

Kemampuan Zeolit dan Batu Apung Sebagai Media Filter dan Adsorpsi untuk Menyisihkan Salinitas, TDS, Konduktivitas dan TSS Pada Air Payau Menjadi Air Bersih

Qoriatul Khoiriyah¹, Yayok Suryo Purnomo^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

*Koresponden email : yayoksuryo@gmail.com

Diterima: 15 Juni 2024

Disetujui: 2 Juli 2024

Abstract

Brackish water has a characteristic cloudy yellow colour and a higher pH than fresh water. Not a few residents complain about the condition of the water, which feels brackish to salty, their skin feels sticky after bathing, this is due to the salinity in the water (Ismawan, Sanjoto, & Setyaningsih, 2016). The salinity in brackish water is 0.5-30 ppt, TDS is 1500-6000 ppm. The filtration process uses zeolite and pumice as adsorption media. The sample water is passed through the filtration media from bottom to top and collected in useful as adsorbent because of zeolite and pumice have pores that can bind molecules in water. From the research results, the average value of zeolite media was able to remove salinity of 28.84%, TDS 28.06%, conductivity 28.14% and TSS 92.20%. And pumice stone media is able to remove salinity of 28.57%, TDS 27.81%, conductivity 27.88% and TSS 91.20%. The adsorption capacity value was calculated using the Thomas method and the result obtained for the zeolitic media was 0.059 mg adsorbate/mg adsorbent, while for the pumice stone media it was 0.026 mg adsorbate/mg adsorbent. It can therefore be said that the zeolite media has a greater capacity and removal capacity than pumice.

Keywords: *brackish water, zeolit, pumice, filtration, adsorption*

Abstrak

Air payau memiliki karakteristik warna kuning keruh dengan pH yang lebih tinggi dari air tawar. Tidak sedikit warga yang mengeluh mengenai kondisi air yang terasa payu hingga asin, kulit terasa lengket setelah mandi hal tersebut karena tingkat salinitas pada air (Ismawan, Sanjoto, & Setyaningsih, 2016). Nilai salinitas pada air payu sebesar 0,5 – 30 ppt, TDS sebesar 1500-6000 ppm. Proses filtrasi menggunakan media zeolit dan batu apung yang berfungsi sebagai media adsorben. Air sampel akan dialirkan melalui media filtrasi dari bawah ke atas dan ditampung pada bak penampungan. Penggunaan zeolit dan batu apung sebagai adsorben karena memiliki pori yang dapat mengikat molekul dalam air. Dari hasil penelitian nilai rata-rata media zeolit mampu menyisihkan salinitas sebesar 28.84%, TDS 28.06%, konduktivitas 28.14% dan TSS 92.20% dan media batu apung mampu menyisihkan salinitas sebesar 28.57%, TDS 27.81%, konduktivitas 27.88% dan TSS 91.20%. Kapasitas adsorpsi dihitung dengan menggunakan model Thomas dan hasilnya untuk media zeolit adalah 0,059 mg adsorbat/mg adsorban, sedangkan untuk media batu apung adalah 0,026 mg adsorbat/mg adsorban. Sehingga dapat dikatakan bahwa media zeolit memiliki kapasitas dan kemampuan yang lebih besar dari media batu apung.

Kata kunci: *air payau, zeolit, batu apung, filtrasi, adsorpsi*

1. Pendahuluan

Air payau merupakan campuran dari air tawar dan air asin yang konsentrasi garamnya bisa berubah sesuai musim. Nilai salinitas pada air payau sebesar 0,5-30 ppt, TDS sebesar 1500-6000 ppm. Pengolahan sederhana yang dapat dilakukan dalam pengolahan air payau yaitu menggunakan proses filtrasi yang memanfaatkan adsorben. Proses filtrasi dilakukan dengan menggunakan beberapa lapisan media filter sehingga didapatkan pori yang paling baik terhadap partikel terlarut TDS. Modifikasi pada proses filtrasi ini terdapat pada media filter, dimana penggunaan media zeolit (Purwaningtyas, Mustakim, Rohmah, & Anastasya, 2020) dan batu apung (Syam & Beso, 2017) dalam proses filtrasi berperan sebagai adsorben.

Zeolit berfungsi selaku adsorben dimana zeolit memiliki struktur kristal alumina silika yang memiliki ruang yang mampu menyerap ion-ion logam (Purwaningtyas, Mustakim, Rohmah, & Anastasya, 2020). Zeolit dapat dimanfaatkan sebagai adsorben, penyaring molekul, penukar ion, katalis. Zeolit memiliki pori

yang dapat digunakan sebagai adsorben dan penyaring molekul sehingga dapat menyerap molekul dengan jumlah besar dengan ukuran yang kecil atau sesuai dengan ukuran pori. Material zeolit yang mengalami hidrasi disebut adsorben yang memiliki efektivitas adsorpsi yang besar. Astuti, Jamali dan Amin (2006) menyatakan penggunaan zeolit dapat menyisihkan kadar garam sebesar 52%. Dari penelitian yang telah dilaksanakan oleh Wibowo et al. (2017) menyatakan zeolit merupakan adsorben yang baik dalam penyisihan air asin.

Batu apung memiliki struktur berpori dan ringan dan mengandung kapiler-kapiler yang halus pori yang dapat digunakan sebagai adsorben untuk pengolahan air asin. Penggunaan Batu apung pernah dilakukan oleh (Manurung, Ivansyah, & Nurhasanah, 2017) dalam penyisihan TDS 765,8 mg/L dengan nilai awal 1527 mg/L. Dari hasil penelitian (Aulia, 2022) dalam penyisihan TSS dapat menggunakan media batua apung dengan proses filtrasi sebesar 98,25%. Pengolahan air payau untuk menghasilkan air bersih berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah nomor 66 tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode penelitian berbasis angka disertai dengan analisis data untuk mengumpulkan data yang didapatkan dari hasil uji penelitian yang telah dilakukan dengan berbagai variabel berbeda. Analisis pengolahan data akan dijelaskan secara analisis deskriptif disertai dengan tabel dan grafik. Kemudian dilanjutkan dengan analisis lanjutan untuk mengetahui besarnya pengaruh setiap variabel dan faktor penelitian serta menganalisis variabel dengan pengaruh media filter paling efektif untuk penyisihan salinitas, TDS, konduktivitas dan TSS.

Pada penelitian ini terdapat beberapa variabel yang berbeda untuk menentukan variabel paling baik. Terdapat lima reaktor dengan berisikan zeolit 100 cm, batu apung 100 cm, kombinasi zeolit dan batu apung 50 cm:50 cm, kombinasi zeolit dan batu apung 60 cm:40 cm dan kombinasi zeolit dan batu apung 40 cm:60 cm. Proses filtrasi dilakukan secara berkelanjutan dengan aliran upflow selama 4 jam, 8 jam, 12 jam, 16 jam, dan 20 jam.

3. Hasil dan Pembahasan

Parameter kualitas air payau yang diuji adalah salinitas, TDS, konduktivitas dan TSS. Data hasil pengujian dianalisa dengan memeriksa nilai hasil uji secara langsung terhadap standar kualitas yang ditetapkan Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.

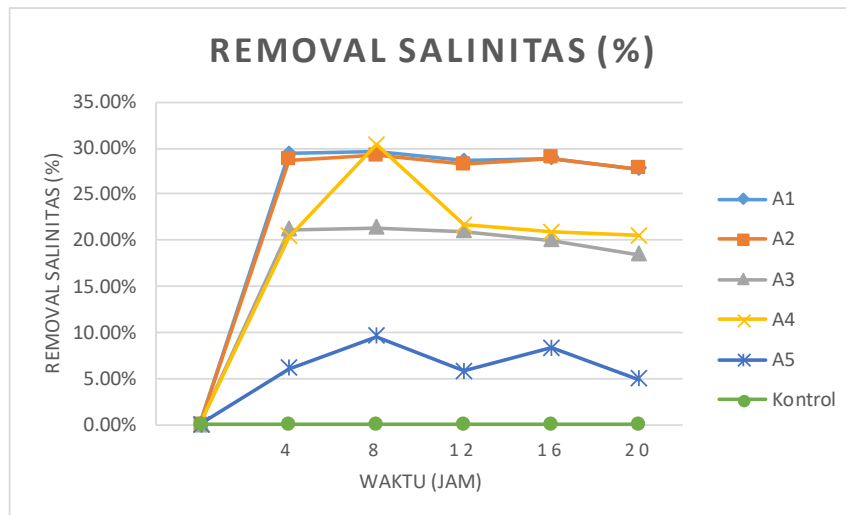
Tabel 1. Baku Mutu Air Bersih

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi awal	Baku Mutu
1	Salinitas	‰	5,2	-
2	TSS	mg/L	100	40
3	TDS	mg/L	6,344	< 1.000
4	Konduktivitas	µmhos/cm	9,920	-

Sumber : PP No. 22 Tahun 2021

a. Salinitas

Salinitas adalah jumlah garam yang tercampur dalam air, diukur dalam satuan permil (‰), ppt (part per thousand) atau gram/liter. Salinitas digunakan untuk mengklasifikasi atau mengelompokkan tingkat keasinan air tanah yang dilakukan oleh (Purwanti, 2006) Air dapat diklasifikasikan sebagai berikut berdasarkan salinitasnya: air tawar memiliki nilai salinitas kurang dari 0,5‰, air payau memiliki salinitas berada dalam rentang 0,5 hingga 30‰, air asin memiliki salinitas antara 30 hingga 40‰, dan air sangat asin atau air laut memiliki angka salinitas lebih dari 40‰. Alat yang digunakan dalam pengukuran salinitas bisa menggunakan refraktometer yang biasa juga disebut sebagai alat pengukur indeks pembiasan pada cairan yang digunakan untuk mengukur kadar garam. Hasil dari penyisihan salinitas bisa dilihat pada **Gambar 1** berikut:

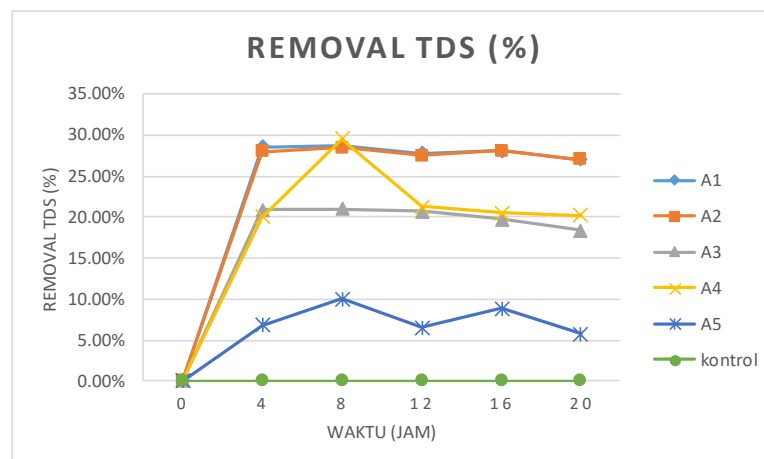


Gambar 1. Grafik Hubungan Antara Waktu Sampling (Jam) dan Penyisihan Nilai Salinitas Pada Berbagai Media Filter

Dari hasil filtrasi penyisihan rata-rata parameter salinitas nilai terbesar terdapat pada variabel A1 yaitu media zeolit dengan tinggi 100 cm. Rata-rata penyisihan pada variabel ini menancapai 28.84% dengan nilai salinitas 3.91 permil, adapun penurunan parameter salinitas terbesar pada jam ke 8, yakni sebesar 29.56% sebesar 3.87 ppt, sehingga dapat disimpulkan bahwa waktu optimal untuk menurunkan parameter salinitas menggunakan media zeolit adalah selama 8 jam. Nilai salinitas dalam air dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu penguapan, semakin tinggi tingkat penguapan pada air maka nilai salinitas akan tinggi. Curah hujan juga bisa mempengaruhi nilai salinitas. Secara umum, semakin tinggi curah hujan di suatu wilayah, salinitas cenderung lebih rendah, sedangkan jika curah hujan rendah, nilai salinitas akan lebih tinggi.

b. TDS

Padatan Terlarut Total (*Total Dissolved Solid atau TDS*) yakni konsentrasi dari banyaknya ion kation dan anion dalam air. Padatan terlarut dalam air berbentuk zat yang larut dan berada dalam bentuk suspensi yang merupakan senyawa dan partikel lain yang sulit dapat disaring melalui kertas saring (Widayanti, 2012). Padatan terlarut pada perairan berasal dari luapan limbah sektor pertanian dan limbah industri. Pengukuran nilai TDS bisa menggunakan metode gravimetri yaitu dengan merebus air sampel hingga menguap dan meninggalkan residu yang berada dibagian bawah gelas. Massa residu kemudian ditimbang menggunakan analisis keseimbangan. Total padatan yang larut umumnya berasal dari zat organik, garam anorganik, dan gas terlarut. Ketika jumlah total padatan terlarut meningkat sehingga kesadahan juga akan meningkat. Selain itu, dampak kesehatan dari padatan terlarut atau padatan bervariasi tergantung pada spesies kimia yang menyebabkan masalah. Hasil dari penyisihan TDS bisa dilihat pada **Gambar 2** berikut:

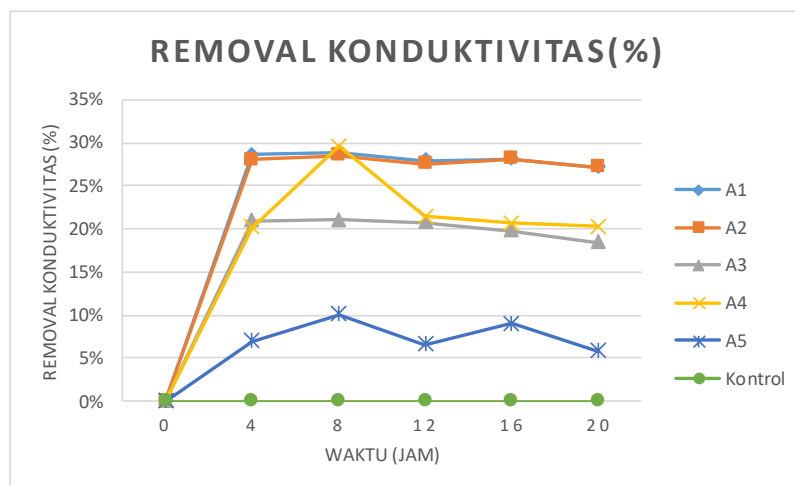


Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Waktu Sampling (Jam) dan Penyisihan Nilai TDS Pada Berbagai Media Filter

Dari hasil filtrasi penyisihan rata-rata TDS paling besar terdapat pada variabel A1 yaitu media zeolit dengan tinggi 100 cm. Rata-rata penyisihan pada variabel ini mencapai 28.06% dengan nilai TDS 4,564 mg/L, adapun penurunan TDS terbesar terjadi pada jam ke 8 yakni sebesar 28.75% dengan nilai TDS 4,520 mg/L, sehingga bisa disimpulkan bahwa waktu yang optimal dalam penyisihan parameter TDS menggunakan media zeolit yaitu 8 jam. Pada perairan padatan terlarut merupakan larutan yang bersifat koloid berbentuk senyawa kimia dan terdapat partikel lain yang tidak terhalang oleh kertas saring (Widayanti, 2012). Peningkatan kandungan padatan terlarut pada perairan disebabkan oleh keberadaan kandungan organik seperti: kalsium, fosfat, nitrat, natrium, kalium, magnesium, bikarbonat, karbonat dan klorida. Kandungan TDS umumnya disebabkan oleh ion-ion anorganik yang berada di perairan seperti Na, Ca, Mg, dan Cl.

c. Konduktivitas

Konduktivitas atau daya hantar listrik (DHL) adalah ukuran kemampuan larutan cair untuk menghantarkan arus listrik, yang bergantung keberadaan ion, total konsentrasi ion, valensi ion, dan suhu pada waktu pengukuran. Konduktivitas merupakan kemampuan dalam sebuah larutan sebagai penghantar arus listrik yang dihantarkan oleh ion yang terdapat di dalamnya. Tingginya konduktivitas menandakan besarnya pencemar yang masuk ke perairan seperti bahan organik dan mineral. Pada saat perairan berada dalam kondisi normal nilai daya hantar listrik berkisar antara 20 – 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Ruseffandi & Gusman, 2020). Hasil dari penyisihan konduktivitas bisa dilihat pada **Gambar 3** berikut:



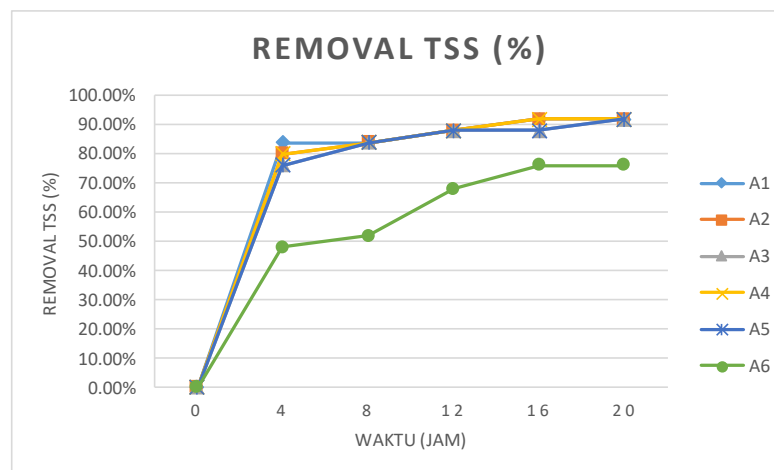
Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Waktu Sampling (Jam) dan Penyisihan Nilai Konduktivitas Pada Berbagai Media Filter

Dari hasil filtrasi penyisihan rata-rata konduktivitas paling optimal terdapat pada variabel A1 media zeolit dengan tinggi 100 cm. Penyisihan rata-rata pada variabel ini mencapai 28.14% dengan nilai konduktivitas 7.129 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$, adapun penurunan konduktivitas terbesar terjadi pada jam ke- 8 yakni sebesar 28.81% dengan nilai konduktivitas 7.062 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$, sehingga dapat disimpulkan bahwa waktu optimal dalam penurunan nilai konduktivitas menggunakan media zeolit adalah 8 jam. Karakteristik yang dimiliki ion yaitu melakukan konduksi listrik, oleh karena itu nilai konduktivitas sekedar memberikan konsentrasi ion total larutan. Padatan terlarut pada larutan dapat mempengaruhi banyaknya ion di dalamnya. Jumlah ion dalam larutan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah zat padat yang larut, sehingga semakin besar nilai padatan terlarut, jadi semakin besar kuantitas padatan terlarut, semakin tinggi nilai konduktivitasnya. Sehingga jumlah zat padatan terlarut (TDS) dapat terhubung dengan nilai konduktivitas (Irwan, 2016).

Pengukuran nilai konduktivitas menggunakan konduktometer dilakukan dengan mencelupkan bagian konduktor ke dalam larutan. Konduktometer akan merespons terhadap ion yang berada di permukaan konduktor, kemudian hasilnya diproses dan ditampilkan sebagai angka pada output. Tingkat konsentrasi misel dalam larutan akan memengaruhi nilai daya hantar listriknya; semakin tinggi konsentrasi misel, maka nilai daya hantar akan semakin tinggi karena jumlah ion yang berkontak dengan konduktor lebih banyak. Selain itu, jika nilai daya hantar meningkat, hal ini juga dapat mengindikasikan bahwa suhu larutan lebih tinggi.

d. TSS

Padatan Total Suspended Solid (TSS) adalah total berat kering lumpur dalam mg/L yang terdapat pada air sesudah melalui sistem penyaringan menggunakan membran dengan ukuran pori 0,45 mikron. Menurut Sastrawijaya (2000), yang dikutip dalam Effendi (2000:12-18) kandungan TSS didalam perairan umumnya melibatkan fitoplankton, zooplankton, limbah dari hewan dan manusia, sedimen lumpur dari kegiatan industri. Padatan tersuspensi meliputi partikel-partikel yang memiliki ukuran dan juga berat yang lebih kecil dari sedimen, seperti bahan organik tertentu dan tanah liat, dll (Rozali, Mubarak, & Nurrachmi, 2016). Pengukuran padatan tersuspensi dilakukan dengan metode gravimetri, dimana padatan yang disaring menggunakan saringan dengan besar partikel maksimal 2 μm atau lebih besar dari pada partikel koloid. Metode gravimetri melibatkan penyaringan sampel menggunakan kertas saring yang sudah diketahui beratnya. Padatan yang terhalang pada saringan akan dikeringkan hingga tercapai berat konstan pada suhu antara 103°C hingga 105°C. peningkatan berat dari saringan merepresentasikan jumlah total padatan tersuspensi (TSS).



Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Waktu Sampling (Jam) dan Penyisihan TSS Pada Berbagai Media Filter

Dari hasil filtrasi penyisihan rata-rata parameter TSS paling optimal terdapat pada variabel A1 dengan komposisi media zeolit dengan tinggi 100 cm. Rata-rata penyisihan pada variabel ini mencapai 88.00% dengan nilai TSS 8 mg/L, adapun penurunan parameter terbesar pada jam ke 20, yakni sebesar 92.00% dengan nilai TSS sebesar 8 mg/L. sehingga dapat ditarik kesimpulan mengenai waktu optimal untuk penurunan parameter TSS menggunakan filter zeolit adalah 20 jam.

Konsentrasi total padatan tersuspensi (TSS) merupakan parameter yang menunjukkan kecepatan pengendapan untuk mengukur jumlah TSS dalam larutan. Menurut Siswanto (2010), bahan-bahan kimia dari sumber tertentu, jika larut dalam air, sebagian akan berendap di dasar perairan dan sisanya akan terbawa oleh arus laut. Analisis TSS digunakan sebagai metode untuk mengukur kuantitas dan penyebaran padatan tersuspensi dalam air

Berdasarkan hasil penelitian proses filtrasi kurang efektif dalam penyisihan salinitas, TDS dan konduktivitas, hal tersebut terjadi karena tidak dilakukan aktivasi pada media zeolit dan batu apung sehingga kapasitas menjerap parameter tersebut sangat sedikit, dimana ketiga parameter tersebut merupakan ion-ion terlarut dengan ukuran yang sangat kecil sehingga dengan mudah akan lolos melalui pori-pori media filtrasi. Dari hasil penyisihan salinitas, TDS dan konduktivitas mengalami hasil yang fluktuatif, dimana hal tersebut terjadi disebabkan aliran air baku tidak stabil pada proses filtrasi upflow. Proses filtrasi upflow mengandalkan aliran naik melalui media filtrasi, jika aliran tidak stabil dapat menyebabkan distribusi air yang tidak merata dan mengakibatkan kontak yang tidak merata antara air dan media filtrasi sehingga terjadi hasil yang fluktuatif.

Pada hasil yang fluktuatif juga dipengaruhi oleh perubahan karakteristik air yang berubah, perubahan karakteristik air dapat dipengaruhi oleh beberapa hal diantaranya pengaruh suhu yang mempengaruhi kelarutan padatan terlarut pada air baku. Jika mengacu pada peraturan pemerintah No. 22 tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup nilai TDS yang diizinkan adalah 1.000 mg/L, dari hasil pengolahan ini, effluen hasil pengolahan pada variabel A1 yaitu zeolit dengan tinggi 100 cm pada jam ke 8 penyisihan nilai TDS mencapai 28.75% dengan nilai TDS sebesar 4.520 mg/L, sehingga belum memenuhi baku mutu.

Proses penyaringan TSS dalam filtrasi memberikan hasil yang efektif karena didasarkan pada proses fisik, yaitu pemilahan. Dalam proses tersebut, partikel-partikel dengan ukuran yang lebih besar dari pada pori ataupun celah media zeolit dan batu apung berukuran 100 mesh akan dihilangkan. Menurut Masduki dan Agus (2002), pada saat media filter dilewati oleh air baku yang mengandung TSS, maka pori-pori akan menahan partikel-partikel koloid dan akan mengalami proses biologi, yang terdegradasi oleh bakteri. Pada proses filtrasi penyisihan TSS akan semaik baik seiring berjalannya waktu hal tersebut terjadi karena penumpukan partikel, ketika air mengalir melalui media filtrasi, partikel-partikel padat yang tersuspensi dalam air akan menumpuk di permukaan media. Seiring waktu lapisan partikel akan bertambah tebal dan memungkinkan filtrasi yang lebih efisien dan lebih optimal.

4. Kesimpulan

Menurut hasil pengamatan yang sudah dilaksanakan, memberikan hasil bahwa proses filtrasi menggunakan zeolit dan batu apung kurang efektif dalam penyisihan salinitas, TDS dan konduktivitas, namun efektif dalam penyisihan TSS. Dari hasil penelitian media zeolit pada reaktor A1 mampu menyisihkan salinitas sebesar 28.84%, TDS 28.06%, konduktivitas 28.14%, dan TSS 88.00%. Dan media batu apung pada reaktor A2 mampu menyisihkan salinitas sebesar 28.57%, TDS 27.81%, konduktivitas 27.88%, dan TSS 87.20%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi terbaik terdapat pada A1 yaitu media zeolit dengan tinggi 100 cm, pada reaktor A2 yaitu batu apung dengan tinggi 100 cm juga mampu menyisihkan parameter salinitas, TDS, Konduktivitas dan TSS tetapi tidak sebaik reaktor A1.

5. Daftar Pustaka

- [1] Aulia, M. D. (2022). Pengaruh Jenis Media Trickling Filter Terhadap Pengolahan Air Limbah Usaha Mikro Kecil dan Menengah.
- [2] Eco Enzyme Nusantara. (2020). *Modul Belajar Pembuatan Eco Enzyme*. Eco Enzyme Nusantara.
- [3] Irwan, F. A. (2016). Analisis Hubungan Konduktivitas Listrik dengan Total Dissolved Solid (TDS) dan Temperatur pada Beberapa Jenis Air . *Jurnal Fisika Unand*, 59(1), 85-93.
- [4] Ismawan, M. F., Sanjoto, T. B., & Setyaningsih, W. (2016). Kajian Intrusi Air Laut dan Dampak Terhadap Masyarakat di Pesisir Kota Tegal. *Jurnal Geo Image* , 1-5.
- [5] Larasati dkk. (2021). Kandungan Pencemar Deterjen dan Kualitas Air di Perairan Muara Sungai Tapak, Semarang. *Indonesian Journal of Oceanography*.
- [6] Manurung, M., Ivansyah, O., & Nurhasanah. (2017). Analisis Kualitas Air Sumur Bor di Pontianak Setelah Proses Penjernihan Dengan Metode Aerasi, Sedimentasi dan Filtrasi. *PRISMA FISIKA*, Vol. V, No. 1, Hal. 45-50.
- [7] Nazim, F., & Meera, V. (2013). Treatment of Synthetic Greywater Using 5% and 10% Garbage Enzyme Solution. *Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science*, 111.
- [8] Purwaningtyas, F. Y., Mustakim, Z., Rohmah, Z. C., & Anastasya, T. D. (2020). Desalinasi Air Payau Desa Kemudi Gresik Menggunakan Adsorben Zeolit . *Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*.
- [9] Purwanti, d. (2006). Pemodelan Salinitas Air Tanah di Surabaya Timur. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi III*. Surabaya.
- [10] Ruseffandi, M. A., & Gusman , M. (2020). Pemetaan Kualitas Airtanah Berdasarkan Parameter Total Dissolver Solid (TDS) dan Daya Hantar Listrik (DHL) dengan Metode Ordinary Kriging Di Kec. Padang Barat, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, Vol.5, No.1 .
- [11] Sari, I. P., & Suliestyah. (2021). Adsorpsi Ion Logam Fe dan Zn pada Air Limbah Menggunakan Karbon Aktif dari Batubara Peringkat Rendah. *Jurnal Geomine*, 198-205.
- [12] Suyasa, W. B. (2015). *Pencemaran Air & Pengolahan Air Limbah*. Denpasar: Udayana University Press.
- [13] Syam, S., & Beso, Y. (2017). Kemampuan Zeolit dan Batu Apung Dalam Menurunkan Kadar Klorida Pada Air Payau. *Jurnal Sulolipu : Media Komunikasi Sivitas Akademika dan Masyarakat*, Vol. 17 No 11, 98 - 102.
- [14] Widayanti, G. W. (2012). Elektrodekolorisasi Perairan Tercemar Limbah Cair Industri Batik dan Tekstil di Daerah Batang dan Pekalongan . *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* , 62-69.
- [15] Widiani, N., & Novitasari, A. (2023). Produksi dan Karakterisasi Eco Enzyme dari Limbah Organik Dapur. *Bioedukasi*.