

**ADSORPSI ION LOGAM KROMIUM
HEKSAVALEN Cr (VI) DALAM LARUTAN
MENGUNAKAN ZEOLIT BERLAPIS OKSIDA
MANGAN (MnO₂)**

SKRIPSI

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan
dalam Ilmu Kimia



Oleh:

NABILA ATHIYATUL MAULA

NIM: 1508036005

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG**

2020

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nabila Athiyatul Maula
NIM : 1508036005
Program Studi : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi ini yang berjudul:

**ADSORPSI ION LOGAM KROMIUM HEKSAVALEN Cr (VI)
DALAM LARUTAN MENGGUNAKAN ZEOLIT BERLAPIS
OKSIDA MANGAN (MnO₂)**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian atau karya sendiri,
kecuali bagian tertentu yang dirujuk sembernya.

Semarang, 21 Juni 2020

Pembuat Pernyataan,



Nabila Athiyatul Maula

NIM. 1508036005

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **ADSORPSI ION LOGAM KROMIUM HEKSAVALEN Cr (VI)
DALAM LARUTAN MENGGUNAKAN ZEOLIT BERLAPIS
OKSIDA MANGAN (MnO₂)**

Nama : Nabila Athiyatul Maula

NIM : 1508036005

Jurusan/Program Studi: Kimia

Telah diujikan dalam sidang munaqosah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains dalam bidang Ilmu Kimia

Semarang, 6 Juli 2020

DEWAN PENGUJI

Penguji I,

Hj. Malikhatul Hidayah, S.T. M.Pd.
NIP : 198304152009122006

Penguji II,

Anissa Adiwena Putri, M.Sc.
NIP : 198504052011012015

Penguji III,

Atik Rahmawati, S.Pd., M.Si.
NIP : 197505162006042002

Penguji IV,

Wirda Udaibah, M.Si.
NIP : 198501042009122003

Pembimbing I,

Hj. Malikhatul Hidayah, S.T. M.Pd.
NIP : 198304152009122006

Pembimbing II,

Zidni Azizati, M.Sc.
NIP. 199011172018012001



NOTA DINAS

Semarang, 21 Juni 2020

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Walisongo
di Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **ADSORPSI ION LOGAM KROMIUM HEKSAVALEN Cr (VI) DALAM LARUTAN MENGGUNAKAN ZEOLIT BERLAPIS OKSIDA MANGAN (MnO₂)**

Penulis : Nabila athiyatul Maula

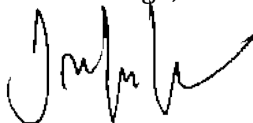
NIM : 1508036005

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum wr, wb.

Pembimbing I,



Hj. Malikhatul Hidayah, S.T., M.Pd.

NIP. 19830415 200912 2006

NOTA DINAS

Semarang, 21 Juni 2020

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Walisongo
di Semarang

Assalamu'alaikum wr. wb.

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **ADSORPSI ION LOGAM KROMIUM
HEKSAVALEN Cr (VI) DALAM LARUTAN
MENGUNAKAN ZEOLIT BERLAPIS OKSIDA
MANGAN (MnO₂)**

Penulis : Nabila athiyatul Maula

NIM : 1508036005

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo untuk diujikan dalam Sidang Munaqosyah.

Wassalamu'alaikum wr, wb.

Pembimbing II,



Zidni Azizati, M.Sc.

NIP. 19901117 201801 2001

ABSTRAK

Kromium heksavalen Cr (VI) menjadi karsinogen golongan 1 yang diklasifikasikan dengan mekanisme kompleks multipel yang menjadi pemicu perkembangan kanker, selain itu juga dapat menyebabkan iritasi pada paru-paru dan juga lambung. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menyisihkan logam berat seperti Cr adalah menggunakan metode adsorpsi melalui zeolit berlapis oksida mangan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan diketahui kapasitas adsorpsi mengalami kenaikan dengan dilakukannya beberapa perlakuan, pada zeolit alam diketahui kapasitas adsorpsi sebesar 0,04522 mg/g dan mengalami kenaikan setelah dilakukan dealuminasi-desilikasi menjadi 0,06566 mg/g dan meningkat menjadi 0,20048 mg/g setelah *dicoating* menggunakan oksida logam (MOCZ). Adapun kapasitas terbaik MOCZ pada penyerapan ion logam Cr diperoleh pada pH 2 dengan waktu kontak 60 menit dengan nilai $q_e = 0,72756$ mg/g dan dalam kajian kinetika mengikuti persamaan kinetika pseudo orde dua yang menunjukkan bahwa laju adsorpsi setara dengan kuadrat konsentrasi ion logam yang diekspresikan dengan $(q_e - q_t)^2$.

Kata Kunci : *Logam Cr, Adsorpsi, dealuminasi, desilikasi, MOCZ*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah *robbil Alamin*. Dengan menyebut asma Allah SWT Yang Maha Pengasih kagi Maha Penyayang. Segala puji bagi Allah karena berkat Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada baginda Rasulullah SAW.

Skripsi yang berjudul “Adsorpsi Ion Logam Kromium (Cr) dalam Larutan Menggunakan Zeolit Berlapis Oksida-Mangan (MnO_2)” disusun untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Starata Satu Program studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.

Terselesaikannya penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, dorongan serta bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini perkenankanlah penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Imam Taufiq, M. Ag selaku rektor UIN Walisongo Semarang.
2. Dr. H. Ismail, M. Ag, Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang
3. Hj. Malikhathul Hidayah, S.T., M.Pd., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang sekaligus pembimbing I yang telah memberikan

bimbingan, kritik, saran, semangat serta motivasinya selama penelitian hingga terselesaikannya penulisan tugas akhir ini

4. Mulyatun, M.Si., selaku Sekretaris Jurusan Kimia. Terimakasih atas ilmu yang diberikan, motivasi, masukan dan saran kepada penulis.
5. Zidni Azizati, M.Sc., selaku pembimbing II yang telah memberikan semangat, motivasi, masukan dan pengarahan, serta membantu selama penelitian sampai terselesaikannya penulisan tugas akhir ini.
6. Bapak/Ibu dosen khususnya Program Studi Kimia, pegawai serta seluruh civitas akademik Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang yang telah banyak membantu dan memberikan ilmunya kepada penulis selama kuliah.
7. Kedua Orang tua tercinta, Ayahanda Nur Alim Tamrin dan Ibunda Rr. Uning Wulansih yang selalu mendo'akan, memberikan curahan kasih sayang tak terhingga, dukungan, pengorbanan yang luar biasa baik dari segi moril dan materil yang tidak terbatas kepada penulis.
8. Saudara kandungku Ahmad mamduh dan Ahmad Zufar yang senantiasa memberikan dukungan dan semangatnya kepada penulis.

9. PLP Laboratorium Kimia Ibu Anita Karunia Z, S.Si dan asisten Laboratorium Kimia yang telah banyak mendampingi selama penulis melakukan penelitian.
10. Teman-teman kimia 2015 yang telah memberi motivasi dan doa serta pelajaran hidup yang berharga.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dan bimbingan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan. Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan mendapat ridhonya. *Aamiin yaa Robbal Aalamiin.*

Semarang, 21 Oktober 2019

Penulis,



Nabila Athiyatul Maula

NIM. 1508036005

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN	iii
NOTA DINAS	iv
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	10
C. Tujuan Penelitian	11
D. Manfaat Penelitian	11
BAB II	12
A. LANDASAN TEORI	12
1. Logam Kromium (Cr)	12
2. Adsorpsi	18
3. Zeolit	22
4. Dealuminasi dan Desilikasi	25
5. <i>Manganese Oxide-Coated Zeolite (MOCZ)</i>	31

6.	Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)	35
7.	<i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	38
8.	<i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF)	43
B.	KAJIAN PUSTAKA	48
BAB III	.....	53
A.	Alat dan Bahan.....	53
1.	Alat.....	53
2.	Bahan	53
B.	Cara Kerja	54
1.	Sintesis Manganese Oxide Coated-Zeolite (MOCZ) .	54
2.	Penentuan Kondisi Optimum.....	56
BAB IV	.....	58
1.	Sintesis <i>Manganese Oxide-Coated Zeolite</i> (MOCZ).....	58
2.	Karakterisasi Zeolit dan HOZ (Zeolit Terdealuminasi dan Terdesilikasi) menggunakan XRF.....	61
3.	Karakterisasi <i>Manganese Oxide - Coated Zeolite</i> (MOCZ) menggunakan <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	63
4.	Optimasi Penyerapan Ion logam Cr oleh MOCZ.....	67
5.	Kinetika Adsorpsi	73
BAB V	.....	78
A.	Kesimpulan	78
B.	Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA	.....	79
LAMPIRAN-LAMPIRAN	.....	87
RIWAYAT HIDUP	.....	102

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Dasar Kromium dan Kelimpahan Alaminya	14
Tabel 2.2	Contoh Senyawa Kromium dengan Bilangan Oksidasi +3 dan +6	17
Tabel 4.1	Presentase Silika dan Alumina dan Rasio Si/Al pada Zeolit Alam, Zeolit Dealuminasi dan Zeolit Dealuminasi-Desilikasi	63
Tabel 4.2	Data Awal Adsorpsi	67
Tabel 4.3	Parameter Kinetika	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Logam Kromium	12
Gambar 2.2	Dasar Adsorpsi	20
Gambar 2.3	Zeolit	23
Gambar 2.4	Kerangka Tertahedral Zeolit	24
Gambar 2.5	Instrumentasi AAS	38
Gambar 2.6	<i>Hollow Cathode Lamp</i> (Lampu HCL)	38
Gambar 2.7	Ilustrasi XRD	40
Gambar 2.8	Komponen Utama pada XRD	42
Gambar 2.9	Instrumen XRF dan Bagian-bagiannya	47
Gambar 4.1	Proses Desilikasi	60
Gambar 4.2	<i>Manganese Oxide - Coated Zeolite</i> (MOCZ)	61
Gambar 4.3	XRF Zeolit Alam, Zeolit Dealuminasi dan Zeolit Dealuminasi-Desilikasi	62
Gambar 4.4	Difraktogram XRD Zeolit, HOZ dan MOCZ	64
Gambar 4.5	Grafik Pengaruh pH Terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Cr	69
Gambar 4.6	Diagram Eh-pH untuk Sistem Cr-O ₂ -H ₂ O, dengan Asumsi Bahwa Konsentrasi $\sum \text{Cr} = 10^{-6} \text{ mol kg}^{-1}$ pada Batas Padat / Cair	70
Gambar 4.7	Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Cr	72
Gambar 4.8	Kurva Pseudo Orde Satu	75
Gambar 4.9	Kurva Pseudo Orde Dua	76

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Skema Kerja
Lampiran 2	Data Hasil Percobaan
Lampiran 3	Perhitungan Analisis Data
Lampiran 4	Dokumentasi Penelitian

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan industri yang cepat dan luas tentu akan menghasilkan apa yang disebut dengan limbah industri sebagai hasil samping, salah satunya adalah meningkatnya jumlah logam di lingkungan. Logam-logam tersebut sebetulnya sangat penting untuk mempertahankan berbagai fungsi biokimia dan fisiologis dalam organisme hidup ketika dalam konsentrasi yang sangat rendah, namun mereka menjadi berbahaya ketika logam-logam tersebut melebihi konsentrasi ambang batas tertentu (Jaishankar dkk., 2014). Konsentrasi yang melebihi ambang batas tentu mengkhawatirkan karena toksisitas logam berat telah terbukti menjadi ancaman utama dan ada beberapa risiko kesehatan yang mengintai. Beberapa logam memiliki sifat karsinogenik (pembentuk kanker) maupun teratogenik (Perkembangan tidak normal dari sel selama kehamilan yang menyebabkan kerusakan pada embrio atau cacat bawaan). Berdasarkan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), logam-logam yang dapat membahayakan diantaranya aluminium, mangan, besi, kobalt, nikel, tembaga, seng, kadmium, merkuri, timah dan kromium.

Kromium (Cr) adalah logam yang ditemukan secara alami di kerak bumi dalam bentuk bijih kromit. Kromium termasuk dalam logam transisi dan masuk golongan VIB dalam tabel periodik sebagai elemen pertama grup. Kromium memiliki berbagai bilangan oksidasi mulai dari Cr (II) ke Cr (VI). Diantara bilangan-bilangan ini, Cr (III) dan Cr (VI) menjadi yang paling umum dan sangat stabil. Secara alami, Cr ditemukan di semua jenis komponen lingkungan termasuk udara, air, dan tanah tetapi dalam jumlah sedikit (Jobby dkk., 2018). Kromium heksavalen Cr (VI) biasa ditemukan dalam limbah industri elektroplating, penyamakan kulit, semen, penambangan, tekstil, pupuk dan fotografi. Logam ini menjadi masalah yang mengancam kesehatan lingkungan dan masyarakat.

Kromium heksavalen telah dilaporkan beracun bagi hewan dan manusia dan diketahui bersifat karsinogenik (Khare dkk., 2018). Kromium heksavalen Cr (VI) menjadi karsinogen golongan 1 yang diklasifikasikan dengan mekanisme kompleks multipel yang menjadi pemicu perkembangan kanker. Peningkatan tingkat stres oksidatif, kerusakan kromosom, dan pembentukan adduksi DNA adalah beberapa mekanisme utama dimana Cr (VI) dapat menyebabkan kerusakan sel (DesMarias & Costa, 2019).

Konsentrasi logam Cr (VI) dalam air limbah industri berkisar 0,5 hingga 270.000 mg/L. Batas toleransi logam Cr (VI) untuk pembuangan ke perairan darat adalah 0,1 mg/L dan dalam air minum adalah 0,05 mg/ (Shrivastava & Gupta, 2015). Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor. 51/MENLH/10/1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, batas maksimal krom total (Cr) yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan adalah 2,0 mg/L. Beberapa penelitian juga telah menunjukkan bahwa senyawa Cr (VI) dapat meningkatkan risiko kanker paru-paru, hidung tersumbat dan iritasi kulit (Khare dkk., 2018).

Sejumlah metode pengolahan untuk menghilangkan ion logam dari larutan berair telah dilaporkan terutama menggunakan metode reduksi, pertukaran ion, elektrodialisis, pengendapan elektrokimia, penguapan, ekstraksi pelarut, reverse osmosis, presipitasi kimia, dan adsorpsi. Sebagian besar metode ini memiliki kekurangan seperti modal dan biaya operasional yang tinggi atau masalah pembuangan lumpur logam residu (Shrivastava & Gupta, 2015). Metode adsorpsi dianggap sebagai metode yang efisien, hemat biaya, dan serbaguna untuk menghilangkan ion Cr (VI) (Qusti, 2014) .

Adsorpsi merupakan proses fisik-kimiawi dimana adsorbat, dalam hal ini pencemar, terakumulasi di permukaan padatan yang disebut adsorben. Proses adsorpsi cocok untuk air limbah dengan logam konsentrasi rendah dan industri dengan keterbatasan biaya (Yuan & Liu, 2013). Menurut Widayatno dkk (2017) adsorpsi adalah suatu fenomena permukaan karena akumulasi suatu spesies pada batas permukaan padat-cair. Adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik-menarik di permukaan zat padat. Kinerja adsorpsi dari adsorben tergantung pada luas permukaan spesifik yang tinggi dan juga gugus fungsi aktif seperti gugus karboksil atau hidroksil pada permukaan adsorben (Tan dkk., 2019).

Huang dkk (2017) menjelaskan bahwa metode adsorpsi dianggap sebagai teknik yang efektif karena sifat-sifat operasi yang sederhana, berbiaya rendah, dan efisiensi yang tinggi pada rentang konsentrasi polutan yang luas. Adsorben yang digunakan untuk pengolahan air dapat berasal dari alam atau hasil dari produksi industri ataupun melalui proses aktivasi. Adsorben alami yang khas adalah mineral lempung, zeolit alam, oksida, atau biopolimer. Salah satu bahan yang berpotensi besar sebagai adsorben adalah zeolit, dimana zeolit memiliki luas

permukaan yang besar, biaya rendah serta bahan yang mudah di dapat (Samarghandi, 2015).

Zeolit adalah padatan kristal mikroporous dengan struktur yang terdefinisi dengan baik. Umumnya mengandung silikon, aluminium dan oksigen dalam kerangka ataupun kation, air dan molekul lain di dalam pori-pori mereka (Nouh, 2015). Beberapa tempat di Indonesia yang ditemukan keberadaan zeolit diantaranya di kota Bogor, Kab. Lebak, Kab. Sukabumi, Kab. Tasikmalaya, Kab. Wonosobo, Kab. Kulon Progo, kab. Ponorogo, Kab. Malang, Kab. Blitar, Kab. Pacitan, dan Kab. Ende (Sukandarrumidi, 2016). Afinitas yang kuat dari zeolit untuk unsur-unsur beracun dan berbahaya menjadikan zeolit sebagai adsorben atau penukar ion untuk pemurnian limbah cair (Nouh, 2015). Selain itu, Struktur kristal alumina silika dengan rongga-rongga yang berisi ion-ion juga menjadi potensi besar zeolit sebagai adsorben (Aidha, 2013).

Meskipun zeolit memiliki aplikasi yang luas, zeolit alam memiliki keterbatasan karena pengotor yang tidak diinginkan dalam strukturnya, dan sifat-sifatnya yang tidak dioptimalkan oleh alam (Nurliati dkk., 2015). Selain itu zeolit alam juga memiliki komposisi yang beragam serta

kristalinitasnya yang kurang baik yang akan mengurangi fungsinya sebagai adsorben (Atikah, 2017)

Beberapa teknik telah digunakan untuk meningkatkan aksesibilitas situs aktif zeolit yang terletak di dalam kristal zeolit. Salah satu pendekatan yang paling umum untuk meningkatkan aksesibilitas situs aktif untuk bereaksi molekul adalah desain zeolit hirarkis (Peron dkk., 2019), yakni zeolit yang mengandung mikroporositas dan mesoporitas / makroporositas karena potensinya untuk meningkatkan transfer massa dan aksesibilitas molekuler, yang merupakan kunci untuk mengatasi keterbatasan sterik, difusi, dan pembentukan kokas dalam reaksi katalitik (Bai dkk., 2019).

Jaringan zeolit hirarkis yang luas dan mesopori dapat secara signifikan memfasilitasi distribusi molekul dan produk yang bereaksi. Ada dua pendekatan utama untuk mendapatkan zeolit hirarkis yakni metode “bottom-up” dan “top-down”. Modifikasi zeolit pasca-sintesis “top-down” dapat melibatkan dealuminasi dan desilikasi (Peron dkk., 2019). Dealuminasi dan desilikasi umumnya digunakan untuk mengubah sifat zeolit alam seperti rasio Si / Al, keasaman, dan ukuran pori tersebut (Nurliati dkk., 2015).

Dealuminasi adalah proses di mana kerangka atom aluminium dihilangkan tanpa menghancurkan struktur mikroporinya (Nurliati dkk., 2015). Tujuan dealuminasi adalah untuk memodifikasi rasio Si / Al dalam kerangka zeolit dan keasaman zeolit, sedangkan struktur mesopori zeolit dapat dipengaruhi hingga tingkat variabel tergantung pada kondisi perlakuannya (Peron dkk., 2019).

Proses desilikasi terjadi di mana atom silikon yang dihilangkan, mengikuti pola yang sama seperti dealuminasi. Perbedaannya terletak pada penggunaan larutan alkali untuk metode *leaching*. Desilikasi dapat menyebabkan mesoporositas pada zeolit melalui perlakuan menggunakan alkali (Nurliati dkk., 2015).

Baru-baru ini, kombinasi teknik dealuminasi dan desilikasi telah digunakan untuk memodifikasi zeolit, dealuminasi dan desilikasi dapat digunakan sebagai metode pelengkap untuk mengontrol keasaman zeolit, untuk menciptakan porositas dan untuk meningkatkan sifat transportasi pada zeolit (Peron dkk., 2019).

Selain itu, kemampuan yang kuat untuk pertukaran ion dan adsorpsi pada zeolit dikarenakan oleh kerangka pori tetrahedral khusus mereka yang menjadikan zeolit sebagai salah satu substrat yang biasa digunakan dalam pengolahan air. Terlebih, logam oksida yang dilapiskan

dengan zeolit, seperti oksida hidrat besi (*hydrous ferric oxides*), aluminium oksida, (*aluminum oxides*), oksida mangan (*manganese oxides*) dll, dievaluasi secara luas (Pu Li, 2017). Beberapa metode telah diterapkan untuk meningkatkan performa adsorpsi dari zeolit (kapasitas adsorpsi, kekuatan mekanik, dan ketahanan terhadap lingkungan kimia), yakni dengan memodifikasi zeolit baik dengan reaksi fisika maupun reaksi kimia salah satunya adalah dengan pelapisan oksida logam terhadap zeolit.

Bentuk oksida dan hidroksida dari logam transisi telah digunakan sebagai adsorben karena area permukaan yang baik terhadap beberapa logam berat. Oksida ini mungkin ada dalam bentuk koloid atau dalam bentuk non-materi dalam larutan berair yang memberikan area permukaan besar untuk adsorpsi (Chaundry dkk., 2016). Menurut Suriadi dkk pada tahun 2016, salah satu jenis senyawa oksida yang sering digunakan untuk remediasi air dari logam berat dan limbah bukan logam adalah mangan dioksida (MnO_2).

MnO_2 sebagai adsorben unik dimana merupakan oksida asam yang memiliki muatan permukaan negatif dalam kisaran pH normal air yang dapat menarik ion logam berat bermuatan positif (Chaundry dkk., 2016). Tetapi oksida mangan tidak mudah ditangani dan sangat sulit

untuk memisahkannya dari fase air karena ukuran partikelnya yang halus juga dari sudut pandang ekonomi, tidak baik menggunakan oksida mangan hanya sebagai media filter. Pelapisan oksida mangan ke permukaan zeolit dikembangkan dalam hal ini untuk mengatasi masalah menggunakan oksida mangan murni dan untuk meningkatkan efisiensi penghapusan ion logam oleh zeolit (Nouh, 2015).

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Irannajad dkk pada tahun 2017, untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi adsorben sejumlah klinoptilolit Iran (salah satu jenis zeolit alam) dikonversi menjadi *Manganese oxide-coated zeolite* (MOCZ) menggunakan variasi larutan Mn. Sejumlah variabel dipelajari seperti konsentrasi logam, pH, waktu kontak dan suhu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorpsi MOCZ terhadap ion Pb^{2+} lebih spontan dari pada ion Co^{2+} dan Ni^{2+} . Adsorpsi ion terhadap MOCZ adalah reaksi endotermik, Investigasi model adsorpsi menunjukkan bahwa adsorpsi Pb^{2+} , Co^{2+} dan Ni^{2+} mengikuti model Langmuir dan Freundlich, sedangkan studi kinetika menunjukkan adsorpsi Pb^{2+} , Co^{2+} dan Ni^{2+} mengikuti pseudo-orde kedua dengan koefisien korelasi yang tinggi.

Beberapa penelitian terdahulu mengenai *Manganese oxide-coated zeolite* (MOCZ) belum ada yang memberikan perlakuan awal terhadap zeolit untuk membentuk desain zeolit hirarkis. Pendekatan “top-down” melalui dealuminasi dan desilikasi diharapkan dapat memodifikasi zeolit melalui pembentukan mesopori, kristalinitas, dan keasaman seimbang terbaik sebelum dilakukan *coating mangan-oxide* terhadap zeolit. Lebih lanjut penelitian ini mengarahkan aplikasi MOCZ yang terbentuk terhadap ion logam kromium heksavalen Cr (VI) yang sebelumnya juga belum pernah dilakukan terhadap MOCZ. Melalui latar belakang yang telah dipaparkan bahwa zeolit yang terlapis oksida mangan berpotensi baik sebagai adsorben yang efektif terhadap logam berat salah satunya adalah ion logam Cr (VI) maka dilakukan penelitian **“Adsorpsi Ion Logam Kromium Heksavalen Cr (VI) dalam Larutan menggunakan Zeolit Berlapis Oksida-Mangan (MnO₂)”**.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik dari MOCZ yang disintesis ?
2. Bagaimana studi kinetika dan model adsorpsi dari MOCZ yang disintesis?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui karakteristik dari MOCZ yang disintesis
2. Untuk mengetahui studi kinetika dan model adsorpsi dari MOCZ yang disintesis

D. Manfaat Penelitian

1. Memberikan pengetahuan mengenai keefektifan MOCZ sebagai adsorben ion logam Cr dalam larutan.
2. Memberikan partisipasi dan kontribusi terhadap perkembangan keilmuan sains dan agama terutama dalam bidang kimia,
3. Sebagai bentuk aplikasi ilmu yang diperoleh penulis selama perkuliahan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan penelitian saat ini.
4. Memberikan informasi kepada masyarakat mengenai zeolit yang merupakan salah satu sumber kekayaan alam yang berada di Indonesia.

BAB II

LANDASAN TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA

A. LANDASAN TEORI

1. Logam Kromium (Cr)



Gambar 2.1. Logam Kromium

Sumber : <https://id.wikipedia.org/wiki/Kromium>

Kromium adalah mineral paling berlimpah di kerak bumi. Cr memiliki nomor atom 24 dalam tabel periodik dan memiliki massa atom relatif 51,996 dan memiliki keadaan oksidasi mulai dari -2 hingga +6. Tetapi dalam lingkungan Cr sebagian besar stabil dalam bentuk trivalen dan heksavalen. Cr yang hadir dalam keadaan oksidasi 0 secara biologis bersifat inert dan tidak secara alami hadir dalam kerak bumi, sementara Cr (III) dan Cr (VI) berasal dari industri. Kromium dapat tersedia dalam bentuk sebagai halida, oksida dan sulfida. Keadaan oksidasi +2 dari kromium bersifat tidak stabil dan dapat dengan mudah dioksidasi

menjadi bentuk +3 di hadapan udara (Shekhawat dkk., 2015). Secara alami, Cr ditemukan di semua jenis komponen lingkungan termasuk udara, air, dan tanah tetapi dalam jumlah sedikit (Jobby dkk., 2018). Kromium juga termasuk dalam kelompok logam tahan api, yang terdiri dari semua logam dengan titik lebur lebih tinggi dari platinum ($1,772^{\circ}\text{C}$) (Lunk, 2015).

Logam berat Kromium dalam suatu perairan berasal dari alam dalam jumlah yang sangat kecil seperti proses pelapukan batuan dan *run-off* dari daratan, namun logam berat kromium dapat meningkat dalam jumlah yang besar diakibatkan oleh kegiatan manusia seperti kegiatan industri, limbah rumah tangga dan kegiatan lainnya (Nuraini dkk., 2017).

Kromium yang terbentuk secara alami terdiri dari tiga isotop stabil ^{52}Cr , ^{53}Cr dan ^{54}Cr dengan ^{52}Cr yang paling melimpah (83,8%). 19 radioisotop telah dikarakterisasi dengan yang paling stabil adalah ^{50}Cr dengan waktu paruh lebih dari $1,8 \times 10^{17}$ tahun dan ^{51}Cr dengan waktu paruh 27,7 hari. Semua isotop radioaktif yang tersisa memiliki waktu paruh kurang dari 24 jam dan sebagian besar memiliki waktu paruh yang kurang dari 1 menit. ^{53}Cr adalah produk peluruhan radiogenik

dari ^{53}Mn . Konten isotop kromium biasanya dikombinasikan dengan konten isotop mangan dan telah menemukan aplikasi dalam geologi isotop. Adapun Sifat dasar kromium dan kelimpahan alaminya sebagai berikut :

Tabel 2.1. Sifat dasar kromium dan kelimpahan alaminya

Kromium dalam Tabel Periodik	Sifat Atom	Sifat Fisika	Kelimpahan Alami dalam(%)
Nomor atom 24	Elektronegativitas (skala pauling) 1,66	Struktur kristal	Lautan 6×10^{-8}
Masa molar 51,9961 g mol ⁻¹	Energi ionisasi (KJ mol ⁻¹)	Body-centered cubic (bcc)	Manusia 3×10^{-6}
Golongan 6, Periode 4	1 st : 652,9	Parameter sel a : 291 pm	Alam semesta $1,5 \times 10^{-3}$
Konfigurasi elektron 1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁶ 3d ⁵ 4s ¹	2 nd : 1590,6	Titik leleh 1907 °C	Matahari 2×10^{-3}

	3 rd : 2987	Titik didih 2671 °C	Kerak bumi 1,4 x 10 ⁻²
	Jari-jari atom 128 pm	Masa jenis 7,19 g cm ⁻¹	Meteorit 3 x 10 ⁻¹
	Jari-jari kovalen 139±5 pm	Panas fusi 21,0 KJ mol ⁻¹	Cr : Mo : W = 100 : 1 : 1
		Panas penguapan 347 KJ mol ⁻¹	
		Kapasitas panas molar 23,35 J mol ⁻¹ K ⁻¹	





(Lunk, 2015)

Kromium (Cr) adalah elemen ketujuh yang paling berlimpah yang ada terutama di dua bilangan oksidasi stabil *trivalent chromium* (Cr (III)) dan *hexavalent chromium* (Cr (VI)). Logam kromium banyak ditemukan terutama pada produksi air limbah dalam peleburan logam, pelapisan logam, penyamakan, metalurgi dan industri zat warna. Sifat biologis dan kimia Cr (III) dan Cr (VI) berbeda secara signifikan. Senyawa Cr (VI) sekitar 100 kali lebih beracun daripada Cr (III) karena kelarutan dalam air yang

tinggi, mobilitas, penetrasi yang mudah, oksidasi, dan karsinogenesis (Ren dkk., 2019). Cr^{3+} adalah elemen penting dalam makanan manusia yang diperlukan untuk mempotensiasi insulin dan untuk metabolisme glukosa normal. Sifat kromium (VI) yang persisten membuatnya berakumulasi dalam rantai makanan dan mencapai tingkat yang berbahaya sebagai akibatnya menyebabkan bahaya kesehatan yang serius seperti iritasi pada paru-paru dan lambung, kanker pada saluran pencernaan, tingkat pertumbuhan yang rendah pada tanaman dan kematian hewan (Kumar & Chaucan, 2019). Kromium heksavalen menjadi karsinogen golongan 1 yang diklasifikasikan dengan mekanisme kompleks multipel yang menjadi pemicu perkembangan kanker. Peningkatan tingkat stres oksidatif (jumlah radikal bebas yang melebihi kapasitas tubuh untuk menetralkannya sehingga proses oksidasi sel-sel tubuh normal menjadi semakin tinggi dan menimbulkan kerusakan yang lebih banyak), kerusakan kromosom, dan pembentukan adduksi DNA (sepotong DNA yang secara kovalen berikatan dengan bahan kimia seperti safrole, benzopyrenediol epoxide, acetaldehyde dimana proses ini bisa menjadi awal dari sel kanker (Rajalakshmi dkk., 2015)) adalah beberapa

mekanisme utama dimana Cr (VI) menyebabkan kerusakan sel (DesMarias & Costa, 2019). Adapun contoh dari senyawa kromium dengan bilangan oksidasi +3 dan +6 adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 Contoh Senyawa Kromium dengan Bilangan Oksidasi +3 dan +6

Keadaan Oksidasi	Senyawa	Sampel
+3	CrCl ₃ Chromium(III) chloride	
	[CrCl ₂ (OH ₂) ₄]Cl.2H ₂ O Dichlorotetraaquachromium(III) chloride dehydrate	
+6	K ₂ CrO ₄ potassium monochromate	
	K ₂ Cr ₂ O ₇ Potassium dichromate	

Konsentrasi kromium dalam air limbah industri berkisar 0,5 hingga 270.000 mg/L. Batas toleransi untuk Cr (VI) untuk pembuangan ke perairan permukaan daratan adalah 0,1 mg / L dan dalam air minum adalah 0,05 mg/L. Untuk memenuhi batasan

ini, penting bahwa industri memperlakukan limbah mereka untuk mengurangi Cr (VI) ke tingkat yang dapat diterima. Sejumlah metode pengolahan untuk menghilangkan ion logam dari larutan berair telah dilaporkan, terutama reduksi, pertukaran ion, elektrodialisis, pengendapan elektrokimia, penguapan, ekstraksi pelarut, reverse osmosis, presipitasi kimia, dan adsorpsi (Shrivastava & Gupta, 2015).

2. Adsorpsi

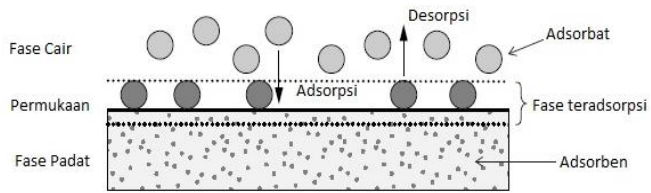
Metode adsorpsi merupakan salah satu metode yang paling banyak digunakan untuk mengeliminir pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh kehadiran logam-logam. Metode ini dipilih karena memiliki keuntungan dibanding metode yang lain karena melibatkan instrumentasi yang paling canggih dengan pengoperasian yang mudah dan dapat dioperasikan dengan berbagai adsorben. Desain sederhana, tidak beracun, ramah lingkungan, adsorben rendah biaya, biaya perawatan dan kondisi ringan adalah kriteria untuk pemilihan mode terbaik dan adsorben (chaundry dkk., 2016).

Metode adsorpsi secara dasar menggunakan adsorben untuk menyerap adsorbat yang berupa ion logam. Adsorben yang digunakan dapat berupa

adsorben organik maupun adsorben anorganik. Masing-masing jenis adsorben memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing sehingga pemilihan adsorben sangat penting dalam proses adsorpsi ion logam (Lesbani dkk., 2012).

Adsorpsi adalah proses transfer fase yang banyak digunakan untuk menghilangkan zat dari fase fluida (gas atau cairan). Permukaan zat padat dicirikan oleh situs aktif dan kaya energi yang mampu berinteraksi dengan zat terlarut dalam fase air yang berdekatan karena sifat elektronik dan spasialnya yang spesifik. Biasanya, situs aktif memiliki energi yang berbeda, atau dengan kata lain permukaannya heterogen (Worch, 2012).

Proses adsorpsi terjadi pada permukaan yang menghubungkan dua buah fasa yang didalamnya terdapat gaya kohesif termasuk gaya hidrostatis dan gaya ikatan hidrogen yang bekerja diantara molekul seluruh material. Gaya-gaya yang tidak seimbang pada batas fasa tersebut menyebabkan perubahan-perubahan konsentrasi molekul pada interface solid/fluida. Proses adsorpsi melibatkan pemisahan sebuah zat dari suatu fase yang diikuti oleh akumulasi pada permukaan zat yang lain (Sakti , 2014).



Gambar 2.2. Dasar Adsorpsi

Sumber : Worch, E, 2012

Bahan padat yang menyediakan permukaan untuk adsorpsi disebut sebagai adsorben, spesies yang akan diadsorpsi diberi nama adsorbat. Spesies yang teradsorpsi dapat dilepaskan dari permukaan dan dipindahkan kembali ke fase cair dengan mengubah sifat fase cair (misalnya. Konsentrasi, suhu, pH). Proses terbalik ini disebut sebagai desorpsi (Worch, 2012). Jika fenomena adsorpsi disebabkan terutama oleh gaya Van der Waals dan gaya hidrostatis antara molekul adsorbat dan atom yang membentuk permukaan adsorben tanpa adanya ikatan kimia maka disebut adsorpsi fisika. Dan jika terjadi interaksi secara kimia antara adsorbat dan adsorben maka fenomenanya disebut adsorpsi kimia. Adsorpsi adalah proses eksotermis yang diikuti oleh adanya pelepasan panas (Sakti, 2014).

Adsorpsi adalah proses permukaan oleh sebab itu luas permukaan adsorben menjadi sangat penting dan merupakan parameter kualitas utama dari adsorben. Secara umum, adsorben alami memiliki luas permukaan yang jauh lebih kecil daripada adsorben rekayasa berpori tinggi. Prasyarat untuk area permukaan yang tinggi adalah porositas material yang tinggi sehingga memungkinkan permukaan internal yang besar dibentuk oleh dinding pori. Permukaan internal adsorben rekayasa jauh lebih besar dari permukaan partikel eksternal mereka. Sebagai aturan, semakin besar sistem pori dan semakin besar pori-pori, semakin tinggi permukaan internal. Di sisi lain, fraksi tertentu dari pori-pori yang lebih besar diperlukan untuk memungkinkan pengangkutan yang cepat menyerap ke situs adsorpsi. Oleh karena itu, distribusi ukuran pori merupakan aspek kualitas penting selanjutnya. Selain tekstur, kimia permukaan mungkin juga menarik, khususnya untuk proses kemisorpsi (Worch, 2012).

Adsorben yang digunakan untuk pengolahan air dapat berasal dari alam atau hasil dari produksi industri ataupun melalui proses aktivasi. Adsorben alami yang khas adalah mineral lempung, zeolit alam,

oksida, atau biopolimer. Adsorben yang direkayasa dapat diklasifikasikan menjadi adsorben yang mengandung karbon, adsorben polimer, adsorben oksida, dan saringan molekuler zeolit. Karbon aktif yang dihasilkan dari bahan berkarbon melalui aktivasi kimia atau aktivasi gas adalah adsorben yang paling banyak digunakan dalam pengolahan air. Adsorben polimer yang dibuat dengan kopolimerisasi monomer nonpolar atau lemah menunjukkan sifat adsorpsi yang sebanding dengan karbon aktif, tetapi biaya bahan yang tinggi dan regenerasi yang mahal telah mencegah aplikasi yang lebih luas hingga saat ini. Oksida dan zeolit adalah adsorben dengan sifat permukaan hidrofilik yang lebih kuat. Penghapusan senyawa polar, khususnya ionik, merupakan bidang aplikasi yang disukai (Worch, 2012).

3. Zeolit



Gambar 2.3. Zeolit

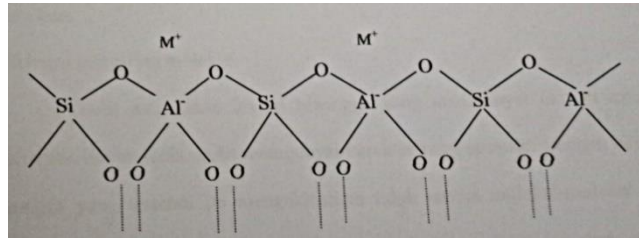
Sumber : idonesian.alibaba.com

Mineral zeolit terbentuk dari reaksi antara debu vulkanis dan air garam. Disamping itu ada juga beberapa jenis zeolit yang dihasilkan dari *metamorphose* batuan yang terdapat dilaut. Mineral alam zeolit yang merupakan senyawa alumino-silikat dengan struktur sangkar terdapat di Indonesia seperti di Bayah, Banten, Cikalong, Tasikmalaya, Cikembar, Sukabumi, Nanggung, Bogor dan Lampung dalam jumlah besar dengan bentuk hampir murni dan harga murah (Arum, 2015).

Zeolit merupakan senyawa alumino silikat hidrat terhidrasi dari logam alkali dan alkali tanah (terutama Ca dan Na), dengan rumus umum $L_m Al_x Si_y O_2 n H_2O$ (L=Logam). Sifat umum dari zeolit adalah merupakan kristal yang agak lunak, berat jenis 2-2,4, warna putih coklat atau kebiru-biruan. Kristalnya berwujud dalam struktur tiga dimensi yang tak terbatas dan mempunyai rongga-rongga yang berhubungan dengan yang lain membentuk saluran ke segala arah dengan ukuran saluran tergantung dari garis tengah logam alkali atau alkali tanah yang terdapat pada strukturnya. Di dalam saluran tersebut akan terisi oleh air yang disebut air kristal. Air kristal ini mudah dilepas dengan melakukan pemanasan. Mudah melakukan pertukaran

ion-ion dari logam alkali atau alkali tanah dengan ion-ion elemen lain (Sukandarrumidi, 2016).

Zeolit merupakan mineral berpori alami di mana substitusi parsial Si^{4+} oleh Al^{3+} menghasilkan kelebihan muatan negatif yang dikompensasi oleh kation alkali dan alkali tanah (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} atau Mg^{2+}) (Mohammadreza & Maryam, 2014).



Gambar 2.4. Kerangka tetrahedral zeolit

Karakteristik fisikokimia yang besar pada zeolit seperti stabilitas kimia yang baik, kapasitas adsorpsi yang besar dan sejumlah besar partikel yang seragam, zeolit memiliki potensi besar untuk menjadi adsorben alami alternatif untuk menghilangkan logam berat (Lyu dkk., 2017). Afinitas yang kuat dari zeolit untuk unsur-unsur beracun dan bermasalah juga menjadikan zeolit digunakan sebagai adsorben atau penukar ion untuk pemurnian limbah cair (Nouh dkk., 2015). Zeolit, sebagai bahan yang murah dan mudah didapat, memiliki karakteristik luas permukaan yang besar,

kemampuan yang kuat untuk pertukaran ion dan adsorpsi karena kerangka pori tetrahedral khusus mereka, yang merupakan salah satu substrat yang biasa digunakan dalam pengolahan air. Terutama, logam oksida yang memuat zeolit, seperti hidro besi oksida, aluminium oksida, oksida mangan, dll., telah dievaluasi secara luas (Pu Li dkk., 2017). Aktivasi zeolit alam, menggunakan berbagai pereaksi kimia, dilakukan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi mineral alami.

4. Dealuminasi dan Desilikasi

Zeolit mempunyai kegunaan yang luas diantaranya dalam bidang agrikultura, hortikultura, rumah tangga, industri, pengolahan air dan pengolahan air limbah. Kaitannya dalam bidang industri dan pengolahan air dan limbah, zeolit digunakan sebagai adsorben, pengemban katalis dan penghilang logam berat (Atikah, 2017). Manfaat zeolit untuk banyak aplikasi industri muncul disebabkan oleh struktur kristalnya yang teratur, luas permukaan yang tinggi, porositas yang dikembangkan, stabilitas tinggi, keasaman intrinsik dan kesempatan untuk memperkenalkan fungsi seperti kation logam, kluster logam, kompleks organik atau enzim (Peron dkk., 2019).

Meskipun aplikasinya yang luas, zeolit alam memiliki keterbatasan karena pengotor yang tidak diinginkan dalam strukturnya, dan sifat-sifatnya yang tidak dioptimalkan oleh alam. Keterbatasan ini dapat diatasi dengan modifikasi struktur zeolit alam (Nurliati dkk., 2015).

Beberapa teknik telah digunakan untuk meningkatkan aksesibilitas situs aktif zeolit yang terletak di dalam kristal zeolit. Salah satu pendekatan yang paling umum untuk meningkatkan aksesibilitas situs aktif untuk bereaksi molekul adalah desain zeolit hirarkis. Selain jaringan mikro biasa, zeolit hierarkis mengandung volume mesopori yang signifikan. Jaringan zeolit hirarkis yang luas dan mesopori dapat secara signifikan memfasilitasi distribusi molekul dan produk yang bereaksi. Ada dua pendekatan utama untuk mendapatkan zeolit hierarkis, yang pertama disebut "bottom-up" atau strategi *templating* (metode cetak) dan yang kedua adalah strategi "top-down". Strategi *templating* dilakukan dengan menggunakan suatu mesoporogen, agen pengarah mesopori, sehingga pada kristal zeolit akan tercetak porositas tambahan dengan ukuran meso dan atau makro. Mesoporogen yang digunakan dapat dihilangkan

melalui proses kalsinasi. Metode cetak untuk sintesis zeolit hirarkis terbagi kedalam dua jenis, yaitu cetak lunak (*softtemplating*) dan cetak keras (*hard-templating*) (Kadja dkk., 2013). Sedangkan strategi "top-down" alternatif membahas modifikasi kimia pasca-sintesis kristal zeolit dengan perlakuan dengan uap, asam atau bahan dasar. Perlakuan ini mengarah pada ekstraksi atom aluminium dan silikon dan modifikasi kerangka zeolit. Strategi "bottom-up" dan "top-down" untuk sintesis zeolit hierarkis memiliki kelebihan dan kekurangannya. Meskipun metode "bottom-up" umumnya menghasilkan zeolit mesopori yang lebih teratur, biaya tinggi pada metode *templating* dan kesulitan metodologi membatasi aplikasi skala besar dari metode *templating*, khususnya pada skala industri yang lebih besar. Menciptakan mesoporositas dalam material mikropori menggunakan metode "top-down" mengarah pada struktur mesopori yang lebih berantakan tetapi pada saat yang sama, memfasilitasi pembuatan zeolit hirarkis dalam jumlah yang lebih besar. Tantangan utama dalam desain zeolit hierarkis menggunakan metode "topdown" adalah menjaga kristalinitas dan mikropori zeolit yang tinggi selama pembuatan mesopori (Peron dkk., 2019). Modifikasi

zeolit pasca-sintesis top-down dapat melibatkan dealuminasi dan desilikasi (Peron dkk., 2019). Dealuminasi dan desilikasi umumnya digunakan untuk mengubah sifat zeolit alam seperti rasio Si / Al, keasaman, dan ukuran pori (Nurliati dkk., 2015).

Dealuminasi adalah proses di mana kerangka atom aluminium dihilangkan tanpa menghancurkan struktur mikroporinya. Hal ini dapat dicapai dengan hidrolisis ikatan Al-O-Si menggunakan dua metode umum, yaitu, perlakuan termal (umumnya dengan *steam*) atau pelindian asam (*acid leaching*). Dealuminasi mengubah rasio Si / Al dalam zeolit, sehingga mempengaruhi permukaan dan sifat asam zeolit (Nurliati dkk., 2015). Tujuan dealuminasi adalah untuk memodifikasi rasio Si / Al dalam kerangka zeolit dan keasaman zeolit, sedangkan struktur mesopori zeolit dapat dipengaruhi hingga tingkat variabel tergantung pada kondisi perlakuannya (Peron dkk., 2019).

Proses desilikasi, di mana atom silikon yang dihilangkan, mengikuti pola yang sama seperti dealuminasi seperti jenis cacat kisi dan pembentukan mesopori. Perbedaannya terletak pada penggunaan larutan alkali untuk metode *leaching*. Desilikasi dapat

menyebabkan mesoporositas pada zeolit melalui perlakuan menggunakan alkali (Nurliati dkk., 2015). Metode "desilikasi", yang secara istimewa mengekstraksi atom silikon dari kerangka zeolit, telah efisien untuk memperkenalkan mesopori tambahan, khususnya, ke dalam zeolit silika tinggi seperti ZSM-5, Beta dan mordenit. Selama desilikasi, atom-atom Al, yang dikeluarkan dari kerangka zeolit, selanjutnya dapat dimasukkan kembali ke dalam posisi tetrahedral dari dinding mesopori yang membentuk hidrosil asam. Ekstraksi atom silikon dari kerangka disertai dengan kerusakan sebagian dari struktur zeolit yang menghasilkan porositas tambahan, terutama dalam kisaran mesopori. Bergantung pada kondisi perawatan zeolit, dealuminasi atau desilikasi dapat menyebabkan perubahan signifikan pada sifat asam zeolit, seperti jumlah dan kekuatan situs asam Brønsted dan Lewis (Peron dkk., 2019) Baru-baru ini, kombinasi teknik dealuminasi dan desilikasi telah digunakan untuk memodifikasi zeolit melalui pembentukan mesopori (Nurliati dkk., 2015).

Dealuminasi dan desilikasi dapat digunakan sebagai metode pelengkap untuk mengontrol keasaman zeolit, untuk menciptakan porositas dan

untuk meningkatkan sifat transportasi. Di satu sisi, desilikasi mengarah pada perkembangan mesopori yang melimpah, sementara di sisi lain, dealuminasi menghilangkan spesies kaya aluminium, yang biasanya menunjukkan keasaman Brønsted yang lebih lemah, dan dapat mengakibatkan pembentukan kokas yang luas dan penyumbatan pori selama reaksi katalitik. Kombinasi desilikasi dan dealuminasi dapat mewakili strategi optimal untuk desain zeolit hierarkis dengan mesoporositas, kristalinitas, dan keasaman seimbang terbaik (Peron dkk., 2019). Perlakuan pasca-sintesis berdasarkan penghapusan preferensial aluminium (dealuminasi) atau silikon (desilikasi) dari struktur zeolitik dapat meninggalkan lowongan dengan ukuran urutan besarnya mesopori dan / atau makropori, tergantung pada intensitas perlakuannya (Silva dkk., 2019).

Beberapa literatur menunjukkan bahwa modifikasi zeolit dengan oksida mangan diperlukan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi secara signifikan ke tingkat yang lebih besar daripada mineral seperti montmorillonit (Irannajad & Haghghi, 2017), dimana *coating* tersebut yang menciptakan permukaan yang efektif untuk adsorpsi logam (Taffarel & Rubio, 2010)

5. *Manganese Oxide-Coated Zeolite (MOCZ)*

Logam oksida atau hidroksida seperti besi, aluminium, dan mangan digunakan dalam menghilangkan kontaminan dalam air limbah. Menurut (Suriadi, A dkk., 2016) menjelaskan bahwa salah satu jenis senyawa oksida yang sering digunakan untuk remediasi air dari logam berat dan limbah bukan logam adalah mangan dioksida

Adsorben dengan kemampuan adsorpsi yang tinggi diharapkan dapat diperoleh dengan melakukan modifikasi terhadap zeolit melalui pelapisan oksida mangan pada zeolit. Oksida Mangan berbiaya rendah, ramah lingkungan, dan stabil dengan struktur polinuklir dan banyak ion redoks-aktif. Selain itu, senyawa dapat muncul dalam berbagai macam bentuk dengan berbagai cacat, morfologi, porositas dan tekstur, masing-masing dengan berbagai sifat fisik dan kimia yang berguna dan menarik (Najafpour dkk., 2016).

Oksida mangan, terutama MnO_2 , ada dalam bentuk α , β , dan γ berada di berbagai tempat baik di tanah dan sedimen. Bentuk-bentuk MnO_2 ini menunjukkan interaksi tertentu dalam tanah dan sedimen yang membantu dalam mengatur mobilitas, bioavailabilitas

dan pengendalian kontaminan lingkungan melalui adsorpsi. Bentuk-bentuk oksida mangan sebagian besar terjadi sebagai nodul kecil atau pelapis pada permukaan tanah dan sedimen, memiliki luas permukaan yang besar, struktur berpori mikro dengan afinitas pembilasan tinggi untuk ion logam berat dari air (Chaundry dkk., 2017).

MnO_2 adalah adsorben yang unik, dimana merupakan oksida asam yang memiliki muatan permukaan negatif dalam kisaran pH normal air yang dapat menarik ion logam berat bermuatan positif. (Chaundry dkk., 2016). Oksida mangan efisien karena luas permukaannya yang besar dan afinitas yang tinggi untuk ion logam (seperti Pb (II), Cu (II), Cd (II), Zn (II) dan U (VI)) (Nouh, 2015). Oksida mangan juga memiliki rentang muatan permukaan, sifat polimorfik, ketersediaan alami, kemudahan persiapan dari reagen yang tersedia dalam skala besar, dan keramahan lingkungan, dengan demikian, banyak kelompok penelitian telah berfokus pada pengembangan MnO dan komposit berbasis mangan untuk pembersihan polutan lingkungan dari air limbah.

Namun, ada beberapa kelemahan yang dapat membatasi aplikasi potensial. Oksida mangan tidak

mudah ditangani dan sangat sulit untuk memisahkannya dari fase air karena ukuran partikelnya yang halus, juga, dari sudut pandang ekonomi, tidak baik menggunakan oksida mangan hanya sebagai media filter (Nouh dkk., 2015). Hasilnya, keefektifan mereka sebagai adsorben bisa menurun secara signifikan atau bahkan hilang. Oleh karena itu, untuk meningkatkan penerapannya dalam situasi pengolahan air limbah nyata, beberapa peneliti telah memodifikasi sifat fisik dan kimianya dengan menggabungkannya dengan bahan lain yang sesuai untuk menghasilkan adsorben komposit (Islam dkk., 2018), untuk meningkatkan efisiensi penghapusan ion logam oleh zeolit, metode modifikasi dari pelapisan oksida mangan ke permukaan zeolit dikembangkan (Nouh dkk., 2015). Banyak jenis bahan, seperti zeolit, bentonit, diatomit, pasir, resin, karbon aktif dan ampas teh digunakan sebagai pendukung untuk menstabilkan MnO_x dari aglomerasi, dan adsorben ini telah menunjukkan kapasitas adsorpsi yang luar biasa untuk ion logam (Tan dkk., 2019).

Modifikasi zeolit menggunakan oksida mangan diharapkan dapat mengatasi kesulitan pemisahan padatan dari larutan dan penggunaan oksida mangan

dalam keadaan murninya. Lebih lanjut Irannajad dkk (2017) menjelaskan bahwa mangan oksida murni sebagai media filter tidak digunakan karena alasan ekonomi dan karakteristik fisik, kimia dan operasi yang tidak menguntungkan. Oksida mangan dapat diimobilisasi pada permukaan adsorben yang menyediakan bahan (reaktif) yang efektif untuk menghilangkan adsorpsi logam berat dari air limbah salah satunya adalah melalui modifikasi zeolit menggunakan oksida mangan. Modifikasi zeolit menggunakan oksida mangan (MnO_x) mengarah pada pembentukan adsorben dengan sifat khusus untuk adsorpsi penghilangan logam berat dari larutan berair (Khashij dkk., 2019)

Penelitian yang dilakukan oleh (Irannajad dkk., 2017) menunjukkan bahwa zeolit alam yang dimodifikasi oleh oksida mangan lebih berpori daripada yang tidak dimodifikasi. Kapasitas MOCZeo dibandingkan dengan adsorben lain dan hasilnya menunjukkan bahwa penghilangan logam berat oleh MOCZeo meningkat dengan modifikasi menggunakan oksida mangan (Irannajad dkk., 2017)

MOCZ disiapkan menggunakan prosedur reduktif yang dimodifikasi untuk mengendapkan koloid oksida

mangan ke permukaan Na-zeolit.. Oksida mangan yang *dicoating* pada Na-zeolit menunjukkan kinerja yang baik pada penghilangan ion logam mangan (Taffarel & Rubio, 2010). Hal ini memberi kami inspirasi untuk perbaikan lebih lanjut, untuk menemukan metode modifikasi yang efisien untuk meningkatkan sifat fisik dan kimia zeolit (khususnya luas permukaan). Luas permukaan spesifik zeolit yang lebih besar adalah, lebih banyak jumlah oksida mangan yang dilapisi ke zeolit (Lyu dkk., 2017).

6. Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

Atomic Absorption Spectrometry (AAS) adalah teknik untuk mengukur jumlah unsur kimia yang ada dalam sampel lingkungan dengan mengukur radiasi yang diserap oleh unsur kimia yang menarik. Ini dilakukan dengan membaca spektrum yang dihasilkan ketika sampel dieksitasi oleh radiasi (Garcia & Baez, 2012).

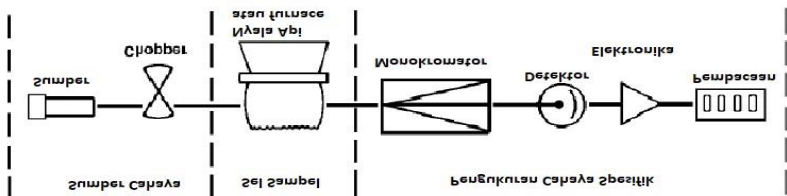
Atom-atom menyerap sinar ultraviolet atau cahaya tampak dan membuat transisi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Metode penyerapan atom mengukur jumlah energi dalam bentuk foton cahaya yang diserap oleh sampel. Detektor mengukur panjang gelombang

cahaya yang ditransmisikan oleh sampel, dan membandingkannya dengan panjang gelombang yang semula melewati sampel. Prosesor sinyal kemudian mengintegrasikan perubahan dalam panjang gelombang yang diserap, yang muncul dalam pembacaan sebagai puncak penyerapan energi pada panjang gelombang diskrit. Energi yang diperlukan untuk elektron untuk meninggalkan atom dikenal sebagai energi ionisasi dan spesifik untuk setiap elemen kimia. Ketika sebuah elektron bergerak dari satu tingkat energi ke yang lain di dalam atom, sebuah foton dipancarkan dengan energi E . Atom-atom suatu unsur memancarkan garis spektrum karakteristik (Garcia & Baez, 2012).

Setiap atom memiliki pola panjang gelombang yang berbeda di mana ia akan menyerap energi, karena konfigurasi unik elektron di kulit terluarnya. Ini memungkinkan analisis kualitatif sampel. Konsentrasi dihitung berdasarkan hukum Beer-Lambert. Absorbansi berbanding lurus dengan konsentrasi analit yang diserap untuk set kondisi yang ada. Konsentrasi biasanya ditentukan dari kurva kalibrasi, diperoleh dengan menggunakan standar konsentrasi yang diketahui. Namun, menerapkan hukum Beer

Lambert secara langsung di AAS sulit karena: variasi dalam efisiensi atomisasi dari matriks sampel, tidak seragamnya konsentrasi dan panjang lintasan atom analit (dalam grafit tungku AA) (Garcia & Baez, 2012).

Ilmu kimia analitik menjelaskan AAS merupakan teknik yang digunakan sebagian besar untuk menentukan konsentrasi unsur logam tertentu dalam sampel. AAS dapat digunakan untuk menganalisis konsentrasi lebih dari 62 logam yang berbeda dalam suatu larutan (Garcia & Baez, 2012). Adapun AAS diimplementasikan oleh komponen yang diilustrasikan pada Gambar :

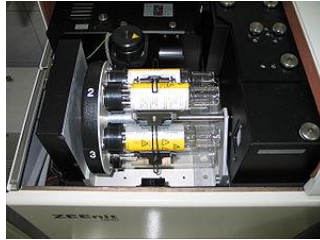


Gambar 2.5. Instrumentasi AAS

Sumber : Beaty & Kerber, 2003

Diperlukan sumber cahaya yang memancarkan garis atom tajam dari elemen yang akan ditentukan. Sumber yang paling banyak digunakan adalah lampu katoda berongga. Lampu ini dirancang untuk memancarkan spektrum atom unsur tertentu, dan lampu tertentu dipilih untuk digunakan tergantung

pada elemen yang akan ditentukan (Beaty & Kerber, 2003).



Gambar 2.6 . *Hollow Cathode Lamp* (Lampu HCL)

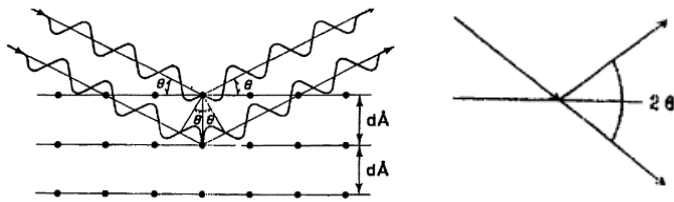
Sumber : https://en.wikipedia.org/wiki/Hollow-cathode_lamp

7. *X-Ray Diffraction (XRD)*

Difraksi sinar-X (XRD) adalah teknik nondestruktif yang kuat untuk mengkarakterisasi bahan kristal. Ini memberikan informasi tentang struktur, fase, orientasi kristal yang disukai (tekstur), dan parameter struktural lainnya, seperti ukuran butir rata-rata, kristalinitas, regangan, dan cacat kristal. Puncak difraksi sinar-X dihasilkan oleh interferensi konstruktif dari sinar monokromatik sinar-X yang tersebar pada sudut tertentu dari setiap rangkaian bidang kisi dalam sampel. Intensitas puncak ditentukan oleh posisi atom di dalam bidang kisi. Akibatnya, pola difraksi sinar-X adalah sidik jari pengaturan atom periodik dalam

bahan yang diberikan. Pencarian online dari database standar untuk pola difraksi serbuk sinar-X memungkinkan identifikasi fase cepat untuk berbagai macam sampel Kristal (Kohli, 2012).

Difraksi sinar-X adalah hamburan elastis foton sinar-X oleh atom dalam kisi periodik. Hamburan Sinar-X monokromatik yang berada dalam fase memberikan interferensi konstruktif. Gambar 5 mengilustrasikan bagaimana difraksi sinar-X oleh bidang kristal memungkinkan seseorang untuk menurunkan jarak kisi dengan menggunakan hukum Bragg.



Gambar 2.7. Ilustrasi XRD

Sunber : Chatterjee, 2001

$$\text{Eq. (1)} \quad n\lambda = 2d \sin \theta$$

di mana n adalah bilangan bulat yang disebut urutan refleksi, λ adalah panjang gelombang sinar-x, d adalah jarak karakteristik antara bidang etecto dari etector yang diberikan dan θ adalah sudut antara balok etect

dan normal ke bidang kisi pantulan . Dengan mengukur sudut, θ , di mana x-ray yang mengganggu secara konstruktif meninggalkan etecto, jarak antarplanar, d , dari setiap fase kristalografi tunggal dapat ditentukan (Chatterjee, 2001).

Komponen-komponen utama yang terdapat pada XRD diantaranya adalah tabung electron, monokromator, filter, sampel holder, detector dan software analisa.

a. Tabung Elektron

Tabung electron merupakan tempat pembentukan electron yang digunakan ntuk menumbuk plat logam sehingga menghasilkan sinar-X. Berkas sinar-X inilah yang kemudian digunakan untuk menumbuk material sampel dan menghasilkan spektrum kontinyu maupun spektrum garis. Di dalam tabung electron sendiri terdapat beberapa komponen, yakni filament yang terbuat dari tungsten sebagai sumber electron, tabung kedap udara sebagai media perantara electron, plat logam (Cu, Au, dan lain-lain). Dan pendingin.

b. Monokromator

Monokromator merupakan komponen yang berperan untuk mengubah berkas polikromatik menjadi masing-masing berkas monokromatik.

c. Filter

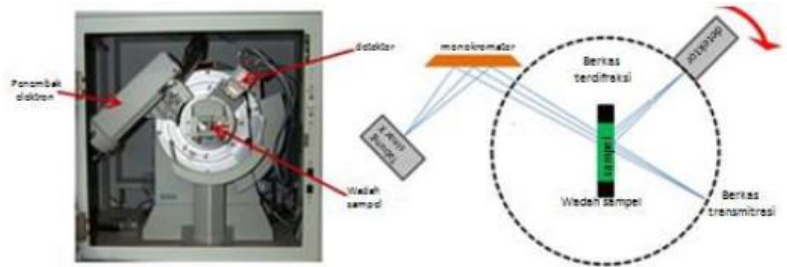
Filter berguna untuk menyaring sebagian berkas cahaya yang tidak diinginkan yang dapat mengganggu analisa data karena menciptakan gangguan (*noise*). Filter dapat terbuat dari logam yang berbeda dengan logam yang terdapat pada tabung electron, sebagai contoh nikel.

d. Sampel holder

Sampel holder merupakan tempat untuk meletakkan sampel yang akan dianalisa. Sampel dapat diletakkan dalam berbagai orientasi untuk mendapatkan sudut difraksi.

e. Detektor

Detektor digunakan untuk mendeteksi berkas cahaya yang terdifraksi pada sudut-sudut tertentu dengan intensitasnya masing-masing. Berkas cahaya yang mengalami difraksi terekam pada pita.



Gambar 2.8. Komponen utama pada XRD

Sumber : Setiabudi dkk., 2012

f. Software

Perangkat lunak ini dapat dipisahkan menjadi dua jenis. Jenis yang pertama adalah perangkat lunak yang berfungsi untuk menterjemahkan rekaman pada pita menjadi sudut 2θ yang kemudian diubah menjadi pola difraktogram sesuai dengan intensitas yang terdeteksi oleh detector. Jenis kedua adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menginterpretasikan data sudut 2θ dengan intensitasnya untuk kemudian diketahui indeks Miller dan nilai parameter kisi serta jarak antar kisi (d -spacing) sehingga dapat diketahui struktur kristal pada material sampel.

Untuk mengidentifikasi zat yang tidak diketahui, pola difraksi serbuk direkam dengan bantuan kamera atau difraktometer dan daftar nilai- d dan intensitas etector dari garis difraksi disiapkan. Data ini

dibandingkan dengan pola garis standar yang tersedia untuk berbagai senyawa dalam database Powder Diffraction File (PDF). File ini dirilis dan diperbarui setiap tahun oleh Pusat Internasional untuk Data Difraksi (ICDD). Ini berisi pola garis lebih dari 60.000 fase kristalografi yang berbeda. Dalam prakteknya, untuk sampel yang tidak diketahui, penampilan tiga garis karakteristik paling kuat dari pola garis PDF standar adalah bukti yang cukup meyakinkan tentang keberadaan fase etecto baik dalam zat etector atau bahkan dalam campuran multikomponen. Dalam beberapa kasus perbedaan antara dua fase atau lebih yang mungkin dapat dilakukan dengan membandingkan garis karakteristik lainnya. Selain itu, pengetahuan sebelumnya tentang kelas bahan yang diselidiki dan data analisis kimia bisa sangat berharga (Chattrjee, 2001).

8. *X-Ray Fluorescence (XRF)*

XRF (X-ray fluorescence) adalah teknik analisis non-destruktif yang digunakan untuk menentukan komposisi unsur bahan (yulianis dkk., 2018 ; Holub dkk., 2016). Analisa XRF merupakan salah satu contoh analisa yang didasarkan pada perilaku atom yang terkena radiasi. Interaksi atom dengan cahaya dapat

menyebabkan berbagai fenomena yang dipengaruhi oleh kuatnya intensitas cahaya yang berinteraksi dengan atom tersebut (Setiabudi dkk., 2012).

Ketika material berinteraksi dengan cahaya yang memiliki energi tinggi (sebagai contoh: sinar-X), maka dapat menyebabkan terpentalnya elektron yang berada pada tingkat energi paling rendah pada suatu atom. Akibatnya atom berada pada keadaan yang tidak stabil sehingga elektron yang berada pada tingkat (kulit valensi) yang lebih tinggi akan mengisi posisi kosong yang ditinggalkan oleh elektron yang terpentaltadi. Proses pengisian posisi elektron pada kulit valensi yang lebih rendah dinamakan deeksitasi. Proses deeksitasi ini akan disertai dengan pemancaran cahaya dengan energi yang lebih kecil daripada energi yang menyebabkan tereksitasinya elektron. Energi yang dipancarkan ini dinamakan radiasi flouresensi (Setiabudi dkk., 2012).

Radiasi flouresensi tersebut memiliki energi yang khas tergantung dari elektron yang tereksitasi dan terdeeksitasi pada atom penyusun sebuah material. Kekhasan karakteristik dari radiasi flouresensi pada setiap unsur ini memungkinkan dapat dilakukannya analisa kualitatif untuk mengidentifikasi unsur-unsur

yang berbeda. Sementara itu, analisa kuantitatif untuk menentukan konsentrasi dari unsur yang dianalisis dapat ditentukan berdasarkan intensitas dari radiasi fluoresensi yang dipancarkan (Setiabudi dkk., 2012).

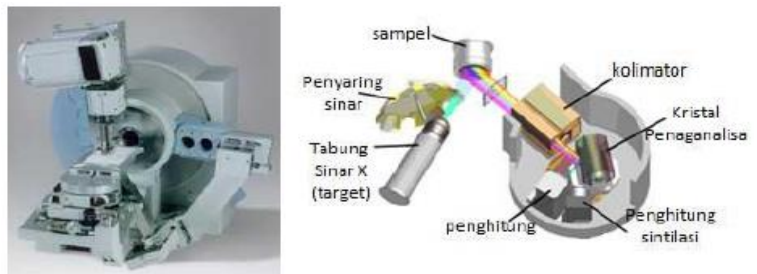
Analisa XRF memanfaatkan sinar-X berenergi tinggi untuk mementalkan elektron yang berada pada tingkat energi terendah pada sampel sehingga terjadi transisi elektron untuk mengisi posisi elektron yang tereksitasi, diiringi dengan pemancaran kembali sinar-X karakteristik dengan energi yang lebih rendah (Setiabudi dkk., 2012).

Hukum Moseley mengatakan Jika sebuah sampel tersusun dari beberapa atom unsur yang berbeda, setiap interaksi cahaya dengan atom akan menghasilkan serangkaian panjang gelombang yang spesifik yang kemudian semua panjang gelombang hasil interaksi tersebut akan berkontribusi terhadap pembentukan emisi total sinar-X yang dipancarkan dari sampel tersebut (Setiabudi dkk., 2012).

XRF merupakan sebuah instrument yang mampu memisahkan berkas polikromatik (sebagai hasil dari emisi total sinar-X) yang dipancarkan dari sebuah sampel yang terkena radiasi menjadi panjang gelombang yang berbeda-beda (berkas

monokromatik). Panjang gelombang radiasi yang dihasilkan dari interaksi antara cahaya dengan atom tertentu bersifat spesifik. Oleh karenanya, dengan mengidentifikasi panjang gelombang dari radiasi yang dipancarkan, akan dapat dilakukan analisa kualitatif untuk menentukan jenis unsur yang terkandung dalam sebuah sampel (Setiabudi dkk., 2012) .

Instrumentasi XRF terdiri dari dua bagian utama, yaitu sumber utama sinar-X (primary X-ray) dan peralatan untuk mendeteksi sinar-X yang dipancarkan dari sampel (secondary X-ray). Adapun secara lengkap, bagianbagian lain yang terdapat pada instrumen XRF sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.9 berikut.



Gambar 2.9. Instrumen XRF dan bagian-bagiannya

Sumber : Setiabudi dkk., 2012

Preparasi sampel jenis serbuk dilakukan dengan mengubahnya menjadi pelet. Proses peletisasi ini cukup banyak digunakan karena sederhana dan dapat menciptakan sampel yang homogen untuk dianalisa.

Untuk sampel serbuk yang cukup rapuh, karena ikatan antar partikelnya lemah, pembuatan pellet dapat dilakukan dengan tekanan yang lebih tinggi. Cara lain yang dapat digunakan untuk membuat pelet dari serbuk yang ikatan antar partikelnya lemah adalah dengan menambahkan zat pengikat (binder). Binder yang ditambahkan sebelum proses peletisasi harus terbebas dari elemen yang dapat mengganggu analisa. Selain itu, material tersebut juga harus memiliki daya absorpsi yang rendah serta stabil dalam keadaan vakum dan terkena radiasi. Contoh dari zat pengikat yang biasanya digunakan adalah wax dan etil selulosa (Yulianis dkk., 2018).

Sampel dimasukkan ke dalam instrumen XRF disinari dengan sinar-X energi tinggi dari tabung sinar-X yang dikendalikan. Ketika sebuah atom dalam sampel dipukul dengan sinar-X energi yang cukup (lebih besar dari energi ikatan kulit K atau L atom), sebuah elektron dari salah satu kulit orbital dalam atom terlepas. Atom mendapatkan kembali stabilitas, mengisi kekosongan yang tersisa di kulit orbital bagian dalam dengan elektron dari salah satu kulit orbital energi yang lebih tinggi dari atom. Elektron turun ke tingkat energi yang lebih rendah dengan melepaskan sinar-X fluoresens.

Energi sinar-X ini sama dengan perbedaan spesifik energi antara dua keadaan kuantum elektron. Pengukuran energi ini adalah dasar dari analisis XRF (Yulianis dkk., 2018).

Dalam aplikasinya, metode XRF memiliki sejumlah kelebihan, diantaranya adalah:

1. Dapat menentukan unsur dalam material tanpa perlu adanya standar.
2. Dapat menentukan kandungan mineral dalam bahan biologik maupun dalam tubuh secara langsung.
3. Akurasi yang relatif tinggi.

(Setiabudi dkk., 2012)

B. KAJIAN PUSTAKA

Partisipasi ion Al^{3+} dan Si^{4+} ke dalam kerangka struktur zeolit, memperkenalkan muatan negatif yang harus diseimbangkan dengan kation yang dapat ditukar. Zeolit alam adalah media adsorben yang menjanjikan yang memiliki aplikasi potensial sebagai adsorben ion logam dan telah menarik minat para peneliti, terutama karena sifat pertukaran ion, sifat saringan molekuler dan juga luas permukaannya yang relatif tinggi.

Studi yang dilakukan oleh Shavandi dkk pada tahun 2012 memperkenalkan penerapan zeolit alam sebagai

bahan adsorben untuk menghilangkan ion ion logam berat, seng Zn (II), mangan Mn (II) dan besi Fe (III) dari POME (palm oil mill effluent) nyata dieksplorasi dalam kondisi batch. Penelitian ini menunjukkan proses adsorpsi berlangsung cepat untuk 30 menit pertama dan dalam 120-180 menit, tercapai keseimbangan, yang diikuti oleh penurunan bertahap dalam tingkat adsorpsi. Kapasitas penyerapan maksimum 64.601, 53.644 dan 52.446% untuk Fe, Zn dan Mn ditunjukkan masing-masing untuk zeolit alami. Adsorpsi optimal terjadi pada sekitar pH 7. Diamati bahwa kapasitas adsorpsi memiliki korelasi dengan massa sorben dan berdasarkan hasil, 25 g zeolit dianggap sebagai dosis optimal. Penghapusan ion logam dari POME mengikuti urutan Fe > Zn > Mn. Model isoterm Langmuir paling sesuai dengan data isoterm yang diperoleh, dan data kinetik eksperimental diikuti dengan model kinetik orde kedua-semu. Dengan mempertimbangkan sifat adsorpsi-desorpsi yang cepat dan penggunaan kembali zeolit alam, penelitian ini menunjukkan zeolit alami sebagai kandidat yang relatif murah untuk menghilangkan ion logam dari POME.

Nurliati dkk pada tahun 2015 melakukan penelitian kombinasi teknik dealuminasi dan desilikasi untuk memodifikasi zeolit melalui pembentukan mesopori.

Zeolit hirarkis dibuat dari zeolit alam menggunakan perlakuan menggunakan asam-basa dan diaplikasikan sebagai adsorben untuk penghilangan Th (IV). Zeolit alami terjadi secara alami sebagai bahan berpori. Zeolit dimodifikasi menggunakan dua metode yang akrab secara bersamaan, teknik *dealumination* dan *desilication*, untuk mengubah ukuran mikropori menjadi pori-pori hirarkis. Karakterisasi ekstensif zeolit alam dan modifikasi dilakukan menggunakan XRD, BET, SEM-EDS, dan AAS. Pola XRD zeolit yang dimodifikasi secara baku, pra-perlakuan, dan asam-basa menunjukkan bahwa proses modifikasi tidak mengubah sifat kristal dari bahan ini. Namun, rasio Si / Al meningkat dari 6,688 menjadi 11,401 untuk Na-zeolit (NaZ) dan zeolit yang dimodifikasi ZA2B (*Acid-base treated zeolite*). Aplikasi bahan zeolit ini sebagai adsorben dilakukan dengan menggunakan larutan 50 ppm Th⁴⁺ diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil UV-Vis menunjukkan bahwa zeolit yang dimodifikasi (sekitar 10 mg) memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi daripada zeolit alam. Proses adsorpsi tidak sesuai dengan isotherm Langmuir dan Freundlich dan kapasitas adsorpsi bahan ini meningkat dari 909 mg/g menjadi 2000 mg/g untuk masing-masing NaZ dan ZA2B.

Pada penelitian berikutnya yang dilakukan oleh Irannajad dkk pada tahun 2017 untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi adsorben sejumlah klinoptilolit Iran dikonversi menjadi *Manganese oxide-coated zeolite* (MOCZeo) menggunakan variasi larutan Mn. Kapasitas MOCZeo dibandingkan dengan adsorben lain dan hasilnya menunjukkan bahwa penghilangan logam berat oleh MOCZeo meningkat dengan modifikasi dengan oksida mangan. Pengaruh variabel seperti konsentrasi awal, pH awal, waktu kontak, dan suhu pada adsorpsi penukar ion diselidiki. Tingkat penghilangan ion logam ditingkatkan dengan meningkatkan pH awal larutan logam-ion, nilai maksimum dicapai pada pH 5,5 untuk Pb^{2+} dan pada 7-8 untuk Co^{2+} dan Ni^{2+} . Selektivitas adsorpsi penukar ion ada dalam urutan sebagai berikut: $Pb^{2+} > Co^{2+} > Ni^{2+}$ untuk MOCZeo dalam penelitian ini, mirip dengan zeolit murni. Studi termodinamika menunjukkan bahwa nilai ΔG° negatif dan meningkat dengan meningkatnya suhu. Adsorpsi ion-ion ini pada MOCZeo adalah reaksi endotermik. Suhu yang lebih tinggi mendukung penyerapan logam berat pada MOCZeo, oleh karena itu, dengan adsorpsi penukar ion spontan. Investigasi model adsorpsi mengungkapkan bahwa adsorpsi Pb^{2+} , Co^{2+} , dan Ni^{2+} pada MOCZeo mengikuti model Langmuir dan

Freundlich. Adsorpsi penukar ion Pb^{2+} , Co^{2+} , dan Ni^{2+} pada MOCZeo dijelaskan dengan baik oleh model kinetika *pseudo-first order* dan *pseudo-second order*. Koefisien korelasi (R^2) yang sesuai dengan model *pseudo-second order* lebih besar daripada model *pseudo-first order* dan difusi intrapartikel. Nilai estimasi q_e ($q_{e, \text{cal}}$) dari model orde pseudo-kedua sesuai dengan nilai eksperimental q_e ($q_{e, \text{exp}}$).

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat-alat yang digunakan adalah peralatan gelas seperti : batang pengaduk, gelas beaker 600 mL, gelas beaker 250 mL, gelas beaker 100 mL, erlenmeyer 50 mL, spatula, labu ukur 1000 mL, labu ukur 250 mL, labu alas bulat bercabang 500 mL, labu alas bulat bercabang 250 mL; mortar dan alu, ayakan 100 mesh, pengaduk magnet, kertas saring, kertas saring whatman, pH universal, timbangan analitik, desikator, *heating mantle*, furnace, oven, *centrifuge*, *magnetic stirrer*, *hot plate stirrer*. Peralatan instrumen meliputi, spektrofotometer serapan atom (SSA) merk Perkin Elmer 5100 PC, *X-Ray Diffraction* (XRD) merk Bruker D2 Phaset 2nd Gen dan *X-Ray Fluorescence* (XRF) merk PANalitical Type Minipal 4.

2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alam yang dibeli dari toko kimia indrasari, NaCl 1 M pa Merck, HCl 37% pa Mallinckrodt, KMnO₄ 0,5 M, Cr (VI) 38,081 mg/L pa Merck, HCl 0,1 M pa Mallinckrodt, HCl 0,6 M pa Mallinckrodt, NaOH 0,1 M pa

Merck, NaOH 0,2 M pa Merck, AgNO₃ pa Merck dan aquades.

B. Cara Kerja

1. Sintesis Manganese Oxide Coated-Zeolite (MOCZ)

a. Preparasi Na-Zeolit

Sebanyak 60 gram zeolit terlebih dahulu disuspensikan dalam 1000 mL larutan NaCl 1M selama 24 jam. Zeolit kemudian disaring untuk memisahkan dari filtratnya dan langkah selanjutnya adalah dilakukan pencucian dengan air deionisasi. Na-Zeolit yang terbentuk kemudian di keringkan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 24 jam.

(Mohammadreza, 2014)

b. Dealuminasi dan Desilikasi (Modifikasi)

Proses dealuminasi dimulai dengan melakukan pengadukan Na-Zeolit dalam HCl 0,6 M (10 g zeolit / 100 mL larutan) menggunakan magnetic stirrer pada suhu 100 °C selama 2 jam (dalam kondisi reflux). Fase padatan kemudian dicuci menggunakan air demineral dan dikeringkan pada suhu 65 °C.

Proses desilikasi dilakukan dengan melakukan pengadukan terhadap zeolit dalam NaOH 0,2 M (3,3 g zeolit / 100 mL larutan) menggunakan magnetic stirrer pada suhu 65°C selama 30 menit. Sistem kemudian didinginkan menggunakan ice bath dan disaring menggunakan vakum atau disentrifuge dalam beberapa kali hingga pH netral dan serbuk dipisahkan dari filtratnya. Material yang terbentuk kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 100 °C selaman.

(Nurliati dkk., 2015 & Pimsuta dkk., 2012)

c. Pembuatan Manganese oxide-coated Zeolite (MOCZ)

Na-Zeolit termodifikasi yang akan digunakan terlebih dahulu di ayak untuk menyeragamkan ukurannya kemudian dicuci menggunakan air deionisasi. Pertukaran ion pada zeolit ditingkatkan dengan cara menambahkan larutan KMnO_4 0,5 M yang mendidih dalam gelas beaker yang di dalamnya terisi zeolit. HCl 37% ditambahkan dengan cara diteteskan secara perlahan. Campuran kemudian diaduk menggunakan pengaduk magnet selama 1 jam. MOCZ kemudian disaring dan dicuci beberapa kali menggunakan air deionisasi untuk

menghilangkan sisa ion klorida dan kalium. MOCZ yang sudah terbentuk selanjutnya dikeringkan menggunakan oven pada suhu 100 °C selama 24 jam dan di simpan dalam botol polypropylene. (Mohammadreza dkk., 2014 & Nouh dkk., 2015)

2. Penentuan Kondisi Optimum

Sejumlah parameter proses divariasikan seperti pH, waktu kontak dan konsentrasi awal Cr (IV) untuk mengetahui kondisi optimalnya.

a. Parameter pH

Sebanyak 1 gram MOCZ dimasukkan dalam erlenmeyer 50 mL dan ditambah ion logam Cr dengan konsentrasi 38,081 mg/L sebanyak 20 mL, pH larutan Cr (VI) disesuaikan dengan menambahkan 0,1N HCl atau larutan NaOH sesuai kebutuhan dimana pada penelitian ini variasi pH meliputi pH 2, 4, 6, 8, 10. Campuran diaduk dengan *magnetic* dalam sistem tertutup selama 60 menit. Setelah itu campuran disaring dan filtrat yang diperoleh diukur kandungan ion seng dengan spektrofotometer serapan atom (SSA).

b. Parameter Waktu Kontak

Sebanyak 1 gram MOCZ dimasukkan dalam erlenmeyer 50 mL dan ditambah ion logam Cr dengan konsentrasi 38,081 mg/L sebanyak 20 mL. Campuran diaduk dengan *magnetic stirrer* dengan variasi waktu kontak 30, 60, 90 dan 120 menit dengan pH yang telah dioptimalkan sebelumnya dalam sistem tertutup. Setelah itu campuran disaring dan filtrat yang diperoleh diukur kandungan ion seng dengan spektrofotometer serapan atom (SSA).

3. Karakterisasi

Pada penelitian ini sifat fisika dan kimia MOCZ yang dihasilkan dianalisis menggunakan XRD dan XRF. Analisis *X-Ray Diffraction* (XRD) digunakan untuk mengetahui kristalinitas dan karakteristik puncak difraksi MOCZ (Lyu, dkk., 2017) dan *X-Ray Fluorescence* (XRF) digunakan untuk menentukan komposisi kimia dari zeolit, zeolit dealuminasi dan desilikasi (Holub, dkk., 2016).

BAB IV

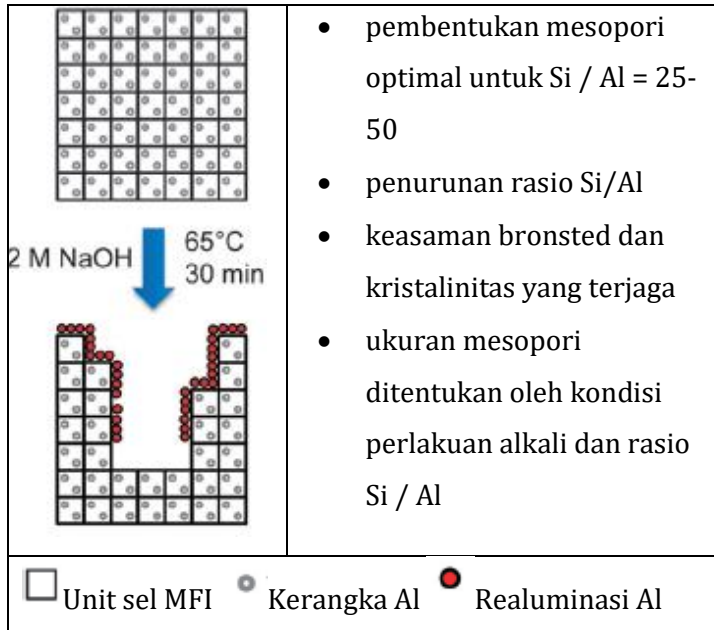
DESKRIPSI DAN ANALISIS DATA

Bab ini menyajikan hasil penelitian dan pembahasan tentang sintesis *manganese oxide-coated zeolite* (MOCZ) yang terlebih dahulu dilakukan perlakuan dealuminasi dan desilikasi pada zeolit, analisa komposisi kimia dan rasio Si/Al pada zeolit dan HOZ, analisa kristalinitas dan karakteristik puncak difraksi MOCZ serta uji kapasitas adsorpsi MOCZ terhadap ion logam Cr^{6+} .

1. Sintesis *Manganese Oxide-Coated Zeolite* (MOCZ)

Pada penelitian ini *Manganese oxide coated zeolite* (MOCZ) yang disintesis berasal dari zeolit alam yang dibeli dari Toko Kimia Indrasari kota Semarang. Kation dalam zeolit diimbangi dengan cara dikonversi menjadi ion natrium (Nurliati dkk., 2015) dengan cara disuspensikan menggunakan larutan NaCl 1M selama 24 jam. Penelitian sebelumnya oleh Taffarel dkk (2010) dan Lyu dkk (2017) memperlihatkan oksida mangan yang *dicoating* terhadap Na-zeolit memiliki kinerja yang baik pada penghilangan ion logam.

Na-Zeolit yang terbentuk selanjutnya dilakukan proses dealuminasi menggunakan larutan HCl 0,6 M, proses ini dilakukan untuk menghilangkan kerangka atom aluminium sehingga akan memodifikasi rasio Si/Al yang



Gambar 4.1. Proses Desilikasi

Sumber : Verboekend & Ramirez, 2011

Langkah selanjutnya adalah *pengcoatingan* zeolit hasil dealuminasi dan desilikasi dengan oksida mangan menggunakan KMnO_4 dan HCl , adapun oksida mangan diendapkan dalam larutan berair dengan reaksi:



Pengcoatingan ini dilakukan karena oksida mangan merupakan oksida yang tidak mudah ditangani dan sangat sulit dipisahkan dari fase air karena ukuran partikelnya yang sangat halus, maka untuk mengatasi masalah menggunakan oksida mangan murni dan untuk

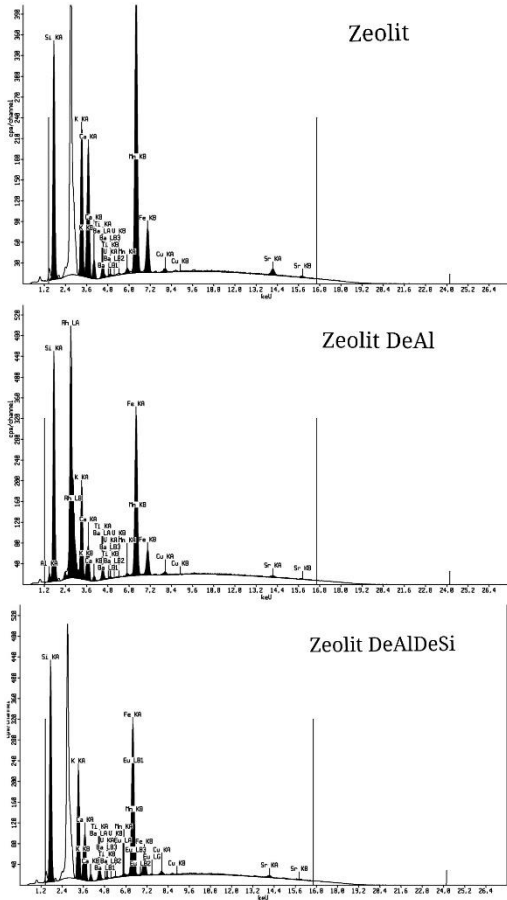
meningkatkan efisiensi penghapusan ion logam oleh zeolit, metode modifikasi dari pelapisan oksida mangan ke permukaan zeolit dikembangkan (Nouh dkk., 2015). Hasil sintesis *Manganese Oxide - Coated Zeolite* (MOCZ) yang di peroleh ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. *Manganese Oxide - Coated Zeolite* (MOCZ)

2. Karakterisasi Zeolit dan HOZ (Zeolit Terdealuminasi dan Terdesilikasi) menggunakan XRF

Zeolit alam dan HOZ hasil sintesis selanjutnya dianalisis menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Analisis XRF ini bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam suatu sampel (Setiabudi, A dkk., 2012). Hasil analisis XRF untuk zeolit, zeolit dealuminasi dan zeolit desilikasi dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3. XRF Zeolit alam, zeolit dealuminasi dan zeolit dealuminasi-desilikasi

Hasil analisis menggunakan XRF menunjukkan adanya kenaikan presentase silika zeolit setelah terdealuminasi dari 64,5% (zeolit) menjadi 74,7% (DeAl) dan perlakuan alkali menurunkan presentase silika menjadi 74,4% (DeAlDeSi). Rasio Si/Al pada zeolit alam tidak terdefinisi,

sedangkan pada zeolit dealuminasi rasio Si/Al diketahui sebesar 11,057.

Berikut adalah presentase Si, Al dan Si/Al dari zeolit, DeAl dan DeAlDeSi menggunakan XRF:

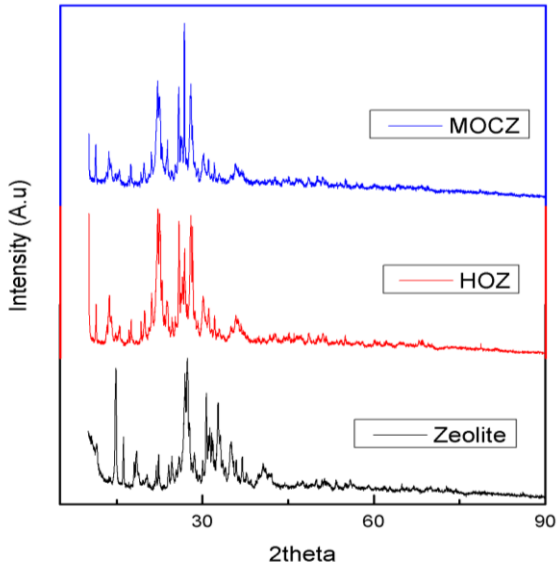
Tabel 4.1. Presentasi Silika, Alumina dan Rasio Si/Al pada Zeolit Alam, Zeolit Dealuminasi dan Zeolit Dealuminasi-Desilikasi

Jenis Adsorben	Si (%)	Al (%)	Si/Al (peneliti)
Zeolit	64,8		∞
Zeolit DeAl	74,7	6,3	11,857
Zeolit DeAlDeSi	74,4		∞

3. Karakterisasi *Manganese Oxide - Coated Zeolite (MOCZ)* menggunakan *X-Ray Diffraction (XRD)*

MOCZ hasil sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan X-Ray Diffraction (XRD). Analisis XRD ini bertujuan untuk mengkarakterisasi bahan kristal yang memberikan informasi tentang struktur, fase, orientasi kristal yang disukai (tekstur), dan parameter struktural lainnya, seperti ukuran butir rata-rata, kristalinitas, regangan, dan cacat kristal (Kohli, 2012). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan berikut adalah

berbandingan difraktogram XRD oleh zeolit alam, HOZ dan MOCZ dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4. Difraktogram XRD Zeolit, HOZ dan MOCZ

Berdasarkan gambar difraktogram untuk zeolit alam beberapa puncak CaSiO_4 muncul pada $2\theta = 27.101, 27.741, 29.005$ dan 32.744 . Hasil ini juga sesuai dengan penelitian (Lyu, 2017) dimana beberapa puncak difraksi CaSiO_4 muncul pada $2\theta = 27.072, 29.624$ dan 32.889 . Selain itu beberapa konstituen inern lainnya seperti Al_2O_3 dan SiO_2 juga diamati. Al_2O_3 muncul di $2\theta = 25.058, 25.665, 29.005, 41.640, 44.926, 36.044$ dan 36.992 , hasil ini juga sesuai dengan penelitian (Lyu, 2017) dalam hal ini beberapa

puncak difraksi Al_2O_3 muncul pada $2\theta = 36.742$ dan data JCPDS-ICDD File No 46-1212 dimana puncak difraksi Al_2O_3 dapat muncul pada $2\theta = 25.50, 29.80, 41.04$ dan 44.17 , sedangkan SiO_2 muncul di $2\theta = 34.420, 34.784, 44.926$ dan 54.105 hal ini juga dapat disesuaikan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Lyu, 2017) yang mana SiO_2 muncul di $2\theta = 34.061, 44.403$ dan 54.935 .

Analisis Zeolit terdealuminasi dan terdesilikasi menunjukkan adanya puncak Al_2O_3 yang muncul di $2\theta = 25.212, 25.787, 29.059, 41.686, 44.267, 36.070$ dan 36.665 , hasil ini juga sesuai dengan penelitian (Lyu, 2017) dalam hal ini beberapa puncak difraksi Al_2O_3 muncul pada $2\theta = 36.742$ dan data JCPDS-ICDD File No 46-1212 dimana puncak difraksi Al_2O_3 dapat muncul pada $2\theta = 25.50, 29.80, 41.04$ dan 44.17 dan terjadi penurunan intensitas pada sebagian besar puncak difraktogram Al_2O_3 pada data XRD yang diperoleh, hal tersebut mengindikasikan adanya penurunan kualitas kristal Al_2O_3 yang terbentuk . SiO_2 muncul di $2\theta = 34.949, 44.267, 54.187$ dan 54.882 , hal ini juga sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Lyu, 2017) yang mana SiO_2 muncul di $2\theta = 34.061, 44.403$ dan 54.935 dari data yang diperoleh diketahui adanya kenaikan intensitas Si pada $2\theta = 34.949$ sebesar 7.073 sedangkan pada zeolit di $2\theta = 34.420$ nilai intensitasnya

adalah 5.594, yang mengindikasikan adanya kenaikan kualitas kristal SiO_2 yang terbentuk.

Pada MOCZ ditemukan adanya puncak difraksi MnO_2 pada $2\theta = 28.082, 28.542, 37.024$ dan 56.961 yang dapat dikaitkan dengan fakta bahwa MnO_2 dilapisi pada zeolit, hasil ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Lyu pada tahun 2017 dimana puncak difraksi MnO_2 dapat muncul pada $2\theta = 28.401, 28.851, 37.685, 56.027$ dan 56.652 . Sementara itu ditemukan juga adanya puncak difraksi di $2\theta = 20.556, 20.992$ dan 36.160 yang mewakili adanya MnO dan dapat dikorelasikan dengan penelitian (Lyu, 2017) dimana puncak difraksi MnO_2 dapat muncul pada $2\theta = 20.211$, dan 36.357 .

Berdasarkan hasil yang diperoleh tidak ada perubahan signifikan pada pola XRD zeolit alam dengan zeolit HOZ (hasil dealuminasi-desilikasi), hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Nurliati pada tahun 2015 dimana struktur zeolit dipertahankan meskipun dilakukan perlakuan menggunakan asam dan basa (dealuminasi-desilikasi). Sedangkan pada MOCZ terlihat adanya puncak yang tajam dan terdefinisi dengan baik yang mengindikasikan adanya kristalit yang relatif besar, hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh

mohamadreza (2014) dimana MOCZ yang disintesis memiliki kristalinitas yang tinggi.

4. Optimasi Penyerapan Ion logam Cr oleh MOCZ

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum MOCZ dalam penyerapan ion logam Cr. Sebelum dilakukan penentuan kondisi optimumnya terlebih dahulu dilakukan uji adsorpsi terhadap bahan awal zeolit, zeolit dealumimasi, zeolit desilikasi serta MOCZ untuk mengetahui efektivitas penyerapan masing-masing material terhadap ion logam Cr, pada penentuan kondisi optimum tersebut dilakukan pada konsentrasi 38,081 mg/L dengan waktu kontak 60 menit dan pH 6. Berikut adalah tabel data awal adsorpsi untuk msing-masing material :

Tabel 4.2. Data Awal Adsorpsi

Material	q_e (mg/g)	% Adsorpsi
Zeolit	0,04522	5,937
Zeolit DeAl	0,71988	94,5
Zeolit DeAlDeSi	0,06566	8,621
MOCZ	0,20048	26,3228

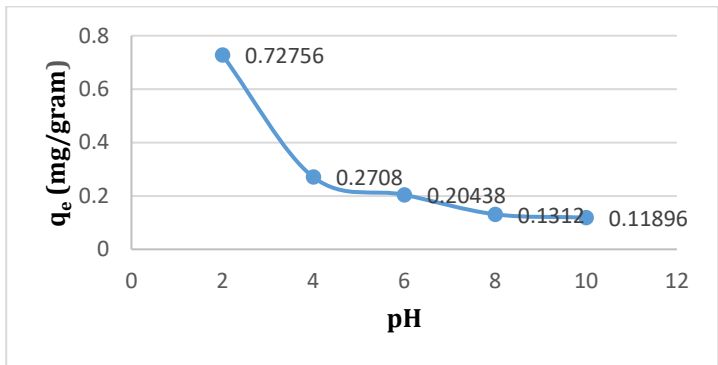
Berdasarkan tabel tersebut maka dapat dilihat bahwa secara garis besar dengan sejumlah perlakuan akan meningkatkan kapasitas adsorpsi pada zeolit. Zeolit alam memiliki kapasitas adsorpsi sebesar 0,04522 mg/g dan

meningkat menjadi 0,20048 mg/g setelah dilakukan pengcoatingan oksida mangan terhadap permukaan zeolit.

Penentuan kondisi optimum dilakukan menggunakan berapa parameter seperti parameter pH dan parameter waktu kontak.

a. Parameter pH

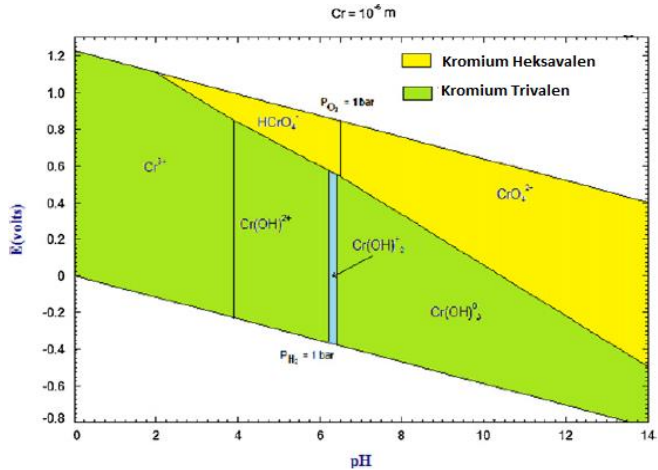
Optimasi pH dilakukan untuk mengetahui pengaruh pH adsorbat terhadap penurunan ion logam Cr dan juga kondisi pH yang terbaik dalam penurunan ion logam Cr. Variasi pH yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pH 2, 4, 6, 8, dan 10 dengan konsentrasi ion logam Cr 38,081 mg/L dan waktu kontak 60 menit. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diperoleh data penurunan ion logam Cr pada optimai pH sebagai berikut yang ditunjukkan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. Grafik pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi ion logam Cr

Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa nilai pH adsorbat berpengaruh terhadap adsorpsi suatu adsorben. Adsorpsi optimum diketahui berada pada kondisi asam di pH 2 dengan nilai kapasitas adsorpsi terhadap ion logam Cr sebesar 0,72756 mg/g, dimana semakin tinggi nilai pH kapasitas adsorpsi dari adsorben cenderung menurun.

Cr (VI) dapat membentuk beberapa spesies, yaitu Cr (VI) ditemukan sebagai CrO_4^{2-} , HCrO_4^- atau $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ tergantung pada pH konsentrasi medium dan total Cr (VI). H_2CrO_4 adalah asam kuat dan pada $\text{pH} > 1$ bentuk terdeprotonasi dari Cr (VI). Di atas pH 7, hanya ion CrO_4^{2-} yang ada dalam larutan di seluruh rentang konsentrasi. Dalam pH antara 1 dan 6, HCrO_4^- adalah spesies yang dominan.



Gambar 4.6. Diagram Eh-pH untuk Sistem Cr-O₂-H₂O, dengan asumsi bahwa konsentrasi $\Sigma Cr = 10^{-6} \text{ mol kg}^{-1}$ pada batas padat / cair

Sumber : Dhal dkk., 2013

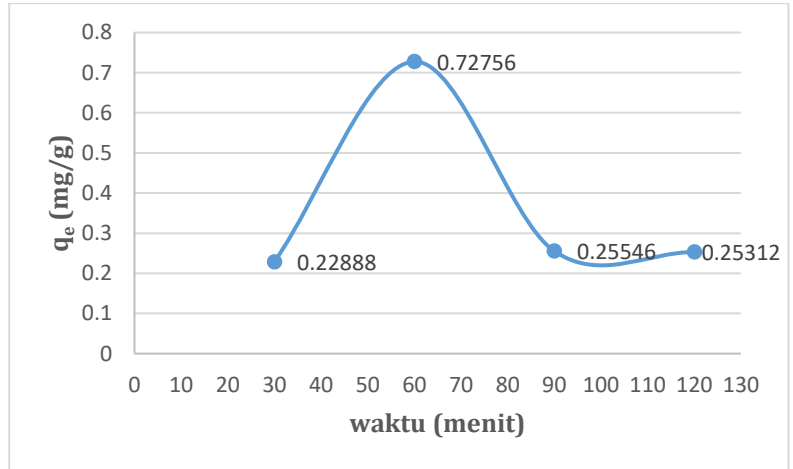
Pada kondisi asam presentase adsorpsi meningkat, hal ini mungkin disebabkan karena pada kondisi asam spesies kromium yang dominan adalah $HCrO_4^-$ dan $Cr_2O_7^{2-}$ dalam larutan air, dan permukaan adsorben sangat terprotonasi, yang mendukung penyerapan Cr (VI) dalam bentuk anionik. (Ren dkk., 2019) . Selain itu ketika pH di bawah 6.8 terdapat tarikan elektrostatik yang kuat di antara ion $HCrO_4^-$ dan H^+ yang terdapat pada permukaan adsorben. (Khare dkk., 2018)

Sementara ketika pH semakin meningkat penurunan persentase adsorpsi diamati. ketika pH meningkat melebihi 6.0, kromium hadir sebagai ion CrO_4^- dan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, yang bersaing dengan ion OH^- untuk diadsorpsi pada permukaan adsorben (Khare dkk., 2018), dimana dengan meningkatnya pH, tingkat protonasi pada permukaan adsorben akan berkurang secara bertahap, dan pada kondisi basa, sisi aktif sorben ditempati oleh ion OH^- yang menurunkan adsorpsi (Ren ddk., 2019) . Hal ini mungkin disebabkan oleh melemahnya gaya tarik elektrostatik antara adsorbat dan adsorben yang bermuatan berlawanan dan akhirnya mengarah pada pengurangan kapasitas adsorpsi. penurunan tajam diamati ini disebabkan oleh persaingan antara OH^- dan ion kromat (CrO_4^{2-}) (Shrivastava & Gupta, 2015).

b. Parameter Waktu Kontak

Optimasi waktu kontak dilakukan untuk mengetahui pengaruh waktu kontak adsorpsi terhadap penurunan ion logam Cr dan juga kondisi waktu yang terbaik dalam penurunan ion logam Cr. Variasi waktu yang dilakukan pada penelitian ini yaitu 30, 60, 90 dan 120 menit dengan konsentrasi ion logam Cr 38,081 mg/L dan pH 2 hasil dari optimasi

sebelumnya. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diperoleh data adsorpsi ion logam Cr pada optimasi waktu sebagai berikut yang ditunjukkan pada gambar 4.7.



Gambar 4.7. Grafik pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi Ion logam Cr

Pada gambar 4.7 dapat dilihat bahwa waktu kontak berpengaruh terhadap adsorpsi suatu adsorben. Kapasitas adsorpsi dari adsorben cenderung meningkat seiring bertambahnya waktu kontak dari menit 30 sampai 60 menit, kemudian mengalami penurunan pada waktu kontak 90 dan 120 menit. Hasil yang peroleh dapat dijelaskan oleh fakta bahwa dengan meningkatnya waktu kontak interaksi antara adsorben dan ion logam meningkat ditandai dengan

hasil peningkatan adsorpsi. Namun setelah menit ke 60 terjadi penurunan kapasitas adsorpsinya, penurunan yang diamati dalam adsorpsi ion kromium ini dapat dikaitkan dengan fakta bahwa dengan agitasi yang lebih besar, ion kromium mulai mengalami desorpsi ke dalam larutan yang bulky (meruah) (Pandey dkk, 2010)

Berdasarkan penelitian diperoleh waktu kontak optimum dalam penyerapan ion logam Cr pada 60 menit dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 0,72756 mg/g pada pH 2.

5. Kinetika Adsorpsi

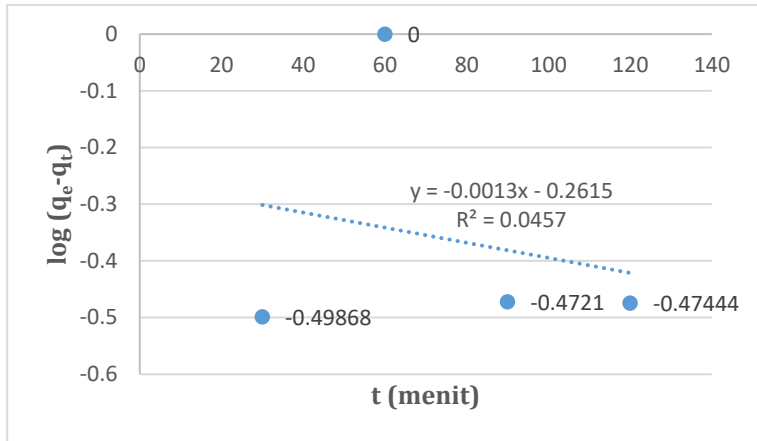
Studi keseimbangan penting dalam menentukan kualitas adsorpsi. Penting juga untuk mengidentifikasi mekanisme adsorpsi dari sistem yang diberikan (pandey dkk, 2010). Model kinetika adsorpsi juga diperlukan untuk memprediksi kecepatan perpindahan adsorbat dari larutan ke adsorben yang dirancang (Kurniawati dkk, 2013). Selain itu, informasi tentang kinetika penyerapan logam diperlukan untuk memilih kondisi optimal untuk proses pemindahan logam dalam jumlah banyak atau kontinyu. Kinetika adsorpsi dinyatakan sebagai laju penghilangan zat terlarut yang mengontrol waktu tinggal sorbat dalam permukaan larutan-padatan. Beberapa

model kinetik digunakan untuk menjelaskan mekanisme proses adsorpsi (pandey dkk, 2010).

Kinetika menggambarkan tingkat penyerapan zat terlarut yang mengatur waktu kontak. Studi kesetimbangan adalah menentukan distribusi zat terlarut antara fase padat-cair dan menentukan kelayakan dan kapasitas sorben untuk adsorpsi. Beberapa model kinetik, saat ini digunakan untuk menjelaskan mekanisme kemajuan adsorpsi, yang paling sederhana dan banyak digunakan adalah persamaan orde-pertama Lagergren :

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_{ad}t}{2,303}$$

di mana q_e adalah massa logam yang diadsorpsi pada kesetimbangan (mg / g), q_t adalah massa logam yang teradsorpsi pada waktu t (mg / g), dan K_{ad} adalah konstanta reaksi orde pertama (L / menit). Urutan pseudo-pertama menganggap bahwa tingkat pendudukan situs adsorpsi sebanding dengan jumlah situs yang tidak dihuni. Garis lurus $\log (q_e - q_t)$ versus t menunjukkan aplikasi model kinetik orde pertama (Mulani dkk, 2013), dimana pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4.8.

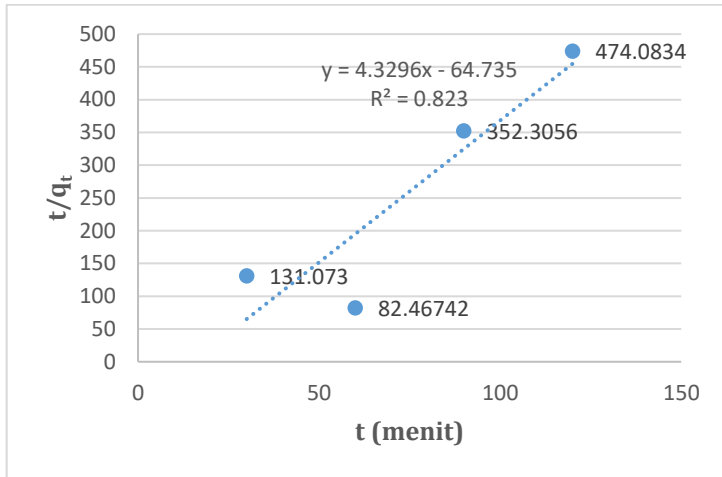


Gambar 4.8. Kurva pseudo orde satu

Di sisi lain, kapasitas keseimbangan dapat dinyatakan dengan persamaan pseudo orde dua sebagai berikut:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_{2ad}q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

dengan K_{2ad} adalah konstanta kesetimbangan laju reaksi orde kedua ($\text{g.mg}^{-1}.\text{min}^{-1}$). Plot t/q_t versus t memberikan hubungan linier untuk penerapan model kinetik orde kedua (Mulani dkk, 2013), dimana data yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 4.9 sebagai berikut :



Gambar 4.9. Kurva pseudo orde dua

Berdasarkan gambar 4.8 dan 4.9 maka dapat diperoleh data yang dirangkum dalam tabel 4.3.

Tabel 4.3. Parameter Kinetika

q _e eksperi men (mg/g)	Pseudo orde satu			Pseudo orde dua		
	q _e (mg/ g)	K ₁ (min ⁻¹)	R ²	q _e (mg/g)	K ₂ (g.mg ⁻¹ .min ⁻¹)	R ²
0,7275	0,547	-	0,045	0,2309	-	0,823
6	6	0,00299	7		0,2897	

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa kinetika adsorpsi yang sesuai pada penelitian ini mengikuti pseudo orde dua. Hal tersebut dapat ditunjukkan melalui nilai koefisien regresi

linier (R^2) pada persamaan pseudo orde dua yang mendekati nilai 1 yakni sebesar 0,823. Hal tersebut menunjukkan bahwa 82,3 % data dapat dijelaskan dengan kinetika pseudo orde dua. Model kinetika reaksi menunjukkan bahwa laju adsorpsi setara dengan kuadrat konsentrasi ion logam yang diekspresikan dengan $(q_e - q_t)^2$ (Kurniawati dkk, 2013) .

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Perlakuan dealuminasi, desilikasi dan *coating* terhadap zeolit terbukti meningkatkan kapasitas zeolit menjadi lebih baik.
2. Kapasitas adsorpsi terbaik MOCZ pada penyerapan ion logam Cr diperoleh pada pH 2 dengan waktu kontak 60 menit dengan nilai $q_e = 0,72756$ mg/g.
3. Kajian kinetika menunjukkan bahwa adsorpsi mengikuti persamaan pseudo orde dua, yang menunjukkan bahwa laju adsorpsi setara dengan kuadrat konsentrasi ion logam yang diekspresikan dengan $(q_e - q_t)^2$.

B. Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan untuk mengkaji kembali kondisi optimum pada proses adsorpsi seperti pengaruh konsentrasi dan massa adsorben sehingga dapat diketahui kondisi optimum yang baik. Selain itu karakterisasi menggunakan BET juga disarankan guna mengetahui luas permukaan dan mesoporitas dari adsorben yang disintesis.

DAFTAR PUSTAKA

- Aidha, N. 2013. Aktivasi Zeolit Secara Fisika dan Kimia untuk Menurunkan Kadar Kesadahan (Ca dan Mg) dalam Air Tanah. *Jurnal Kimia Kemasan Vol.35 No.1 April 2013* : 58-64
- Arum, S. 2015. *Efektivitas Arang Aktif, Zeolit, dan Bentonit terhadap Penurunan Kadar Mg^{2+} dan Mn^{2+} dalam tiga Sumber Air*. Skripsi . Bandung : Jurusan Teknologi Pangan Fakultas Teknik Universitas Pasundan Bandung
- Atikah, W. 2017. Potensi Zeolit Alam Gunung Kidul Teraktivasi Sebagai Media Adsorben Pewarna tekstil. *Jurnal Arena tekstil Vol. 32 No. 1, 2017* : 17-24
- Bai, R., dkk. 2019. Review Creating Hierarchical Pores in Zeolite Catalysts. *Trends in Chemistry, September 2019, Vol. 1 No. 6*
- Beaty and Kerber. 2003. *Concepts, Instrumentation and Techniques In Atomic Absorption Spectrophotometry*. Norwalk : The Perkin-Elmer Corporation.
- Chatterjee. 2001. X-Ray Diffraction. *Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology*
- Chaundry, S., dkk. 2016. Adsorptive Removal of pb (II) and Zn (II) from Water onto Manganese Oxide-Coated Sand : Isotherm, Thermodynamic and Kinetic Studies. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences 3 (2016) 287-300*
- Chaundry, S., dkk. 2017. Equilibrium, Kinetic and Thermodynamic Studies of Cr (IV) Adsorption from Aqueous Solution onto Manganese Oxide Coated Sand Grain (MOCSG). *Journal of Molecular Liquids*

- Des Marias, T & Costa, M. 2019. Mechanisms of Chromium-Induced Toxicity. *Curret opinion In Toxicology* 2019, 14:1-7
- Dhal., dkk. 2013. Chemical and Microbial Remediation of Hexavalent Chromium from Contaminated Soil and Mining/ Metallurgical Solid Waste : A Review. *Journal of Hazardous Materials* 250-251 (2013) 272-291
- Garciaz & Baez. 2012. *Atomic Absorption Spectroscopy Edited by Dr. Muhammad Akhyar Farrukh (Ed.) ISBN: 978-953-307-817-5.* Shanghai : InTech,
- Holub., dkk. 2016. Characterization of Natural zeolite and Determination its Adsorption Properties. *Journal Of Civil Engineering, Environment And Architecture Jceea, T. Xxxiii, Z. 63 (3/16), Lipiec-Wrzesień 2016, S. 113-122*
- Huang, X., dkk. 2017. The Adsorption of Cd(II) on Manganese Oxides investigated by Batch and Modeling techniques. *International Journal of Environmental Research and Public Health*
- Irannajad, M & Haghghi, H. 2017. Removal of Pb²⁺, Co²⁺ dan Ni²⁺ by Manganese Oxide-Coated Zeolite : Equilibrium, Thermodynamics and Kinetics Studies. *Clay and Clay Minerals Vol. 65 No. 1* 52-56
- Irannajad, M., dkk. 2016. Adsorption of Zn²⁺, cd²⁺ and cu²⁺ on Zeolites Coated by Manganese and iron Oxides. *Psicochemical Problems of mineral Processing* 52(2), 2016, 894-908 ISSN 1643-1049 (print) ISSN 2084-4735 (online)
- Islam, M., dkk. 2018. Manganese Oxides and Their Application to metal ion and Contaminant Removal from Wastewater. *Journal of Water Process Engineering* 26 (2018) 264-280

- Jaishankar., M dkk. 2014. Toxicity, Mechanism and health effects of Some Heavy Metals. *Interdiscip Toxicol 2014 Vol. 7(2):60-72*
- Jobby, R., dkk. 2018. Iosorption and Biotransformation of Hexavalent Chromium [Cr(VI)] : A Comprehensive Review. *Chemosphere 207 (2018) 255-266*
- Kadja, G., dkk. 2013. Strategi Sintesis Zeolit Hirarkis : Kajian Metode Cetak Lunak dan Cetak Keras. *Jurnal Matematika dan Sains, Desember 2013, Vol. 18 Nomor 3.*
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-51/MENLH/10/1995, Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri
- Khare, N., dkk. 2018. Graphene Coated Iron Oxide (GCIO) Nanoparticles as Efficient Adsorbent for Removal of Chromium Ions: Preparation, Characterization and Batch Adsorption Studies. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management (2018),*
- Khashij, M., dkk. 2016. Removal of Fe²⁺ from Aqueous Solution Using Manganese Oxide Coated Zeolite and Iron Oxide Coated zeolite. *International Journal of Engineering*
- Kohli, R. Methods for Monitoring and Measuring Cleanliness of Surface. *Developments in Surface Contamination and Cleaning Vol.4*
- Kumar, P & Chauhan, M. 2019. Adsorption of Chromium (VI) from the synthetic Aqueous Solution Using Chemically Modified Dried Water Hyacinth Roots. *Journal of Environmental Chemical Engineering 7 (2019) 103218*
- Kurniawati, dkk. 2013. Kinetic Study of Cr(VI) Adsorption on Hydrotalcite Mg/Al with Molar ratio 2:1. *EKSAKTA Vol 13 No. 1-2 Agustus 2013, 11-21*
- Lesbani, A., dkk. 2012. Kajian Kinetika dan Termodinamika Adsorpsi Besi (II) dan Seng (II) dengan Pasir Kuarsa.

- Liu, dkk. 2019. Adsorption Mechanism of Cr (VI) onto GO/PAMAMs composite. www.nature.com/scientificreports (2019) 9:3663
- Lunk, Hans-Joachim. 2015. Discovery, Properties and Applications of Chromium and its Compounds. *ChemTexts (2015) 1:6 Springer international Publishing*
- Lyu, C., dkk. 2017. Preparation and Performance of Manganese Oxide Coated Zeolite for Removal of Manganese Contaminated in Groundwater. *Journal Environmental Technology*
- Malola, S., dkk. 2012. Detailed Paths for Zeolite Dealumination and Desilication From Density Functional Calculations. *Angew. Chem. Int. Ed. 2012, 51, 652 –655*
- Mohammadreza, M & Maryam, K. 2014 Absorption isotherm Study of Mn²⁺ on MnO₂ and FeO-Coated Zeolite from Aqueous solution. *International Journal of Advance Science and Technology Vol 27(2014), pp.63-72*
- Mulani, dkk. 2013. Adsorption of Chromium (VI) from Aqueous Solutions by Coffee Polyphenol-Formaldehyde/Acetaldehyde Resins. *Journal of Polymers Volume 2013, Article ID 798368, 11 pages*
- Najafpour, M., dkk. 2016. Nano-Sized Manganese Oxide Coated Sea Sand : A New Water-Oxidizing Catalyst. *International Journal of Hydrogen Energy*
- Nouh, E., dkk. 2015. Extraction of Uranium (VI) from Sulfate Leach Liquor after Iron Removal Using Manganese Oxide Coated Zeolite. *Journal of Environmental Chemical Engineer 3 (2015) 523-528*

- Nuraini, R., dkk. 2017. Analisis Kandungan Logam Berat kromium (Cr) pada Air, Sedimen dan Kerang Hijau (perna viridis) di perairan Trimulyo semarang. *Jurnal Kelautan Tropis Maret 2017 Vol. 20(1):48-55 ISSN 0853-7291*
- Nurliati, G., dkk. 2015. Studies of Modification of Zeolite by Tandem Acid-Base Treatments and its Adsorptions performance Towards Thorium. *Atom Indonesia Vol. 41 No. 2 (2015) 87-95*
- Oktaviani, Savitri. 2012. *Sintesis dan Karakterisasi Zeolit ZSM-5 Mesopori dengan Metode Desilikasi dan Studi Awal Katalis Oksida Metana*. Skripsi. Depok : Program Studi Kimia FMIPA universitas Indonesia
- Pandey, dkk. 2010. Kinetics and Equilibrium Study of Chromium Adsorption on Zeolite NaX. *Int. J. Environ. Sci. Tech., 7 (2), 395-404, Spring 2010 ISSN: 1735-1472*
- Peron, D., dkk. 2019. External Surface Phenomena in Dealumination and Desilication of Large Single Crystals of ZSM-5 Zeolite Synthesized from Sustainable Source. *Microporous and Mesoporous Materials 286 (2019) 57-64*
- Pimsuta, M., dkk. 2012. Desilication of NaZSM-5 and Utilization as Support of Fe for Phenol Hydroxylation. *International Journal of Chemical Engineering and Applications, Vol. 3, No. 2, April 2012*
- Pu Li, Wue., dkk. 2017. Phosphate Removal from Wastewater with Ferric and Manganese Oxide Coated Zeolite. *Advance Materials, Technology and Application National University of Singapore*

- Qusti, Abdullah. 2014 Removal Chromium (VI) from Aqueous Solution Using Manganese Oxide Nanofibers. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*
- Rajalakshmi, dkk. 2015. DNA adducts-chemical addons. *Dental science-Review articles Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences April 2015 Vol 7 Supplement 1*
- Ren, L., dkk. 2019. Preparation and characterization of porous chitosan microspheres and adsorption performance for hexavalent chromium. *International Journal of Biological Macromolecules 135 (2019) 898–906*
- Sakti, G. 2014. *Analisa Regenerasi Zeolit Sebagai Adsorben pada Alat Pendingin Adsorpsi*. Skripsi. Surabaya : Jurusan teknik Perkapalan fakultas Teknik kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Samarghandi, M., dkk. 2015. Adsorption of Cephalexin from Aqueous Solution using Natural Zeolite and Zeolite Coated With Manganese Oxide Nanoparticles. *Journal of Molecular Liquids*
- Setiabudi, A., dkk. 2012. *Karakterisasi Material ; Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia*. Bandung : UPI PRESS
- Shavandi, M., dkk., 2012. Removal of Fe (III), Mn (II) and Zn (II) from Palm Oil Mill Effluent (POME) by Natural Zeolite. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 43(2012) 750-759*
- Shrivastava, P & Gupta, S. 2015. Removal of Chromium from Waste Water by Adsorption Method Using Agricultural Waste Materials. *International Journal of Chemical Sciences and Applications ISSN 0976-2590 Online ISSN 2278-6015 Vol 6, Issue 1, 2015, pp 1-5*

- Silva, L., dkk. 2019. Desilication of ZSM-5 and ZSM-12 Zeolites with Different Crystal Sizes : Acidity and Mesoporous Initiation. *Materials Research*. 2019; 22(2): e20180872
- Sukandarrumidi. 2016. *Bahan galian Industri*. Yogyakarta : Gajah Mada university Press
- Suriadi, A., dkk. 2016. Sintesis Dan Karakterisasi Pasir Besi Terlapis Mangan Dioksida Serta Aplikasinya Untuk Penurunan Kadar Ion Fosfat Dalam Air. *JKK, Tahun 2017, Vol 6(1), halaman 64-72 ISSN 2303-1077*
- Taffarel, S & Rubio, J. 2010. Removal Mn²⁺ from Aqueous Solution by Manganese Oxide Coated Zeolite. *Mineral Engineering*
- Tan, G., dkk. 2019. Preparation of manganese Oxide Coated Porous Carbon and its Application for Lead Ion Removal. *Carbohydrate Polymers* 219 (2019) 306-315
- Verboekend, D & Ramirez, J. 2011. Design of Hierarchical Zeolite Catalysts by Desilication. *Catal.Sci.Technol.*,2011,1,879-890
- Widayatno, T., dkk., 2017. Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam Vol. 1 No. 1, April 2017 ISSN 2407-8476*
- Worch, Eckhard. 2012. *Adsorption Technology in Water Treatment Fundamentals, Processes, and Modeling*. Germany : Hubert & Co. GmbH & Co. KG, Go'ttingen ISBN 978-3-11-024022-1 e-ISBN 978-3-11-024023-8
- Yuan, L. & Liu, Y. 2013. Removal of Pb (II) and Zn (II) from Aqueous Solution by Ceramisite Prepared by Sintering Bentonite, Iron Powder and Activated Carbon. *Chemical Engineering Journal* 215-216, pp. 432-439

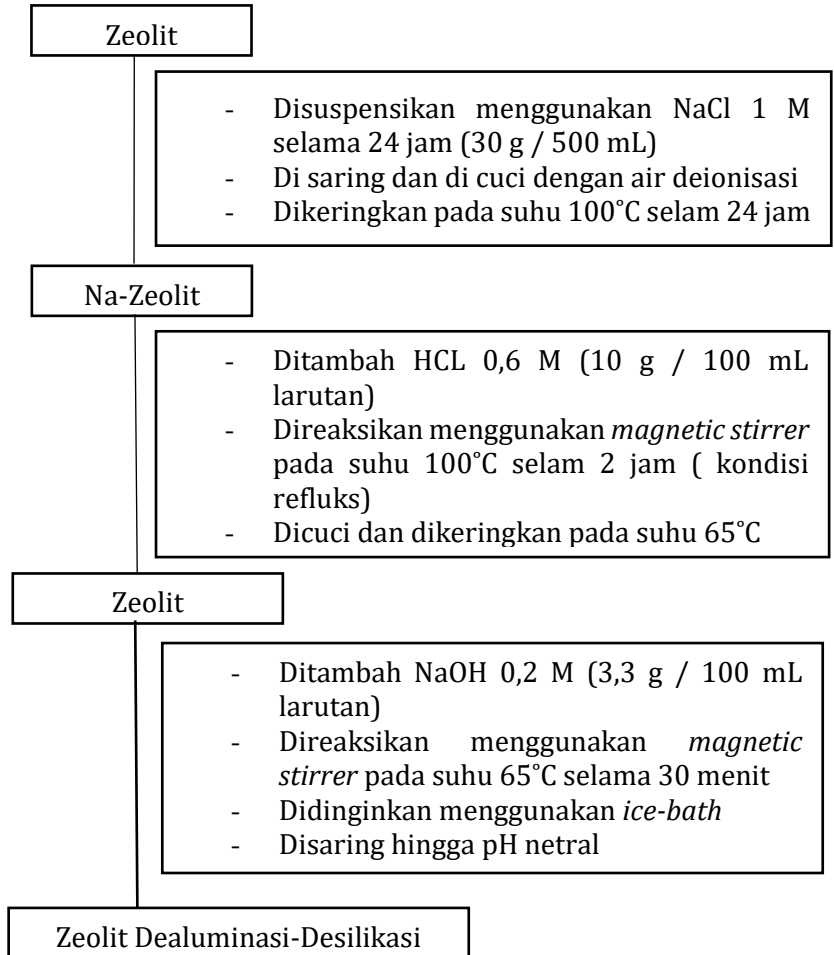
Yulianis, dkk. 2018. Characterization and Activation of Indonesian Natural Zeolite from Southwest Aceh District-Aceh Province. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 358 (2018) 012052

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1

Skema kerja

1. Sintesis Manganese Oxide-Coated Zolite (MOCZ)

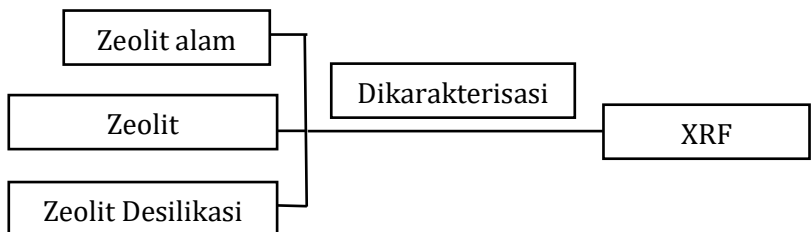


Zeolit Dealuminasi-Desilikasi

- Diayak dan dicuci dengan air deionisasi
- Ditambah KMnO_4 0,5 M mendidih
- Ditetesi secara perlahan HCL 37%
- Diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam
- Disaring dan dicuci hingga netral dan menghilangkan sisa ion klorida dan kalium

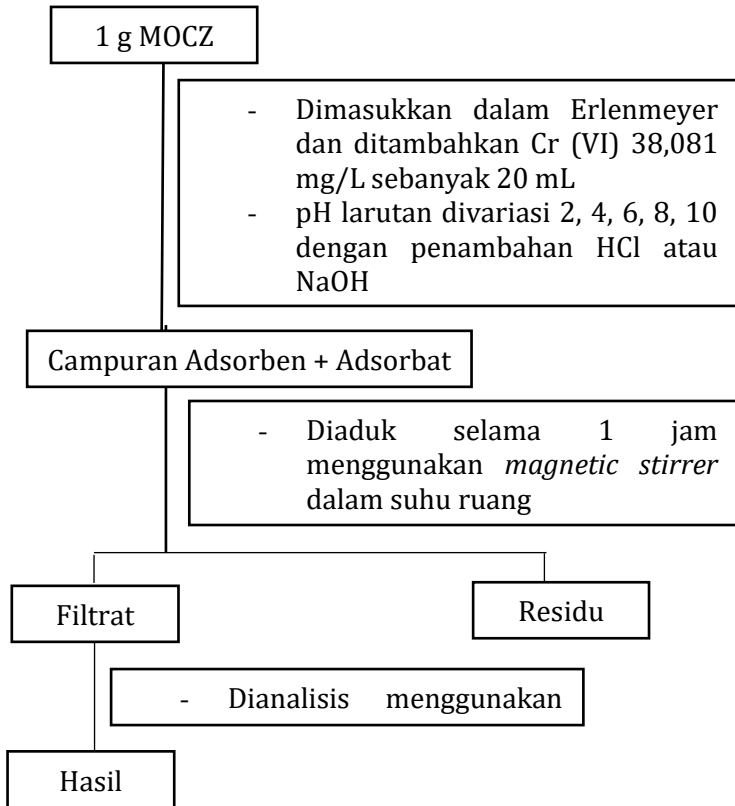
MOCZ (Manganese oxide-coated zeolite)

2. Karakterisasi

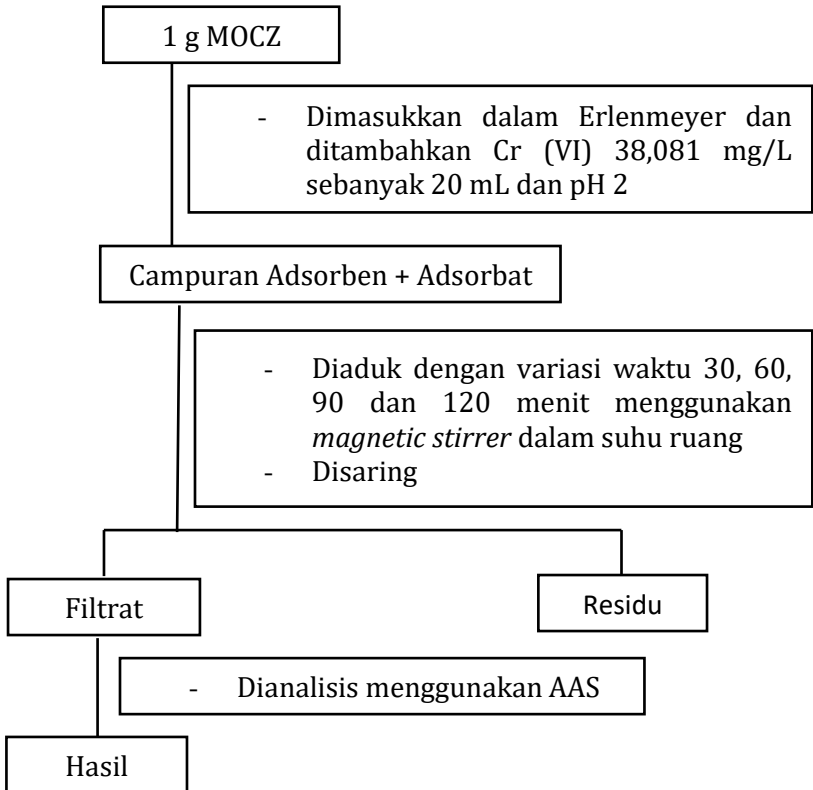


3. Penentuan Kondisi Optimum

3.1. Parameter pH



3.2. Parameter Waktu Kontak



Lampiran 2

Data Hasil Percobaan

1. Data Awal Adsorpsi

Material	C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)
Zeolit	38,081	35,820	0,04522
Na-Zeolit	38,081	36,185	0,03792
Zeolit Dealuminasi	38,081	2,087	0,71988
Zeolit Desilikasi	38,081	34,798	0,06566
MOCZ	38,081	28,057	0,20048

2. Data Optimasi pH

pH	C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)
2	38,081	1,703	0,72756
4	38,081	24,541	0,2708
6	38,081	27,862	0,20438
8	38,081	31,521	0,1312
10	38,081	32,133	0,11896

3. Data Optimasi Waktu Kontak

Waktu (menit)	C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)
30	38,081	26,637	0,22888
60	38,081	25,230	0,25702
90	38,081	25,308	0,25546
120	38,081	25,425	0,25312

Lampiran 3

Perhitungan Analisis Data

1. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi (Q_e)

$$q_e = (C_0 - C_e \times \frac{V}{m})$$

Keterangan

q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

C_0 = Konsentrasi awal (mg/L)

C_e = Konsentrasi akhir (mg/L)

V = Volume (L)

m = Massa adsorben (gram)

1.1. Data Awal Adsorpsi

a. Zeolit

$$\begin{aligned} q_e &= (C_0 - C_e \times \frac{V}{m}) \\ &= \frac{(38,081 - 35,820)\text{mg}}{1} \times \frac{0,02 \text{ L}}{1 \text{ gram}} \\ &= 0,04522 \text{ mg/gram} \end{aligned}$$

b. Na- Zeolit

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_0 - C_e \times \frac{V}{m}) \\ &= \frac{(38,081 - 36,185)\text{mg}}{1} \times \frac{0,02 \text{ L}}{1 \text{ gram}} \\ &= 0,03792 \text{ mg/gram} \end{aligned}$$

c. Zeolit Dealuminasi

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_0 - C_e \times \frac{V}{m}) \\ &= \frac{(38,081 - 2,087)\text{mg}}{1} \times \frac{0,02 \text{ L}}{1 \text{ gram}} \\ &= 0,71988 \text{ mg/gram} \end{aligned}$$

d. Zeolit Desilikasi

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_0 - C_e \times \frac{V}{m}) \\ &= \frac{(38,081 - 34,798)\text{mg}}{1} \times \frac{0,02 \text{ L}}{1 \text{ gram}} \\ &= 0,06566 \text{ mg/gram} \end{aligned}$$

e. MOCZ

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_0 - C_e \times \frac{V}{m}) \\ &= \frac{(38,081 - 28,057)\text{mg}}{1} \times \frac{0,02 \text{ L}}{1 \text{ gram}} \\ &= 0,20048 \text{ mg/gram} \end{aligned}$$

1.2. Penentuan Kondisi Optimum

1.2.1. Parameter pH

a. pH 2

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_0 - C_e \times \frac{V}{m}) \\ &= \frac{(38,081 - 1,703)\text{mg}}{1} \times \frac{0,02 \text{ L}}{1 \text{ gram}} \\ &= 0,72756 \text{ mg/gram} \end{aligned}$$

b. pH 4

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_0 - C_e \times \frac{V}{m}) \\ &= \frac{(38,081 - 24,541)\text{mg}}{1} \times \frac{0,02 \text{ L}}{1 \text{ gram}} \\ &= 0,2708 \text{ mg/gram} \end{aligned}$$

c. pH 6

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_0 - C_e \times \frac{V}{m}) \\ &= \frac{(38,081 - 27,862)\text{mg}}{1} \times \frac{0,02 \text{ L}}{1 \text{ gram}} \\ &= 0,20438 \text{ mg/gram} \end{aligned}$$

d. pH 8

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_0 - C_e \times \frac{V}{m}) \\ &= \frac{(38,081 - 31,521)\text{mg}}{1} \times \frac{0,02 \text{ L}}{1 \text{ gram}} \\ &= 0,1312 \text{ mg/gram} \end{aligned}$$

e. pH 10

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_0 - C_e \times \frac{V}{m}) \\ &= \frac{(38,081 - 32,133)\text{mg}}{1} \times \frac{0,02 \text{ L}}{1 \text{ gram}} \\ &= 0,11896 \text{ mg/gram} \end{aligned}$$

1.2.2. Parameter Waktu Kontak

a. Waktu 30 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_0 - C_e \times \frac{V}{m}) \\ &= \frac{(38,081 - 26,637)\text{mg}}{1} \times \frac{0,02 \text{ L}}{1 \text{ gram}} \\ &= 0,22888 \text{ mg/gram} \end{aligned}$$

b. Waktu 60 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_0 - C_e \times \frac{V}{m}) \\ &= \frac{(38,081 - 1,703)\text{mg}}{1} \times \frac{0,02 \text{ L}}{1 \text{ gram}} \\ &= 0,72756 \text{ mg/gram} \end{aligned}$$

c. Waktu 90 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_0 - C_e \times \frac{V}{m}) \\ &= \frac{(38,081 - 25,308)\text{mg}}{1} \times \frac{0,02 \text{ L}}{1 \text{ gram}} \\ &= 0,25546 \text{ mg/gram} \end{aligned}$$

d. Waktu 120 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_0 - C_e \times \frac{V}{m}) \\ &= \frac{(38,081 - 25,424)\text{mg}}{1} \times \frac{0,02 \text{ L}}{1 \text{ gram}} \\ &= 0,25312 \text{ mg/gram} \end{aligned}$$

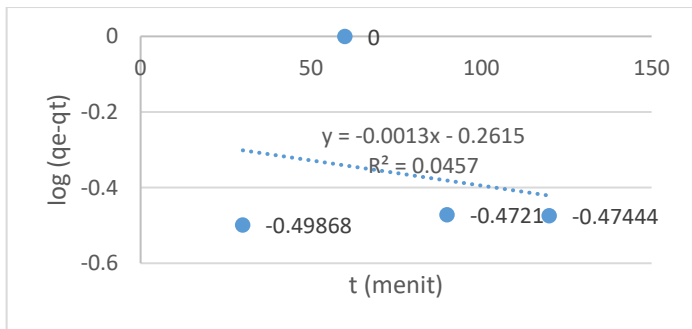
2. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

2.1. Pseudo Orde satu

Tabel Data untuk Penentuan Pseudo Orde Satu

T	q_t	q_e	$q_e - q_t$	$\text{Log}(q_e - q_t)$
30	0,22888	0,72756	0,02814	-0.49868
60	0,72756	0,72756	0	
90	0,25546	0,72756	0,00156	-0.4721
120	0,25312	0,72756	0,0039	-0.47444

Berdasarkan data pada tabel L3.1 maka dapat dibuat kurva t vs $\log(q_e - q_t)$ dengan slope adalah k_1 dan intersep adalah q_e . Kurva t vs $\log(q_e - q_t)$ dapat dilihat pada gambar L3.1



Gambar L3.1 Kurva t vs $\log(q_e - q_t)$

Berdasarkan gambar L3.1 diperoleh persamaan pseudo orde satu $y = -0,0013x - 0,2615$ dengan $R^2 = 0,0457$. Untuk

mencari nilai k_1 dan q_e maka dapat dihitung seperti cara berikut

$$y = ax + b$$

$$y = -0,0013x - 0,2615$$

$$R^2 = 0,0457$$

$$\frac{k_1}{2,303} = a$$

$$\frac{k_1}{2,303} = -0,0013$$

$$k_1 = -0,0029939$$

$$\log q_e = b$$

$$\log q_e = -0,2615$$

$$q_e = 10^{-0,2615} = 0,5476$$

2.2. Pseudo Orde Dua

Tabel L3.2. Data untuk Penentuan Pseudo orde Dua

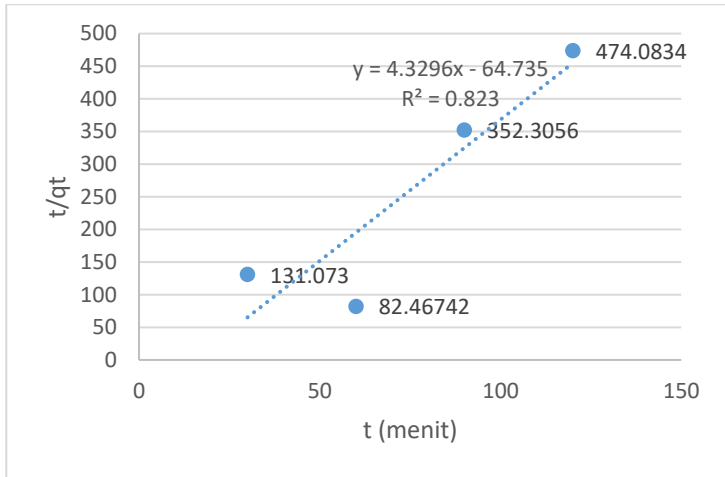
T	q_t	q_e	t/q_t
30	0,22888	0,72756	131,0730
60	0,72756	0,72756	82.46742
90	0,25546	0,72756	352,3056
120	0,25312	0,72756	474.0834

Berdasarkan data pada tabel L3.2 maka dapat dibuat

kurva t vs $\frac{t}{q_e}$ dengan slope adalah $\frac{1}{q_e}$ dan intersep

adalah $\frac{1}{k_2 q_e^2}$. Kurva t vs $\log (q_e - q_t)$ dapat dilihat pada

gambar L2.1



Gambar L3.2. kurva t vs t/q_t

Berdasarkan gambar L3.2 diperoleh persamaan pseudo orde dua adalah $y = 4,3296x - 64,735$ dengan $R^2 = 0,823$. Untuk mencari nilai K_2 dan q_e maka dapat dihitung seperti cara berikut :

$$y = ax + b$$

$$y = 4,3296x - 64,735$$

$$R^2 = 0,823$$

$$\frac{1}{q_e} = a$$

$$\frac{1}{q_e} = 4,3296$$

$$\frac{1}{4,3296} = q_e$$

$$q_e = 0,2309$$

$$\frac{1}{k_2 q_e^2} = b$$

$$\frac{1}{k_2 \cdot 0,2309^2} = -64,735$$

$$\frac{1}{-64,735 \cdot 0,2309^2} = k_2$$

$$K_2 = \frac{1}{-3,45133} = -0,2897 \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$$

Lampiran 4

Dokumentasi Penelitian



Zeolit alam



Proses Na-Zeolit



Proses dealuminasi



Proses desilikasi



Proses pencucian dan penyaringan



pH netral



Proses pengeringan



Proses coating



Proses pencucian dan penyaringan



Manganese oxide-coated zeolite (MOCZ)



Na-Zeolit - Zeolit dealuminasi - Zeolit desilikasi - MOCZ (Kiri - Kanan)



Proses adsorpsi

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Nabila Athiyatul Maula
2. Tempat & Tgl. Lahir : Jepara, 06 Juni 1998
3. Alamat Rumah : Ds. Sukosono Rt.08 Rw.02
Kec. Kedung Kab. Jepara
4. No. Hp : 089504047316
5. Email : maula.nabiela@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal
 - a. RA Al-Masyitoh Sukosono
 - b. MI Sultan Fattah Sukosono
 - c. MTs Sultan Fattah Sukosono
 - d. MA Matholi'ul Huda Bugel
 - e. UIN Walisongo Semarang
2. Pendidikan Non Formal
 - a. Madin Hidayatul Muftadi'in Sukosono
 - b. Madin Wustho Miftahul Ulum Sukosono
 - c. Pondok pesantren Al-Wathoniyah Sukosono

Semarang, Juni 2020



Nabila Athiyatul maula

NIM : 1508026005