

Penggunaan Zeolit sebagai Adsorben untuk Penjernihan Air Sumur terhadap Kandungan Logam Fe, Nilai BOD, COD, dan TSS di Kelurahan Kampuang Jua Nan XX, Kecamatan Lubuk Begalung, Kota Padang

Zilfa^{a*}, Yulizar Yusuf^a, Dian Syahputra^a

(a) Laboratorium Kimia Analisis Terapan Jurusan Kimia FMIPA, Universitas Andalas

*Corresponding author: zilfa@sci.unand.ac.id

Abstract

Nobita Hill is an area that will be used as a tourist destination located in Kampung Jua Nan XX Village, at the foot of Nobita Hill, precisely in RW III, there are many houses with poor well water quality. The purpose of this study is to determine the use of zeolite (adsorbent) to purify well water based on Fe metal content parameters, BOD, COD, TSS values and also to determine the effect of adsorbent mass, sample volume, contact time and stirring time on the adsorption process. Determination of Fe content using atomic absorption spectrophotometry (AAS). Determination of the value of Biological Oxygen Demand (BOD) using the Iodometric titration method, determining the value of Chemical Oxygen Demand (COD) using the visible spectrophotometric method and determining the value of Total Suspended Solids (TSS) using the gravimetric method. Zeolite was characterized by X-Ray Fluorescence (XRF) before and after adsorption. Analysis of the concentration of Fe in well water before adsorption 2.1 mg/L. 40 mL of well water was adsorbed with 0.1 g of zeolite for 45 minutes at a stirring speed of 200 rpm, Fe decreased by 96.1%, from 2.1 mg/L to 0.1 mg/L. COD, BOD and TSS values also decreased 57.1%, 63.9% and 67.5% respectively. Characterization using XRF showed a decrease in Si and Al content and an increase in Fe metal content in the adsorbent after adsorption.

Keywords

adsorption
zeolite
well water
Fe
atomic absorption spectrophotometry

Received: October 2024

Revised: October 2024

Accepted: November 2024

Available online: November 2024

1. Pendahuluan

Bukit Nobita merupakan suatu daerah yang akan dijadikan destinasi wisata yang terletak di Kelurahan Kampuang Jua Nan XX. Pada kaki Bukit Nobita tepatnya pada RW III terdapat beberapa rumah warga yang masih menggunakan air sumur dengan kualitas air tersebut masih belum memenuhi standar baku mutu air yang dapat dilihat secara langsung dari fisik air tersebut yang berwarna kuning. Air sumur merupakan salah satu sumber air yang paling mudah di dapatkan di daerah Bukit Nobita tersebut dikarenakan membutuhkan biaya yang lebih besar untuk mengalirkan air sungai ke daerah kaki Bukit Nobita. Air merupakan senyawa kimia yang sangat penting untuk kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan yaitu sebagai pengangkut zat-zat makanan pada tumbuhan serta untuk kehidupan dan berbagai keperluan lainnya. Bagi manusia, air tawar diperlukan manusia untuk keperluan hidupnya sehingga tidak dipungkiri keterbatasan persediaan air untuk pemenuhan kebutuhan

menjadi penghambat bagi daerah Bukit Nobita tersebut untuk menjadi destinasi wisata^[1].

Air yang ada pada bukit nobita berwarna kuning. Warna kuning tersebut disebabkan kadar besi yang tinggi dalam air. Besi menghasilkan pengendapan, warna dan noda pada sistem jaringan distribusi air berupa Fe(II) dan Fe(III), sehingga menyebabkan kekeruhan yang tinggi^[2]. Konsentrasi ion besi dalam air minum harus dibatasi. Indikator lainnya adalah dengan menganalisis nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan *Total Suspended Solid* (TSS) di daerah perairan yang dikaji^[3]. Beberapa solusi telah diperkenalkan untuk meminimalkan tingkat polutan ini. Sebagai contoh; menggunakan aerasi, sedimentasi dengan dan tanpa koagulan^[4], pertukaran ion dan biofilterasi^[4,5].

Masih ada beberapa tantangan untuk mencapai efisiensi peminimalan tingkat polutan ini seperti biaya yang tinggi untuk konstruksi dan kurangnya efisiensi bahan kimia yang digunakan, regenerasinya dan pembuangan yang aman dari adsorben yang terbuang. Oleh

sebab itu selanjutnya perlu dilakukan metode alternatif lainnya diselidiki untuk menghilangkan logam tersebut. Untuk menghilangkan ion besi, metode pengolahan air yang paling baik adalah oksidasi diikuti dengan penyaringan. Oksidasi aerobik adalah teknik yang memakan waktu dan tidak cocok dalam banyak kondisi. Di antara metode ini, proses adsorpsi telah terbukti memiliki efisiensi yang tinggi karena selektivitas, biaya rendah dan kesederhanaan di dalam pengerjaannya^[6-8].

Zeolit alami telah dipelajari untuk menghilangkan logam dan menurunkan nilai BOD, COD dan TSS dari air^[9]. Zeolit diklasifikasikan sebagai mineral aluminosilikat dengan struktur internal mikro pori yang telah digunakan sebagai penukar ion dalam peningkatan kualitas air seperti menghilangkan unsur atau pelunakan garam, dan banyak aplikasi lainnya^[10]. Terdapat tambahan muatan negatif pada permukaan zeolit yang timbul dari penggantian sebagian silikon oleh atom aluminium dalam struktur kisi kristalnya yang diseimbangkan oleh kation sekitarnya, seperti Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , dan Mg^{2+} . Kation atau ion lawan ini dapat ditukar dengan kation lain yang ada di dalam larutan atau air tersebut^[11].

Pada penelitian ini dilakukan penjernihan air di daerah Bukit Nobita secara penyerapan (adsorpsi) dengan zeolit sebagai adsorben. Kelebihan yang terdapat pada penelitian ini terletak pada adsorben yang digunakan yaitu zeolit. Zeolit merupakan bahan yang alami dan bisa didapat di perbukitan daerah Lubuk Selasih kabupaten Solok provinsi Sumatera Barat. Biaya pengolahan lebih ekonomis karena materialnya mudah ditemukan dan tidak mahal. Dapat digunakan berulang-ulang sampai dengan batas maksimal pemakaiannya.

2. Bahan dan Metoda

2.1. Bahan Kimia

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel air sumur yang di ambil dari Perumahan warga RW III Kelurahan Kampuang Jua Nan XX, Kecamatan Lubuk Begalung, kota Padang, zeolit klinoptilolit ($\text{Na}_4\text{K}_4(\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96})\cdot 24\text{H}_2\text{O}$) yang diambil dari daerah Lubuk Selasih, Kabupaten Solok, HCl 37% (Merck), Besi (III) Nitrat-9-Hidrat [$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3\cdot 9\text{H}_2\text{O}$] (Merck), dan akuades (H_2O).

2.2. Peralatan

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah ayakan dengan ukuran 36 μm (Sieve), *magnetic stirrer* (Thermo), oven (Mettler), spatula, timbangan analitik (Shimadzu), pH meter (ATC), pH universal, kertas saring Whatman No.42, labu ukur, gelas ukur, erlenmeyer,

buret, petridis, pipet takar, kaca arloji, XRF (PANanalytical Epsilon 3) dan spektroskopi serapan atom (SSA) (SpectrAA AA240).

2.3. Prosedur

2.3.1. Pembuatan Kurva Kalibrasi Standar

Larutan standar Fe variasi konsentrasi (0, 2, 4, 6, 8, 10) mg/L diukur adsorban dengan menggunakan SSA pada Panjang gelombang 248,3 nm, kemudian dari hasil absorban yang didapatkan dibuat kurva kalibrasi standar.

2.3.2. Persiapan adsorben

Zeolit dibersihkan dari pengotor, dihaluskan, dan dikering anginkan. Selanjutnya zeolit digerus sampai halus kemudian diayak menggunakan ayakan 36 μm .

2.3.3. Aktivasi Zeolit

Sebanyak 700 g zeolit 36 μm dimasukkan ke dalam gelas piala 500 mL kemudian ditambahkan 500 mL HCl 0,2 M, lalu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Kemudian setelah 30 menit pH diukur lalu dibilas dengan akuades sampai pH netral. Setelah pH netral zeolit disaring dan dioven dengan suhu 105°C sampai berat dari zeolit menjadi konstan.

2.3.4. Penentuan Konsentrasi Logam Fe pada Air Sumur

Sampel diambil sebanyak 20 mL, lalu dimasukkan ke dalam 5 petridis. Kemudian dimasukkan massa adsorben dengan variasi (0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5) g. Selanjutnya didiamkan selama 15 menit. Setelah itu disaring menggunakan kertas saring dan diambil filtratnya, diukur absorban dengan menggunakan SSA pada panjang gelombang 248,3 nm. Setelah didapatkan massa adsorben optimal sebesar 0,1 g dilakukan perlakuan yang sama akan tetapi dengan variasi volume (20, 40, 60, 80, 100) mL. Setelah didapatkan volume sampel optimal sebesar 45 mL dilakukan perlakuan yang sama akan tetapi didiamkan selama variasi waktu (15, 30, 45, 60, 75) menit. Setelah didapatkan waktu kontak optimal sebesar 75 menit dilakukan perlakuan yang sama dengan variasi waktu kontak yang sama akan tetapi diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan pengadukan 200 rpm.

2.3.5. Penentuan Nilai BOD, COD, dan TSS pada Air Sumur Sebelum dan Sesudah Dilakukannya Penyerapan

2.3.5.1. Penentuan Nilai BOD Berdasarkan Nilai dari DO₀-DO₅ (SNI 6989.72:2009)

Sebanyak 500 mL sampel dimasukkan ke dalam erlenmeyer, lalu ditambahkan larutan nutrisi CaCl₂·2H₂O, FeCl₃·6H₂O, MgSO₄·6H₂O masing-masing sebanyak 1 mL, dan larutan buffer fosfat sebanyak 1 mL. Kemudian diaerasi selama 10 menit, selanjutnya larutan uji tersebut disalin ke dalam 3 buah botol Winkler (1 buah untuk DO₀ dan dua buah untuk DO₅).

1) Prosedur penentuan DO₀:

Untuk penentuan DO₀, maka pada botol Winkler DO₀ ditambahkan larutan MnSO₄ 2,1517 M sebanyak 1 mL dan alkali-iodida-azida sebanyak 1 mL, kemudian diinkubasi selama 10 menit pada suhu 20 ± 1°C. Selanjutnya ditambahkan H₂SO₄ pekat sebanyak 1 mL, lalu botol tersebut ditutup dan larutan uji dihomogenkan. Larutan uji pada botol Winkler DO_{0hari} disalin ke dalam erlenmeyer dan dititrasi (volume larutan yang dititrasi sesuai dengan volume botol Winkler yang digunakan) dengan Na₂S₂O₃ 0,01 N sampai terjadi perubahan warna larutan dari coklat kekuningan menjadi kuning muda, lalu ditambahkan indikator amilum sampai warna biru tua dan titrasi dilanjutkan sampai larutan tepat bening.

2) Prosedur penentuan DO₅:

Larutan uji pada botol Winkler DO₅ diinkubasi selama 5 hari, setelah itu dilakukan pengerjaan yang sama seperti penentuan DO₀ dan dititrasi (volume larutan yang dititrasi sesuai dengan volume botol Winkler yang digunakan) dengan cara yang sama pada penentuan DO₀. Kadar oksigen terlarut dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Kadar O}_2 \text{ (mg/L)} = \frac{(\text{mL} \times \text{N})_{\text{pentiter}} \times 8 \times 1000}{\text{mL sampel} - 2}$$

Kemudian untuk penentuan nilai BOD dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{BOD} = \text{DO}_0 - \text{DO}_5$$

2.3.5.2. Penentuan Nilai COD (SNI 6989.2:2009)

a) Pembuatan Kurva Kalibrasi

Larutan Baku COD (Kalium Hidrogen Phtalate/KHP) 500 mg O₂/L dipipet masing-masing (0, 4, 2, 1, 1,3; 0,8) mL. Diencerkan dengan akuades ke dalam labu ukur 50 mL sehingga didapatkan variasi konsentrasi (0, 5, 10, 15, 20, 25) mg/L. Kemudian larutan baku COD (KHP) dengan variasi konsentrasi (0, 5, 10, 15, 20, 25) mg/L di

pipet 7,5 mL dan dimasukkan kedalam tabung reagen COD 16 x 100 mm. Lalu dipanaskan pada reaktor COD dengan suhu 150°C selama 2 jam. Setelah proses pemanasan selama 2 jam, tabung reagen COD tersebut dikeluarkan dari reaktor COD dan didinginkan sampai suhu ruangan selama 35 menit. Kemudian diukur absorbansi pada panjang gelombang 420 nm menggunakan spektrofotometer sinar tampak. Nilai absorbansi yang diperoleh tersebut dikonversi ke konsentrasi COD (mg/L).

b) Prosedur Pengukuran COD

Sampel uji, larutan standar (K₂Cr₂O₇ 0,00694 M), H₂SO₄ di pipet masing-masing (2,5; 1,5; 3,5) mL ke dalam tabung reagen COD 16 x 100 mm. Lalu dipanaskan pada COD reaktor dengan suhu 150°C selama 2 jam. Setelah proses pemanasan selama 2 jam, tabung reagen COD tersebut dikeluarkan dari COD reactor dan didinginkan sampai suhu ruangan selama 35 menit. Kemudian diukur adsorban pada panjang gelombang 420 nm menggunakan spektrofotometer sinar tampak. Nilai absorbansi yang diperoleh tersebut dikonversi ke konsentrasi COD (mg/L).

2.3.5.3. Prosedur penentuan nilai TSS (SNI 6989.3-2004)

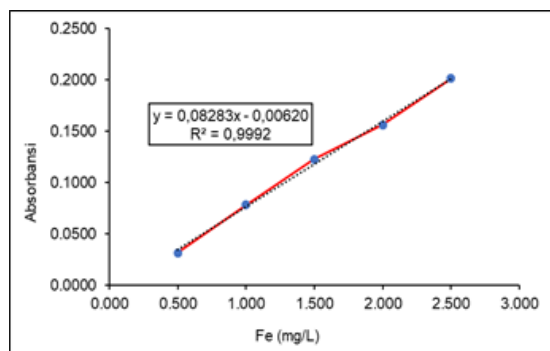
Sampel dihomogenkan kemudian disaring dengan kertas saring yang telah ditimbang. Residu yang tertahan pada saringan dikeringkan sampai mencapai berat konstan pada suhu 103°C sampai dengan 105°C. Kenaikan berat saringan mewakili padatan tersuspensi total (TSS). Untuk memperoleh estimasi TSS, dihitung perbedaan antara padatan terlarut total dan padatan total.

2.3.6. Karakterisasi zeolit sebelum, dan sesudah penyerapan menggunakan XRF

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Kurva Kalibrasi Larutan Standar Fe

Kurva kalibrasi ini bertujuan untuk menentukan konsentrasi Fe yang terdapat di dalam limbah sampel melalui persamaan regresi yang dihasilkan. Larutan Fe yang digunakan yaitu dengan konsentrasi 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; mg/L. Kemudian Diukur pada SSA pada panjang gelombang 248,3 nm.



Gambar 1. Kurva kalibrasi larutan standar Fe

Gambar 1 menunjukkan grafik kurva kalibrasi pada Konsentrasi larutan standar Fe berbanding lurus dengan absorbansi. Semakin tinggi konsentrasi maka semakin tinggi absorbansi. Dari persamaan garis regresi linier hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi larutan standar sebagai berikut: $y = 0,08283x - 0,00620$ dimana y adalah nilai absorbansi dan x adalah konsentrasi larutan standar Fe di dalam air. Nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,9992. Hasil ini menunjukkan bahwa antara konsentrasi Fe dan absorbansi berkorelasi positif dan korelasinya erat dengan nilai $R^2 = 0,9992$, yang berarti kurva kalibrasi tersebut mempunyai keakuratan 99,92%. Kurva kalibrasi yang dihasilkan baik karena (R^2) berada pada kisaran $0,9 \leq R^2 \leq 1$, serta konsentrasi dan absorbansi berada dalam satu garis linearitas^[12].

3.2. Analisis Air Sumur Perumahan Warga RW III Kelurahan Kampuang Jua Nan XX Sebelum Adsorpsi

Sampel air yang digunakan pada penelitian ini adalah air sumur yang di ambil dari perumahan warga RW III Kelurahan Kampuang Jua Nan XX. Sampel air sebelum dikontakkan dengan adsorben menggunakan metoda *batch*. Untuk menentukan konsentrasi Fe, nilai COD, BOD dan TSS. Analisis air yang dilakukan mengacu pada baku mutu air yang telah ditetapkan oleh PerMenKes RI No.492/MENKES/Per/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum, Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air, PerMenKes RI No. 2 tahun 2023 tentang kesehatan lingkungan, PerMenKes RI No. 32 tahun 2017 tentang standar baku mutu kesehatan lingkungan dan persyaratan kesehatan air untuk keperluan *hygiene* sanitasi, kolam renang, Solus Pers Aqua, dan pemandian umum. Pada Tabel 1 dapat dilihat konsentrasi Fe, nilai COD, BOD dan TSS sebelum diadsorpsi dan standar baku mutu air.

Tabel 1. Hasil analisa air sumur awal dan standar baku mutu air minum

Parameter	Satuan	Air sumur	Standar baku mutu	Standar metoda
BOD	mg/L	2,1	< 2**	SNI 6989.72:2009
COD	mg/L	11,6	< 10**	SNI 6989.2:2009
TSS	mg/L	7,0	< 50*	SNI 06-6989.3-2004
Fe	mg/L	2,06	< 0,2***	SNI 06-6989.4-2004

*PerMenkes No.492 Tahun 2010

**PP No.82 Tahun 2001

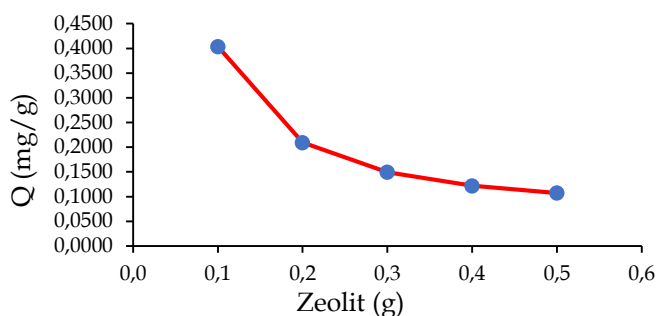
*** PerMenkes No.2 Tahun 2023

Berdasarkan Tabel 1 hasil analisis air sumur awal nilai TSS berada di bawah standar baku mutu yaitu sebesar 7,0 mg/L. Hal tersebut menunjukkan bahwa nilai TSS air sumur sesuai dengan baku mutu air PerMenkes No.492 Tahun. Hasil analisis untuk konsentrasi Fe, nilai BOD dan COD pada air sungai didapatkan nilai berturut-turut sebesar 2,06; 2,1 dan 11,6 mg/L. Nilai tersebut melewati batas standar baku mutu air PerMenkes No. 2 Tahun 2023 dan PP No.82 Tahun 2001. Konsentrasi Fe yang tinggi dalam air sumur menyebabkan pengendapan, warna dan noda pada distribusi sistem jaringan air berupa Fe(II) dan Fe(III), menyebabkan kekeruhan tinggi dan penyumbatan pada pipa. Kondisi tersebut dapat memberikan rasa logam pada air. Besi menyebabkan neurotoksisitas dan paparan jangka panjang dengan konsentrasi tinggi dapat menyebabkan penyakit sistem saraf dengan gejala seperti penyakit Parkinson^[13]. Nilai BOD yang tinggi mengindikasikan bahwa kadar oksigen terlarut dalam air yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam air untuk mendekomposisi senyawa organik dalam kondisi aerobik sangat tinggi^[14]. Pada nilai COD didapatkan hasil yang melewati batas baku mutu air yaitu sebesar 11,6 mg/L dibandingkan dengan baku mutu air yang diperbolehkan hanya <10 mg/L. Nilai COD yang tinggi mengindikasikan bahwa kadar oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air begitu tinggi^[14].

Berdasarkan hasil konsentrasi Fe, nilai BOD dan COD yang melewati batas baku mutu air menandakan bahwa air sumur tersebut tidak layak untuk digunakan untuk kebutuhan hidup sehari-hari. Oleh karena itu pada penelitian ini dibutuhkan penjernihan pada air sumur tersebut dengan menggunakan metoda adsorpsi dan zeolit sebagai adsorben agar layak digunakan untuk kebutuhan hidup sehari-hari.

3.3. Pengaruh Massa Adsorben terhadap Kapasitas Adsorpsi Logam Fe pada Air Sumur

Massa adsorben merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi proses adsorpsi Fe dalam larutan. Hal ini disebabkan karena massa adsorben menyatakan jumlah partikel adsorben yang dapat menyerap logam Fe pada konsentrasi tertentu. Penentuan massa optimum zeolit untuk adsorpsi Fe dilakukan dengan variasi yaitu 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5 g. Penentuan massa optimum ini dilakukan pada kondisi yang belum optimum yaitu pada volume sampel sebesar 20 mL dan didiamkan selama 15 menit. Pengaruh massa adsorben terhadap kapasitas adsorpsi logam Fe Gambar 2.



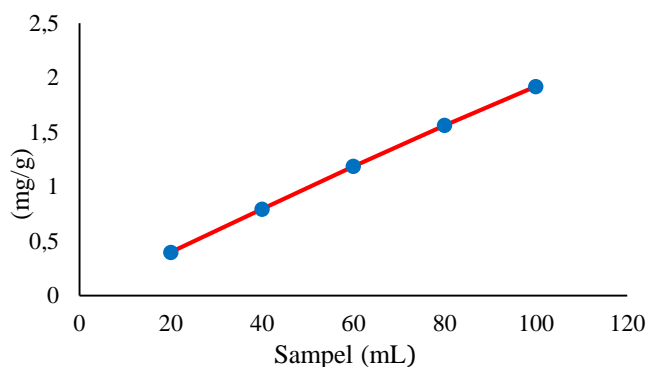
Gambar 2. Pengaruh massa adsorben terhadap kapasitas adsorpsi logam Fe

Nilai kapasitas adsorpsi yang ditunjukkan oleh Gambar 2 didapat dari hasil pengurangan konsentrasi awal logam Fe di dalam larutan dan konsentrasi akhir logam Fe setelah adsorpsi di dalam larutan yang kemudian di kali dengan total volume larutan dan dibagi dengan massa adsorben yang digunakan (konsentrasi awal - konsentrasi akhir)/massa adsorben. Gambar 2 menunjukkan semakin besar massa adsorben ditambahkan, maka konsentrasi ion logam yang terserap akan semakin kecil. Pada penelitian ini diambil batas minimum massa adsorbennya sebesar 0,1 g dan massa adsorben maksimum sebesar 0,5 g. Pengaruh massa adsorben berbanding terbalik dengan nilai kapasitas penyerapan logam dapat kita lihat pada Gambar 2 bahwa kapasitas penyerapan terbesar adalah pada massa adsorben 0,1000 g, kapasitas penyerapan 0,3758 mg/g, sedangkan massa adsorben 0,5 g kapasitas penyerapan paling rendah yaitu 0,0734 mg/g ini disebabkan karena pada massa adsorben 0,1000 g kapasitas penyerapan sudah mencapai mendekati 100% dengan kata lain larutan sudah terserap sempurna namun semakin besar massa adsorben tingkat kejenuhan larutan hasil serapan semakin besar sehingga larutan menjadi keruh yang mengakibatkan adsorben larutan menjadi besar sehingga

konsentrasi seolah menjadi rendah^[15]. Semakin kecil massa adsorben maka kapasitas penyerapan semakin besar. Pada saat massa adsorben kecil, jumlah ion yang teradsorpsi per satuan berat adsorben tinggi karena ion yang didistribusikan ke sisi aktif adsorben lebih besar. Kapasitas adsorpsi berkurang dengan meningkatnya massa adsorben. Menurut Demirbas et al. (2004), jika massa adsorben semakin besar, waktu kontak yang diperlukan untuk mencapai kesetimbangan juga semakin lama, sehingga kapasitas adsorpsinya semakin kecil. Penelitian yang sama juga telah dilakukan oleh Adrian et al. (2015), Nasution et al. (2015) dan Nengsih et al. (2015) yang mempelajari bahwa semakin besar massa adsorben maka kapasitas adsorpsi semakin berkurang^[16].

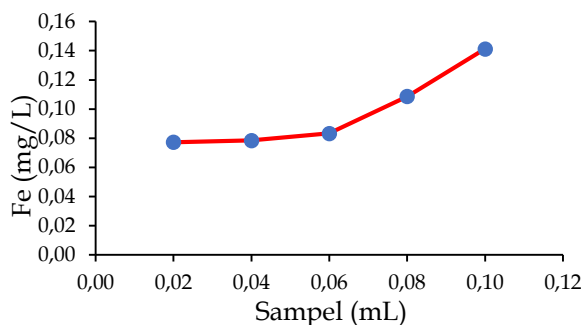
3.4. Pengaruh Volume Sampel (Air Sumur) terhadap Kapasitas Adsorpsi Logam Fe

Pada penelitian ini dilakukan variasi volume yang bertujuan untuk melihat sejauh mana larutan logam yang dibutuhkan dapat terserap oleh adsorben. Penentuan volume optimum ini dilakukan pada massa optimum yang didapatkan pada penyerapan sebelumnya yaitu 0,1 g dengan variasi volume yaitu 20, 40, 60, 80 dan 100 mL dan didiamkan selama 15 menit. Hasil penyerapan ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh volume sampel terhadap kapasitas adsorpsi logam Fe

Pengaruh volume larutan terjadi pada volume 20 mL sampai 100 mL. Dimana kapasitas penyerapan berkisar antara 0,3965 mg/g sampai 1,9184 mg/g, yang menunjukkan terus meningkatnya nilai kapasitas adsorpsi yang didapatkan, hal ini dikarenakan semakin besar volume sampel mengakibatkan semakin tingginya konsentrasi dari logam Fe yang mengakibatkan semakin sering terjadinya proses adsorpsi dan nilai kapasitas adsorpsi akan semakin tinggi^[15].

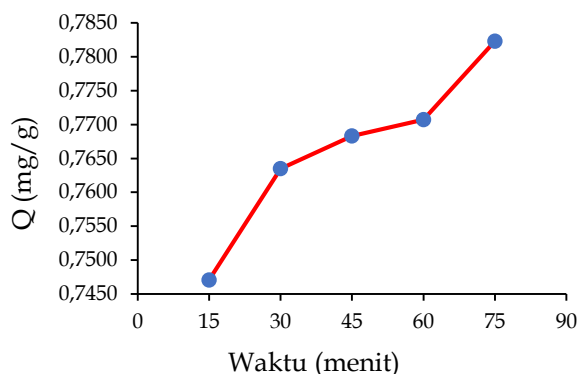


Gambar 4. Pengaruh volume sampel terhadap konsentrasi logam Fe

Namun dapat dilihat pada Gambar 4. bahwa konsentrasi logam Fe yang tersisa pada air sumur semakin meningkat mulai di volume 40 mL yaitu 0,0785 mg/L sampai volume 100 mL 0,1413 mg/L. Hal ini disebabkan karena sebagian dari logam Fe tidak terserap karena adsorben sudah mencapai titik jenuh dan tidak bisa lagi melakukan penyerapan^[15].

3.5. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Kapasitas Adsorpsi Logam Fe pada Air Sumur

Pada proses adsorpsi, waktu kontak sangat mempengaruhi nilai efisiensi penyerapan logam oleh adsorben. Apabila waktu kontak cukup lama akan memungkinkan terjadinya proses pertukaran ion dalam kerangka zeolit sehingga nilai kapasitas penyerapannya semakin besar^[15]. Perlakuan dengan variasi waktu kontak ditentukan untuk melihat berapa lama waktu yang dibutuhkan dalam proses adsorpsi dalam mencapai kapasitas adsorpsi maksimum^[17]. Variasi waktu yang digunakan adalah 15, 30, 45, 60 dan 75 menit. Penentuan waktu optimum dilakukan dengan massa zeolit optimum 0,1 g dengan volume optimum 40 mL Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi logam Fe dapat dilihat pada Gambar 5.

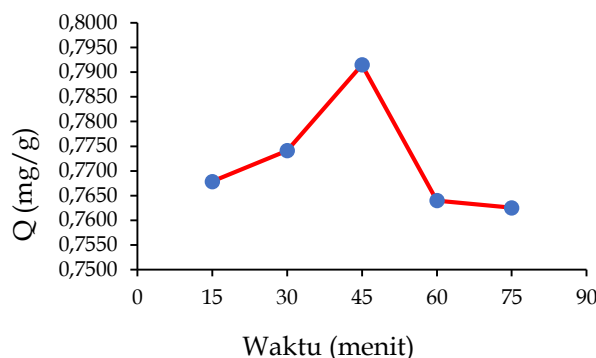


Gambar 5. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi logam Fe

Semakin lama waktu kontak, maka semakin besar nilai kapasitas penyerapan yang didapatkan. Karena semakin banyak ion logam yang terikat oleh adsorben. Dan ikatan antara ion logam dengan adsorben akan lepas jika sudah berada pada titik jenuh sehingga ion logam yang semulanya terikat dengan adsorben akan terlepas^[15]. Pada Gambar 5 dapat dilihat belum tercapainya titik jenuh dan kapasitas adsorpsi terus naik mulai dari waktu 15 menit yaitu 0,7471 mg/g sampai waktu 75 menit yaitu 0,7823 mg/g maka dari itu diambil waktu kontak 75 menit sebagai waktu optimum karena memiliki kapasitas adsorpsi paling besar yaitu 0,7471 mg/g.

3.6. Pengaruh Waktu Pengadukan terhadap Kapasitas Adsorpsi Logam Fe pada Air Sumur

Pengaruh waktu pengadukan dipelajari dengan variasi waktu pengadukan 15, 30, 45, 60 dan 75 menit dengan kecepatan pengadukan 200 rpm dan menggunakan parameter optimum sebelumnya yaitu pada massa 0,1 g dan volume 40 mL Pengaruh waktu pengadukan terhadap kapasitas adsorpsi logam Fe dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh waktu pengadukan dengan kecepatan 200 rpm kapasitas adsorpsi zeolit terhadap logam Fe

Gambar 6 menunjukkan bahwa waktu kontak optimum diperoleh pada waktu 45 dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 0,7915 mg/g. Nilai kapasitas adsorpsi terus meningkat hingga menit ke 45. Setelah mencapai waktu pengadukan adsorpsi maksimum ini, kapasitas adsorpsi menurun. Hal ini disebabkan oleh jumlah adsorben yang berikatan dengan adsorbat sudah dalam keadaan jenuhnya, sehingga apabila ditambahkan waktu pengadukan adsorpsi yang berlebih akan menyebabkan terjadinya proses desorpsi atau pelepasan kembali adsorben dari adsorbat^[16]. Pada awalnya serapan ion logam oleh permukaan adsorben akan lebih cepat, dan kemudian melambat sebagai akibat persaingan untuk mengu-

rangi ketersediaan sisi aktif yang diperkuat oleh ion logam yang tersisa dalam larutan^[16].

3.7. Analisis Air Sumur Perumahan Warga RW III Kelurahan Kampuang Jua Nan XX Sesudah Adsorpsi terhadap Nilai COD, BOD dan TSS

Proses penjernihan air sumur yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan adsorben zeolit yang diaktivasi dengan HCl dan diadsorpsi menggunakan sistem batch dengan parameter adsorpsi optimum dari hasil penelitian sebelumnya yaitu pada massa 0,1 g, volume 40 mL, lama waktu pengadukan 45 menit dan kecepatan pengadukan 200 rpm. Hasil analisis air yang telah diadsorpsi dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil analisis air sumur sebelum dan sesudah

Parameter	Satuan	Sebelum adsorpsi	Setelah adsorpsi	Standar baku mutu	Standar metoda
BOD	mg/L	2,1	<1,0 ^a	< 2 ^{**}	SNI 6989.72:2009
COD	mg/L	11,6	3,7	< 10 ^{**}	SNI 6989.2:2009
TSS	mg/L	7	< 2,5 ^a	< 50 [*]	SNI 06-6989.3-2004

Adsorpsi dan Standar Baku Mutu Air

* PerMenkes No.492 Tahun 2010

** PP No.82 Tahun 2001

C^a Batas Deteksi Metode

3.8. Analisis Penurunan Nilai BOD pada Air Sumur Sesudah Adsorpsi

BOD adalah suatu analisis empiris yang mencoba mendekati secara global proses mikrobiologis yang benar-benar terjadi dalam air. Semakin besar nilai BOD, maka kandungan bahan organik dalam air akan bertambah dan menyebabkan derajat pengotoran air semakin besar^[18]. Kandungan BOD pada sampel air sumur sebelum diadsorpsi adalah sebesar 2,1 mg/L. Nilai tersebut melewati batas standar baku mutu air PP No.82 Tahun 2001. Hal ini menunjukkan bahwa oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk mendegradasi senyawa organik di dalam air tersebut cukup tinggi^[19]. Besarnya nilai BOD pada air sumur tersebut maka perlu diadsorpsi untuk memperkecil kandungan BOD dalam air dan didapatkan data hasil analisis BOD air sumur setelah diadsorpsi. Penurunan nilai BOD dapat dilihat pada Tabel 2 yaitu nilai BOD menurun dari sebelum diadsorpsi sebesar 2,1 mg/L menjadi < 1 mg/L sesudah diadsorpsi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa situs aktif pada adsorben mampu mengadsorpsi senyawa organik di dalam air^[14]. Hasil data analisis tersebut menunjukkan bahwa nilai BOD air sumur setelah ad-

sorpsi telah sesuai dengan standar baku mutu air PP No.82 Tahun 2001.

3.9. Analisis Penurunan Nilai COD pada Air Sumur Sesudah Adsorpsi

Nilai COD biasanya lebih tinggi daripada nilai BOD karena lebih banyak bahan organik yang dapat dioksidasi secara kimia dibandingkan oksidasi biologi. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh bahan organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalamnya. Oleh sebab itu, karena bahan organik yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme akan ikut teroksidasi pada uji COD, menyebabkan nilai COD menjadi lebih besar daripada nilai BOD^[18].

Hasil data analisis nilai COD air sumur sebelum adsorpsi pada Tabel 2 adalah 11,6 mg/L. Nilai COD tersebut sudah melewati ambang batas standar baku mutu air PP No.82 Tahun 2001 sebesar 10 mg/L. Tingginya nilai COD dari air sumur menunjukkan bahwa banyak senyawa organik yang tidak mampu dioksidasi oleh oksigen terlarut dalam air. Sehingga diperlukan metode adsorpsi untuk menurunkan nilai COD yang tinggi dalam air. Didapatkan data hasil analisis COD air sumur setelah diadsorpsi. Penurunan nilai COD dapat dilihat pada Tabel 2 yaitu nilai COD menurun dari sebelum diadsorpsi sebesar 11,6 mg/L menjadi 3,7 mg/L sesudah diadsorpsi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa efisiensi penurunan dari nilai COD adalah 68% dan menunjukkan bahwa situs aktif pada adsorben mampu mengadsorpsi senyawa organik di dalam air^[14]. Hasil data analisis tersebut menunjukkan bahwa nilai COD air sumur setelah adsorpsi telah sesuai dengan standar baku mutu air PP No.82 Tahun 2001.

3.10. Analisis Penurunan Nilai TSS pada Air Sumur Sesudah Adsorpsi.

Dari data analisis nilai TSS setelah adsorpsi pada Tabel 2 diperoleh penurunan nilai TSS dengan efisiensi penurunan sebesar 66%. Adsorben yang digunakan dapat menurunkan kadar TSS dari 7 mg/L menjadi < 2,5 mg/L. Penurunan nilai TSS dapat diketahui langsung dengan jernihnya air sumur setelah diadsorpsi. Terjadinya penurunan nilai TSS dikarenakan adsorben memiliki kemampuan *ion exchange*, pori besar dan sisi permukaan aktif sehingga mampu menyerap partikulat, logam berat, senyawa organik atau anorganik dan materi tersuspensi dalam air^[20]. Nilai TSS juga dikaitkan dengan warna pada air, besarnya nilai TSS akan

mempengaruhi warna dari air. Hasil data analisis tersebut menunjukkan bahwa walaupun nilai TSS air sumur sebelum dan setelah adsorpsi telah sesuai dengan standar baku mutu air PerMenkes No.492 Tahun 2010 tetapi proses adsorpsi tetap terjadi dan nilai TSS mengalami penurunan nilai yang tinggi.

3.11. Hasil Analisis Adsorben dengan X-Ray Fluorescence (XRF)

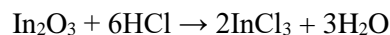
Sebelum dilakukannya analisis komposisi zeolit dengan XRF zeolit terlebih dahulu di haluskan sampai ukuran zeolit menjadi 36 μm . Dilakukan penghalusan zeolit karena mempengaruhi kemampuan adsorpsi dari zeolit yaitu semakin kecil ukuran partikel zeolit maka semakin besar luas permukaan yang tersedia untuk interaksi dengan zat yang akan diadsorpsi. Luas permukaan yang lebih besar memungkinkan kontak yang lebih baik antara zeolit dan zat yang akan diadsorpsi, sehingga meningkatkan kemampuan adsorpsi^[21].

Tabel 3. Hasil analisis zeolit sebelum dan sesudah aktivasi dengan XRF

No	Zeolit Sebelum Aktivasi		Zeolit Sesudah Aktivasi	
	Unsur (%)	Oksida (%)	Unsur (%)	Oksida (%)
1	Al 6,746	Al ₂ O ₃ 8,163	Al 6,444	Al ₂ O ₃ 7,8
2	Si 63,201	SiO ₂ 74,497	Si 65,544	SiO ₂ 76,332
3	P 3,064	P ₂ O ₅ 3,145	P 3,05	P ₂ O ₅ 3,053
4	K 8,717	K ₂ O 4,333	K 8,432	K ₂ O 4,299
5	Ca 11,3	CaO 6,242	Ca 11,029	CaO 5,953
6	Ti 0,579	TiO ₂ 0,357	Ti 0,443	TiO ₂ 0,266
7	Mn 0,014	MnO 0,007	Mn 0,007	MnO 0,003
8	Fe 4,8	Fe ₂ O ₃ 2,462	Fe 3,352	Fe ₂ O ₃ 1,681
9	Zn 0,049	ZnO 0,021	Zn 0,024	ZnO 0,01
10	Ga 0,009	Ga ₂ O ₃ 0,004	Ga 0,008	Ga ₂ O ₃ 0,004
11	Rb 0,064	Rb ₂ O 0,024	Rb 0,059	Rb ₂ O 0,022
12	Sr 0,24	SrO 0,096	Sr 0,207	SrO 0,082
13	Y 0,011	Y ₂ O ₃ 0,005	Y 0,011	Y ₂ O ₃ 0,004
14	Zr 0,113	ZrO ₂ 0,052	Zr 0,092	ZrO ₂ 0,042
15	Ag 0,677	Ag ₂ O 0,311	Ag 0,629	Ag ₂ O 0,281
16	In 0,34	In ₂ O ₃ 0,168	In 0	In ₂ O ₃ 0
17	Ba 0,338	BaO 0,139	Ba 0,317	BaO 0,127
18	Eu 0,019	Eu ₂ O ₃ 0,008	Eu 0,017	Eu ₂ O ₃ 0,007
19	Ir 0,003	IrO ₂ 0,001	Ir 0	IrO ₂ 0

Zeolit kemudian diaktivasi dengan HCl 0,2 M yang mana aktivasi zeolit dilakukan untuk menghilangkan oksida-oksida logam pengotor yang ada pada zeolit yang mana oksida logam pada zeolit akan tergantikan oleh H⁺ dari HCl serta menata kembali posisi atom yang dapat dipertukarkan. Zeolit setelah itu dicuci dan dilakukan pemanasan pada suhu 105°C yang bertujuan agar seluruh kandungan air di dalam pori-pori zeolit dapat teruapkan, sehingga dapat meningkatkan luas permukaan dari zeolit^[22]. Berdasarkan data XRF pada Tabel 3 didominasi oleh SiO₂ (74,497%) dan Al₂O₃

(8,163%). Setelah diaktivasi terjadi perubahan dimana komposisi oksida-oksida logam pada zeolit mengalami penurunan yang dikarenakan terjadinya reaksi asam-basa antara oksida logam dengan asam^[15]. Contohnya adalah reaksi antara oksida indium (In₂O₃) dengan asam klorida (HCl) yang menghasilkan garam Indium(III) klorida (InCl₃) terbentuk dalam larutan dan air (H₂O):



3.12. Hasil Analisis Adsorben Sebelum dan Sesudah Adsorpsi dengan X-Ray Fluorescence (XRF).

Analisis XRF pada penelitian ini dilakukan untuk melihat komposisi unsur dan oksida logam dari adsorben zeolit, sebelum dan setelah diadsorpsi. Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa komposisi unsur logam Si sebesar 65,544% dan Al sebesar 6,444% dari zeolit menandakan zeolit yang didapatkan bisa digunakan sebagai adsorben.

Tabel 4. Hasil analisis adsorben sebelum dan sesudah adsorpsi dengan XRF

No	Zeolit Sebelum Adsorpsi		Zeolit Sesudah Adsorpsi	
	Unsur (%)	Oksida (%)	Unsur (%)	Oksida (%)
1	Al 6,444	Al ₂ O ₃ 7,8	Al 6,389	Al ₂ O ₃ 7,761
2	Si 65,544	SiO ₂ 76,332	Si 53,189	SiO ₂ 75,509
3	P 3,05	P ₂ O ₅ 3,053	P 3,891	P ₂ O ₅ 2,944
4	K 8,432	K ₂ O 4,299	K 9,276	K ₂ O 4,685
5	Ca 11,029	CaO 5,953	Ca 11,594	CaO 6,31
6	Ti 0,443	TiO ₂ 0,266	Ti 0,602	TiO ₂ 0,244
7	Mn 0,007	MnO 0,003	Mn 0,074	MnO 0,034
8	Fe 3,352	Fe ₂ O ₃ 1,681	Fe 11,464	Fe ₂ O ₃ 1,757
9	Zn 0,024	ZnO 0,01	Zn 0,026	ZnO 0,011
10	Ga 0,008	Ga ₂ O ₃ 0,004	Ga 0,008	Ga ₂ O ₃ 0,003
11	As 0	As ₂ O ₃ 0	As 0,003	As ₂ O ₃ 0,001
12	Rb 0,059	Rb ₂ O 0,022	Rb 0,062	Rb ₂ O 0,023
13	Sr 0,207	SrO 0,082	Sr 0,214	SrO 0,086
14	Y 0,011	Y ₂ O ₃ 0,004	Y 0,011	Y ₂ O ₃ 0,005
15	Zr 0,092	ZrO ₂ 0,042	Zr 0,093	ZrO ₂ 0,041
16	Ag 0,629	Ag ₂ O 0,281	Ag 0,667	Ag ₂ O 0,304
17	In 0	In ₂ O ₃ 0	In 0,307	In ₂ O ₃ 0,148
18	Ba 0,317	BaO 0,127	Ba 0,310	BaO 0,125
19	Eu 0,017	Eu ₂ O ₃ 0,007	Eu 0,020	Eu ₂ O ₃ 0,009
20	Ir 0	IrO ₂ 0	Ir 0,001	IrO ₂ 0
21	Pb 0	PbO 0	Pb 0,002	PbO 0,001

Berdasarkan hasil karakterisasi, terjadi perubahan konsentrasi dari komposisi kimia adsorben sebelum dan sesudah adsorpsi. Pada Tabel 4 terlihat terjadi perubahan yang menonjol pada komposisi logam zeolit setelah adsorpsi. Perubahan tersebut terdapat pada hampir keseluruhan dari komposisi zeolit. Komposisi dari Si berkurang menjadi 53,189 % dan Al menjadi 6,389%. Sedangkan komposisi dari Fe meningkat menjadi 11,464%. Hal tersebut menunjukkan bahwa menurunnya komposisi Si pada zeolit dikarenakan Si pada zeolit bertindak sebagai *ion exchange* yang ditukar dengan logam berat. Dapat dilihat juga setelah dilakukan adsorpsi terjadi perubahan komposisi pada ham-

pir seluruh logam dan yang paling tinggi perubahannya adalah logam Fe yaitu berubah menjadi 10 kali lebih banyak dari sebelumnya yang menunjukkan bahwa terjadinya ikatan antara logam Fe dengan adsorben. Perubahan komposisi pada Si dan Al menunjukkan bahwa silika dan alumina telah menyerap polutan yang ada di dalam air^[23]. Seperti logam berat dan unsur lainnya sehingga terjadinya perubahan komposisi yang menandakan adanya adsorbat yang telah diserap oleh adsorben.

4. Kesimpulan

Penelitian menunjukkan zeolit teraktivasi dengan parameter optimum: massa zeolit 0,1 g, kapasitas adsorpsi 0,38 mg/L, volume sampel 40 mL, konsentrasi Fe tersisa 0,08 mg/L. Waktu kontak optimum: tanpa pengadukan 75 menit (kapasitas 0,78 mg/L), dengan pengadukan 200 rpm 45 menit (kapasitas 0,79 mg/L) mampu menurunkan konsentrasi Fe sebesar 95,7% dari 2,1 mg/L menjadi 0,088 mg/L; juga menurunkan nilai COD, BOD, TSS sebesar 57,1%, 63,9%, 67,5%. Karakterisasi zeolit setelah penyerapannya XRF menunjukkan kandungan Si dan Al yang menurun, serta bertambahnya kandungan logam Fe yaitu dari 1,4% menjadi 11,5%.

Konflik Kepentingan

Tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] Mubarak MF, Mohamed AMG, Keshawy M, elMoghny TA, Shehata N. Adsorption of heavy metals and hardness ions from groundwater onto modified zeolite: Batch and column studies. *Alexandria Engineering Journal*. 2022;61(6):4189-4207
- [2] Inglezakis VJ, Doula MK, Aggelatou V, Zorpas AA. Removal of iron and manganese from underground water by use of natural minerals in batch mode treatment. *Desalination Water Treat*. 2010;341-346:18(1-3)
- [3] Yudo S. Kondisi Kualitas Air Sungai Ciliwung di Wilayah DKI Jakarta Ditinjau Dari Parameter Organik, Amoniak, Fosfat, Deterjen Dan Bakteri Coli. *Jurnal Abdimas Indonesia*. 2010;6(1):34-42
- [4] El-Sayed El-dardeer M, Abdel Halim Mohamed A, Abdel Rahman Mohamed A, Mohamed Safwat Abdelazim H. Effect of Alum Coagulation on Iron Removal in Aerated Groundwater Using Rapid Sand Filters. *Journal of Engineering Sciences*. 2016;44(6):690-702
- [5] Cai Y, Li D, Liang Y, Luo Y, Zeng H, Zhang J. Effective start-up biofiltration method for Fe, Mn, and ammonia removal and bacterial community analysis. *Bioresour Technol*. 2015;176:149-155
- [6] El-Naggar IM, Ahmed SA, Shehata N. Effective Solutions of Hardness by Using Adsorption Technique on Kaolinite Semctite Adsorbent from Aqueous Solution. Vol 16.; 2018
- [7] Egirani DE, Naggar M, Shehata N. Optimization Of Cobalt Content Management In Wastewater Using Wasif And Bayda Clay Composites. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*. 2020
- [8] Ahmad M. Iron and Manganese Removal from Groundwater Geochemical Modeling of the Vyredox Method. University of Oslo. 2012
- [9] Erdem E, Karapinar N, Donat R. The removal of heavy metal cations by natural zeolites. *J Colloid Interface Sci*. 2004;280(2):309-314
- [10] Lin L, Lei Z, Wang L. Adsorption Mechanisms of High-Levels of Ammonium on to Natural and NaCl-modified Zeolites. *Sep Purif Technol*. 2013;103:15-20
- [11] Awuah JB, Dzade NY, Tia R, et al. A Density Functional Theory Study of Arsenic Immobilization by The Al(III)-Modified Zeolite Clinoptilolite. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2016;18(16):11297-11305
- [12] Bagaskara P, Sugiarto D, Kurniawan F. Metode Analisis Besi Melalui Optimasi Kemampuan Agen Pereduksi NH₂OH.HCl dan C₆H₈N₂. *Akta Kimia Indonesia*. 2020;5(1):9. doi:10
- [13] Mubarak MF, Mohamed AMG, Keshawy M, elMoghny TA, Shehata N. Adsorption of heavy metals and hardness ions from groundwater onto modified zeolite: Batch and column studies. *Alexandria Engineering Journal*. 2022;61(6):4189-4207
- [14] Rahmawati, Chadijah S, Ilyas A. Analisa Penurunan Kadar COD dan BOD Limbah Cair Laboratorium Biokimia UIN Makassar Menggunakan FLY ASH (Abu Terbang) Batubara. *Al-Kimia*. 2016
- [15] Zilfa Z, Septiani U, Mirawati M. Pengaruh HCl terhadap Aktifasi Zeolit Alam Clinoptilolite-Ca pada Penyerapan Pb(II). *Jurnal Riset Kimia*. 2020;11(2):80-88
- [16] Zein R, Nofita D, Refilda R, Aziz H. Penyerapan Timbal(II) dan Cadmium(II) di dalam Larutan Menggunakan Limbah Kulit Buah Kapuk. *Chimica et Natural Acta*. 2019;7(1):37

- [17] Mushtaq M, Bhatti HN, Iqbal M, Noreen S. Eriobotrya japonica seed biocomposite efficiency for copper adsorption: Isotherms, kinetics, thermodynamic and desorption studies. J Environ Manage. 2016;176:21-33
- [18] Endah Valentina A, Miswadi SS, Latifah D. Pemanfaatan Arang Eceng Gondok dalam Menurunkan Keketuhan, COD, BOD pada Air Sumur. Indo. J. Chem Sci. 2013;2(2)
- [19] Lasindrag M, Suwarno, Hadisusanto, Djalal Tndjung S, Handoyo Nitisastro K. Adsorpsi Pencemaran Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Oleh Kitosan yang Melapisi Arang Aktif Tempurung Kelapa. Teknosains. 2018;3(2):81-166
- [20] Hidayat D, Suprianto R, Sari Dewi P. Penentuan Kandungan Zat Padat *Total Dissolve Solid* (TDS) dan *Total Suspended Solid* (TSS) di Perairan Teluk Lampung. Analit: Analytical and Environmental Chemistry. Vol 1.; 2016
- [21] Rahmadaniati Effendi S, Dini Sofith C. Pengaruh Ukuran Partikel Zeolit Alam yang Diaktivasi dan Diimpregnasi HCl dan Mg^{2+} pada Penerapan Ion Fosfat. Jurnal Teknik Kimia USU. 10(1):13-18
- [22] Kurniasari L, Djaeni M, Purbasari A. Aktivasi Zeolit Akam Sebagai Adsorbent pada Alat Pengering Bersuhu Rendah. Reaktor. Vol 13.; 2011
- [23] Mathialagan T, Viraraghavan T. Adsorption of Cadmium from Aqueous Solutions by Perlite. Journal of Hazardous Materials, Vol 94.; 2002