



Penjernihan dan Penyaringan Air untuk Meningkatkan Kualitas Air di Pondok Pesantren Nurul Ihsan

Agus Budi Prasetyo^{1*}, Cahya Sutowo², Fendy Rokhmanto³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Indonesia

Email korespondensi: chencen_abp@yahoo.com

ABSTRAK

Ketersediaan air bersih merupakan kebutuhan mendasar yang berpengaruh langsung terhadap kesehatan dan kualitas hidup masyarakat, termasuk di lingkungan pondok pesantren. Pondok Pesantren Nurul Ihsan yang berlokasi di Kelurahan Keranggan, Kecamatan Setu, Kota Tangerang Selatan masih menghadapi kendala dalam memperoleh air bersih karena sumber air yang digunakan sering berwarna keruh, berbau, dan mengandung partikel tersuspensi. Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini bertujuan untuk memberdayakan santri melalui penerapan teknologi tepat guna berupa alat penjernih air sederhana menggunakan kombinasi tawas (*aluminium sulfat*) sebagai koagulan dan pasir aktif sebagai media filtrasi. Metode kegiatan dilaksanakan melalui pelatihan teori, praktik pembuatan dan instalasi alat, serta simulasi perawatan sistem filtrasi. Kegiatan berjalan dengan lancar dan interaktif, ditunjukkan oleh ketertarikan serta keaktifan para santri dalam mengikuti setiap tahapan pelatihan. Hasil dari program ini berhasil meningkatkan pengetahuan dan keterampilan praktis santri mengenai proses penjernihan air dan sanitasi lingkungan, sekaligus meningkatkan kemandirian pesantren dalam menyediakan air bersih yang sehat secara aplikatif dan berkelanjutan.

Kata Kunci: air bersih; koagulan; pasir aktif; penjernihan air; teknologi tepat guna.

ABSTRACT

The availability of clean water is a fundamental need that directly affects public health and quality of life, including within Islamic boarding school environments. Pondok Pesantren Nurul Ihsan, located in Keranggan Village, Setu District, South Tangerang City, still faces challenges in obtaining clean water because the water source used is often turbid, odorous, and contains suspended particles. This Community program aimed to empower students (santri) through the application of appropriate technology in the form of a simple water purification system using a combination of alum (aluminum sulfate) as a coagulant and active sand as a filtration medium. The activity method was carried out through theoretical training, practical fabrication and installation of the equipment, and filtration system maintenance simulations. The program ran smoothly and interactively, as demonstrated by the enthusiasm and active participation of the students during each training stage. The results of this program successfully enhanced the students' knowledge and practical skills regarding water purification processes and environmental sanitation, while simultaneously improving the boarding school's self-reliance in providing clean and healthy water in an applicable and sustainable manner.

Keywords: clean water; coagulant; active sand; water purification; appropriate technology.

PENDAHULUAN

Ketersediaan air bersih merupakan kebutuhan mendasar dalam kehidupan sehari-hari dan menjadi salah satu indikator utama derajat kesehatan masyarakat. Air digunakan untuk konsumsi, ibadah, kebersihan diri, dan keperluan domestik. Di lingkungan pendidikan berbasis asrama seperti Pondok Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan, kebutuhan air bersih menjadi sangat vital karena jumlah santri yang banyak dan intensitas aktivitas yang tinggi. Namun, keterbatasan sarana membuat pihak pesantren masih mengandalkan sumber air sumur gali dangkal yang belum melalui proses penyaringan yang layak. Kondisi ini menyebabkan air berwarna keruh, berbau, dan mengandung partikel tersuspensi, sehingga berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan seperti penyakit kulit dan pencernaan [1].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan solusi yang sederhana, ekonomis, dan mudah diterapkan oleh masyarakat pesantren. Salah satu alternatif yang tepat adalah teknologi penjernihan air sederhana melalui kombinasi proses koagulasi dan filtrasi. Metode ini memanfaatkan bahan kimia koagulan seperti tawas (*aluminium sulfat*) dan media alami seperti pasir aktif. Kombinasi ini dikenal efektif, murah, serta tidak memerlukan peralatan yang rumit [2], [3].

Melalui kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini, tim dosen dan mahasiswa Universitas Pamulang memberikan pelatihan kepada para santri mengenai pembuatan, penerapan, dan perawatan alat penjernih air sederhana. Program ini tidak hanya memberikan solusi teknis, tetapi juga menekankan pada pemberdayaan santri agar memiliki keterampilan praktis dalam mengoperasikan dan merawat sistem filtrasi secara mandiri. Hal ini selaras dengan peran Universitas Pamulang dalam mengintegrasikan ilmu pengetahuan dengan kebutuhan masyarakat sekitar secara aplikatif dan berkelanjutan.

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara di Pondok Pesantren Nurul Ihsan, permasalahan utama yang dihadapi mitra adalah kualitas air dari sumur gali dangkal yang keruh, berbau, dan mengandung partikel tersuspensi karena belum melalui proses penyaringan yang layak. Kondisi ini berisiko mengganggu kesehatan serta kenyamanan santri, yang diperparah oleh keterbatasan sarana penjernihan air serta minimnya pengetahuan dan keterampilan teknis santri mengenai pengolahan air bersih yang benar. Oleh karena itu, rumusan masalah dalam kegiatan pengabdian ini berfokus pada bagaimana merancang dan mengimplementasikan teknologi penjernihan air sederhana berbasis kombinasi tawas dan pasir aktif, serta sejauh mana pelatihan yang diberikan mampu meningkatkan pemahaman dan keterampilan praktis santri dalam mengoperasikan serta merawat sistem filtrasi tersebut secara mandiri dan berkelanjutan.

METODE PELAKSANAAN

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini dilaksanakan menggunakan kombinasi metode penyampaian teori, peragaan interaktif, dan praktik langsung yang dirancang selama enam bulan. Tahap awal pada bulan pertama hingga kedua berfokus pada penyusunan proposal, pelaksanaan survei lokasi mitra, dan penyelarasan jadwal kegiatan. Selanjutnya, pada bulan ketiga dan keempat dilakukan pengurusan perizinan, penyusunan modul pelatihan, serta penyiapan alat dan bahan peragaan sistem filtrasi. Tahap pelaksanaan dan pelaporan berlangsung pada bulan kelima dan keenam, yang mencakup koordinasi tim dosen dan mahasiswa, pemaparan materi, praktik pembuatan alat penjernih air, pendampingan, serta penyusunan laporan akhir.

Tahap pelaksanaan di lapangan menerapkan tiga pendekatan utama yang saling terintegrasi. Tahap awal dimulai dengan penyampaian teori ringkas mengenai prinsip dasar penjernihan air serta mekanisme kerja tawas sebagai koagulan dan pasir aktif sebagai media filtrasi. Kegiatan dilanjutkan dengan peragaan *in situ* serta praktik langsung pembuatan dan instalasi alat penjernih air oleh para santri. Setelah praktik selesai, dilaksanakan sesi diskusi dan evaluasi untuk mengulas kendala teknis, tata cara perawatan alat secara berkala, serta potensi pengembangan keterampilan tersebut bagi kemandirian pesantren.

Kedekatan lokasi antara Universitas Pamulang dan Pondok Pesantren Nurul Ihsan di Kelurahan Keranggan mempermudah koordinasi serta keberlanjutan pendampingan program. Melalui penerapan keilmuan Teknik Mesin ini, kegiatan pengabdian tidak hanya menyelesaikan permasalahan air bersih secara

langsung, tetapi juga membekali para santri dengan keterampilan teknis tepat guna yang bermanfaat untuk jangka panjang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Air Sebelum Penjernihan

Berdasarkan hasil observasi awal, air yang digunakan di Pondok Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan menunjukkan kondisi fisik berupa kekeruhan, warna kekuningan, keberadaan partikel halus, serta bau yang pada beberapa kondisi diduga berkaitan dengan akumulasi endapan di dalam tandon. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa air masih mengandung material tersuspensi dan/atau koloid yang dapat menurunkan kualitas fisik air. Kekeruhan tidak hanya berpengaruh terhadap estetika air, tetapi juga dapat menjadi indikator adanya partikel yang dapat membawa atau melindungi mikroorganisme tertentu dari proses pengolahan [4]. Oleh karena itu, pengendalian kekeruhan merupakan salah satu aspek penting dalam pengolahan air.

Salah satu metode sederhana untuk mengurangi kekeruhan adalah proses koagulasi menggunakan aluminium sulfat atau tawas. Menurut WHO, koagulan seperti tawas dapat membantu partikel pasir, lanau, dan lempung yang berukuran kecil bergabung membentuk flok yang lebih besar sehingga lebih mudah mengendap. Proses tersebut selanjutnya dapat dikombinasikan dengan filtrasi untuk meningkatkan kualitas fisik air hasil pengolahan [5].

Dengan demikian, kondisi awal air di lokasi mitra menunjukkan adanya kebutuhan terhadap teknologi pengolahan sederhana yang mudah dioperasikan, relatif murah, dan dapat dipelihara oleh pengurus maupun santri. Pendekatan tersebut juga sesuai dengan prinsip *incremental improvement* dalam pengolahan air skala rumah tangga atau komunitas, yaitu meningkatkan kualitas air melalui teknologi yang sesuai dengan kondisi dan kemampuan pengguna.

Pada tahap praktik, tawas digunakan sebagai bahan koagulan dengan dosis awal yang diperkenalkan kepada peserta sebesar 1 sendok makan untuk 10 liter air. Penambahan tawas bertujuan membantu proses penggumpalan partikel-partikel halus dan koloid sehingga terbentuk flok yang selanjutnya dapat dipisahkan melalui proses pengendapan [2], [6]. Secara prinsip, efektivitas koagulasi sangat dipengaruhi oleh dosis koagulan, pH, karakteristik air baku, proses pencampuran, serta waktu pengendapan [3]. WHO merekomendasikan bahwa dosis optimum koagulan sebaiknya ditentukan berdasarkan karakteristik air dan, apabila memungkinkan, melalui pengujian *jar test* karena kebutuhan koagulan dapat berubah mengikuti kualitas air baku.

Setelah proses koagulasi dan pengendapan, air dialirkan melalui media pasir aktif. Tahap filtrasi berfungsi menahan partikel yang masih tersisa setelah proses pengendapan sehingga menghasilkan air dengan tingkat kekeruhan yang lebih rendah [7], [8]. WHO menyebutkan bahwa filtrasi merupakan salah satu metode yang umum digunakan untuk mengurangi kekeruhan dan dapat berkontribusi terhadap penghilangan mikroorganisme, meskipun kemampuan tersebut sangat bergantung pada jenis dan desain media serta kondisi pengoperasiannya.

Hasil pengamatan selama kegiatan menunjukkan adanya perubahan visual berupa air yang menjadi lebih jernih dan berkurangnya bau. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi proses koagulasi–pengendapan dan filtrasi dapat diterapkan sebagai teknologi sederhana untuk meningkatkan

kualitas fisik air di lingkungan mitra. Temuan ini sejalan dengan penelitian mengenai pengolahan air yang menunjukkan bahwa proses koagulasi–flokulasi merupakan tahapan penting dalam pengurangan kekeruhan, yang kemudian dapat dilanjutkan dengan proses sedimentasi dan filtrasi untuk memperoleh kualitas air yang lebih baik [9].

Namun demikian, perubahan kejernihan secara visual belum dapat digunakan sebagai bukti bahwa air telah memenuhi persyaratan air minum. Untuk memastikan kelayakan air, diperlukan pengujian laboratorium terhadap parameter fisik, kimia, dan terutama mikrobiologi. Hal ini penting karena teknologi penjernihan yang berorientasi pada pengurangan kekeruhan tidak selalu memberikan tingkat penghilangan patogen yang sama. WHO juga menekankan pentingnya evaluasi kinerja teknologi pengolahan air berdasarkan kemampuan aktualnya dalam mengurangi kontaminan mikrobiologis.

Peningkatan Pengetahuan dan Keterampilan Santri

Selain menghasilkan perbaikan kualitas fisik air, kegiatan PKM memberikan dampak terhadap peningkatan pengetahuan dan keterampilan santri. Peserta tidak hanya mendapatkan penjelasan mengenai prinsip dasar koagulasi dan filtrasi, tetapi juga dilibatkan secara langsung dalam proses pemberian tawas, pengoperasian alat penyaring, serta perakitan dan pemeliharaan media filtrasi. Keterlibatan langsung tersebut menjadi bagian penting dari proses transfer teknologi karena memungkinkan peserta memahami hubungan antara teori yang diberikan dengan penerapannya di lapangan.

Berdasarkan hasil evaluasi, sekitar 90% santri memahami proses koagulasi dan filtrasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa metode penyuluhan yang dikombinasikan dengan demonstrasi dan praktik langsung cukup efektif dalam meningkatkan pemahaman peserta. Antusiasme peserta selama praktik juga menunjukkan bahwa teknologi pengolahan air sederhana relatif mudah dipahami dan diterapkan setelah memperoleh pendampingan.

Pada kegiatan PKM ini dilakukan *pre-test* dan *post-test* yang digunakan untuk menganalisis pemahaman peserta sebelum dan sesudah pelaksanaan kegiatan. Tes ini dibuat sebagai tolak ukur keberhasilan kegiatan dan sebagai bahan evaluasi kegiatan PKM yang telah dilakukan dengan hasil sebagaimana pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Tes Sebelum dan Sesudah Kegiatan PKM

No	Pengetahuan Materi	Sebelum PKM (Jumlah)	Sebelum PKM (%)	Setelah PKM (Jumlah)	Setelah PKM (%)
1	Belum Memahami Materi	8	53,33%	0	-
2	Ragu-Ragu	5	33,33%	0	-
3	Memahami Materi	2	13,33%	15	100%

Tabel 1 menunjukkan data mengenai tingkat pengetahuan peserta tentang penjernihan dan penyaringan air sebelum dan sesudah melakukan kegiatan PKM. Sebelum PKM, 53,33% peserta belum memahami materi, 33,33% ragu-ragu, dan 13,33% sudah mempunyai pengetahuan tentang penjernihan air. Keragaman tersebut disebabkan perbedaan latar belakang tingkat pendidikan dari para santri yang mencakup tingkat SMP maupun SMA.

Setelah dilakukan pemaparan teori dan praktik teknik penjernihan air dengan tawas dan penyaringan pasir aktif, para peserta mengalami kenaikan pemahaman yang sangat signifikan berdasarkan hasil kuesioner akhir. Secara garis besar, peserta dapat mengerti dan memahami materi teori dan praktik dengan peningkatan pemahaman yang cukup signifikan, yaitu dari 13,33% menjadi 100% peserta memahami materi yang disampaikan.

Dampak terhadap Kualitas Air dan Lingkungan

Penerapan teknologi penjernihan air memberikan dampak positif terhadap kualitas fisik air yang digunakan oleh mitra. Air yang semula tampak keruh dan kekuningan menjadi lebih jernih setelah melalui tahapan koagulasi, pengendapan, dan filtrasi. Pengurangan kekeruhan merupakan salah satu indikator awal keberhasilan proses pengolahan karena partikel tersuspensi dapat dipisahkan melalui pembentukan flok dan proses filtrasi [1], [10].

Penggunaan teknologi sederhana juga memberikan keuntungan dari aspek ekonomi dan operasional. Sistem yang menggunakan tawas dan media filtrasi relatif mudah diperoleh dan dioperasikan sehingga sesuai untuk lingkungan dengan keterbatasan sumber daya. Hal tersebut sejalan dengan pendekatan WHO yang menekankan bahwa teknologi pengolahan air perlu mempertimbangkan kondisi lokal, kemampuan pengguna, biaya, serta kemudahan pemeliharaan agar manfaat kesehatan dan sosialnya dapat dipertahankan dalam jangka panjang.

Dari aspek lingkungan, kegiatan ini turut meningkatkan kesadaran santri mengenai pentingnya menjaga kebersihan tandon, media penyaringan, dan lingkungan sekitar sumber air. Pemahaman tersebut penting karena kualitas air tidak hanya ditentukan oleh proses pengolahan, tetapi juga oleh kondisi penyimpanan dan praktik sanitasi setelah pengolahan. Oleh sebab itu, pengoperasian sistem penjernihan sebaiknya diikuti dengan kegiatan pembersihan tandon secara berkala, pencucian atau penggantian media filtrasi sesuai kondisinya, serta pemantauan kualitas air secara rutin.

Evaluasi dan Keberlanjutan Program

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa alat dapat berfungsi dengan baik dan relatif mudah dioperasikan oleh peserta. Pengurus pesantren juga menyampaikan bahwa teknologi tersebut membantu meningkatkan kualitas air tanpa memerlukan investasi dan biaya operasi yang besar. Hal ini menjadi salah satu indikator bahwa teknologi yang diperkenalkan memiliki potensi untuk diterapkan secara berkelanjutan di lingkungan mitra.

Meskipun demikian, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan untuk pengembangan kegiatan berikutnya. Pertama, dosis tawas sebesar 1 sendok makan/10 liter sebaiknya dipandang sebagai dosis praktik awal, bukan dosis optimum universal. Dosis aktual perlu disesuaikan dengan karakteristik air baku dan, idealnya, ditentukan melalui *jar test*. Hal ini karena kebutuhan koagulan dipengaruhi oleh kekeruhan dan karakteristik kimia air.

Kedua, penambahan karbon aktif dapat dipertimbangkan sebagai tahap pengolahan tambahan apabila masalah bau dan senyawa organik tertentu masih ditemukan. Karbon aktif bekerja terutama melalui mekanisme adsorpsi dan dapat digunakan sebagai bagian dari rangkaian pengolahan untuk mengurangi senyawa penyebab rasa dan bau tertentu [10], [11]. Penggunaan media pasir dan karbon aktif juga telah diteliti dalam sistem filtrasi untuk meningkatkan kualitas air, termasuk dalam pengurangan kekeruhan dan kontaminan tertentu [4], [12], [13].

Ketiga, kegiatan lanjutan sebaiknya dilengkapi dengan pengujian kualitas air secara kuantitatif, misalnya kekeruhan (NTU), pH, TDS, warna, Fe/Mn apabila relevan, serta parameter mikrobiologi seperti *Escherichia coli* dan total koliform. Data sebelum dan sesudah pengolahan akan memberikan bukti yang lebih kuat mengenai efektivitas teknologi yang diterapkan. Dengan demikian, kegiatan PKM berikutnya

tidak hanya menunjukkan perubahan secara visual, tetapi juga dapat menghasilkan data kuantitatif sebagai dasar evaluasi kinerja sistem.

Secara keseluruhan, kegiatan PKM di Pondok Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan berhasil memberikan transfer teknologi penjernihan air sederhana berbasis koagulasi–pengendapan dan filtrasi, sekaligus meningkatkan pengetahuan serta keterampilan santri dalam pengelolaan kualitas air. Kombinasi antara teknologi sederhana, praktik langsung, dan pendampingan menjadi faktor penting dalam meningkatkan penerimaan dan kemandirian mitra. Ke depan, pengembangan sistem dapat diarahkan pada optimasi dosis koagulan, penambahan karbon aktif, pemeliharaan media secara terjadwal, dan pengujian laboratorium sehingga teknologi yang diterapkan dapat memberikan manfaat yang lebih terukur dan berkelanjutan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini berhasil memberikan edukasi, pelatihan, dan instalasi teknologi penjernihan air sederhana menggunakan tawas dan pasir aktif di Pondok Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan. Program ini terbukti dapat meningkatkan kualitas fisik air, menambah wawasan para santri mengenai penerapan teknologi tepat guna, serta meningkatkan kemandirian mereka dalam pengelolaan dan perawatan alat. Secara keseluruhan, kegiatan ini memberikan dampak positif yang signifikan pada aspek teknis, sosial, maupun lingkungan pesantren.

Saran

Untuk keberlanjutan program, pemeliharaan media filtrasi disarankan dilakukan secara berkala minimal setiap 1–2 bulan sekali. Pihak santri dan pengurus pesantren juga perlu membentuk tim khusus pengelola air bersih agar operasional dan perawatan alat dapat berjalan dengan terorganisir. Selain itu, program pengembangan lanjutan dapat dirancang pada kegiatan berikutnya, seperti pelatihan pemanfaatan pengolahan air hujan atau edukasi manajemen sanitasi lingkungan yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fitriyah, I. A. Mayudin, M. F. A. Wahab, and P. Kusmiyati, “Penggunaan PAC, Tawas dan Arang Aktif Sebagai Koagulan pada Upam Ciruas Serang Banten,” *J. Lingkung. Dan Sumberd. Alam*, vol. 3, no. 2, pp. 87–92, 2020.
- [2] A. Adhitasari and E. Andrijanto, “Pemodelan Keseimbangan Massa pada Keadaan Tunak (Steady) sebagai Penentuan Konsentrasi Optimum Tawas (Alumunium Sulfate) pada Proses Penurunan Kadar Fe pada Sumber Air Tercemar,” *J. Tek. Kim. dan Lingkung.*, vol. 4, no. 2, pp. 128–132, 2020.
- [3] Sisnayati, E. Winoto, Yhopie, and S. Aprilyanti, “Perbandingan Penggunaan Tawas dan PAC terhadap Kekeruhan dan pH Air Baku PDAM Tirta Musi Palembang,” *J. Redoks*, vol. 6, no. 2, pp. 107–116, 2021, doi: <https://doi.org/10.31851/redoks.v6i2.5841>.
- [4] Sulastri and I. Nurhayati, “Pengaruh Media Filtrasi Arang Aktif terhadap Kekeruhan, Warna dan TDS pada Air Telaga di Desa Balongpanggang,” *WAKTU J. Tek. UNIPA*, vol. 12, no. 1, pp. 43–47, 2014, doi: <https://doi.org/10.36456/waktu.v12i1.825>.
- [5] World Health Organization, *Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First and Second Addenda*, 4th ed. Geneva: World Health Organization, 2022.
- [6] T. Mulyana, U. Kadaria, and P. W. Nugraheni, “Perbandingan Efektivitas antara Koagulan Lidah Buaya dan Tawas dalam Memperbaiki Kualitas Air Gambut,” *J. Lingkung. dan Sumberd. Alam*, vol. 8, no. 1, pp. 28–42, 2025, doi: <https://doi.org/10.47080/jls.v8i1.3964>.

- [7] D. K. Isradaningtyas, T. Bagyono, and H. Santjoko, “Perbedaan Penggunaan Jenis Media Filtrasi Pasir dengan Karbon Aktif terhadap Penurunan Fe (Besi) Air Sumur Gali di Dusun Sidomulyo, Trimulyo, Sleman,” *Sanitasi J. Kesehat. Lingkung.*, vol. 10, no. 1, pp. 32–36, Aug. 2018, doi: <https://doi.org/10.29238/sanitasi.v10i1.780>.
- [8] P. Ramayani, E. Jumiaty, and A. H. Daulay, “Penurunan Kadar Mn Dan Fe Air Sumur Gali Dengan Filtrasi Bahan Pasir Silika, Karbon Aktif Serat Daun Nanas, dan Zeolit,” *J. Ikat. Alumni Fis. Univ. Negeri Medan*, vol. 8, no. 3, pp. 25–28, 2022, doi: <https://doi.org/10.24114/jiaf.v8i3.36445>.
- [9] A. Chiavola, C. Di Marcantonio, M. D’Agostini, S. Leoni, and M. Lazzazzara, “A combined experimental-modeling approach for turbidity removal optimization in a coagulation–flocculation unit of a drinking water treatment plant,” *J. Process Control*, vol. 130, p. 103068, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jprocont.2023.103068>.
- [10] B. B. Purba and R. S. Ripando, “Efektivitas Penggunaan Tawas dan Karbon Aktif pada Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Rumahan Putri Deli Kecamatan Namorambe Tahun 2024,” *J. Penelit. Kesmas*, vol. 7, no. 2, pp. 121–131, 2025, doi: <https://doi.org/10.36656/jpkisy.v7i2.2349>.
- [11] R. Ronny and D. M. Syam, “Aplikasi Teknologi Saringan Pasir Silika dan Karbon Aktif dalam Menurunkan Kadar BOD dan COD Limbah Cair Rumah Sakit Mitra Husada Makassar,” *Hig. J. Kesehat. Lingkung.*, vol. 4, no. 2, pp. 62–66, Aug. 2018.
- [12] M. Gemala and N. Ulfah, “Efektifitas Metode Kombinasi Pasir Zeolit dan Arang Aktif dalam Pengolahan Air Lindi di Tempat Pembuangan Akhir (TPA),” *J. Tek. Kim. dan Lingkung.*, vol. 4, no. 2, pp. 162–167, 2020.
- [13] D. W. Skaf, V. L. Punzi, J. T. Rolle, and K. A. Kleinberg, “Removal of micron-sized microplastic particles from simulated drinking water via alum coagulation,” *Chem. Eng. J.*, vol. 386, p. 123807, Apr. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123807>.