

ADSORPSI AIR SADAH MENGGUNAKAN MEDIA GEOPOLIMER BERBASIS KAOLIN

SKRIPSI
Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains
Dalam Ilmu Kimia



Oleh:

Afiaturrochmaniah

1508036020

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

SEMARANG

2020

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Afiaturrochmaniah

NIM : 1508036020

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul

**“Adsorpsi Air Sadah Menggunakan Media Geopolimer
Berbasis Kaolin”**

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

Semarang, 23 Maret 2020
Pembuat Pernyataan



Afiaturrochmaniah
NIM: 1508036020



KEMENTERIAN AGAMA R.I
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. Dr. Hamka (Kampus II) Ngaliyan Semarang
Telp. 024-7601295 Fax. 7615387

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **Adsorpsi Air Sadah Menggunakan Media Geopolimer Berbasis Kaolin**

Penulis : Afiaturrochmaniah

Jurusan : Kimia

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

Semarang, 24 Maret 2020

DEWAN PENGUJI

Penguji I

Ervin Tri Suryandari, M.Si
NIP.19740716 200912 2 001

Penguji II

Fji Malikhatul Hidayah, M.Pd
NIP.19830415 200912 2 006

Penguji III

Ratih Rizqi Nirwana, S.Si, M.Si
NIP.19810414 200501 2 000

Penguji IV

Mulyatun, M.Si
NIP.19830504 201101 2 008

Pembimbing I,

Wirda Udaibah, S.Si., M.Si
NIP. 19850104 200912 2 003

Pembimbing II,

Zidni Azizati, M.Sc
NIP. 19901117 201801 2 001

NOTA DINAS

Semarang, 23 Maret 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 Air Sadah Menggunakan Media Geopolimer Berbasis Kaolin

Penulis : Afiaturrochmaniah

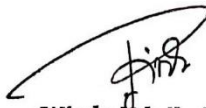
NIM : 1508036020

Jurusan : Kimia

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam Sidang munaqasyah.

Wassalamu'alaikum wr. wb

Semarang, 23 Maret 2020
Pembimbing I



Wirda Udaibah, M.Si
NIP. 19860104 200912 2 003

NOTA DINAS

Semarang, 23 Maret 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 Air Sadah Menggunakan Media Geopolimer Berbasis Kaolin

Penulis : Afiaturrochmaniah

NIM : 1508036020

Jurusan : Kimia

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

Wassalamu'alaikum wr. wb

Semarang, 23 Maret 2020
Pembimbing II



Zidni Azizati, M.Sc
NIP. 19901117 201801 2001

ABSTRAK

Air sadah merupakan air yang mengandung mineral-mineral tertentu terutama ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam bentuk garam karbonat dengan jumlah berlebih. Kelebihan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} ini dapat menimbulkan berbagai masalah kesehatan, meningkatkan konsumsi sabun, menimbulkan kerak pada peralatan baik di industri maupun rumah tangga. Salah satu cara untuk mengatasi masalah ini adalah dengan metode adsorpsi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik geopolimer berbasis kaolin dengan variasi KOH:kaolin yang diaplikasikan pada air sadah.

Geopolimer berhasil disintesis dari bahan kaolin dan KOH. Pada hasil XRD puncak spesifik geopolimer muncul $2\theta = 26,685^\circ$. Pada hasil FTIR pita serapan Si-O-Al terlihat pada bilangan gelombang $1061,37 \text{ cm}^{-1}$ yang menjadi karakteristik geopolimer. Geopolimer ini memiliki fase kristalin. Hasil terbaik diantara ketiga geopolimer terjadi pada geopolimer 1,5:1 (G1). Hasil SAA geopolimer dengan luas permukaan $9,712 \text{ m}^2/\text{g}$ dijadikan sebagai adsorben dalam penurunan kesadahan dengan kapasitas adsorpsi Ca^{2+} dan Mg^{2+} masing-masing sebesar $9,386 \text{ mg/g}$ dan $6,423 \text{ mg/g}$.

Kata Kunci: Air sadah, adsorpsi, geopolimer, KOH, kaolin.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'alamin puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul: Adsorpsi Air Sadah Menggunakan Media Geopolimer berbasis Kaolin. Shalawat serta salam semoga tetap terlimpahkan kepada baginda Rasulullah SAW yang senantiasa memupuk rasa semangat dan keyakinan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.


Terselesainya skripsi ini tidak lepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan dan rasa hormat penulis menghaturkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan baik moril maupun materil baik langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Prof. Dr. H. Imam Taufiq, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang
2. Dr. H. Ismail, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
3. Hj. Malikhatul Hidayah, M.Pd selaku Ketua Jurusan Kimia
4. Wirda Udaibah M.Si, selaku dosen pembimbing pertama yang sudah memotivasi dan membimbing penulis dengan sabar selama melaksanakan serta menyusun skripsi

5. Zidni Azizati, M.Sc, selaku dosen pembimbing kedua yang dengan sabar memberikan bimbingan dan masukan dalam menyelesaikan skripsi
6. Dosen dan staff di lingkungan UIN Walisongo Semarang khususnya Program Studi Kimia yang telah banyak membantu dan memberikan ilmunya kepada penulis selama kuliah
7. Tersayang kepada Orang tua penulis, Bapak Abdurrochman dan Ibu Subadriyah yang selalu mendoakan, memberi motivasi dan penyemangat yang tiada henti kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi
8. Kedua adik tercinta penulis, Arfidah Yulianasari dan Aina Fadhilah Khoerunnisa yang selalu memberikan semangat dan menghibur penulis dalam menyelesaikan skripsi
9. Sahabat-sahabatku tercinta dari semasa kecilku sampai sekarang, Yufiaka (Ayu, Afi, Lia, Rizka) yang selalu memberi semangat kepada penulis dalam mengerjakan skripsi
10. Teman-temanku yang senantiasa bersedia dengan ikhlas menemani bermalam di Laboratorium, Titik Turmiati, Siti Zaimah, Niken Iswandiari dan Lulu Ni'matul Maulida

11. Teman-teman seperjuangan Kimia 2015 dan KKN MIT 7 posko 2 Mangunharjo yang senantiasa memotivasi satu sama lain, serta
12. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Semarang, 23 Maret 2020
Penulis



Afiaturrochmaniah
NIM. 1508036020

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	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	7
C. Tujuan Penelitian	7
D. Manfaat Penelitian	7
BAB II LANDASAN TEORI	
A. Air Sadah	9
B. Geopolimer	15
C. Kaolin	21
D. Adsorpsi.....	23
E. Kinetika Adsorpsi.....	26
F. Isoterm Adsorpsi	28
G. Uji Kuantitatif	32
H. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	33
I. <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	36
J. Penentuan Luas Permukaan Material	39
K.Kajian Pustaka.....	40
BAB III METODE PENELITIAN	
A. Tempat dan Waktu Penelitian	45
B. Alat dan Bahan	45
1. Alat.....	45

2. Bahan	46
B. Cara Kerja.....	46
1. Preparasi Sampel	46
2. Sintesis Geopolimer	46
3. Karakterisasi Geopolimer.....	47
a. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	47
b. <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	48
c. Penentuan Luas Permukaan Geopolimer Berbasis Kaolin	49
4. Adsorpsi Air Sadah.....	50
5. Penentuan Kadar Kesadahan Total secara Titrasi Kompleksometri.....	50
a. Kesadahan Total.....	50
b. Kalsium	51
c. Parameter Adsorpsi	53
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Preparasi Sampel.....	55
B. Sintesis Geopolimer	56
C. Karakterisasi Geopolimer Menggunakan <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	60
D. Karakterisasi Geopolimer Menggunakan <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	65
E. Karakterisasi <i>Surface Area Analyzer</i>	69
F. Kapasitas Adsorpsi.....	72
G. Kinetika Adsorpsi	73
H. Isoterm Adsorpsi	84
 BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	95
B. Saran	96

DAFTAR PUSTAKA

Lampiran

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Mineral Kaolin.....	22
Tabel 4.1 Hasil Analisis FTIR Geopolimer.....	62
Tabel 4.2 Hasil Analisis XRD Geopolimer.....	67
Tabel 4.3 Hasil Analisis Data SAA Geopolimer.....	70
Tabel 4.4 Hasil Analisa Kapasitas Adsorpsi Geopolimer Terhadap Air Sadah.....	72
Tabel 4.5 Kapasitas Adsorpsi Terhadap Waktu Kontak...	74
Tabel 4.6 Data Model Kinetika Adsorpsi pada Ion Ca^{2+}	78
Tabel 4.7 Data Model Kinetika Adsorpsi pada Ion Mg^{2+} ...	81
Tabel 4.8 Kapasitas Adsorpsi Terhadap Konsentrasi	84
Tabel 4.9 Data Model Isoterm Adsorpsi pada Ion Ca^{2+}	88
Tabel 4.10 Data Model Isoterm Adsorpsi pada Ion Mg^{2+} .	91
Tabel L2.1. Data untuk Penentuan <i>Pseudo First Order</i> pada Ion Ca^{2+}	113
Tabel L2.2. Data untuk Penentuan <i>Pseudo First Order</i> pada Ion Mg^{2+}	115
Tabel L2.3. Data untuk Penentuan <i>Pseudo Second Order</i> Ca^{2+}	117
Tabel L2.4. Data untuk Penentuan <i>Pseudo Second Order</i> Mg^{2+}	119
Tabel L2.5 Data untuk Perhitungan Isoterm Langmuir pada Ion Ca^{2+}	121
Tabel L2.6 Data untuk Perhitungan Isoterm	

Langmuir pada Ion Mg^{2+}	123
Tabel L2.7 Data untuk Perhitungan Isoterm Freundlich pada Ion Ca^{2+}	125
Tabel L2.8 Data untuk Perhitungan Isoterm Freundlich pada Ion Mg^{2+}	127

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lapisan Monolayer pada Isoterm Langmuir.....	29
Gambar 2.2 Lapisan Multilayer pada Isoterm Freundlich	31
Gambar 2.3 Prinsip Kerja <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	34
Gambar 2.4 Diagram Geopolimer berbasis Kaolin	35
Gambar 2.5 Skema Optik <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	37
Gambar 2.6 Spektra Geopolimer berbasis Kaolin.....	38
Gambar 4.1 Hasil Geopolimer	60
Gambar 4.2 Spektra FTIR Geopolimer.....	61
Gambar 4.3 Pola Difraksi XRD Geopolimer	66
Gambar 4.4 Grafik SAA Geopolimer.....	70
Gambar 4.5 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Ion Ca^{2+}	75
Gambar 4.6 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Ion Mg^{2+}	75
Gambar 4.7 Kinetika Adsorpsi <i>Pseudo First Order</i> pada Ion Ca^{2+}	79
Gambar 4.8 Kinetika Adsorpsi <i>Pseudo Second Order</i> pada Ion Mg^{2+}	79
Gambar 4.9 Kinetika Adsorpsi <i>Pseudo First Order</i> pada Ion Ca^{2+}	82

Gambar 4.10 Kinetika Adsorpsi <i>Pseudo Second Order</i> pada Ion Mg^{2+}	82
Gambar 4.11 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Ion Ca^{2+} ...	85
Gambar 4.12 Pengaruh Konsentrasi Terhadap Ion Mg^{2+}	85
Gambar 4.13 Isoterm Langmuir pada Ca^{2+}	89
Gambar 4.14 Isoterm Freundlich pada Ca^{2+}	89
Gambar 4.15 Isoterm Langmuir pada Mg^{2+}	92
Gambar 4.16 Isoterm Freundlich pada Mg^{2+}	92
Gambar L2.1 Kurva t vs $\log (q_e - q_t)$ Ion Ca^{2+}	114
Gambar L2.2 Kurva t vs $\log (q_e - q_t)$) Ion Mg^{2+}	116
Gambar L2.3 Kurva t vs t/q_t) Ion Ca^{2+}	118
Gambar L2.4 Kurva t vs t/q_t Ion Mg^{2+}	120
Gambar L2.5 Kurva C_e vs C_e/q_e) Ion Ca^{2+}	122
Gambar L2.6 Kurva C_e vs C_e/q_e Ion Mg^{2+}	124
Gambar L2.7 Kurva $\log C_e$ vs $\log q_e$) Ion Ca^{2+}	126
Gambar L2.8 Kurva $\log C_e$ vs $\log q_e$ Ion Mg^{2+}	128

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Skema Kerja	104
Lampiran 2 Perhitungan Analisis Data	107
Lampiran 3 Dokumentasi Penelitian.....	130

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Air merupakan salah satu komponen terpenting dalam kehidupan manusia maupun makhluk hidup lainnya. Tanpa air, makhluk hidup tidak akan bertahan hidup lama. Terutama manusia, tubuh manusia membutuhkan air sekitar 80%. Manusia bisa bertahan hidup tanpa makan selama berminggu-minggu, tetapi manusia tidak bisa bertahan hidup tanpa air selama beberapa hari (Buanasita, 2014).

Air memiliki banyak kegunaan terutama dalam keperluan industri dan rumah tangga misalnya untuk memasak, minum, mencuci, dll. Perlu diketahui bahwa keperluan air tersebut harus dilihat dari kualitas airnya. Air yang bersih dan sehat harus memenuhi beberapa persyaratan supaya aman dikonsumsi dan tidak menyebabkan penyakit, diantaranya ditinjau dari segi fisik, kimia, dan biologisnya. Persyaratan secara fisik yaitu air tidak berbau dan tidak berwarna. Persyaratan biologisnya air tidak boleh mengandung bakteri *Escherichia Colli*, sedang persyaratan secara kimia yaitu air tidak mengandung senyawa yang beracun dan setiap

zat yang terlarut dalam air memiliki batas yang telah dianjurkan (Waluyo, 2009).

Kesadahan merupakan sifat air yang mengandung ion-ion logam valensi dua dan ion penyebab utama kesadahan adalah Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Di Indonesia khususnya di Jawa Tengah terdapat beberapa daerah yang airnya tergolong kedalam air sadah, seperti di Sragen angka kesadahan air mencapai 153 mg/L (Nurhayati, 2006). Di Grobogan angka kesadahan di daerah ini tergolong sangat tinggi yaitu berkisar 150-554 mg/L (Nining, 2014). Menurut Peavy, dkk kadar kesadahan antara 150-300 mg/L sudah termasuk kualitas sadah yang tinggi sampai sangat tinggi. Oleh karena itu, air di daerah Sragen dan Grobogan sudah termasuk kedalam golongan air sadah yang tinggi. Selain itu juga sudah melewati batas maksimum air sadah yang diperbolehkan untuk dikonsumsi (Permenkes, 2010).

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum, kadar maksimum kesadahan yang diperbolehkan adalah 500 mg/L. Air yang mempunyai tingkat kesadahan tinggi menyebabkan timbulnya kerak pada peralatan masak, menimbulkan endapan berwarna putih, menyebabkan sabun kurang

membusa sehingga meningkatkan konsumsi sabun, dan menimbulkan korosi pada peralatan yang terbuat dari besi. Menurut WHO air yang memiliki kesadahan tinggi akan menimbulkan dampak terhadap kesehatan yaitu dapat menyebabkan penyumbatan pembuluh darah jantung (*cardiovascular disease*) dengan angka kematian mencapai 30%, sedangkan keseluruhan biaya yang dikeluarkan untuk pengobatannya sekitar Rp 1,82 triliun. Batu ginjal (*urolithiasis*) dengan angka kematian mencapai 2,93%, sedangkan biaya pengobatan yang harus dikeluarkan sekitar Rp7.000.000-Rp25.000.000,-. Selain itu penyumbatan pipa logam karena endapan CaCO_3 , serta menyebabkan pengerakan pada peralatan logam untuk memasak sehingga penggunaan energi menjadi boros (WHO, 2005).

Air bersih yang layak konsumsi dapat diperoleh dengan melakukan suatu cara peningkatan kualitas air. Terdapat beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kualitas air dalam hal ini untuk mengurangi angka air sadah, yaitu filtrasi membran, resin pertukaran ion, elektrodialisis dan adsorpsi. Metode-metode ini sangat efektif dilakukan dalam penghilangan kesadahan, namun berdampak dari segi ekonomi yang diperlukan cukup banyak jika diterapkan

dalam masyarakat menengah kebawah. Akan tetapi dari beberapa metode tersebut terdapat satu metode yang memungkinkan untuk diterapkan, yaitu adsorpsi. Metode ini sebagai alternatif penurunan kesadahan karena lebih ekonomis (Cecilia, 2014).

Adsorpsi merupakan suatu proses yang terjadi ketika fluida (cairan/gas) terikat pada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu film (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut (Fatimah, 2014). Adsorpsi sangat umum diterapkan dalam mengatasi permasalahan air, karena desainnya cukup sederhana dan lebih ekonomis. Sehingga upaya adsorpsi diterapkan dalam penelitian ini untuk mengurangi angka kesadahan yang tinggi (Gayatri, 2010).

Proses adsorpsi tentunya memerlukan suatu adsorben sebagai material tempat terjadinya adsorpsi. Adsorben yang baik adalah adsorben yang mempunyai luas permukaan besar dan mempunyai gaya tarik yang besar terhadap molekul lain. Adsorben yang mempunyai luas permukaan yang besar harus berongga/pori-pori yang banyak sehingga adsorbat dapat diserap dalam rongga dan pori-pori tersebut (Fatimah, 2014).

Berdasarkan penelitian terdahulu, adsorben untuk penurunan angka kesadahan air dapat berasal dari bahan

alam maupun limbah industri seperti *fly ash*, sekam padi, batu apung, biji kelor, kulit kacang, dan bubuk kaolin (Cecilia, 2014). Kaolin sangat melimpah di alam dan dapat dijadikan sebagai bahan untuk mengurangi kesadahan air dengan sintesis material geopolimer. Kaolin merupakan salah satu bahan alam yang cukup baik digunakan sebagai sumber silika dan alumina setelah sekam padi pada sintesis geopolimer. Kaolin kaya akan silika dan alumina dengan komposisinya yaitu SiO₂ 60,28%, Al₂O₃ 33,91%, K₂O 3,5%, MgO 0,28%, Na₂O 0,063%, dan CaO 0,025%. Selain itu juga mudah ditemukan dipasaran. Sehingga kaolin rekomendasi yang baik digunakan sebagai bahan dasar pembuatan geopolimer yang ramah lingkungan (Zenghua *et al.*, 2011).

Pada dasarnya media geopolimer merupakan material yang mirip dengan zeolit. Meskipun zeolit memiliki luas permukaan yang besar (Lestari, 2010). Akan tetapi zeolit untuk menghasilkan struktur kerangka yang baik dan luas permukaan yang besar memerlukan suhu tinggi sehingga membutuhkan banyak energi. Maka dari itu geopolimer dapat menjadi solusi untuk lebih hemat energi, karena dalam geopolimer dapat dilakukan pada suhu yang lebih rendah dari zeolit (Ferdy, 2010).

Geopolimer merupakan material yang dibentuk dari polimerisasi silikon, aluminium, dan oksigen sehingga menjadi struktur amorf tiga dimensi (Naghsh, 2017). Jika dibandingkan dengan media zeolit, penyusunan geopolimer ini lebih sederhana dari sintesis zeolit. Hal ini karena tidak melibatkan tahap nukleasi atau kristalisasi (Cheng *et al.*, 2012). Adanya Al dalam geopolimer dapat menginduksi muatan negatif ke kerangka geopolimer dan dengan menambahkan kation alkali dalam sintesis geopolimer dapat mempromosikan tingkat geopolimerisasi yang tinggi (Duxson *et al.*, 2005).

Kinerja geopolimer dari beberapa penelitian telah membuktikan bahwa geopolimer berbasis metakaolin dapat mengadsorpsi logam berat, seperti Mn^{2+} dan Co^{2+} dengan kapasitas adsorpsinya mencapai 72,34 mg/g dan 69,23 mg/g (Kara *et al.*, 2018). Geopolimer berbasis *fly ash* dapat mengadsorpsi Cu^{2+} yang kapasitas adsorpsinya cukup tinggi mencapai 152 mg/g (Al-Harashsheh *et al.*, 2015). Geopolimer berbasis metakaolin juga dapat mengadsorpsi *Methylene Blue* dari larutan berair mencapai 43,48 mg/g (El Alouani *et al.*, 2019). Berdasarkan beberapa hasil penelitian sebelumnya mengenai geopolimer dalam mengurangi permasalahan air cukup baik, maka dalam penelitian ini juga akan

melakukan penelitian yang sama. Akan tetapi berbeda dari variasi rasio mol logam alkali terhadap bahan dasar untuk membuat geopolimer serta masalah air atau adsorbat yang digunakan, yaitu adsorpsi air sadah menggunakan media geopolimer berbasis kaolin.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut diatas, perumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik geopolimer berbasis kaolin hasil sintesis?
2. Bagaimana pengaruh rasio mol KOH:kaolin pada geopolimer terhadap kapasitas adsorpsi air sadah?
3. Bagaimana pengaruh waktu kontak dan konsentrasi terhadap kapasitas adsorpsi air sadah?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian rumusan masalah tersebut diatas, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui karakteristik hasil sintesis geopolimer berbasis kaolin
2. Untuk mengetahui pengaruh rasio mol KOH:kaolin pada geopolimer terhadap kapasitas adsorpsi air sadah

3. Untuk mengetahui pengaruh waktu kontak dan konsentrasi terhadap kapasitas adsorpsi air sadah

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi mengenai sintesis geopolimer berbasis kaolin dapat menurunkan air sadah pada rasio mol yang berbeda antara logam alkali terhadap kaolin dengan melakukan variasi konsentrasi larutan dan waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Air Sadah

Air merupakan salah satu senyawa yang sangat penting dan memiliki banyak manfaat bagi kehidupan makhluk hidup, terutama manusia memanfaatkan air untuk kegiatan rumah tangga, industri, bercocok tanam, dan lain sebagainya. Air merupakan komponen terbesar didalam tubuh manusia sekitar 60% - 70%. Sesuai anjuran bahwa kebutuhan air sekitar 1ml/1 kalori untuk energi yang digunakan (Sawka, 2005).

Tubuh yang kekurangan air 1% akan timbul rasa haus sebagai pertanda bahwa tubuh sedang mengalami dehidrasi. Jika tubuh kekurangan air >1% maka akan timbul masalah bagi kesehatan tubuh. Manusia bisa bertahan hidup tanpa makan selama beberapa minggu, tetapi manusia tidak bisa bertahan hidup jika kekurangan air selama beberapa hari (Fox, 1998). Oleh karena itu, tubuh selalu membutuhkan air agar tidak menyebabkan dehidrasi dan gangguan kesehatan lainnya. Maka air yang diperlukan juga harus air yang bersih dan aman untuk dikonsumsi. Berikut beberapa persyaratannya yaitu (Waluyo, 2009):

1. Syarat fisik

Syarat ini meliputi suhu, warna, bau, rasa, dan kekeruhan. Suhu air yang normal sebaiknya sejuk atau tidak panas, supaya tidak terjadi pelarutan zat kimia yang ada pada saluran air atau pipa yang dapat membahayakan kesehatan. Air yang sehat tidak berwarna untuk mencegah terjadinya keracunan dari berbagai zat kimia maupun mikroorganisme yang terkandung didalam air. Air seharusnya tidak berbau, karena air yang berbau selain tidak estetik juga tidak dapat diterima masyarakat. Air juga seharusnya tidak berasa, karena air yang berasa dapat menunjukkan keberadaan zat yang dapat membahayakan kesehatan. Air seharusnya tidak keruh, karena dengan adanya kekeruhan air disebabkan masih banyak terdapat zat padat yang tersuspensi, baik zat organik maupun zat anorganik.

2. Syarat bakteriologis

Air yang dikonsumsi manusia harus bebas dari segala virus dan bakteri patogen. Untuk mengetahui kualitas air secara biologi air tersebut harus dicek terlebih dahulu, jika hasil pemeriksaan air tersebut terdapat kurang dari empat bakteri *E. coli* maka air tersebut memenuhi persyaratan kesehatan.

3. Syarat kimia

Air yang dikonsumsi harus mengandung zat-zat tertentu dalam jumlah tertentu pula. Kekurangan atau kelebihan salah satu zat kimia di dalam air dapat menimbulkan gangguan fisiologis pada manusia. Terutama kandungan zat kimia yang berbahaya akan menyebabkan penyakit yang serius. Berikut adalah beberapa persyaratan kimia yang sangat penting terhadap kesehatan manusia :

- a. Derajat keasaman (pH) yang lebih kecil dari 6,5 dan lebih besar dari 8,5 menyebabkan rasa tidak enak dan beberapa bahan kimia berubah menjadi racun yang mengganggu kesehatan
- b. Zat organik sebagai KMnO_4 yang berlebihan menimbulkan bau yang tidak sedap dan menyebabkan sakit perut
- c. Kesadahan total di atas 300 mg/L bila dikonsumsi terus menerus akan merusak ginjal manusia
- d. Besi (Fe) dengan dosis berlebihan akan merusak dinding usus
- e. Mangan (Mn) dengan dosis tinggi akan menimbulkan rasa dan bersifat toksik

- f. Tembaga (Cu) pada kadar yang lebih besar dari 1 mg/L akan menyebabkan gejala ginjal, muntaber, pusing, dan dapat menimbulkan kerusakan pada hati
- g. Seng (Zn) pada air minum dengan kadar > 3 mg/L dapat menyebabkan muntaber
- h. Logam-logam berat lain (Pb, As, Se, Cd, Hg, CN) pada air minum akan menyebabkan gangguan pada jaringan syaraf, pencernaan, metabolisme oksigen, dan kanker.

Beberapa masyarakat Indonesia masih memanfaatkan air sumur atau air tanah sebagai sumber air dikehidupannya. Air tanah merupakan sebagian air hujan yang mencapai permukaan bumi dan terserap ke dalam lapisan tanah dan menjadi air tanah. Sebelum mencapai lapisan air tanah, air hujan akan menembus beberapa lapisan tanah dan menyebabkan terjadinya kesadahan air (mengandung ion logam Ca, Mg, Fe dan Mn) (Chandra, 2007).

Air dengan kandungan mineral tinggi disebabkan karena terlalu banyak mengandung kalsium karbonat. Pada umumnya air tanah atau air sumur mempunyai tingkat kesadahan yang tinggi. Hal ini terjadi karena air tanah atau air sumur mengalami kontak langsung dengan batuan kapur yang ada pada lapisan tanah yang dilalui oleh

air. Adanya kesadahan dalam air dengan jumlah yang tidak memenuhi syarat dapat menyebabkan kerugian dari segi ekonomi maupun kesehatan. Air kapur dapat menyebabkan beberapa masalah, misalnya dalam penggunaan di rumah tangga dan industri. Penggunaan di rumah tangga mengakibatkan konsumsi sabun meningkat. Hal ini disebabkan karena salah satu bagian dari molekul sabun diikat oleh unsur Ca. Sedangkan Penggunaan air kapur untuk industri dapat menyebabkan kerak pada dinding peralatan, seperti alat pemanasan sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan industri dan menghambat proses pemanasan (Dinora & Purnomo, 2013).

Kesadahan merupakan sifat air yang mengandung ion - ion logam valensi dua dan ion penyebab utama kesadahan adalah Ca^{2+} dan Mg^{2+} (Sutrisna & Eni, 2006). Kadar maksimum kesadahan yang dianjurkan oleh Departemen Kesehatan untuk air yang layak konsumsi adalah 500 mg/L (Permenkes, 2010). Kesadahan yang tinggi dapat menyebabkan berbagai dampak bagi kesehatan, misalnya penyakit batu ginjal, penyumbatan pembuluh darah jantung, dan timbulnya karang gigi (Florenzia, 2014). Didalam usus, bagi orang dewasa kalsium yang dapat diserap sesuai kebutuhan yaitu 1000-

1200 mg/hari. Sedangkan bagi remaja kalsium yang diserap usus membutuhkan lebih banyak yaitu 1300 mg/hari (Almatsier, 2004).

Kalsium memiliki peranan yang sangat penting bagi tubuh, seperti perkembangan tulang, proses pembekuan darah dan metabolisme sel. Rendahnya kadar kalsium dalam darah diganti dengan mengambil kalsium dari tulang untuk ketahanan terhadap fungsi jantung dan otot. Jika tubuh kekurangan kalsium akan menyebabkan tulang rapuh. Batas maksimum kadar kalsium yaitu 2500 mg/hari (Silalahi, 2014). Magnesium berperan penting pada metabolisme kalsium, relaksasi otot, dan juga untuk proses sintesis protein dalam tulang. Kadar maksimum magnesium bagi orang dewasa, yaitu 400-500 mg/hari. Jika tubuh kekurangan magnesium akan berakibat pada jari-jari tangan dingin, mengalami kejang betis, menyebabkan tekanan darah meningkat, dan gangguan pada jantung (Tjay&Rahardja, 2007).

Menurut WHO, kadar minimum magnesium yang dianjurkan dalam air layak konsumsi yaitu 10 mg/L, sedangkan untuk kadar optimumnya yaitu 20-30 mg/L. Kadar minimum kalsium yang dianjurkan dalam air layak konsumsi yaitu 20 mg/L dan kadar optimumnya yaitu 40-80 mg/L (Kozisek, 2005). Sementara itu, menurut

Permenkes RI No.01/Birhumas/I/1975 tentang persyaratan kualitas air minum dalam baku mutu air minum, bahwa kadar minimum magnesium yaitu 30 mg/L dan kadar maksimalnya yaitu 150 mg/L. Sedangkan kadar minimum kalsium yang dianjurkan yaitu 75 mg/L dan kadar maksimal yang dibolehkan yaitu 200 mg/L (Permenkes, 1975).

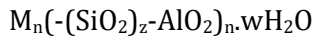
B. Geopolimer

Geopolimer pertama kali dikembangkan oleh Davidovits pada 1978 yang dikenal dengan polimer anorganik. Geopolimer merupakan material yang dibentuk dari polimerisasi silikon, aluminium dan oksigen sehingga menjadi struktur amorf tiga dimensi. Dikatakan demikian karena geopolimer sendiri berupa hasil sintesa bahan-bahan anorganik yang berasal dari alam melalui proses polimerisasi. Bahan dasar utama yang diperlukan dalam pembuatan material geopolimer yaitu bahan-bahan yang memiliki kandungan unsur-unsur silikon dan aluminium. Prekursor yang digunakan dapat berasal dari limbah industri yang memiliki kandungan mineral aluminosilikat diantaranya, yaitu *blast furnace slag*, abu terbang (*fly ash*), serbuk garnit dan lumpur merah (*red mud*) (Davidovits, 1994).

Mekanisme pembentukan geopolimer belum sepenuhnya dipelajari. Namun geopolimer diyakini sebagai proses dua langkah yang melibatkan pembubaran silika dan alumina dari permukaan bahan awal menggunakan bahan mineralisasi alkali, diikuti oleh polimerisasi kelompok permukaan aktif dan spesies yang larut untuk membentuk gel dan kemudian struktur geopolimer akan mengeras (Nyale *et al*, 2013). Menurut Davidovits mekanisme geopolimerisasi melibatkan reaksi polikondensasi prekursor geopolimer, biasanya oksida alumino-silikat dengan polisilikat alkali yang menghasilkan ikatan polimer Si-O-Al (Davidovits, 1994). Aluminium yang berkoordinasi dengan oksigen, mengakibatkan ketidakseimbangan muatan negatif sehingga mengharuskan adanya kation, seperti K^+ dan Na^+ untuk mempertahankan netralitas ikatan dalam matriks (Jaarsveld, 1997).

Geopolimer tidak seperti material yang lain, karena telah banyak para peneliti yang melaporkan bahwa sifat dari geopolimer yaitu memiliki kekuatan awal yang tinggi, penyusutan (*shrinkage*) yang rendah, tahan terhadap peleburan, ketahanan terhadap sulfat, ketahanan terhadap korosi, ketahanan terhadap asam, ketahanan terhadap api, dan reaksi agregat yang tidak berbahaya (Duxson *et al*,

2007). Geopolimer memiliki komposisi kimia yang mirip dengan zeolit yaitu sama-sama mengandung kerangka Si-O-Al namun geopolimer memiliki struktur yang bersifat amorf, sedangkan zeolit kristalin (Davidovits, 1994). Menurut Davidovits rumus umum geopolimer, yaitu:



Keterangan,

M : elemen kation alkali (Kalium atau Natrium)

n : derajat polimerisasi

z : bilangan 1,2,3,...

w : konstanta

Geopolimer merupakan material yang ramah lingkungan, karena berasal dari bahan-bahan buangan industri, seperti abu terbang dan kaolin. Selain itu juga hemat energi, karena tidak memerlukan suhu tinggi untuk menghasilkan geopolimer sehingga energi yang dibutuhkan juga tidak banyak. Geopolimer juga memiliki teknik preparasi yang sederhana (Ferdy, 2010). Sintesis material dapat dilakukan dengan beberapa metode, sebagai berikut:

1. Sol-Gel

Metode sol-gel merupakan salah satu metode yang baik untuk preparasi material oksida berukuran nano. Metode sintesis ini untuk material berbasis

oksida yang berbeda tergantung bahan dasar dan bentuk produk akhirnya (bubuk, film, serat atau aerogel). Metode sol-gel dapat dikenal sebagai salah satu metode sintesis nanopartikel yang cukup sederhana dan mudah. Metode sol-gel merupakan *wet method* (metode basah) karena melibatkan larutan sebagai medianya dalam proses pembentukan produk. Sesuai namanya, larutan akan mengalami perubahan fase menjadi sol yaitu koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya. Kemudian akan menjadi gel yaitu koloid tetapi mempunyai fraksi solid yang lebih besar dari sol (Prasetya et al., 2018).

2. Hidrotermal

Sintesis hidrotermal merupakan salah satu teknik pengkristalan pada temperatur tinggi pada *aqueous solutions* bertekanan tinggi. Metode sintesis ini dapat dikatakan sebagai metode yang dalam proses pengkristalan tergantung pada kesolutan mineral air panas dibawah tekanan tinggi. Pertumbuhan kristal pada suatu material ini dibentuk dalam *autoclave*, dimana nutrisi mensuplai terus menerus bersama air (Walujodjati, 2008).

3. Alkali Fusi

Alkali fusi merupakan metode konvensional analisis kimia untuk menguraikan bahan yang mengandung silikon dan atau aluminium (Wang & Feng, 2009). Metode ini melibatkan proses peleburan yang bertujuan melepas ikatan SiO_2 (mereaksikan kaolin dengan basa kuat alkali). Terdapat beberapa bahan alkali yang menjadi kombinasi antara alkali dengan bahan silika dan alumina (dengan titik leburnya) yaitu NaOH (323°C), KOH (406°C) dan Na_2CO_3 ($858,1^\circ\text{C}$) (Abdullah, 2015).

Alkali fusi (peleburan) dilakukan pada temperatur di atas titik lebur bahan alkali sehingga yang dapat menjadi kombinasi alkali terhadap bahan silika alumina yaitu NaOH dan KOH . Bahan alkali tersebut dapat dilakukan pada temperatur yang lebih rendah dari Na_2CO_3 yaitu pada temperatur 550°C - 750°C . Sementara Na_2CO_3 lebih menghasilkan gas CO_2 yang berbahaya karena terjadi pada temperatur yang tinggi. Sehingga bahan alkali fusi yang baik untuk proses alkali fusi suatu material adalah NaOH dan KOH (Abdel, 2007 & Mamivand, 2013).

Berdasarkan beberapa metode untuk sintesis material, pada penelitian ini akan melakukan sintesis

C. Kaolin

Indonesia merupakan salah satu negara yang berpotensi dan memiliki cadangan yang besar sebagai penghasil kaolin, diantaranya terdapat di Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Pulau Bangka dan Belitung, Sumatera Utara, Pulau Jawa, dan Sulawesi Utara (Wulansari, 2016). Salah satu daerah penghasil kaolin terbesar yang ada di Indonesia ini adalah Pulau Bangka dan Belitung mencapai 78%. Selain itu, di Jawa juga terdapat beberapa daerah penghasil kaolin, seperti di Banjarnegara, Wonogiri, Gunung Kidul dan Trenggalek. Kaolin ini biasanya digunakan dalam industri kertas, porselin, keramik, semen, dll (Sukandarrumidi, 2009).

Kaolin adalah mineral yang tergolong pada batuan sedimen yang dikenal dengan batu lempung. Kaolin merupakan suatu massa batuan tersusun dari mineral lempung kualitas tinggi yang memiliki komposisi kimia yaitu *hydrous aluminium silicate* ($2\text{H}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) (Wulansari, 2016). Kaolin merupakan jenis tanah lempung yang berasal dari bahan tambang alam yang penyusun utamanya adalah mineral kaolinit. Lempung jenis ini berwarna putih bahkan sampai putih keabu-abuan karena terdapat pengotor didalamnya. Hasil analisis kandungan kaolin bahwa komponen utama dari kaolin adalah silika

48,70% dan alumina 36,73% (Alkan, *et al.*, 2005). Berikut disajikan tabel kandungan mineral kaolin:

Tabel 2.1 Kandungan mineral kaolin

Senyawa	Kadar (%)
SiO ₂	48,70
Al ₂ O ₃	36,73
TiO ₂	0,33
Fe ₂ O ₃	0,57
CaO	0,32
MgO	0,27
Na ₂ O	0,01
K ₂ O	0,88
Lol ^a	12,59

Sumber: (Alkan *et al.*, 2005)

Kaolin ini diolah dengan tujuan untuk membuang mineral-mineral pengganggu yang terdapat didalamnya seperti pasir kuarsa, mineral oksida besi, oksida titanium dan mika. Pengolahan kaolin juga ditujukan untuk mendapatkan butiran-butiran halus yang dimiliki, tingkat keputihan yang tinggi, dan sifat yang lain (Adzan, 2005).

Kaolin dalam sintesis geopolimer berperan sebagai bahan dasar untuk media geopolimer. Hal ini karena kaolin merupakan salah satu bahan alam yang baik digunakan sebagai sumber silika dan alumina setelah sekam padi

pada proses sintesis geopolimer. Selain penggunaan kaolin sebagai sumber silika dan alumina, kaolin juga banyak terdapat di alam dan mudah ditemukan dipasaran (Zenghua *et al.*, 2011).

D. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa terakumulasinya partikel pada permukaan (Atkins, 1994). Terakumulasinya partikel yang diserap oleh permukaan disebut adsorbat. Sedangkan material tempat terjadinya adsorpsi disebut adsorben (Satake & Nagahiro, 1990).

Proses adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik antar molekul pada permukaan padatan yang tidak seimbang. Padatan akan cenderung menarik molekul-molekul yang bersentuhan dengan permukaan padatan, baik itu berupa fasa gas atau fasa cair ke dalam permukaannya. Hal ini berakibat pada konsentrasi yang dimiliki molekul pada permukaan akan meningkat dari pada dalam fasa gas atau cair (Aprilia, 2010).

Berdasarkan besarnya interaksi antar adsorben dan adsorbat, adsorpsi dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu (Oscik, 1982):

1. Adsorpsi fisika

Adsorpsi fisika terjadi apabila gaya intermolekul lebih besar dari pada gaya tarik antar molekul atau

dengan kata lain bahwa gaya tarik menarik yang relatif lemah antar adsorbat dengan permukaan adsorben, gaya ini dinamakan gaya Van der Waals. Dimana adsorbat dapat bergerak dari bagian permukaan ke bagian permukaan yang lain dari adsorben. Adsorpsi fisika berlangsung cepat, dapat membentuk *multilayer* dan *reversibel*, sehingga molekul-molekul yang teradsorpsi dapat dengan mudah dilepaskan kembali dengan menurunkan tekanan gas atau konsentrasi zat terlarut. Adsorpsi fisika umumnya terjadi pada temperatur rendah dengan jumlah zat yang teradsorpsi semakin kecil dengan naiknya temperatur.

2. Adsorpsi kimia

Adsorpsi kimia dapat terjadi karena adanya reaksi antar molekul adsorbat dengan adsorben dimana akan terbentuk ikatan kovalen dengan ion, sehingga terjadi pemutusan dan pembentukan ikatan. Ikatan adsorben dengan adsorbat cukup kuat sehingga spesies aslinya tidak dapat kembali. Adsorpsi kimia bersifat *monolayer* dan *irreversibel*. Selain itu memerlukan energi banyak untuk melepaskan kembali adsorbat. Adsorpsi kimia berlangsung lambat karena melibatkan energi aktivasi. Umumnya, jumlah adsorpsi akan bertambah besar seiring dengan semakin tinggi temperaturnya.

Adapun hal yang sangat penting untuk diperhatikan pada adsorpsi adalah ukuran pori dan luas permukaan adsorben. Perbesaran luas permukaan adsorben dapat dilakukan dengan pengecilan partikelnya. Karena luas permukaan yang besar akan meningkatkan daya adsorpsinya (Lynch, 1990). Selain itu, adsorpsi juga dipengaruhi oleh jumlah adsorben yang digunakan dan waktu kontak adsorpsi yang digunakan. Waktu optimum dalam mengadsorpsi suatu logam dimana daya adsorpsinya akan menurun setelah porinya sudah terisi penuh (Ismail, *et al.*, 2013).

Adsorpsi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu cara statis (*batch*) dan dinamis (kolom) berikut ini (Aprilia, 2010):

1. Cara statis (*batch*) yaitu adsorben dicampurkan dengan larutan yang mengandung komponen yang diinginkan dalam wadah dan diaduk dalam waktu tertentu. Kemudian disaring atau didekantasi. Komponen yang telah terikat pada adsorben akan dilepaskan kembali dengan melarutkan adsorben dalam pelarut tertentu dengan volume yang lebih kecil dari volume larutan awal.
2. Cara dinamis (kolom) yaitu mencampurkan adsorben dengan larutan yang mengandung komponen yang

diinginkan dalam kolom. Kemudian komponen yang telah terserap akan dilepaskan kembali dengan mengalirkan pelarut yang sesuai yang volumenya lebih kecil.

E. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan suatu bentuk parameter adsorpsi yang digunakan untuk mengetahui tingkat laju penyerapan yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat. Tidak hanya laju penyerapan yang dipelajari, tetapi juga mengungkapkan laju yang sesuai dengan karakteristik dari suatu mekanisme yang mungkin (Robati, 2013). Kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi adsorbat dapat dilihat dari laju adsorpsinya. Sedangkan laju adsorpsi dapat diketahui dari nilai konstanta laju adsorpsi (k) dan orde reaksi yang dihasilkan dari suatu model kinetika adsorpsi (Hafiyah, 2013). Terdapat beberapa model kinetika adsorpsi yang digunakan untuk mengetahui laju penyerapan adsorben terhadap adsorbat, antara lain:

1. Pseudo First Order

Lagergren's *first order* menggambarkan orde reaksi berdasarkan kapasitas adsorpsi dari adsorben. Persamaan laju orde pertama Lagergren's dikenal dengan *pseudo first order*. Persamaan ini digunakan

untuk membedakan persamaan kinetika berdasarkan konsentrasi larutan dari kapasitas adsorpsi padatan (Ho, 2006). Menurut Azizian (2004), ketika konsentrasi awal zat terlarut tinggi maka proses adsorpsi berjalan sesuai model *pseudo first order*. Persamaan *pseudo first order* secara umum, sebagai berikut:

$$q_t = q_e(1 - e^{-kt}) \quad (2.1)$$

Persamaan tersebut dapat dibuat ke persamaan liniernya:

$$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{Log} q_e - \frac{k_1}{2,303} t \quad (2.2)$$

Keterangan:

q_t = jumlah ion teradsorpsi pada waktu t

q_e = jumlah ion teradsorpsi pada kesetimbangan

k_1 = konstanta laju *pseudo first order*

Berdasarkan data eksperimen yang diperoleh dapat membuat plot antara $\text{Log}(q_e - q_t)$ sebagai sumbu y dan t sebagai sumbu x. Kemudian dapat dibuat grafik linier dan dapat ditentukan nilai k_1 (Kajjumba et al, 2018).

2. *Pseudo Second Order*

Model *pseudo second order* digunakan untuk membedakan persamaan kinetika berdasarkan konsentrasi larutan dari kapasitas adsorpsi padatan. Menurut Azizian (2004), ketika konsentrasi awal zat

terlarut rendah maka proses adsorpsi berjalan sesuai model *pseudo second order*. Konstanta laju dari *pseudo second order* adalah fungsi kompleks dari konsentrasi awal larutan. Persamaan *pseudo second order* secara umum, sebagai berikut:

$$q_t = \frac{t}{\frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}} \quad (2.3)$$

Persamaan tersebut dapat diubah ke persamaan liniernya:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2.4)$$

Keterangan:

q_t = jumlah ion teradsorpsi pada waktu t

q_e = jumlah ion teradsorpsi pada kesetimbangan

k_2 = konstanta laju *pseudo second order*

Berdasarkan data eksperimen yang diperoleh dapat ditentukan dengan membuat plot antara t/q_t sebagai sumbu y dan t sebagai sumbu x. Kemudian dapat dibuat grafik linier dan dapat ditentukan nilai k_2 (Kajjumba et al, 2018).

F. Isoterm Adsorpsi

Istilah isoterm adsorpsi dikenal dalam proses adsorpsi yang menggambarkan adanya hubungan antara zat yang teradsorpsi oleh adsorben dengan konsentrasi pada kesetimbangan dan temperatur tetap. Terdapat

beberapa model isoterm adsorpsi yang telah dikembangkan untuk mendeskripsikan hubungan antara adsorben dan adsorbat, antara lain:

1. Isoterm Langmuir

Isoterm adsorpsi Langmuir digunakan untuk menggambarkan keseimbangan antara adsorbat dan adsorben, dimana adsorpsi adsorbat terbatas pada satu lapisan (*monolayer*) pada atau sebelum tekanan relatif tercapai. Isoterm Langmuir menggambarkan permukaannya homogen, dengan asumsi tidak ada interaksi antara molekul teradsorpsi yang berdekatan ketika molekul tunggal menempati permukaan tunggal (Liu et al, 2019). Pada isoterm Langmuir kondisi kesetimbangan antara permukaan dan larutan terjadi ikatan yang sangat kuat sehingga molekul yang terikat sangat sulit untuk dilepaskan kembali (*reversible*).



Gambar 2.1 Lapisan Monolayer pada Isoterm Langmuir
(Sumber: Kecili & Hussei, 2018)

Persamaan isoterm Langmuir:

$$Q_e = \frac{b \cdot k_L \cdot C_e}{1 + k_L \cdot C_e} \quad (2.5)$$

Persamaan tersebut dapat diubah ke bentuk persamaan liniernya:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{k \cdot q_m} + \frac{1}{q_m} C_e \quad (2.6)$$

Keterangan:

q_e = jumlah adsorbat yang teradsorpsi (mg/g)

k_L = konstanta Langmuir

C_e = konsentrasi kesetimbangan adsorbat (mg/L)

q_m = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

Berdasarkan data eksperimen yang diperoleh, plotkan dengan $1/Q_e$ sebagai sumbu y dan $1/C_e$ sebagai sumbu x. Kemudian dapat diperoleh grafik dengan persamaan garis $y = ax + b$ yang digunakan untuk menentukan nilai q_m dan k_L , dimana q_m didapat dari perhitungan $1/a$ sedangkan k_L dari nilai b (Kecili & Hussain, 2018).

2. Isoterm Freundlich

Isoterm Freundlich digunakan untuk menggambarkan keseimbangan antara adsorbat dan adsorben, dimana adsorpsi adsorbat memiliki banyak lapisan (*multilayer*). Isoterm Freundlich menggambarkan permukaannya heterogen, karena ada interaksi antara molekul teradsorpsi yang saling

berdekatan (Liu et al, 2019). Pada isoterm Freundlich kondisi kesetimbangan antara permukaan dan larutan terjadi ikatan yang sangat lemah sehingga molekul yang terikat mudah untuk dilepaskan kembali (*irreversible*).



Gambar 2.2 Lapisan Multilayer pada Isoterm Freundlich (Sumber: Kecili & Hussei, 2018)

Persamaan isoterm Freundlich, disajikan berikut ini:

$$q_e = k_f \cdot C_e^{1/n} \quad (2.7)$$

Persamaan tersebut dapat diubah ke bentuk persamaan liniernya:

$$\text{Log } q_e = \text{Log } k_f + \frac{1}{n} \cdot \text{Log } C_e \quad (2.8)$$

Keterangan,

q_e = jumlah adsorbat yang teradsorpsi (mg/g)

k_f = konstanta Freundlich

C_e = konsentrasi kesetimbangan adsorbat (mg/L)

n = konstanta empiris

Berdasarkan data eksperimen yang diperoleh, plotkan dengan $\text{Log } Q_e$ sebagai sumbu y dan $\text{Log } C_e$ sebagai sumbu x. Kemudian dapat diperoleh grafik

dengan garis linier $slope = 1/n$ dan $intercept = k_f$ (Kecili & Hussain, 2018).

G. Uji Kuantitatif (Kesadahan)

Salah satu cara untuk menentukan kadar kesadahan yaitu melakukan uji kuantitatif. Analisis kuantitatif adalah suatu analisa yang bertujuan untuk mengetahui kadar suatu senyawa dalam sampel. Terdapat dua metode untuk melakukan uji kuantitatif, yaitu metode klasik yang merupakan metode yang populer dalam analisis kuantitatif, diantaranya titrasi. Metode yang lain yaitu metode yang menggunakan instrumen, seperti HPLC dan spektrofotometer UV-Vis untuk uji senyawa organik. Selain itu AAS untuk uji kadar logam yang menjadi pilihan utama (Khopkar, 1990).

Analisa kadar logam dalam air dapat dilakukan dengan kedua metode tersebut diatas. Akan tetapi, metode klasik ini umumnya digunakan dalam menentukan kadar ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam air dengan titrasi kompleksometri yang melibatkan EDTA sebagai titrannya (SNI, 2004).

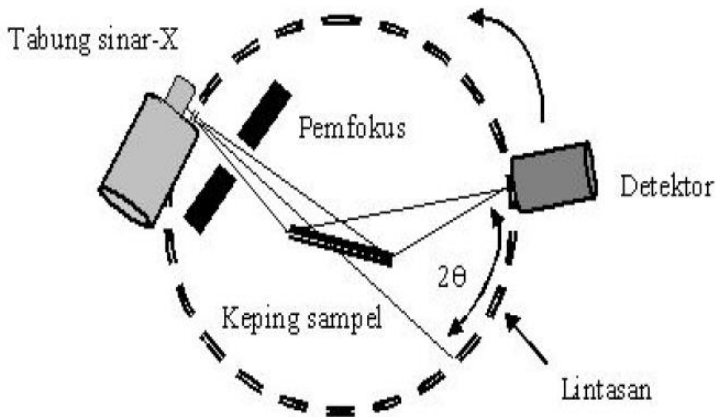
Titrasi kompleksometri merupakan salah satu metode yang memanfaatkan reaksi kompleks antara ligan dengan ion logam utamanya. Kompleksometri merupakan jenis titrasi dimana titran dan titrat saling mengkompleks, membentuk hasil berupa kompleks (Khopkar, 1990).

Senyawa kompleks memiliki beberapa aplikasi atau kegunaannya, yaitu dalam dunia industri, misalnya proses fotografi, penyepuhan, pengasingan ion logam, dan metalurgi. Bidang kesehatan, misalnya dalam terapi kelasi dan kompleks CaNa_2EDTA sebagai pengikat logam timbal (Pb) dalam tubuh manusia. Bidang kimia analitik, misalnya dalam penentuan kesadahan air dengan titrasi EDTA (Petrucci, 1987).

H. *X-Ray Diffraction* (XRD)

Sampel geopolimer selain dijadikan sebagai adsorben pada proses adsorpsi, juga dilakukan karakterisasi untuk mengetahui berhasil atau tidak dalam proses sintesis geopolimer. Salah satu karakterisasi sampel geopolimer yaitu XRD. *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan salah satu metode untuk mengetahui karakteristik suatu material yang masih sering digunakan hingga sekarang. Karakterisasi XRD ini bertujuan untuk analisis mengenai struktur dan kristalinitas material (Fatimah, 2014).

Salah satu teknik yang digunakan untuk menentukan struktur suatu padatan kristalin yaitu menggunakan metode difraksi sinar-X serbuk (*X-ray powder diffraction*) seperti terlihat pada Gambar 2.2 berikut:

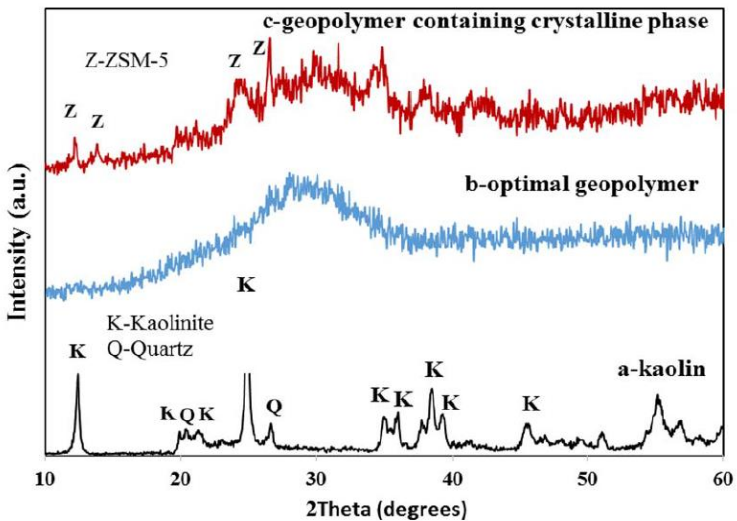


Gambar 2.3 Prinsip Kerja X-Ray Diffraction (XRD)
(Sumber: Beiser, 1992)

Berdasarkan gambar diatas, prinsip kerja *XRD* secara umum adalah *XRD* terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tabung sinar-X, tempat objek yang diteliti dan detektor sinar-X. Ukuran diameter sampel serbuk padatan kristalin yang digunakan adalah sekitar 1 mm yang ditempatkan pada plat kaca. Sinar-X yang diperoleh dari suatu elektron keluar dari filamen panas pada tegangan tinggi dan kecepatan tinggi akan menumbuk permukaan logam, yaitu tembaga (Cu). Sinar-X tersebut akan menembak sampel yang kemudian akan mendifraksikan sinar ke segala arah. Berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel akan dideteksi oleh detektor yang bergerak dengan kecepatan sudut konstan. Hasil dari difraksi sinar-

X serbuk ini berupa pola difraktogram dengan deretan puncak difraksi pada intensitas yang bervariasi sepanjang sudut 2θ . (Beiser, 1992).

Pada penelitian ini, pola difraktogram yang diharapkan adalah pola struktur amorf. Gambar 2.3 merupakan contoh struktur amorf dari geopolimer berbasis kaolin (Naghsh,2017):



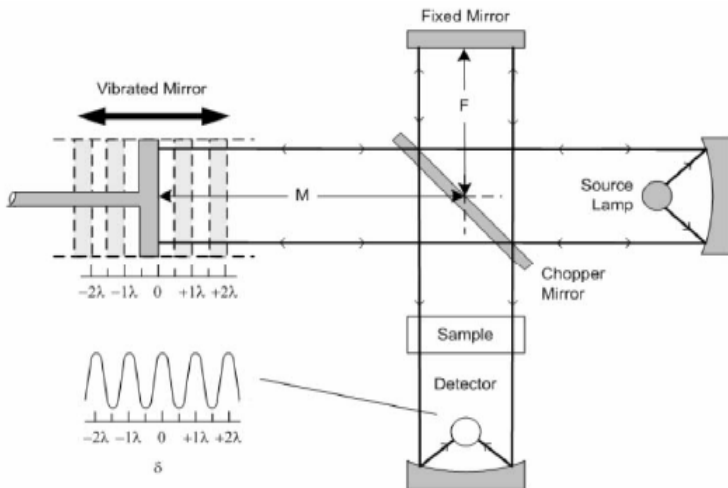
Gambar 2.4 Difraktogram Geopolimer berbasis Kaolin (Sumber: Naghsh, 2017)

Berdasarkan Gambar 2.3 pada pola kedua yaitu b-geopolimer, bahwa pola difraktogram geopolimer tampak pada puncak 13° , 20° dan 25° dengan sudut difraksi 2θ . Puncak tersebut menunjukkan telah terjadi fasa amorf

yang merupakan karakteristik dari geopolimer (Naghsh, 2017).

I. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

Inframerah merupakan sinar elektromagnetik yang penting dalam bidang kimia modern, terutama bidang organik. Fungsi utama dari spektro IR adalah untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada suatu senyawa, terutama senyawa organik. Apabila sinar inframerah dilewatkan melalui berkas cuplikan, maka sejumlah frekuensi akan diserap sedangkan frekuensi yang lainnya akan diteruskan tanpa diserap. Spektrum inframerah akan terjadi apabila persen absorpsi atau persen transmitansi berlawanan dengan frekuensi (Sastrohamidjojo, 2001). Pada umumnya spektro IR sama dengan FTIR, yang membedakan adalah pada pengembang sistem optiknya sebelum berkas sinar *infra red* melewati sampel. Berikut prinsip kerja FTIR pada Gambar 2.3

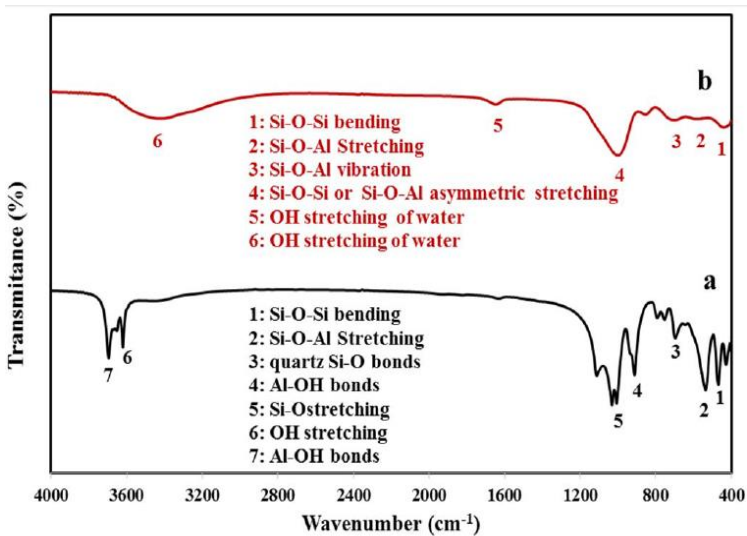


Gambar 2.5 Skema Optik FTIR (Sumber: Sandra, 2009)

Prinsip kerja instrumen FTIR, yaitu sampel discan, ini berarti sinar *infra red* akan dilewatkan ke sampel. Sampel ini akan meneruskan gelombang yang akan ditangkap oleh detektor yang sudah terhubung dengan komputer yang akan menggambarkan *spectrum sample* hasil uji. Sistem optik spektrofotometer FTIR bekerja atas dasar *fourier transform interferometer*. Terdapat tiga bagian utama dari interferometer, yaitu cermin diam (*fixed mirror*), cermin bergerak (*vibrated mirror*), dan cermin penjajah sinar (*chopper mirror*). Sinar dibagi menjadi dua bagian, yaitu bagian pertama dilewatkan pada cermin diam kemudian kembali, sedangkan bagian yang lain dilewatkan

pada cermin bergerak kemudian kembali. Kedua berkas tersebut digabung kembali di *chopper mirror* kemudian dipancarkan ke sampel dan akan dibaca oleh detektor (Sandra, 2009).

Pada penelitian ini, spektra FTIR yang diharapkan adalah struktur tetrahedral. Gambar 2.4 merupakan contoh dari spektra geopolimer berbasis kaolin (Naghsh, 2017):



Gambar 2.6 Spektra Geopolimer berbasis Kaolin (Sumber: Naghsh, 2017)

Berdasarkan gambar 2.4 pada spektra poin b, bahwa hasil spektra geopolimer tampak pada puncak 440 cm⁻¹ (Si-O-Si), 544 cm⁻¹ (Si-O-Al) dan 1005 cm⁻¹ (Si-O-Si

atau Si-O-Al). Pola puncak tersebut merupakan ciri khas dari geopolimer berbasis kaolin (Naghsh, 2017).

J. Surface Area Analyzer

Surface area analyzer merupakan alat untuk karakterisasi suatu material padatan dalam jumlah sampel 0,1 sampai 0,01 gram. SAA ini memiliki fungsi untuk menentukan luas permukaan, ukuran pori dan isoterm adsorpsi suatu material (Gregg, 1982).

Prinsip kerja instrumen SAA yaitu didasarkan pada siklus adsorpsi-desorpsi isoterm gas nitrogen oleh sampel serbuk pada suhu nitrogen cair. Setiap siklus dari adsorpsi-desorpsi akan menghasilkan data variasi tekanan proses, sesuai dengan hukum gas ideal $PV=nRT$. Rumus ini sebagai fungsi volume gas. Sejumlah volume gas yang diketahui dimasukkan kedalam tabung sampel, yang kemudian sensor tekanan akan memberi variasi data tekanan proses. Data volume gas yang dimasukkan dan yang sudah diketahui jumlahnya serta data hasil kenaikan tekanan dibuat sebagai persamaan BET yang akan dipakai sebagai dasar perhitungan luas permukaan serbuk (Somorjai, 1972).

Luas permukaan merupakan banyaknya atau jumlah pori pada tiap satuan luas sampel. Luas permukaan material diperoleh dari interaksi zat padat dengan zat yang

mengelilingi (cair/gas). Luas permukaan material yang besar memiliki ukuran partikel yang kecil, karena semakin kecil ukuran diameter partikelnya maka semakin besar luas permukaannya begitu juga sebaliknya. Semakin luas permukaan material maka semakin banyak adsorbat yang diserap (Syauqiyah, 2011).

Berdasarkan penelitian terdahulu, geopolimer berbasis kaolin memiliki luas permukaan 51,3 m²/g. Perolehan hasil tersebut telah menunjukkan karakteristik material geopolimer berbasis kaolin (Naghsh, 2017).

K. Kajian Pustaka

Penelitian ini mengambil beberapa literatur dari penelitian sebelumnya yang dijadikan sebagai kajian pustaka, berikut ini:

1. Marouane El Alouani, et al. (2019) dalam jurnal kimia yang berjudul “Preparasi, Karakterisasi dan Aplikasi Geopolimer berbasis Metakaolin untuk Menghilangkan *Methylene Blue* dari larutan berair”. Penelitian ini bertujuan untuk mengadsorpsi *methylene blue* dari larutan berair dengan melakukan variasi jumlah adsorben, pH, konsentrasi awal larutan, waktu kontak, dan temperatur. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu kondisi optimum adsorpsi oleh geopolimer massa adsorben 0,1 gr dalam 100 mL larutan dengan konsentrasi awal 40 mg/L, waktu kontaknya 120 menit,

pH normal, dan kapasitas adsorpsinya mencapai 43,48 mg/g. Sedangkan perbedaannya dengan penelitian yang akan dilakukan ini adalah geopolimer berbasis kaolin untuk mengurangi angka kesadahan yang tinggi dengan melakukan variasi konsentrasi dan waktu kontak adsorpsi.

2. Ilknur Kara, et al. (2018) dalam jurnalnya yang berjudul “Studi tentang Kinerja Geopolimer berbasis Metakaolin untuk Penghapusan Mn(II) dan Co(II)” Penelitian ini bertujuan untuk menghilangkan Mn(II) dan Co(II) dari larutan berair dengan dua sistem yaitu batch parameter uji pH, massa adsorben, waktu kontak, dan konsentrasi awal ion logam serta sistem kontinu parameter uji massa adsorben, laju aliran dan potensi regenerasi. Hasil dari penelitian ini yaitu geopolimer memberikan hasil adsorpsi yang agak tinggi pada kedua sistem batch dan kontinu. Adsorben geopolimer tidak memerlukan penyesuaian pH larutan selama adsorpsi. Kesetimbangan adsorpsi dapat dicapai dalam waktu singkat dan juga tidak dipengaruhi secara signifikan oleh suhu di atas 30°C. Geopolimer dapat menghilangkan ion logam tinggi dalam sistem kontinu. Sehingga geopolimer berbasis metakaolin dianggap sebagai adsorben yang efektif dan ekonomis untuk

menghilangkan Mn(II) dan Co(II) dari air limbah sebesar 72,34 mg/g dan 69,23 mg/g. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan ini adalah penggunaan geopolimer berbasis kaolin sebagai adsorben dalam menurunkan kesadahan dengan melakukan variasi konsentrasi awal larutan air limbah dan waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat.

3. Mohammed S. Al-Harashsheh et al. (2015) dalam jurnal teknik kimia yang berjudul "Studi Kasus Geopolimer berbasis *Fly Ash* untuk Menghilangkan Logam Berat Cu^{2+} ". Penelitian ini bertujuan untuk evaluasi keefektifan geopolimer berbasis fly ash dalam menghilangkan logam berat Cu^{2+} dalam larutan berair dengan parameter rasio larutan/padatan, temperatur, waktu kontak dan konsentrasi awal Cu^{2+} . Hasil dari penelitian ini yaitu efisiensi kapasitas adsorpsi pada pH 6, temperatur 45°C mencapai 152 mg/g. Adsorpsi berlangsung secara endotermik dengan energi aktivasi 39,49 kJ/mol. Perbedaan dengan penelitian yang akan dilakukan adalah rasio mol logam alkali terhadap kaolin untuk membuat geopolimer guna mengadsorpsi kesadahan dengan melakukan variasi konsentrasi dan waktu kontak adsorpsi.

4. M. Naghsh dan K. Shams (2017) dalam jurnalnya yang berjudul "Sintesis Geopolimer berbasis Kaolin Menggunakan Metode Fusi Baru dan Penerapannya dalam Pelunakan Air". Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis material geopolimer yang diaplikasikan dalam pelunakan air dengan metode fusi (peleburan) yang dilakukan dengan dua langkah yaitu fusi kaolin dan NaOH serta langkah hidrasi dan dealkalisasi. Langkah fusi dilakukan dengan beberapa suhu dari 400-800°C selama 10-20 jam, sedangkan langkah hidrasi dan dealkalisasi sangat cepat dengan cara mencuci produk fusi menggunakan air demineralisasi selama kurang dari 10 menit. Hasil dari penelitian ini yaitu geopolimer berbasis kaolin telah membuktikan bahwa kondisi optimal sintesis rasio NaOH:kaolin terbaik 2,2 dengan waktu fusi 14 jam dan temperaturnya 600°C. Efisiensi adsorpsi Ca^{2+} dan Mg^{2+} kapasitasnya meningkat dari temperatur 25°C dan 45°C yang semula 76,34 mg/g menjadi 94,34 mg/g dan 39,68 mg/g menjadi 51,55 mg/g. Perbedaannya dengan penelitian yang akan dilakukan yaitu logam alkali yang digunakan KOH dengan rasio mol KOH:kaolin untuk membuat geopolimer dalam mengurangi kesadahan.

Berdasarkan uraian diatas, bahwa sintesis geopolimer dapat dilakukan dengan berbagai bahan seperti *fly ash*, metakaolin, dan kaolin. Beberapa peneliti menjelaskan bahwa geopolimer dapat mengurangi bahkan menghilangkan berbagai logam berat yang terdapat dalam larutan berair seperti Cu, Mn, Co, Ca, Mg, dan *Methylene Blue* dengan proses adsorpsi dan berbagai variasi yang dilakukan. Maka pada penelitian ini, sintesis geopolimer berbasis kaolin divariasikan pada rasio mol KOH:kaolin yang akan diaplikasikan pada air sadah (air yang mengandung ion Ca^{2+} dan Mg^{2+}) dengan melakukan variasi konsentrasi larutan dan waktu kontak untuk mengetahui kapasitas adsorpsinya.

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini menyajikan tentang metode, sintesis dan karakterisasi suatu material geopolimer serta adsorpsi air sadah.

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat Penelitian: di Laboratorium Kimia UIN Walisongo Semarang dan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia Yogyakarta

Waktu penelitian : Desember 2019 s/d Februari 2020

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain gelas beker 600 ml, gelas ukur 100 ml, erlenmeyer 250 ml, buret 50 ml, labu ukur 1000 ml, labu ukur 250 ml, pipet volume 10 ml, gelas arloji, batang pengaduk, desikator, pembakar bunsen, mortar dan alu, cawan porselin, spatula, sendok, statif, aluminium foil, pH Universal, ayakan mesh, neraca analitik, *furnace*, *magnetic stirrer*, instrumen XRD *Ultima IV Rigaku diffractometer*, FTIR *Perkin Elmer Spectrum version 10.4.00*, dan SAA *Quantachrome Nova*.

2. Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan untuk penelitian adalah bubuk kaolin yang diperoleh dari Toko Kimia Indrasari Semarang. Bahan kimia yang lain yaitu aquades, larutan penyangga pH 10, serta bahan-bahan Merck seperti larutan NaOH 1N, KOH, CaCl₂.H₂O, MgSO₄.7H₂O, Na₂EDTA, NH₄Cl, NH₄OH, indikator mureksid, dan indikator EBT yang diperoleh dari Laboratorium Kimia UIN Walisongo Semarang.

C. Cara Kerja

1. Preparasi sampel

Kaolin dan KOH digerus terlebih dahulu secara terpisah dengan mortar dan alu. Kemudian masing-masing bahan yang sudah digerus, diayak menggunakan ayakan 60 mesh. Hasil ayakan akan diberi perlakuan pada tahap selanjutnya.

2. Sintesis Geopolimer

Merujuk penelitian Naghsh pada tahun 2017, bubuk kaolin dan KOH setelah dipreparasi kemudian dicampur dalam gelas beker dengan variasi rasio mol KOH/Kaolin 1,5:1, 2:1 dan 2,5:1 kemudian diaduk hingga homogen. Campuran yang sudah homogen tersebut digerus dalam mortar hingga menjadi serbuk halus dan diayak. Sampel yang sudah diayak

ditempatkan dalam cawan porselin kemudian dipanaskan pada *furnace* dengan suhu 600°C selama 14 jam. Hasil leburan didinginkan dan digerus kembali. Kemudian dibilas dengan aquades 800 ml untuk 1 gr produk fusi (sampai pH netral). Sampel dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 24 jam. Sampel yang sudah kering disimpan dalam desikator untuk dilakukan tahap selanjutnya yaitu karakterisasi geopolimer (Naghsh, 2017).

3. Karakterisasi Geopolimer

Geopolimer hasil sintesis dikarakterisasi strukturnya menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dan *Surface Area Analyzer* (SAA).

a. *X-Ray Diffraction* (XRD)

Sampel hasil sintesis geopolimer berbasis kaolin dikarakterisasi fasa geopolimer. Sampel bubuk diambil 1 gram dan ditempatkan dalam tempat objek (*chamber*). Kemudian *chamber* berisi sampel tersebut dikarakterisasi oleh difraksi sinar-X (XRD) menggunakan *Ultima Rigaku IV diffractometer* pada radiasi $\text{CuK}\alpha_{1,2}$ ($\lambda=1,54178 \text{ \AA}$) dengan tegangan 40 kV dan arus 40 mA. Kisaran puncak yang digunakan yaitu 10-60° pada sudut 2θ

untuk penentuan fase dari geopolimer (Naghsh, 2017). Hasil difraktogram dianalisis ICDD yang dicocokkan dengan data standar atau dikonfirmasi dengan penelitian serupa yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu.

b. *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

Hasil sintesis geopolimer juga dilakukan uji FTIR *Perkin Elmer Spectrum version 10.4.00* untuk mengetahui senyawa yang terkandung dalam geopolimer. Sampel bubuk geopolimer diambil 1 gram. Sampel tersebut dicampur dengan KBr. Campuran sampel tersebut diletakkan dalam cetakan dan ditekan menggunakan tekanan mekanik beberapa menit hingga membentuk pelet. Kemudian sampel berupa pelet dilakukan analisis pada panjang gelombang $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung didalamnya (Naghsh, 2017). Hasil spektra FTIR geopolimer kemudian dianalisis dengan dicocokkan identifikasi gugus fungsi yang tampak pada beberapa puncak dari sampel geopolimer.

c. Penentuan Luas Permukaan Geopolimer Berbasis Kaolin

Sampel juga dilakukan uji luas permukaan menggunakan instrumen SAA *Quantachrome Nova*. Terlebih dahulu sampel dipanaskan pada suhu 300°C selama 3 jam. Kemudian adsorpsi gas nitrogen dianalisis pada rentang tekanan 0,05 hingga 0,3 pada 77K untuk menentukan luas permukaan sampel geopolimer (Naghsh, 2017).

4. Adsorpsi Air Sadah

Tahap selanjutnya yaitu tahap adsorpsi. Adsorpsi ini dilakukan pada air sadah, yakni air yang mengandung ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} . Ion-ion tersebut diadsorpsi oleh geopolimer untuk mengadsorpsi air sadah. Air sadah ini berasal dari air sadah buatan yaitu campuran antara 2,4 gram $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ dan 1,6 gram $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan dengan aquades dalam labu ukur 1000 ml.

Proses adsorpsi pada tahap ini dilakukan dengan menginteraksikan adsorben geopolimer sebanyak 0,5 gram masing-masing ke dalam 100 ml air sadah. Adsorpsi dilakukan menggunakan *stirrer* dengan kecepatan 150 rpm selama 10, 20, 30, 40, 50 menit dalam konsentrasi Ca^{2+} dan Mg^{2+} yaitu 150 ppm, 300 ppm, dan 450 ppm.

Campuran tersebut kemudian disaring dan filtrat yang dihasilkan dianalisis secara titrimetri.

5. Penentuan Kadar Kesadahan Total secara Titration Kompleksometri

Filtrat yang dihasilkan dari proses adsorpsi, kemudian dilakukan analisis untuk menentukan konsentrasi air sadah. Penentuan konsentrasi ini menggunakan metode kuantitatif, yaitu titration kompleksometri.

a. Kesadahan Total

Penentuan kadar kesadahan total dapat dilakukan dengan cara mencampurkan sebanyak 25 ml larutan uji, dimasukkan ke dalam labu erlenmeyer 250 ml. Kemudian diencerkan dengan air suling sampai volume 50 ml. Kedalam larutan tersebut ditambahkan 1 ml larutan penyangga pH 10 dan 50 mg indikator EBT. Campuran selanjutnya dititrasi dengan larutan baku Na_2EDTA 0,01 M secara perlahan sampai terjadi perubahan warna dari merah anggur menjadi biru. Volume larutan baku Na_2EDTA yang digunakan dicatat.

Apabila larutan Na_2EDTA yang dibutuhkan untuk titration lebih dari 15 ml, maka diencerkan kembali larutan contoh uji dengan air suling dan

diulangi lagi dari langkah pertama. Ulangi titrasi tersebut sebanyak 2 kali, kemudian dirata-rata volume Na₂EDTA yang digunakan. Perhitungan kesadahan total dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\begin{aligned} \text{Kesadahan Total (mg CaCO}_3\text{/L)} \\ = \frac{1000}{V_{c_u}} \times V_{\text{EDTA (a)}} \times M_{\text{EDTA}} \times 100 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Keterangan:

- V_{c_u} = volume larutan contoh uji (mL)
 $V_{\text{EDTA (a)}}$ = volume rata-rata larutan baku Na₂EDTA untuk titrasi kesadahan total (mL)
 M_{EDTA} = molaritas larutan baku Na₂EDTA untuk titrasi (mmol/mL)

b. Kalsium

Kadar kalsium dapat dilakukan dengan mencampurkan 25 ml larutan contoh uji, dimasukkan kedalam labu erlenmeyer 250 ml dan diencerkan dengan air suling sampai volume 50 ml. Ditambahkan 2 ml larutan NaOH 1 N sampai pH 12-13. Ditambahkan seujung spatula (30-50 mg) indikator mureksid. Selanjutnya titrasi dengan larutan baku Na₂EDTA 0,01 M sampai terjadi perubahan warna merah muda menjadi ungu.

Volume larutan baku Na_2EDTA yang digunakan dicatat.

Apabila larutan Na_2EDTA yang dibutuhkan untuk titrasi lebih dari 15 ml, maka diencerkan larutan contoh uji dengan air suling dan diulangi lagi dari langkah pertama. Ulangi titrasi tersebut sebanyak 2 kali, kemudian dirata-rata volume Na_2EDTA yang digunakan. Perhitungan kadar kalsium dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\begin{aligned} &\text{Kadar kalsium } \left(\text{mg Ca/L} \right) \\ &= \frac{1000}{V_{c_u}} \times V_{\text{EDTA (b)}} \times M_{\text{EDTA}} \times 40 \end{aligned} \quad (3.2)$$

Keterangan:

V_{c_u} = volume larutan contoh uji (mL)

$V_{\text{EDTA (b)}}$ = volume rata-rata larutan baku Na_2EDTA untuk titrasi kalsium (mL)

M_{EDTA} = molaritas larutan baku Na_2EDTA untuk titrasi (mmol/mL)

c. Parameter Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi geopolimer dapat dihitung dengan rumus berikut ini:

$$q_e = \frac{(C_i - C_e)}{m} \times v \quad (3.3)$$

Keterangan:

q_e = Keseimbangan adsorpsi (mg/g)

C_i = Konsentrasi mula-mula (mg/L)

C_e = Konsentrasi saat setimbang (mg/L)

m = Massa (mg)

V = Volume adsorbat (L)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil penelitian dan pembahasan tentang preparasi sampel geopolimer, sintesis material geopolimer, adsorpsi air yang mengandung Ca^{2+} dan Mg^{2+} , serta karakterisasi geopolimer, yaitu identifikasi fase amorf menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), identifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam geopolimer menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), dan identifikasi luas permukaan geopolimer menggunakan *Surface Area Analyzer* (SAA).

A. Preparasi Sampel

Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kaolin dalam bentuk bubuk. Penggunaan kaolin berfungsi sebagai sumber silika dan alumina dalam sintesis geopolimer. Karena kandungan mineral silika dan alumina dalam kaolin cukup tinggi. Menurut Alkan (2005) kaolin mengandung mineral silika dan alumina sebesar 48,70 % dan 36,73 %. Selain itu, kaolin digunakan karena mudah didapat dan melimpah di alam serta merupakan mineral yang harganya cukup murah di pasaran.

Kalium hidroksida merupakan senyawa alkali sebagai bahan yang ditambahkan dalam pembuatan geopolimer. Selain itu, juga untuk menetralkan muatan dalam

geopolimer karena terdapat Al yang menyebabkan muatan negatif pada rangka geopolimer dan kaolin sebagai zat aktivator (Naghsh, 2017).

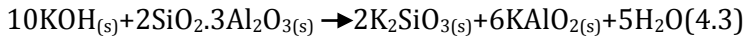
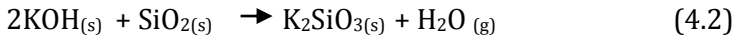
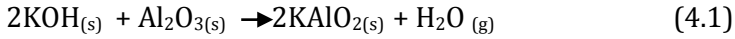
Tahap pertama dari penelitian ini adalah preparasi sampel. Bahan-bahan yang akan digunakan disiapkan dengan variasi rasio mol KOH/kaolin 1,5:1; 2:1; dan 2,5:1. Variasi mol ini untuk membandingkan hasil sintesis geopolimer yang akan diaplikasikan pada adsorpsi air sadah. Setelah itu, digerus terlebih dahulu secara terpisah menggunakan mortar dan alu. Penggerusan ini bertujuan untuk menghaluskan masing-masing bahan agar luas permukaannya besar sehingga reaksi akan mudah untuk bereaksi. Kemudian dilakukan pengayakan, bertujuan untuk memperkecil dan memisahkan partikel ukuran besar dan kecil dari suatu bahan. Sehingga dapat mempermudah pada saat homogenisasi dengan bahan lain. Selanjutnya bahan-bahan tersebut akan disintesis menjadi geopolimer.

B. Sintesis Material Geopolimer

Sampel yang sudah melewati proses preparasi, selanjutnya akan mengalami tahapan berikutnya, yaitu sintesis yang dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah tahap fusi alkali pada suhu tinggi. Adapun tahap kedua adalah tahap hidrasi dan dealkalisasi.

Tahap fusi alkali merupakan tahap pertama untuk sintesis material geopolimer. Tahap ini merupakan metode konvensional analisis kimia untuk menguraikan bahan yang mengandung silikon dan atau aluminium (Wang & Feng, 2009). Metode alkali fusi ini melibatkan suatu bahan alkali yang akan menghasilkan geopolimerisasi dan dapat meningkatkan laju reaksi (Loekito, 2019). Perlakuan fusi alkali dilakukan dengan memadukan atau menyatukan antara bahan dasar dengan senyawa alkali. Metode ini juga dikenal dengan metode *direct synthesis* atau *solid state synthesis* (Lalena, 2005).

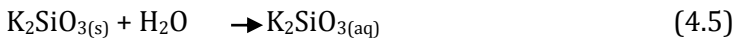
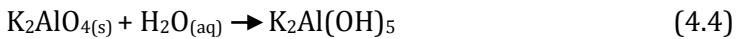
Campuran yang sudah homogen kemudian akan mengalami proses pemanasan. Proses pemanasan ini berlangsung selama 14 jam pada suhu 600°C yang dilakukan pada sebuah alat *furnace*. Penggunaan alat *furnace* ini, berfungsi untuk memanaskan campuran kaolin dan kalium hidroksida sehingga keduanya memadu atau menyatu membentuk suatu produk fusi. Reaksi yang terjadi pada sintesis geopolimer antara kaolin dan kalium hidroksida, yaitu sebagai berikut (Zhely & Widiastuti., 2012):



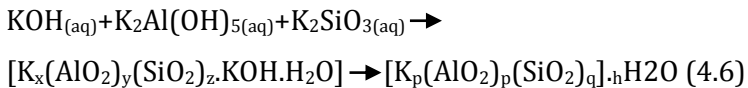
Waktu dan suhu yang dibutuhkan pada penelitian ini merujuk pada penelitian Naghsh (2017) bahwa waktu dan suhu yang dibutuhkan untuk sintesis geopolimer tidak lebih dan tidak kurang dari 14 jam pada suhu 600°C. Hal ini dikarenakan jika waktu dan suhu yang dibutuhkan untuk sintesis geopolimer kurang atau lebih dari yang dibutuhkan tersebut, maka geopolimer akan memiliki fase semi kristal sampai kristalin. Menurut Davidovits (1994) bahwa geopolimer memiliki struktur berupa amorf, sehingga pembuatan geopolimer pada penelitian ini diharapkan dapat berupa struktur amorf bukan dalam struktur kristalin.

Sampel fusi yang dihasilkan ini berupa bubuk berwarna putih yang kemudian didinginkan dan disimpan dalam desikator, berfungsi untuk menghilangkan kadar air yang terkandung didalamnya setelah perlakuan fusi alkali. Kemudian sampel dalam desikator yang sudah dingin digerus kembali pada mortar dan alu, berfungsi untuk menghaluskan sampel hasil fusi yang dimungkinkan masih terdapat ukuran partikel yang besar. Sampel tersebut, diayak kembali untuk memperkecil ukuran partikelnya.

Tahap selanjutnya yang harus dilakukan yaitu tahap hidrasi dan dealkalisasi. Tahap ini merupakan tahap pencucian sampel geopolimer, karena kemungkinan masih terdapat pengotor yang tertinggal. Pada tahap ini, sampel fusi dibilas menggunakan 1L aquades. Fungsi aquades yaitu untuk mencuci sampel fusi sampai mencapai pH netral. Berikut reaksi yang terjadi saat proses pencucian produk fusi (Zhely & Widiastuti, 2012):



Setelah itu, sampel fusi dioven selama 24 jam pada suhu 100°C. Fungsi pengovenan yaitu untuk mengeringkan sampel fusi hasil pencucian dengan aquades yang selanjutnya akan mengalami proses identifikasi dari sampel geopolimer. Berikut reaksi yang terjadi pada proses pemanasan produk setelah pencucian (Zhely & Widiastuti, 2012):



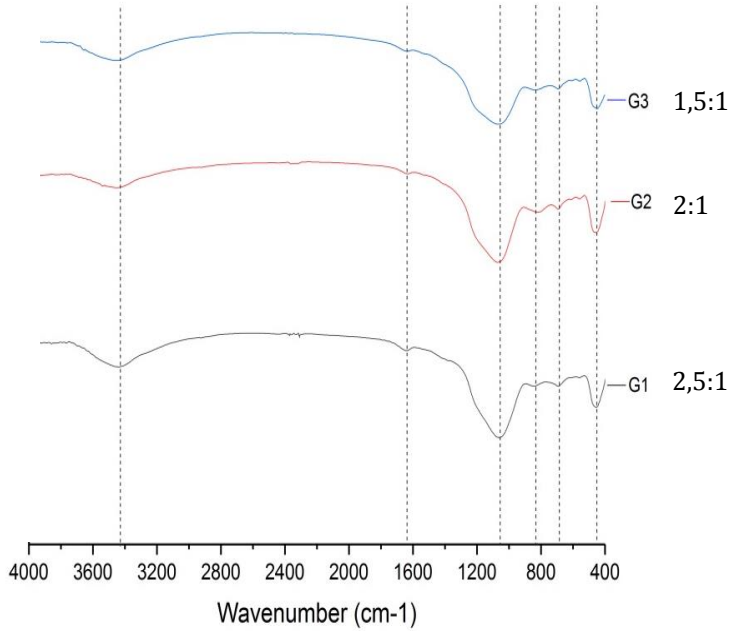
Hasil geopolimer dapat ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Geopolimer

C. Karakterisasi Geopolimer Menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Geopolimer hasil sintesis selanjutnya dianalisis menggunakan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Tujuan analisis ini untuk mengetahui kandungan gugus fungsi dan ikatan yang terdapat pada geopolimer. Hasil spektra FTIR geopolimer dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Spektra FTIR Geopolimer

Gambar 4.2 menunjukkan hasil spektra *Fourier Transform Infrared* (FTIR) sintesis geopolimer. Pada FTIR, spektra akan muncul kisaran bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1} . Berdasarkan penelitian Nmiri et al., (2017) karakterisasi FTIR kaolin tanpa aktivasi muncul puncak tertinggi dan tajam pada bilangan gelombang 1040 cm^{-1} merupakan ikatan Si-O-Al. Data tersebut dibandingkan dengan hasil FTIR geopolimer muncul *peak* tersebut sebagai karakteristik geopolimer yang sedikit mengalami pergeseran. Hasil analisis geopolimer ini dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Analisis FTIR Geopolimer

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)			
	Referensi	G 1	G 2	G 3
Si-O-Si (bengkok)	440 (Naghsh, 2017)	452,36	449,82	457,45
Si-O-Al (bengkok)	684 (Luukkonen et al., 2016)	691,93	692,48	691,97
Al-O (regangan)	820 (Lopez, 2014)	841,83	835,81	820,63
Si-O-Al (regangan asimetris)	1030 (Lopez, 2014)	1061,73	1067,48	1070,85
-OH (regangan)	1652 (Naghsh, 2017)	1636,72	1642,01	1646,65
-OH (regangan)	3400 (Naghsh, 2017)	3434,67	3450,46	3457,37

Analisis FTIR dilakukan pada geopolimer 1,5:1 (G1); geopolimer 2,0:1 (G2) dan geopolimer 2,5:1 (G3). Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 4.1 menunjukkan pembentukan geopolimer pada pita serapan 1030 cm⁻¹ merupakan daerah regangan asimetris Si-O-Al (Lopez, 2014). Geopolimer kode G1 menunjukkan adanya vibrasi Si-O-Al yang paling tajam ditunjukkan pada pita serapan 1061,73 cm⁻¹ dengan intensitas yang tinggi. Pada geopolimer kode G2 menunjukkan adanya vibrasi Si-O-Al tajam ditunjukkan pada pita serapan 1067,48 cm⁻¹ dengan intensitas yang tinggi juga. Sedangkan pada geopolimer

kode G3 menunjukkan adanya vibrasi Si-O-Al tidak tajam ditunjukkan pada serapan $1070,85 \text{ cm}^{-1}$ dengan intensitas yang rendah. Pita regangan asimetris Si-O-Al yang semakin tajam menandakan ikatan yang semakin kuat pada matriks geopolimer (Mustakim et al., 2019).

Pembentukan geopolimer juga ditandai munculnya pita serapan sekitar 3400 cm^{-1} dan 1652 cm^{-1} yang merupakan regangan -OH (Naghsh, 2017). Pada spektrum FTIR geopolimer kode G1, G2 dan G3 memiliki pita serapan pada bilangan gelombang berturut-turut $3434,67 \text{ cm}^{-1}$, $3450,46 \text{ cm}^{-1}$, $3457,37 \text{ cm}^{-1}$ dan $1636,72 \text{ cm}^{-1}$, $1642,01 \text{ cm}^{-1}$, $1646,65 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan regangan -OH. Pita ini menunjukkan adanya molekul-molekul air pada geopolimer (Naghsh, 2017).

Pita serapan 820 cm^{-1} merupakan regangan Al-O (Lopez, 2014). Pada spektrum FTIR geopolimer kode G1, G2 dan G3 masing-masing memiliki pita serapan 841 cm^{-1} , 835 cm^{-1} dan $820,63 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan regangan Al-O. Vibrasi bengkok Si-O-Al pada bilangan gelombang 684 cm^{-1} (Luukkonen et al, 2016). Pada geopolimer kode G1, G2 dan G3 masing-masing juga muncul pita serapan $691,93 \text{ cm}^{-1}$, $692,48 \text{ cm}^{-1}$ dan $691,97 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan vibrasi bengkok Si-O-Al. Selain itu juga muncul vibrasi bengkok Si-O-Si pada serapan 440 cm^{-1} (Naghsh, 2017). Pada

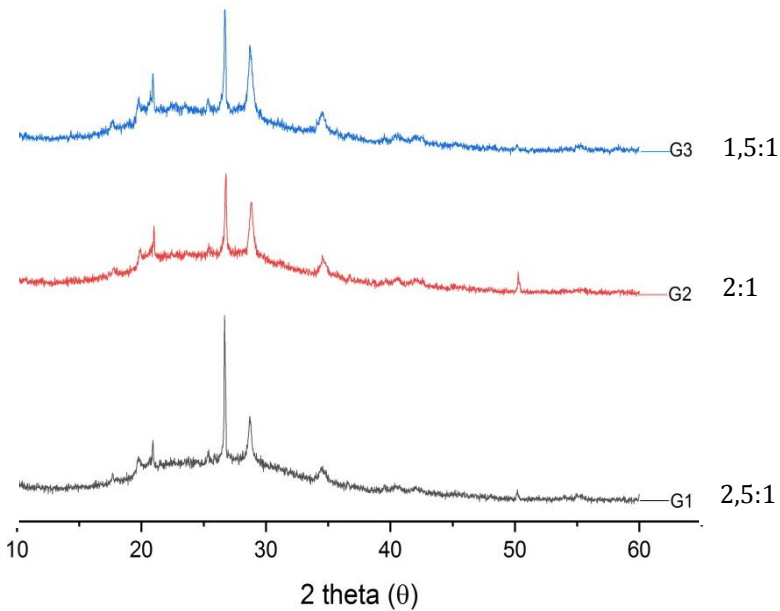
geopolimer kode G1, G2 dan G3 masing-masing muncul pita serapan $452,36\text{ cm}^{-1}$, $449,82\text{ cm}^{-1}$ dan $457,45\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya vibrasi bengkok Si-O-Si. Kemunculan puncak-puncak tersebut mengalami pergeseran dan *peak* (puncak) semakin melebar dengan semakin tingginya bilangan gelombang. Perubahan intensitas puncak ini terkait dengan perubahan pada saat geopolimerisasi dari rasio mol KOH:kaolin. Geopolimer yang dipreparasi menggunakan rasio mol KOH:kaolin 1,5:1 (G1) terjadi peningkatan intensitas yang mengindikasikan tingginya polimerisasi. Pada geopolimer yang dipreparasi menggunakan rasio mol KOH:kaolin 2,0:1 (G2) dan 2,5:1 (G3) intensitas puncaknya semakin menurun dengan semakin banyaknya KOH terhadap kaolin yang digunakan (Lopez et al., 2014).

Berdasarkan hasil analisis geopolimer G1, G2 dan G3 diantara ketiga geopolimer tersebut yang menunjukkan sampel terbaik adalah geopolimer kode G1. Hal ini dikarenakan pada G1 menunjukkan intensitas yang paling tajam dan tinggi. Semakin tajam intensitas pada *peak* (puncak) geopolimer yaitu terjadi pada puncak $1061,73\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan ikatan Si-O-Al menandakan ikatan yang semakin kuat dan merupakan karakteristik utama dari geopolimer (Davidovits, 1994, Shao et al., 2015 &

Mustakim et al., 2019). Ikatan kimia yang terjadi pada geopolimer ini yaitu ikatan kovalen rangkap dua, dimana terjadi pemakaian bersama atom O dengan Si dan Al. Ikatan kovalen ini cenderung tertatik ke salah satu atom yang berikatan yaitu atom O lebih tertarik oleh Si yang memiliki keelektronegatifan lebih besar sehingga menyebabkan bentuk molekulnya asimetris dan hal ini terbukti bahwa pada hasil puncak serapan $1061,73 \text{ cm}^{-1}$ terjadi regangan asimetris (Chang, 2004).

D. Karakterisasi Geopolimer Menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD)

Geopolimer yang dihasilkan juga dilakukan karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD). Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui tingkat kristalinitas material geopolimer. Hasil analisa struktur geopolimer ditampilkan pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Pola Difraksi XRD Geopolimer

Gambar 4.3 menunjukkan hasil pola difraksi *X-Ray Diffraction* (XRD) sintesis geopolimer. Pada XRD pola difraksi akan muncul sepanjang sudut 2θ kisaran $10-60^\circ$. Berdasarkan hasil penelitian Jaya (2016), karakterisasi XRD kaolin tanpa aktivasi muncul puncak tertinggi *kaolinite* pada 2θ $12,5^\circ$ dan 36° . Selain itu juga muncul *quartz* pada 2θ $26,7^\circ$. Data tersebut sebagai pembandingan pada sintesis geopolimer muncul puncak yang dimiliki kaolin tanpa aktivasi dengan 2θ sedikit bergeser. Hasil analisis geopolimer ini dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Difraksi XRD Geopolimer

Struktur	Difraksi 2theta (θ)			
	Referensi	G 1	G 2	G 3
<i>Kaolinite</i>	20° (Ramasamy et al., 2016 & Mustakim et al., 2019)	20,917°	21,004°	20,927°
<i>Quartz</i>	26° (Ramasamy et al., 2016 & Mustakim et al., 2019)	26,685°	26,771°	26,704°
<i>Sodalite</i>	28° (Ramasamy et al., 2016)	28,713°	28,828°	28,744°
<i>Kaolinite</i>	35° (Ramasamy et al., 2016)	34,452°	34,581°	34,494°

Gambar 4.3 dan Tabel 4.2 menunjukkan difraktogram geopolimer dengan kode G1, G2 dan G3. Berdasarkan hasil tersebut terlihat geopolimer pada sampel G1, G2 dan G3 terlihat fasa kristalin yang ditandai dengan munculnya puncak yang tinggi dan tajam pada sudut difraktogram sinar-X. Kemunculan puncak-puncak tersebut menandakan terbentuknya beberapa mineral dalam fasa kristalin seperti *quartz* pada sudut 2θ 26,685°, 26,704° dan 26,771° merupakan mineral yang tidak bereaksi dalam proses geopolimerisasi tetapi juga tidak mencegah terjadinya reaksi geopolimerisasi (Ramasamy et al., 2016 & Kljajevic et al., 2017). Mineral lain yang tampak yaitu *sodalite* pada sudut 2θ 28,713°, 28,744° dan 28,828° merupakan puncak

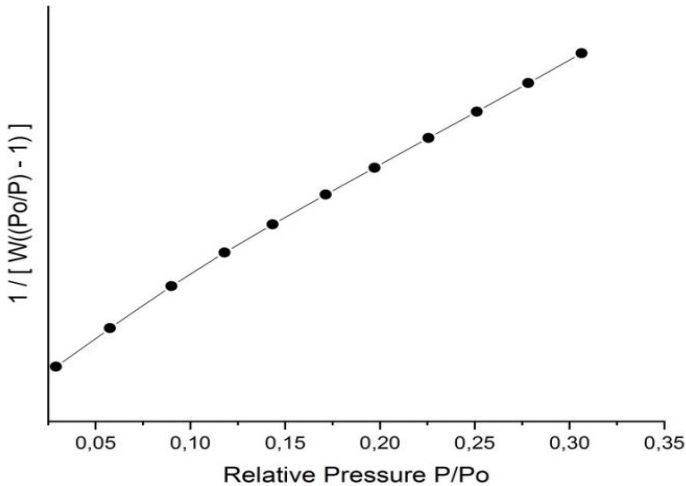
yang mengindikasikan reaksi geopolimerisasi antara natrium, silika dan alumina (Ramasamy et al., 2016). Selain itu juga tampak mineral *kaolinite* pada sudut 2θ 20,917°, 20,927°, 21,004°, 34,452°, 34,494° dan 34,581°. Munculnya fasa kristalin pada masing-masing geopolimer, dimungkinkan karena adanya partikel kaolin yang tidak bereaksi. Hal ini dapat diartikan bahwa kaolin tidak dapat larut dalam alkali basa, yang juga merupakan kelemahan dari metode *direct synthesis*, sehingga muncul puncak-puncak dengan intensitas yang relatif tinggi dan tajam (Lalena, 2005 & Mustakim et al., 2019).

Berdasarkan Gambar 4.3 terlihat sedikit perbedaan pada difaktogram geopolimer. Semakin banyak rasio mol KOH:kaolin, puncak difaktogram geopolimer semakin rendah. Hal ini ditunjukkan pada puncak *quartz* sampel G1, G2 dan G3 yang semakin rendah. Akan tetapi pada puncak *quartz* sampel G2 intensitas daerah $2\theta = 26,77^\circ$ lebih rendah dari G3. Pada puncak *sodalite* daerah $2\theta = 28,713^\circ$, $28,744^\circ$ dan $28,828^\circ$ mengalami peningkatan intensitas dengan semakin banyaknya rasio mol KOH:kaolin. Hal ini terjadi dimungkinkan karena hilangnya pengotor-pengotor yang bersifat kristalin pada struktur geopolimer. Selain itu juga kemungkinan karena belum tercampur secara homogen antara padatan kaolin dan KOH (Lalena, 2005).

Berdasarkan hasil analisis bahwa geopolimer terbaik terjadi pada geopolimer dengan rasio mol KOH:kaolin 1,5:1 (G1). Dikatakan demikian, karena pada G1 memiliki ikatan yang paling kuat terlihat adanya fasa kristalin dengan intensitas paling tinggi dan tajam yaitu pada daerah $2\theta = 26,704^\circ$. Harapan pada penelitian ini seharusnya terbentuk fasa amorf geopolimer. Namun pada kenyataannya terbentuknya fasa kristalin geopolimer. Hal ini disebabkan karena pada penelitian ini menggunakan metode sintesis langsung (*direct synthesis*), dimana pada metode ini memiliki kelemahan yaitu reaksi antar padatan terjadi secara heterogen, sehingga menyebabkan munculnya puncak-puncak yang tajam (Lalena, 2005).

E. Karakterisasi *Surface Area Analyzer* Geopolimer

Geopolimer kode G1 yang dihasilkan selain dilakukan uji kristalinitas dan gugus fungsi, juga dilakukan uji luas permukaan. Parameter yang mempengaruhi kemampuan adsorpsi menggunakan geopolimer adalah luas permukaan dan ukuran pori. Penentuan luas permukaan dan ukuran pori ini dilakukan menggunakan alat *Surface Area Analyzer*. Hasil analisa luas permukaan G1 ditampilkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Grafik *Surface Area Analyzer* pada G1

Gambar 4.4 menunjukkan hasil *multi point surface area* geopolimer. Pada grafik tersebut muncul *multi point* pada kisaran 0,025-0,3 P/Po. Hasil analisis *surface area* G1 ini dapat dilihat secara ringkas pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Analisis Data *Surface Area Analyzer* pada G1

Struktur	Hasil Analisa
Luas Permukaan (m²/g)	9,712
Volume Pori Total (cm³/g)	3,695
Ukuran rata-rata Pori (nm)	0,7609

Setiap adsorben memiliki struktur berpori yang berbeda dan terdiri dari beberapa lapisan, yang dapat menyediakan saluran untuk masuknya cairan/larutan adsorbat dan area permukaan yang besar untuk adsorpsi.

Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 4.3 bahwa luas permukaan pada G1 yaitu $9,712 \text{ m}^2/\text{g}$, sedangkan berdasarkan analisis dengan perhitungan diperoleh luas permukaan total dari geopolimer sebesar $9,399 \text{ m}^2/\text{g}$ dan luas permukaan spesifiknya sebesar $10,294 \text{ m}^2/\text{g}$. Pada kedua analisis tersebut dihasilkan selisih luas permukaan sebesar $0,313 \text{ m}^2/\text{g}$, dimana luas permukaan berdasarkan instrumen lebih besar. Selisih tersebut menunjukkan bahwa hasil analisis luas permukaan menggunakan metode *BET Surface Area Analyzer* menunjukkan hasil yang baik. Hal ini ditunjukkan pada hasil analisis menggunakan instrumen SAA BET memiliki luas permukaan lebih besar dari pada analisis perhitungan. Akan tetapi luas permukaan geopolimer kode G1 pada penelitian ini cukup rendah jika dibandingkan dengan penelitian Naghsh (2017) sebesar $51,3 \text{ m}^2/\text{g}$. Hal ini disebabkan kemungkinan pada sampel G1 masih memiliki ukuran partikel yang besar, sehingga berpengaruh pada hasil luas permukaan geopolimer kode G1. Sebagaimana teori yang disebutkan bahwa semakin kecil ukuran partikelnya maka semakin besar luas permukaan material dan akan semakin banyak adsorbat yang diserap oleh adsorben (Syauqiyah, 2011).

Berdasarkan hasil luas permukaan G1 dengan *Surface Area Analyzer* didapatkan juga ukuran rata-rata pori dan volume total pori pada geopolimer masing-masing sebesar 0,7609 nm dan 3,695 cm³/g. Menurut Fatimah (2014) bahwa ukuran rata-rata pori pada adsorben <2 nm termasuk jenis mikropori. Berdasarkan hal tersebut, maka geopolimer kode G1 pada penelitian ini termasuk kedalam jenis adsorben mikropori.

F. Kapasitas Adsorpsi

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh rasio mol KOH:kaolin pada geopolimer terhadap kapasitas adsorpsi air sadah (ion Ca²⁺ dan Mg²⁺). Kapasitas adsorpsi ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan geopolimer dalam mengikat ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ dalam air sadah. Hasil analisa data kapasitas adsorpsi dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut ini

Tabel 4.4 Hasil Analisa Kapasitas Adsorpsi Geopolimer Terhadap Air Sadah

Geopolimer (KOH:kaolin)	Qe (mg/g)	
	Ca ²⁺	Mg ²⁺
1,5:1 (G1)	9,386	6,423
2,0:1 (G2)	7,513	5,523
2,5:1 (G3)	7,26	5,368

Pada tabel 4.4 menunjukkan bahwa rasio mol KOH:kaolin pada geopolimer mempengaruhi nilai kapasitas adsorpsi. Berdasarkan data yang diperoleh bahwa rasio mol 1,5:1 (G1) mempunyai kapasitas adsorpsi lebih besar dibandingkan dengan rasio mol 2,0:1 (G2) dan 2,5:1 (G3) yaitu 9,386 mg/g. Hal ini didukung dengan hasil analisa luas permukaan G1, dimana luas permukaan G1 yaitu 9,712 m²/g sehingga kemampuan adsorpsi ion Ca²⁺ dan Mg²⁺ dalam air sadah juga lebih besar. Semakin besar rasio mol KOH:kaolin pada geopolimer menyebabkan kemampuan adsorpsi menurun. Hal ini disebabkan karena banyaknya rasio mol antara KOH:kaolin menyebabkan geopolimer menjadi lewat jenuh dan permukaan gugus aktif kaolin banyak yang tertutupi sehingga kapasitas adsorpsi menurun. Hal ini dibuktikan pada penelitian Anggriawan (2015) tentang penurunan logam besi pada air gambut menggunakan geopolimer dengan rasio alkali:kaolin 0,5, bahwa semakin tinggi rasio alkali:kaolin pada geopolimer menyebabkan kemampuan adsorpsi menurun. Hal ini juga dibuktikan dengan hasil karakterisasi FTIR dan XRD, dimana pada geopolimer kode G2 dan G3 pita serapan 1030 cm⁻¹ Si-O-Al menurun yang menandakan ikatan antar Si-O-Al lemah. Selain itu juga

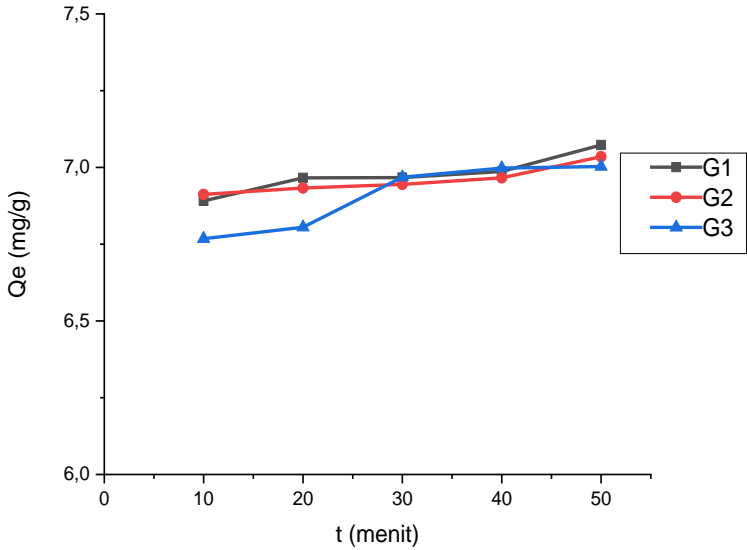
pada hasil karakterisasi XRD G2 dan G3 terjadi penurunan intensitas kristalinitas.

G. Kinetika Adsorpsi

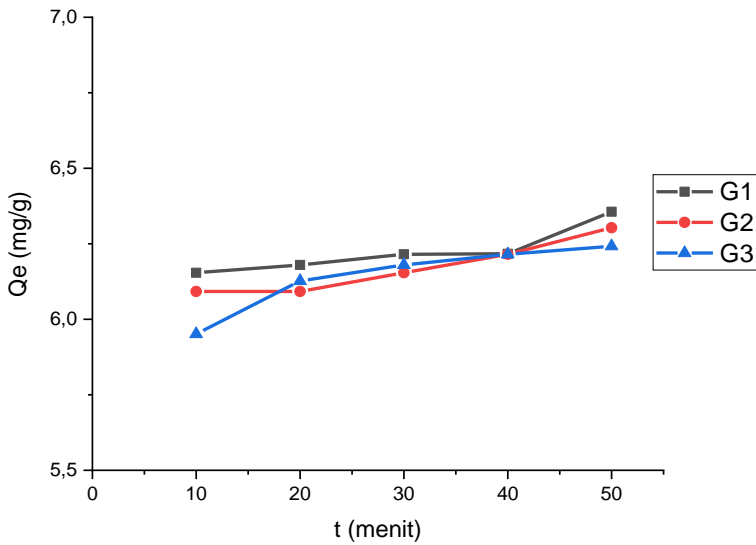
Adsorpsi air sadah dilakukan menggunakan media geopolimer yang divariasi pada waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat. Perlakuan variasi ini untuk menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum yang terjadi pada waktu kesetimbangan. Hal ini mengandung arti waktu yang dibutuhkan geopolimer untuk menyerap ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam air sadah mencapai waktu setimbang. Pada penelitian ini dilakukan variasi waktu kontak antara adsorben dan adsorbat pada waktu 10, 20, 30, 40, dan 50 menit. Data yang diperoleh digunakan untuk mengkaji kinetika adsorpsinya. Berikut disajikan data hasil adsorpsi ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} terhadap variasi waktu kontak terlampir pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Kapasitas Adsorpsi terhadap Waktu Kontak

t	Ion Ca^{2+}			Ion Mg^{2+}		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3
10	6,891	6,912	6,768	6,154	6,092	5,951
20	6,966	6,933	6,805	6,18	6,092	6,127
30	6,967	6,945	6,968	6,215	6,154	6,18
40	6,987	6,966	6,998	6,217	6,215	6,215
50	7,073	7,035	7,003	6,356	6,303	6,242



Gambar 4.5 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Ion Ca^{2+}



Gambar 4.6 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Ion Mg^{2+}

Gambar 4.5 dan 4.6 menunjukkan pengaruh waktu kontak geopolimer terhadap ion Ca^{2+} dan ion Mg^{2+} . Adsorpsi ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} mengalami peningkatan dengan selisih yang tidak jauh berbeda pada masing-masing adsorpsi dari waktu 10 sampai 50 menit. Kapasitas maksimum terjadi pada waktu 50 menit, dengan kapasitas adsorpsi masing-masing sampel Ca^{2+} yaitu pada sampel G1 mencapai 7,073 mg/L; sampel G2 mencapai 7,035 mg/L; dan sampel G3 mencapai 7,003 mg/L. Sedangkan pada sampel Mg^{2+} masing-masing sampel G1 mencapai 6,356 mg/L; sampel G2 mencapai 6,303 mg/L dan sampel G3 mencapai 6,215 mg/L. Berdasarkan data tersebut, semakin lama waktu kontak adsorben terhadap adsorbat semakin banyak adsorbat yang terserap oleh adsorben (geopolimer) dan tercapai kapasitas maksimum adsorpsi sesuai dengan penelitian Onutai et al (2017), bahwa kapasitas adsorpsi meningkat dengan meningkatnya waktu kontak dan telah mencapai kapasitas maksimum. Akan tetapi pada penelitian ini belum bisa dikatakan tercapai waktu kesetimbangan, karena dimungkinkan masih bisa terjadi adsorpsi pada waktu kontak lebih lama. Sebagaimana penelitian Sobirin et al., (2016), dikatakan bahwa waktu kesetimbangan tercapai apabila peningkatan kadar adsorbat yang teradsorpsi mencapai titik

maksimalnya sehingga pada saat penambahan waktu kontak tidak akan berpengaruh terhadap pengurangan adsorbat dalam sampel.

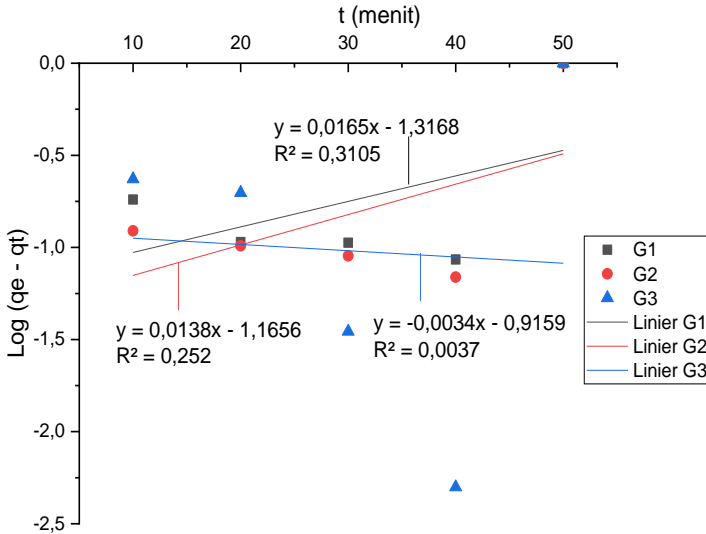
Penurunan air sadah menggunakan geopolimer berlangsung cepat dan terjadi pada waktu singkat sampai tercapai kapasitas maksimumnya. Hal ini sesuai dengan penelitian Naghsh (2017) bahwa kinetika terjadi begitu cepat dan singkat sehingga sangat direkomendasikan untuk adsorpsi skala industri.

Kinetika adsorpsi digunakan untuk mengetahui laju adsorpsi yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat yang dipengaruhi oleh waktu. Data yang diperoleh dari variasi waktu kontak adsorben dengan adsorbat dapat digunakan untuk penentuan konstanta laju adsorpsi menggunakan persamaan *pseudo first order* dan *pseudo second order*. Persamaan kinetika *pseudo first order* menjelaskan suatu reaksi kimia berlangsung secara *second order* namun diperlakukan layaknya orde satu. Suatu reaksi dimana lajunya hanya bergantung pada salah satu zat yang bereaksi dengan kata lain sebanding dengan salah satu pangkat reaktannya. Sedangkan persamaan kinetika *pseudo second order* berjalan layaknya *second order*. Suatu reaksi dimana lajunya berbanding lurus dengan hasil kali konsentrasi dua reaktannya atau dengan kata lain

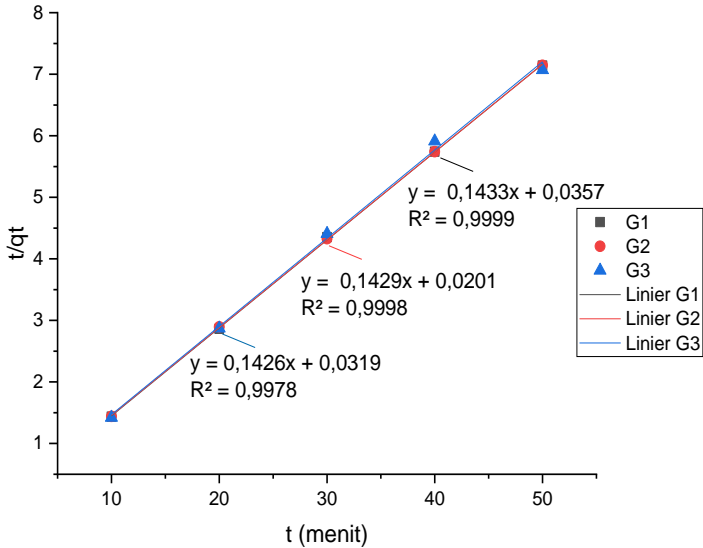
berbanding lurus dengan kuadrat konsentrasi pada salah satu reaktannya (Sanjaya & Agustine, 2015). Berdasarkan data yang diperoleh dari kesetimbangan waktu kontak yang kemudian didapatkan hasil seperti pada tabel 4.6 dan gambar 4.7 dan 4.8

Tabel 4.6 Data Model Kinetika Adsorpsi pada Ion Ca^{2+}

Model Kinetika Adsorpsi	Parameter	Geopolimer		
		G1	G2	G3
<i>Pseudo First Order</i>	q_e eksperimen (mg/g)	7,073	7,035	7,003
	q_e perhitungan (mg/g)	0,048	0,068	0,121
	k_1 (min^{-1})	0,038	0,0318	-0,0078
	R^2	0,3105	0,252	0,0037
	Persamaan reaksi	$Y = 0,0165x - 1,3168$	$Y = 0,0138x - 1,1656$	$Y = 0,0034x - 0,9159$
<i>Pseudo Second Order</i>	q_e eksperimen (mg/g)	7,073	7,035	7,003
	q_e perhitungan (mg/g)	7,0126	6,9979	6,978
	k_2 ($\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	1,0159	0,9843	0,5752
	R^2	0,9999	0,9998	0,9978
	Persamaan reaksi	$Y = 0,1429x + 0,0201$	$Y = 0,1426x + 0,0319$	$Y = 0,1433x + 0,0357$



Gambar 4.7 Kinetika Adsorpsi *Pseudo First Order* pada Ca^{2+}



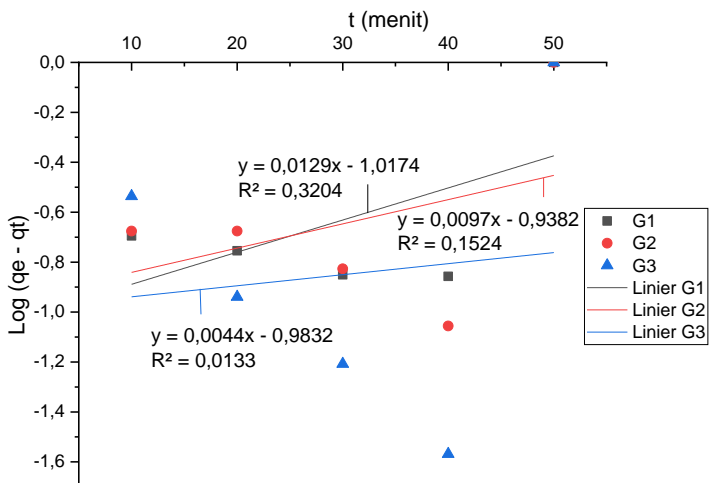
Gambar 4.8 Kinetika Adsorpsi *Pseudo Second Order* pada Ca^{2+}

Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 4.6 menunjukkan nilai koefisien korelasi (R^2) dari kedua persamaan kinetika yaitu persamaan *pseudo first order* dan persamaan *pseudo second order*. Hasil linearitas geopolimer terhadap ion Ca^{2+} dalam air sadah cenderung mendekati *pseudo second order* sesuai dengan penelitian Naghsh (2017). Hal tersebut menunjukkan nilai koefisien korelasi (R^2) pada *pseudo second order* lebih tinggi dan mendekati nilai 1. Laju reaksi dari adsorpsi ion Ca^{2+} dalam air sadah menggunakan geopolimer berbasis kaolin dapat diamati melalui nilai konstanta laju reaksi adsorpsi (k_2).

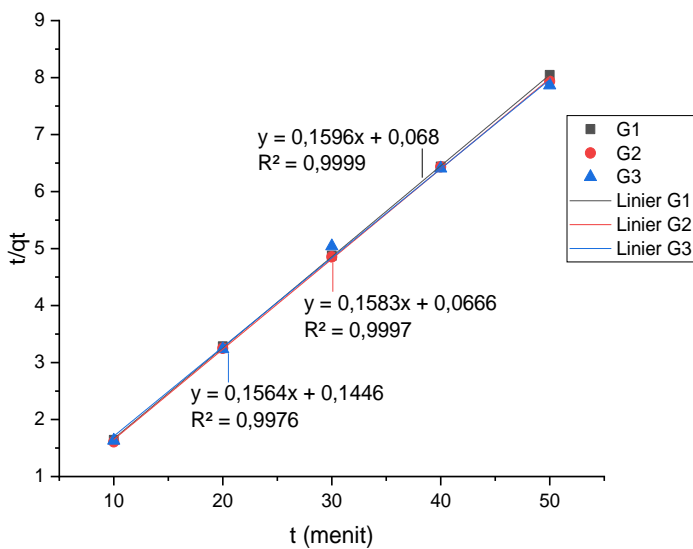
Berdasarkan data hasil pengamatan, adsorpsi Ca^{2+} menggunakan geopolimer dengan kode G1 memiliki laju adsorpsi lebih besar dari pada geopolimer dengan kode G2 dan G3. Hal ini disebabkan oleh G1 memiliki jarak antar lapisan yang lebih besar dari pada G2 dan G3.

Tabel 4.7 Data Model Kinetika Adsorpsi pada Ion Mg²⁺

Model Kinetika Adsorpsi	Parameter	Geopolimer		
		G1	G2	G3
<i>Pseudo First Order</i>	q _e eksperimen (mg/g)	6,356	6,303	6,242
	q _e perhitungan (mg/g)	0,0960	0,1153	0,1039
	k ₁ (min ⁻¹)	0,0297	0,0223	0,0101
	R ²	0,3204	0,1524	0,0133
	Persamaan reaksi	Y = - 0,0129x - 1,0174	Y = 0,0097x - 0,9382	Y = 0,0044x - 0,9832
<i>Pseudo Second Order</i>	q _e eksperimen (mg/g)	6,356	6,303	6,242
	q _e perhitungan (mg/g)	6,2656	6,3171	6,394
	k ₂ (g.mg ⁻¹ .min ⁻¹)	0,3766	0,376	0,1691
	R ²	0,9999	0,9997	0,998
	Persamaan reaksi	Y = 0,1596x + 0,068	Y = - 0,1583x + 0,0666	Y = 0,1564x + 0,1446



Gambar 4.9 Kinetika Adsorpsi *Pseudo First Order* pada Mg^{2+}



Gambar 4.10 Kinetika Adsorpsi *Pseudo Second Order* pada Mg^{2+}

Berdasarkan data yang diperoleh pada Tabel 4.7 menunjukkan nilai koefisien korelasi (R^2) dari kedua persamaan kinetika Mg^{2+} yaitu persamaan *pseudo first order* dan persamaan *pseudo second order*. Hasil linieritas pada adsorpsi Mg^{2+} dalam air sadah cenderung mendekati *pseudo second order* dan sesuai dengan penelitian Naghsh (2017). Hal tersebut menunjukkan nilai koefisien korelasi (R^2) pada *pseudo second order* lebih mendekati nilai 1. Laju reaksi dari adsorpsi ion Mg^{2+} dalam air sadah menggunakan geopolimer berbasis kaolin dapat diamati melalui nilai konstanta laju reaksi adsorpsi (k_2).

Berdasarkan data hasil pengamatan tersebut, adsorpsi Mg^{2+} menggunakan geopolimer kode G1 memiliki laju adsorpsi lebih besar dari pada geopolimer kode G2 dan G3. Hal ini disebabkan oleh geopolimer kode G1 memiliki jarak antar lapisan yang lebih besar dari pada geopolimer kode G2 dan G3. Hal ini didukung oleh hasil karakterisasi SAA dengan luas permukaan sebesar $9,712 \text{ m}^2/\text{g}$.

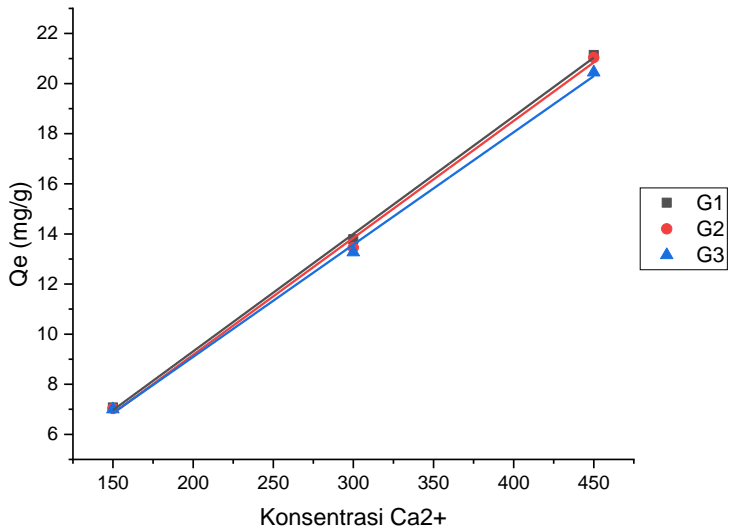
Hasil perolehan data model kinetika adsorpsi Ca^{2+} dan Mg^{2+} menunjukkan bahwa laju adsorpsi Ca^{2+} lebih besar dari pada adsorpsi Mg^{2+} . Hal ini seperti yang dikatakan pada penelitian Naghsh (2017) bahwa laju adsorpsi Ca^{2+} terjadi lebih cepat dari pada adsorpsi Mg^{2+} , karena memiliki lapisan film yang lebih tinggi dari Mg^{2+} .

H. Isoterm Adsorpsi

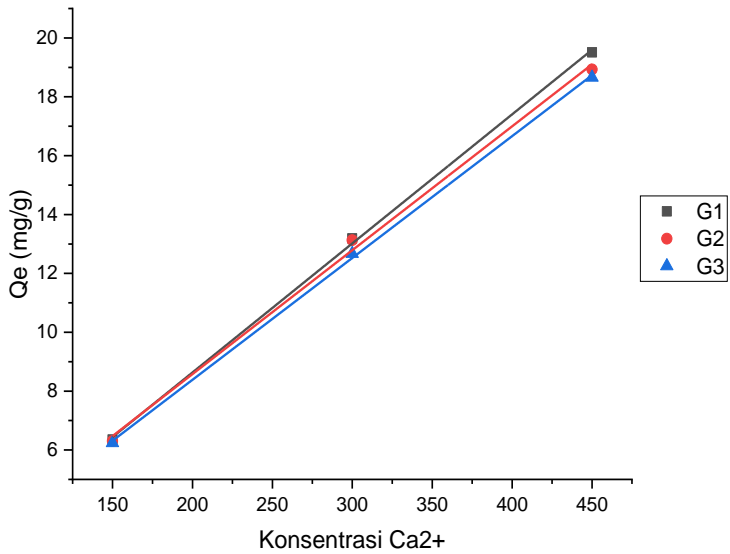
Adsorpsi air sadah selain dilakukan variasi waktu kontak juga dilakukan variasi konsentrasi adsorbat. Perlakuan variasi ini bertujuan untuk mengetahui besarnya konsentrasi optimum adsorbat yang dapat diadsorpsi oleh geopolimer. Penelitian ini dilakukan variasi konsentrasi 150 ppm, 300 ppm dan 450 ppm. Berikut disajikan data hasil optimasi konsentrasi terhadap penurunan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam air sadah ditampilkan pada tabel 4.8 dan gambar 4.11 dan 4.12

Tabel 4.8 Kapasitas Adsorpsi terhadap Konsentrasi

[] ppm	Ion Ca^{2+}			Ion Mg^{2+}		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3
150	7,073	7,035	7,003	6,356	6,303	6,242
300	13,79	13,45	13,27	13,19	13,13	12,67
450	21,14	21,04	20,45	19,51	18,93	18,66



Gambar 4.11 Pengaruh Konsentrasi terhadap Ion Ca²⁺



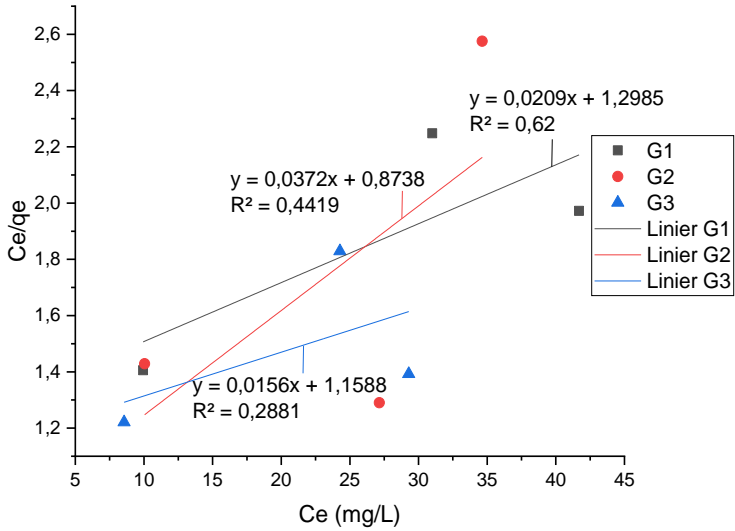
Gambar 4.12 Pengaruh Konsentrasi terhadap Ion Mg²⁺

Gambar 4.11 dan Gambar 4.12 menunjukkan pengaruh konsentrasi adsorbat terhadap penurunan ion Ca^{2+} dan ion Mg^{2+} . Adsorpsi ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} semakin meningkat dari konsentrasi 150 sampai 450 ppm. Kapasitas maksimum tercapai pada konsentrasi 450 ppm dengan masing-masing kapasitas adsorpsi sampel Ca^{2+} yaitu sampel G1 tercapai 21,14 mg/L; sampel G2 mencapai 21,04 mg/L dan sampel G3 mencapai 20,45 mg/L. Sedangkan pada masing-masing sampel Mg^{2+} yaitu sampel G1 mencapai 19,51 mg/L; sampel G2 mencapai 18,93 mg/L dan sampel G3 mencapai 18,66 mg/L. Berdasarkan data dan gambar tersebut, menunjukkan semakin besar konsentrasinya maka semakin besar ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang teradsorpsi. Akan tetapi dengan adanya peningkatan konsentrasi pada penelitian ini belum bisa dikatakan tercapai titik kesetimbangan antara konsentrasi adsorbat dengan geopolimer, karena jumlah ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang teradsorpsi belum konstan pada peningkatan konsentrasi sehingga dimungkinkan masih bisa terjadi peningkatan adsorpsi seiring dengan bertambahnya konsentrasi. Sebagaimana penelitian Naghsh (2017) bahwa adsorpsi meningkat dengan meningkatnya konsentrasi kesetimbangan dan pada titik kesetimbangan jumlah molekul yang teradsorpsi tetap konstan.

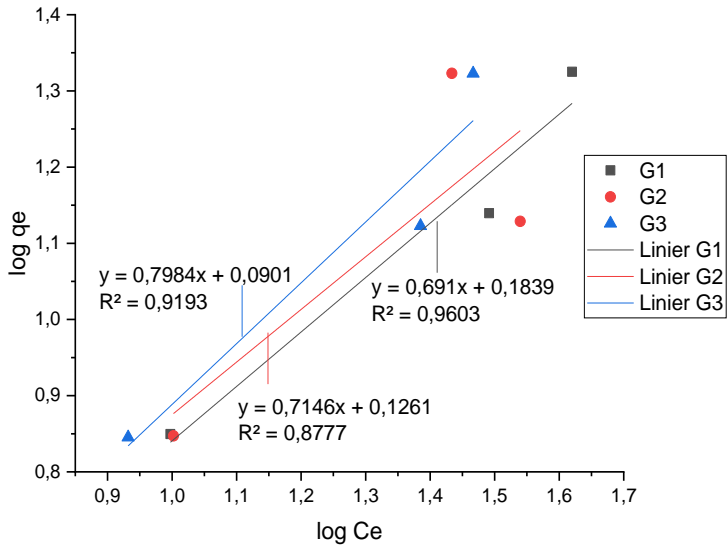
Penentuan isoterm adsorpsi digunakan untuk mengetahui perubahan konsentrasi adsorbat oleh proses adsorpsi sesuai dengan mekanisme adsorpsinya. Model isoterm adsorpsi yang biasa digunakan adalah isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich. Isoterm Langmuir terbatas hanya pada satu lapisan dan memiliki permukaan yang homogen. Sedangkan isoterm Freundlich memiliki banyak lapisan dengan permukaan yang heterogen sehingga ada interaksi antar molekul yang teradsorpsi (Liu et al, 2019). Pengujian model isoterm ini dilakukan untuk menentukan model kesetimbangan yang sesuai dengan yang digunakan pada penelitian. Isoterm adsorpsi ditentukan dengan merubah persamaan isoterm Langmuir dan Freundlich menjadi bentuk kurva kesetimbangan garis lurus. Penentuan model kesetimbangan adsorpsi ini tergantung pada nilai koefisien korelasi (R^2) yang tinggi (Sanjaya & Agustine, 2015). Berikut disajikan data hasil yang diperoleh model isoterm adsorpsi

Tabel 4.9 Data Model Isoterm Adsorpsi pada Ion Ca²⁺

Model Isoterm Adsorpsi	Parameter	Geopolimer		
		G1	G2	G3
Langmuir	q _m (mg/g)	47,8468	26,8817	64,1025
	k _L (L/mg)	0,0161	0,0325	0,0135
	R ²	0,62	0,4419	0,2881
	Persamaan reaksi	Y= 0,0209x + 1,2985	Y= 0,0372x + 0,8738	Y= 0,0156x + 1,1588
	n	1,447	1,399	1,253
Freundlich	k _f (mg/g)(mg/L) ⁻ⁿ	1,527	1,337	1,23
	R ²	0,9603	0,8777	0,9193
	Persamaan reaksi	Y= 0,691x + 0,1839	Y= 0,7146x + 0,1261	Y= 0,7984x + 0,0901



Gambar 4.13 Isoterm Langmuir pada Ca^{2+}



Gambar 4.14 Isoterm Freundlich pada Ca^{2+}

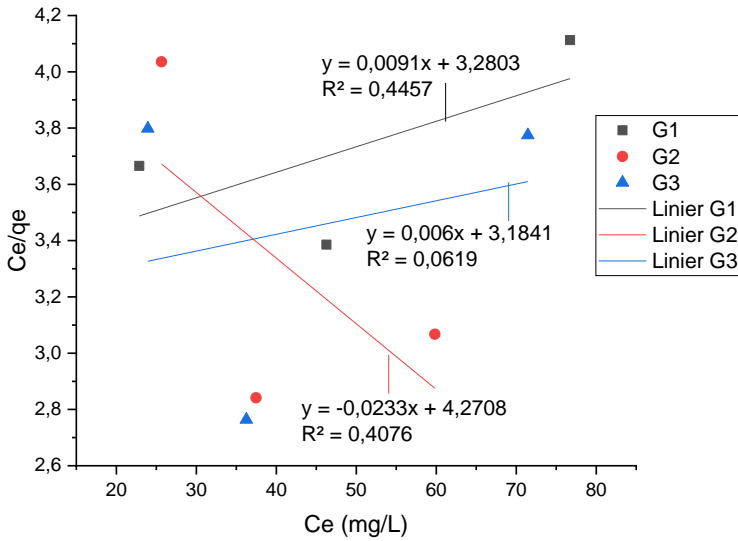
Berdasarkan data hasil yang diperoleh pada Tabel 4.9 menunjukkan nilai koefisien korelasi (R^2) dari kedua model isoterm adsorpsi Ca^{2+} yaitu isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich. Model isoterm adsorpsi Ca^{2+} ini mengikuti isoterm Freundlich sesuai dengan penelitian Maulana et al (2017). Hal tersebut menunjukkan nilai koefisien korelasi (R^2) pada isoterm Freundlich lebih tinggi dan mendekati nilai 1. Akan tetapi pada isoterm Freundlich ini permukaannya heterogen sehingga saling terjadi interaksi antar molekul yang teradsorpsi pada adsorben. Hal tersebut disebabkan oleh Ca^{2+} yang diadsorpsi tidak terikat kuat pada permukaan sehingga terjadi pelepasan kembali Ca^{2+} yang terikat oleh adsorben (Maulana et al, 2017). Hasil tersebut belum sesuai dengan yang diharapkan seperti pada penelitian Naghsh (2017) yaitu seharusnya Ca^{2+} mengikuti model isoterm Langmuir, dimana Ca^{2+} akan terikat kuat pada permukaan yang homogen sehingga tidak terjadi pelepasan kembali Ca^{2+} yang teradsorpsi. Parameter yang dapat menunjukkan kapasitas adsorpsi suatu adsorben diamati melalui nilai K_f dan n sebagai konstanta Freundlich.

Berdasarkan data hasil pengamatan, adsorpsi Ca^{2+} menggunakan geopolimer kode G1 memiliki daya adsorpsi lebih besar dari pada geopolimer kode G2 dan G3. Hal ini

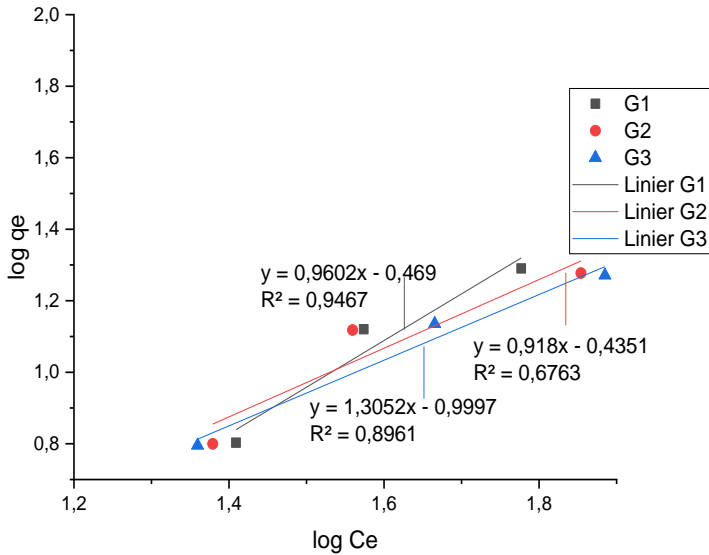
dikarenakan interaksi ion Ca^{2+} pada permukaan geopolimer kode G1 lebih besar dari geopolimer kode G2 dan G3 meskipun tidak terikat kuat pada G1. Akan tetapi geopolimer kode G1 menunjukkan hasil yang baik dibandingkan dengan yang lain.

Tabel 4.10 Data Model Isoterm Adsorpsi pada Ion Mg^{2+}

Model Isoterm Adsorpsi	Parameter	Geopolimer		
		G1	G2	G3
Langmuir	q_m (mg/g)	109,89	-42,91	166,6
	k_L (L/mg)	$2,82 \times 10^{-3}$	$-5,45 \times 10^{-3}$	$1,88 \times 10^{-3}$
	R^2	0,4457	0,4076	0,0619
	Persamaan reaksi	$Y = 0,0091x + 3,2803$	$Y = 0,0233x + 4,2708$	$Y = 0,006x + 3,1841$
Freundlich	n	1,089	0,766	1,041
	k_f (mg/g) $(\text{mg/L})^{-n}$	0,367	0,339	0,100
	R^2	0,9467	0,6763	0,8961
	Persamaan reaksi	$Y = 0,9602x - 0,469$	$Y = 0,918x - 0,4351$	$Y = 1,3052x - 0,9997$



Gambar 4.15 Isoterm Langmuir pada Mg^{2+}



Gambar 4.16 Isoterm Freundlich pada Mg^{2+}

Berdasarkan data hasil yang diperoleh pada Tabel 4.10 menunjukkan nilai koefisien korelasi (R^2) dari kedua model isoterm adsorpsi pada Mg^{2+} yaitu isoterm Langmuir dan isoterm Freundlich. Model isoterm adsorpsi pada ion Mg^{2+} ini mengikuti isoterm Freundlich serupa dengan penelitian Maulana et al (2017). Hal tersebut menunjukkan nilai koefisien korelasi (R^2) pada isoterm Freundlich lebih mendekati nilai 1. Akan tetapi pada isoterm Freundlich Mg^{2+} ini permukaannya heterogen sehingga saling terjadi interaksi antar molekul yang teradsorpsi pada adsorben. Hal tersebut disebabkan oleh Mg^{2+} yang diadsorpsi tidak terikat kuat pada permukaan sehingga terjadi pelepasan kembali Mg^{2+} yang terikat oleh adsorben (Maulana et al, 2017). Hasil tersebut belum sesuai dengan yang diharapkan seperti pada penelitian Naghsh (2017) yaitu seharusnya Mg^{2+} mengikuti model isoterm Langmuir, dimana Mg^{2+} akan terikat kuat pada permukaan yang homogen sehingga tidak terjadi pelepasan kembali Mg^{2+} yang teradsorpsi. Parameter yang dapat menunjukkan kapasitas adsorpsi suatu adsorben diamati melalui nilai K_f dan n sebagai konstanta Freundlich.

Berdasarkan data hasil pengamatan tersebut, adsorpsi Mg^{2+} menggunakan geopolimer Kode G1 memiliki daya adsorpsi lebih besar dari pada geopolimer dengan kode G2

dan G3. Hal ini dikarenakan interaksi ion Mg^{2+} pada permukaan G1 lebih besar dari G2 dan G3 meskipun tidak terikat kuat pada G1. Akan tetapi ion Mg^{2+} teradsorpsi lebih baik oleh geopolimer kode G1 dibandingkan dengan geopolimer yang lain.

Hasil yang diperoleh dari data isoterm adsorpsi Ca^{2+} dan Mg^{2+} menunjukkan bahwa daya adsorpsi Ca^{2+} lebih besar dari pada adsorpsi Mg^{2+} . Hal ini serupa dengan penelitian Naghsh (2017) dan Yunitasari (2018) bahwa daya adsorpsi yang dimiliki Ca^{2+} lebih besar dari pada daya adsorpsi Mg^{2+} yang kemungkinan disebabkan oleh kehadiran ion Mg^{2+} dalam bentuk hidrat dalam larutan.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakterisasi geopolimer berbasis kaolin telah terbentuk, ditandai dengan adanya 2θ pada puncak $26,685^\circ$ dan spektra FTIR pada bilangan gelombang $1061,37 \text{ cm}^{-1}$ dengan pita serapan Si-O-Al. Hasil karakterisasi luas permukaan geopolimer yaitu $9,712 \text{ m}^2/\text{g}$ untuk menyerap Ca^{2+} dan Mg^{2+} dalam air sadah
2. Rasio mol KOH:kaolin berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi. Adsorben terbaik dimiliki oleh G1 (rasio mol 1,5:1) dengan kapasitas adsorpsi terhadap ion Ca^{2+} sebesar $9,386 \text{ mg/g}$ dan ion Mg^{2+} sebesar $6,423 \text{ mg/g}$
3. Waktu kontak dan konsentrasi berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi. Waktu kontak adsorben G1 (1,5:1) yang paling baik adalah 50 menit, sedangkan konsentrasi yang paling baik adalah 450 ppm. Semakin lama waktu kontak dan semakin besar konsentrasinya, maka kapasitas adsorpsi yang dihasilkan juga semakin tinggi.

B. Saran

Penelitian selanjutnya perlu disarankan untuk mensintesis geopolimer dengan metode yang lain, seperti sol-gel atau hidrotermal dan saat preparasi material dapat juga dengan melakukan penambahan bahan silikat agar proses polimerisasi berlangsung cepat. Perlu juga dalam meningkatkan kemampuan geopolimer dalam menyerap air sadah yaitu Ca^{2+} dan Mg^{2+} dengan lebih memperkecil partikelnya agar mendapatkan luas permukaan yang besar, sehingga diharapkan kapasitas adsorpsi geopolimer juga lebih besar. Selain itu disarankan juga untuk melakukan penambahan waktu kontak yang lebih lama dan konsentrasi Ca^{2+} dan Mg^{2+} yang lebih besar untuk mendapatkan hasil kesetimbangan adsorpsi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelkader, A. M., Daher, A., & E. El-Kashef. 2007. Novel Decomposition Method for Zirkon. *J. Alloys Compd.* 460: pp. 577-580
- Abdullah, Muhammad & Triwikantoro. 2015. Pengaruh Variasi pH Pengendapan dan Temperatur Kalsinasi pada Sintesis Zirkonia dari Pasir Zirkon Alam Kereng Pangi. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIX HFI Jateng & DIY*. Jurusan Fisika Fakultas MIPA, ITS Surabaya
- Adzan, R. A. 2005. Studi Ganesa Kaolin dan Pemanfaatannya. Seminar. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Mineral Institut Sains & Teknologi Akprind
- Anggriawan, et al., 2015. Penyisihan Kadar Logam Fe dan Mn Pada Air Gambut dengan Pemanfaatan Geopolimer dari Kaolin sebagai Adsorben. *JOM FTEKNIK*. 2(1): 1-6
- Alkan, M., Hopa, C., Yilmaz, Z., & Guler H. 2005. The Effect of Alkali Concentration and Solid/Liquid Ratio on The Hydrothermal Synthesis of Zeolite NaA from Natural Kaolinite. *Elsevier. Microporous and Macroporous Materials*. 86: pp. 176-184
- Al-Harashsheh, Mohammed., et al. 2015. Fly Ash Based Geopolymer for Heavy Metal Removal: A Case Study On Copper Removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 677: 1-9
- Almatsier, S. 2004. *Prinsip Dasar Ilmu Gizi*. Cetakan II. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Umum
- Apriliansi, Ade. 2010. Pemanfaatan Arang Ampas Tebu Sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu, dan Pb dalam Air Limbah. Skripsi. Jakarta: Fakultas Saintek Uin Syarif Hidayatullah
- Atkins, PW. 1994. *Physical Chemistry. Ed ke-5*. England: Oxford Univ Pr.
- Azizian, S. 2004. Kinetic Models of Sorption: A Theoretical Analysis. *J Colloid Interf Sci*. 276: 47-52
- Beiser, Arthur. 1992. *Konsep Fisika Modern*. Jakarta: Erlangga

- Buanasita, Annas., et al. 2015. Perbedaan Tingkat Konsumsi Energi, Lemak, Cairan, dan Status Hidrasi Mahasiswa Obesitas dan Non Obesitas. *Indonesian Journal of Human Nutrition*. 2(1): 11-22
- Cecilia *et al.* 2014. Potentials of Agric Wastes Activated Carbond for Water Softening. *Research Journal in Engineering and Applied Science*. 3(3): 199-207
- Chandra, B. 2007. *Pengantar Kesehatan Lingkungan*. Jakarta: Kedokteran EGC
- Chang, Raymond. 2004. *Kimia Dasar: Konsep-konsep Inti*. Jilid 1 Edisi 3. Jakarta: Erlangga
- Cheng *et al.*, 2012. The Heavy Metal Adsorption Characteristics on Metakaolin-based Geopolymer. *Apply. Clay Sci*. 56, 90-96
- Davidovits, J. 1994. Properties of Geopolymer Cement. *First International Conference on Alakaline Cements and Concretes*. 131-49
- Dinora, G. Q., & Purnomo, A. 2013. Penurunan kandungan zat kapur dalam air tanah dengan menggunakan media zeolit alam dan karbon aktif menjadi air bersih. *Jurnal Teknik POMITS*, 2(2): 78-82.
- Duxson *et al.* 2005. Effect of Alkali Cations on Aluminum Incorporation in Geopolymeric Gels. *Ind. Eng. Chem. Res.* 44: 832-839
- Duxson *et al.* 2007. The Effect of Alkali and Si/Al Ratio on The Development of Mechanical Properties of Metakaolin-based Geopolymer. *Colloid and Surface A: Physicochem Eng. Aspect*. 292: 8-20
- El Alouani, Marouane., et al. 2019. Preparation, Characterization, and Application of Metakaolin-Based Geopolymerfor Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution. *Journal of Chemistry*. 42: 1-14
- Fatimah, Is. 2014. *Adsorpsi dan Katalis Menggunakan Material Berbasis Clay*. Yogyakarta: Graha Ilmu

- Ferdy. 2010. Pengaruh Temperatur dan Waktu *Curing* terhadap Kuat Tekan Pasta Geopolimer Berbahan Dasar Abu Terbang. *Skripsi*. Depok: Fakultas Teknik Universitas Indonesia
- Florenzia, M. 2014. Analisis Kalsium, Magnesium dan Timbal pada Air Mineral dalam Kemasan dan Air Minum Isi Ulang Secara Spektrofotometri Serapan Atom. *Skripsi*. Medan: Fakultas Farmaasi USU
- Fox, Martin. 1998. *Healthy Water*. Portsmouth: Healthy Water Research
- Gayatri, S. L., & Ahmaruzzaman, M., 2010. Adsorption Technique for the Removal of Phenolic Compounds from Wastewater using Low-cost Natural Adsorbents. *Assam University Journal of Science and Technology*. 5(2): 156-166
- Gregg, S.J & Sing, K.S.W. 1982. *Adsorption, Surface Area and Porosity*. 2th edition. London: Academic Press
- Grim, R.E., 1953. *Clay Mineralogy*. 2nd edition. New York: Mc Graw-Hill Book Company
- Hafiyah, ST. 2013. Kinetika Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B Menggunakan Karbon Aktif Sekam Padi (*Oriza sativa L.*). *Skripsi*. Makassar: Fakultas Sains dan Teknologi UIN Alauddin
- Hermanto, Sandra. 2008. *Mengenal Lebih Jauh Teknik Analisa Kromatografi dan Spektroskopi*. Jakarta: UIN Syarif Hidayatullah
- Ho, Yuh-Shan. 2006. Review of Second Order Models for Adsorption System. *Journal of Hazardous Materials*. 136: 681-689
- Ismail, M. A., Eltayeb, M. A., & Abdel, Mage M. A. 2013. Elimination of Heavy Metals from Aqueous Solution Using Zeolite LTA Synthesis from Suandese Clay. *Journal of Chemical Sciences. International Science Congress Association*. 5: pp 93-98

- Jaarsveld, Van., *et al.* 1996. The Potential Use of Geopolymeric Materials to Immobilise Toxic Metals: Part I. Theory and Applications. *Minerals Engineering*. 26-28
- Jaya et al., 2016. Characterization and Microstructure of Kaolin-based Ceramic using Geopolymerization. *Engineering Material*. 7:3-11
- Kajjumba, G. W et al. 2018. *Modelling of Adsorption Kinetic Processes-Errors, Theory and Application*. Intechopen
- Kara, Ilknur., et al. 2018. Study on the Performance of Metakaolin based Geopolymer for Mn(II) and Co(II) Removal. *Applied Clay Science*. 161: 184-193
- Kecili, R & Hussain, C. M. 2018. *Mechanism of Adsorption on Nanomaterials*. New York: New Jersey Institute of Technology
- Khopkar, S.M. 1990. *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI Press
- Kljajevic, et al., 2017. Structural and Chemical Properties of Thermally Treated Geopolymer Samples. *Ceramics International*. 66: 1-9
- Kozisek, F. 2005. *Health Risks From Drinking Demineralised Water*. Switzerland: WHO Library Cataloguing In Publication Data
- Lalena, John N. & Cleary, David A. 2005. *Principles Of Inorganic Materials Design*. John Wiley & Sons
- Lestari, D. Y. 2010. Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara. *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia*. Jurusan Kimia: Universitas Negeri Yogyakarta
- Liu, Lingling et al. 2019. *Application of Nanotechnology in the Removal of Heavy Metal from Water*. China: Huazhong University of Science and Technology
- Lopez et al., 2014. Geopolymer Using Rice Husk Silica and Metakaolin Derivatives , Preparation and their Characteristics. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2: 35-43

- Luukkonen et al., 2016. Simultaneous Removal of Ni(II), As(III) and Sb(III) from Spiked Mine Effluent with Metakaolin and Blast Furnace Slag Geopolymer. *Journal of Environmental Management*. 166: 579-588
- Lynch, C.T. 1990. *Practical Handbook of Material Science*. Ed ke-2. New York: CRC Pr.
- Mamivand, M., et al. 2013. Phase Field Modeling of the Tetragonal to Monoclinic Phase Transformation in Zirconia. *Acta Mater*. 61(14): 5223-5235
- Maulana, Iman et al. 2017. *Pemanfaatan Ampas Teh sebagai Adsorben Ion Kalsium (Ca²⁺) dan Ion Magnesium (Mg²⁺) dalam Air Sadah*. Bogor: Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Pakuan Bogor
- Mustakim et al., 2019. Sintesis dan Karakterisasi Geopolimer Berbahan Dasar Kaolin Capkala dengan Variasi Rasio Mol SiO₂/Al₂O₃. *Indo.J.Pure App.Chem*. 2(2): 84-93
- Naghsh, M., & Shams, K., 2017. Synthesis of a kaolin-based geopolymer using a novel fusion method and its application in effective water softening. *Applied Clay Science*. 146: 238-245
- Nmiri et al., 2017. Synthesis and Characterization of Kaolinite-based Geopolymer: Alkaline Activation Effect on Calcined Kaolinite Clay at Different Temperature. *Journal of Material and Environmental Sciences*. 8(2): 676-690
- Nurhayati, Tri. 2006. *Evaluasi Kualitas Air Tanah untuk Air Minum di Kecamatan Sidoharjo Kabupaten Sragen*. Skripsi. Surakarta: Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Nyale et al. 2013. Synthesis and Characterization of Coal Fly Ash-based Foamed Geopolymer. *Procedia Environmental Science*. 18: 722-730
- Onutai, Sujitra et al. 2017. The Adsorption of Cadmium Ions on Fly Ash Based Geopolymer Particles. *Key Engineering Materials*. 766(65): 65-70
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. New York: John Wiley and Sons

- Peavy, Howard S *et al.* 1985. *Environmental Engineering*. Singapura: Mc Graw-Hill
- Permenkes RI. 1975. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 01/Birhumas/I/1975 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum dalam Baku Mutu Air Minum*. Jakarta: Depkes RI
- Permenkes RI. 2010. *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*. Jakarta: Depkes RI
- Petrucci, R.H. 1987. *Kimia Dasar Prinsip dan Terapa Modern ed IV jilid 3*. Erlangga: Jakarta
- Prasetya, Fandi A *et al.*, 2018. Sintesis dan Karakterisasi Beton Geopolimer Berbasis Abu Layang sebagai Media Tanam. *Jurnal Teknologi*. 1(1): 21-26
- Ramasamy *et al.*, 2016. Interrelationship of Kaolin, Alkaline Liquid Ration and Strength of Kaolin Geopolymer. *Materials Science and Engineering*. 133: 1-8
- Robati, Dariush. 2013. Pseudo Second Order Kinetic Equations For Modelling Adsorption System For Removal of Lead Ions Using Multi-Walled Carbon Nanotube. *Journal of Nanostructure in Cemistry*. 3(55): 1-6
- Sanjaya, Ari Susandy dan Agustine, Rizcy Paramita. 2015. Studi Kinetika Adsorpsi Pb Menggunakan Arang Aktif dari Kulit Pisang. *Konversi*. 4(1): 17-24
- Sastrohamidjojo, H. 1991. *Kromatografi*. Edisi II. Yogyakarta: Liberty
- Satake M, & Nagahiro T. 1990. *Modern Dictionary Physical Chemistry*. New Delhi: Discovering
- Sawka *et al.*, 2005. Human Water Needs. *Nutrition Reviews*. 63(6): S30-S39
- Syauqiyah, Isna *et al.* 2011. Analisis Variasi Waktu dan Kecepatan Pengaduk pada Proses Adsorpsi Limbah Logam Berat dengan Arang Aktif. *Info Teknik*. 12(1): 11-20

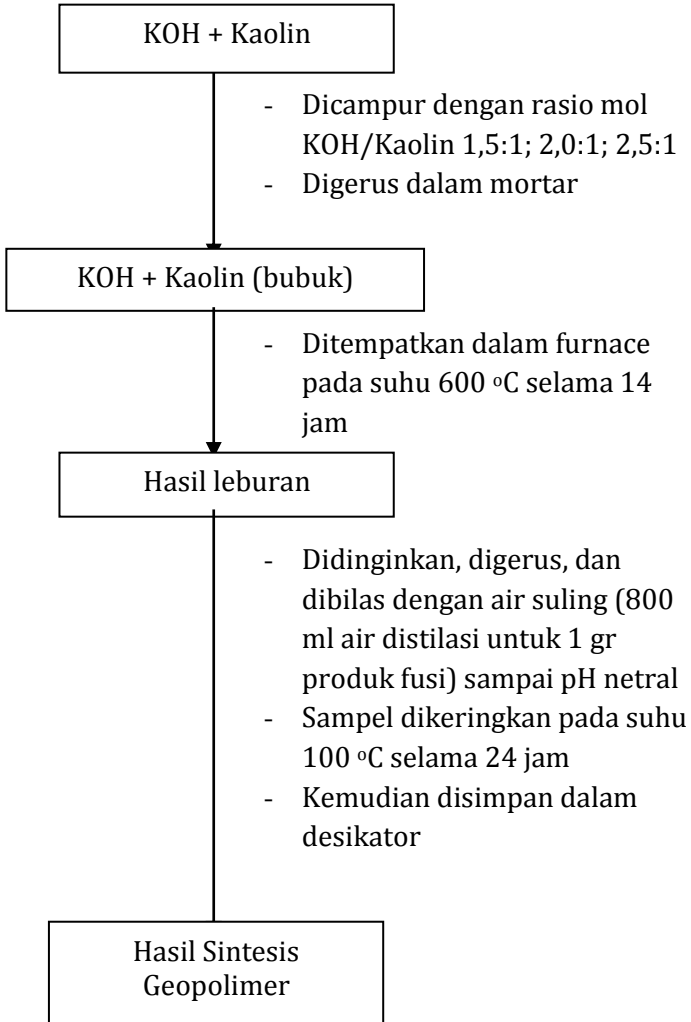
- Setyaningsih, Nining. 2014. Analisis Kesadahan Air Tanah di Kecamatan Toroh Kabupaten Grobogan Provinsi Jawa Tengah. *Publikasi Karya Ilmiah*. Surakarta: Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Shao et al., 2015. Fabrication of Hollow Microspheres Filled Fly Ash Geopolymer Composites with Excellent Strength and Low Density. *Materials Letters*. 161: 451-454
- Silalahi, Jansen. 2014. Dampak Negatif Air Minum Reserve Osmosis (RO) terhadap Kesehatan. *J. Indon Med Assoc*. 64(5): 215-217
- SNI. 2004. *Air dan Limbah-Bagian 12:Cara Uji Kesadahan Total Kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg) dengan Metode Titrimetri*. BSN. 06-6989.12
- Sobirin, Mohamad et al., 2016. Efek Penambahan Karbon Aktif pada Magnetit dari Pasir Besi sebagai Adsorpsi Ion Kalsium dalam Air. *Unnes Physics Journal*. 5(2): 42-50
- Somorjai, G.A & Klerer, J. 1972. Principles of Surface Chemistry. *Journal of The Electrochemical Society*. 119(9): 279C-279C
- Sukandarrumidi. 2009. *Bahan Galian Industri*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Sutrisna, T., & Eni, S., 2006. *Teknologi Penyediaan Air Bersih*. Jakarta: Rineka Cipta
- Tjay, Tan Hoan & Rahdja, Kirana. 2007. *Obat-obat Penting Khasiat, Penggunaan dan Efek-efek Sampingnya. Edisi Keenam*. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo
- Walujodjati, A. 2008. Sintesis Hidrotermal dari Serbuk Oksida Keramik. *Momentum*. 4(2): 33-37
- Waluyo, L. 2009. *Mikrobiologi Lingkungan*. Malang:UMM Press
- Wang, Y & Li, Feng. 2009. Synthesis of High Capacity Cation Exchange from A Low-Grade Chinese Natural Zeolite. *Journal of Hazardous Materials*. 166:1014-1019

- WHO, 2005. *Nutrients in Drinking Water*. Switzerland: WHO Geneva
- Wulansari, Tirta Indah dkk. 2016. Pengaruh Metode Aktivasi Pada Kemampuan Kaolin Sebagai Adsorben Besi (Fe) Air Sumur Garuda. *Konversi*. 5(2): 20-25
- Yunitasari, Lita. 2018. Adsorpsi Air Sadah dengan Adsorben Abu Dasar Batubara Termodifikasi Surfaktan Natrium Dodesil Sulfat. *Skripsi*. Fakultas MIPA Universitas Gadjah Mada
- Zenghua, C., *et al.* 2011. Synthesis of Zeolite 4A from Kaolin and Bauxite by Alkaline Fusion at Low Temperature. *Materials Science Forum*. 685: 298-306
- Zhely, Mila & Widiastuti, Nurul. 2012. Sintesis Zeolit X-karbon dari Abu Dasar Batubara dan Karakteristiknya sebagai Material Penyimpan Hidrogen. *Prosiding Seminar*. Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

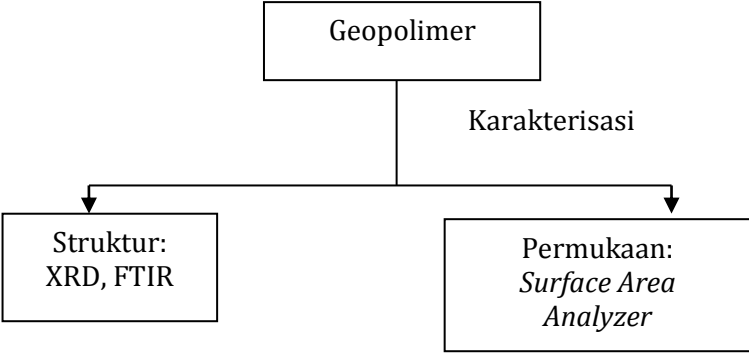
Lampiran 1

Skema Kerja

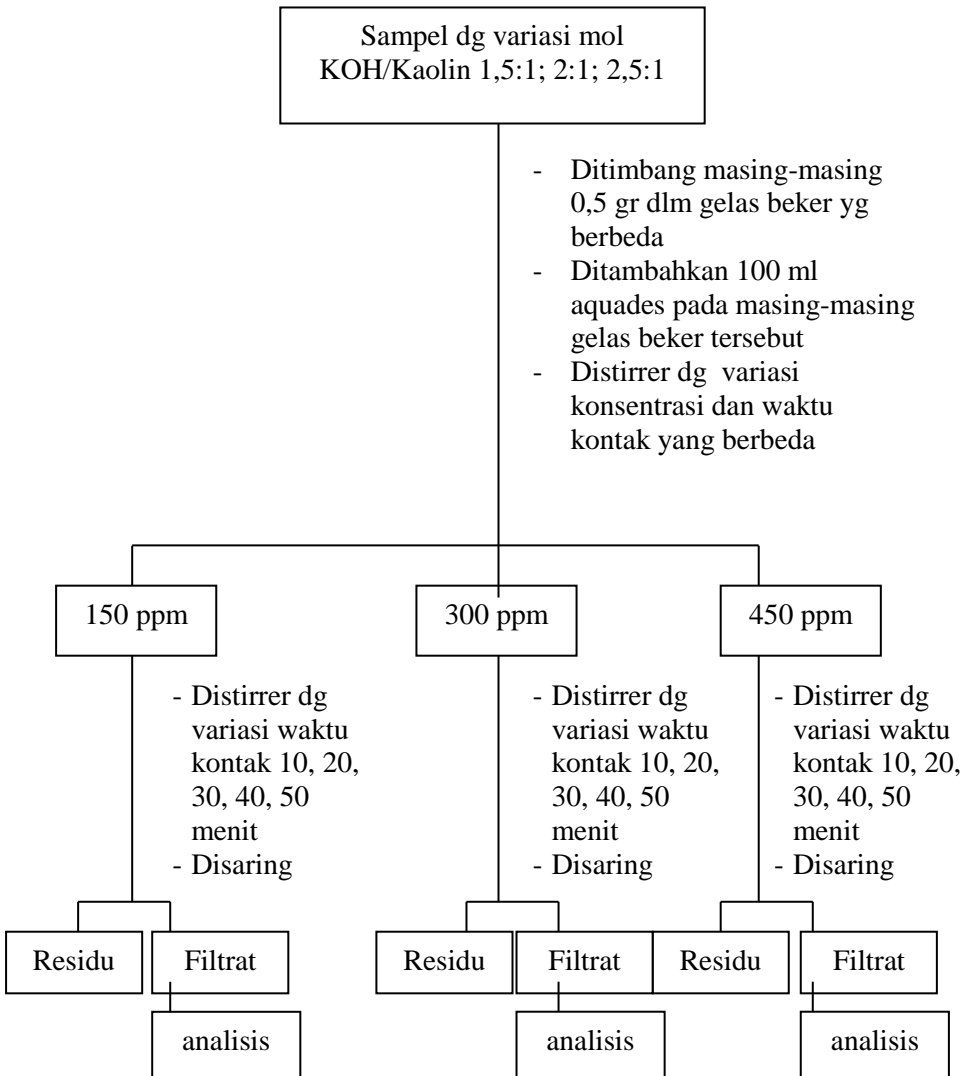
1. Sintesis Geopolimer



2. Karakterisasi



3. Adsorpsi Air Sadah



Lampiran 2

Perhitungan Analisis Data

1. Surface Area Analyzer

$$Y = 348,55x + 10,044$$

$$\text{Slope} = 348,55$$

$$\text{Intercept} = 10,044$$

$$R^2 = 0,9978$$

$$\begin{aligned} W_m &= \frac{1}{\text{slope} + \text{intercept}} \\ &= \frac{1}{348,55 + 10,044} \\ &= \frac{1}{358,594} \\ &= 0,0027 \text{ m}^2/\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan total (St)} &= \frac{W_m \times N \times Acs}{M} \\ &= \frac{0,0027 \times 6,02 \times 10^{23} \times 16,2 \times 10^{-20}}{28,013} \\ &= \frac{0,263 \times 10^3}{28,013} \\ &= 9,399 \text{ m}^2/\text{g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan spesifik (S)} &= S_t/B_c \\ &= 9,399/0,9132 \\ &= 10,294 \text{ m}^2/\text{g} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi (Q_e)

$$Q_e = (C_o - C_e) \times \frac{V}{m}$$

Keterangan:

Q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

C_o = Konsentrasi awal (mg/L)

C_e = Konsentrasi akhir (mg/L)

V = volume larutan (L)

m = Massa adsorben (gram)

a. Waktu Kontak pada ion Ca^{2+}

1) 10 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (150 - 10,67) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 6,891 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

2) 20 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (150 - 10,26) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 6,966 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

3) 30 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (150 - 12,18) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 6,967 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

4) 40 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (150 - 10,69) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 6,987 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

5) 50 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (150 - 9,941) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 7,073 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

b. Waktu Kontak pada ion Mg^{2+}

1) 10 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (150 - 28,16) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 6,154 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

2) 20 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (150 - 28,16) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 6,18 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

3) 30 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (150 - 26,93) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 6,215 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

4) 40 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (150 - 25,69) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 6,217 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

5) 50 menit

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (150 - 25,69) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 6,356 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

c. Konsentrasi pada ion Ca²⁺

1) Konsentrasi 150 mg/L

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (150 - 9,941) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 7,073 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

2) Konsentrasi 300 mg/L

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (300 - 31) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 13,79 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

3) Konsentrasi 450 mg/L

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (450 - 41,69) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 21,14 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

d. Konsentrasi pada ion Mg^{2+}

1) Konsentrasi 150 mg/L

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (150 - 25,69) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 6,356 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

2) Konsentrasi 300 mg/L

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (300 - 37,48) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 13,19 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

3) Konsentrasi 450 mg/L

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (450 - 59,84) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 19,51 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

e. Kapasitas Adsorpsi pada ion Ca^{2+}

1) Rasio mol 1,5:1

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (450 - 187,71) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 9,386 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

2) Rasio mol 2,0:1

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (450 - 150,25) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 7,513 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

3) Rasio mol 2,5:1

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (450 - 145,20) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 7,26 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

f. Kapasitas Adsorpsi pada ion Mg²⁺

1) Rasio mol 1,5:1

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (450 - 121,54) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 6,423 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

2) Rasio mol 2,0:1

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (450 - 110,45) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 5,523 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

3) Rasio mol 2,5:1

$$\begin{aligned} Q_e &= (C_o - C_e) \times \frac{V}{m} \\ &= (450 - 107,35) \text{ mg/L} \times \frac{0,025 \text{ L}}{0,5 \text{ gram}} \\ &= 5,368 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

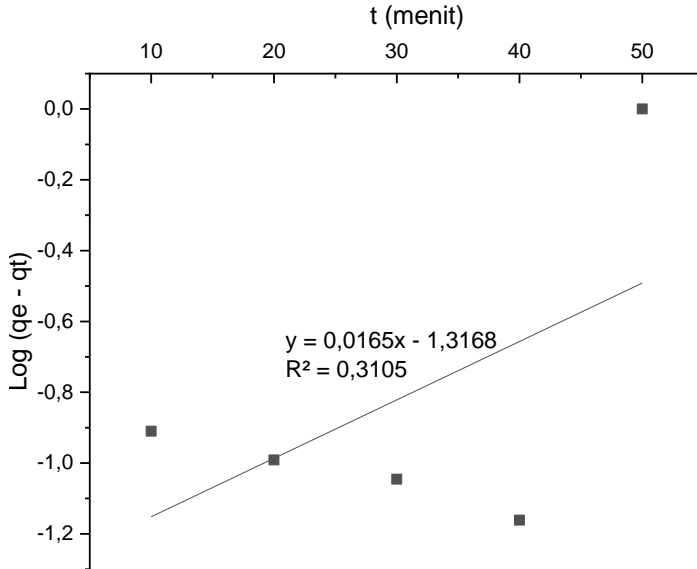
3. Perhitungan Kinetika Adsorpsi

a. *Pseudo First Order*

Tabel L2.1. Data untuk Penentuan *Pseudo First Order* pada Ion Ca^{2+}

t	q _t	q _e	q _e - q _t	Log (q _e - q _t)
10	6,891	7,073	0,182	-0,739928612
20	6,966	7,073	0,107	-0,970616222
30	6,967	7,073	0,106	-0,974694135
40	6,987	7,073	0,086	-1,065501549
50	7,073	7,073	0	

Berdasarkan data pada Tabel L2.1 maka dapat dibuat kurva t vs log (q_e-q_t) dengan slope adalah k₁ dan intersep adalah q_e. Kurva t vs log (q_e-q_t) dapat dilihat pada gambar L2.1



Gambar L2.1 Kurva t vs log (q_e-q_t)

Berdasarkan Gambar L2.1 diperoleh persamaan *pseudo first order* adalah $y=0,0165x - 1,3168$ dengan $R^2 = 0,1074$. Sedangkan untuk mencari nilai k_1 dan q_e , maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,0165x - 1,3168$$

$$R^2 = 0,3105$$

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

$$\frac{k_1}{2,303} = 0,0165$$

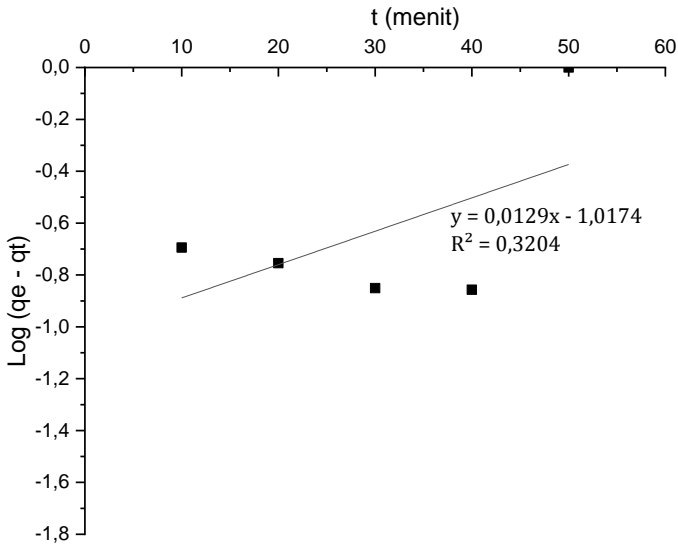
$$k_1 = 0,038$$

$$\begin{aligned} \text{Log } q_e &= b \\ \text{Log } q_e &= -1,3168 \\ q_e &= 10^{-1,3168} \\ &= 0,04827 \end{aligned}$$

Tabel L2.2. Data untuk Penentuan *Pseudo First Order* pada Ion Mg^{2+}

t	q_t	q_e	$q_e - q_t$	$\text{Log } (q_e - q_t)$
10	6,154	6,356	0,202	-0,694648631
20	6,18	6,356	0,176	-0,754487332
30	6,215	6,356	0,141	-0,850780887
40	6,217	6,356	0,139	-0,8569852
50	6,356	6,356	0	

Berdasarkan data pada Tabel L2.2 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 L2.2



Gambar L2.2 Kurva t vs log (q_e-q_t)

Berdasarkan Gambar L2.1 diperoleh persamaan *pseudo first order* adalah $y=0,0129x - 1,0174$ dengan $R^2 = 0,75$. Sedangkan untuk mencari nilai k_1 dan q_e , maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,0129x - 1,0174$$

$$R^2 = 0,3204$$

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

$$\frac{k_1}{2,303} = 0,0129$$

$$k_1 = 0,029709$$

$$\begin{aligned} \text{Log } q_e &= b \\ \text{Log } q_e &= 1,0174 \\ q_e &= 10^{-1,0174} \\ &= 0,096073 \end{aligned}$$

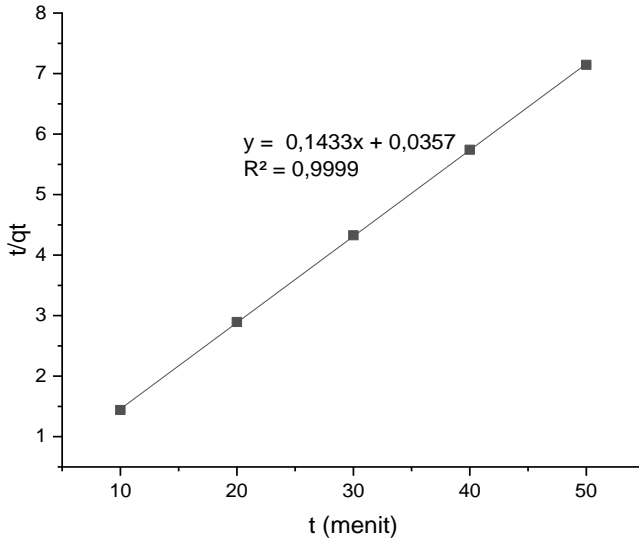
b. Pseudo Second Order

Tabel L2.3. Data untuk Penentuan *Pseudo Second Order*

Ca²⁺

t	q _t	q _e	t/q _t
10	6,967	7,073	1,435338022
20	6,987	7,073	2,862458852
30	6,891	7,073	4,353504571
40	6,966	7,073	5,742176285
50	7,073	7,073	7,13979723

Berdasarkan data pada tabel L2.3 maka dapat dibuat kurva t vs t/q_t dengan slope adalah 1/q_e dan intersep adalah 1/k₂q_e². Berikut disajikan kurva pada gambar L2.3



Gambar L2.3 Kurva t vs t/q_t

Berdasarkan Gambar L2.3 diperoleh persamaan *pseudo second order* adalah $y = 0,1433x + 0,0357$ dengan $R^2 = 0,9999$. Sedangkan untuk mencari k_2 dan q_e dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,1433x + 0,0357$$

$$R^2 = 0,9999$$

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

$$\frac{1}{q_e} = 0,1433$$

$$q_e = 6,9979$$

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

$$\frac{1}{k_2 \cdot 6,9979^2} = 0,0357$$

$$\frac{1}{0,0201 \cdot 6,9979^2} = k_2$$

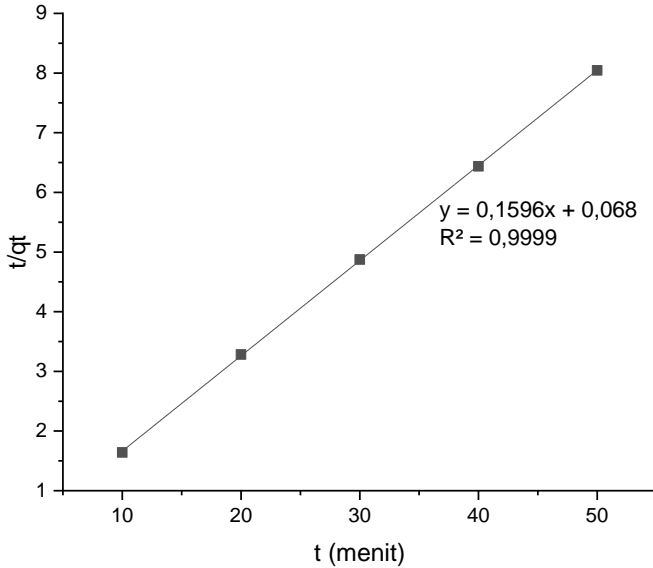
$$k_2 = \frac{1}{0,9843}$$

$$= 1,0159$$

Tabel L2.4. Data untuk Penentuan *Pseudo Second Order* Mg²⁺

t	q _t	q _e	t/q _t
10	6,154	6,356	1,641497045
20	6,18	6,356	3,282994091
30	6,215	6,356	4,874878128
40	6,217	6,356	6,436041834
50	6,356	6,356	8,045052293

Berdasarkan data pada tabel L2.4 maka dapat dibuat kurva t vs t/q_t dengan slope adalah 1/q_e dan intersep adalah 1/k₂q_e². Berikut disajikan kurva pada gambar L2.4



Gambar L2.4 Kurva t vs t/q_t

Berdasarkan Gambar L2.4 diperoleh persamaan *pseudo second order* adalah $y = 0,1596x + 0,068$ dengan $R^2 = 0,9999$. Sedangkan untuk mencari k_2 dan q_e dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,1596x + 0,068$$

$$R^2 = 0,9999$$

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

$$\frac{1}{q_e} = 0,1596$$

$$q_e = 6,2656$$

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

$$\frac{1}{k_2 \cdot 6,2656^2} = 0,068$$

$$\frac{1}{0,068 \cdot 6,2656^2} = k_2$$

$$k_2 = \frac{1}{2,6695} = 0,3746$$

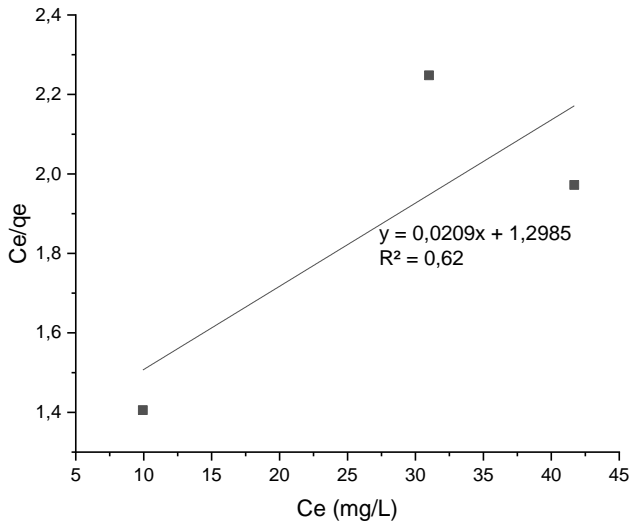
4. Perhitungan Isoterm Adsorpsi

a. Isoterm Langmuir

Tabel L2.5 Data untuk Perhitungan Isoterm Langmuir pada Ion Ca^{2+}

C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e/q_e
150	9,941	7,073	1,40548565
300	31	13,79	2,248005801
450	41,69	21,14	1,972090823

Berdasarkan data pada Tabel L2.5 maka dapat dibuat kurva C_e vs C_e/q_e dengan slope adalah $1/q_m$ dan intersep adalah $1/K_L q_m$. Berikut disajikan kurva pada gambar L2.5



Gambar L2.5 Kurva C_e vs C_e/q_e

Berdasarkan Gambar L2.5 diperoleh persamaan isoterm Langmuir adalah $y = 0,0209x + 1,2985$ dengan $R^2 = 0,62$. Sedangkan untuk mencari nilai q_m dan K_L maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,0209x + 1,2985$$

$$R^2 = 0,62$$

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

$$0,0209 = \frac{1}{q_m}$$

$$q_m = \frac{1}{0,0209}$$

$$= 47,8468$$

$$b = \frac{1}{K_L q_m}$$

$$1,2985 = \frac{1}{K_L \cdot 47,8468}$$

$$K_L \cdot 47,8468 = \frac{1}{1,2985}$$

$$K_L \cdot 47,8468 = 0,7701$$

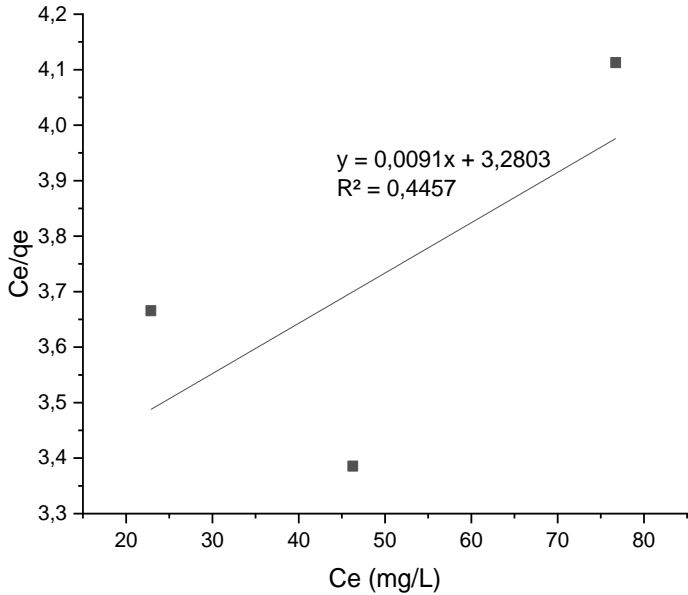
$$K_L = \frac{0,7701}{47,8468}$$

$$= 0,0161$$

Tabel L2.6 Data untuk Perhitungan Isoterm Langmuir pada Ion Mg^{2+}

C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	C_e/q_e
150	25,65	6,356	4,035556954
300	37,48	13,19	2,841546626
450	59,84	19,51	3,067145054

Berdasarkan data pada Tabel L2.6 maka dapat dibuat kurva C_e vs C_e/q_e dengan slope adalah $1/q_m$ dan intersep adalah $1/K_L q_m$. Berikut disajikan kurva pada gambar L2.6



Gambar L2.6 Kurva C_e vs C_e/q_e

Berdasarkan Gambar L2.6 diperoleh persamaan isoterm Langmuir adalah $y = 0,0091x + 3,2803$ dengan $R^2 = 0,4457$. Sedangkan untuk mencari nilai q_m dan K_L maka dapat dihitung sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,0091x + 3,2803$$

$$R^2 = 0,4457$$

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

$$0,0091 = \frac{1}{q_m}$$

$$q_m = \frac{1}{0,0091}$$

$$= 109,89$$

$$b = \frac{1}{K_L q_m}$$

$$3,2803 = \frac{1}{K_L \cdot 109,89}$$

$$K_L \cdot 109,89 = \frac{1}{3,2803}$$

$$K_L \cdot 109,89 = 0,3098$$

$$K_L = \frac{0,3098}{109,89}$$

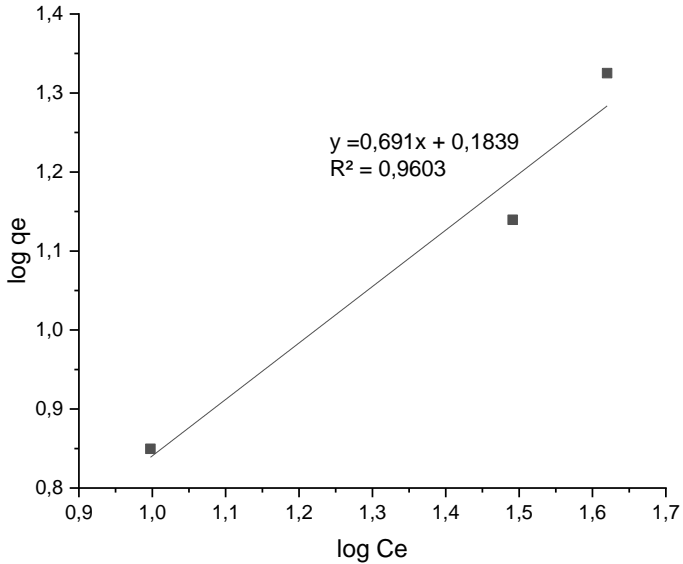
$$= 2,82 \times 10^{-3}$$

b. Isoterm Freundlich

Tabel L2.7 Data untuk Perhitungan Isoterm Freundlich pada Ion Ca^{2+}

C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\log C_e$	$\log q_e$
150	9,941	7,073	0,9974	0,8452
300	31	13,45	1,4913	1,1287
450	41,69	21,14	1,6200	1,3107

Berdasarkan data pada Tabel L2.7 maka dapat dibuat kurva $\log C_e$ vs $\log q_e$ dengan slope adalah $1/n$ dan intersep adalah $\log K_F$. Berikut disajikan kurva pada gambar L2.7



Gambar L2.7 Kurva log C_e vs log q_e

Berdasarkan Gambar L2.7 diperoleh persamaan isoterm Freundlich adalah $y = 0,691x + 0,1839$ dengan $R^2 = 0,9603$. Sedangkan untuk mencari n dan K_F maka dapat dihitung sebagai berikut

$$y = ax + b$$

$$y = 0,691x + 0,1839$$

$$R^2 = 0,9603$$

$$b = \log K_f$$

$$0,1839 = \log K_f$$

$$K_f = 10^{0,1839}$$

$$= 1,7963$$

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

$$0,691 = \frac{1}{n}$$

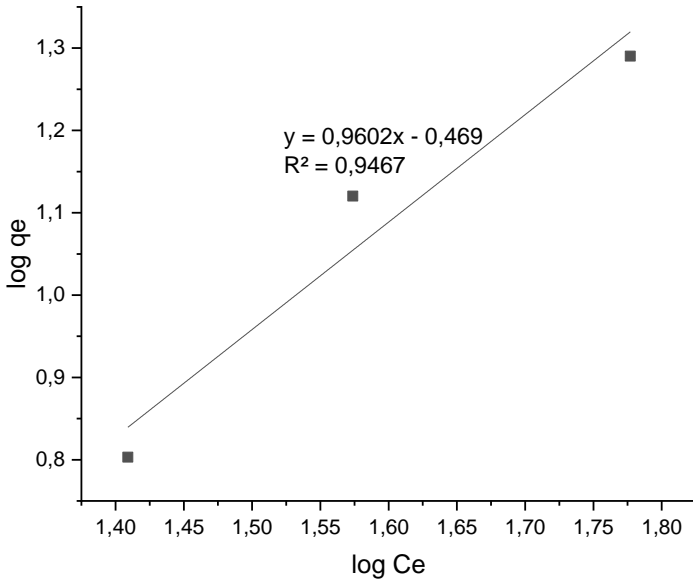
$$n = \frac{1}{0,691}$$

$$= 1,447$$

Tabel L2.8 Data untuk Perhitungan Isoterm Freundlich pada Ion Mg^{2+}

C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)	$\log C_e$	$\log q_e$
150	25,65	6,356	1,4091	0,8032
300	37,48	13,19	1,5738	1,1202
450	59,84	19,51	1,7761	1,2903

Berdasarkan data pada Tabel L2.8 maka dapat dibuat kurva $\log C_e$ vs $\log q_e$ dengan slope adalah $1/n$ dan intersep adalah $\log K_F$. Berikut disajikan kurva pada gambar L2.8



Gambar L2.8 Kurva log C_e vs log q_e

Berdasarkan Gambar L2.8 diperoleh persamaan isoterm Freundlich adalah $y = 0,9602x - 0,469$ dengan $R^2 = 0,9467$. Sedangkan untuk mencari n dan K_F maka dapat dihitung sebagai berikut

$$y = ax + b$$

$$y = 0,9602x - 0,469$$

$$R^2 = 0,9467$$

$$b = \log K_f$$

$$- 0,469 = \log K_f$$

$$K_f = 10^{-0,469}$$

$$= 0,367$$

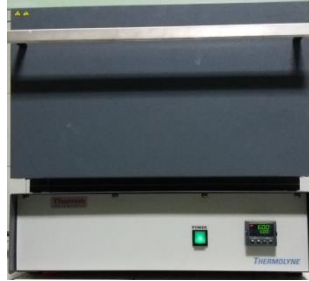
$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{n} \\ 0,9602 &= \frac{1}{n} \\ n &= \frac{1}{0,9602} \\ &= 1,089 \end{aligned}$$

Lampiran 3

Dokumentasi Penelitian



Pengayakan sampel



Peleburan kaolin+KOH dalam *furnace* 14 jam



Sampel geopolimer setelah di *furnace*



Pencucian sampel geopolimer



Pengeringan geopolimer dalam oven 100°C



Sampel geopolimer setelah di *furnace*



Pengadukan air sadah+geopolimer dg *magnetic stirrer*



Penyaringan air sadah setelah adsorpsi dengan geopolimer



Sampel air sadah sebelum titrasi dg Na_2EDTA (merah anggur)



Sampel air sadah setelah titrasi dg Na_2EDTA (biru)



Sampel Ca^{2+} sebelum titrasi dg Na_2EDTA (merah muda)



Sampel Ca^{2+} setelah titrasi dg Na_2EDTA (ungu)

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

Nama lengkap : Afiaturrochmaniah
Tempat & Tgl lahir : Kendal, 25 Agustus 1997
Alamat lengkap : Jl. KH Abu Bakar rt 02/rw 02
Ds. Kebonharjo, Kec. Patebon,
Kab. Kendal Jawa Tengah 51351
No. HP : 0895337693062
Email : afiaturrochmaniah16@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal
 - a. TK Muslimat Tarbiatul Athfal 2001-2003
 - b. SD Negeri 1 Kebonharjo Tahun 2003-2009
 - c. SMP Negeri 2 Patebon Tahun 2009-2012
 - d. MAN Kendal Tahun 2012-2015
 - e. UIN Walisongo Semarang
2. Pendidikan non-formal
 - a. TPQ NU 01 Al-itqon Kebonharjo 2001-2003
 - b. MDA NU 03 Al-itqon Kebonharjo Tahun 2003-2009
 - c. MDW NU 02 Al-itqon Kebonharjo Tahun 2009-2012