sentra industri tingkat masyarakat yang belum mengolah limbahnya dengan maksimal 	<ol style="list-style-type: none"> 1. alat ini difokuskan pada para pelaku industri tingkat masyarakat yang limbah dihasilkan tidak terlalu besar 2. mengembangkan prototype alat dengan kapasitas yang cukup besar
<p><i>Threats</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. kurangnya pemahaman kepada para pelaku industri tahu tentang pengolahan limbah dan penggunaan teknologi 	<p><i>ST (Strength – Threat)</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. melakukan sosialisasi kepada para pelaku industri tahu maupun petani mengenai penggunaan alat dan cara pengoperasiannya 2. melakukan uji laboratorium dan uji efektifitas terhadap air hasil alat 	<p><i>WT (Weakness – Threat)</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. melakukan kerjasama dengan pemerintah dan mitra setempat dalam mengembangkan alat

(Data Primer)

3.3 Penerapan air hasil elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi terhadap hasil produksi pertanian untuk mencapai pertanian berkelanjutan

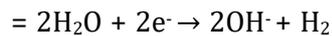
Tujuan inovasi ini adalah meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan pengelolaan limbah cair industri tahu di Boyolali melalui penerapan teknologi ramah lingkungan. Dengan mengintegrasikan prinsip elektrokoagulasi, absorpsi menggunakan kitosan dari kerang hijau, dan filtrasi lanjutan, tujuan pertama adalah mencapai pengolahan limbah yang lebih efektif, mengurangi kadar zat pencemar, dan memastikan kualitas air yang dikeluarkan memenuhi standar lingkungan yang ditetapkan. Selain itu, tujuan kedua adalah menciptakan sistem yang terintegrasi, termasuk pengelolaan limbah yang efisien dan tata kelola yang transparan. Melalui pendekatan ini, diharapkan inovasi ini mampu memberikan dampak positif terhadap ekosistem air, kesehatan masyarakat, dan pemanfaatan sumber daya air secara berkelanjutan di wilayah sentra industri tahu. Tujuan lebih lanjut dari inovasi ini adalah memperkuat peran masyarakat dalam upaya pengelolaan limbah yang bertanggung jawab dan berkelanjutan, serta air hasil pengolahan dapat diterapkan secara optimal.

Inovasi alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi ini diharapkan mampu mengatasi permasalahan lingkungan terkait pencemaran limbah cair tahu yang dibuang secara langsung ke sungai. Hal tersebut dibuktikan berdasarkan perhitungan reaksi kimia berdasarkan penambahan cangkang kerang sebagai flokulan ion logam pada alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi, dimana aluminium diberikan listrik satu arah menggunakan adaptor yang terdapat muatan (-) negatif yang terletak berselang seling dengan plat yang dialiri arus (+) positif. Pada muatan (-) negatif Aluminium, mengalami oksidasi karena terlepasnya 3 (tiga) elektron:



Pada muatan positif (+) Aluminium, mengalami reduksi dengan memberikan anion (OH)⁻



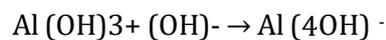
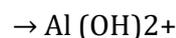
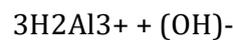
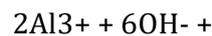
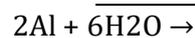
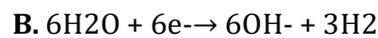
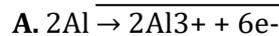
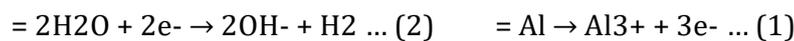
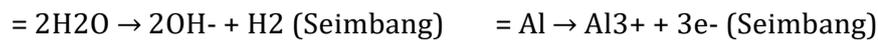


Reduksi yang terjadi pada aluminium membentuk gelembung-gelembung gas hidrogen yang berfungsi menaikkan flok-flok tersuspensi yang tidak dapat mengendap menuju permukaan air. Sehingga hasil akhir dari reaksi elektrolisis ini adalah:



Hasil ini diperoleh dari penyeteraan reaksi agar tercapai persamaan jumlah elektron. Untuk memperjelas lagi, dapat dilihat pada reaksi berikut:

Reduksi : Katoda (+) Anoda (-) : Oksidasi



← Mengikat kotoran

$\text{Al}(\text{OH})_4^-$ bersifat mengikat kotoran karena memiliki muatan negatif. Selain itu gelembung air mempermudah proses pengikatan kotoran tersebut. Maka dari hasil proses elektrokoagulasi dapat diketahui bahwa pada aluminium bermuatan (+) positif terjadi reaksi katodik yang membentuk gelembung-gelembung gas hidrogen yang berguna untuk menaikkan flok-flok tersuspensi yang tidak dapat mengendap. Selanjutnya akan tertarik dan mengumpul pada aluminium yang bermuatan (-) negatif.

Berdasarkan perhitungan reaksi kimia di atas, dapat diketahui bahwa alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi dapat meningkatkan kualitas air, salah satunya air yang dihasilkan dari proses elektrokoagulasi dan filtrasi masuk ke dalam klasifikasi kelas dua. Dimana air tersebut dapat dimanfaatkan untuk pertanian. Selain itu, berdasarkan studi literatur, kualitas air hasil pengolahan harus memenuhi standar yang aman untuk digunakan dalam pertanian. Elektrokoagulasi dapat efektif dalam mengurangi kontaminan fisik dan kimia seperti kekeruhan, pH, besi (Fe), dan aluminium (Al) (Jumiati, 2017).

Air hasil pengolahan dapat digunakan sebagai sumber air irigasi atau pengganti air utama dalam pertanian terutama saat terjadi musim kemarau. Namun, kualitas air harus memenuhi standar yang aman untuk digunakan dalam pertanian. Elektrokoagulasi dapat mengurangi kontaminan fisik dan kimia. Penggunaan karbon aktif sebagai filter tambahan dapat membantu meningkatkan kualitas air hasil pengolahan sehingga lebih aman digunakan dalam irigasi. Dengan demikian, adanya inovasi ini mampu meningkatkan pertanian berkelanjutan dengan poin pengelolaan sistem tanam yang efisien. Sistem tanam yang efisien dapat diartikan sebagai pengoptimalan penggunaan sumber daya alam dengan

cara bijaksana, seperti menggunakan irigasi yang efisien dan meminimalkan kebutuhan air tanah (Febriana, 2021). Air limbah tahu mengandung unsur hara seperti Nitrogen (N), Fosfor (P), dan Kalium (K) yang sangat dibutuhkan tanaman, dapat dijadikan sebagai pupuk caik yang mampu meningkatkan ketersediaan unsur hara dalam tanah, sehingga dapat memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kesuburan tanah (Ahmad Al Amin, 2017).

Pengawasan dan pemantauan terus-menerus sangat penting untuk memastikan bahwa air hasil pengolahan tetap aman digunakan dalam pertanian. Hal ini termasuk melakukan analisis kualitas air secara berkala. Sehingga, petani dapat yakin bahwa air yang digunakan dalam irigasi tidak akan membahayakan tanaman atau lingkungan sekitar. Implementasi alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi dalam pertanian berkelanjutan memerlukan kerjasama yang erat antara berbagai pihak. Kerjasama dengan pemerintah setempat sangat penting untuk memastikan bahwa alat ini sesuai dengan standar dan regulasi yang berlaku. Dengan demikian, alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi dapat membantu mencapai pertanian yang berkelanjutan dengan menggunakan air hasil pengolahan yang aman dan bersih.

4. Kesimpulan

Alat elektrokoagulasi dan filtrasi terdiri dari 4 bagian yaitu kotak pertama untuk proses elektrokoagulasi. Kemudian kotak kedua untuk proses penambahan kitosan. Selanjutnya dipompa menuju kotak ketiga yaitu filter. Filter terdiri dari 3 bagian yang masing-masing diisi dengan zeolit, pasir silika, dan arang aktif. Hasil filtrasi akan ditampung di kotak keempat. Kemudian manajemen pelaksanaan alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi dimulai dari tahap perencanaan (*Plan*), pelaksanaan (*Implementation*), tindakan (*Action*), dan implementasi. Selain mengurangi pencemaran, teknologi ini mendukung pertanian berkelanjutan dengan memanfaatkan air hasil olahan limbah untuk irigasi. Pendekatan ini menawarkan solusi teknis yang efisien dan ramah lingkungan.

Sedangkan inovasi alat elektrokoagulasi, absorpsi, dan filtrasi tidak hanya membantu mengurangi pencemaran lingkungan, tetapi juga mendukung sistem tanam yang lebih efisien dengan mengoptimalkan penggunaan air hasil olahan, terutama selama musim kemarau. Kolaborasi antara pemerintah dan pelaku industri diperlukan untuk memastikan bahwa teknologi ini diterapkan sesuai regulasi dan memberikan manfaat jangka panjang bagi pertanian dan lingkungan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada BEM Fakultas Pertanian Universitas Tidar atas penyelenggaraan Lomba Karya Ilmiah Nasional 2024. Dukungan dan dedikasi mereka telah memberikan peluang berharga untuk pengembangan akademik dan kolaborasi, yang sangat berkontribusi terhadap penyelesaian manuskrip ini.

Kontribusi Penulis

Konseptualisasi, A.A.W., D.W., & E.P.; Metodologi, A.A.W., D.W., & E.P.; Perangkat Lunak, A.A.W., D.W., & E.P.; Validasi, A.A.W., D.W., & E.P.; Analisis Formal, A.A.W., D.W., & E.P.; Investigasi, A.A.W., D.W., & E.P.; Sumber Daya, A.A.W., D.W., & E.P.; Kurasi Data, A.A.W., D.W., & E.P.; Penulisan – Persiapan Draf Asli, A.A.W., D.W., & E.P.; Penulisan – Tinjauan & Pengeditan, A.A.W., D.W., & E.P.; Visualisasi, A.A.W., D.W., & E.P.; Pengawasan, A.A.W., D.W., & E.P.; Administrasi Proyek, A.A.W., D.W., & E.P.

Pendanaan

Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal.

Pernyataan Dewan Peninjau Etis

Tidak tersedia.

Pernyataan *Informed Consent*

Tidak tersedia.

Pernyataan Ketersediaan Data

Tidak tersedia.

Konflik Kepentingan

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

Akses Terbuka

©2024. Artikel ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution 4.0, yang mengizinkan penggunaan, berbagi, adaptasi, distribusi, dan reproduksi dalam media atau format apa pun. selama Anda memberikan kredit yang sesuai kepada penulis asli dan sumbernya, berikan tautan ke lisensi Creative Commons, dan tunjukkan jika ada perubahan. Gambar atau materi pihak ketiga lainnya dalam artikel ini termasuk dalam lisensi Creative Commons artikel tersebut, kecuali dinyatakan lain dalam batas kredit materi tersebut. Jika materi tidak termasuk dalam lisensi Creative Commons artikel dan tujuan penggunaan Anda tidak diizinkan oleh peraturan perundang-undangan atau melebihi penggunaan yang diizinkan, Anda harus mendapatkan izin langsung dari pemegang hak cipta. Untuk melihat salinan lisensi ini, kunjungi: <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Daftar Pustaka

- Amri, I., Destinefa, P., & Zultiniar, Z. (2020). Pengolahan limbah cair tahu menjadi air bersih dengan metode elektrokoagulasi secara kontinyu. *Chempublish Journal*, 5(1), 57-67. <https://doi.org/10.22437/chp.v5i1.7651>
- Badan Pemeriksaan Keuangan. (2019, Oktober 18). *Undang-undang (UU) Nomor 22 Tahun 2019 tentang Sistem Budi Daya Pertanian Berkelanjutan*. Direktorat Utama Pembinaan dan Pengembangan Hukum Pemeriksaan Keuangan Negara. <https://peraturan.bpk.go.id/>
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Boyolali. (2018). *Jumlah Industri Kecil Menurut Jenisnya di Kabupaten Boyolali, 2017*. <https://boyolalikab.bps.go.id/id/statistics-table/1/MTkyIzE=/jumlah-industri-kecil-menurut-jenisnya-di-kabupaten-boyolali-2017.html>
- Budiman, B., Aminda, R. S., & Syaiful, S. (2023). Pemanfaatan air hujan bersih dan layak menggunakan alat filtrasi sederhana di Taman Pegelaran Ciomas Bogor. *SINKRON: Jurnal Pengabdian Masyarakat UIKA Jaya*, 1(1), 1-9. <https://doi.org/10.32832/jpmuj.v1i1.1668>
- Hakim, E. (2024). Kitosan sebagai Bahan Potensial Antikaries. *Jurnal Material Kedokteran Gigi*, 11(1), 1-6. <https://doi.org/10.32793/jmkg.v11i1.451>
- Hamdan, A. M., Fajri, W. N., Rahmi, R., & Hanif, H. (2022). Adsorpsi Limbah Cair Rumah Tangga Dengan Mineral Magnetit (Fe₃O₄). *Phi: Jurnal Pendidikan Fisika dan Terapan*, 8(1), 70-81. <http://dx.doi.org/10.22373/p-jpft.v8i1.14630>
- Hasan, N., Fattah, I., & Risna. (2020). Analisis Pencemaran Udara Akibat Pabrik Aspal Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara. *Madani Legal Review*, 4(2), 108-123. <https://doi.org/10.31850/malrev.v4i2.681>
- Izarna, S. R. (2022). *Uji Unit Filtrasi Sederhana dalam Menurunkan Parameter Kualitas Air Limbah Rumah Makan*. Banda Aceh: Uin Ar-Rainy.
- Karimah, R., Abadi, K., Ridwan, M., & Kamila, I. L. (2023). Tinjauan Kuat Tekan Dan Absorpsi Mortar Yang Mengandung Air Garam: Review Of The Compressive Strength And Absorbtion Of Mortars Containing Baline. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 11(1), 68-73. <https://doi.org/10.33084/mits.v11i1.4528>

- Kementrian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. (1988). *Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan*. Komara. <https://komara.weebly.com/>
- Komputer, P. J. (2011). *Kota Kota Di Pulau Jawa*. <https://kotakotadipulaujawa.blogspot.com/>
- Legawa, F., Darma, G. C. E., & Putra, V. G. V. (2024). Metode Pengolahan Limbah Cair Puskesmas Menggunakan Tahapan Elektrokoagulasi Filtrasi dan Plasma. *Jurnal Riset Farmasi*, 4(1) 53-60. <https://doi.org/10.29313/jrf.v4i1.3890>
- Mainnah, M., Jaya, M. M., & Iskandar, B. H. (2023). Pengaruh Perendaman Kitosan Terhadap Sifat Fisik dan Kekuatan Putus serta Kemuluran Tali Serat Daun Nanas untuk Material Alat Penangkap Ikan. *Jurnal Perikanan Unram*, 13(1), 244-253. <https://doi.org/10.29303/jp.v13i1.468>
- Mardhatillah, L. C., Anriani, A., Juniarty, A. Y., & Purnaini, R. (2023). Pengolahan Air Gambut Menjadi Air Bersih Menggunakan Metode Elektrokoagulasi dan Filtrasi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(2), 372-379. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v11i2.65606>
- Novia, A. A., Nadesya, A., Harliyanti, D. J., Ammar, M., & Arbaningrum, R. (2019). Alat pengolahan air baku sederhana dengan sistem filtrasi. *Widyakala Journal: Journal of Pembangunan Jaya University*, 6, 12-20. <https://doi.org/10.36262/widyakala.v6i0.187>
- Nur, A., Komala, P. S., & Annisa, D. U. (2020). Penyisihan Senyawa Organik pada Air Limbah Tahu Menggunakan Proses Elektrokoagulasi Pasangan Elektroda Aluminium. *Dampak: Jurnal Teknik Lingkungan*, 17(2), 62-71. <https://doi.org/10.25077/dampak.17.2.62-71.2020>
- Prasetyo, M. H. (2024). *Pemanfaatan Kalium Permanganat, Tanah Liat, Dan Kitosan Sebagai Ethylene Scavenger Untuk Mempertahankan Daya Simpan Pisang Kepok*. Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta. <https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/19712/>
- Presiden Republik Indonesia. (1997). *Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23. <https://bphn.go.id/>
- Purwoto, S. (2023). Peningkatan mutu air sungai surabaya berbasis treatment koagulasi, absorpsi, dan ion exchange. *Waktu: Jurnal Teknik UNIPA*, 21(02), 15-22. <https://doi.org/10.36456/waktu.v21i02.7138>
- Rachmawatie, S. J. (2020). *Mewujudkan Ketahanan Pangan: Melalui Implementasi Sistem Pertanian Terpadu Berkelanjutan*. Plantaxia.
- Sompotan, D. D., & Sinaga, J. (2022). Pencegahan pencemaran lingkungan. *SAINTEKES: Jurnal Sains, Teknologi dan Kesehatan*, 1(1), 6-13. <https://doi.org/10.55681/saintekes.v1i1.2>
- Susanti, A., Khair, A., Syarifudin, A., & Harris, A. (2024). Efektivitas Media Pasir Silika dan Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sebagai Media Filtrasi dalam Menurunkan BOD dan COD pada Limbah Laundry. *Medic Nutricia: Jurnal Ilmu Kesehatan*, 8(3), 1-10. <https://doi.org/10.5455/nutricia.v8i3.5978>
- Utari, E., Handayani, T. A., & Nurfitrihi, W. S. (2022). Pemahaman Masyarakat Tentang Pencemaran Limbah Industri Terhadap Lingkungan Hidup Kecamatan Ciwandan Kota Cilegon. *Biodidaktika: Jurnal Biologi dan Pembelajarannya*, 17(2), 24-31. <https://dx.doi.org/10.30870/biodidaktika.v17i2.16494>

Biografi Penulis

Akhyar Arista Widya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta, Kulon Progo, Yogyakarta 55652, Indonesia.

- E-mail: akhyararista.2022@student.uny.ac.id
- ORCID: N/A
- ID Peneliti Web of Science: N/A
- ID Penulis Scopus: N/A
- Beranda: N/A

Desynia Widiasari, Program Studi Administrasi Perkantoran, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta, Kulon Progo, Yogyakarta 55652, Indonesia.

- E-mail: desyniawidiasari.2023@student.uny.ac.id
- ORCID: N/A
- ID Peneliti Web of Science: N/A
- ID Penulis Scopus: N/A
- Beranda: N/A

Eddi Prayitno, Program Studi Tata Boga, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Yogyakarta, Kulon Progo, Yogyakarta 55652, Indonesia.

- E-mail: eddiprayitno.2022@student.uny.ac.id
- ORCID: N/A
- ID Peneliti Web of Science: N/A
- ID Penulis Scopus: N/A
- Beranda: N/A