

PEMANFAATAN ZEOLIT NaY SEBAGAI ADSORBEN UNTUK PENGOLAHAN LIMBAH CAIR SISA PENGUJIAN *CHEMICAL OXIGEN DEMAND* (COD)

RENA JAYANA¹, ILMA FADLILAH^{1*}, OTO PRASADI¹

1. Program Studi D-IV Teknik Pengendalian Pencemaran Lingkungan, Politeknik Negeri Cilacap

Email: ilma.fadlilah@pnc.ac.id

ABSTRAK

Limbah yang dihasilkan oleh laboratorium kimia yang masih mengandung logam berat yaitu Fe merupakan definisi limbah cair sisa pengujian Chemical Oxygen Demand (COD). Adsorpsi merupakan satu dari beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengolah limbah cair tersebut. Zeolit NaY merupakan zeolit sintesis dengan sumber Si dari limbah daun nipah dan sumber Al dari aluminium foil bekas yang digunakan sebagai adsorben untuk menurunkan logam Fe, Chemical Oxygen Demand (COD), dan Total Dissolved Solids (TDS) dalam limbah cair sisa pengujian COD. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui waktu kontak optimum zeolit NaY dalam mengolah limbah cair sisa pengujian COD. Limbah cair yang akan diolah menggunakan zeolit NaY akan dikondisikan pH awal nya di angka 5. Variasi waktu kontak zeolit NaY dengan limbah cair dalam penelitian ini yaitu 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit. Waktu kontak 120 menit dan 150 menit merupakan waktu kontak optimum oleh zeolit NaY yang dapat menyisihkan logam Fe dengan efisiensi sebesar 93,2 %. Parameter COD dapat disisihkan dengan efisiensi sebesar 31,4 % pada waktu kontak 150 menit. Serta parameter TDS dapat disisihkan dengan efisiensi sebesar 75,5 % pada waktu kontak 60 menit. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa zeolit NaY merupakan adsorben yang efektif dan memiliki daya penyisihan materi polutan yang optimum diwaktu 150 menit dalam pengolahan limbah cair sisa pengujian Chemical Oxygen Demand (COD).

Kata kunci: zeolit NaY, adsorpsi, limbah cair.

ABSTRACT

Liquid waste remaining from Chemical Oxygen Demand (COD) testing is waste produced by chemical laboratories which still contains heavy metals, namely Fe. Adsorption is one method that can be used to overcome the problem of liquid waste. Zeolite NaY is a synthetic zeolite made from palm leaf waste (Si source) and used aluminum foil (Al source) which is used as an adsorbent to reduce Fe metal, Chemical Oxygen Demand (COD), and Total Dissolved Solids (TDS) in liquid waste remaining from testing. COD. This research aims to determine the optimum contact time of NaY zeolite in processing liquid waste remaining from COD testing. Liquid waste that will be processed using NaY zeolite will have its initial pH conditioned at 5. Variations in the contact time of NaY zeolite with liquid waste in this research are 30 minutes, 60 minutes, 90 minutes, 120 minutes and 150 minutes. The optimum contact time of NaY zeolite in processing liquid waste remaining from COD testing resulted in Fe metal removal efficiency of 93.2% at contact times of 120 minutes and 150 minutes. COD removal efficiency was 31.4% 31.4% at a contact time of 150 minutes. And the TDS removal efficiency was 75.5% at a contact time of 60 minutes. The results of this research can be concluded that NaY zeolite is an effective adsorbent and has optimum pollutant removal power within 150 minutes in processing liquid waste remaining from the Chemical Oxygen Demand (COD) test.

Keywords: zeolite NaY, adsorption, liquid waste.

1. PENDAHULUAN

Sumber pencemaran air dapat berasal dari limbah laboratorium, industri, pertanian dan rumah tangga. Limbah larutan kimia beracun di laboratorium contohnya Fe, Hg dan Cr sehingga apabila tidak dilakukan upaya pengolahan limbah tersebut dapat membahayakan lingkungan serta makhluk hidup disekitarnya (Azamia, 2012). Kegiatan sisa pengujian parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan salah satu sumber limbah cair laboratorium yang beracun dan berbahaya. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 6989.73:2019 Tentang Air dan Air limbah terkait Uji Kebutuhan Oksigen Kimiawi (*Chemical Oxygen Demand*/COD) dengan Refluks tertutup secara titrimetri, larutan baku Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,05 N dibuat dengan ditimbanganya 19,6 gram $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Adsorpsi merupakan suatu cara pengolahan limbah cair dimana molekul cairan menempel ke permukaan padatan, menghasilkan efisiensi yang relatif tinggi, pengolahannya relatif sederhana dan tidak menyebabkan pencemaran lingkungan (Delarozza, 2018). Zeolit merupakan suatu media penyerap yang memiliki banyak rongga dan kapasitas tukar kation yang tinggi sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai adsorben dalam interval temperatur yang luas (Yoesoef dan Rosariawari, 2018). Zeolit berperan sebagai adsorben, katalisator, pertukaran ion, saringan molekuler, dan pemurnian udara (Visa, 2016). Limbah cair yang dihasilkan industri dapat diolah menggunakan zeolit yang dapat menghilangkan logam berat dan pengemban katalis (Atikah, 2017).

Zeolit NaY merupakan zeolit sintesis dengan sumber Si berasal dari limbah daun nipah dan sumber Al dari aluminium foil bekas, rasio Si/Al nya 0,25 % (memiliki kandungan aluminium tinggi), berbentuk kubus, porinya besar serta berpotensi dijadikan sebagai adsorben (Jayana dkk., 2024). Pada penelitian ini akan dilakukan pemanfaatan zeolit NaY sebagai media penyerap yang memiliki pori besar untuk mengolah limbah cair sisa pengujian COD dengan perlakuan variasi waktu kontak untuk mendapatkan hasil penyisihan materi polutan yang optimum. Tujuan penelitian yaitu untuk mengetahui waktu kontak optimum zeolit NaY dalam mengolah limbah cair sisa pengujian COD.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini akan digunakan alat berupa gelas kimia 250 mL, *hotplate* dan *stirrer*, pipet tetes, labu ukur 100 mL, corong kaca, TDS meter, neraca analitik, pH meter, thermometer, Erlenmeyer 100 mL. Bahan yang digunakan yaitu zeolit NaY yang didapatkan pada penelitian sebelumnya, dengan sumber Si berasal dari limbah daun nipah dan sumber Al dari aluminium foil bekas (Jayana dkk., 2024). Bahan lainnya berupa limbah cair sisa pengujian COD, larutan NaOH (pro analis) 85 %, dan aquades.

2.2 Prosedur Aplikasi Zeolit NaY

Logam berat Fe yang terkandung dalam limbah cair sisa pengujian COD akan dijerap menggunakan zeolit NaY. Penentuan waktu kontak optimum dalam penelitian ini mengacu pada penyisihan logam berat Fe. Sampel limbah cair sisa pengujian COD sebanyak 25 mL dituangkan ke dalam gelas kimia 250 mL. Sebelum ke tahap adsorpsi, limbah cair tersebut disesuaikan pH nya di angka 6 yaitu dengan menambahkan larutan NaOH (pro analis) 85 %. Zeolit NaY dengan massa 1 gram dibubuhkan ke dalam sampel limbah cair yang pH nya telah 6. Kemudian diaduk menggunakan *hotplate* dan *stirrer*. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah waktu kontak zeolit dan limbah cair yaitu 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150 menit. Kecepatan pengadukan 400 rpm untuk semua perlakuan variasi

waktu. Proses selanjutnya adalah penyaringan untuk mendapatkan filtrat yang kemudian dianalisis parameter suhu, pH, TDS, Fe dan COD. Penelitian ini akan digunakan metode pengujian parameter yang disajikan dalam tabel 1 berikut :

Tabel 1. Metode Pengujian Parameter

No	Parameter	Satuan	Metode Penelitian
1	Suhu	°C	Thermometer
2	pH	-	pH meter
3	Fe	mg/mL	Spektrofotometri SSA (SNI 6989.4:2009)
4	COD	mg/mL	Spektrofotometri UV-Vis (SNI 06-6989.2-2004)
5	TDS	mg/mL	TDS meter

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

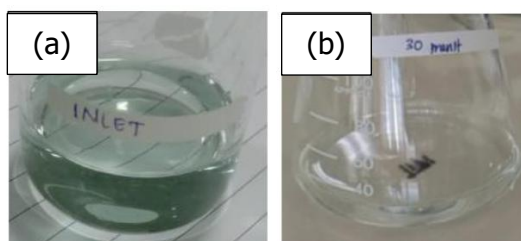
3.1 Hasil Pengolahan Limbah Cair Sisa Pengujian COD

Satu dari beberapa jenis adsorben yang memiliki kemampuan menyerap (adsorpsi) suatu logam karena strukturnya yang berpori, sehingga dapat menyerap sejumlah besar molekul yang kecil ukurannya disebut zeolit (Hasan dkk., 2021). Berikut merupakan tabel 2 yaitu hasil pengujian parameter suhu, pH, TDS, COD dan Fe dari limbah cair sisa pengujian COD sebelum diolah menggunakan zeolit NaY :

Tabel 2. Hasil pengujian inlet limbah cair

No	Parameter	Limbah Cair Sebelum Pengolahan (<i>Inlet</i>)	Baku Mutu PERMEN Lingkungan Hidup RI Nomor 5 Tahun 2014 (Gol I)
1	Suhu (°C)	26	38
2	pH	0,8	6,0 – 9,0
3	TDS (mg/mL)	59.016	2.000
4	COD (mg/mL)	163	100
5	Fe (mg/mL)	4,39	5
6	BOD ₅ (mg/mL)	147,97	50

Baku mutu yang digunakan mengacu pada PERMEN Lingkungan Hidup RI No. 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah Lampiran XLVII yaitu Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Yang Belum Memiliki Baku Mutu Air Limbah Yang Ditetapkan. Limbah cair sisa pengujian COD yang merupakan sampel limbah cair masuk ke dalam kategori golongan I, hal ini dikarenakan nilai BOD < 1.500 mg/mL dan COD < 3000 mg/mL. Berikut kondisi fisik limbah cair sisa sebelum dan setelah diolah dengan zeolit NaY :



Gambar 1. Kondisi fisik limbah cair

(a) limbah cair sebelum diolah ; (b) limbah cair setelah diolah

Berdasarkan gambar 1 dapat diketahui bahwa (a) merupakan limbah cair sebelum dilakukan pengolahan menggunakan zeolit memiliki warna hijau toska. pH limbah cair tersebut sangat asam yaitu 0,8 sehingga sebelum ke tahap adsorpsi perlu dikondisikan pH limbah cair tersebut hingga 6 menggunakan basa kuat berupa NaOH pro analis dengan konsentrasi 85 %. Kondisi pH 6 tersebut dapat menurunkan konsentrasi logam Fe karena kompetisi antara ion H⁻ dan ion logam menjadi berkurang sehingga ion logam secara maksimal dapat terjerap (Purnamasari dkk., 2017). Fenomena ini disebabkan karena terikatnya ion Fe²⁺ dengan OH⁻ sehingga endapan Fe(OH)₂ dapat terbentuk (Nurhayati dkk., 2020). Setelah proses netralisasi limbah cair berubah warnanya menjadi coklat kehitaman. Kemudian 1 gram zeolit NaY dibubuhkan ke dalam limbah cair yang pH nya telah dikondisikan. Tahap selanjutnya yaitu penyaringan sehingga residu dapat terpisah dari filtratnya. Limbah cair yang telah diolah menggunakan zeolit NaY memiliki warna bening (seperti gambar b). Langkah selanjutnya yaitu filtrat / limbah cair yang telah melewati proses adsorpsi kemudian di ukur parameter temperatur, pH TDS, Fe dan COD. Berikut merupakan tabel 3 terkait hasil penerapan zeolit NaY dalam limbah cair sisa pengujian COD :

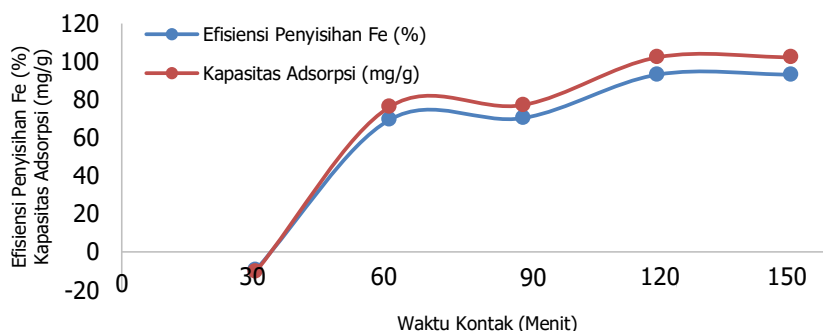
Tabel 3. Data hasil aplikasi zeolit NaY

No	Parameter	Inlet	Outlet				
			Waktu (menit)				
			30	60	90	120	150
1	Suhu (°C)	26	26	27	26	26	26
2	pH	0,8	8,3	8,4	6,9	7,6	6,7
3	TDS (mg/mL)	59.016	14.920	14.480	15.820	15.340	15.980
4	COD (mg/mL)	163	141,16	132,83	124,78	112,31	111,89
5	Fe (mg/mL)	4,39	4,8	1,34	1,3	0,3	0,3

Pengujian parameter suhu, pH, TDS dilakukan Di Laboratorium Rekayasa Proses Politeknik Negeri Cilacap. Sedangkan parameter COD dan Fe di ujikan Di Laboratorium Kesehatan Purbalingga. Berikut merupakan sub bab yang menjelaskan terkait analisis parameter yang telah diujikan pada sampel limbah cair.

3.1.1 Analisis Waktu Kontak terhadap Penyisihan Fe

Efisiensi penyisihan Fe sebanding atau berbanding lurus dengan kapasitas adsorpsi. Efisiensi penyisihan Fe tertinggi terjadi pada proses adsorpsi dengan waktu kontak 120 menit dan 150 menit sebesar 93,2 % serta menunjukkan nilai kapasitas adsorpsi oleh zeolit NaY sebesar 102,25 %. Semakin besar nilai efisiensi penyisihan Fe maka semakin besar kapasitas penyerapan oleh zeolit sintesis sehingga semakin banyak kadar logam Fe yang dapat disisihkan dalam limbah cair. Berikut merupakan gambar 3 yaitu efisiensi penyisihan Fe :

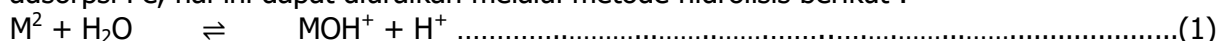


Gambar 3. Hubungan waktu kontak terhadap Penyisihan Fe dan Kapasitas Adsorpsi
Reka Lingkungan – 88

Kondisi pH limbah cair sisa pengujian COD sebelum dilakukan pengolahan yaitu 0,8. pH ini terlalu rendah (sangat asam) sehingga apabila langsung dibuang ke lingkungan dapat mencemari lingkungan. Sebelum sampel limbah cair diolah, maka pH nya perlu dinaikkan terlebih dahulu hingga pH 6 menggunakan larutan NaOH pro analis dengan konsentrasi 85 %. Kondisi air limbah pada pH 6 dalam proses adsorpsi oleh zeolit mampu menurunkan konsentrasi logam Fe. Saat pertukaran kation terjadi persaingan antara ion logam dan ion H⁺ dengan ion logam (Purnamasari dkk., 2017). Ion logam dapat dijerap secara maksimal oleh zeolit apabila kondisi pH dalam air limbah tinggi karena berkurangnya kompetisi antara ion H⁺ dan ion logam (Purnamasari dkk., 2017). Menurut Nurhayati dkk. (2020) menyatakan bahwa adanya NaOH yang ditambahkan ke dalam limbah cair menyebabkan terikatnya ion Fe²⁺ dengan OH⁻ (dari NaOH) sehingga terbentuk endapan Fe(OH)₂ yang memiliki warna putih.

Berdasarkan grafik 3b dapat diketahui bahwa kadar Fe naik di waktu 30 menit hal ini dikarenakan pH sampel sebelum dimasukkan zeolit NaY mencapai 7,4 akibat berlebihnya penambahan larutan NaOH. Sedangkan berdasarkan prosedur, sebelum sampel limbah cair diolah, maka pH nya perlu dinaikkan terlebih dahulu hingga pH 6 menggunakan larutan NaOH. Kondisi air limbah pada pH 6 dalam proses adsorpsi oleh zeolit mampu menurunkan konsentrasi logam Fe (Purnamasari dkk., 2017). Sedangkan PH 6-8 terjadi penurunan kapasitas adsorpsi, hal ini dikarenakan ion OH⁻ yang terlalu banyak dalam larutan tidak dapat di ikat oleh logam Fe²⁺, oleh karena itu ion OH⁻ bebas masih banyak didalam larutan yang mengakibatkan terjadinya persaingan antara OH⁻ bebas dengan permukaan adsorben untuk berikatan dengan FeOH⁺ (Aima dkk., 2012). Selain itu pada pH 6-8 terjadi reaksi samping antara FeOH⁺ dengan ion OH⁻ bebas membentuk endapan Fe(OH)₂ (Aima dkk., 2012).

Zeolit NaY memberikan kontribusi terhadap pH sampel, hal ini disebabkan karena adanya pengaruh material NaOH yang merupakan bahan prekursor pada proses hidrotermal saat pembuatan zeolit sintesis. pH merupakan faktor yang dapat berpengaruh terhadap proses adsorpsi Fe, hal ini dapat diuraikan melalui metode hidrolisis berikut :



M²⁺ merupakan adsorbat (ion logam Fe²⁺), N⁻ merupakan permukaan adsorben. Proses kesetimbangan dapat dijelaskan oleh azas Le Chatelier yang menyatakan bahwa apabila satu dari beberapa komponen zat dikurangi dapat menyebabkan pergeseran kesetimbangan ke arah zat yang dikurangi tersebut, sedangkan apabila pH larutan tinggi maka [H⁺] akan berkurang sehingga akan terjadi pergeseran ke arah kanan yang menyebabkan bertambahnya [MOH⁺] (Purnamasari dkk., 2017). Menurut Aima dkk. (2012), mekanisme adsorpsi hidrolisis yang menggambarkan fenomena pengaruh pH dapat juga dilihat pada persamaan reaksi berikut :



Simbol X⁻ dari persamaan 4 merupakan permukaan zeolit (adsorben). Proses adsorpsi logam Fe oleh zeolit dapat optimum pada pH 4-6 karena berkurangnya ion H⁺ dan terjadi pergeseran kesetimbangan ke kanan sesuai azas Le Chatelier yang menyatakan bahwa sistem kesetimbangan, jika satu dari beberapa zat diambil maka akan terjadi pergeseran kesetimbangan ke arah zat yang diambil tersebut. Kesetimbangan yang bergeser menyebabkan bertambahnya jumlah FeOH⁺ sehingga logam Fe yang dijerap oleh zeolit menjadi semakin besar (Aima dkk., 2012).

Kondisi limbah cair yang telah disesuaikan pHnya menjadi 6 kemudian ditambahkan zeolit NaY sebanyak 1 gram. Massa zeolit berpengaruh dalam penurunan kadar Fe. Semakin banyak massa zeolit yang ditambahkan maka semakin besar efisiensi penyisihan kadar Fe dalam limbah cair. Berdasarkan penelitian Hasan dkk. (2021) menyatakan bahwa massa manganese zeolit sebesar 1 gram dengan volume air limbah 50 mL dan waktu kontak 60 menit sudah dapat menyisihkan logam Fe sebesar 50,91 %. Hasil penelitian Hasan tersebut kemudian peneliti berasumsi apabila perbandingan zeolit dan limbah cair yaitu 2 gram : 50 mL atau setara dengan 1 gram : 25 mL maka akan dihasilkan efisiensi penyisihan kadar Fe dua kali lipatnya dari perbandingan massa semula. Sehingga dalam penelitian ini akan digunakan massa zeolit NaY sebanyak 1 gram untuk 25 mL limbah cair. Selanjutnya dilakukan pengadukan dengan waktu kontak 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150 menit. Berdasarkan gambar 3 (a) menunjukkan pH limbah cair setelah pengolahan mengalami kenaikan baik untuk perlakuan waktu kontak 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit maupun 150 menit dengan nilai pH secara berturut-turut yaitu 8,3 ; 8,4 ; 6,9 ; 7,6 dan 6,7. Hal ini dikarenakan pemakaian zeolit NaY dapat menyebabkan kenaikan pH sehingga sampel limbah cair bersifat basa. Kenaikan nilai pH pada *outlet* limbah cair disebabkan karena adanya pengaruh material NaOH yang merupakan bahan prekursor pada proses hidrotermal saat pembuatan zeolit sintesis (Irawan dan Rudianto, 2022).

Berdasarkan gambar 3 (b) terkait pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan Fe dapat diketahui bahwa efisiensi terbesar terjadi pada waktu kontak 120 menit dan 150 menit yaitu 93,2 %. Menurut Nurhayati dkk. (2020) menyatakan bahwa apabila waktu kontak antara zeolit dan limbah cair semakin lama maka ion Fe memiliki kesempatan lebih banyak untuk dapat bersinggungan dengan permukaan adsorben sehingga ion Fe dalam jumlah besar dapat dijerap oleh pori-pori adsorben. Perbandingan massa zeolit NaY dengan volume limbah cair dalam penelitian ini yaitu 1 gram : 25 mL menghasikan penurunan kadar Fe yang signifikan yaitu dari 4,39 ppm menjadi 0,3 dengan nilai efisiensi penyisihan Fe sebesar 93,2 % dengan waktu kontak 120 menit dan 150 menit. Jika dibandingkan dengan penelitian Hasan dkk. (2021) menyatakan bahwa 0,75 gram zeolit manganese : 25 mL limbah cair menunjukkan nilai efisiensi penyisihan Fe hanya sebesar 51,1 %.

Nilai efisiensi penyisihan Fe pada waktu kontak ke 120 menit dan 150 menit terdapat kemiripan yaitu sebesar 93,2 %. hal ini dikarenakan zeolit NaY sudah tidak mampu untuk menjerap Fe (zeolit telah jenuh) sehingga dapat dikatakan bahwa pada rentang waktu 120 – 150 menit merupakan waktu optimum oleh zeolit NaY untuk menjerap Fe. Pada menit ke 60 dan 90, terjadi kenaikan persentase penyisihan Fe yang tidak terlalu signifikan dengan nilai efisiensi secara berturut-turut yaitu 69,8 % dan 70,4 %. Namun pada menit ke 120 menit dan 150 menit terjadi kenaikan nilai efisiensi yang signifikan dengan nilai efisiensi yang sama antara kedua waktu tersebut yaitu sebesar 93,2 %. Proses adsorpsi pada waktu kontak ke 30 menit mengalami kenaikan konsentrasi nilai Fe sebesar 4,8 ppm dengan nilai awal Fe pada sampel limbah cair (sebelum pengolahan) sebesar 4,39 ppm. Hal ini dikarenakan pH pada sampel limbah cair di waktu kontak 30 menit terlalu besar yaitu 8,3 sehingga menyebabkan terlalu banyaknya jumlah ion OH⁻ dalam larutan sehingga tidak mampu diikat oleh logam Fe²⁺. Oleh karena itu jumlah ion OH⁻ bebas dalam larutan masih banyak sehingga OH⁻ bebas dengan permukaan adsorben X⁻ saling berkompetisi untuk dapat berpautan dengan FeOH⁺ (Aima et dkk., 2012). Zeolit NaY memberikan kontribusi terhadap pH sampel, hal ini disebabkan karena adanya pengaruh material NaOH yang merupakan bahan prekursor pada proses hidrotermal saat pembuatan zeolit sintesis. Terjadi penurunan kadar Fe pada sampel limbah cair setelah kontak selama 60 menit. Hal ini disebabkan waktu kontak yang semakin lama antara limbah cair dan zeolit maka ion Fe memiliki kesempatan lebih banyak

untuk dapat bersinggungan dengan permukaan adsorben sehingga ion Fe dalam jumlah besar dapat dijerap oleh pori-pori adsorben (Nurhayati dkk., 2020).

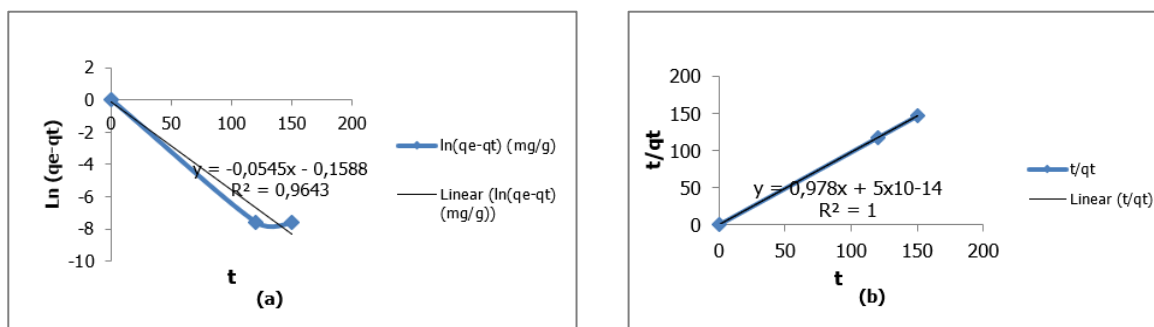
Massa adsorben dalam proses adsorpsi dapat mempengaruhi efisiensi penurunan adsorbat. Berdasarkan penelitian Hasan dkk. (2021) menyatakan bahwa massa manganese zeolit sebesar 1 gram dengan volume air limbah 50 mL dan waktu kontak 60 menit diperoleh efisiensi penyisihan logam Fe sebesar 50,9100 %. Sedangkan massa zeolit 1,5 gram dengan volume air air limbah 50 mL dan waktu kontak 60 menit diperoleh efisiensi penyisihan logam Fe sebesar 51,1394 %. Manganese zeolit ($K_2Z.MnO.Mn_2O_7$) termasuk kategori zeolit sintesis, mangan oksida tinggi melapisi permukaan manganese zeolit. Sedangkan Zeolit NaY ($Na_2O.Al_2O_3.SiO_2.H_2O$) merupakan zeolit sintesis yang permukaannya dilapisi oleh alumunium dan silika (Jayana dkk., 2024). Dalam penelitian ini 25 mL limbah cair dengan massa zeolit NaY telah berhasil menyisihkan Fe sebesar 93,2 % pada waktu kontak optimum yaitu 120 menit dan 150 menit.

Konsentrasi akhir logam Fe (Ce) pada proses adsorpsi mengalami penurunan sebanding dengan waktu kontak yang semakin lama. Untuk mengetahui model kinetika adsorpsi maka digunakan parameter kinetika adsorpsi berupa variasi waktu kontak. Adsorpsi yang memberikan gambaran terkait laju kecepatan adsorpsi terhadap adsorbatnya disebut kinetika (Wahidatun dkk., 2015). *Pseudo first order* dan *pseudo second order* merupakan model kinetika yang akan digunakan. Kinetika reaksi menunjukkan kecepatan solut terhadap waktu kontak suatu reaksi yang berubah. Satu dari beberapa faktor yang menjadi karakter utama untuk menunjukkan efisiensi dari adsorpsi. Kinetika dalam adsorpsi dapat dipengaruhi oleh tahapan transfer massa dan faktor penjerapan mengikuti ion logam yang berpindah menuju situs aktif adsorpsi pada adsorben dalam larutan. (Wahidatun dkk., 2015). Penentuan mekanisme dan variabel dalam adsorpsi merupakan fungsi model kinetika reaksi, kegunaan lainnya yaitu untuk memperkirakan laju perpindahan ion logam dari larutan ke zeolit yang dirancang. Berikut merupakan tabel 5 yaitu parameter model kinetika adsorpsi ion logam Fe dengan zeolit NaY.

Tabel 5. Parameter Model Kinetika Adsorpsi Ion Logam Fe dengan Zeolit NaY

Adsorben	<i>Pseudo-first order</i> (Model Lagergren)		<i>Pseudo-second order</i> (Model Ho dan McKay)	
	K_1 (min^{-1})	R^2	K_2 (g/mg.min)	R^2
Zeolit NaY	-0,0545	0,9643	$1,12177 \times 10^{-13}$	1

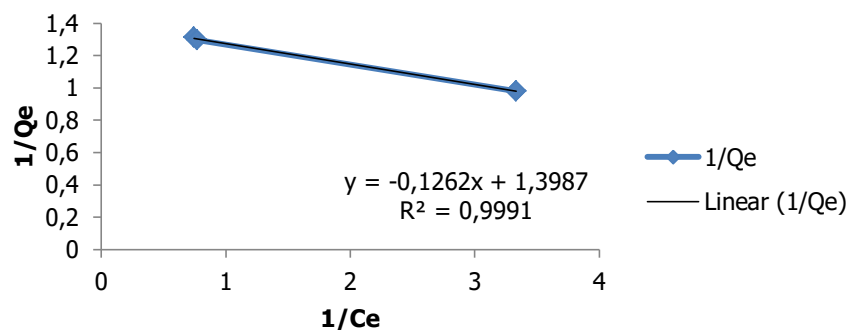
Berikut merupakan hasil analisis kinetika adsorpsi ion logam Fe yang ditampilkan pada gambar 4 (a) dan 4 (b):



Gambar 4. (a) Pseudo First Order (b) Pseudo Second Order

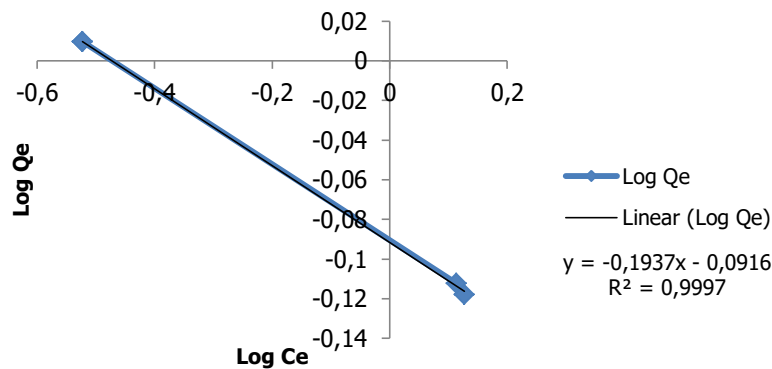
Gambar 4 (a) menunjukkan kecilnya linieritas pada kinetika *pseudo first order* dengan R^2 dari zeolit NaY sebesar -0,98119. Sedangkan gambar 4 (b) menunjukkan besarnya linieritas pada kinetika *pseudo second order* dengan R^2 dari zeolit NaY sebesar 1. Model kinetika reaksi penyerapan yang mendeskripsikan terkait adsorpsi yang dikategorikan sebagai proses reversibel yaitu terbentuknya kesetimbangan berasal dari fase cair dan fase padat (Wahidatun dkk., 2015). Adsorpsi Fe pada zeolit NaY diibaratkan adsorpsi molekuler non-disosiasi, peristiwa adsorpsi dideskripsikan sebagai pengaruh difusi. Dimana skema cair-padat berdasar pada daya tampung solid yang menggambarkan sorpsi zat terlarut dari larutan. *Pseudo second order* memperkirakan kapasitas menyerap seimbang terhadap besaran situs aktif adsorben, model kinetika ini mengikuti pada potensi solid masing-masing (Wahidatun dkk., 2015).

Model kinetika penyerapan zeolit NaY terhadap Fe mengiringi model kinetika penyerapan *pseudo second order* dengan jumlah Fe yang terjerap pada waktu kesetimbangan (Q_e) yaitu 1,0225 mg/g, nilai konstanta kecepatan (K_2) sebesar $1,12177 \times 10^{-13}$ gr/mg.min. Proses penyerapan yang mengiringi model kinetika *pseudo second order* yang bermakna laju adsorpsi zeolit NaY terhadap Fe per satuan waktu (dq/dt) sebanding dengan daya tampung zeolit NaY yang belum terisi ($q_e - q_t$), hal ini menyebabkan konsentrasi larutan diawal adsorpsi mengalami penurunan laju penyerapan hingga tercapai kondisi setimbang, kemudian konsentrasi larutan mengalami pengurangan yang cukup drastis (Hasan dkk., 2021). Berdasarkan penelitian Hasan dkk. (2021) menyatakan bahwa kinetika adsorpsi manganese zeolit terhadap Fe dengan massa zeolit 1 gram cenderung mengiringi model kinetika *pseudo second order*. Kemudian didapatkan grafik isoterm adsorpsi Langmuir seperti gambar 5 berikut :



Gambar 5. Isoterm Adsorpsi Langmuir pada Adsorpsi Zeolit NaY

Berdasarkan gambar 5 diperoleh nilai R^2 sebesar 0,9991. Kurva tersebut memiliki linieritas yang sesuai karena nilai R^2 dikatakan baik apabila mendekati angka 1. Kemudian didapatkan grafik isoterm adsorpsi Freundlich seperti gambar 6 berikut :

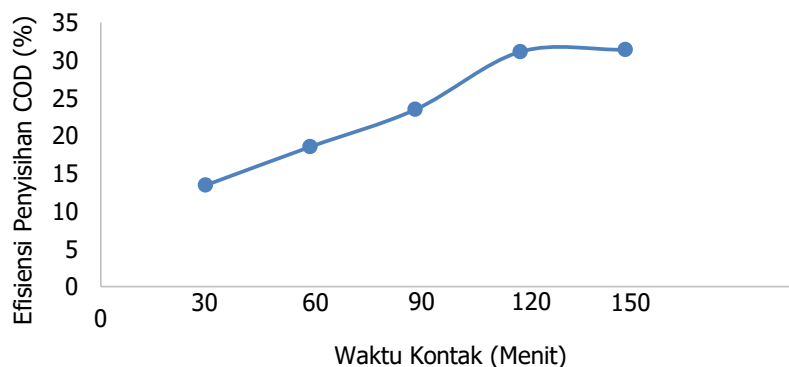


Gambar 6. Isoterm Adsorpsi Freundlich pada Adsorpsi Zeolit NaY

Berdasarkan gambar 6 diperoleh nilai R^2 sebesar 0,9997. Kurva tersebut memiliki linieritas yang sesuai karena nilai R^2 dikatakan baik apabila mendekati angka 1. Dari hasil analisis data menggunakan isoterm adsorpsi terlihat bahwa hasil dari model Freundlich lebih baik karena nilai R^2 lebih besar yaitu 0,9997 jika dibandingkan model Langmuir dengan nilai R^2 sebesar 0,9991. Tipe isoterm Freundlich mendeskripsikan bahwa terjadi secara fisisorpsi pada proses adsorpsi (Iswanti, 2020). Isoterm Freundlich mendeskripsikan mekanisme adsorpsi zeolit NaY oleh Fe. Pernyataan ini linier dengan penelitian Hasan dkk. (2021) yang menunjukkan pola isoterm adsorpsi zeolit terhadap Fe mengiringi isoterm Freundlich hal ini disebabkan linieritasnya mendekati 1 yaitu 0,9984. Tipe Freundlich menyatakan bahwa penyerapan terjadi secara multi-layer pada permukaan zeolit yang bermakna adsorpsi terjadi secara fisik yaitu dengan penyerapan pada permukaan terjadi lebih banyak. Pada penyerapan secara fisik, ion logam ikatannya tidak kuat pada permukaan zeolit sehingga ion logam dapat berpindah dari permukaan satu ke permukaan lainnya, ion logam lainnya dapat menempati permukaan adsorben yang ditinggalkan tersebut. (Iswanti, 2020).

3.1.2 Analisis Waktu Kontak terhadap Penyisihan COD

Oksigen yang diperlukan dalam penguraian seluruh bahan organik yang terkandung dalam air merupakan definisi dari *Chemical Oxygen Demand* (COD) (Irawan dan Rudianto, 2022). Adanya hidroksil radikal (OH^\cdot) menyebabkan perubahan nilai pada parameter COD, apabila hidroksil (OH^\cdot) dan sulfat (SO_4^{2+}) radikal banyak terbentuk maka akan semakin banyak terjadinya reaksi oleh sejumlah molekul senyawa organik serta terjadi peningkatan kecepatan reaksi degradasi (Irawan dan Rudianto, 2022). Efisiensi penurunan parameter COD oleh zeolit NaY dideskripsikan dalam gambar 7 :



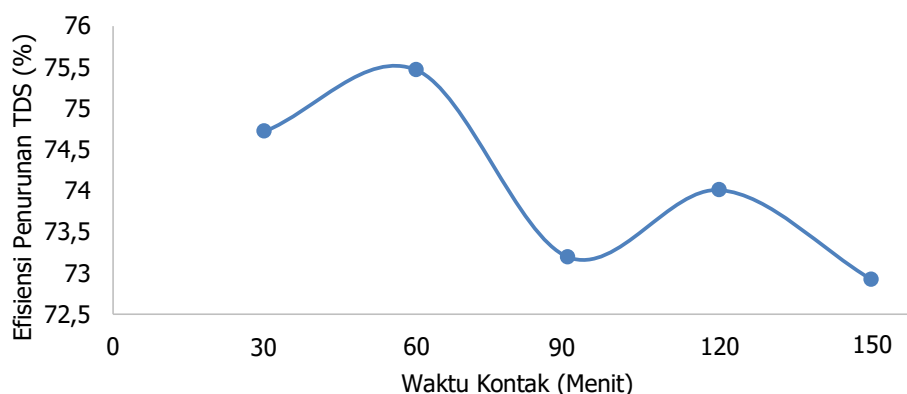
Gambar 7. Efisiensi Penyisihan COD

Berdasarkan gambar 7 dapat diketahui bahwa terjadi kenaikan nilai efisiensi penyisihan parameter COD seiring dengan bertambahnya waktu kontak. Waktu 150 menit merupakan waktu yang optimum untuk dapat menyisihkan nilai parameter COD. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi terbesar dari penyisihan nilai parameter COD terjadi di menit ke 150 sebesar 31,4 %. Efisiensi penyisihan COD terkecil ditunjukkan di menit ke 30 yaitu 13,4 %. Namun pada waktu kontak 0 sampai 30 menit jika dibandingkan kenaikan interval waktu kontak selanjutnya terlihat penyisihan COD lebih besar, hal ini dikarenakan masih besarnya permukaan zeolit sehingga semakin besar pula daya jerap COD (Munandar dkk., 2016). Menit ke 60, 90 dan 120 terjadi kenaikan nilai efisiensi penyisihan COD yang cukup signifikan secara berturut turut sebesar 18,5 %, 23,4 %, 31,1 %. Hal ini menunjukkan bahwa waktu kontak sangat berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan parameter COD dalam proses adsorpsi menggunakan zeolit sintesis. Menurut Munandar dkk. (2016) menyatakan bahwa semakin lama waktu kontak maka dalam limbah cair kadar COD dapat lebih lama melewati pori-pori zeolit, hal ini akan menyebabkan penjerapan limbah cair oleh zeolit semakin besar sehingga akan semakin banyak pula konsentrasi COD yang dijerap oleh zeolit. Waktu kontak optimum oleh zeolit NaY dalam proses adsorpsi ini ditunjukkan pada 150 menit yaitu 31,4 %. Kenaikan persentase penyisihan COD dari menit ke 120 hingga menit ke 150 tidak signifikan dengan nilai efisiensi berturut-turut yaitu 31,1 % dan 31,4 %. Hal ini dikarenakan adsorben pada waktu kontak 150 menit mulai jenuh sehingga mempengaruhi persentase penyisihan COD. Menurut Munandar dkk. (2016) menyatakan bahwa jenuhnya adsorben disebabkan karena adsorbat telah menutupi pori-pori adsorben. Selain waktu kontak, faktor penyebab terjadinya kenaikan nilai efisiensi penyisihan COD yaitu adanya proses penetralan limbah cair dengan NaOH. Menurut Nurhayati dkk. (2020) menyatakan bahwa terjadinya pengendapan zat organik yang tersuspensi baik yang mudah terdegradasi maupun sulit terdegradasi merupakan akibat dari adanya perlakuan penambahan NaOH pada proses netralisasi diawal proses adsorpsi sehingga hal ini menyebabkan penurunan nilai COD yang artinya efisiensi penyisihan COD meningkat.

3.1.3 Analisis Waktu Kontak terhadap Penyisihan TDS

Total Dissolved Solid (TDS) pada larutan yang terlarut dalam air mengandung zat terlarut yaitu organik dan anorganik berdiameter $< 10^{-3} \mu\text{m}$ (Rinawati dkk., 2016). Jumlah kandungan senyawa organik dan anorganik yang banyak dan larut dalam air, mineral serta garam merupakan penyebab tingginya kadar TDS (Rinawati dkk., 2016). TDS menyatakan jumlah zat padat yang terlarut. Tingginya kadar TDS dalam limbah cair pada dikarenakan limbah cair sisa pengujian COD adalah limbah hasil aktivitas laboratorium berasal dari sisa larutan kimia yang berperan dalam penanganan limbah, limbah cair bekas cucian peralatan, dan sisa cairan kimia yang dalam air cenderung mudah larut (Nurhayati dkk., 2018). pH air limbah juga dapat mempengaruhi tingginya TDS, ion logam dalam air akan mudah larut apabila pH air limbah rendah, hal ini menyebabkan tingginya kadar TDS (Nurhayati dkk., 2018). Berikut merupakan gambar 8 yaitu pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan TDS :

Pemanfaatan Zeolit NaY Sebagai Adsorben Untuk Pengolahan Limbah Cair Sisa Pengujian Chemical Oxygen Demand (Cod)



Gambar 8. Hubungan waktu kontak terhadap Efisiensi Penurunan TDS

Gambar 8 menunjukkan bahwa 60 menit merupakan waktu kontak optimum bagi zeolit NaY untuk dapat menyisihkan TDS yaitu sebesar 75,5 %. Kenaikan efisiensi penyisihan TDS dipengaruhi oleh pH. pH 8,4 dan waktu kontak 60 menit merupakan kondisi optimum parameter pencemar TDS mengalami penurunan yaitu dari 59016 ppm menjadi 14480 ppm dengan efisiensi penyisihan TDS sebesar 75,5 %. Tinggi rendahnya pH dapat berpengaruh pada nilai TDS. pH dalam air limbah yang tinggi dapat merubah kestabilan dari karbonat menjadi hidroksida sehingga ikatan dengan partikel pada badan air dapat terbentuk, hal ini menyebabkan terbentuknya endapan lumpur dan warna larutan limbah berubah menjadi hitam (Nurhayati dkk., 2018).

Penggunaan zeolit NaY dalam menurunkan konsentrasi TDS dalam limbah cair memiliki efisiensi yang cukup besar, hal ini dikarenakan adanya reaksi penukaran ion sehingga terjadinya penyerapan oleh zeolit serta peran zeolit yang dapat mengoksidasi padatan terlarut dalam limbah cair sehingga dapat menempel pada permukaan adsorben (Fitriyah dkk., 2022). Muatan negatif dapat dinetralkan karena terjadinya interaksi yang berasal dari muatan positif pada permukaan adsorben dalam limbah cair sehingga menyebabkan hilangnya senyawa terlarut dalam limbah cair melalui proses (Fitriyah dkk., 2022).

2. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa proses pengolahan limbah cair sisa pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD) dengan zeolit NaY menghasilkan waktu kontak optimum dengan parameter efisiensi penyisihan logam Fe sebesar 93,2 % di menit ke 120 dan 150. Efisiensi penyisihan COD sebesar 31,4 % di menit ke 150, serta sebesar 75,5 % merupakan nilai efisiensi penyisihan TDS di menit ke 60. Penelitian ini menunjukkan bahwa zeolit NaY merupakan adsorben yang efektif dan memiliki daya penyisihan materi polutan yang optimum diwaktu 150 menit dalam pengolahan limbah cair sisa pengujian *Chemical Oxygen Demand* (COD).

DAFTAR PUSTAKA

- Aima, S., Zahrina, I. and Zultiniar (2012) Adsorpsi Logam Fe dengan Zeolit 4A yang Disintesis dari Fly Ash Sawit. Riau Pekan baru.
- Atikah, W.S. (2017) 'Potensi Zeolit Alam Gunung Kidul Teraktivasi Sebagai Media Adsorben

- Pewarna Tekstil', *Arena Tekstil*, 32(1), Pp. 17–24.
- Azamia, M. (2012) *Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Kimia Dalam Penurunan Kadar Organik Serta Logam Berat Fe, Mn, Cr Dengan Metode Koagulasi Dan Adsorpsi*, Skripsi. Universitas Indonesia. Doi:Skripsi.
- Darjito dkk. (2014) 'The Adsorption Of Cr(VI) Ions Using Chitosan-Alumina Adsorbent', *J. Pure App. Chem. Res.*, 3(2), Pp. 53–61.
- Delaroza, R. (2018) *Adsorpsi Logam Berat Menggunakan Adsorben Alami Pada Air Limbah Industri*. Universitas Trisakti Jakarta Indonesia.
- Fitriyah, Akbari, T. And Alfandiana, I. (2022) 'Pengolahan Limbah Cair Batik Banten Secara Koagulasi Menggunakan Tawas Dan Adsorpsi Dengan Memanfaatkan Zeolit Alam Bayah', *Serambi Engineering*, Vii(1), Pp. 2499–2509.
- Hasan, A. dkk. (2021) 'Mekanisme Adsorben Zeolit Dan Manganese Zeolit Terhadap Logam Besi (Fe) Mechanism Of Zeolite And Manganese Zeolite Adsorbent To Iron Metal (Fe)', *Jurnal Kinetika*, 12(01), Pp. 9–17.
- Irawan, B. and Rudianto (2022) 'Pemanfaatan Coal Fly Ash Sebagai Zeolit Sintetis Untuk Menurunkan Nilai Cod Pada Air Limbah', *Teknik Mesin*, 01(02), Pp. 24–30.
- Iswanti, Y. (2020) *Pengaruh Suhu Hidrotermal Pada Sintesis Seng Oksida (Zno) Menggunakan Ekstrak Gelatin Tulang Sapi Untuk Aplikasi Adsorpsi Ibuprofen*. Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Jayana, R., Fadlilah, I. and Prasadi, O. (2024) 'Karakteristik Sintesis Zeolit dari Pemanfaatan Limbah Daun Nipah dan Alumunium Foil Bekas', *Metana*, 20(1), pp. 1–13
- Munandar, A., Muhammad, S. and Mulyati, S. (2016) 'Penyisihan Cod Dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit Menggunakan Nano Karbon Aktif', *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 11(1), Pp. 24–31. Doi:10.23955/Rkl.V11i1.4231.
- Nurhayati, I., Sugito and Pertiwi, A. (2018) 'Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Dengan Adsorpsi Dan Pretreatment Netralisasi Dan Koagulasi', *Sains Dan Teknologi Lingkungan*, 10(2), Pp. 125–138. Doi:10.20885/Jstl.Vol10.Iss2.Art5.
- Nurhayati, I., Vigiani, S. and Majid, D. (2020) 'Penurunan Kadar Besi (Fe), Kromium (Cr), Cod Dan Bod Limbah Cair Laboratorium Dengan Pengenceran, Koagulasi Dan Adsorpsi', *Fe*, 14(1), Pp. 74–87.
- Prabarini, N. and Okayadnya, D. (2014) 'Penyisihan Logam Besi (Fe) Pada Air Sumur dengan Karbon Aktif dari Tempurung Kemiri', *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 5(2), Pp. 33–41.
- Purnamasari, I. and Trisnaliani, L. (2017) 'The Effect Of Ph And Adsorption Time In Fe And Mn Concentration Decreasing Using Zeolite In Sungai Enim River At Desa Darmo Tanjung Enim', *Kinetika*, 8(3), Pp. 34–39.
- Rinawati dkk. (2016) 'Penentuan Kandungan Zat Padat (Total Dissolve Solid Dan Total Suspended Solid)Di Perairan Teluk Lampung', *Analit: Analytical And Environmental Chemistry*, 1(1), Pp. 36–46.
- Sudiyono, D.A. (2016) *Sintesis dan Karakterisasi Zeolit Nay Sebagai Pengembangan Senyawa Antikanker Hasil Ekstrak Etanol Akar Rumput Bambu (Lophatherum Gracile Brongn)*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Visa, M. (2016) 'Synthesis and Characterization Of New Zeolite Materials Obtained From Fly Ash For Heavy Metals Removal In Advanced Wastewater Treatment', *Journal Powder Technology*, 294(8), Pp. 338–347. Doi:10.1016/J.Powtec.2016.02.019.
- Wahidatun, K.W., Krisdiyanto, D. and Nugraha, I. (2015) 'Keseimbangan , Kinetika , Dan Termodinamika Adsorpsi Logam Cr(Vi) Pada Zeolit Alam Dari Klaten Yang Teraktivasi Asam Sulfat', *Sains Dan Terapan Kimia*, 9(1), Pp. 1–11.
- Yoesoef, A. and Rosariawari, F. (2018) 'Penggunaan Zeolit Alam Untuk Adsorpsi Ion Fe (II) Dalam Air Tanah Dengan Aktivasi Asam Nitrat', *Jurnal Envirotek*, 9(2), Pp. 1–5.