

EFEKTIFITAS ARANG BATOK KELAPA DALAM MENURUNKAN KADAR NIKEL, *E COLI*, DAN KEKERUHAN PADA AIR SUMUR GALI

Idayani Sangadjisowohy¹, Sumiati Tomia², Jasman³, Risman S.Duka⁴
^{1,2}Department Kesehatan Lingkungan, Poltekkes Kemenkes Ternate, ^{3,4}Dinas
Kesehatan Halmahera Tengah, Maluku Utara, Indonesia
Email Korespondensi: sangadjisowhyidayani@gmail.com

Abstract

Water is essential for human life, as it plays a crucial role in various biological processes within the body, with water constituting 50-70% of total body weight. This study aimed to assess the effectiveness of coconut shell charcoal in reducing levels of nickel, E. coli, and turbidity in dug well water. An experimental research design with a "Pre-Post Test Design" was employed. The study was conducted in Lelilef Village, Central Halmahera Regency, using 70 dug wells as samples. Ten liters of water from each well were filtered using coconut shell charcoal, which was locally sourced from the village. Purposive sampling was applied in selecting the wells for filtration. The results indicated that coconut shell charcoal filtration significantly reduced nickel levels by 98.6%, decreased E. coli levels in 64.3% of the samples, and successfully met water turbidity standards. Conclusion : The use of coconut shell charcoal is effective in reducing nickel, E. coli, and turbidity in contaminated well water.

Keywords: Coconut shell charcoal; E.Coli; dug wells; nickel; Lelilef Village; water turbidity

Abstrak

Air sangat penting bagi kehidupan manusia karena berperan penting dalam berbagai proses biologis dalam tubuh, dengan air yang menyusun 50-70% dari berat tubuh total. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas arang tempurung kelapa dalam menurunkan kadar nikel, E. coli, dan kekeruhan pada air sumur gali. Desain penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan rancangan "Pre-Post Test Design". Penelitian dilakukan di Desa Lelilef, Kabupaten Halmahera Tengah, dengan menggunakan 70 sumur gali sebagai sampel. Sebanyak 10 liter air dari setiap sumur disaring menggunakan arang tempurung kelapa yang diperoleh dari desa setempat. Pemilihan sumur untuk penyaringan dilakukan secara purposive sampling. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyaringan dengan arang tempurung kelapa mampu menurunkan kadar nikel secara signifikan sebesar 98,6%, menurunkan kadar E. coli sebesar 64,3% dari sampel, dan berhasil memenuhi baku mutu kekeruhan air. Kesimpulan Penggunaan arang batok kelapa efektif menurunkan nikel, E. coli, dan kekeruhan air sumur terkontaminasi.

Kata Kunci: Arang Batok Kelapa; E.Coli; Desa Lelilef; Nikel; Kekeruhan Air; Sumur Gali

PENDAHULUAN

Pada tahun 2022, 1,7 miliar orang di seluruh dunia menggunakan sistem pemurnian udara, meskipun ada risiko kontaminasi. Udara yang bersih dan aman sangat penting untuk menjaga praktik kebersihan, mencegah penyakit seperti diare, kolera, disentri, tifus, dan polio, dan 73% populasi global menggunakan layanan pemurnian udara ¹. Air bersih adalah standar mutu kesehatan lingkungan untuk media air untuk keperluan higiene sanitasi, yang bersih meliputi fisik, biologi, kimia, wajib dan tambahan ^{2,3}. Masalah pencemaran lingkungan khususnya masalah pencemaran air dikota besar sudah menunjukkan gejala yang cukup serius ⁴. Polusi udara tidak hanya disebabkan oleh fasilitas industri dan kesehatan yang

menyebabkan pencemaran udara tanpa pengawasan yang baik, tetapi juga oleh masyarakat sehingga mempengaruhi kualitas udara dalam rumah.

Pencemaran yang diakibatkan oleh karena kegiatan penambangan umumnya menimbulkan kerusakan terhadap lingkungan^{5,6}. Logam berat merupakan limbah yang dihasilkan oleh kegiatan pertambangan dimana logam berat merupakan komponen organik yang dapat mencemari perairan⁷⁻⁹. Jenis limbah yang potensial merusak lingkungan hidup adalah limbah yang termasuk dalam Bahan Beracun dan Berbahaya (B3) yang di dalamnya terdapat logam-logam berat. Logam berat adalah unsur logam yang mempunyai massa jenis lebih besar dari 5 g/cm³, antara lain Cd, Hg, Pb, Zn, dan Ni. Logam berat Cd, Hg, dan Pb dinamakan sebagai logam non esensial dan pada tingkat tertentu menjadi logam beracun bagi makhluk hidup¹⁰.

Arang aktif yang dihasilkan dari tempurung kelapa menghasilkan nilai adsorpsi yang tinggi dibandingkan dengan arang aktif yang dihasilkan dari arang serbuk gergaji dan arang bakau¹¹. Kinerja dari karbon aktif sangat dipengaruhi oleh suhu dan waktu pada proses aktivasi berjalan^{12,13}. Selain ukuran, waktu aktivasi juga berpengaruh terhadap penyerapan arang aktif karena berpengaruh terhadap struktur dan pori karbon, serta luas permukaan karbon¹⁴. Terdapat pengaruh ukuran adsorben terhadap luas permukaan bidang kontak, sehingga pada akhirnya akan mempengaruhi kemampuan penyerapan logam.

Kabupaten Halmahera Tengah merupakan salah satu kabupaten yang ada di provinsi Maluku Utara, yang terletak di wilayah pesisir dan memiliki potensi sumber daya pesisir laut dan memiliki sumber daya mineral berupa Nikel (Ni). Pertambangan akan menimbulkan dampak terhadap lingkungan sekitar. Data terkait dengan kasus diare di Kabupaten Halmahera Tengah pada tahun 2021 dengan jumlah KK 19077 jiwa dan diperkirakan jumlah kasus diare sebanyak 385 kasus. Sebaran kasus di tahun 2021 pada wilayah kerja puskesmas Lelilef sebanyak 87 kasus diare, hal ini terlihat pada sarana sumur gali yang ada di Lelilef berjumlah 222 sarana, dan penyebab dari penyakit diare adalah air bersih yang sudah terkontaminasi oleh bakteri. Desa Lelilef merupakan daerah penambangan PT. Indonesia Weda Bay Industrial Park (IWIP) sehingga menimbulkan kerusakan terhadap lingkungan yang menyebabkan sumber airnya tercemar secara fisik karena air sudah berwarna keruh dan bakteriologi. Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut yaitu "Apakah Arang Batok Kelapa dapat Menurunkan Kadar Nikel, *E Coli* dan Kekeruhan Air Sumur Gali sesudah penyaringan".

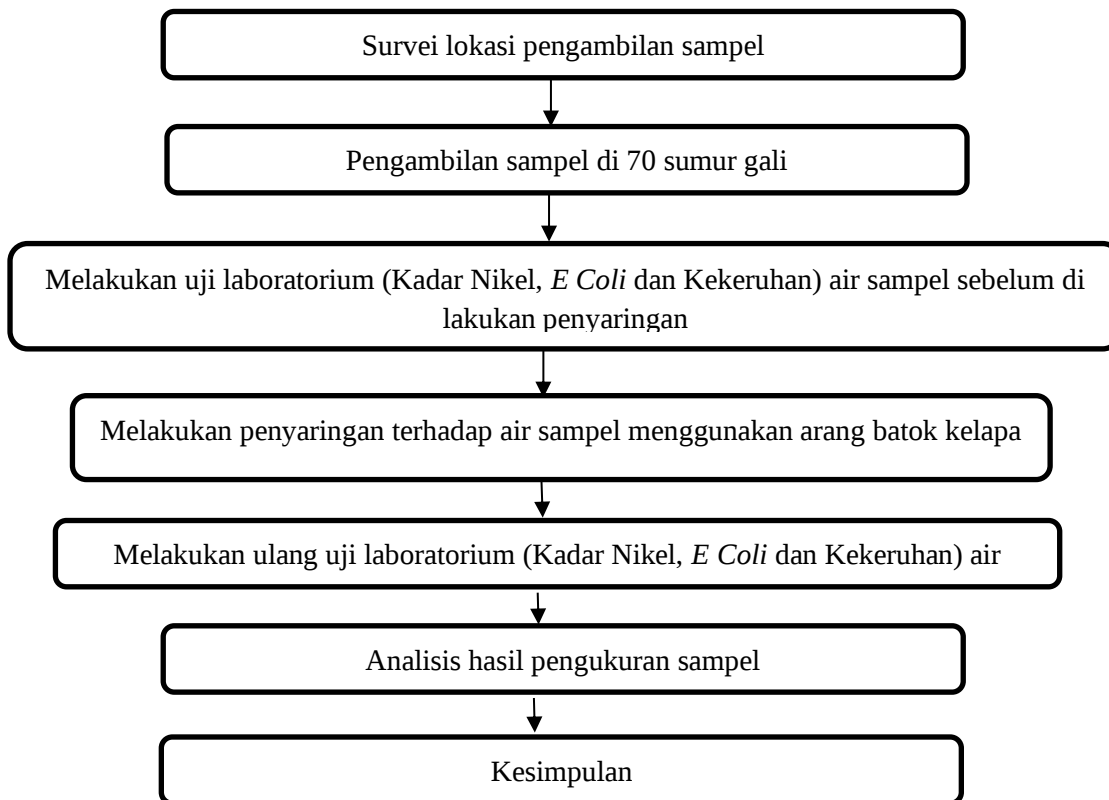
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain eksperimen dengan pendekatan 'Pre-Post Test Design', yang melibatkan dua pengukuran: pengukuran awal (pre-test) sebelum perlakuan

diberikan, dan pengukuran akhir (post-test) setelah perlakuan atau penyaringan dilakukan. Penelitian ini difokuskan pada sampel air sumur gali yang tercemar bakteriologi, mengandung nikel, dan menunjukkan kekeruhan, yang berasal dari kawasan IWIP Desa Lelilef.

Penelitian dilakukan di Desa Lelilef Kabupaten Halmahera Tengah dan Pemeriksaan sampel air kimia dikirim ke di BTKL Manado dan sampel air bakteriologi dilakukan pemeriksaan di Laboratorium Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Ternate. Pemilihan lokasi penelitian di Desa Lelilef, Kabupaten Halmahera Tengah, didasarkan pada beberapa pertimbangan yang relevan. Pertama, daerah ini memiliki masalah kualitas air yang signifikan, baik dari segi kimia maupun bakteriologi, yang dapat mempengaruhi kesehatan masyarakat. Kedua, lokasi ini dapat mewakili kondisi lingkungan yang berbeda dibandingkan dengan daerah lain, sehingga hasil penelitian dapat memberikan wawasan yang lebih luas tentang isu kualitas air di wilayah tersebut. Ketiga, kolaborasi dengan BTKL Manado dan Laboratorium Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Ternate memberikan akses ke fasilitas analisis yang berkualitas, meningkatkan validitas dan reliabilitas data yang diperoleh. Dengan demikian, pemilihan lokasi ini mendukung tujuan penelitian untuk mengevaluasi dan memahami kondisi kualitas air secara komprehensif.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh sumur gali yang terdapat di Desa Lelilef. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 70 sumur gali yang dipilih secara purposive sampling. Dari setiap sumur, diambil 10 liter air untuk kemudian disaring menggunakan arang batok kelapa yang bahan bakunya diperoleh dari Desa Lelilef. Teknik sampling yang digunakan dalam penelitian ini adalah purposive sampling, yaitu pemilihan sampel berdasarkan kriteria tertentu yang relevan dengan tujuan penelitian. Kriteria inklusi dalam penelitian ini adalah semua sumur gali yang berada di Desa Lelilef, Kabupaten Halmahera Tengah, yang digunakan sebagai sumber air minum. Sementara itu, sumur gali di luar wilayah Desa Lelilef tidak dimasukkan dalam penelitian ini, dan oleh karena itu, masuk dalam kategori kriteria eksklusi.

Alur Penelitian**Gambar 1. Alur Penelitian**

Alat pengumpulan data yang digunakan adalah alat penyaringan sederhana menggunakan arang batok kelapa. Teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan cara melakukan observasi, yaitu dengan cara melakukan pengamatan langsung dan pengukuran kadar Nikel, *E Coli*, dan Kekeruhan pada sampel air sumur gali. Alat dan bahan untuk pengambilan sampel yaitu Botol Sampel, Cool box, Kertas Label, Pena. Alat dan bahan untuk penyaringan sederhana yaitu Botol sampel, Ember, Jerigen, Drink Jar 10 Liter, Oven, Ember ukuran 10 liter, Ayakan, Korek api, Spirtus, Kertas cokelat. Bahan yang digunakan adalah Air Baku, Pasir, Kerikil, Batok Kelapa, Kertas Label.

Prosedur pembuatan Alat penyaringan Pasir Cepat yaitu Siapkan alat dan bahan yang digunakan, Sediakan drink jar 10 liter air sebanyak 70 buah, Pembakaran arang batok kelapa dengan metode menggunakan drum kemudian arang di haluskan berbentuk butiran. Prosedur Pembuatan Arang adalah Siapkan alat dan bahan terlebih dahulu, Masukkan batok kelapa kedalam drum, Tuangkan minyak tanah kedalam drum dan nyalakan api, Setelah itu tutup dan diberi ventilasi pada penutup, Kemudian tunggu batok kelapa sampai terbakar semuanya, Setelah semuanya sudah terbakar menjadi arang lalu dibersihkan dengan cara dicuci kemudian dikeringkan dengan cara jemur hingga kering, Arang dikeringkan terlebih dahulu dalam oven untuk menghilangkan kadar airnya, kemudian dilakukan proses aktivasi dengan

larutan Kalium hidroksida (KOH) dengan cara merendam selama 24 jam dan disaring, Arang siap digunakan.

Untuk pemeriksaan kadar Nikel, dan kekeruhan dilakukan pada laboratorium BTKL Manado dan E.Coli di Laboratorium Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Ternate. Data yang telah terkumpul dari hasil pemeriksaan pada laboratorium BTKL Manado dan Laboratorium Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Ternate terkait dengan kadar Nikel, *E Coli*, dan kekeruhan pada air, sebelum dan sesudah perlakuan. Dilakukan analisis data dan disajikan dalam bentuk narasi dan table.

HASIL PENELITIAN

Hasil pemeriksaan kandungan Nikel (Ni), E. Coli, dan kekeruhan sebelum dan setelah penyaringan dengan arang batok kelapa dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2. Sebelum perlakuan, 55,7% sampel mengandung Nikel di atas Nilai Ambang Batas (NAB), sementara setelah penyaringan, sebanyak 75,7% sampel memenuhi NAB. Begitu juga dengan kandungan E. Coli yang 100% tidak memenuhi NAB sebelum perlakuan dan 64,3% mengalami penurunan setelah penyaringan. Dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Nikel (Ni) terlarut ,*E.Coli* dan Kekeruhan berdasarkan Persyaratan Pada Air Sumur

Kriteria	Sebelum perlakuan			Sesudah perlakuan		
	Nikel (%)	<i>E.Coli</i> (%)	Kekeruhan (%)	Nikel (%)	<i>E.Coli</i> (%)	Kekeruhan (%)
MS	31 (44.3)	0 (0)	68 (97.1)	53 (75.7)	1 (1.4)	70 (100)
TMS	39 (55.7)	70 (100)	2 (2.86)	17 (24.3)	69 (98.6)	0 (0)
Jumlah	70 (100)	70 (100)	70 (100)	70 (100)	70 (100)	70 (100)

Hasil penelitian menunjukkan penurunan signifikan dalam kadar Nikel (Ni) terlarut dan kandungan E. Coli setelah penyaringan menggunakan arang batok kelapa. Dari 70 sampel air sumur yang diperiksa, 98,6% menunjukkan penurunan kadar Nikel, sementara 64,3% sampel menunjukkan penurunan kandungan E. Coli.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Nikel (Ni) terlarut ,*E.Coli* dan Kekeruhan berdasarkan Penurunan Setelah Penyaringan Pada Air Sumur

Hasil	Setelah Perlakuan					
	Nike	%	<i>E.Coli</i>	%	Kekeruhan	%
Ada Penurunan	69	98.6	45	64.3	70	100.0
Tidak Ada Penurunan	1	1.4	25	35.7	0	0.00
Jumlah	70	100.0	70	100.0	70	100.0

PEMBAHASAN

Berdasarkan Tabel 1 menunjukkan bahwa pemeriksaan kandungan *E. Coli* dilakukan di Laboratorium Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Ternate dengan hasil pemeriksaan dari 70 air sumur yang diperiksa sebanyak 70 sampel yang positif atau 100% sampel tidak memenuhi syarat Nilai Ambang Batas (NAB). Setelah dilakukan penyaringan dengan arang batok kelapa pada 70 sampel air sumur hanya 1 sampel atau 1,4% yang memenuhi syarat Nilai Ambang Batas (NAB). Tetapi jika di lihat dari penurunan kandungan *E.Coli* setelah dilakukan penyaringan seperti pada table 2 bahwa dengan arang batok kelapa dapat di lihat yaitu dari 70 sampel air sumur yang diperiksa kandungan *E.Coli* terdapat 45 sampel atau 64,3% mengalami penurunan kandungan *E.Coli* sedangkan 25 sampel atau 35,7 % tidak mengalami penurunan kandungan *E.Coli* pada sampel air sumur. *E coli* sangat berbahaya bagi kesehatan manusia jika terdapat dalam air minum, sehingga penggunaan arang batok kelapa sebagai penyaringan dapat membantu mengurangi risiko terpapar bakteri tersebut¹⁵. *E coli* merupakan bakteri patogen yang dapat menyebabkan penyakit serius seperti infeksi saluran pencernaan dan infeksi saluran kemih^{16,17}.

Proses penyaringan air sumur menggunakan arang batok kelapa dapat dijelaskan melalui mekanisme adsorpsi, di mana pori-pori yang ada pada arang batok kelapa menarik partikel-partikel kontaminan, seperti ion logam berat Nikel dan mikroorganisme *E. Coli*, sehingga dapat mengurangi kadar kontaminan dalam air. Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa arang batok kelapa memiliki kemampuan adsorpsi yang tinggi, yang memungkinkan penurunan kadar logam berat dan mikroba dalam air¹⁸.

Berdasarkan data yang diperoleh dari pemeriksaan kandungan Nikel (Ni) terlarut, terlihat bahwa 55,71% sampel air sumur di Desa Lelilef mengandung Nikel di atas Nilai Ambang Batas (NAB). Fenomena ini dapat dijelaskan melalui teori polusi air, di mana aktivitas industri, terutama di dekat kawasan seperti PT IWIP, berpotensi menyebabkan pencemaran logam berat. Menurut teori dampak industri, limbah yang dihasilkan dapat mencemari sumber air tanah, yang berimplikasi langsung pada kesehatan Masyarakat^{19,20}.

Setelah dilakukan penyaringan menggunakan arang batok kelapa, tercatat penurunan signifikan dalam kandungan Nikel, di mana 75,7% sampel kini memenuhi NAB. Proses penyaringan ini dapat dipahami melalui teori adsorpsi, yang menjelaskan bagaimana zat padat (dalam hal ini, arang batok kelapa) dapat menarik dan mengikat partikel-partikel kontaminan dari air, sehingga meningkatkan kualitas air yang bersangkutan. Proses adsorpsi ini juga dapat diterapkan dalam berbagai bidang lainnya, seperti pengolahan limbah industri dan pengolahan air minum. Dengan demikian, arang batok kelapa dapat menjadi solusi yang efektif dalam mengatasi pencemaran air oleh logam berat seperti Nikel. Penurunan kadar nikel air bersih dipengaruhi oleh peristiwa adsorpsi yang terjadi pada arang batok kelapa²¹. Seperti halnya material lain yang memiliki pori untuk peristiwa adsorpsi, arang batok kelapa juga merupakan

salah satu material yang biasanya dipakai untuk peristiwa adsorpsi (penyerapan) ^{22,23}. Dalam penelitian ini arang batok kelapa dapat menyerap ion Cl^- penyebab tingginya kadar Nikel, sehingga air sampel kadar Nikel yang tadinya tinggi setelah melewati filtrasi yang didalamnya terdapat arang batok kelapa, kadar Nikelnya dapat turun/berkurang.

Penurunan kadar Nikel (Ni) setelah penyaringan dengan arang batok kelapa juga dapat dijelaskan dengan teori adsorpsi, yang telah dijelaskan dalam literatur sebelumnya ²⁴. Arang batok kelapa memiliki kemampuan untuk menyerap ion logam berat, termasuk Nikel, yang menyebabkan penurunan signifikan dalam kadar Nikel di air." lebih komprehensif mengenai bagaimana hasil penelitian ini dapat diperbaiki atau dikembangkan lebih lanjut di masa depan. arang batok kelapa dalam mengurangi kadar Nikel (Ni) dan E. Coli, ada kemungkinan adanya variabilitas dalam efektivitas penyaringan berdasarkan variasi ukuran partikel arang batok kelapa atau durasi waktu kontak antara air dan arang. Penelitian lebih lanjut dengan variasi parameter tersebut dapat memberikan informasi lebih lengkap mengenai potensi penggunaan arang batok kelapa sebagai bahan penyaring air

Komposisi yang paling optimal untuk menghasilkan air dengan kualitas yang baik yaitu karbon aktif 35%, pasir silika 25%, manganese 20%, Zeolit 20%. Pada komposisi ini juga, Mangan (Mn) dan Besi (Fe) mengalami penurunan ²⁵. Karbondioksida aktif berperan dalam menyerap zat-zat kimia yang dapat merusak kualitas air, sementara pasir silika membantu menyaring partikel-partikel kasar ^{26,27}. Kehadiran mangan dan zeolit juga memberikan kontribusi penting dalam proses penyaringan air ²⁸⁻³⁰. Kombinasi bahan-bahan tersebut telah terbukti efektif dalam menghasilkan air dengan kualitas yang baik, terutama dalam menurunkan kadar Mangan (Mn) dan Besi (Fe) dalam air ^{31,32}. Dengan demikian, komposisi tersebut sangat direkomendasikan untuk digunakan dalam sistem penyaringan air.

Mengenai kandungan *E. Coli*, hasil menunjukkan bahwa semua sampel awal tidak memenuhi syarat NAB. Hal ini sejalan dengan teori mikrobiologi yang menunjukkan bahwa pencemaran bakteri sering terjadi di area dengan sanitasi yang buruk. Setelah penyaringan, hanya 1,4% sampel yang memenuhi syarat, dan 64,3% mengalami penurunan *E. Coli*. Ini mengindikasikan efektivitas arang batok kelapa dalam mengurangi kontaminasi mikroba, yang dapat dijelaskan melalui proses filtrasi dan adsorpsi.

Kekeruhan air sumur juga dianalisis, di mana 97,1% sampel memenuhi NAB sebelum penyaringan. Kekeruhan sering kali disebabkan oleh partikel suspensi, dan teori fisika dalam pengolahan air menjelaskan bahwa penyaringan dapat menghilangkan partikel tersebut, menjelaskan mengapa setelah menggunakan arang batok kelapa, semua sampel memenuhi NAB.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penyaringan dengan arang batok kelapa efektif dalam meningkatkan kualitas air sumur di Desa Lelilef, baik dari segi

kandungan Nikel, *E. Coli*, maupun kekeruhan. Penemuan ini sejalan dengan teori keberlanjutan sumber daya alam, yang mendorong penggunaan metode alami dalam pengolahan air sebagai solusi ramah lingkungan untuk mengatasi masalah pencemaran.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa ini membuktikan bahwa penggunaan arang batok kelapa efektif dalam menurunkan kadar nikel, bakteri *E. coli*, dan kekeruhan pada air sumur gali di Desa Lelilef, Kabupaten Halmahera Tengah, yang terkontaminasi oleh aktivitas penambangan. Hasil menunjukkan penurunan signifikan pada ketiga parameter pencemaran ini, dengan 98,6% sampel mengalami penurunan kadar nikel, 64,3% mengalami penurunan *E. coli*, dan seluruh sampel berhasil memenuhi standar kekeruhan setelah proses penyaringan.

Penggunaan Arang Batok Kelapa sebagai Filter Air, Pemerintah setempat atau dari kecamatan, Puskesmas dan Desa Lelilef dapat mempromosikan penggunaan arang batok kelapa sebagai solusi penyaringan air sederhana bagi masyarakat, terutama di area yang rentan terhadap kontaminasi di sekitar pemukiman Kawasan IWIP. Pengawasan Kualitas Air Secara Berkala, disarankan bagi instansi kesehatan Dinas Kesehatan atau Puskesmas terutama di wilayah kerja Puskesmas Lelilef untuk melakukan pengawasan rutin terhadap kualitas air sumur guna memastikan keberlanjutan akses air bersih bagi masyarakat. Disimpulkan Penggunaan arang batok kelapa efektif menurunkan nikel, *E. coli*, dan kekeruhan air sumur terkontaminasi. Disarankan untuk Promosikan arang batok kelapa sebagai filter air dan lakukan pengawasan kualitas air secara berkala.

DAFTAR PUSTAKA

1. WHO. Drinking Water. Geneva; 2022.
2. Sajidan, Atmojo IRW, Ardiansyah R, Saputri DY. A simple water purification tool as an effort to meet clean water needs. IOP Conf Ser Earth Environ Sci. 2024;1314(1):1–9.
3. Syahriani N, Palutturi S, Bintara Birawida A, Hidayanty H. Clean Water Supply as an Indicator for Healthy Island in Makassar City. Open Access Maced J Med Sci. 2022;10(E):320–5.
4. Kumar R, Verma A, Shome A, Sinha R, Sinha S, Jha PK, et al. Impacts of Plastic Pollution on Ecosystem Services, Sustainable Development Goals, and Need to Focus on Circular Economy and Policy Interventions. Sustainability. 2021;13(17):1–40.
5. Haddaway NR, Cooke SJ, Lesser P, Macura B, Nilsson AE, Taylor JJ, et al. Evidence of the impacts of metal mining and the effectiveness of mining mitigation measures on social–ecological systems in Arctic and boreal regions: a systematic map protocol. Environ Evid. 2019;8(1):9–19.
6. Worlanyo AS, Jiangfeng L. Evaluating the environmental and economic impact of mining for post-mined land restoration and land-use: A review. J Environ Manage. 2021;279(2):1–10.
7. Hama Aziz KH, Mustafa FS, Omer KM, Hama S, Hamarawf RF, Rahman KO. Heavy metal pollution in the aquatic environment: efficient and low-cost removal approaches to eliminate their toxicity: a review. RSC Adv. 2023;13(26):17595–610.

8. Singh V, Ahmed G, Vedika S, Kumar P, Chaturvedi SK, Rai SN, et al. Toxic heavy metal ions contamination in water and their sustainable reduction by eco-friendly methods: isotherms, thermodynamics and kinetics study. *Sci Rep.* 2024;14(1):1–11.
9. Saravanan P, Saravanan V, Rajeshkannan R, Arnica G, Rajasimman M, Baskar G, et al. Comprehensive review on toxic heavy metals in the aquatic system: sources, identification, treatment strategies, and health risk assessment. *Environ Res.* 2024;258(10):1–12.
10. N. Khalef R, I. Hassan A, M. Saleh H. Heavy Metal's Environmental Impact. In: *Environmental Impact and Remediation of Heavy Metals*. IntechOpen; 2022.
11. Masthura M, Putra Z. Karakterisasi Mikrostruktur Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Kayu Bakau. *Elkawanie.* 2018;4(1):1–11.
12. Sriatun S, Herawati S, Aisyah I. Effect of Activator Type on Activated Carbon Characters from Teak Wood and The Bleaching Test for Waste Cooking Oil. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan.* 2020;15(2):79–89.
13. Jjagwe J, Olupot PW, Menya E, Kalibbala HM. Synthesis and Application of Granular Activated Carbon from Biomass Waste Materials for Water Treatment: A Review. *Journal of Bioresources and Bioproducts.* 2021;6(4):292–322.
14. Fatmawati S, Syar NI, Suhartono S, Maulina D, Ariyadi R. Arang Aktif Gambut sebagai Filter Logam Berat Mercury (Hg). *JURNAL ILMIAH SAINS.* 2021;21(1):63–70.
15. Yogaswari D, Kurniawan K, Mujahid I, Ritma Dhanti K. Formulasi Gel Ekstrak Arang Tempurung Kelapa dan Uji Sensitivitas Terhadap Bakteri *Escherichia coli*. *BIOEDUSCENCE.* 2024;8(1):84–94.
16. Navab-Daneshmand T, Friedrich MND, Gächter M, Montealegre MC, Mlambo LS, Nhiwatiwa T, et al. *Escherichia coli* Contamination across Multiple Environmental Compartments (Soil, Hands, Drinking Water, and Handwashing Water) in Urban Harare: Correlations and Risk Factors. *Am J Trop Med Hyg.* 2018;98(3):803–13.
17. Xing X, Li T, Bi Z, Qi P, Li Z, Wang H, et al. Enhancing inhibition of disinfection byproducts formation and opportunistic pathogens growth during drinking water distribution by Fe₂O₃/Coconut shell activated carbon. *Environmental Pollution.* 2021;268(1):1–11.
18. Packialakshmi S, Anuradha B, Nagamani K, Sarala Devi J, Sujatha S. Treatment of industrial wastewater using coconut shell based activated carbon. *Mater Today Proc.* 2023;81(1):1167–71.
19. Li P, Karunanidhi D, Subramani T, Srinivasamoorthy K. Sources and Consequences of Groundwater Contamination. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2021;80(1):1–10.
20. Santucci L, Carol E, Tanjal C. Industrial waste as a source of surface and groundwater pollution for more than half a century in a sector of the Río de la Plata coastal plain (Argentina). *Chemosphere.* 2018;206(9):727–35.
21. Kuok KK, Chiu PC, Rahman MdR, Chin MY, Bin Bakri MK. Sustainable bamboo and coconut shell activated carbon for purifying river water on Borneo Island. *Waste Management Bulletin.* 2024;2(1):39–48.
22. Afia Nita Batdjedelik, Sumardiyono. Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa sebagai Adsorben Pemurnian Minyak Jelantah. *JURNAL KIMIA DAN REKAYASA.* 2024;4(2):64–70.
23. Cristina Páez-Pumar Romer I, Victoria Plazola Santana I, María Rodríguez Bengoechea R, Manuel Pérez Hernández M. Coconut Shell Charcoal Adsorption to Remove Methyl Orange in Aqueous Solutions. In: *Sorption - From Fundamentals to Applications*. IntechOpen; 2022. p. 1–11.
24. Marcelino MM, Leeke GA, Jiang G, Onwudili JA, Alves CT, Santana DM de, et al. Supercritical Water Gasification of Coconut Shell Impregnated with a Nickel Nanocatalyst: Box–Behnken Design and Process Evaluation. *Energies (Basel).* 2023;16(8):1–9.
25. Noor Salim, Nanang Saiful Rizal, Ricky Vihantara. Komposisi Efektif Batok Kelapa sebagai Karbon Aktif untuk Meningkatkan Kualitas Airtanah di Kawasan Perkotaan. *Media Komunikasi Teknik Sipil.* 2018;24(1):87–95.

26. HARMI TJAHHANTI P, Ernanda RR. Silica Sand, Activated Carbon, and Manganese Zeolite for Clean Water Filtration. *Indonesian Journal of Cultural and Community Development*. 2024;15(3):1–10.
27. Ayeleru OO, Modekwe HU, Onisuru OR, Ohoro CR, Akinnawo CA, Olubambi PA. Adsorbent technologies and applications for carbon capture, and direct air capture in environmental perspective and sustainable climate action. *Sustainable Chemistry for Climate Action*. 2023;3(1):1–12.
28. Onyutha C, Okello E, Atukwase R, Nduhukiire P, Ecodu M, Kwiringira JN. Improving household water treatment: using zeolite to remove lead, fluoride and arsenic following optimized turbidity reduction in slow sand filtration. *Sustainable Environment Research*. 2024;34(1):4–15.
29. Kwakye-Awuah B, Sefa-Ntiri B, Von-Kiti E, Nkrumah I, Williams C. Adsorptive Removal of Iron and Manganese from Groundwater Samples in Ghana by Zeolite Y Synthesized from Bauxite and Kaolin. *Water (Basel)*. 2019;11(9):1912–22.
30. Meiramkulova K, Kydyrbekova A, Devrishov D, Nurbala U, Tuyakbayeva A, Zhangazin S, et al. Comparative Analysis of Natural and Synthetic Zeolite Filter Performance in the Purification of Groundwater. *Water (Basel)*. 2023;15(3):588–98.
31. Abdiyev K, Azat S, Kuldeyev E, Ybyraiymkul D, Kabdrakhmanova S, Berndtsson R, et al. Review of Slow Sand Filtration for Raw Water Treatment with Potential Application in Less-Developed Countries. *Water (Basel)*. 2023;15(11):2007–17.
32. Wu R, Yao F, Li X, Shi C, Zang X, Shu X, et al. Manganese Pollution and Its Remediation: A Review of Biological Removal and Promising Combination Strategies. *Microorganisms*. 2022;10(12):2411–21.