

Efektivitas Media Filter Keramik dalam Menurunkan Kadar Fe dan Mn pada Air Tanah

Ain Khaer^{1*}, Ni Luh Astri Indraswari², Nurul Aqirah³

^{1,2,3}Jurusan Kesehatan Lingkungan Poltekkes Kemenkes Makassar

*Corresponding author: ainkhaer@poltekkes-mks.ac.id

Info Artikel: Diterima ..bulan...20XX ; Disetujui ...bulan 20XX ; Publikasi ...bulan ..20XX *tidak perlu diisi

ABSTRACT

Groundwater quality is very important, especially in urban areas that rely on wells as the main source of water. Heavy metals such as iron (Fe) and manganese (Mn) can harm the environment and human health, so groundwater contamination is a major problem. High capacities of iron and magnesium in groundwater can cause discoloration, taste, and odor of water, as well as stains on clothing and household appliances. More importantly, long-term exposure to iron and magnesium in drinking water can cause organ damage and neurological disorders.

The purpose of this study was to analyze the effectiveness of ceramic filter media in reducing Fe and Mn levels in groundwater with experimental research methods. The sample of this research is groundwater or well water with the sampling approach method used is Purposive Sampling. The data presented in tabular form were analyzed statistically using the T test on the effectiveness of ceramic filter media in reducing Fe and Mn levels in groundwater.

The results showed that the Fe level before processing was 0.5718 mg/l and the Mn level was 2.5839 mg/l. While the results obtained after processing by doing 5 replications are an average decrease in Fe levels of 80.91%. As well as the results of Mn levels obtained after processing an average decrease of 80.92%.

The conclusion of this study is that there is a difference between before treatment and after treatment using ceramic filter media and shows that ceramic filter media is effective in reducing Fe and Mn levels in groundwater.

Keywords : Ceramic Filter; Fe; Mn; Groundwater

ABSTRAK

Kualitas air tanah sangat penting, terutama di daerah perkotaan yang bergantung pada sumur sebagai sumber air utama. Logam berat seperti besi (Fe) dan mangan (Mn) dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia, jadi pencemaran air tanah menjadi masalah besar. Kapasitas tinggi besi dan magnesium dalam air tanah dapat menyebabkan perubahan warna, rasa, dan bau air, serta noda pada pakaian dan peralatan rumah tangga. Lebih penting lagi, paparan jangka panjang terhadap besi dan mangan dalam air minum dapat menyebabkan kerusakan organ dan gangguan saraf.

Tujuan penelitian ini untuk menganalisis Efektivitas Media Filter Keramik dalam Menurunkan Kadar Fe dan Mn pada Air Tanah dengan metode penelitian eksperimen. Sampel penelitian ini yaitu air tanah atau air sumur dengan metode pendekatan pengambilan sampel yang digunakan adalah Purposive Sampling. Data yang disajikan dalam bentuk tabel di analisa secara statistik dengan menggunakan Uji T terhadap efektivitas media filter keramik dalam menurunkan kadar Fe dan Mn pada air tanah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar Fe sebelum pengolahan yaitu 0,5718 mg/l dan kadar Mn sebesar 2,5839 mg/l. Sedangkan hasil yang diperoleh setelah pengolahan dengan melakukan 5 kali replikasi yaitu rata-rata penurunan kadar Fe yaitu sebesar 80,91%. Serta Hasil kadar Mn yang diperoleh setelah pengolahan rata-rata penurunan sebesar 80,92%.

Kesimpulan dari penelitian ini adalah ada perbedaan antara sebelum pengolahan dan setelah pengolahan dengan menggunakan media filter keramik dan menunjukkan bahwa media filter keramik efektif dalam menurunkan kadar Fe dan Mn pada air tanah.

Kata kunci : Filter Keramik; Fe; Mn; Air Tanah

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan penting untuk kelangsungan hidup dan kebutuhan mendasar baik manusia, hewan dan tumbuhan. Air yang memenuhi syarat kesehatan diperlukan untuk keperluan sehari-hari dalam meningkatkan derajat kesehatan. Tubuh manusia sebagian besar terdiri dari air, dengan jumlah yang tepat bervariasi berdasarkan faktor-faktor seperti usia, jenis kelamin, dan tingkat obesitas. Seiring bertambahnya usia, proporsi cairan terhadap berat badan terus berkurang. Seluruh volume cairan tubuh pada setiap orang dapat bervariasi berdasarkan faktor-faktor seperti usia, berat badan, jenis kelamin, dan persentase lemak tubuh (Hoesin, 2022).

Skala global terdapat 2 miliar masyarakat yang membutuhkan akses air bersih dengan layanan yang dikelola dengan baik. Di antaranya 1,2 miliar masyarakat hanya mendapatkan layanan dasar, 282 juta masyarakat yang hanya memiliki akses ke layanan yang tidak memadai, 367 juta masyarakat yang bergantung pada sumber air yang tidak layak, dan 122 juta masyarakat hanya menggunakan air permukaan untuk keperluan minum (WHO & UNICEF Indonesia, 2022).

Kelangkaan air secara tidak proporsional mempengaruhi mereka yang hidup dalam tingkat pendapatan rendah. Menurut perkiraan PBB, lebih dari 1 miliar orang tidak memiliki akses terhadap air bersih dan air minum, diproyeksikan akan terus meningkat, terutama di wilayah metropolitan (Limuris, 2021).

Berdasarkan Survei Tahunan Perusahaan Air Bersih diselenggarakan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) data statistik Perusahaan Air Bersih bahwa produksi air bersih tahun 2022 sebesar 5.267,5 juta m³ atau meningkat sebesar 0,28 % (Badan Pusat Statistik, 2023). Menurut data Badan Pusat Statistik dalam Publikasi Indikator Perumahan dan Penyehatan Lingkungan tahun 2020, sumber air utama untuk keperluan sehari-hari di daerah perkotaan sebagian besar adalah PAM/PDAM (36,99%). Sementara itu di daerah pedesaan, sumur terlindung merupakan sumber air yang paling sering digunakan (19,78%). Proporsi keluarga di pedesaan yang mengandalkan sumur bor dan sumur terlindung sebagai sumber air utama untuk keperluan sehari-hari masing-masing sebesar 19,70% dan 19,78% (Badan Pusat Statistik, 2022).

Berdasarkan dari data Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) tahun 2024 bahwa 80% kebutuhan air masyarakat masih menggunakan air tanah. Hal ini menunjukkan bahwa rata-rata masyarakat masih mengandalkan air tanah sebagai sumber air utama untuk kehidupan sehari-hari (Pusdatin, 2024). Ketersediaan air bersih merupakan hal yang sangat penting untuk menjamin kelangsungan hidup manusia dalam jangka panjang. Pertumbuhan penduduk akan menyebabkan kebutuhan air bersih yang lebih besar seiring berjalannya waktu. Kebutuhan air bersih per kapita rata-rata per tahun penduduk Indonesia masih belum diketahui secara pasti. Namun, untuk merancang fasilitas pengolahan air bersih, diperkirakan berkisar antara 125 hingga 150 liter per orang per hari. Penyediaan air bersih di Indonesia dalam skala besar terutama di daerah metropolitan perlu dijaga kualitas dan kuantitasnya dalam memastikan air bersih yang memenuhi standar. Namun, secara nasional kuantitasnya masih perlu ditingkatkan dan dapat dianggap relatif sedikit. Di daerah-daerah yang belum menyediakan layanan air bersih, alternatif yang umum digunakan adalah air tanah yang diperoleh dari sumur (Fitriah, 2021).

Jika unsur Fe dan Mn dalam air Melebihi kriteria mutu dapat mengakibatkan pembentukan noda pada peralatan berwarna putih, perubahan warna pada air, rasa yang tidak enak saat dikonsumsi, dan akumulasi endapan pada pipa logam dan bahan cucian (Fitriah, 2021). Selain itu air yang memiliki kadar Fe dan Mn yang berlebih dapat menimbulkan dampak bagi Kesehatan seperti dapat merusak dinding usus, iritasi mata, iritasi kulit, terjadi gangguan pada sistem saraf, dan dapat bersifat toksik pada hati sehingga dapat terjadi kerusakan pada hati. Selain itu dapat memicu pertumbuhan bakteri besi didalam tubuh (Fitriah, 2021).

Kota Makassar termasuk daerah perkotaan terpadat di Indonesia Timur. Menurut data statistik dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Makassar pada tahun 2019, kepadatan penduduk telah berkembang sebesar 82,5% per tahun. Akibatnya, permintaan air bersih yang memenuhi syarat Kesehatan juga meningkat, dengan peningkatan sebesar 73,15 liter per detik (Ika Wahyu Pradipta, 2022).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Anggit Prameitya dkk tahun 2019 bahwa filter membran keramik dengan komposisi bahan tanah liat, abu batu bara, dan serbuk besi dapat mengurangi kadar Fe dalam air sumur dengan membandingkan kadar besi (Fe) sebelum dan sesudah perlakuan (Anggit Prameitya A, Darjati, 2019). Penelitian yang dilakukan oleh Khairul Amri, Ganjar Samudro, dan Irawan Wisnu Wardhana tahun 2019 diperoleh hasil yaitu Clay Filter atau filter keramik dengan komposisi bahan serbuk gergaji dan tanah liat ini mampu menurunkan kadar Fe dan Mn terhadap air tanah karena tanah liat yang terkandung di Clay Filter mampu mengikat Fe dan Mn dalam air (Amri et al., 2019).

Berdasarkan data-data diatas maka mendorong peneliti untuk melakukan penelitian terkait media filter keramik dengan komposisi bahan zeolite, karbon aktif, tanah liat, serbuk gergaji, dan sekam padi. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis tingkat efektivitas media filter keramik dalam menurunkan kadar Fe dan Mn pada air tanah. Dengan komposisi bahan media filter keramik yang digunakan dapat meningkatkan daya serap atau daya ikat (proses adsorpsi) Fe dan Mn pada air tanah. Selain itu penelitian ini memanfaatkan bahan-bahan di alam seperti serbuk kayu dan sekam padi saat ini masih menjadi limbah dari suatu industri.

MATERI DAN METODE

Jenis penelitian ini menggunakan desain kuasi-eksperimental (Quasi-Experimental) untuk menilai efektivitas media filter keramik dalam menurunkan Fe (Besi) dan Mn (Mangan) dalam air tanah. Sampel yang diuji yaitu sampel sebelum dan sesudah perlakuan. Sampel penelitian ini yaitu air tanah atau air sumur dengan metode pendekatan pengambilan sampel yang digunakan adalah Purposive Sampling atau menentukan titik pengambilan sampel dengan menentukan atau menetapkan kriteria khusus. Kriteria tersebut ditetapkan dari segi aspek fisik air yakni air tanah atau air sumur yang berbau dan berwarna coklat yang diduga mengandung besi (Fe) dan mangan (Mn). Setelah diperoleh data perbedaan sebelum perlakuan dan setelah perlakuan, maka dilakukan pengolahan data. Data yang disajikan dalam bentuk tabel di analisa secara statistik dengan menggunakan Uji Paired T Test terhadap efektivitas media filter keramik dalam menurunkan kadar Fe dan Mn pada air tanah.

HASIL

Setelah melakukan penelitian efektivitas media filter keramik dalam menurunkan kadar Fe dan Kadar Mn dengan menggunakan kecepatan aliran 5 menit/liter pada air tanah atau sumur dengan replikasi 5 kali diperoleh hasil yaitu :

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Kadar Fe pada Air Tanah

No	Replikasi	Hasil Pemeriksaan		Penurunan	Penurunan (%)
		Sebelum	Sesudah		
1.	Replikasi 1	0,5718	0,1078	0,464	81,14
2.	Replikasi 2	0,5718	0,1069	0,4649	81,30
3.	Replikasi 3	0,5718	0,1064	0,4654	81,39
4.	Replikasi 4	0,5718	0,1064	0,4654	81,39
5.	Replikasi 5	0,5718	0,1061	0,4657	81,44
Rata-Rata		0,4417	0,1067	0,4650	81,33

Sumber : Data Primer, 2024

Berdasarkan tabel 1 penurunan kadar Fe tertinggi terjadi pada replikasi 5 yaitu sebesar 81,44% dan penurunan kadar Fe terendah terjadi pada replikasi 1 yaitu sebesar 81,14% dengan rata-rata penurunan sebesar 81,33%.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Kadar Mn pada Air Tanah

No	Replikasi	Hasil Pemeriksaan		Penurunan	Penurunan (%)
		Sebelum	Sesudah		
1.	Replikasi 1	2,5839	0,4987	2,0852	80,69
2.	Replikasi 2	2,5839	0,4975	2,0864	80,74
3.	Replikasi 3	2,5839	0,4966	2,0873	80,78
4.	Replikasi 4	2,5839	0,4870	2,09693	81,15
5.	Replikasi 5	2,5839	0,4858	2,09811	81,19
Rata-Rata		2,0406	0,4931	2,0907	80,91

Sumber : Data Primer, 2024

Berdasarkan tabel 2 penurunan kadar Mn tertinggi terjadi pada replikasi 5 yaitu sebesar 81,91% dan penurunan kadar Mn terendah terjadi pada replikasi 1 yaitu sebesar 80,69% dengan rata-rata penurunan sebesar 80,91%.

Tabel 3. Tabel Hasil Uji Statistik Paired T Test

Parameter	Mean	Standar Deviasi	p	95% CI	
				Lower	Upper
Kadar Fe	0,3350	4,91	0,001	0,3344	0,3356
Kadar Mn	0,1547	112,12	0,001	0,1533	0,1561

Sumber : Data Primer, 2024

Berdasarkan tabel 3 Hasil uji statistik dengan menggunakan uji Paired T Test kadar Fe setelah dilakukan pengolahan didapatkan nilai Mean (0,3350) dengan Standar Deviasi (4,91). Hasil analisis menunjukkan bahwa ada perbedaan kadar Fe sebelum dan setelah dilakukan pengolahan dengan menggunakan media filter keramik karena nilai p-value yang diperoleh yaitu 0,001. Nilai Confidenc Interval 95% lower limit – upper limit (0,3344-0,3356). Sedangkan untuk kadar Mn setelah dilakukan pengolahan didapatkan nilai Mean (0,1547) dengan

Standar Deviasi (112,12). Hasil analisis menunjukkan bahwa ada perbedaan kadar Mn sebelum dan setelah dilakukan pengolahan dengan menggunakan media filter keramik karena nilai p-value yang diperoleh yaitu 0,001. Nilai Confidenc Interval 95% lower limit – upper limit (0,1533-0,1561).

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan pH Air

No	Replikasi	Hasil Pemeriksaan		Keterangan
		Sebelum	Sesudah	
1.	Awal	6,1	-	TMS
2.	Replikasi 1	6,21	6,48	TMS
3.	Replikasi 2	6,23	6,48	TMS
4.	Replikasi 3	6,23	6,50	MS
5.	Replikasi 4	6,25	6,53	MS
6.	Replikasi 5	6,23	6,54	MS
Rata-Rata		6,23	6,50	MS

Sumber : Data Primer, 2024

Berdasarkan tabel 4 Hasil pemeriksaan pH air dengan menggunakan tes kit diperoleh hasil yaitu sampel awal memiliki pH sebesar 6,1. Sampel control memiliki rata-rata pH sebesar 6,23. Sedangkan sampel setelah dilakukan perlakuan atau pengolahan dengan menggunakan media filter keramik diperoleh hasil rata-rata pH air yaitu 6,50.

PEMBAHASAN

Efektivitas Media Filter Keramik dalam Menurunkan Kadar Fe pada Air Tanah

Umumnya Kadar Fe ditemukan dengan konsentrasi tinggi pada air tanah baik air tanah dalam maupun air tanah dangkal. Kadar besi (Fe) yang tinggi atau melebihi standar baku mutu yang ditetapkan dapat menyebabkan warna air berubah menjadi kuning kecokelatan setelah terpapar udara dan dapat menimbulkan aroma tidak sedap serta noda kuning pada pakaian, porselen, dan permukaan lainnya serta memberikan rasa yang tidak enak pada air minum (Fatma et al., 2022). Sehingga berpotensi menimbulkan risiko kesehatan bagi individu yang sering mengonsumsinya. Peningkatan jumlah zat besi (Fe) dalam tubuh manusia dapat membahayakan kesehatan, termasuk pankreas, otot jantung, dan ginjal. Oleh karenanya, air tanah dapat diolah dengan media filter keramik dalam mereduksi kadar Fe pada air tanah (Miarti, 2023).

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui efektivitas media filter keramik dalam menurunkan kadar Fe pada air tanah. Penelitian ini menggunakan 5 kali replikasi dengan kecepatan aliran 5 menit / liter, ketebalan media filter keramik 40 cm dan waktu kontak selama 40 menit. Didapatkan hasil kadar Fe sebelum pengolahan yaitu 0,5718 mg/l, dimana hasil tersebut tidak memenuhi syarat kesehatan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Air bersih dalam keperluan Higiene dan Sanitasi yaitu 0,2 mg/l untuk Kadar Fe. Sedangkan setelah pengolahan dengan media filter keramik yaitu pada replikasi 1 diperoleh hasil sebesar 0,1078 mg/l, replikasi 2 yaitu 0,1069 mg/l, replikasi 3 yaitu 0,1064 mg/l, replikasi 4 yaitu 0,1064 mg/l dan replikasi 5 yaitu 0,1061 mg/l. Sehingga dapat dikatakan bahwa hasil yang diperoleh setelah pengolahan dengan media filter keramik sudah memenuhi syarat kesehatan. Hasil tersebut terjadi penurunan tertinggi pada replikasi 5 sebesar 81,44% dan penurunan terendah pada replikasi 1 sebesar 81,14%. Serta rata-rata penurunan kadar Fe yaitu sebesar 81,33%.

Hasil maksimal diperoleh pada replikasi ke 5 yaitu sebesar 81,44% dikarenakan media filter keramik yang digunakan memerlukan proses adaptasi dalam peningkatan kinerja media filter keramik sehingga membutuhkan waktu dalam proses kontakannya. Dimana dalam penelitian ini digunakan media filter yang sama disetiap replikasinya.

Efektivitas Media Filter Keramik dalam Menurunkan Kadar Mn pada Air Tanah.

Endapan mangan dapat menyebabkan perubahan warna bahan atau benda berwarna putih. Mangan dapat menyebabkan bau dan rasa yang tidak sedap pada air. Konsentrasi mangan yang melebihi 0,5 mg/liter dapat menyebabkan noda pada benda yang telah dibersihkan dan menimbulkan risiko pada hati (Wisaksono et al., 2021). Kadar mangan yang berlebihan dalam tubuh dapat menyebabkan berbagai konsekuensi kesehatan, termasuk serangan jantung, masalah pembuluh darah, kerusakan saraf, dan kemungkinan kanker hati. Kadar mangan (Mn) yang berlebihan dalam air dapat menimbulkan risiko kesehatan dan mengakibatkan konsekuensi yang tidak diinginkan. Hal ini termasuk kemampuan untuk menodai pakaian selama pencucian, memberikan warna kuning kecokelatan pada air, mengeluarkan bau yang tidak sedap, dan memiliki rasa pahit atau asam. Selain itu, ketika dikombinasikan dengan besi, mangan dapat menyebabkan pembentukan endapan dan korosi pada pipa (Fitriah, 2021).

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui efektivitas media filter keramik dalam menurunkan kadar Mn pada air tanah. Penelitian ini menggunakan 5 kali replikasi dengan kecepatan aliran 5 menit / liter dan waktu

kontak selama 40 menit dengan ketebalan media 40 cm. Didapatkan hasil kadar Mn sebelum pengolahan sebesar 2,5839 mg/l sehingga dapat dikatakan bahwa air tersebut tidak memenuhi syarat kesehatan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan untuk Air bersih dalam keperluan Higiene dan Sanitasi yaitu 0,1 mg/l untuk kadar Mn. Sedangkan setelah pengolahan pada replikasi 1 yaitu sebesar 0,4987 mg/l, replikasi 2 yaitu 0,4975 mg/l, replikasi 3 yaitu 0,4966 mg/l, replikasi 4 yaitu sebesar 0,4870 mg/l, replikasi 5 yaitu 0,4858 mg/l. Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa air setelah pengolahan dengan media filter keramik juga belum memenuhi syarat kesehatan sehingga masih perlu pengolahan lebih lanjut. Terjadi penurunan tertinggi pada replikasi 5 dengan persentase penurunan sebesar 81,19% dan penurunan terendah pada replikasi 1 sebesar 80,69% dengan rata-rata penurunan sebesar 80,91%.

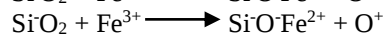
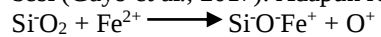
Hasil maksimal diperoleh pada replikasi ke 5 dengan persentase penurunan yaitu sebesar 81,19% dikarenakan media filter keramik yang digunakan membutuhkan waktu dalam proses adaptasi dan peningkatan kinerja media filter keramik sehingga membutuhkan waktu dalam proses kontakannya. Dimana dalam penelitian ini digunakan media filter yang sama disetiap replikasinya.

Media filter keramik dapat menurunkan kadar Fe dan Mn karena media filter keramik terdiri dari komposisi bahan yaitu sekam padi, serbuk kayu, tanah liat, karbon aktif, dan zeolite yang diuraikan sebagai berikut :

Sekam Padi

Dimasukkannya sekam padi dalam produksi media filter keramik karena sifatnya yang berpori. Selain itu, sekam padi dapat meningkatkan ketahanan pada media filter keramik. Media filter keramik dapat secara efektif mengikat dan menyerap kadar zat besi dalam air tanah (Sangadjisowohy et al., 2024).

Persentase silika (SiO_2) dari sekam padi cukup besar, berkisar antara 15% hingga 20%. Setelah proses pembakaran, sekam padi menghasilkan abu dengan komposisi sekitar 17-20% dan kandungan silika yang tinggi berkisar antara 90-98%. Karena karakteristik kimianya, silika dapat mengikat beberapa logam, termasuk besi. Ketika silika berada di dalam air, silika dapat berikatan dengan besi terlarut (Fe^{2+} dan Fe^{3+}) baik melalui adsorpsi maupun absorpsi. Fenomena ini terjadi karena adanya muatan permukaan pada permukaan silika, yang dapat menarik dan mempertahankan ion besi. Selain itu, silika adalah adsorben yang menghilangkan logam berat seperti besi (Gayo et al., 2017). Adapun reaksi antara Silika (SiO_2) dan Kadar Fe^{2+} dan Fe^{3+} yaitu sebagai berikut :



Selain itu sekam padi dapat meningkatkan ketahanan media filter keramik. Mereka dapat secara efektif mengikat dan menyerap kadar Mangan dalam air tanah.

Sekam padi merupakan bahan organik yang umum digunakan dalam pengolahan air tanah untuk mengurangi konsentrasi mangan. Sekam padi kaya akan senyawa organik, termasuk asam humat dan asam fulvat dalam jumlah yang signifikan. Senyawa organik ini dapat membentuk kompleks dengan logam berat, seperti mangan di dalam air tanah. Ketika sekam padi diresapkan ke dalam air, komponen organik yang ada akan mengalami reaksi kimia dengan ion mangan, membentuk senyawa kompleks yang memiliki kelarutan lebih rendah dalam air (Sangadjisowohy et al., 2024).

Asam humat adalah bahan kimia organik yang memiliki banyak fungsi yang dapat membentuk ikatan dengan logam seperti mangan jika terdapat dalam air. Asam humat sangat efektif dalam mengurangi kadar mangan dalam air karena keterlibatannya dalam metode fisika dan kimia. Asam humat memiliki banyak gugus fungsi, termasuk karboksil ($-\text{COOH}$) dan hidroksil ($-\text{OH}$). Pengelompokan ini menunjukkan daya tarik yang kuat untuk logam, terutama mangan. Asam humat dalam larutan air dapat berinteraksi dengan ion mangan (Mn^{2+}) melalui interaksi ionik dan kovalen. Asam humat juga dapat berkontribusi pada proses adsorpsi pada permukaan partikel padat dalam air (Sangadjisowohy et al., 2024).

Serbuk Kayu

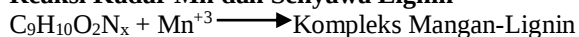
Serbuk kayu juga menjadi bahan penyusun dalam media filter keramik untuk membantu dalam pembentukan pori-pori di dalam media filter keramik. Serbuk kayu juga memiliki karakteristik lignin ($\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_3$). Ion besi dapat tertarik dan melekat pada permukaan monomer fenolik, terutama ketika monomer memiliki gugus hidroksil yang dapat berinteraksi dengan ion besi melalui gaya antarmoleku (Hatina & Winoto, 2020).

Dalam kondisi yang tepat, ion besi (biasanya Fe^{2+}) dapat berpartisipasi dalam reaksi oksidasi dengan gugus fenol pada monomer $\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_3$. Ini dapat menghasilkan produk oksidasi fenolik yang lebih kompleks, yang memiliki sifat adsorpsi atau kompleksasi yang berbeda tergantung pada strukturnya. Sehingga serbuk kayu dapat menjadi adsorben untuk menghilangkan logam berat seperti besi (Fe) (Busyairi et al., 2019).

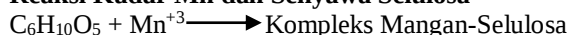
Selain itu media filter keramik juga dapat menurunkan kadar Mn karena permukaan serbuk kayu memiliki sifat yang kasar dan berpori, yang menghasilkan peningkatan luas permukaan yang signifikan. Serbuk kayu memiliki kapasitas untuk menyerap atau mengabsorpsi ion mangan pada air karena karakteristiknya yang melekat. Ketika air melewati lapisan serbuk kayu, ion mangan akan menempel pada permukaan serbuk kayu karena interaksi fisik dan kimiawi, yang mengakibatkan penurunan konsentrasi ion mangan dalam air. Serbuk kayu terdiri dari banyak senyawa organik, termasuk lignin dan selulosa. Molekul-molekul organik ini secara kimiawi dapat

bereaksi dengan ion mangan dalam larutan, membentuk senyawa kompleks yang memiliki kelarutan lebih rendah dalam air. Proses ini dapat mengakibatkan pengendapan ion mangan sebagai partikel padat, yang dapat dihilangkan secara lebih efektif dari air (Hatina & Winoto, 2020). Bentuk reaksi kimia ketika senyawa-senyawa dalam serbuk kayu seperti senyawa lignin dan selulosa yaitu sebagai berikut :

Reaksi Kadar Mn dan Senyawa Lignin



Reaksi Kadar Mn dan Senyawa Selulosa

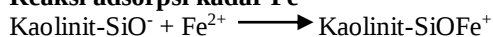


Tanah Liat

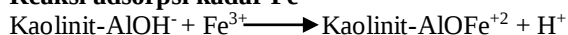
Tanah liat memiliki sifat yang sangat baik untuk digunakan sebagai media filter keramik. Tanah liat memiliki pori-pori kecil yang dapat menangkap partikel-partikel kecil dalam air. Selain itu, tanah liat juga memiliki kemampuan untuk mengikat logam berat dan bahan kimia lainnya yang terdapat dalam air. Hal ini membuat tanah liat menjadi bahan yang sangat efektif untuk digunakan sebagai media filter keramik. (Amri et al., 2019).

Tanah liat mengandung berbagai jenis mineral lempung, termasuk kaolinit, montmorillonit, dan illit. Mineral-mineral ini memiliki struktur berlapis dan permukaan bermuatan negatif, yang dapat mengikat ion logam seperti Fe^{2+} dan Fe^{3+} melalui proses pertukaran kation dan adsorpsi (Saifuddin et al., 2018). Adapun reaksi antara mineral lempung dan kadar Fe^{2+} dan Fe^{3+} yaitu sebagai berikut :

Reaksi adsorpsi kadar Fe^{2+}



Reaksi adsorpsi kadar Fe^{3+}



Tanah liat menjadi bahan penyusun media filter keramik karena tanah liat memiliki kemampuan yang signifikan untuk menyerap logam, khususnya mangan. Kapasitas adsorpsi tanah liat yang signifikan membuatnya menjadi sangat efektif dalam menurunkan kadar mangan dalam air. Kehadiran mineral, seperti silika dan alumina, dalam tanah liat menghasilkan permukaan bermuatan negatif. Larutan ion mangan dalam air membawa muatan positif (Mn^{2+}). Daya tarik elektrostatis antara ion mangan yang bermuatan positif dan permukaan tanah liat yang bermuatan negatif, memudahkan ion mangan melekat pada permukaan tanah liat (Saifuddin et al., 2018).

Tanah liat dan ion mangan berinteraksi dalam larutan air dengan menghasilkan senyawa kompleks. Gugus fungsi pada permukaan tanah liat dapat membentuk interaksi kimia dengan ion mangan, menghasilkan senyawa kompleks yang memiliki kelarutan yang lebih rendah dan lebih rentan terhadap pengendapan dari larutan (Sains et al., 2021). Mineral oksida besi yang ditemukan dalam tanah liat dapat berpartisipasi dalam reaksi redoks yang mengubah mangan dari keadaan teroksidasi menjadi bentuk pengendapan dari larutan. Prosedur ini secara efektif dapat menurunkan kadar mangan dalam air tanah (Dahlan et al., 2011).

Karbon Aktif

Karbon aktif adalah adsorben yang sangat baik yang menyerap dan mengikat banyak senyawa organik dan anorganik dari larutan atau gas. Interaksi antara permukaan karbon aktif yang sangat berpori dan ion besi dalam larutan akan mengikat kandungan besi (Heriyani & Mugisidi, 2016a). Karbon aktif memiliki kemampuan untuk menyerap beragam senyawa termasuk ion besi, karena kapasitas penyerapannya yang tinggi. Keberadaan ion besi dalam larutan dapat mengadsorpsi ion tersebut ke permukaan karbon aktif melalui berbagai reaksi (Heriyani & Mugisidi, 2016a).

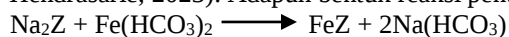
Selain itu karbon aktif adalah zat yang sangat efisien yang dapat secara efektif mengikat kadar mangan (Mn) dalam air tanah dengan memanfaatkan proses yang dikenal sebagai adsorpsi. Karbon aktif biasanya memiliki gugus fungsi, seperti hidroksil dan karboksil, pada permukaannya. Gugus fungsi ini dapat berinteraksi dengan ion mangan yang ada dalam larutan, membentuk ikatan kimia yang kuat antara karbon dan mangan (Wahyudi & Aini, 2021).

Zeolit

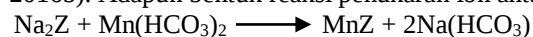
Struktur pori-pori zeolit yang berpori memungkinkannya untuk menyerap ion besi (Fe^{2+} dan Fe^{3+}) secara efisien dari larutan air. Fenomena ini terjadi ketika ion besi menempel pada permukaan pori-pori zeolit (Zulti, 2023). Oleh karena itu, zeolit merupakan adsorben pengganti yang sangat efisien karena memiliki banyak pori-pori, kapasitas yang tinggi untuk menukar kation, dan dapat digunakan pada berbagai suhu (Heriyani & Mugisidi, 2016b). Oleh karena itu, zeolit sangat tepat untuk digunakan sebagai adsorben. Zeolit adalah mineral aluminosilikat terhidrasi dan mengandung kation-kation seperti natrium, kalium, dan barium. Zeolit memiliki banyak karakteristik, seperti pengeringan, adsorpsi, substitusi ionik, reaktivitas katalitik, dan kemampuan pemisahan (Rahayu & Yulianti, 2018).

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Najwa Imroatun dan Hendrasarie Novirina pada tahun 2023 terkait Pembuatan Filter Keramik untuk Menurunkan Kandungan Ion Mangan, Besi, COD, dan DO pada Air Tanah,

proses penyaringan yang dilakukan mencapai angka penyisihan sebesar 96,67%. Media filter keramik memiliki tingkat penyerapan yang tinggi dan sangat efektif dalam menurunkan kadar Fe dalam air tanah (Najwa & Hendrasarie, 2023). Adapun bentuk reaksi penukaran ion antara zeolite dan Kadar Fe yaitu (Rahmatika, 2018) :



Zeolit menjadi bahan penyusun media filter keramik karena zeolite memiliki permukaan bermuatan negatif yang berinteraksi dengan ion mangan yang bermuatan positif. Zeolit secara signifikan mampu menyerap ion mangan dan secara efektif menangkap dan mempertahankannya dalam struktur berpori-pori (Zulti, 2023). Zeolit dapat berfungsi sebagai penukar ion, memfasilitasi pertukaran ion mangan (Mn^{2+}) dalam larutan dengan ion-ion yang telah terikat pada permukaan zeolit, seperti ion natrium (Na^+) atau kalium (K^+). Ion mangan akan membentuk ikatan yang kuat dengan kerangka zeolit selama reaksi ini, sedangkan ion-ion zeolit yang lain akan dilepaskan ke dalam larutan. Oksidasi mangan oleh zeolit: Zeolit tertentu dapat mengoksidasi ion mangan (Heriyani & Mugisidi, 2016b). Adapun bentuk reaksi penukaran ion antara zeolite dan Kadar Mn yaitu (Rahmatika, 2018) :



Penelitian yang dilakukan oleh Merdiana Sari dan Setyo Purwoto pada tahun 2018 terkait Penurunan Kandungan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Air Sumur menggunakan Membran Keramik memberikan gambaran bahwa ada pengaruh membran keramik yang terdiri dari serbuk gergaji, tanah liat, dan pasir kuarsa dalam menurunkan kadar Fe mencapai tingkat keberhasilan sebesar 91,67% (Sari & Purwoto, 2018). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dwita Siallagan dan Suwardi terkait Pengaruh Zeolit terhadap Logam Berat dan Bahan Kimia Terlarut pada Air Tanah menunjukkan hasil bahwa zeolit mampu menurunkan kadar besi dan mangan dengan persentase penurunan sebesar 85-90 % (Siallagan & Suwardi, n.d.).

Sedangkan Pada tahun 2023, Haesti Sembiring meneliti *“The Effectiveness of Zeolite-Activated Charcoal in Reducing Iron and Manganese Levels in Well Water of Milala Housing “in Pancur Batu District, North Sumatra”*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada pengaruh kandungan mangan sebelum dikontakkan dan setelah dikontakkan dengan rata-rata penurunan sebesar 90% (Haesti Sembiring, 2023). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Merdiana Sari dan Setyo Purwoto pada tahun 2018 terkait Penurunan Kandungan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Air Sumur menggunakan Membran Keramik diperoleh hasil bahwa ada pengaruh membran keramik yang terbuat dari kombinasi serbuk gergaji, tanah liat, dan pasir kuarsa mencapai tingkat keberhasilan sebesar yaitu 95,84% dalam mengurangi kadar mangan, dengan efisiensi tertinggi sebesar 96,32%.

Kombinasi bahan media filter keramik yang digunakan dalam menurunkan kadar Fe dan Mn dikatakan efektif dalam menurunkan kadar Fe sebesar 81,33% dan kadar Mn sebesar 80,91% pada air tanah. Penggunaan kombinasi bahan sekam padi, serbuk gergaji, tanah liat, zeolit, dan karbon aktif pada media filter keramik sangat efisien dalam menurunkan kadar Fe dan Mn. Hasil dari kombinasi bahan yang digunakan dalam penelitian ini, masing-masing bahan berperan dalam mengikat kadar Fe dan kadar Mn. Pada proses pengolahan ini menggunakan mekanisme aliran air up-flow dengan ketebalan media filter keramik sebesar 40 cm dan berat media filter keramik $\pm$ 3kg dengan lama waktu kontak 40 menit. Air dialirkan dari bawah ke atas, sehingga distribusi aliran merata di sepanjang media filter. Distribusi yang merata ini memastikan kontak yang baik antara air dan media filter keramik, sehingga meningkatkan efisiensi penurunan kadar Fe dan kadar Mn.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Habibah Nur Rahmatika dkk pada tahun 2018 Pengaruh Variasi Ketebalan Media Filtrasi Sistem Up-Flow terhadap Kadar Fe, Mn dan Kekeruhan Air Sumur Gali di RT 08 RW 02, Ngampilan Kota Yogyakarta bahwa dengan ketebalan 40 cm dan metode upflow paling efektif dalam menurunkan kadar Fe dan kadar Mn pada air (Rahmatika, 2018).

Hasil pemeriksaan pH air dengan menggunakan tes kit diperoleh hasil yaitu sampel awal memiliki pH sebesar 6,1. Sampel kontrol memiliki rata-rata pH sebesar 6,23. Sedangkan sampel setelah dilakukan perlakuan atau pengolahan dengan menggunakan media filter keramik diperoleh hasil rata-rata pH air yaitu 6,50. Hasil antara sampel awal air dan kontrol berbeda dikarenakan waktu dan tempat pengukuran sampel awal dan kontrol berbeda. Dimana sampel awal di ukur langsung dilokasi pengambilan sampel. Sedangkan sampel kontrol di ukur di tempat pengolahan air. Selanjutnya setelah dilakukan pengolahan dengan media filter keramik diperoleh hasil yaitu 6,50. Hal ini dikarenakan karena komposisi dari bahan media filter keramik dapat meningkatkan pH air, seperti zeolite dapat berperan sebagai penukar ion dan mampu melepaskan ion-ion basa (Zulti, 2023). Sekam padi mengandung silika dan bahan organik yang dapat berinteraksi dengan air, bahan organik tersebut dapat terurai dan berinteraksi dengan ion-ion di dalam air selama proses penyaringan, sehingga meningkatkan pH (Gayo et al., 2017). Selain itu, tanah liat dan serbuk gergaji dapat memiliki efek penyangga yang membantu menstabilkan pH air.

Berdasarkan artikel yang ditulis oleh Hyprowira tahun 2020 bahwa temperatur lingkungan akan mempengaruhi kelarutan karbon dioksida pada air. Ketika air terpapar panas yang kuat dari sinar matahari, temperatur permukaannya akan meningkat. Ketika temperatur permukaan air meningkat, kelarutan karbon dioksida menurun, menyebabkan pH meningkat dan air menjadi basa. Sebaliknya, jika temperature lingkungan menurun maka temperatur permukaan air juga akan turun yang menyebabkan peningkatan kelarutan karbon dioksida. Akibatnya, suhu rendah menurunkan pH air, yang mengakibatkan keasaman.

Prinsip Le Chatelier menjelaskan dampak variable seperti suhu, pada kesetimbangan kimiawi larutan. Prinsip ini menyatakan bahwa perubahan suhu, tekanan, volume, atau konsentrasi sistem yang bereaksi dapat menyebabkan sistem beralih ke kondisi kesetimbangan yang berbeda. Pernyataan ini menyatakan bahwa kondisi temperatur lingkungan mempengaruhi kondisi kesetimbangan air dan dapat mempengaruhi pH air.

Berdasarkan dari hasil uji statistik dengan menggunakan Uji paired T test di peroleh hasil bahwasanya ada perbedaan antara sebelum dan sesudah penggunaan Media Filter Keramik dalam menurunkan kadar Fe dan Mn pada air tanah. Dikarenakan nilai p-value atau nilai signifikan $< 0,05$.

Oleh karena itu, metode pengolahan air dengan menggunakan media filter keramik dianggap mampu menurunkan kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) di dalam air tanah secara efisien. Hasil yang diperoleh akurat, dan bahan yang digunakan juga mudah ditemukan. Sehingga, metode pengolahan air ini dapat menjadi alternatif yang dapat dilakukan secara individu untuk melakukan pengolahan air secara mandiri.

Namun demikian, proses pengolahan air dengan media filter keramik ini masih memiliki kekurangan dikarenakan membutuhkan waktu yang cukup lama dalam proses pembuatan media filter keramik. Media filter keramik membutuhkan waktu dalam proses pengeringan dan pembakarannya yang berguna untuk meningkatkan daya tahan media filter dan membentuk porositas media filter. Dan juga proses pembuatan media filter keramik ini masih dibuat secara manual sehingga membutuhkan waktu dalam proses pencetakannya. Oleh karenanya proses pencetakan, pengeringan dan pembakaran media filter keramik menjadi kekurangan dalam penelitian ini.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan analisis data terhadap Efektivitas Media Filter Keramik dalam Menurunkan Kadar Fe dan Mn pada Air Tanah dapat disimpulkan : 1) Media Filter Keramik dikatakan efektif dalam Menurunkan Kadar Fe pada Air Tanah dengan rata-rata penurunan sebesar 81,33%. 2) Media Filter Keramik dikatakan efektif dalam Menurunkan Kadar Mn pada Air Tanah dengan rata-rata penurunan sebesar 80,91%. Bagi Masyarakat, dapat melakukan pemanfaatan serbuk kayu, sekam padi, tanah liat, zeolite dan karbon aktif dalam melakukan pengolahan air secara mandiri dengan menggunakan media filter keramik. Bagi peneliti selanjutnya sebaiknya memvariasikan ketebalan, waktu kontak, dan pengukuran titik jenuh pada media filter keramik.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, K., Samudro, G., & Irwan Wisnu Wardhana. (2019). *Studi Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Mangan (Mn) dalam Air Tanah dengan Menggunakan Clay Filter*.
- Anggit Prameitya A, Darjati, E. S. (2019). *Penurunan Kadar Fe dengan Membran Keramik pada Air Sumur (Studi Kasus Pada Wilayah Kerja Puskesmas Putat Jaya Tahun 2018)*. 16(1), 204–212.
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Indikator Perumahan dan Kesehatan Lingkungan 2022*. 1–410.
- Busyairi, M., Firlina, F., Sarwono, E., & Saryadi, S. (2019). Pemanfaatan Serbuk Kayu Meranti Menjadi Karbon Aktif Untuk Penurunan Kadar Besi (Fe), Mangan (Mn) Dan Kondisi Ph Pada Air Asam Tambang. *Jurnal Sains & Teknologi Lingkungan*, 11(2), 87–101. <https://doi.org/10.20885/jstl.vol11.iss2.art1>
- Dahlan, M. H., Teguh, D., & Utama, F. (2011). Kinerja Membran Keramik Dalam Pengolahan Air Sumur Menjadi Air Bersih. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(5), 38–49. https://repository.unsri.ac.id/68679/1/smlarty_KINERJA_MEMBRAN_KERAMIK_DALAM_PENGOLAHAN_AIR_SU.pdf
- Fatma, F., Oktorilyani, A., & Jumiatty, H. (2022). ANALISIS PERBEDAAN KADAR BESI (Fe) MENGGUNAKAN SERBUK CANGKANG TELUR PADA AIR SUMUR GALI. *Human Care Journal*, 7(2), 430–441. <https://doi.org/10.32883/hcj.v7i2.1731>
- Fitriah, G. D. (2021). *Penurunan Kadar Fe dan Mn pada Air Bersih dengan Metode Elektrokoagulasi*.
- Gayo, A. A. P., Zainabun, Z., & Arabia, T. (2017). Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai Sumber Silikat Terhadap Bentuk-Bentuk P Tanah dan Pertumbuhan Tanaman Padi (*Oryza sativa* L). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 2(3), Hal 503-508.
- Haesti Sembiring. (2023). The Effectiveness of Zeolite-Activated Charcoal in Reducing Iron and Manganese Levels in Well Water of Milala Housing in Pancur Batu District, North Sumatra. *Jurnal Multidisiplin Madani*, 3(9), 1838–1843. <https://doi.org/10.55927/mudima.v3i9.5993>
- Hatina, S., & Winoto, E. (2020). Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Serbuk Kayu Merbau Dan Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Untuk Pengolahan Limbah Cair Aas. *Jurnal Redoks*, 5(1), 32. <https://doi.org/10.31851/redoks.v5i1.4027>
- Heriyani, O., & Mugisidi, D. (2016a). Pengaruh Karbon Aktif dan Zeolit pada pH Hasil Filtrasi Air

- Banjir. *Seminar Nasional Teknologi, Kualitas Dan Aplikasi Fakultas Teknik UHAMKA, January 2016*, 199–202.
- Heriyani, O., & Mugisidi, D. (2016b). Pengaruh Karbon Aktif dan Zeolit pada pH Hasil Filtrasi Air Banjir. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi, Kualitas Dan Aplikasi Fakultas Teknik UHAMKA, January 2016*, 199–202.
- Hoesin, M. (2022). *Kebutuhan Cairan Tubuh Kita dalam Sehari*. Kementerian Kesehatan Direktorat Jendral Pelayanan Kesehatan. https://yankes.kemkes.go.id/view_artikel/1531/kebutuhan-cairan-tubuh-kita-dalam-sehari
- Ika Wahyu Pradipta. (2022). Statistik Air Bersih 2017-2021. *Badan Pusat Statistik*, 1–78.
- Limuris, F. C. (2021). *Hak Rakyat Atas Air Bersih Sebagai Derivasi Hak Asasi Manusia Dalam Deklarasi Universal Hak Asasi Manusia*. 4(2), 515–532.
- Miarti, A. (2023). Penurunan Kadar Besi (Fe) dengan Sistem Aerasi dan Filtrasi pada Air Sumur Gali. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 2(10), 4161–4170.
- Najwa, I., & Hendrasarie, N. (2023). Pembuatan Clay Ceramic Filter untuk Mengurangi Kandungan Ion Mangan, Besi, COD dan DO Pada Air Tanah. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(3), 6236–6242. <https://doi.org/10.32672/jse.v8i3.6139>
- Pusdatin. (2024). *Meski Semakin Langka, Air Tanah Masih Diminati Masyarakat*. Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat.
- Rahayu, A., & Yulianti, I. (2018). *Pengaruh Perubahan Massa Zeolit terhadap Kadar Limbah Pabrik Gula melalui Media Filtrasi*.
- Rahmatika, H. N. (2018). Pengaruh Variasi Ketebalan Media Filtrasi Sistem Up-Flow terhadap Kadar Fe, Mn dan Kekeruhan Air Sumur Gali di RT 08 RW 02, Ngampilan, Kota Yogyakarta. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 6(3), 101–150.
- Saifuddin, S., Khairina, K., & Fuadi, A. (2018). Pembuatan Membran Keramik Sebagai Media Filter untuk Penyaringan Air PDAM. *Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 2(1), 195–199. <http://eprints.ums.ac.id/32434/>
- Sains, F., Teknologi, D. A. N., Ar-raniry, U. I. N., & Aceh, B. (2021). Efektivitas Penyaringan Air Sumur Gali Dengan. *Efektivitas Penyaringan Air Sumur Gali Dengan Menggunakan Membran Keramik Berbahan Tanah Liat Dan Ampas Teh*.
- Sangadjisowohy, I., Imran, R., Kahar, F., & Mustafa. (2024). Filtrasi dengan Arang Sekam Padi dalam menurunkan Kadar Besi (Fe) Air Sumu. *Jurnal Promotif Preventif*, 7(2), 335–341.
- Sari, M., & Purwoto, S. (2018). Penurunan Kandungan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) pada Air Sumur menggunakan Membran Keramik. *Wahana*, 70(1), 7–16. <https://doi.org/10.36456/wahana.v70i1.1562>
- Siallagan, D., & Suwardi. (n.d.). Pengaruh Zeolit terhadap Logam Berat dan Bahan Kimia Terlarut pada Air Tanah: Studi Kasus Areal Permukiman Darmaga Bogor Jawa Barat. *Jurnal Zeolit Indonesia*, 2(1), 31–36.
- Statistik, B. P. (2023). *Statistik Air Bersih Indonesia Tahun 2018-2022*. 14. <https://www.bps.go.id/id/publication/2023/12/21/50f9fbfde6afcd854de1cc5e/statistik-air-bersih-2018-2022.html>
- Wahyudi, H. D., & Aini, S. (2021). Pemanfaatan Air Hujan Sebagai Sumber Air Bersih dengan Menggunakan Filter Serbuk Keramik. *Seminar Ilmiah Arsitektur II*, 8686, 338–345. <http://siar.ums.ac.id/>
- WHO & UNICEF Indonesia. (2022). Laporan Tahunan Indonesia 2022. *UNICEF Laporan Tahunan Indonesia 2022*, 6. https://www.unicef.org/indonesia/id/Laporan_Tahunan_UNICEF_Indonesia_2022.pdf
- Wisaksono, B., Wahyudi, H. D., & Aini, S. (2021). Perancangan Model Filter Air Dengan Serbuk Keramik Sebagai Media Filter. *Eksergi*, 18(1), 32. <https://doi.org/10.31315/e.v0i0.4554>
- Zulti, F. (2023). Kinerja Adsorben Zeolit untuk Meningkatkan Kualitas Air Kolong Bekas Tambang Timah. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 12(2), 396–402. <https://doi.org/10.23887/jstundiksha.v12i2.44129>