

Efektivitas Proses Aerasi dan Penggunaan Adsorben Cangkang Telur Bebek & Kepiting dalam Penurunan Fe, Mn, TDS, TOC Pada Air Tanah

Himmatul Aliyah Rosydi¹, Munawar Ali², Muhammad Abdus Salam Jawwad^{3*}

^{1,2,3}Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”, Jawa Timur

*Koresponden email: muhammad.abdus.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 23 Mei 2024

Disetujui: 13 Juni 2024

Abstract

The parameters of Fe, Mn, TDS and TOC contained in the groundwater around the coast of Gresik Regency can cause unpleasant odours when exposed to air, yellow stains on clothes and health problems for people who consume groundwater. The process of aeration and adsorption treatment can be an alternative to reduce the level of pollutants in groundwater by using crab shells and duck egg shells as adsorbents. The study was conducted by comparing 2 treatment processes, the aeration treatment process using variations in aeration time of 15 minutes, 30 minutes and 45 minutes and the adsorption treatment process using variations in the type of duck and crab eggshell adsorbents. The adsorption process also uses variations in sampling time of 20 minutes, 40 minutes and 60 minutes. In the aeration process, the maximum aeration time for removal of Fe, Mn, TDS and TOC occurs at an aeration time of 45 minutes. The percentage allowance for Fe was 91.4%. The percentage allowance for Mn was 28.6%. The percentage of TDS release was 68.2%. The percentage of TOC addition is 20.8%. In the adsorption process, the maximum sampling time is 40 minutes. The percentage of Fe removal using duck and crab eggshell adsorbents was 97.8% and 99.2%, Mn was 75.7% and 82.7%, TDS was 84.5% and 94.1%, TOC was 74.6% and 81%. The percentage of adsorbent increases as the stirring time increases, allowing the adsorption process to run properly and optimally.

Keywords: *adsorption, crab shells, duck eggshells, Fe, Mn, TDS, TOC*

Abstrak

Parameter Fe, Mn, TDS, dan TOC yang terkandung pada air tanah di sekitar pesisir pantai Kabupaten Gresik dapat menyebabkan bau tidak sedap apabila terkena udara, noda kuning pada pakaian, dan gangguan kesehatan bagi masyarakat yang mengkonsumsi air tanah. Proses pengolahan aerasi dan adsorpsi dapat menjadi alternatif dalam menurunkan kadar pencemar yang terkandung pada air tanah dengan memanfaatkan cangkang kepiting dan telur bebek sebagai adsorben. Penelitian dilakukan dengan membandingkan 2 proses pengolahan, proses pengolahan aerasi sendiri menggunakan variasi dari waktu aerasi sebesar 15 menit, 30 menit, dan 45 menit serta proses pengolahan adsorpsi dengan menggunakan variasi jenis adsorben cangkang telur bebek dan kepiting. Adsorpsi juga menggunakan variasi waktu sampling sebesar 20 menit, 40 menit, dan 60 menit. Pada proses pengolahan secara aerasi, waktu maksimum lamanya aerasi untuk meremoval Fe, Mn, TDS, dan TOC terjadi pada waktu aerasi selama 45 menit. Persen penyisihan Fe sebesar 91,4%. Persen penyisihan Mn sebesar 28,6%. Persen penyisihan TDS sebesar 68,2%. Persen penyisihan TOC sebesar 20,8%. Pada proses adsorpsi waktu sampling yang maksimum terjadi pada menit ke 40. Persen penyisihan Fe dengan menggunakan adsorben cangkang telur bebek dan kepiting adalah sebesar 97,8% dan 99,2%, Mn sebesar 75,7% dan 82,7%, TDS sebesar 84,5% dan 94,1%, TOC sebesar 74,6% dan 81%. Persen penurunan akan mengalami pertambahan seiring dengan bertambahnya lama waktu pengadukan yang terjadi maka nantinya proses adsorpsi dapat berjalan dengan maksimum.

Kata Kunci: *adsorpsi, cangkang kepiting, cangkang telur bebek, Fe, Mn, TDS, TOC*

1. Pendahuluan

Tanah adalah bagian dari unsur terpenting bagi kelangsungan hidup makhluk hidup terutama manusia. Air yang terkandung dalam tanah atau sering dikenal sebagai air tanah juga adalah salah satu unsur yang paling dibutuhkan bagi makhluk hidup untuk memenuhi kebutuhan sanitasi. Bahkan terdapat beberapa makhluk hidup yang menggunakan air tanah untuk diminum. Akan tetapi, masuknya bahan kimia ke dalam unsur tanah nantinya akan menyebabkan adanya pencemaran air di dalam tanah maupun

pencemaran udara. Bahan kimia yang ada di dalam tanah dapat disebabkan oleh banyaknya sampah yang dibuang sembarangan sehingga mempengaruhi kualitas air tanah [1].

Sampah bukan merupakan bahan utama yang menyebabkan adanya kandungan bahan kimia pada air tanah. Lokasi air tanah yang berada di dekat pantai juga dapat menyebabkan kandungan bahan kimia pada air tanah. Hal tersebut dikarenakan pasir pantai mengandung bahan kimia seperti besi (Fe) dan sering dikenal sebagai pasir besi [2]. Air tanah seringkali terkandung oleh berbagai komponen seperti logam berbahaya yaitu besi (Fe) [3].

Kandungan besi pada air tanah dapat mengubah warna dari air berubah menjadi kuning sehingga timbul bau yang tidak enak untuk dihirup jika terkena udara, noda kuning pada pakaian, dan gangguan kesehatan bagi masyarakat yang mengkonsumsi air tanah [4]. Pada penelitian ini menggunakan proses aerasi dan adsorpsi. Aerasi adalah metode pengolahan air bersih secara fisika dengan penambahan udara ataupun oksigen ke dalam air dan atau dengan memberikan gelembung udara pada dasar permukaannya. Aerasi sendiri tidak memerlukan tempat yang besar, serta bentuk maupun desainnya sederhana dan mudah dioperasikan [5]. Adsorpsi merupakan salah satu pengolahan yang terjadi apabila molekul cairan ataupun molekul gas bersentuhan melalui permukaan padat dan sebagian molekul teradsorpsi ke permukaan padat tersebut [6].

Cangkang dari telur dapat dimanfaatkan sebagai adsorben agar menghilangkan zat pewarna dan ion logam dalam larutan air. Adsorben alami adalah suatu adsorben yang didapatkan melalui cangkang dari hewan ataupun biji dari tanaman yang terkandung protein berjenis polikationik di dalamnya [7]. Cangkang yang berasal dari telur bebek sendiri di dalamnya terkandung unsur kalsium karbonat atau sering dikenal sebagai CaCO_3 . Cangkang dari telur bebek juga mengandung 94% kalsium karbonat atau CaCO_3 [8]. Cangkang dari kepiting banyak mengandung unsur penting, antara lain yaitu protein sebesar 15,60 % hingga 23,90 %, kalsium karbonat sebesar 53,70 % hingga 78,40 %, dan kitin sebesar 18,70 % hingga 32,20 %. Tinggi dari kandungan unsur kalsium karbonat atau CaCO_3 yang ada di cangkang kepiting memiliki potensi yang tinggi dalam bahan pengganti yang terbuat dari kapur pada tanah [9].

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian yang dilakukan menggunakan sampel air tanah yang berada di pesisir pantai Kabupaten Gresik. Bahan yang digunakan selain air sampel adalah serbuk cangkang telur bebek, serbuk cangkang kepiting, dan juga aquades. Alat penelitian yang digunakan adalah beaker glass dengan ukuran 1000 ml, oven, timbangan analitik, ayakan 60 mesh, erlenmeyer, desikator, furnace, pompa aerator, wadah aerasi, dan kolom adsorpsi.

2.2 Pembuatan dan Pengaktivasian Adsorben

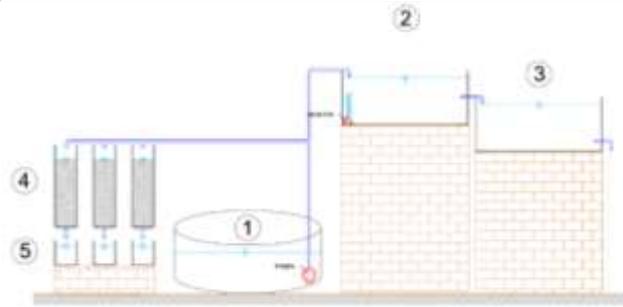
Cangkang dari telur bebek dan kepiting diperoleh dari hasil sisa produksi direndam selama 15 menit dengan aquades dan dibersihkan serta dipisahkan antara kulit ari dan cangkang. Setelah dilakukan pembersihan, kedua cangkang dihaluskan secara terpisah dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh. Cangkang telur bebek dan kepiting yang sudah halus dimasukkan ke dalam oven untuk dikeringkan dan menggunakan furnace untuk pembakaran. Kemudian dilanjutkan proses aktivasi dengan melakukan mencampurkan adsorben selama 24 jam di dalam larutan HCl 1 M. Kemudian adsorben dicuci dengan aquades, disaring dengan kertas saring, dan dikeringkan ke dalam oven.

2.3 Sistem Pengolahan Aerasi

Air tanah yang terdapat pada sumur dipompa untuk dialirkan menuju bak aerasi. Pompa aerator dinyalakan sehingga udara nantinya disemprotkan melewati dasar yang ada pada bak air lalu dilakukan proses aerasi dan nantinya udara melakukan bersentuhan dengan air yang membentuk gelembung udara. Atur lama waktu aerasi dengan menggunakan variasi waktu selama 15, 30, dan 45 menit. Apabila air sampel telah dilakukan proses aerasi maka selanjutnya dialirkan menuju bak pengendap dan diamkan selama 1 jam.

2.4 Sistem Pengolahan Adsorpsi

Adsorben cangkang telur bebek dimasukkan ke dalam kolom adsorpsi sebesar 30 gram. Debit diatur dengan laju alir 25 mL/menit serta variasi waktu sampling selama 20, 40, dan 60 menit. Lakukan prosedur serupa terhadap adsorben cangkang kepiting.



Gambar 1. Skema dan Susunan Reaktor

Keterangan:

1. Sumur
2. Bak Aerasi
3. Bak Pengendapan
4. Kolom Adsorpsi
5. Effluent Storage

2.4 Kapasitas Adsorpsi

Suatu konsentrasi outlet dari proses adsorpsi menggunakan kolom adsorpsi merupakan bagian terpenting ketika merencanakan proses nantinya. Salah satu contoh pemodelan yang dapat dilakukan untuk merencanakan proses tersebut yaitu Pemodelan Thomas. Pemodelan Thomas sendiri digunakan dalam perhitungan konstanta laju dari adsorpsi dan konsentrasi suatu adsorbat yang ada di dalam adsorben pada studi dengan mode kontinyu. Pemodelan kinetika yang disarankan oleh Thomas merupakan salah satu dari model kinetika yang biasa digunakan untuk mengevaluasi performa dari suatu kolom [10]. Adapun Pemodelan Thomas dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\ln \left(\frac{C_0}{C_t} - 1 \right) = \frac{K_{Th} q_0 X}{Q} - K_{Th} C_0 t$$

Keterangan:

- C_0 : Konsentrasi influent dengan satuan mg/L
 C_t : Konsentrasi effluent dengan satuan mg/L
 K_{Th} : Konstanta kecepatan adsorpsi dengan satuan L/mg/menit
 X : Massa adsorben dengan satuan gram
 q_0 : Kapasitas jerap dengan satuan mg/g
 Q : Laju alir air dengan satuan L/menit
 t : Waktu sampling dengan satuan menit

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisa Awal

Analisa kadar pencemar awal sendiri dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kadar Fe, Mn, TDS, dan TOC pada air tanah sekitar pesisir pantai di Kabupaten Gresik sebelum dilakukan penelitian. Berdasarkan standar baku mutu Permenkes Nomor 02 Tahun 2023 hasil analisa awal didapatkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Analisa Awal Air Tanah

No	Parameter	Hasil Uji (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)	Regulasi
1	Besi (Fe)	3,5	0,2	Permenkes No. 02 Tahun 2023
2	Mangan (Mn)	0,24	0,1	
3	Total Dissolved Solid (TDS)	2390	<300	
4	TOC	6,31	-	-

Sumber: Analisa Penulis, 2024

3.2 Karakterisasi Adsorben

Karakterisasi adsorben memiliki manfaat agar dapat mengetahui kualitas dari adsorben yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu adsorben cangkang dari telur bebek dan kepiting sebelum digunakan untuk penelitian serta karakterisasi tersebut mengacu pada Standar Nasional Indonesia atau SNI dengan kode 06-3730-1995 Terkait Arang Aktif Teknis.

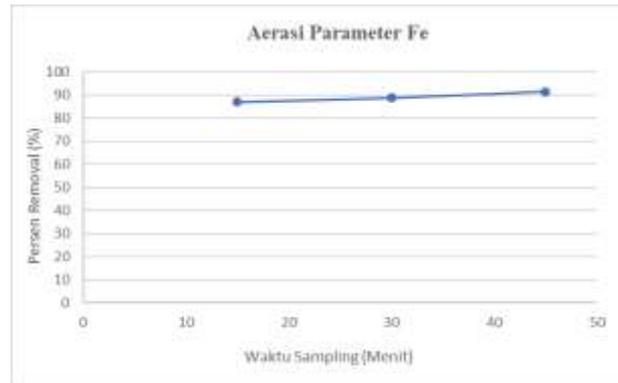
Tabel 2. Karakterisasi Adsorben

No	Kadar	Cangkang Telur Bebek (%)	Cangkang Kepiting (%)
1	Kadar Air Adsorben (Maksimal 15%)	5,6	14,6
2	Kadar Abu Adsorben (Maksimal 10%)	5,9	5

Sumber: Analisa Penulis, 2024

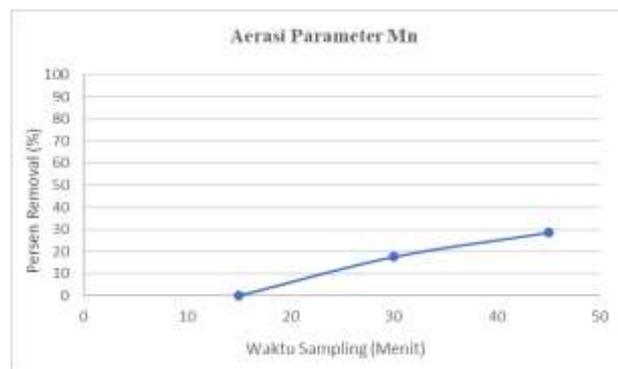
3.3 Proses Aerasi

Pada penelitian aerasi ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari lamanya waktu aerasi yang telah ditentukan terhadap persentase penurunan kadar Fe, Mn, *Total Dissolved Solid*, dan *Total Organic Carbon* sehingga mendapatkan hasil variasi waktu aerasi yang maksimum.



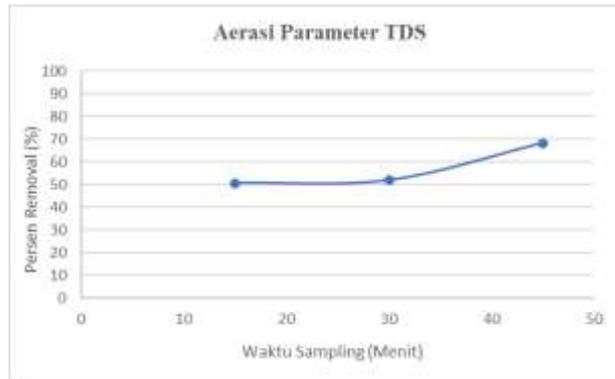
Gambar 2. Grafik Hubungan antara Waktu Aerasi (menit) dengan Removal dari Parameter Fe

Berdasarkan **Gambar 2** tersebut dapat disimpulkan persen penurunan parameter Fe dalam waktu aerasi maksimal adalah 45 menit dengan persen removal sebesar 91,4%. Persen removal mengalami pertambahan seiring dengan bertambahnya lama waktu aerasi. Lama dari waktu aerasi akan berpengaruh pada besar removal dari parameter yang terjadi. Pengikatan suatu ion besi dengan unsur oksigen yang semula berbentuk terlarut atau Ferro menjadi berbentuk tidak terlarut atau Ferri. Adanya reaksi yang terjadi antara Fe yang ada pada air dengan unsur oksigen dan nantinya akan mengubah Ferro menjadi bentuk Ferri dan Fe terpisah membentuk suatu sedimen. Adanya reaksi kimia yang terjadi antara Fe dan oksigen ketika proses aerasi membuat kandungan Fe pada air tanah menjadi berkurang [11].



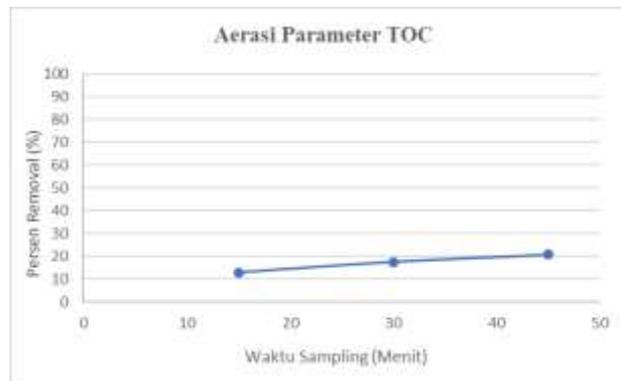
Gambar 3. Grafik Hubungan antara Waktu Aerasi (menit) dengan Removal dari Parameter Mn

Berdasarkan hasil **Gambar** tersebut dapat disimpulkan persen penurunan parameter Mn dalam waktu aerasi maksimal adalah 45 menit dengan persen removal sebesar 28,6%. Persen removal mengalami pertambahan seiring dengan bertambahnya lama waktu aerasi. Lama dari waktu aerasi akan berpengaruh pada besar removal dari parameter yang terjadi. Adanya proses aerasi dapat melakukan oksidasi pada mangan, mentransfer oksigen masuk ke air, serta membebaskan suatu volatil gas yang berasal dari dalam air [12].



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Waktu Aerasi (menit) dengan Removal dari Parameter TDS

Berdasarkan hasil **Gambar 4** dapat disimpulkan persen penurunan parameter TDS dalam waktu aerasi optimum adalah 45 menit dengan persen removal sebesar 51,9%. Persen removal mengalami pertambahan seiring dengan bertambahnya lama waktu aerasi. Lama dari waktu aerasi akan berpengaruh pada besar removal dari parameter yang terjadi. Aerasi berpengaruh pada pengikatan zat padat terlarut oleh oksigen. Pengikatan tersebut menyebabkan terkumpulnya zat padat terlarut yang nantinya berpengaruh pada gravitasi zat padat terlarut sehingga terendapkan [13].

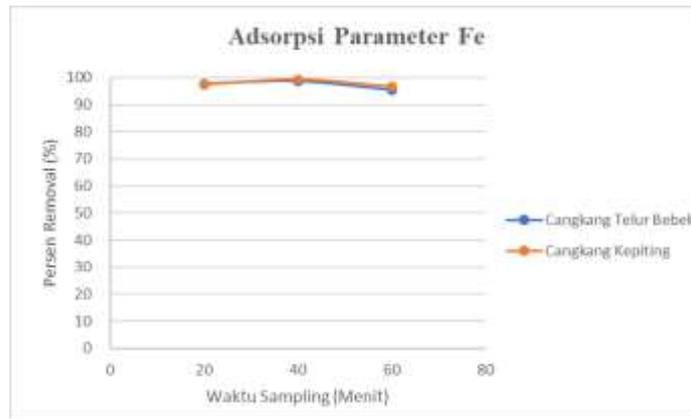


Gambar 5. Grafik Hubungan antara Waktu Aerasi (menit) dengan Removal dari Parameter TOC

Berdasarkan hasil **Gambar 5** tersebut dapat disimpulkan persen penurunan parameter TOC dalam semua waktu aerasi optimum adalah 45 menit dengan persen removal sebesar 20,8%. Persen removal mengalami pertambahan seiring dengan bertambahnya lama waktu aerasi. Lama dari waktu tinggal adalah contoh faktor yang sangat penting dalam proses penyisihan TOC. Oleh karena itu, lama waktu aerasi berpengaruh terhadap besar removal parameter yang terjadi [14].

3.4 Proses Adsorpsi

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, terdapat perubahan kadar Fe, Mn, TDS, dan TOC melalui proses aerasi. Penelitian yang dilakukan menggunakan dua jenis adsorben, antara lain cangkang telur bebek dan cangkang kepiting dengan menggunakan variabel tetap massa adsorben 30 gram dan debit limbah sebesar 25 ml/menit tiap. Pada grafik **Gambar 6** waktu sampling yang pertama yaitu menit ke 20 dilakukan setelah air sumur keluar melalui kolom adsorpsi dan waktu sampling didapatkan sebanyak 3 kali. Hasil removal Fe pada jenis adsorben cangkang telur bebek dan cangkang kepiting memiliki nilai yang merata. Hal tersebut dapat dilihat melalui sebaran nilai antar satu sama lain yang tidak jauh berbeda. Akan tetapi, penggunaan adsorben cangkang dari kepiting memiliki persen removal yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan cangkang telur bebek yaitu pada cangkang telur bebek sebesar 98,8% dan cangkang kepiting 99,2%. Waktu sampling yang lama akan menyebabkan terjadinya kontak antara suatu adsorben terhadap partikel Fe sehingga menjadi efektif dan ion Fe akan semakin banyak yang terserap oleh suatu adsorben [15].

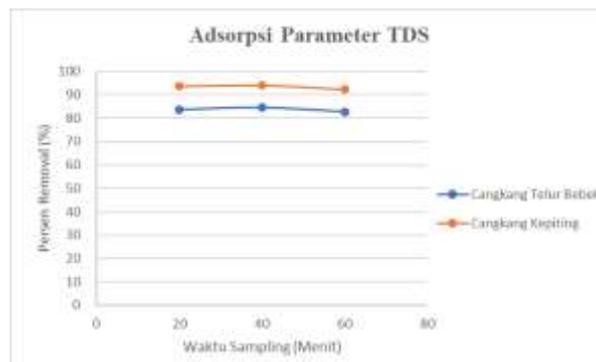


Gambar 6. Grafik Hubungan antara Waktu Sampling dengan Removal dari Parameter Fe3



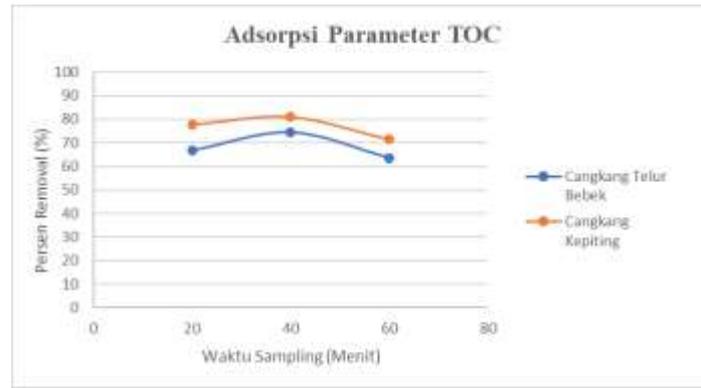
Gambar 7. Grafik Hubungan antara Waktu Sampling dengan Removal dari Parameter Mn

Pada **Gambar 7** waktu sampling yang pertama yaitu menit ke 20 dilakukan setelah air sumur keluar melalui kolom adsorpsi dan waktu sampling didapatkan sebanyak 3 kali. Hasil removal Mn pada jenis adsorben cangkang telur bebek dan cangkang kepiting memiliki nilai yang merata. Hal tersebut dapat dilihat melalui sebaran nilai antar satu sama lain yang tidak jauh berbeda. Akan tetapi, penggunaan adsorben cangkang dari kepiting memiliki persen removal yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan cangkang telur bebek yaitu pada cangkang telur bebek sebesar 75,7% dan cangkang kepiting 82,7%.



Gambar 8. Grafik Hubungan antara Waktu Sampling dengan Removal dari Parameter TDS

Pada **Gambar 8** tersebut waktu sampling yang pertama yaitu menit ke 20 dilakukan setelah air sumur keluar melalui kolom adsorpsi dan waktu sampling didapatkan sebanyak 3 kali. Hasil removal TDS pada jenis adsorben cangkang telur bebek dan cangkang kepiting memiliki nilai yang merata. Hal tersebut dapat dilihat melalui sebaran nilai antar satu sama lain yang tidak jauh berbeda. Akan tetapi, penggunaan adsorben cangkang dari kepiting memiliki persen removal yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan cangkang telur bebek yaitu pada cangkang telur bebek sebesar 84,5% dan cangkang kepiting 94,1%.



Gambar 9. Grafik Hubungan antara Waktu Sampling dengan Removal dari Parameter TOC

Pada Gambar 9 waktu sampling yang pertama yaitu menit ke 20 dilakukan setelah air sumur keluar melalui kolom adsorpsi dan waktu sampling didapatkan sebanyak 3 kali. Hasil removal TOC pada jenis adsorben cangkang telur bebek dan cangkang kepiting memiliki nilai yang merata. Hal tersebut dapat dilihat melalui sebaran nilai antar satu sama lain yang tidak jauh berbeda. Akan tetapi, penggunaan adsorben cangkang dari kepiting memiliki persen removal yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan cangkang telur bebek yaitu pada cangkang telur bebek sebesar 74,6% dan cangkang kepiting 81%.

3.5 Pemodelan Thomas Proses Adsorpsi

Pemodelan Thomas sendiri menggambarkan suatu penentuan dari kapasitas adsorpsi yang berdasarkan konsentrasi dari influen maupun efluen, volume dari suatu larutan yang melalui kolom adsorpsi, serta kecepatan dari suatu aliran pada *flow process* [16]. Penentuan dari kapasitas adsorpsi maupun model dari kinetika adsorpsi dapat dilakukan suatu percobaan dengan menggunakan salah satu metode yaitu kolom tunggal, lalu air sumur digunakan sebagai adsorbat, cangkang telur bebek dan cangkang kepiting sebagai adsorben serta variasi dari waktu sampling.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, kinetika dari proses adsorpsi nantinya dapat dianalisa dengan menggunakan persamaan atau pemodelan Thomas dan pemodelan tersebut adalah contoh dari teori kinerja suatu kolom yang umum untuk digunakan ketika melakukan penelitian. Perhitungan yang ada pada pemodelan Thomas di penelitian ini menggunakan debit limbah sebesar 25 ml/menit untuk dua jenis adsorben. Perhitungan dari kapasitas adsorbansi parameter Fe, Mn, TDS, dan TOC berturut-turut didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 3. Pemodelan Thomas

Parameter	Jenis Adsorben	Persamaan Linier	R ²	Kth (L/mg/menit)	q ₀ (mg/g)
Fe	Cangkang Telur Bebek	$y = -0,0027x + 3,4327$	0,0178	0,000771429	3,70816
	Cangkang Kepiting	$y = -0,0062x + 4,7025$	0,1158	0,001771429	2,2122
Mn	Cangkang Telur Bebek	$y = -0,0025x + 0,5677$	0,0075	0,010416667	1,08747
	Cangkang Kepiting	$y = -0,005x + 1,3837$	0,0835	0,020833333	0,05535
TDS	Cangkang Telur Bebek	$y = -0,0016x + 1,692$	0,2389	7,30594E-07	1929,9375
	Cangkang Kepiting	$y = -0,0052x + 2,8495$	0,4931	2,37443E-06	1000,0649
TOC	Cangkang Telur Bebek	$y = -0,0085x + 0,3702$	0,2202	0,001347068	0,22902
	Cangkang Kepiting	$y = -0,0084x + 0,8711$	0,3926	0,00133122	0,54530

Sumber: Analisa Penulis, 2024

4. Kesimpulan

Pada proses aerasi, waktu aerasi yang maksimum untuk meremoval Fe, Mn, TDS, dan TOC terjadi pada waktu aerasi selama 45 menit. Persen penyisihan Fe sebesar 91,4%. Persen penyisihan Mn sebesar 28,6%. Persen penyisihan TDS sebesar 68,2%. Persen penyisihan TOC sebesar 20,8%.

Pada proses adsorpsi menggunakan kolom adsorpsi, pengambilan sampel uji diambil dalam 3 waktu sampling. Waktu sampling yang maksimum untuk meremoval Fe, Mn, TDS, dan TOC terjadi pada menit ke 40. Persen penyisihan Fe dengan menggunakan adsorben cangkang telur bebek dan kepiting adalah sebesar 97,8% dan 99,2%. Persen penyisihan Mn dengan menggunakan adsorben cangkang telur bebek dan kepiting adalah sebesar 75,7% dan 82,7%. Persen penyisihan TDS dengan menggunakan adsorben cangkang telur bebek dan kepiting adalah sebesar 84,5% dan 94,1%. Persen penyisihan TOC dengan menggunakan adsorben cangkang telur bebek dan kepiting adalah sebesar 74,6% dan 81%. Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam persen removal, adsorben dari cangkang kepiting lebih maksimum untuk meremoval parameter pencemar dibandingkan dengan cangkang telur bebek. Persen penyisihan atau removal mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya lama waktu sampling sehingga pada proses adsorpsi itu sendiri dapat menjadi lebih maksimal.

Pada penelitian yang dilakukan, pemodelan yang digunakan adalah pemodelan Thomas dikarenakan ketika proses adsorpsi dilakukan, penurunan dari parameter pencemar secara maksimal dibuktikan adanya besar nilai dari persen removal pada parameter serta perolehan kapasitas maksimum yang didapatkan dari kolom adsorpsi. Namun besarnya nilai koefisien korelasi jauh dari angka 1.

5. Referensi

- [1] Suwerda, B. (2012). Bank Sampah (Kajian Teori dan Penerapan) Disertai Penerapan Bank Sampah “Gemah Ripah” di Dusun Badegan Bantul. Yogyakarta: Pustaka Rihama.
- [2] Afdal, & Niarti, L. (2013). Karakterisasi Sifat Magnet dan Kandungan Mineral Pasir Besi Sungai Batang Kuranji Padang Sumatera Barat. *Jurnal Ilmu Fisika (JIF)*, Vol 5(1), 1–2.
- [3] Pradana, T. D., Suharno, S., & Kamarullah, A. (2018). Efektivitas Koagulan Bubuk Kapur dan Filtrasi dengan Metode Up Flow dan Down Flow untuk Menurunkan Fe. *Jurnal Kesmas (Kesehatan Masyarakat) Khatulistiwa*, 5(1), 32–41.
- [4] Farizan, R., Mukaromah, A. H., & Sitomurti, D. H. (2018). Penurunan Kadar Ion Fe (II) dalam Air Menggunakan Cangkang Telur Ayam Kampung dengan Variasi Konsentrasi dan Waktu Perendaman. *Laboratorium Kimia, Fakultas Ilmu Keperawatan Kesehatan Universitas Muhammadiyah Semarang*.
- [5] Rahmawati, T., & Mangkoedihardjo, S. (2010). *Perencanaan Multiple Tray Aerator untuk Menurunkan Kandungan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Pada Air Baku di PDAM Kota Lumajang*. 1–10.
- [6] Elfian, F. (2017). Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Kelapa Sawit terhadap Warna dan Asam Lemak Bebas pada *Crude Palm Olein*.
- [7] Zonato, R. de O., Estevam, B. R., Perez, I. D., Aparecida dos Santos Ribeiro, V., & Boina, R. F. (2022). Eggshell as an Adsorbent for Removing Dyes and Metallic Ions in Aqueous Solutions. *Cleaner Chemical Engineering*, 1–7.
- [8] Dalimunthe, A., Nurbaya, S., Prilius, N., & Ginting, P. (2022). Analisis Kadar Kalsium Pada Cangkang Telur Bebek (*Anas Platyrhynchos-Domesticus*) Untuk Pembuatan Pasta Gigi Dengan Pewarna Alami Dari Sari Daun Pandan (*Pandanus Amaryllifolius Roxb*). *Farmanesia*, 9(1), 34–40.
- [9] Rahawarin. (2011). Potensi Kitin Kepiting Bakau (*Scylla Olivacea Herbst*) dalam Menyerap Logam Berat Tembaga (Cu) dari Limbah Tailing Industri Pertambangan di Timika, Papua. *Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 2(5), 25.
- [10] Natanael, J. F., & Yunita, V. I. (2018). Studi Pengurangan Kadar FFA pada Minyak Jelantah dengan Metode Adsorpsi Kontinu secara Upflow Menggunakan Adsorben Berbasis Serabut Kelapa. Sarjana thesis, *Universitas Brawijaya*.
- [11] Bangun, H. A., J.Sitorus, M. E., Manurung, K., & Ananda, Y. R. (2022). Penurunan Kadar Besi (Fe) dengan Metode Aerasi-Filtrasi Air Sumur Bor Masyarakat Kelurahan Tanjung Rejo. *Human Care Journal*, 7(2), 450.
- [12] Rahmawati, T. & Sarwoko, M. (2010). *Perencanaan Multiple Tray Aerator untuk Menurunkan Kandungan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Pada Air Baku di PDAM Kota Lumajang*.
- [13] Irawan, A. B., Santoso Budi, B., Supriyanto, B., & Taskia, S. (2019). Pemanfaatan Sistem Aerasi Micro Bubble Generator (Mbg) Dalam Pengolahan Air Terproduksi Minyak Bumi Di Kawasan Sumur Tua Minyak Bumi Desa 97 Wonocolo Jawa Timur. Seminar Nasional UPNYK 5. *LPPN*

UPN Veteran Yogyakarta.

- [14] Dickdoyo, A. T., & Cahyonugroho, O. H. (2021). Pengolahan Limbah Domestik Rumah Makan Dengan Moving Bed Biofilm Reactor (Mbbf). *Jurnal Envirotek*, 13(1), 33–36.
- [15] Hidayah, N., Deviyani, E., & Wicakso, D. R. (2012). Adsorpsi Logam Besi (Fe) Sungai Barito menggunakan Adsorben dari Batang Pisang. *Konversi*, 1(1), 19.
- [16] Asnawati, A., Kharismaningrum, R. R., & Andarini, N. (2017). Penentuan Kapasitas Adsorpsi Selulosa Terhadap Rhodamin B dalam Sistem Dinamis. *Jurnal Kimia Riset*, 2(1), 23-29.