

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI *FLY ASH*
TERAKTIVASI KOH SEBAGAI MATERIAL
ADSORBEN LIMBAH ION KADMIUM
(Cd²⁺)**

SKRIPSI

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



Oleh

Novi Zulfa Ismah

1508036007

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG

2020

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Novi Zulfa Ismah**

NIM : 1508036007

Jurusan : Kimia

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

**Sintesis dan Karakterisasi *Fly Ash* Teraktivasi
KOH sebagai Material Adsorben Limbah Ion
Kadmium (Cd^{2+})**

Secara keseluruhan adalah hasil penelitian/karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 16 Maret 2020

Pembuat Pernyataan,



Novi Zulfa Ismah

NIM : 1508036007

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini:

Judul : **Sintesis dan Karakterisasi Fly Ash Teraktivasi KOH sebagai Material Adsorben Limbah Ion Kadmium (Cd^{2+})**

Penulis : Novi Zulfa Ismah

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, 16 Maret 2020

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang,

Sekretaris Sidang,

Mulyatun, S. Pd., M. Si.
NIP. 19830504 201101 2 008

Hj. Malikhatul Hidayah, S. T., M. Pd.
NIP. 19830415 200912 2 006

Penguji I,

Penguji II,

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

Ratih Rizqi Nirwana, S. Si., M. Pd.
NIP. 19810414 200501 2 003

Pembimbing I,



Pembimbing II,



Mulyatun, S. Pd., M. Si.
NIP. 19830504201101 2 008

Hj. Malikhatul Hidayah, S. T., M. Pd.
NIP. 19830415 200912 2 006

NOTA DINAS

Semarang, 16 Maret 2020

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo
di Semarang

Assalamu'alaikum. wr. wb.

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

Judul : Sintesis dan Karaterisasi *Fly Ash* Teraktivasi KOH sebagai Material Adsorben Limbah Ion Kadmium (Cd^{2+})

Nama : Novi Zulfa Ismah

NIM : 1508036007

Jurusan : Kimia

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

Wassalamu'alaikum. wr. wb.

Pembimbing I,



Mulyatun, M. Si.

NIP. 19830504 201101 2008

NOTA DINAS

Semarang, 16 Maret 2020

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo
di Semarang

Assalamu'alaikum. wr. wb.

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

Judul : Sintesis dan Karakterisasi *Fly Ash* Teraktivasi KOH sebagai Material Adsorben Limbah Ion Kadmium (Cd^{2+})

Nama : Novi Zulfa Ismah

NIM : 1508036007

Jurusan : Kimia

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

Wassalamu'alaikum. wr. wb.

Pembimbing II,



Hj. Malikhatul Hidayah, S. T., M. Pd.
NIP. 19830415 200912 2006

ABSTRAK

Pemanfaatan abu layang (*fly ash*) batubara sebagai material adsorben limbah logam ion Cd^{2+} telah dilakukan. Adsorben berbahan dasar abu layang teraktivasi divariasikan dari konsentrasi 1M hingga 5M. Proses adsorpsi dilakukan dalam berbagai variasi kondisi yaitu pH, konsentrasi larutan kadmium dan waktu kontak. Berdasarkan kemampuan adsorpsi menunjukkan adsorben teraktivasi KOH 1M lebih efektif dalam menyerap ion logam Cd^{2+} dibandingkan dengan adsorben teraktivasi KOH yang lain. Hal tersebut ditunjukkan berdasarkan nilai kapasitas adsorpsi yaitu sebesar 3,9966 mg/g. Hasil analisis SEM menunjukkan sebelum dan sesudah teraktivasi diperoleh bahwa struktur morfologi sebelum teraktivasi memiliki permukaan yang terlihat halus dan berbentuk bulatan sedangkan struktur morfologi abu layang setelah teraktivasi tampak lebih kasar dan pecah-pecah serta pori-pori yang terbentuk menjadi lebih lebar. Hasil spectra FTIR menunjukkan serapan pita -OH, Si-H, Al-O, Si-O, Si-O-Si. Variasi kondisi pH dilakukan pada pH 3 hingga 8 dengan keadaan optimum diperoleh pada pH 5 dan konsentrasi optimum pada konsentrasi 100 ppm serta waktu kontak 120 menit. Data kinetika adsorpsi menunjukkan model *pseudo second order* lebih sesuai untuk menjelaskan proses adsorpsi ion logam Cd^{2+} sedangkan untuk data isotherm adsorpsi menunjukkan bahwa model isotherm yang sesuai pada penelitian ini adalah isotherm Langmuir dengan nilai koefisien regresi linier (R^2) 0,986. Hal ini dapat disimpulkan bahwa abu layang teraktivasi KOH 1 M mampu meminimalisir ion logam Cd^{2+} .

Kata Kunci: Abu Layang (*Fly Ash*), Adsorpsi, Ion logam Cd^{2+}

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirabbil'alamin puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul: Sintesis dan Karakterisasi *Fly Ash* Teraktivasi KOH sebagai Material Adsorben Limbah Ion Kadmium (Cd^{2+}).

Sholawat serta salam semoga tetap terlimpahkan kepada baginda Rasulullah SAW yang senantiasa memupuk rasa semangat dan keyakinan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menghaturkan terimakasih sebanyak-banyaknya dengan segala kerendahan dan rasa hormat kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan skripsi ini hingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Prof. Dr. Imam Taufiq, M. Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang.
2. Dr. Ismail, M. Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi.
3. Hj. Malikhatul Hidayah, M. Pd selaku Ketua Jurusan Kimia sekaligus dosen pembimbing kedua yang telah

memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

4. Mulyatun, M. Si selaku Sekretaris Jurusan Kimia sekaligus dosen pembimbing utama yang telah memberikan kritik dan saran bimbingan maupun arahan yang sangat berguna dalam penyusunan skripsi.
5. Dosen dan staff dilingkungan UIN Walisongo Semarang khususnya Program Studi Kimia yang telah banyak membantu dan memberikan ilmunya kepada penulis selama kuliah.
6. Teristimewa kepada Orang Tua penulis, Bapak Arshah Sugito dan Ibu Maskunah yang selalu mendoakan, memberikan motivasi dan pengorbanan yang luar biasa baik dari segi moril maupun materil kepada penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
7. Laboran Laboratorium Kimia Ibu Anita Karunia Z, S. Si dan asisten Laboratorium Kimia yang telah banyak mendampingi selama penulis melakukan penelitian.
8. Teman-teman seperjuangan Kimia 2015 dan teman-teman KKN posko 11 sukodadi.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis

dalam menyelesaikan skripsi ini dan penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pembaca dan sekaligus dapat memberi masukan dalam penelitian.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Semarang, 16 Maret 2020

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Novi Zulfa Ismah', written over a light gray rectangular background.

Novi Zulfa Ismah

1508036007

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
PENGESAHAN.....	iii
NOTA PEMBIMBING.....	iv
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Perumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	7
D. Manfaat Penelitian	8
BAB II LANDASAN TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA ..	9
A. Abu Layang Batubara (<i>Fly Ash</i>)	9
B. Aktivasi Abu Layang Batubara.....	13
C. Logam Kadmium.....	14
D. Adsorpsi	16
1. Definisi Adsorpsi.....	16
2. Klasifikasi Adsorpsi	16
3. Faktor-Faktor yang mempengaruhi Adsorpsi	18
E. Kinetika Adsorpsi	20
F. Metode Karakterisasi.....	22
1. <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM).....	22
2. Spektrofotometri Inframerah.....	24
3. Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) .	27
G. Kajian Pustaka	28
BAB III METODE PENELITIAN	32
A. Alat dan Bahan.....	32
1. Alat-alat penelitian	32
2. Bahan-bahan penelitian.....	32

B. Prosedur Penelitian.....	32
1. Persiapan Adsorben Abu Layang Batubara.....	32
2. Aktivasi Abu Layang Batubara.....	33
3. Uji Kapasitas Adsorpsi.....	33
4. Optimasi Kondisi Reaksi pada Uji Kapasitas Adsorpsi	34
a. Penentuan pH Optimum	34
b. Penentuan Konsentrasi Larutan Ion Cd ²⁺ Optimum.....	34
c. Penentuan Waktu Kontak Optimum Larutan Ion Cd ²⁺	35
C. Analisis Data.....	35
1. SEM.....	35
2. FT-IR.....	36
3. AAS	37
4. Kapasitas Adsorpsi	37
BAB IV DESKRIPSI DAN ANALISIS DATA.....	39
A. Deskripsi Data.....	39
1. Sintesis Adsorben Berbahan Dasar <i>Fly Ash</i>	39
2. Karakterisasi <i>Fly Ash</i>	41
a. Hasil Analisa SEM dari <i>Fly Ash</i>	41
b. Hasil Analisa FT-IR dari <i>Fly Ash</i>	43
3. Kapasitas Adsorpsi	50
4. Optimasi Penyerapan Ion Logam Cd ²⁺ oleh Adsorben	53
a. Optimasi pH	53
b. Konsentrasi Optimum.....	56
c. Optimasi Waktu Kontak dan Kinetika Adsorpsi	57
d. Isotherm Adsorpsi.....	63
BAB V PENUTUP	66
A. Kesimpulan	66
B. Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	68

LAMPIRAN	76
RIWAYAT HIDUP	98

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Sifat Fisik Abu Layang Batubara	9
Tabel 3.1	Daftar Bilangan Gelombang dan Berbagai Jenis Ikatan	36
Tabel 4.1	Nilai Serapan FA-KOH 1M hingga 5M	45
Tabel 4.2	Perbandingan Nilai <i>Fly Ash</i> sebelum teraktivasi & <i>Fly Ash</i> setelah Teraktivasi	49
Tabel 4.3	Nilai Kapasitas Adsorpsi	51
Tabel 4.4	Parameter Kinetika	62
Tabel 4.5	Parameter dan Koefisien Regresi Linier Model Isotherm	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Abu Layang Batubara (<i>Fly Ash</i>)	10
Gambar 2.2	Struktur Silika Tetrahedral	11
Gambar 2.3	Struktur Kristal Mineral Korondum Alumina	11
Gambar 2.4	Skema Kerja <i>Scanning Electron Microscopy</i>	22
Gambar 2.5	Morfologi Abu Layang Batubara sebelum Aktivasi	23
Gambar 2.6	Morfologi Abu Layang Batubara sesudah Aktivasi	23
Gambar 2.7	Diagram Alat Spektrofotometer Inframerah	24
Gambar 2.8	Spektra Inframerah Abu Layang	25
Gambar 2.9	Spektra IR sampel dari: (a) Zeolit Hasil Sintesis (b) Zeolit A Standar	26
Gambar 2.10	Skema Umum Komponen pada Alat SSA	28
Gambar 4.1	Morfologi Abu Layang Batubara sebelum Aktivasi (perbesaran 10.000 kali)	42
Gambar 4.2	Morfologi Abu Layang Batubara sesudah Aktivasi (perbesaran 10.000 kali)	43
Gambar 4.3	Grafik hasil spectra FT-IR <i>fly ash</i> teraktivasi KOH 1M(a), <i>fly ash</i> teraktivasi KOH 2M(b), <i>fly ash</i> teraktivasi KOH 3M(c), <i>fly ash</i> teraktivasi KOH 4M(d) dan <i>fly ash</i> teraktivasi KOH 5M(e)	44

Gambar 4.4	Pengaruh pH terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Cd ²⁺	54
Gambar 4.5	Pengaruh Konsentrasi terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Cd ²⁺	56
Gambar 4.6	Pengaruh Waktu Kontak terhadap Penurunan Logam Cd ²⁺	58
Gambar 4.7	Grafik Kurva Kinetika <i>Pseudo Order</i> Satu pada Adsorpsi <i>Fly Ash</i> terhadap Ion Cd ²⁺	61
Gambar 4.8	Grafik Kurva Kinetika <i>Pseudo Order</i> Dua pada Adsorpsi <i>Fly Ash</i> terhadap Ion Cd ²⁺	62
Gambar 4.9	Kurva Isotherm Langmuir	64
Gambar 4.10	Kurva Isotherm Freundlich	65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Skema Kerja	76
Lampiran 2.	Spektra FTIR <i>fly ash</i> teraktivasi KOH 1M	80
Lampiran 3.	Spektra FTIR <i>fly ash</i> teraktivasi KOH 2M	81
Lampiran 4.	Spektra FTIR <i>fly ash</i> teraktivasi KOH 3M	82
Lampiran 5.	Spektra FTIR <i>fly ash</i> teraktivasi KOH 4M	83
Lampiran 6.	Spektra FTIR <i>fly ash</i> teraktivasi KOH 5M	84
Lampiran 7.	Data pengaruh pH adsorpsi ion logam Cd ²⁺ pada material <i>fly ash</i> teraktivasi KOH	85
Lampiran 8.	Data pengaruh konsentrasi adsorbat terhadap adsorpsi Ion Logam Cd ²⁺ pada material <i>fly ash</i> teraktivasi KOH	86
Lampiran 9.	Data pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi ion logam Cd ²⁺ pada material <i>fly ash</i> teraktivasi KOH	89
Lampiran 10.	Data perhitungan kinetika adsorpsi pada <i>Pseudo first order</i> dan <i>pseudo second order</i>	91
Lampiran 11.	Data perhitungan Isoterm Adsorpsi	94

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan industri tekstil di Indonesia cukup pesat berdasarkan teknologi yang digunakannya hingga jumlah produksinya. Seiring perkembangan industry tekstil tersebut, limbah cair yang dihasilkannya pun semakin bertambah. Pencapaian pertumbuhan ekonomi pada zona industri tekstil tahun 2008 rata-rata Jawa Tengah sebesar 24,66% dengan nilai PDRB (Produk domestik Regional Bruto) 40 triliun rupiah (Kota Semarang dalam Angka, 2009).

Jawa Tengah tercatat memiliki 645,120 industri dengan jumlah industri tekstil sebanyak 1.062. Industri tekstil hampir setiap prosesnya menggunakan air seperti pada proses *dsizing* (proses penghilangan kanji), *scouring* (pelepasan wax), *bleaching* (pemutihan bahan), *mercerizing* (proses menghasilkan warna yang berkilau), *dyeing* (proses pemberian warna pada kain dengan tinta pigmen), *printing* (proses pemberian warna pada kain), *finishing* (proses melembutkan kain menggunakan formaldehida). Seiring dengan perkembangan produksi dalam industri tekstil ini, limbah cair yang dihasilkannya pun semakin bertambah (Judy & Arry, 2015).

Menurut Purwanto (2009), total air limbah industri tekstil yang dibuang dalam kurun waktu satu tahun di Jawa Tengah sekitar 1,09 miliar meter kubik. Berdasarkan dampak negatif akibat pencemaran limbah industri tekstil, dapat dinyatakan ada dua kerugian yaitu pengaruh pada kesehatan dan pengaruh pada ekonomi. Estimasi nilai kerugian ekonomi penggantian air bersih yang terjadi di Samarinda rata-rata sebesar 78 juta per tahun. Dampak negatif lain dari era industrialisasi yaitu adanya logam berat didalam limbah industri yang dapat mengganggu kesehatan manusia seperti mewabahnya penyakit atau membunuh kehidupan yang ada di dalam air (ikan dan biota perairan lainnya). Logam berat tersebut dapat berupa logam timbal, merkuri, krom, nikel, arsen dan kadmium (Wardani, 2012).

Logam ion kadmium (Cd^{2+}) merupakan logam berat yang penyebarannya sangat luas di alam serta mudah terakumulasi dan bertransformasi didalam organisme hidup seperti manusia, hewan dan tumbuhan. Bahaya dari logam ion kadmium (Cd^{2+}) jika terakumulasi didalam tubuh manusia maka dapat menyebabkan kerusakan pada saraf, sistem reproduksi hingga tidak berfungsinya ginjal (Abdillah, Darjito, & Misbah, 2015).

Kadmium (Cd) merupakan logam kimia yang terbentuk secara alami di alam dan umumnya ditemukan di pabrik pembuatan baterai, plastik, tekstil dan pigmen. Pencemaran ion kadmium di lingkungan telah menjadi ancaman potensial bagi tanaman, hewan dan kehidupan manusia karena kecenderungan bioakumulasi dan toksisitas, oleh karena itu ion kadmium harus disingkirkan dari limbah kota dan industri sebelum dibuang ke sungai (S, H, & Inayati, 2018).

Menurut Rachmadi (2012), Hasil pengukuran logam berat ion kadmium menunjukkan bahwa kadar rata-rata kadmium di dalam perairan sebesar 0,156 mg/L. Berdasarkan peraturan Kementerian Lingkungan Hidup No. 51/Men/KLH/2004, menetapkan bahwa konsentrasi logam Cd pada perairan yang masih di tolerir yaitu sebesar 0,01 mg/L, di alam secara alamiahnya konsentrasi logam Cd berada pada kisaran 0,1 μ /gL (Danar, 2016).

Pengolahan dan pengendalian limbah logam berat semakin berkembang yang mengarah pada metode yang efektif, murah serta efisien. Metode yang telah dilakukan dalam mengatasi limbah logam berat, yaitu metode karbon aktif, presipitasi, ekstraksi dan sistem membran. Dari berbagai teknik mempunyai keterbatasan tersendiri seperti efisiensi kurang dan kondisi operasi yang sensitif.

Hal ini menyebabkan munculnya keinginan untuk menemukan material adsorpsi yang dikategorikan sebagai *low-cost* dengan kapasitas yang lebih baik menjadi adsorben dalam proses adsorpsi. Salah satu adsorben yang dikategorikan sebagai *low-cost* adsorben adalah *fly ash* (abu terbang) (Reri Afrianita, 2013).

Fly ash merupakan hasil sampingan dari sisa pembakaran batubara. Penyumbang produksi *fly ash* batubara terbesar adalah sektor pembangkit listrik. Keuntungan *fly ash* selain biayanya yang murah, *fly ash* juga dapat digunakan baik untuk pengolahan limbah zat warna berbahaya, limbah gas atau cair serta limbah logam berat (Faradilla, 2016).

Kemampuan adsorpsi *fly ash* batubara ini masih dapat ditingkatkan, yaitu dengan memberikan perlakuan aktivasi (Hery dan Mario, 2015). Aktivator yang dapat bertindak dalam penyisihan logam berat yaitu aktivator H_2SO_4 , $ZnCl_2$, H_3PO_4 serta logam alkali hidroksida. sedangkan beberapa jenis senyawa kimia yang sering digunakan adalah $ZnCl_2$, KOH dan H_2SO_4 (Eka, 2017).

Beberapa penelitian telah dilakukan, diantaranya penelitian Slamet dan Karina (2017) yaitu mencoba memanfaatkan limbah abu layang (*fly ash*) untuk penanganan limbah cair ammonia. Limbah *fly ash* di

modifikasi dengan penambahan TiO_2 . Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan modifikasi *fly ash* dengan penambahan TiO_2 dapat meminimalisir ammonia 79% selama 3 jam. *Fly ash* yang ditambahkan TiO_2 dapat dimanfaatkan untuk mengatasi pencemaran limbah cair ammonia pada lingkungan. Penelitian lain yang dilakukan oleh Letdi (2018) yaitu karakterisasi *fly ash* (abu layang) batubara sebagai material adsorben pada limbah cair yang mengandung logam, dalam penelitiannya dilakukan karakterisasi *fly ash* dengan menggunakan larutan NaOH dan uji adsorbtivitas untuk logam Fe dan Cu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *fly ash* dapat mengadsorpsi logam berat berupa Fe sebesar 86,91% dan Cu sebesar 0,55%.

Penelitian yang dilakukan oleh Ananda Fauzan dkk (2014) yaitu pemanfaatan *fly ash* sebagai adsorben logam berat Pb^{2+} dalam sungai pada kondisi variasi konsentrasi ion Pb^{2+} 93 mg/L, 7 mg/L dan 11 mg/L dengan kecepatan pengadukan 100 dan 130 rpm. Hasil penelitian menunjukkan kecepatan penyerapan ion Pb^{2+} oleh *fly ash* terjadi penyerapan terbesar pada waktu 60 menit (kecepatan pengadukan 100 rpm) yang dibuktikan dengan konsentrasi pb yang menurun. Penelitian lain yang dilakukan oleh Paryanto dan Wusana Agung Wibowo

(2017), dalam penelitiannya yaitu sintesis karbon aktif dari ampas mangrovesisa untuk penurunan kandungan COD limbah cair industri tahu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon teraktivasi KOH 1M dapat menurunkan kadar COD sebesar 44,95% sedangkan karbon aktif teraktivasi H₃PO₄ penurunan kadar COD nya sebesar 33,03%.

Penelitian ini akan dilakukan aktivasi dan karakterisasi adsorben berbahan dasar *fly ash* (abu layang) menggunakan aktivator kalium hidroksida (KOH). Aktivator basa dapat membersihkan pengotor dari permukaan adsorben dan mengubah gugus aktif pada adsorben sehingga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi dalam menyerap logam ion kadmium (Cd²⁺) (Metta, 2015).

Penambahan KOH ini bertujuan agar permukaan adsorben semakin luas dan terbentuknya pori-pori yang lebih banyak. Dari sekian banyak aktivasi kimia, KOH telah terbukti sangat baik dalam pengaktifan pori-pori (Shofa, 2012).

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka penulis melakukan penelitian mengenai sintesis dan karakterisasi *fly ash* teraktivasi KOH sebagai material adsorben limbah ion kadmium (Cd²⁺)

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, penelitian ini memiliki rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik adsorben dari *fly ash* teraktivasi KOH?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi aktivator KOH terhadap kapasitas adsorpsi logam Cd^{2+} ?
3. Bagaimana pengaruh variasi pH, konsentrasi larutan kadmium dan waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi logam Cd^{2+} oleh adsorben *fly ash* teraktivasi KOH?
4. Bagaimana model kinetika dan jenis isotherm adsorpsi logam ion kadmium (Cd^{2+}) pada adsorben *fly ash* teraktivasi KOH?

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Untuk mengetahui karakteristik adsorben dari *fly ash* teraktivasi KOH.
2. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi aktivator KOH terhadap kapasitas adsorpsi logam Cd^{2+} .
3. Untuk mengetahui pengaruh variasi pH, konsentrasi larutan kadmium dan waktu kontak terhadap kapasitas

adsorpsi logam Cd^{2+} oleh adsorben *fly ash* teraktivasi KOH.

4. Untuk mengetahui model kinetika dan jenis isotherm adsorpsi logam ion kadmium (Cd^{2+}) pada adsorben *fly ash* teraktivasi KOH.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain dapat memberikan informasi tentang pemanfaatan *fly ash* teraktivasi sebagai adsorben yang dapat digunakan untuk meminimalisasi konsentrasi logam Cd^{2+} melalui mekanisme adsorpsi, sehingga bisa mengurangi pencemaran logam berat dalam sistem perairan akibat dari limbah industri tekstil.

BAB II LANDASAN TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA

A. Abu Layang Batubara (*Fly Ash*)

Abu layang batubara adalah sisa dari hasil pembuangan limbah PLTU. Pada tahun 2000 produksi abu layang batubara berjumlah 1,66 milyar ton dan terus meningkat pada tahun 2006 dengan jumlah produksinya yaitu mencapai 349 milyar ton (Marinda Putri, 2012).

Fenomena yang terjadi, penanganan limbah ini tidak maksimal, terbukti abu layang batubara masih dibuang di jalan begitu saja (Herry, 2017).

Beberapa sifat fisik dan sifat kimia dari abu layang, antara lain:

a. Sifat fisik

Sifat fisik abu layang batubara (*fly ash*) berdasarkan bentuk, warna, ukuran, tampilan, kerapatan dan luas area spesifikasi dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Sifat Fisik Abu Layang Batubara

Bentuk	Berbentuk bola padat atau berongga
Warna	Berwarna keabu-abuan
Ukuran	1-100 μm
Tampilan	Sangat halus

b. Sifat kimia

Menurut Sukandarrumidi (2009), komposisi utama penyusun abu layang adalah Ca, Fe, K, Na, Si, Ti dan Al. Oleh karena itu, abu layang disebut sebagai bahan amorf ferroaluminio silikat. Selain komponen utama tersebut, abu layang juga mengandung unsur-unsur lain yaitu Sb, Be, Cu, U, Ge, dan sebagainya (Muchjidin, 2006).

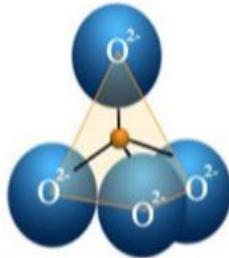


Gambar 2.1 Abu layang Batubara (*Fly Ash*) (Marwan, 2016)

Hasil analisa abu layang menunjukkan komponen utama yang terdiri dari besi (Fe_2O_3), silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) memungkinkan abu layang dapat dimanfaatkan sebagai material adsorben dikarenakan strukturnya yang berpori (Bachrun, 2010).

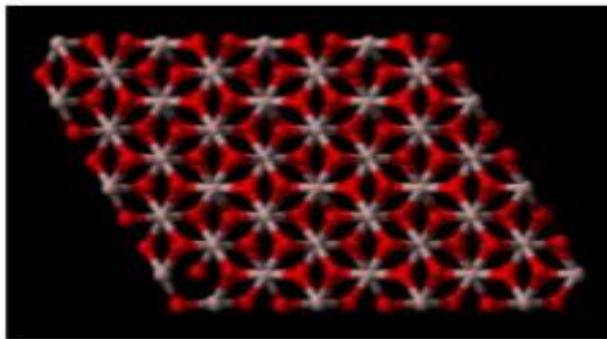
Silika mempunyai struktur dengan empat atom oksigen atom silikon dan terbentuk melalui ikatan kovalen

yang kuat. Gambar 2.2 memperlihatkan struktur silika tetrahedral.



Gambar 2.2 Struktur Silika Tetrahedral
(Anonim B, 2013)

Alumina memiliki rumus kimia Al_2O_3 dari aluminium dan oksigen yang memiliki bentuk kristal seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Struktur Kristal Mineral Korondum Alumina
(Hudson, *et al.*, 2002)

Senyawa alumina sangat mendukung pemanfaatannya dalam beragam peruntukan disebabkan karena strukturnya yang berpori (Ghababazade, *et al.*, 2007).

Pencemaran logam berat yang terjadi karena sifat rakus dan ketidaktahuan manusia dimana manusia hanya ingin memperoleh keuntungan tetapi tidak bertanggung jawab terhadap kerusakan yang ditimbulkan dapat ditangani dengan abu layang batubara. Segala kerusakan yang diakibatkan oleh manusia telah dijelaskan dalam Q.S Ar-Rum/(30:41).

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا
لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Terjemahnya:

"Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar) (Kementrian Agama RI, Al-Qur'an & Terjemahnya)".

Inti dari ayat tersebut yaitu sikap kaum musyrikin yang mempersekutukan Allah serta mengabaikan tuntunan agamanya. Sebagai contoh akibat perbuatan manusia yang merusak lingkungan baik daratan maupun lautan , misalnya terjadinya kemarau panjang akibat iklim didaratan semakin panas dan berkurangnya hasil laut serta ikan yang disebabkan karena laut yang tercemar. Sebagaimana telah dijelaskan didalam kitab Al-Misbah (Quraish Shihab, 2009).

Penelitian pemanfaatan *fly ash* untuk mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan serta meningkatkan nilai ekonomisnya telah dilakukan. Berbagai kegunaan *fly ash* diantaranya sebagai bahan baku keramik, aspal, pengolahan limbah baik limbah zat warna berbahaya, penyisihan logam berat, pengolahan limbah organik (Farradilla A. R, 2016).

Chemical Engineering Alliance And Innovation (ChAIN) Center (2006), memaparkan abu layang dapat digunakan sebagai adsorben karena karakteristik pori-pori dan luas permukaan yang potensial. Dengan meningkatkan perlakuan aktivasi dan karbonisasinya. Aktivasi dilakukan pada aktivasi kimia dengan cara mencampurkan zat kimia sedangkan karbonisasi dilakukan dengan perlakuan termal pada temperature $<700^{\circ}\text{C}$.

B. Aktivasi Abu Layang (*Fly ash*)

Aktivasi fisika dilakukan dengan mengalirkan gas CO_2 , N_2 , uap air atau Argon kedalam tungku pada temperatur $800\text{-}1000^{\circ}\text{C}$. Aktivasi kimia dilakukan dengan merendam abu layang batubara berbentuk granul kedalam larutan aktivator. Penggunaan jenis larutan aktivator kimia mempengaruhi volume pori-pori dan luas permukaan pada adsorben (Erlina, 2015).

Pemanfaatan abu layang batubara dapat dilakukan dengan menambahkan senyawa-senyawa yang mampu menghasilkan suatu ikatan polimer yang kuat. Dalam aktivasi kimia dapat digunakan aktivator adalah aktivator basa dan asam. Aktivator asam yang biasa digunakan adalah H_3PO_4 , H_2SO_4 dan HCl . Aktivator asam mempunyai sifat higroskopis yang dapat menyerap kandungan air yang terdapat dalam material sehingga kualitas material semakin baik untuk digunakan sebagai adsorben (Metta, 2015). Aktivator basa terdiri dari alkali hidroksida (KOH , $NaOH$). Alkali hidroksida dapat merekasikan silika, mengubah gugus aktif maupun membersihkan pengotor guna meningkatkan kemampuan penyerapan pada adsorben, dari sekian banyak aktivasi kimia, baik KOH dan $NaOH$ telah terbukti sangat baik dalam pengaktifan pori-pori (Moreno Castilla, 2001).

C. Logam Kadmium

Logam ion kadmium bersifat lentur, tahan terhadap tekanan, tidak larut dalam basa dan dapat di tempa. Logam kadmium menyerupai logam aluminium karena warnanya yang putih keperakan (Zuhriyah, 2005).



Logam kadmium umumnya digunakan di bidang industri cat, tekstil dan karet. Banyaknya hasil samping yang

ditimbulkan menyebabkan buangan limbah kadmium mudah dijumpai didalam air (Zuhriyah, 2005).

Logam ion kadmium (Cd^{2+}) bersifat toksik yang dapat teradsorpsi oleh tubuh manusia. Dampak bagi kesehatan akibat logam kadmium yaitu terjangkitnya penyakit lumbago yang berlanjut kearah keretakan tulang (Sudarwin, 2008).

Akibat kegiatan industri yang sepenuhnya disebabkan oleh manusia menjadi factor utama dalam sumbangsi pencemaran logam berat pada lingkungan. Adapun perintah untuk tidak membuat kerusakan di bumi Allah swt berfirman dalam QS: Al-A'raf (7: 56) yang berbunyi:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَأَدْعُوهُ حَوْفًا وَطَمَعًا ۚ إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ

الْمُحْسِنِينَ

Terjemahnya:

“Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, setelah diciptakan dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik”

Ayat tersebut menjelaskan tentang larangan kepada manusia agar tidak merusak lingkungan. Manusia sebagai makhluk rasional tentunya mampu bertanggung jawab terhadap pelestarian lingkungan. Manusia membutuhkan lingkungan sebagai ruang kehidupan maka dengan kata lain, manusia sebagai subyek mampu mengawasi dan melakukan

tindakan yang dilakukannya sendiri terhadap pelestarian lingkungan (Tafsir Al-Misbah, 2009).

D. Adsorpsi

1. Definisi Adsorpsi

Adsorpsi adalah interaksi antara molekul-molekul gas atau cairan dengan permukaan molekul padatan. Adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya tarik dalam keadaan tidak seimbang. Ketidaksetimbangan gaya tarik tersebut mengakibatkan adsorben cenderung menarik zat-zat lain yang bersentuhan dengan permukaannya (Wahyuni, 2010).

Adsorben mempengaruhi jumlah atau banyaknya zat yang teradsorpsi. Banyaknya molekul yang teradsorpsi merupakan fungsi tekanan jika adsorbatnya berupa gas yang merupakan fungsi konsentrasi dan temperatur (Alberty, 1990). Adsorpsi dibedakan menjadi dua yaitu adsorpsi secara kimia (adsorpsi aktivasi) dan adsorpsi secara fisika (adsorpsi Van der Waals) (Wardhani, 2003).

2. Klasifikasi Adsorpsi

Secara umum tipe adsorpsi berdasarkan jenis ikatan yang terlibat antara permukaan adsorben dengan adsorbat, diklasifikasikan sebagai berikut:

a. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika terjadi bila gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben, gaya ini disebut gaya Van der Waals akibatnya adsorbat dapat bergerak dari satu bagian permukaan ke bagian permukaan lain pada adsorben (Wahyuni, 2010).

Menurut Eckenfelder (1981) interaksi fisik yang terjadi antara molekul-molekul adsorbat dengan permukaan adsorben antara lain:

1. Gaya (gaya Van der Waals), yaitu interaksi dipol-dipol pada jarak pendek.
2. Gaya elektrostatis, yaitu adanya tarik-menarik elektrostatis antara ion-ion yang disebabkan oleh muatan elektrik permukaan.
3. Reaksi koordinasi, yaitu bila suatu ligan menyumbangkan pasangan elektron pada logam lain sehingga terbentuk senyawa kompleks melalui ikatan koordinasi.
4. Ikatan hidrogen, yaitu interaksi dipol-dipol antar atom hidrogen dengan atom yang bersifat elektronegatifan kuat seperti N, O dan F.

b. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia terjadi akibat adanya reaksi antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben dan terbentuk ikatan kimia. Ikatan kimia tersebut diantaranya adalah ikatan hidrogen, kovalen, dan ionik. Akibat adanya ikatan kimia tersebut maka permukaan adsorben yang tertutupi oleh molekul-molekul adsorbat hanya selapis (*monolayer*), sehingga molekul lainnya tidak dapat teradsorpsi lagi walaupun tekanan atau konsentrasi larutan ditingkatkan (Alberty, 1990).

3. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi diantaranya adalah konsentrasi, pH, temperatur, waktu kontak (Wahyuni, 2010).

a. Konsentrasi

Semakin tinggi konsentrasi, maka semakin cepat laju adsorpsinya. Namun, pada kondisi tertentu akan menjadi stabil karena sudah mencapai titik jenuh sehingga terjadi proses kesetimbangan.

b. pH

pH basa akan semakin banyak logam hidroksida yang mengendap dan mengurangi ion logam dari larutan adsorbat. Selain itu, kondisi pH basa juga menyebabkan kompetisi ion H^+ sebagai kompetitor ion logam akan

menurun karena larutan bersifat basa. Sebaliknya, pH asam konsentrasi ion H^+ akan meningkat, maka akan terjadi kompetisi antara ion H^+ dan ion logam untuk bertukar tempat dengan kation lain pada adsorben. Kompetisi tersebut dapat menurunkan kapasitas adsorpsi terhadap ion logam.

Pada adsorpsi fisika yang substansial, adsorpsi biasa terjadi pada temperatur dibawah titik didih adsorbat, terutama di bawah $50^{\circ}C$. Sehingga kecepatan adsorpsi akan meningkat dengan meningkatnya temperatur dan berkurang dengan menurunnya temperatur. Sebaliknya pada adsorpsi kimia, jumlah adsorbat yang diadsorpsi berkurang dengan naiknya temperatur adsorbat.

c. Temperatur

Semakin tinggi temperatur adsorpsinya semakin cepat pada adsorpsi fisika sedangkan pada adsorpsi kimia semakin tinggi temperatur adsorpsinya semakin menurun.

d. Waktu kontak

Semakin lama waktu kontak yang terjadi pada suatu proses adsorpsi maka semakin besar adsorbat yang dapat teradsorpsi. Kemampuan daya serap meningkat dengan lamanya waktu kontak antara

adsorben dengan adsorbat hingga mencapai kesetimbangan.

E. Kinetika Adsorpsi

Kinetika Adsorpsi digunakan untuk memahami dinamika adsorpsi terkait seberapa besar laju adsorpsi suatu adsorbat oleh suatu adsorben. Rumusan kinetika adsorpsi diadsorpsi dari rumusan kinetika reaksi secara umum.

Kinetika Orde Satu Semu (*Pseudo First Order*)

Adsorpsi yang hanya ditentukan oleh proporsi adsorben dengan orde satu secara umum disebut memiliki orde satu semu (*pseudo first-order*). Persamaan kinetika adsorpsi orde satu semu (persamaan 2.1) yang populer dinyatakan oleh Lagergren (1982) dalam persamaan sebagai berikut :

$$dq_t/dt = k_1(q_e - q_t) \quad (2.1)$$

Penurunan integral dari persamaan tersebut pada batas kondisi $t=0$ dan t akan memberikan persamaan berikut (2.2).

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

dan dapat disusun ulang menjadi (2.3):

$$\text{Log } (q_e - q_t) = \log (q_e - k_1) / 2,303t \quad (2.3)$$

Kinetika Orde Dua Semu (*Pseudo Second Orde*)

Kinetika adsorpsi orde dua semu adalah model kinetika adsorpsi yang banyak dilaporkan kesesuaiannya dengan material adsorben berbasis *clay* yang terkait dengan kemampuan material lempung mengadakan interkasi dengan adsorbat tidak hanya secara fisik namun juga secara kimiawi. Persamaan kinetika adsorpsi orde dua semu dinyatakan dalam persamaan berikut (persamaan 2.4):

$$dq_t/dt = k_1(q_e - q_t)^2 \quad (2.4)$$

Dengan q_e dan q_t berturut-turut adalah jumlah adsorbat yang teradsorpsi (mg.g^{-1}) pada keadaan kesetimbangan dan pada saat t (menit/detik/jam) dan k adalah konstanta laju adsorpsi ($\text{g mg}^{-1} \text{ men}^{-1}$). Penurunan persamaan tersebut dengan mengambil keadaan pembatas $t=0$ dan sembarang waktu t menjadi (persamaan 2.5):

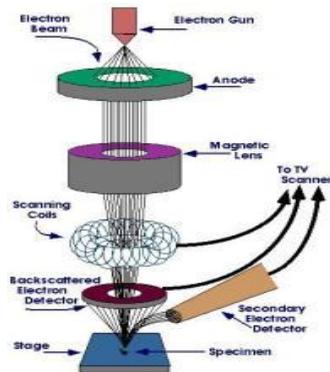
$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} kt \quad (2.5)$$

F. Metode Karakterisasi

1. SEM (*Scanning Electron Microscopy*)

Scanning Electron Microscopy (SEM) bertujuan untuk mengetahui perubahan struktur morfologi abu layang batubara setelah teraktivasi (Mulder, 1996).

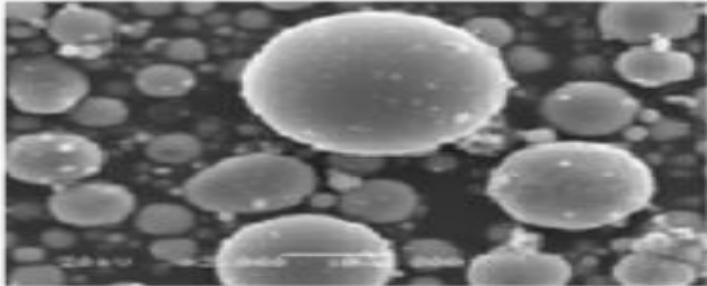
Prinsip kerja SEM yaitu berkas elektron primer yang mengenai sampel abu layang batubara. Setelah mengenai abu layang batubara, elektron tersebut direfleksikan. Skema kerja alat SEM ditunjukkan pada Gambar 2.4 (Mulder, 1996).



Gambar 2.4 Skema Kerja *Scanning Electron Microscopy*

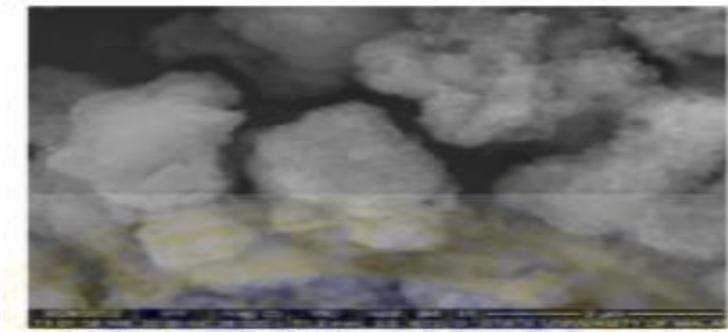
Bentuk *Image Scanning Electron Microscopis* (SEM) dari sampel abu layang batubara dapat dilihat dari salah satu penelitian wardani (2012). Image yang dihasilkan berupa morfologi sebelum dan sesudah teraktivasi NaOH

3M. Morfologi abu layang batubara sebelum diaktivasi bisa dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Morfologi Abu Layang Batubara sebelum Aktivasi

Dari hasil pengukuran menggunakan SEM, tampak bahwa abu layang batubara terlihat sejumlah partikel bulat (*spherical*) dan halus. Partikel-partikel bola halus dengan diameter kurang dari 20 μm menunjukkan fase *glassy* dan aluminium silika amorf. Sedangkan morfologi abu layang sesudah aktivasi dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Morfologi Abu Layang Batubara sesudah Aktivasi

Pada Gambar 2.6 terlihat perbedaan pada Gambar 2.5, abu layang setelah aktivasi bentuk permukaan kasar dan berkerak. Rusaknya permukaan abu layang tersebut disebabkan larutan basa kuat dalam hal ini yaitu NaOH.

2. Spektrofotometri Inframerah

Metode spektrofotometri inframerah digunakan untuk menentukan gugus fungsional suatu senyawa melalui prinsip absorpsi cahaya inframerah oleh molekul dalam senyawa yang dianalisis. (Hendayana, 1994).

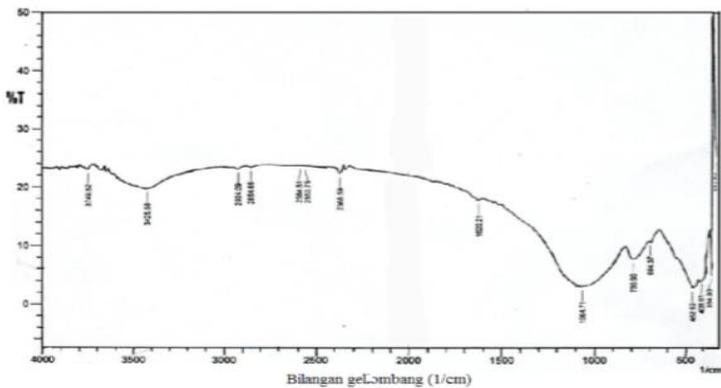
Cara kerja alat spektrofotometri inframerah yaitu sinar inframerah dilewatkan melalui sampel dan larutan pembanding, kemudian dilewatkan pada monokromator untuk menghilangkan sinar yang tidak diinginkan (*stray radiation*). Berkas ini kemudian didispersikan melalui prisma atau *grating*. Dengan melewatkannya melalui *slit*, sinar tersebut dapat difokuskan pada detektor yang akan mengubah berkas sinar menjadi sinyal listrik yang selanjutnya direkam oleh detektor (Khopkar, 1984).

Alat spektrofotometer inframerah dapat dilihat pada gambar 2.7 dibawah ini:



Gambar 2.7 Alat Spektrofotometer Inframerah (Fessenden and Fessenden, 1996)

Bentuk spektrum inframerah dapat dilihat dari salah satu penelitian Pratiwi Dwi (2013). FTIR dalam penelitian ini digunakan untuk identifikasi senyawa sampel zeolit dari abu layang melalui modifikasi proses hidrotermal. Spektra inframerah dari abu layang tercantum pada Gambar 2.8. Spektra inframerah menghasilkan informasi struktur yang sedang dipelajari.

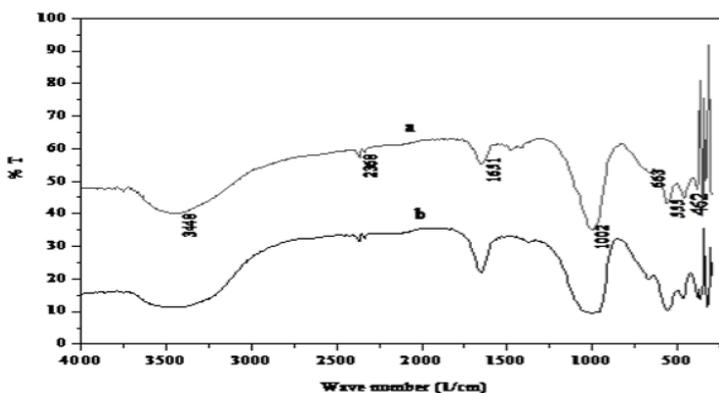


Gambar 2.8 Spektra Inframerah Abu Layang

Berdasarkan Gambar 2.8 tersebut, tampak adanya pita serapan abu layang pada bilangan gelombang $3425,58 \text{ cm}^{-1}$, yang menunjukkan adanya vibrasi ikatan O-H. adanya gugus yang mengandung unsur S ditunjukkan oleh pita serapan pada bilangan gelombang $2368-1620,21 \text{ cm}^{-1}$. Gugus Si-O dalam abu layang diperlihatkan oleh kenampakan spektra pada bilangan gelombang $1064,71, 786,96 \text{ cm}^{-1}$, berupa vibrasi

rentangan Si-O-Si dan 462,92 vibrasi tekuk Si-O. pembukaan pori pada serapan 354,76-324,04 cm^{-1} .

Pada Gambar 2.9 (a) menunjukkan adanya pembentukan puncak serapan baru dari zeolit hasil sintesis, yaitu pada bilangan gelombang 3448,72; 1651,07; 1002,96; 555,50 dan 462,92 cm^{-1} . Adapun spektra IR dari zeolit A standar merk Wako Gambar 2.9 (b), puncak serapan ada pada bilangan gelombang 3448,72; 1651,07; 1002,98; 663,51; 555,50; 462,92 dan 324,04 cm^{-1} . Dari kedua hasil spektra tersebut (a dan b) tampak bahwa zeolit A hasil sintesis mempunyai puncak-puncak serapan yang praktis sama dengan zeolit A standar (Wako). Hasil ini serupa dengan spektra zeolit A Degusa, yaitu puncak karakteristik pada bilangan gelombang 3402, 1651, 1004, 559 dan 464 cm^{-1} (Bansiwal, 2007).

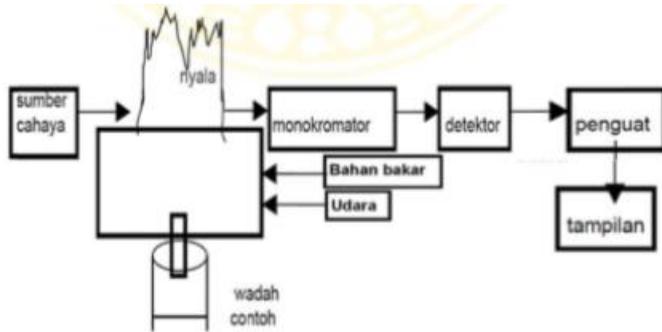


Gambar 2.9 Spektra IR Sampel dari: (a) Zeolit Hasil Sintesis
(b) Zeolit A Standar

Munculnya spektra pada sekitar 3448 cm^{-1} , yang menunjukkan vibrasi rentang dan vibrasi tekuk molekul air terbentuknya zeolit melalui proses alkali hidrotermal. Pita serapan karakteristik yang menunjukkan adanya zeolit teramati pada daerah $400\text{-}1200 \text{ cm}^{-1}$ (Mimura, 2001).

3. SSA (Spektrofotometri Serapan Atom)

Spektrofotometri serapan atom merupakan metode analisa unsur secara kuantitatif dimana pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas. Cahaya dengan panjang gelombang tertentu dilewatkan pada suatu sel yang mengandung atom-atom bebas yang bersangkutan sehingga bagian cahaya tersebut akan diserap dan intensitas penyerapan berbanding lurus dengan banyaknya atom bebas logam yang berada dalam sel. Spektrofotometer serapan atom berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya pada panjang gelombang yang sesuai, elektron terluar dari atom tersebut akan mengalami eksitasi dari keadaan dasar (*ground state*) ke keadaan tereksitasi (*excited state*) (Day & Underwood, 1998). Skema umum dari alat SSA adalah sebagai berikut.



Gambar 2.10 Skema Umum Komponen pada Alat SSA (Anshori, 2005)

G. Kajian Pustaka

Kerangka teoritik ini digunakan sebagai perbandingan terhadap penelitian yang sudah ada. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan beberapa karya yang berkaitan dengan penelitian ini sebagai acuan dan rumusan berpikir. Adapun kajian pustaka tersebut di antaranya:

- a. Penelitian yang dilakukan oleh Araga *et al.* Mahasiswa Teknik Kimia *Indian Institute of Technology* pada tahun 2017 yang berjudul: *Fluoride Adsorption from Aqueous Solution using Activated Carbon Obtained from KOH-treated Jamun (Syzygium Cumini) Seed*. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalisir ion F^- pada air dengan membuat adsorben dari biji jamun yang teraktivasi dengan larutan KOH.

Beberapa parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah waktu kontak (0-3 jam), dosis adsorben (20-500 mg), konsentrasi ion F^- (2-20 mg/L), suhu (298K-308K-318K), dan pH (2,5-10). Hasil penelitian menunjukkan bahwa karbon aktif yang terbuat dari biji jamur teraktivasi KOH mampu menyerap ion F^- secara maksimal pada kapasitas adsorpsi maksimum 3,654 mg/g dengan konsentrasi ion F^- 10 mg/L; pH 2,5; dosis adsorben 2 gram/L dengan waktu kontak 2 jam dan suhu 25°C.

- b. Penelitian yang dilakukan oleh Hui Huang. Mahasiswa Teknik Kimia *China Zhejiang University of Technology* pada tahun 2019 yang berjudul: *Coal fly ash derived zeolite for highly efficient removal of Ni^{2+} in waste water.*

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan *fly ash* sebagai zeolit dalam penyisihan Ni^{2+} pada air limbah. Berdasarkan hasil penelitian, zeolit berbahan dasar *fly ash* dapat menurunkan kadar Ni^{2+} dalam perairan sebesar 94% dengan kapasitas adsorpsi 47 mg/g⁻¹.

- c. Penelitian yang dilakukan oleh Marouane El Alouani. Mahasiswa teknik kimia *university of morocco* pada tahun 2019 yang berjudul: *Comparative study of the adsorption of micropollutant contained in aqueous phase using coal fly ash and activated coal fly ash: kinetic and isotherm studies.*

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan *fly ash* tanpa aktivasi dan *fly ash* teraktivasi untuk mengadsorpsi *metilen blue* dalam perairan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *fly ash* teraktivasi lebih mampu mengadsorpsi *metilen blue* dalam perairan dibandingkan *fly ash* tanpa aktivasi. Hal ini dibuktikan dengan nilai kapasitas adsorpsi pada *fly ash* teraktivasi didapatkan sebesar 37,08 mg/g-1 sedangkan pada *fly ash* tanpa aktivasi yaitu 2,88 mg/g⁻¹.

- d. Penelitian yang dilakukan oleh Chlebda. Mahasiswa kimia *AGH university of sciences and technology* pada tahun 2018 yang berjudul: *influence of alkali metal cations/type of activator on the structure of alkali-activated fly ash-ATR-FTIR studies*.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan aktivator LiOH, KOH dan NaOH pada *fly ash*. Hasil menunjukkan bahwa aktivator terbaik dalam pengaktifan pori-pori pada *fly ash* yaitu aktivator KOH dengan nilai spektrum ATR-FTIR dalam kisaran 1200-950 cm⁻¹.

- e. Penelitian yang dilakukan oleh Jasminder Singh. Mahasiswa teknik kimia *Indian Thopar Institute of Engineering & technology* pada tahun 2019 yang berjudul: *adsorption of CO₂ on KOH activated carbon adsorbents: Effect of different mass ratios*.

Penelitian ini bertujuan untuk sintesis karbon aktif teraktivasi KOH sebagai adsorben dalam mengadsorpsi CO₂ dengan pengaruh rasio massa KOH: karbon aktif 1:1 dan 1:3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio 1:1 ke 1:3 dapat meningkatkan luas permukaan karbon aktif dari 1115,2 menjadi 1884,2 m²g⁻¹ serta dapat mengadsorpsi CO₂ dengan nilai kapasitas adsorpsi dari 2,1 menjadi 2,5 mg/g⁻¹.

BAB III METODE PENELITIAN

A. Alat dan Bahan Penelitian

1. Alat-alat penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas beker, erlenmeyer, labu ukur, gelas ukur, pipet tetes, pengaduk, cawan porselen, ayakan ukuran 60 mesh, kertas saring, pengaduk magnetic, neraca analitik, *hotplate*, oven, furnace, termometer.

Instrument yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), *Scanning Electron Microscopy* (SEM) merk *Phenom Pro X* dan Spektrofotometer Inframerah (IR) merk *Thermo Nicolet Avatar 360*.

2. Bahan-bahan penelitian

Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah aquades, KOH 1M hingga 5M, HNO₃ 1%, Cd(CH₃COO)₂, HCl 1M dan abu layang batubara (*fly ash*) yang di ambil dari PLTU Tanjung Jati B, Tubanan, Jepara.

B. Prosedur Penelitian

1. Persiapan Adsorben Abu Layang Batubara

Abu layang (*fly ash*) yang diambil dari PLTU Tanjung Jati B, Tubnan, Jepara dibilas dengan aquades,

kemudian abu layang dikeringkan di dalam furnace pada suhu 600°C selama 2 jam kemudian diayak dan di analisa dengan SEM (Tualeka, 2016).

2. Aktivasi Abu Layang Batubara

Sebanyak 25 gram abu layang dicampur dengan 100 mL larutan KOH 1M, 2M, 3M, 4M dan 5M. Campuran tersebut kemudian dipanaskan dan diaduk pada suhu 85-90°C selama 5 jam. Hasil perlakuan tersebut disaring dan residu yang dihasilkan dikeringkan dalam oven pada temperatur 105°C selama 8 jam (Irani, 2009). Selanjutnya, abu layang batubara yang telah diaktivasi dihaluskan dan diayak untuk menghomogenkan ukuran partikel. Abu layang yang telah teraktivasi dengan KOH dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer Inframerah (FTIR) untuk menentukan gugus fungsional abu layang batubara dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengetahui struktur morfologi abu layang batubara (Wardani, 2012).

3. Uji Kapasitas Adsorpsi

Sebanyak 0,5 gram masing-masing adsorben abu layang teraktivasi KOH 1M hingga 5M ditambahkan 20 mL larutan ion logam Cd²⁺ 100 ppm kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer*

selama 60 menit. Selanjutnya disaring menggunakan penyaring *buchner* untuk memisahkan filtrat dan endapannya. Filtratnya diambil dan dianalisis daya adsorpsinya menggunakan AAS kemudian dikarakterisasi menggunakan FT-IR. Hasil kapasitas adsorpsi konsentrasi adsorben optimum selanjutnya digunakan untuk pengujian berikutnya (Wardani, 2012).

4. Optimasi Kondisi Reaksi pada Uji Kapasitas Adsorpsi

a. Penentuan pH Optimum

Sebanyak 20 mL larutan kadmium 100 ppm diatur keasamannya pada pH 3, 4, 5, 6, 7, 8 dengan menambahkan larutan KOH atau HCl kemudian masukkan 0,5 gram adsorben dan diaduk dengan pengaduk magnet selama 1 jam. Larutan disaring dan tepatkan dalam labu ukur 50 mL, kemudian dianalisis dengan SSA (Rizkamala, 2011).

b. Penentuan Konsentrasi Larutan Ion Cd^{2+} Optimum

Disiapkan 20 mL larutan kadmium dengan konsentrasi 50, 75, 100, 125, 150 175 dan 200 ppm. pH diatur pada pH yang memberikan serapan optimum dan masukkan 0,5 gram adsorben *fly ash*

kedalam masing-masing larutan kemudian diaduk dengan pengaduk magnet selama 1 jam. Larutan disaring sedangkan filtrat diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom pada panjang gelombang maksimum logam kadmium (Wardani, 2012).

c. Penentuan Waktu Kontak Optimum Larutan Ion Cd²⁺

Abu layang teraktivasi sebanyak 0,5 gram dicampur dengan 20 mL larutan ion Cd²⁺ dengan konsentrasi optimum, pada pH optimum kemudian campuran diaduk selama 40, 80, 120, 160, 200 dan 240 menit. Filtrat diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrometer serapan atom pada panjang gelombang maksimum logam kadmium (Wardani, 2012).

C. Analisis Data

1. SEM

Hasil analisa atau keluaran dari analisis SEM berupa gambar struktur permukaan dari setiap sampel yang diikuti. Dari keluaran ini dapat diketahui unsur-unsur atau mineral-mineral yang terkandung di dalam sampel tersebut, yang mana keberadaan unsur atau mineral tersebut dapat

ditentukan atau diketahui berdasarkan nilai energi yang dihasilkan pada saat penembakan sinar elektron primer pada sampel.

2. FT-IR

Data yang diperoleh akan dicocokkan dengan tabel gugus fungsi IR. Gugus fungsi tertentu bereaksi hanya dengan pereaksi tertentu dengan memberikan gejala yang khas. Karena itulah, gugus fungsi menjadi ciri suatu kelompok senyawa. Berikut tabel gugus fungsi IR.

Tabel 3.1 Daftar Bilangan Gelombang dan Berbagai Jenis Ikatan

Bilangan gelombang (ν , cm^{-1})	Jenis ikatan
3750-3000	Regang O-H, N-H
3000-2700	Regang $-\text{CH}_3$, CH_2 , C-H, C-H aldehyd
2400-2100	Regang $-\text{C}\equiv\text{C}-$, $\text{C}\equiv\text{N}$
1900-1650	Regang $\text{C}\equiv\text{O}$ (asam, aldehyd, keton, amida, ester, anhidrida)
1675-1500	Regang $\text{C}\equiv\text{C}$ (aromatik dan alifatik), $\text{C}\equiv\text{N}$
1475-1300	Regang C-H bending
1000-650	Regang $\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$, Ar-H

	bending
--	---------

(Dacriyanus, 2004).

3. AAS

Metode AAS yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kurva kalibrasi. Dalam metode kurva kalibrasi ini dibuat seri larutan standar dengan berbagai konsentrasi dan absorbansi dari larutan tersebut di ukur dengan AAS. Selanjutnya membuat grafik antara konsentrasi (C) dengan Absorbansi (A) yang nantinya akan membentuk suatu garis linier. Sehingga konsentrasi larutan akhir dapat diperoleh melalui persamaan garis linier pada kurva kalibrasi dengan rumus:

$$y = ax + b \tag{3.1}$$

Dengan:

- y = Absorbansi
- a = Koefisien regresi (slope = kemiringan)
- x = Konsentrasi
- b = Tetapan regresi (Intersep)

4. Kapasitas Adsorpsi

$$q = \frac{(C_0 - C_e)v}{m} \tag{3.2}$$

(Wardani, 2012).

Dengan:

C_0 = Konsentrasi awal ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)

C_e = Konsentrasi saat tercapai kondisi kesetimbangan
(mg/g)

v = Jumlah volume larutan adsorbat yaitu Cd^{2+}

m = Massa adsorben teraktivasi (g).

BAB IV

DESKRIPSI DAN ANALISIS DATA

A. Deskripsi Data

Tujuan dari penelitian ini adalah pemanfaatan *fly ash* (abu layang) sebagai material adsorben teraktivasi KOH dalam mengadsorpsi ion logam Cd^{2+} . Langkah awal dalam penelitian ini adalah sintesis abu layang sebagai material adsorben teraktivasi KOH, dimana adsorben berbahan dasar abu layang diaktivasi KOH dengan konsentrasi 1M hingga 5M.

1. Sintesis Adsorben Berbahan Dasar *Fly Ash*

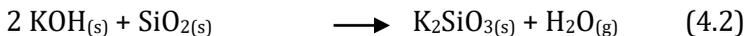
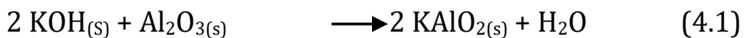
Pada penelitian ini, sampel yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan adsorben adalah *fly ash* (abu layang). Aktivasi abu layang batubara dilakukan dengan aktivasi fisika maupun kimia, dimana pada aktivasi fisika dilakukan dengan proses karbonisasi pada temperatur $600^{\circ}C$ selama 2 jam. Setelah dilakukan aktivasi fisika selanjutnya dilakukan aktivasi kimia. Pada aktivasi kimia digunakan aktivator basa kuat yaitu KOH. Proses aktivasi dilakukan dengan mencampurkan abu layang batubara dalam masing-masing aktivator yaitu KOH 1M, KOH 2M, KOH 3M, KOH 4M dan KOH 5M. Aktivasi dilakukan selama 5 jam, dengan pemanasan pada $85-90^{\circ}C$. Hasil perlakuan tersebut disaring dan diresidu yang dihasilkan dikeringkan dalam oven pada temperatur $105^{\circ}C$ selama 8 jam untuk

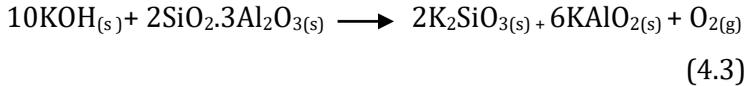
menghilangkan kandungan airnya yang terdapat dalam abu layang dan memperluas ukuran pori-porinya sehingga dapat mengikat logam secara optimal (Chang & Shih, 1998; Shigemoto *et al*, 1993).

Proses aktivasi bertujuan untuk menghancurkan lapisan permukaan partikel abu layang yang berbentuk *glassy* sangat rapat dan stabil. Rantai *glassy* tersebut memiliki kandungan Si dan Al yang tinggi. Oleh karena itu lapisan permukaan abu layang batubara yang berbentuk *glassy* ini harus dihancurkan agar gugus aktif didalamnya yang berpori dan amorf serta memiliki aktifitas tinggi keluar ke permukaan abu layang batubara (Yan, 2003 & Goni, 2003).

Hal ini dikarenakan silika telah bereaksi dan larut dalam KOH, yang membentuk fasa amorf. Dalam hal ini, abu layang dengan fasa amorf (tingkat derajat kristalinitas rendah), lebih efektif digunakan sebagai adsorben yang mampu menurunkan kadar Cd^{2+} dalam sampel limbah lebih banyak.

Menurut Ojha, (2004) reaksi yang terjadi selama proses peleburan antara komponen abu layang SiO_2 dan Al_2O_3 dengan KOH adalah sebagai berikut:





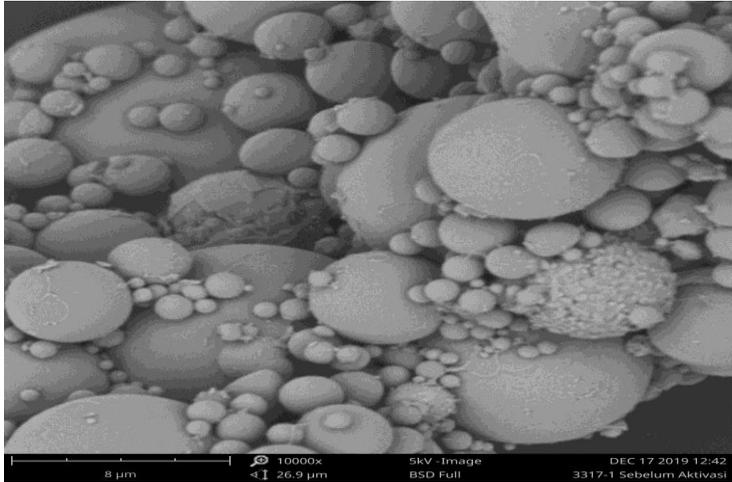
Pengaruh aktivasi menyebabkan ion K^+ menyebabkan terbentuknya senyawa silikat sehingga permukaan abu layang berubah menjadi lebih negatif. Permukaan luas bidang kontak yang semakin besar dan pembentukan muatan permukaan abu layang yang lebih negatif akan menghasilkan kapasitas adsorpsi yang lebih baik (Wang *et al.*, 2012). Hal ini didukung oleh penelitian Okwara pada tahun 2006 dimana dalam penelitian tersebut adsorben teraktivasi basa dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi *clay* terhadap minyak nabati sebesar lebih dari 79%.

2. Karakterisasi *Fly Ash*

Adsorben yang dihasilkan dalam penelitian ini ada enam yaitu *fly ash* tanpa aktivasi dan *fly ash* teraktivasi KOH 1M hingga 5M. Keenam adsorben ini kemudian dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscopy* dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*.

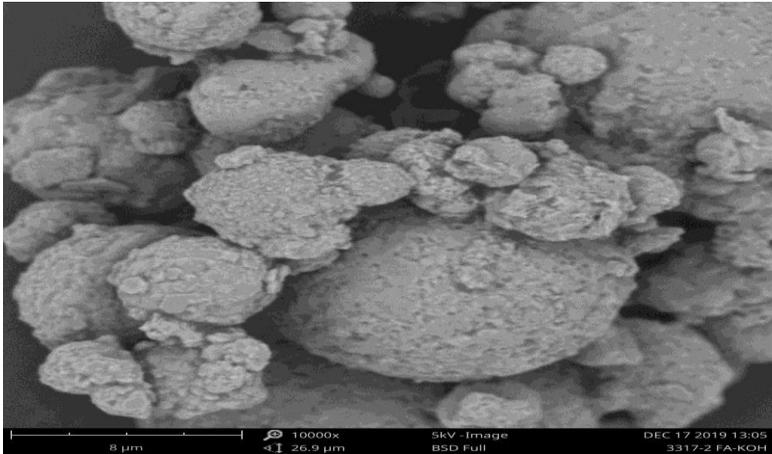
a. Hasil Analisa SEM dari *Fly Ash*

Analisa *fly ash* menggunakan SEM pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bentuk morfologi pada *fly ash* sebelum dan sesudah teraktivasi. Morfologi abu layang batubara ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Morfologi Abu Layang Batubara sebelum Aktivasi (perbesaran 10.000 kali)

Berdasarkan Gambar 4.1, dapat diketahui bahwa abu layang batubara memiliki permukaan yang halus dan berbentuk bulatan. Adanya kandungan aluminosilikat (Si-Al) ditunjukkan pada partikel bulatan tersebut (White & Case, 1990). Partikel ini nantinya akan diaktivasi untuk menghasilkan partikel yang kasar dan memiliki pori yang lebih banyak sehingga lebih efektif dalam kegunaannya sebagai adsorben. Morfologi abu layang batubara sesudah aktivasi ditunjukkan pada Gambar 4.2.



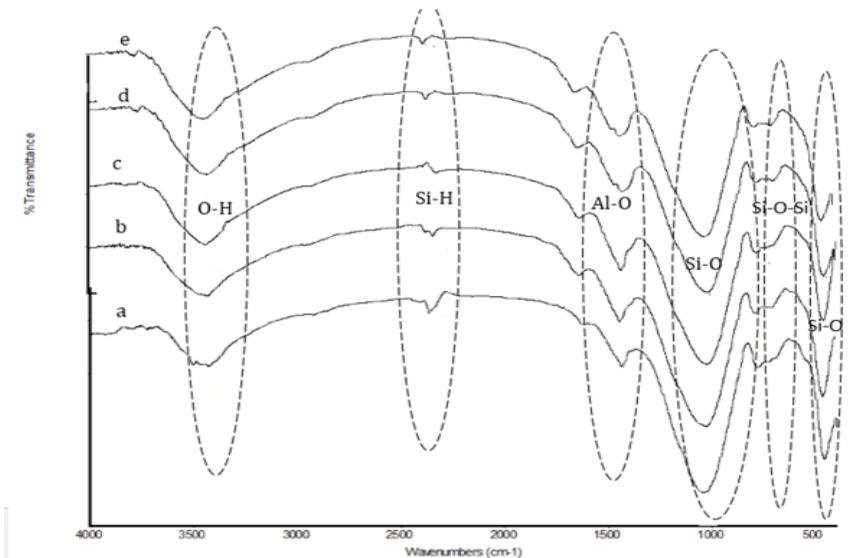
Gambar 4.2 Morfologi Abu Layang Batubara sesudah Aktivasi (perbesaran 10.000 kali)

Berdasarkan Gambar 4.2, dapat diketahui bahwa abu layang batubara sesudah aktivasi memiliki permukaan yang berbeda dengan abu layang sebelum aktivasi. Pada abu layang yang telah teraktivasi dengan KOH ini tampak lebih kasar dan pecah-pecah serta pori-pori yang terbentuk menjadi lebih lebar. Hal ini disebabkan karena penyerangan KOH terhadap abu layang terjadi dengan merusak rantai silika dan alumina pada permukaan abu layang sehingga menyebabkan perluasan pori pada permukaan abu layang semakin besar (Fernandez-Jimenez, 2005).

b. Hasil Analisa FT-IR dari *Fly Ash*

Analisis menggunakan FT-IR bertujuan untuk menginterpretasikan jenis vibrasi dari gugus fungsi pada *fly*

ash. Hasil dari analisa *fly ash* berupa puncak pita serapan pada spektra FT-IR. *Fly ash* mempunyai pita serapan yang khas yaitu muncul pada bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1} (Astuti, 2012). Spektrum adsorben hasil analisa FT-IR dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan nilai serapan antara *fly ash* teraktivasi KOH 1M hingga 5M dapat dilihat pada tabel 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.3 Grafik hasil spectra FT-IR *fly ash* teraktivasi KOH 1M(a), *fly ash* teraktivasi KOH 2M(b), *fly ash* teraktivasi KOH 3M(c), *fly ash* teraktivasi KOH 4M(d) dan *fly ash* teraktivasi KOH 5M(e)

Dari kelima spektra diatas, nilai serapan antara *fly ash* teraktivasi 1M hingga 5M dapat dilihat dalam tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Nilai Serapan FA-KOH 1M hingga 5M

No.	Ikatan Adsorpsi	FA-KOH 1 M	FA-KOH 2M	FA-KOH 3 M	FA-KOH 4 M	FA-KOH 5 M
1.	Gugus -OH	3428,78	3414,09	3472,25	3427,56	3426,56
2.	Vibrasi ulur -Si-H	2362,96	2335,36	-	2368,65	2367,26
3.	Vibrasi Ulur - Al-O	1432,82	1431,28	1429,64	1426,13	1648,93
4.	Vibrasi Ulur Asimetris Si-O	1040,11	1016,01	1018,88	1011,53	1390,85
5.	Vibrasi Tekuk Si-O-Si	781,38	775,63	776,70	775,20	998,68
6.	Vibrasi Tekuk Si-O	458,22	456,30	457,89	450,85	688,87

Spektrum hasil analisa FT-IR pada Gambar 4.3 terlihat gugus-gugus spesifik aluminosilikat yaitu -OH, Si-H, Al-O, SiO, SiOSi dengan panjang gelombang berturut-turut yaitu 3428,78 cm^{-1} - 3426,56 cm^{-1} ; 2362,96 - 2367,26 cm^{-1} ; 1432,82 - 1648,9 cm^{-1} ; 1040,11 - 1390,85 cm^{-1} ; 781,38 - 998,68 cm^{-1} ; 458,22 - 688,87 cm^{-1} . Daerah serapan 400-1200 cm^{-1} disebut sebagai daerah sidik jari. Puncak serapan yang muncul pada daerah sidik jari antara lain 1011,53 - 1040,11 cm^{-1} ; 775,20 - 781,38 cm^{-1} ; 450,85 - 458,22 cm^{-1} . Berdasarkan Gambar 4.3

pada *fly ash* teraktivasi KOH 1M hingga 5M tampak adanya pita serapan *fly ash* pada bilangan gelombang secara berurutan yaitu 3428,78; 3414,09; 3472,25; 3427,56 dan 3426,56 cm^{-1} , yang menunjukkan adanya vibrasi ulur gugus O-H yang terhidrasi molekul air yang teradsorpsi. Pada pita serapan 2362,96 - 2367,26 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus Si-H dalam abu layang (Hardjono S, 1992).

Bilangan gelombang 1040,11 - 1390,85 cm^{-1} yang lebar dengan intensitas tajam menunjukkan vibrasi rentangan asimetris Si-O pada struktur *fly ash* yang berkaitan dengan gugus Si-OH. Lebar puncak menunjukkan banyaknya gugus Si-OH sehingga kristalinitas dalam struktur abu layang menurun. Serapan pada 781,38 - 998,68 cm^{-1} menunjukkan vibrasi tekuk Si-O-Si yang diikuti mode bending Si-O pada bilangan 450,85 - 688,87 cm^{-1} menunjukkan adanya struktur pori dalam *fly ash* (Liu zhirong *et al*, 2011, Mohadi, 2014).

Grafik 4.3 maupun tabel 4.3 dapat dilihat terdapat perubahan nilai bilangan gelombang pada spektra *fly ash* teraktivasi KOH 1M hingga 5M. Masing-masing mempunyai puncak yang hampir sama, hanya saja ada beberapa puncak yang mengalami pergeseran bilangan gelombang. Grafik 4.3 menunjukkan perlakuan aktivasi menyebabkan vibrasi ulur - OH dari H_2O pada *fly ash* teraktivasi KOH berturut-turut yaitu pada daerah bilangan gelombang 3428,78 cm^{-1} menjadi

3414,09 cm^{-1} menjadi 3472,25 cm^{-1} menjadi 3427,56 cm^{-1} menjadi 3426,56 cm^{-1} .

Menurut Socrates (1994), vibrasi regangan dari gugus -OH ditunjukkan pada daerah bilangan gelombang 3700-3400 cm^{-1} . Adanya gugus -OH pada kerangka *fly ash* menyebabkan terjadinya ikatan hidrogen dengan silika. Pergeseran kearah bilangan gelombang yang lebih tinggi menunjukkan bahwa molekul air yang terserap dalam antar lapis *fly ash* semakin berkurang. Namun, antara *fly ash* teraktivasi KOH 4M dengan *fly ash* teraktivasi KOH 5M pada vibrasi ulur -OH mengalami penurunan bilangan gelombang yang lebih rendah yaitu 3427,56 cm^{-1} menjadi 3426,56 cm^{-1} hal ini menunjukkan ikatan -OH lemah. Fenomena ini membuktikan bahwa konsentrasi KOH dapat menyebabkan melemahnya interaksi gugus -OH dengan zat pengotor sehingga zat pengotor yang berada pada pori abu layang hilang sehingga pori abu layang semakin bersih (Atikah, 2014).

Gambar 4.3 gugus -Si-H dalam abu layang diperlihatkan oleh kenampakan spektra pada 2362,96 cm^{-1} ; 2335,36 cm^{-1} ; 2368,65 cm^{-1} ; 2367,26 cm^{-1} . Ketidakhadiran pita serapan Si-H pada FA-KOH 3M dapat disebabkan karena intensitas serapan yang dimiliki FA-KOH 3M pada daerah tersebut sangat lemah sehingga tidak dapat terbaca oleh spektrum IR (Kustono, 2010).

Vibrasi ulur Al-O pada *fly ash* teraktivasi KOH 1M hingga 5M muncul pada bilangan gelombang 1432,28 cm^{-1} , 1431,28 cm^{-1} , 1429,64 cm^{-1} , 1426,13 cm^{-1} dan 1648,93 cm^{-1} . Menurut Tri Wulan (2003), pucak serapan pada daerah 470-1650 cm^{-1} merupakan daerah serapan untuk gugus Al-O yang terkandung dalam abu layang. Pita serapan spektra abu layang teraktivasi 4M dan 5M teramati bahwa terjadi pergeseran daerah serapan 1648,93 cm^{-1} yang berasal dari bilangan gelombang 1426,13 cm^{-1} . Pergeseran yang terjadi diantara abu layang teraktivasi 4M hingga 5M menunjukkan interaksi gugus Al-O lemah. Pergeseran yang terjadi tidak mengakibatkan terjadinya perubahan struktur mikroskopis molekul yang berarti dikarenakan masih berada dalam batas daerah serapan inframerah yang masih sama (Hardjono S, 1992).

Gambar 4.3 vibrasi ulur asimetris Si-O *fly ash* mengalami pergeseran bilangan gelombang yang lebih rendah yaitu 1040,11 cm^{-1} menjadi 1016,01 cm^{-1} menjadi 1018,88 cm^{-1} menjadi 1011,53 cm^{-1} menjadi 1390,85 cm^{-1} , dimana hal ini menunjukkan telah terjadi dealuminasi. Secara spektroskopi dealuminasi dapat diamati pada bilangan gelombang 300-1425 cm^{-1} (Kustono, 2010).

Bilangan gelombang yang muncul pada serapan 781,38 cm^{-1} ; 775,63 cm^{-1} ; 776,70 cm^{-1} ; 775,20 cm^{-1} dan 998,68 cm^{-1}

menunjukkan adanya vibrasi tekuk Si-O-Si, dimana menurut Sastrohamidjojo (1992) vibrasi tekuk Si-O-Si berada pada pita serapan 770 cm^{-1} -1035 cm^{-1} . Vibrasi tekuk Si-O muncul pada serapan bilangan gelombang 458,22 cm^{-1} ; 456,30 cm^{-1} ; 457,89 cm^{-1} ; 450,85 cm^{-1} dan 688,87 cm^{-1} . Daerah serapan 420-690 cm^{-1} menunjukkan bahwa produk adsorben mulai mengalami pembukaan pori sehingga produk adsorben lebih efektif kemampuan adsorpsinya dalam menurunkan kadar ion logam Cd^{2+} dalam perairan (Keka, 2004). Adapun perbandingan nilai serapan *fly ash* sebelum teraktivasi dan *fly ash* sesudah teraktivasi yang diperoleh telah dirangkum pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan Nilai Serapan *fly ash* sebelum terativasi dan *fly ash* setelah teraktivasi

No.	Ikatan Adsorpsi	FA tanpa aktivasi	FA-KOH 1 M
1	Gugus -OH	3425,58	3428,78
2	Vibrasi ulur Si-H	2363,21	2362,96
3	Vibrasi ulur -Al-O	-	1432,82
4	Vibrasi ulur Asimetris Si-O	1064,71	1040,11
5	Vibrasi tekuk Si-O-Si	786,96	781,38
6	Vibrasi tekuk Si-O	462,92	458,22

Pada Tabel 4.2 menunjukkan adanya pembentukan puncak serapan baru dari *fly ash* sebelum teraktivasi dan *fly ash* sesudah teraktivasi KOH, yaitu pada bilangan gelombang $1432,82 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan nilai serapan pada vibrasi ulur Al-O.

3. Kapasitas Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi merupakan suatu adsorben dalam menyerap adsorbat dengan jumlah tertentu. Pada penelitian ini, adsorben yang telah di sintesis digunakan untuk menyerap logam kadmium (Cd^{2+}) pada limbah artifisial sebanyak 20 mL larutan Cd^{2+} 100 ppm.

Uji kapasitas adsorpsi *fly ash* terkativasi KOH 1M, 2M, 3M, 4M dan 5M dilakukan terhadap ion logam Cd^{2+} 100 ppm dengan masing-masing massa adsorben sebanyak 0,5 gram dan volume larutan 20 mL dengan menggunakan spektrometer serapan atom, dalam proses ini larutan kadmium dikontakkan dengan adsorben dan diaduk menggunakan pengaduk magnet dengan kecepatan pengadukan 90 rpm dan waktu aduk selama 1 jam. Pengadukan ini bertujuan untuk menghomogenkan larutan, agar penyerapan dapat terjadi secara maksimal. Selanjutnya larutan disaring menggunakan penyaring *buchner*, tujuan dari penyaringan tersebut adalah untuk memisahkan filtrat dan

endapannya. Kemudian filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan AAS SNI merk *Perkin Elmer 5100 PC*.

Data hasil analisa menggunakan AAS yang diperoleh dibuat kurva kalibrasi larutan ion logam Cd^{2+} antara absorbansi terhadap konsentrasi larutan ion logam Cd^{2+} sehingga menghasilkan persamaan regresi linier. Persamaan regresi linier tersebut digunakan dalam penentuan konsentrasi larutan sesudah teradsorpsi. Nilai absorbansi larutan disubstitusikan kedalam persamaan garis pada kurva kalibrasi sebagai fungsi y dan nilai x sebagai konsentrasi larutan. Nilai konsentrasi akhir larutan kemudian digunakan untuk menentukan nilai kapasitas adsorpsi. Berikut nilai perbandingan kemampuan kapasitas adsorpsi abu layang batubara sebelum dan sesudah aktivasi ditampilkan dalam tabel 4.2 dibawah ini:

Tabel 4.3 Nilai Kapasitas Adsorpsi

Adsorben	C_0 (ppm)	C_e (ppm)	Q_e ($mg \cdot g^{-1}$)	(%)
FA-TA	100	1,271	3,9491	98,729
FA-KOH 1M	100	0,085	3,9966	99,915
FA-KOH 2M	100	0,445	3,9822	99,555
FA-KOH 3M	100	0,578	3,9768	99,422
FA-KOH 4M	100	0,564	3,9774	99,436
FA-KOH 5M	100	1,557	3,9377	98,443

Berdasarkan data hasil adsorpsi, didapatkan bahwa abu layang teraktivasi 1M mempunyai kapasitas adsorpsi lebih besar dibandingkan abu layang teraktivasi 2 hingga 5M maupun abu layang tanpa aktivasi yaitu 3,9966 mg.g⁻¹. Adanya proses aktivasi terhadap abu layang menyebabkan kapasitas adsorpsi semakin besar karena proses tersebut telah membersihkan rongga pori abu layang dari molekul air dan oksida logam yang dianggap sebagai pengotor. Rongga-rongga kosong yang terbentuk pada permukaan abu layang dapat memperbesar permukaan aktif sehingga kemampuan adsorpsi menjadi lebih besar. Namun pada abu layang teraktivasi KOH 2 hingga 5M kapasitas adsorpsi mengalami penurunan, hal ini disebabkan pada konsentrasi tinggi dapat menyebabkan terjadi kerusakan struktur yang merupakan gugus aktif untuk berinteraksi dengan ion logam (Sukawati, 2008).

Konsentrasi KOH yang lebih tinggi (2M hingga 5M) kemungkinan dapat menyebabkan perubahan struktur abu layang batubara sehingga daya adsorpsinya menjadi menurun (Oktiawan, 2016). Proses pembersihan pada abu layang dimungkinkan masih terdapat larutan KOH pada pori sehingga menutupi pori yang menyebabkan molekul adsorbat tidak masuk ke dalam pori, selain itu jumlah pori yang ada

pada abu layang batubara konsentrasi 2M hingga 5M tidak terlalu banyak yang berdampak pada luas permukaan pori yang dihasilkan kecil (Ketaren, 2008).

4. Optimasi Penyerapan Ion Logam Cd²⁺ oleh Adsorben

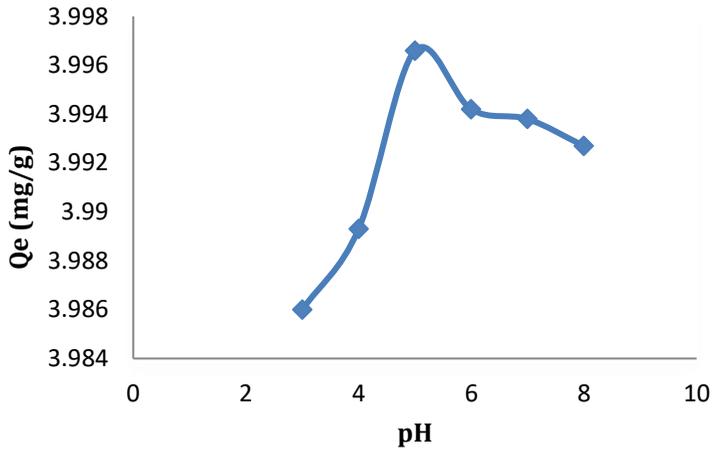
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kondisi optimum adsorben berbahan dasar *fly ash* dalam menyerap ion logam Cd²⁺. Penentuan kondisi optimum yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pH, konsentrasi dan waktu kontak. Dalam penentuan kondisi optimum ini, mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Javadian, (2015) dengan menggunakan 0,5 g, waktu kontak antara adsorben dan adsorbat selama 1 jam dengan pH 3 dan konsentrasi larutan sebesar 100 mg/L.

a. Optimasi pH

Salah satu faktor penting yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi adalah pH larutan adsorbat, karena pH akan mempengaruhi muatan permukaan adsorben (Riapanitra *et al.*, 2006). Pada penelitian ini digunakan variasi pH 3, 4, 5, 6, 7 dan 8 pada larutan Cd²⁺ 100 ppm 20 mL.

Kondisi awal dari larutan kadmium yang akan digunakan berada pada pH 3. Untuk menaikkan nilai pH maka larutan kadmium ditambah dengan basa dan untuk menurunkan pH harus ditambah dengan basa. Hasil

pengamatan yang dihasilkan dapat dilihat melalui Grafik 4.4.



Gambar 4.4 Pengaruh pH terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Cd^{2+}

Grafik 4.4 menunjukkan bahwa pada pH 5 sebagai pH yang memberikan hasil penyerapan optimum yaitu sebesar 99,915 %. Hal ini dapat dijelaskan dengan naiknya pH maka akan menurunkan tingkat protonasi gugus-gugus fungsional pada permukaan *fly ash* sehingga muatan parsial positif pada gugus tersebut juga turun, akibatnya pada pH tersebut adsorpsi ion logam berlangsung secara optimum (Tri Susanto, 2011).

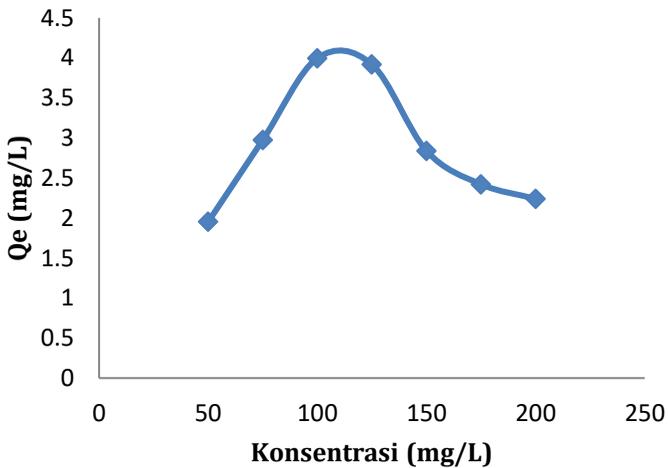
Pada pH dibawah 5 jumlah proton melimpah akibat penambahan asam berlebih, peluang terjadinya pengikatan logam oleh adsorben relatif kecil. Hal ini disebabkan oleh

konsentrasi H^+ yang terlalu tinggi akibat penambahan asam sehingga gugus fungsi negatif bereaksi dengan H^+ dan menghalangi terikatnya ion logam pada gugus fungsi material tersebut (Delgado, 1998).

Menurut Tri Susanto (2011), Pada pH rendah dimana keasamannya tinggi, gugus-gugus fungsional pada *fly ash* cenderung berada dalam keadaan terprotonasi oleh ion H^+ sehingga bermuatan parsial positif. Keadaan ini akan menurunkan kemampuan adsorben mengadsorp ion logam Cd^{2+} yang bermuatan positif karena dimungkinkan terjadi tolakan elektrostatis antara situs aktif adsorben dan adsorbat dan kompetisi antara ion H^+ bebas dan ion logam untuk berikatan dengan gugus aktif adsorben. Akibatnya pada pH rendah, jumlah ion logam yang teradsorp pada adsorben *fly ash* relatif lebih sedikit. Pada pH 6 sampai 8 Terjadi penurunan jumlah Cd^{2+} yang teradsorpsi, hal ini disebabkan karena pada pH yang lebih tinggi, gugus aktif pada *fly ash* akan mengalami deprotonasi dan cenderung bermuatan negatif serta diiringi dengan meningkatnya konsentrasi ion OH^- dalam larutan. Seiring dengan peningkatan konsentrasi ion OH^- akan menyebabkan terjadinya kompetisi antara situs aktif pada permukaan adsorben dengan ion OH^- untuk berikatan dengan ion logam.

b. Konsentrasi Optimum

Penentuan konsentrasi optimum larutan ion logam Cd^{2+} dilakukan dengan cara mereaksikan abu layang teraktivasi KOH 1M dengan larutan ion logam Cd^{2+} pada beberapa variasi konsentrasi. Variasi konsentrasi yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain 50, 75, 100, 125, 150, 175 dan 200 ppm dalam kondisi pH optimum selama 1 jam, kemudian disaring dan filtratnya dianalisis dengan AAS. Berdasarkan data variasi konsentrasi, diperoleh hasil hubungan antara konsentrasi awal larutan kadmium dengan jumlah kadmium yang terserap.



Gambar 4.5 Pengaruh Konsentrasi terhadap Kapasitas Adsorpsi Ion Logam Cd^{2+}

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa pada konsentrasi 100 ppm sebagai konsentrasi yang memberikan hasil penyerapan optimum yaitu sebesar 99,915%. Pada konsentrasi 50 hingga 100 ppm terjadi kenaikan kapasitas adsorpsi. Hal ini dikarenakan semakin besar konsentrasi larutan ion logam Cd^{2+} , maka semakin banyak partikel-partikel abu layang yang bertumbukan dan berinteraksi dengan larutan ion logam Cd^{2+} , sehingga kemampuan adsorpsi semakin meningkat (Farradina, 2012).

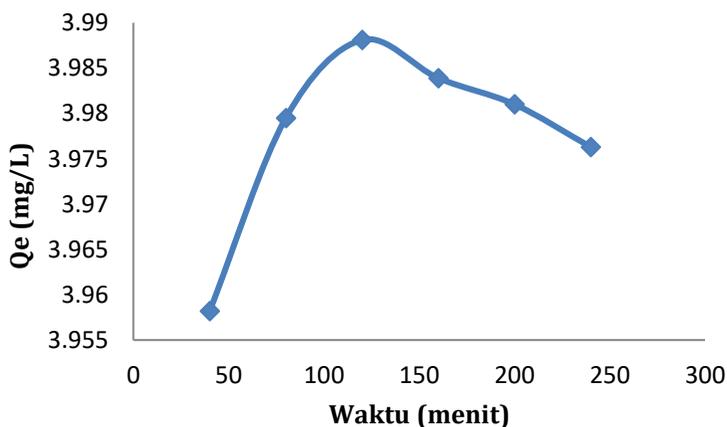
Menurut Sukawati (2008), kapasitas penyerapan yang tinggi disebabkan jarak antar partikel menjadi semakin dekat sehingga adsorbat yang diserappun semakin banyak. Namun, pada kondisi kesetimbangan, permukaan adsorben telah jenuh oleh ion-ion logam sehingga penambahan konsentrasi tidak akan berpengaruh pada proses adsorpsi. Hal ini terlihat pada konsentrasi 125 hingga 200 ppm yang mengalami penurunan jumlah Cd^{2+} yang teradsorpsi.

c. Optimasi Waktu Kontak dan Kinetika Adsorpsi

Penentuan waktu optimum adsorpsi dilakukan untuk mengetahui waktu minimum yang dibutuhkan oleh adsorben dalam mengadsorpsi ion logam Cd^{2+} secara maksimum sampai tercapai keadaan jenuh. Dari hasil nilai kapasitas adsorpsi dan hasil karakterisasi antara *fly ash* teraktivasi KOH 1M hingga 5M, didapatkan bahwa *fly ash* teraktivasi KOH 1M

mempunyai nilai kapasitas adsorpsi lebih besar daripada jenis adsorben lain. Sehingga adsorben ini digunakan untuk menentukan waktu optimum interaksi dengan adsorbat. Adsorpsi dilakukan dengan menggunakan larutan kadmium konsentrasi 100 ppm yang diatur pada nilai pH 5 dengan variasi waktu kontak adsorben dan adsorbat selama 40, 80, 120, 160, 200 dan 240 menit.

Data yang diperoleh digunakan untuk menentukan parameter kinetika, yakni konstanta laju adsorpsi dengan model kinetika *pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua. Data adsorpsi ion logam Cd^{2+} terhadap variasi waktu kontak tersaji pada lampiran dan grafik ditunjukkan pada grafik tersebut.



Gambar 4.6 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Penurunan Logam Cd^{2+}

Berdasarkan grafik diatas, dapat diketahui bahwa pada waktu kontak 40 sampai 120 terjadi kenaikan adsorpsi. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu kontak maka akan semakin lama waktu tumbukan dan interaksi antara adsorben dengan ion logam sehingga akan semakin banyak gugus aktif pada adsorben *fly ash* teraktivasi yang berikatan dengan ion logam Cd(II), sedangkan pada menit ke 160 sampai 240 menit terjadi penurunan kapasitas adsorpsi ion logam Cd²⁺. Penurunan kapasitas adsorpsi ini menunjukkan bahwa sisi aktif dari permukaan adsorben *fly ash* teraktivasi sudah jenuh, yang menyebabkan zat terlarut yang diadsorpsi akan mencapai batas maksimum, akibatnya pada adsorben tidak dapat lagi menyerap adsorbat (Effendi *et al*, 2018).

Menurut Cheremenisof (1987) dan Khopkar (1990), daya serap dari adsorben sangat dipengaruhi oleh waktu kontak antara ion logam dengan adsorben, semakin lama waktu kontak maka adsorpsi juga akan meningkat dan sampai pada waktu tertentu akan mencapai maksimum, setelah itu akan menurun kembali. Turunnya jumlah ion logam yang terserap setelah waktu kontak optimum kemungkinan juga dapat disebabkan oleh karena terjadinya ketidakstabilan ikatan antara adsorben dengan ion logam sehingga sebagian kecil dari partikel logam Cd(II) ada yang terlepas kembali (Elvia *et al*, 2018).

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa waktu kontak 120 menit merupakan waktu kontak optimum dalam mengadsorpsi ion logam Cd(II) dengan kapasitas adsorpsi sebesar 3,9881 mg.g dan efisiensi penyisihan 99,7045%.

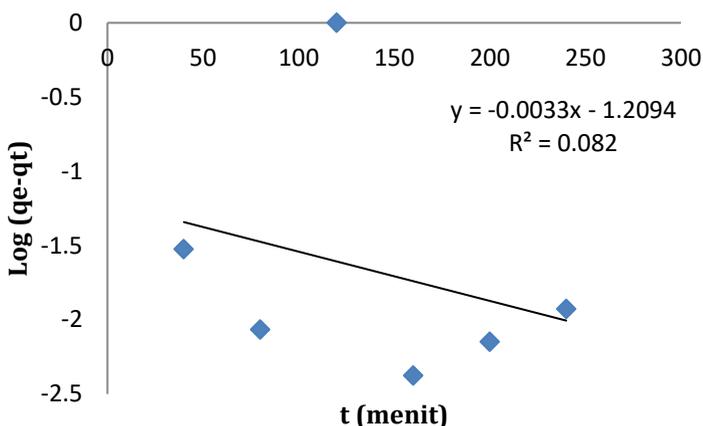
Kinetika Adsorpsi

Kajian kinetika adsorpsi bertujuan untuk mengetahui laju adsorpsi yang terjadi pada *fly ash* teraktivasi terhadap logam Cd²⁺. Pengujian laju reaksi dalam penelitian ini diawali dengan penentuan orde reaksi. Untuk mengetahui orde reaksi hasil penelitian ini, maka peneliti melakukan uji coba 2 jenis orde reaksi yaitu *pseudo orde* satu dan *pseudo orde* dua. Garis lurus yang diperoleh dari persamaan *pseudo orde* satu dan *pseudo orde* dua dapat ditentukan nilai konstanta laju adsorpsi dari nilai slope, nilai konstanta laju reaksi dapat menggambarkan kecepatan proses adsorpsi ion logam Cd²⁺ terjadi. Hal ini dikarenakan konstanta laju adsorpsi berbanding lurus terhadap laju reaksi adsorpsi (Fadhi, 2018).

Kinetika *pseudo orde* satu

Persamaan kinetika yang digunakan dalam mencari nilai orde reaksi satu semu yaitu $\log (q_e - q_t) = \log q_e - k_1 t$, dengan q_e dan q_t berturut-turut adalah jumlah adsorbat yang teradsorpsi (mg.g) pada keadaan kesetimbangan dan pada saat t (menit/jam/detik) dan k_1 adalah konstanta adsorpsi

orde satu semu. Hasil kinetika *pseudo orde* satu pada variasi waktu kontak dilakukan dengan membuat grafik $\log (q_e - q_t)$ vs waktu kontak. Dimana $\log (q_e - q_t)$ sebagai fungsi y dan nilai x sebagai variasi waktu kontak sehingga hubungan kedua variabel ini akan menghasilkan regresi linier seperti gambar grafik 4.7 dibawah ini.

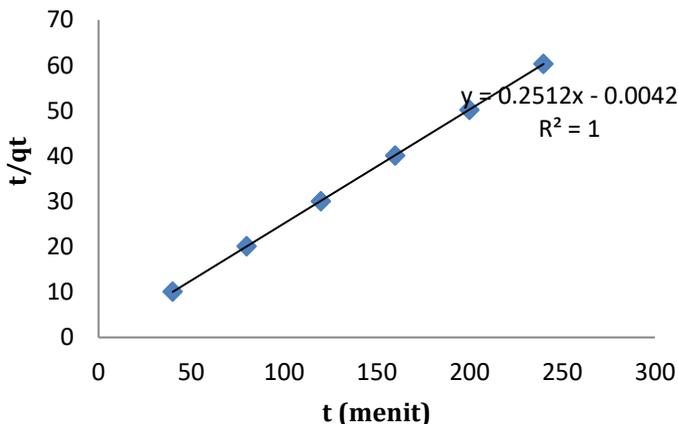


Gambar 4.7 Grafik Kurva Kinetika *Pseudo Orde* Satu pada Adsorpsi *Fly Ash* terhadap Ion Cd^{2+}

Kinetika *pseudo orde* dua

Persamaan kinetika yang digunakan dalam mencari nilai orde reaksi satu dua yaitu $t/q_t = 1/k_2 q_e^2 + t/q_e$, dengan q_e dan q_t berturut-turut adalah jumlah adsorbat yang teradsorpsi (mg/g) pada keadaan kesetimbangan dan pada saat t (menit/jam/detik) dan k_2 adalah konstanta laju adsorpsi ($g\ mg^{-1}\ men^{-1}$). Hasil kinetika *pseudo orde* dua pada variasi

waktu kontak dilakukan dengan membuat grafik t/q_t vs waktu kontak. Dimana t/q_t sebagai fungsi y dan nilai x sebagai variasi waktu kontak sehingga hubungan kedua variabel ini akan menghasilkan regresi linier seperti gambar grafik 4.8 di bawah ini.



Gambar 4.8 Grafik Kurva Kinetika *Pseudo Orde Dua* pada Adsorpsi *Fly Ash* terhadap Ion Cd^{2+}

Berdasarkan pada gambar 4.7 dan 4.8 maka dapat diperoleh data yang dirangkum dalam tabel 4.3

Tabel 4.4 Parameter Kinetika

Q_e eksperi men (mg/g)	<i>Pseudo orde satu</i>			<i>Pseudo orde dua</i>		
	Q_e (mg/g)	K_1 (min ⁻¹)	R^2	Q_e (mg/g)	K_2 (min ⁻¹)	R^2
3,9881	1,2531	-0,0069	0,082	3,9840	-15,7728	1

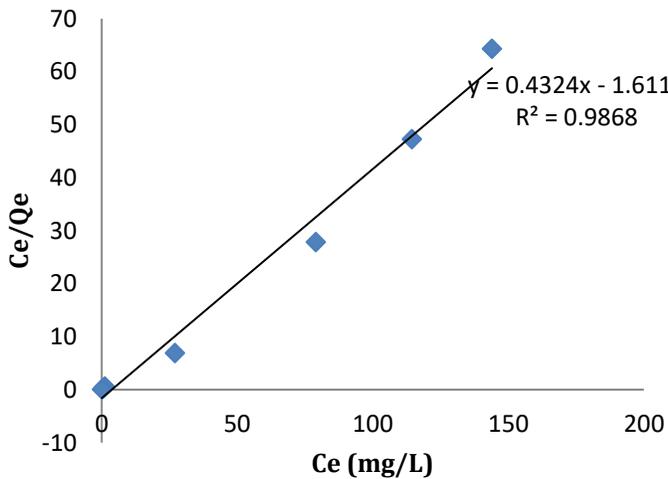
Berdasarkan tabel 4.3 menunjukkan bahwa kinetika adsorpsi yang sesuai untuk penelitian ini adalah mengikuti pseudo orde dua. Hal tersebut disebabkan nilai koefisien regresi linier (R^2) pada persamaan pseudo orde dua menghasilkan nilai 1. Selain itu, nilai q_e teoritis pada persamaan pseudo orde dua lebih mendekati nilai q_e eksperimen. Laju reaksi dari adsorpsi ion logam Cd^{2+} menggunakan adsorben berbahan dasar *fly ash* dapat diamati melalui nilai konstanta laju reaksi adsorpsi (K_2).

d. Isotherm Adsorpsi

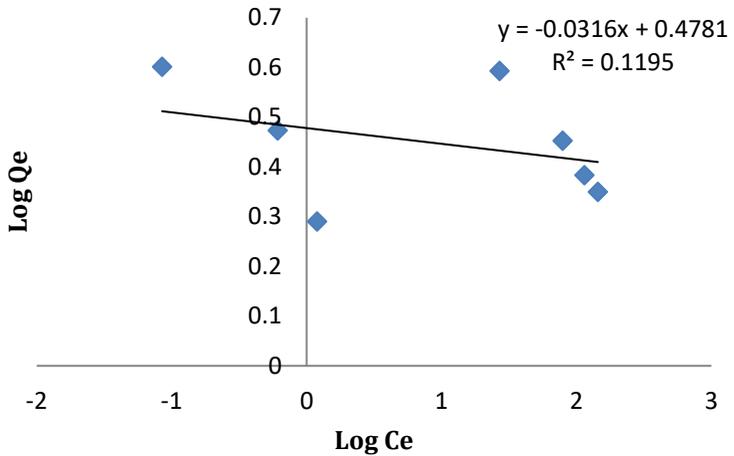
Perubahan konsentrasi adsorbat oleh proses adsorpsi sesuai dengan mekanisme adsorpsinya dapat dipelajari melalui penentuan isotherm adsorpsi. Adapun jenis isotherm adsorpsi yang biasa digunakan adalah isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich. Pengujian model kesetimbangan Langmuir dan Freundlich ini bertujuan untuk mengetahui model kesetimbangan yang sesuai pada penelitian. Jika model isotherm yang dianut adalah isotherm Langmuir maka adsorpsi berlangsung secara *monolayer*. Jika model isotherm yang dianut adalah isotherm Freundlich maka adsorpsi berlangsung secara *multilayer* (Petrovic, *et al.*, 2016).

Penentuan isotherm adsorpsi dilakukan dengan mengubah persamaan isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich menjadi kurva kesetimbangan garis lurus.

Penentuan model kesetimbangan pada suatu penelitian berdasarkan pada nilai koefisien regresi linier (R^2) yang tertinggi atau mendekati 1. Penentuan pola isotherm adsorpsi diperoleh dari data penelitian saat optimasi konsentrasi. Data yang diperoleh digunakan untuk membuat kurva seperti pada gambar 4.9 untuk isotherm Langmuir dan 4.10 untuk isotherm Freundlich.



Gambar 4.9 Kurva Isotherm Langmuir



Gambar 4.10 Kurva Isotherm Freundlich

Berdasarkan Gambar 4.6 dan 4.7 menunjukkan bahwa model isotherm yang sesuai pada penelitian ini adalah isotherm Langmuir karena memiliki nilai koefisien regresi linier (R^2) 0,986 dibandingkan dengan isotherm Freundlich. Adapun parameter isotherm yang diperoleh telah dirangkum pada tabel 4.4.

Tabel 4.5 Parameter dan Koefisien Regresi Linier Model Isotherm

Model isotherm Langmuir			Model isotherm Freundlich		
Q_m (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_f (mg/g) (L/mg) ^{1/n}	1/n	R^2
2,3148	-0,2681	0,986	3,0060	-0,031	0,119

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

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

1. Karakteristik adsorben dari *fly ash* teraktivasi KOH mengandung gugus-gugus fungsi spesifik aluminosilikat yaitu -OH, Si-H, Al-O, Si-O, Si-O-Si pada analisa FTIR sedangkan pada analisa SEM karakteristik morfologi permukaan pada adsorben teraktivasi lebih kasar dan pecah-pecah serta pori-pori yang terbentuk menjadi lebih lebar dibandingkan dengan adsorben tanpa aktivasi.
2. Pengaruh konsentrasi aktivator KOH terhadap kapasitas adsorpsi ion logam Cd^{2+} yaitu semakin tinggi konsentrasi aktivator KOH menyebabkan kapasitas adsorpsi semakin meningkat, namun pada konsentrasi yang melebihi konsentrasi optimum menyebabkan terjadinya kerusakan pada struktur gugus aktif yang berdampak pada luas permukaan pori yang dihasilkan kecil sehingga molekul adsorbat tidak dapat masuk ke dalam pori.
3. Variasi pH, konsentrasi larutan kadmium dan waktu kontak sangat berpengaruh terhadap kapasitas

adsorpsi. pH maksimum yang didapatkan untuk adsorpsi ion Cd^{2+} berada pada pH 5 sedangkan pada variasi konsentrasi diperoleh konsentrasi 100 ppm sebagai konsentrasi yang memberikan hasil penyerapan optimum yaitu sebesar 99,915%. Untuk nilai optimum waktu kontak adsorben terhadap ion $\text{Cd}(\text{II})$ adalah 120 menit.

4. Model kinetika adsorpsi logam ion kadmium (Cd^{2+}) pada adsorben *fly ash* teraktivasi KOH menunjukkan kinetika adsorpsi model *pseudo second order* yang ditandai dengan nilai determinasi paling tinggi yaitu 1 sedangkan jenis isotherm adsorpsi mengikuti jenis isotherm Langmuir dengan nilai R^2 0,986.

B. Saran

Untuk penelitian berikutnya, peneliti menyarankan perlu adanya karakterisasi menggunakan BET dan XRD. Penggunaan BET bertujuan untuk mengetahui luas permukaan serta pori-pori yang terbentuk dari adsorben yang telah disintesis guna meningkatkan kemampuan adsorben dalam menyerap logam berat terutama pada kadmium sedangkan karakterisasi XRD untuk mengidentifikasi struktur material yang telah disintesis.

Daftar Pustaka

- Abdillah, Isa Akhmad. 2015. Pengaruh pH dan waktu kontak pada adsorpsi ion logam Cd^{2+} menggunakan adsorben kitin terikat silang glutaraldehid. *Jurnal kimia Vol 1. No. 1*
- Alberty, R.A. 1990. *Kimia Fisika*. Jilid Kesatu. Erlangga. Jakarta
- Ananda Fauzan. 2014. Pemanfaatan *fly ash* batubara sebagai adsorben logam berat ion Pb^{2+} yang terlarut dalam air. *Jurnal Teknik Kimia Vol. 1 No. 2*
- Anonim. 2013. *Guidance for Environmental Background Analysis Vol II sediment*. NF ECS user guide UG-2054-ENV. Naval Facilities Engineering Command. Washington DC
- Anshory, J. A. 2005. *Materi Ajar Spektrometri Serapan Atom*. Staf Laboratorium Kimia Bahan Alam dan Lingkungan. Jurusan Kimia FMIPA Universitas Padjadjaran. Bandung
- Araga, Ramya., Shantana Soni & Chandra S. Sharma. 2017. Fluoride Adsorption from Aqueous Solution using Activated Carbon Obtained from KOH- treated Jamun (*Syzygium Cumini*) Seed. *Journal of Chemical Engineering*
- Astuti, W., E. T. Wahyuni, A. Prasetya dan I. M. Bendiyasa. 2012. *The Effect of Coal Fly Ash Treatment with NaOH on the Characters and Adsorption Mechanism toward Methyl Violet in the Solution*
- Chang, H. L and Shih W. H. 1998. A General Method for the Conversion of Fly ash into zeolites as Ion Exchange for Cesium. *Journal Chem 4185-4191*
- Cheremenisof O. N. 1987. *Carbon Adsorption Hand Book*. Michigan: Science Publisher Inc
- Chlebdá. 2018. Influence of alkali metal cations/type of activator on the structure of alkali activated fly ash – ATR-FTIR studies. *Journal of AGH university*
- Dacriyanus. 2004. *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. Padang: Universitas Andalas Press

- Daniar Febriliani P. 2016. Tingkat Pencemaran Kadmium (Cd) dan Kobalt (Co) pada sedimen disekitar pesisir Bandar Lampung). *Skripsi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Lampung. Bandar Lampung
- Day, R.A, dan Underwood, A.L. 1998. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Terjemahan Pujaatmaka, A. H. Erlangga. Jakarta
- Delgado, A. L., A. M. Anserlmo, J. M. Novais. 1998. Heavy Metal Biosorption by Dried Powdered Mycelium of *Fusarium Falciparum*. *Journal Water Res. Vol. 70 No. 3*
- Departemen Agama R.I. 2007. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. CV. Diponegoro
- Eckenfelder. 1981. *Industrial Water Pollution Control*. Second Edition. McGraw-Hill International. Singapore
- Effendi, F., Rina Elvia, Hermansyah Amir. 2018. Preparasi dan Karakterisasi Mikrokristalin Selulosa (MCC) Berbahan Baku Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). *Jurnal Alotrop*
- Eka. 2017. Sifat mekanik beton geopolimer berbahan dasar fly ash jawa power paiton sebagai material alternative. *Jurnal Teknik sipil* Vol. 13 No. 2 ISSN 0853814
- Erlina. 2015. Pengaruh Konsentrasi Larutan KOH pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa untuk Adsorpsi Logam Cu. *Jurnal MIPA* Vol. IV No. 55
- Fadhi, M. R. 2018. Sintesis Material Hidroksi Lapis Ganda Zn-Fe Terinterkalasi Senyawa Polioksometalat Tipe Keggin Serta Aplikasinya sebagai Adsorben Malachite Green. *Skripsi*. Palembang: universitas Sriwijaya
- Faradilla, A. R., Hernani Y., & Endro S. 2016. *Pemanfaatan fly ash sebagai adsorben karbon monoksida dan karbon dioksida pada emisi kendaraan bermotor*. Makalah disajikan dalam seminar Nasional Cendekiawan, di Universitas Trisakti

- Farradina Choria Suci. 2012. Pemanfaatan Abu Layang Batubara (Fly Ash) Teraktivasi sebagai Adsorben Ion Logam Pb^{2+} . *Skripsi*. Universitas Airlangga. Surabaya
- Fernandez-Jimenez, A., Palomo, A. 2005. Composition and Microstructure of Alkali Activated Fly Ash Binder : Effect the Activator. *Cement and Concrete Research*. Vol. 35
- Fessenden, Ralf. J and Joan S Fessenden. 1996. *Kimia Organik*. Edisi Ketiga Jilid I. Diterjemahkan oleh: Aloysius Hadyana P. Jakarta: Erlangga
- Ghababazade, R., Mirhabibi, A., Poursad, J., Brown, A., Brydson, A., Amiri, M. J. 2007. Study of the Phase Composition and Stability of Explosive Synthesis Nanosized Al_2O_3 . *Journal Surface Science Vol. 601*
- Goni.S., A. Guerrero, M. P., Luxan, A., Macias. 2003. Activation of the Fly Ash Pozzolanic Reaction by Hidrothermal Condition. *Journal Chemistry Concrete Research Vol. 33 No. 9*
- Hardjono Sastrohamidjojo. 1992. *Spektroskopi Inframerah*. Edisi Pertama. Yogyakarta: Liberty
- Hendayana, Sumar. 1994. *Kimia Analitik Instrumen*. Jakarta: Erlangga
- Herry Ludiro Wahyono. 2017. Pengaruh Penambahan *Fly Ash*
- Hudson, L. K., Misra, C., Perrotta, Anthony J., Wefers, K, and Williams, F. S. 2002. Aluminum Oxide. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, Wiley-VCH, Weinheim. Vol 10
- Hui Huang. 2019. Coal fly ash derived zeolite for highly efficient removal of Ni^{2+} in waste water. *China journal of materials science and engineering technology*
- Inayati. 2018. Model matematis pnerapan cadmium dalam air pada adsorben kulit nangka. *Jurnal Teknik Kimia* ISBN 978-602-14355-0-2
- Irani K., Fansuri H. dan Atmaja L., 2009, Modifikasi Permukaan Abu Layang Menggunakan NaOH dan

- Aplikasinya untuk Geopolimer: Sifat Fisik dan Mekanik, *Tesis Magister*, Jurusan Kimia, FMIPA ITS, Surabaya
- Jasminder Singh. 2019. Adsorption of CO₂ on KOH activated carbon adsorbent: Effect of different mass ratios. *Journal of Chemical Engineering India*
- Javadian, et al. 2015. Study of the Adsorption of Cd(II) from Aqueous Solution Using Zeolite-Based Geopolymer, Synthesized from Coal Fly Ash: Kinetic, Isotherm and Thermodynamic Studies. *Arabian Journal of Chemistry*
- Judy Retti B. Witono dan Arry Miryanti. 2015. *Skripsi*. Pengembangan Adsorben *Activated Fly Ash* untuk Reduksi Ion Cu²⁺ dan Cr⁶⁺ dalam Limbah Cair Industri Tekstil. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Katolik Parahyangan
- Jumaeri, W. Astuti. W. T. P. Lestari. 2007. Preparasi dan Karakterisasi Zeolit dari Abu Layang Batubara Secara Alkali Hidrotermal. *Reaktor Vol. 11 No. 1*
- Keka O, Narayan C. P, dan Amar N.S. 2004. *Zeolite from Fly Ash: Synthesis and Characterization*. Bull Mater, Sci Vol 27 No. 6
- Kementrian Lingkungan Hidup. 1990. *Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan*. Kantor Menteri Negara Kependudukan Lingkungan Hidup. Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup. Kep-51/MNLH/2004. Sekretariat
- Ketaren, S. 2008. *Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan*. Cetakan Pertama. Universitas Indonesia Press. Jakarta
- Khopkar, S.M. 1984. *Konsep Dasar Kimia Analitik* (terjemahan), Bombay: Analytical Laboratory Department of Chemistry Indian Institute of Technology Bombay
- Kustono. 2010. Karakterisasi dan Studi Ikatan Adsorpsi Merkuri (II) pada Biomassa Daun Enceng Gondok

- (Eichornia Crassipes). *Laporan Penelitian*. UIN Maulana Malik Ibrahim Malang
- Letdi Desisandi Kusuma Wardani. 2018. Karakteristik Fly Ash (Abu Layang) Batubara sebagai Material Adsorben pada Limbah Cair yang Mengandung Logam. *Skripsi*. Jurusan Pendidikan fisika.Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Negeri Yogyakarta
- Marouane El Alouani. 2019. Comparative study of the adsorption of micropollutant contained in aqueous phase using coal fly ash and activated coal fly ash: kinetic and isotherm studies. *Journal of morocco university*
- Marwan, KT. 2016. *Sintesis Zeolit dari Abu Layang (Fly Ash) dengan metode hidrotermal dan uji adsorbtivitas terhadap Logam Tembaga (Cu)*
- Metta Sylviana Dewi. 2015. Pemanfaatan Arang Kulit Pisang Raja Teraktivasi H₂SO₄ Untuk Menurunkan Kadar Ion Pb²⁺ Dalam Larutan. *Skripsi*. Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNNES. Semarang
- Mimura, H. 2001. Alkali Hydrothermal Synthetis of Zeolites from Coal Fly ash and Their Uptake Properties of Cesium Ion. *Journal of Nuclear Science and Technology*
- Mohadi, R., Saputra A., Hidayati, N., dan Lesbani, A. 2014. Studi Interaksi Ion Logam Mn²⁺ dengan Selulosa dari Serbuk Kayu. *Jurnal Kimia* No. 8 Vol. 1
- Moreno Castilla, Carrasco Marrin, Lopez Ramon, Alvares Merino, *Carbon* 39 (2001) 1415-1420
- Muchjidin, 2006, *Pengendalian Mutu dalam Industri Batu bara*, Penerbit ITB Press, Bandung
- Mufrodi, Zahrul, Bachrun S. dan Arif H. 2010. *Modifikasi limbah abu layang sebagai material baru adsorben*. Makalah disajikan dalam Prosiding Seminar Nasional

- Teknik Kimia “Kejuangan”. Universitas Ahmad Dahlan
- Mulder, M. 1996. *Basic Principle Of Membrane Technology*. Kluwer Academic Publ. London
- Ojha, K., Pradhan, N. C., and Samanta, A. N. 2004. Zeolite from fly ash Synthesis and Characterization. *Journal Material Science Vol. 27 No. 6*
- Oktiawan, Wiharyanto. 2016. Pengaruh konsentrasi activator NaOH dan Tinggi Kolom Pada Arang Aktif dari Kulit Pisang terhadap Efektivitas Penurunan Logam Berat Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) Limbah Cair Industri Elektroplating. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 5 No. 1
- Okwara, C. A & Osaka, E. C. 2006. Caustic Activation of Local Clays for palm Oil Bleaching. *Journal of Engineering and applied Science*. 1. 4
- Paryanto dan Wusana Agung Wibowo. 2017. Pemanfaatan karbon aktif dari ampas *mangrovesisa* hasil pembuatan zat warna alami untuk penurunan kandungan COD limbah cair Industri tahu. *Jurnal Teknik Kimia Universitas Sebelas Maret*
- Petrovic, J. T. 2016. Alkali Modified Hydrochar of Grape Pomace as a Perspective Adsorbent of Pb²⁺ from Aqueous Solution. *Journal of Environmental Management*
- Pratiwi Dwi Jananti, Jumaeri & Ella Kusumastuti. 2013. Sintesis Zeolit dari Abu Layang Batubara Melalui Modifikasi Proses Hidrotermal. *Jurnal Kimia* Vol. 11 No. 2
- Purwanto, A., Balgis, R., Winardi, S. 2009. A Facile Method For Production Of High-Purity Silica Xerogels From Bagasse Ash. *Advanced Powder Technology*. Vol. 20
- Reri Afrianita¹, Yommi Dewilda dan Monica Rahayu. 2013. Studi penentuan kondisi optimum fly ash sebagai adsorben dalam menyisihkan logam berat Kromium (Cr). *Jurnal Teknik Lingkungan*, Universitas Andalas

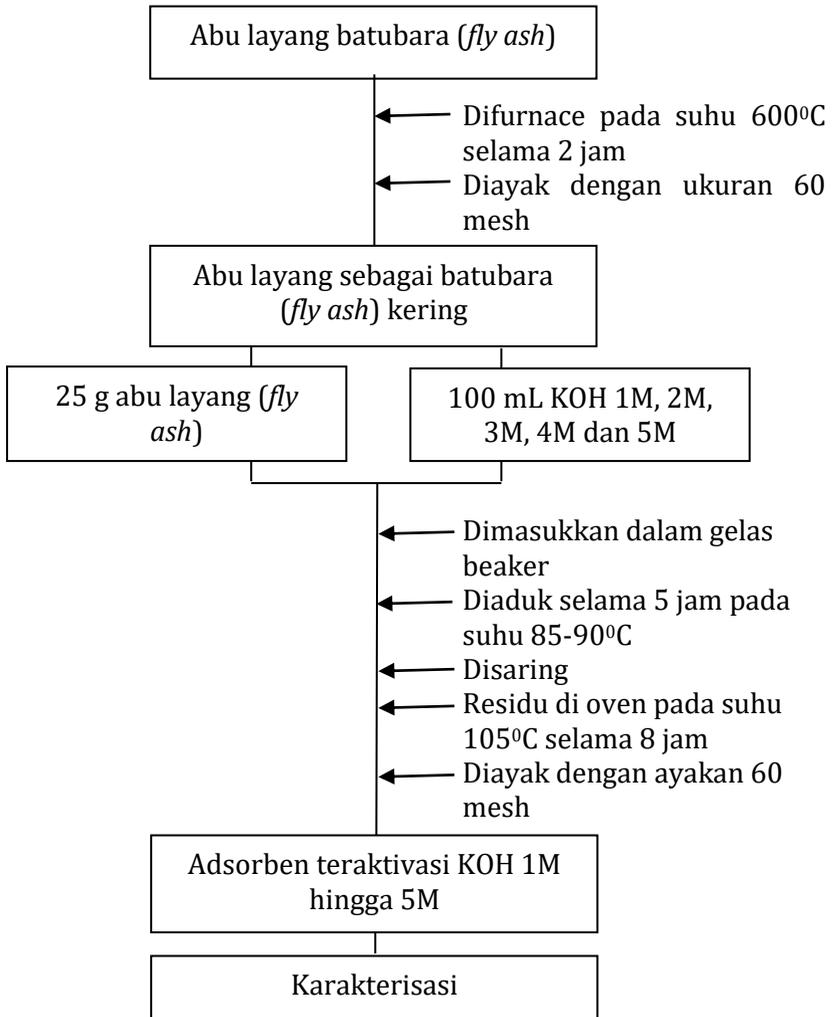
- Riapanitra, Anung, Setyaningtyas T, dan Riayani K. 2006. Penentuan Waktu Kontak dan pH Optimum Penyerapan Metilen Biru Menggunakan Abu Sekam Padi. *Journal Molekul Vol. 1 No. 1*
- Rizkamala. 2011. Adsorpsi ion logam Cr (total) dalam limbah cair Industri pelapisan logam menggunakan bulu ayam. *Skripsi*. Jurusan kimia. Universitas Negeri Semarang
- Sastrohamidjojo, H. 1992. *Spektroskopi Inframerah*. Cetakan Pertama. Yogyakarta: Penerbit Liberti
- Shofa. 2012. Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Baku Ampas Tebu dengan Aktivasi Kalium Hidroksida. *Skripsi*. Program Studi Teknik Kimia. Fakultas Teknik. Depok
- Slamet dan karina. 2017. Pemanfaatan limbah *fly ash* untuk penanganan limbah cair ammonia. *Jurnal Kimia Vol. 39 No. 2*
- Socrates. 1994. *Infrared Characteritic Group Frequencies Tables and Charts Second Edition*. John Wiley and Sons Inc. New York
- Sudarwin. 2008. Analisis Spesial Pencemaran Logam Berat (Pb dan Cd) Pada Sedimen Aliran Sungai Dari Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Jatibarang Semarang. *Tesis*. Magister Kesehatan Lingkungan. Universitas Diponegoro. Semarang
- Sukawati, Tri. 2008. *Penurunan Konsentrasi Chemical Oxygen Demand (COD) pada Air Limbah Laundry dengan Menggunakan Reactor Biosandfilter Diikuti dengan Reaktor Activated carbon*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia
- Tri Susanto. 2011. Kajian Kemampuan Adsorpsi Zeolit Alam Aktif Terimmobilisasi Dithizon terhadap Limbah Ion Logam Cd(II) Terkompetisi Mg(II) dan Cu(II) secara Simultan. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri Vol. 22 No. 1*
- Tualeka, M. K. 2016. Sintesis Zeolit dari abu layang (*fly ash*) dengan metode hidrotermal dan Uji adsorbtivitas

- terhadap logam Tembaga (Cu). *Skripsi*. Fakultas Sains dan Teknologi: Universitas Islam Negeri Alauddin
- Wahyuni, S. 2010. Adsorpsi Ion Logam Zn(II) Pada Zeolit A yang Disintesis dari Abu Dasar Batubara PT Ipmomi Paiton Dengan Metode Batch. *Tugas Akhir*. Jurusan Kimia. Fakultas MIPA ITS. Surabaya
- Wang, W., Onsanit, S & Dang, F. 2012. Dietary bioavailability of cadmium. Inorganic mercury and zinc to a marine fish: Effect of food composition and type. *Aquaculture* 356-357
- Wardani, Ratih Kusuma. 2012. Pemanfaatan abu bawah batubara (*bottom ash*) teraktivasi sebagai adsorben ion logam Cd²⁺. *Skripsi*. Jurusan Kimia. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas airlangga
- Wardhani, P. 2003. Rambut Manusia Sebagai Adsorben Logam Kadmium (Cd). *Skripsi*. Jurusan Kimia. Fakultas MIPA UNAIR. Surabaya
- White, S. C., E. D. Case. 1990. Characterization of Fly Ash From Coal-Fired Power Plants. *Journal Material Science*. Vol. 25
- Yan. S. Jiang. 2003. Dissolving Mechanisme of High Sulfate fly ash in water. *Journal Nanjing University Tevhnology*
- Zhirong, L., et. All. 2011. *FTIR and XRD analysis of Natural Na-bentonite and Cu(II) Loaded Na-bentonite*. *Spectrochimica Acta Part A* 79
- Zuhriyah, A.L. 2005. Studi Termodinamika Adsorpsi Zat Warna Malachite Green Olah Arang Aktif Tempurung Kelapa. *Skripsi*. Jurusan kimia. Fakultas MIPA UNAIR. Surabaya

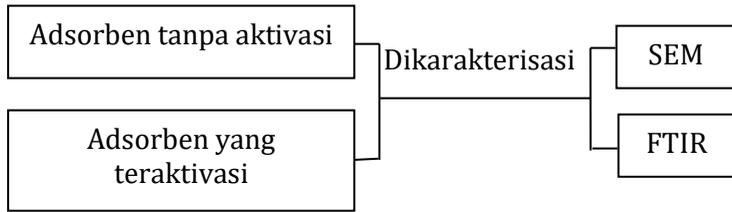
Lampiran 1

Skema Kerja

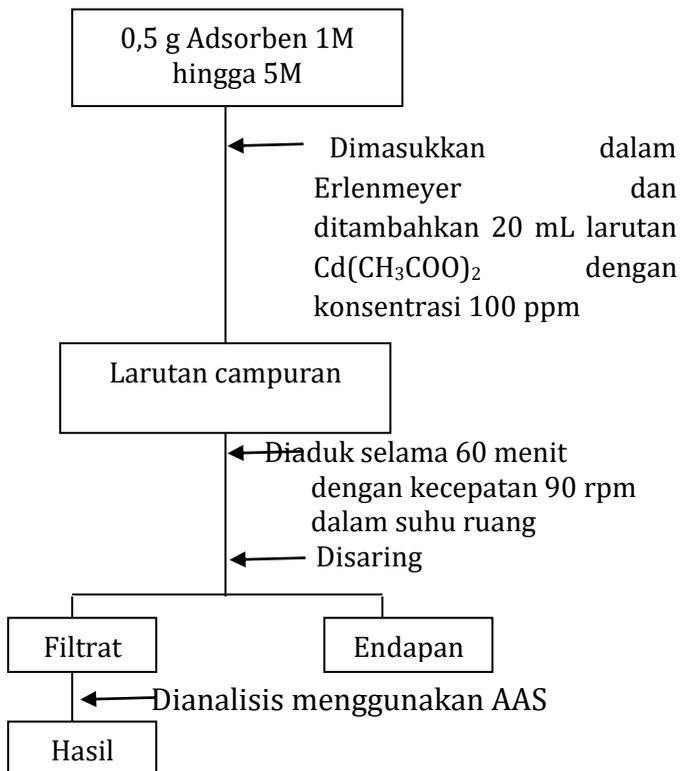
1. Sintesis Adsorben



2. Karakterisasi

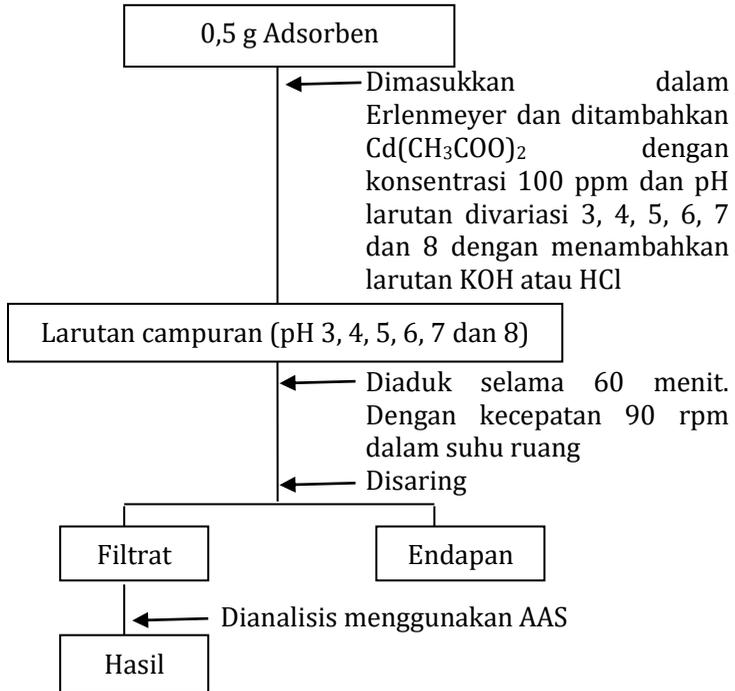


3. Uji Kapasitas Adsorpsi Adsorben

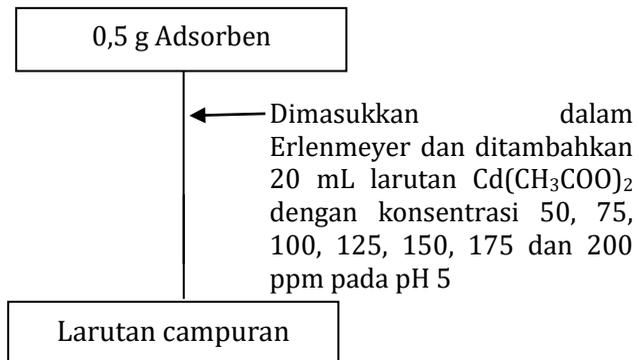


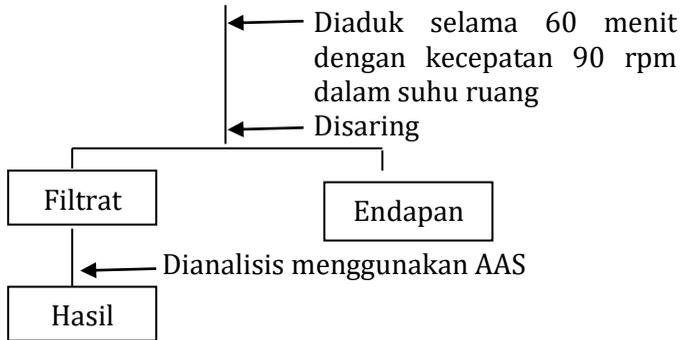
4. Penentuan Kondisi Optimum

4.1 Optimasi pH

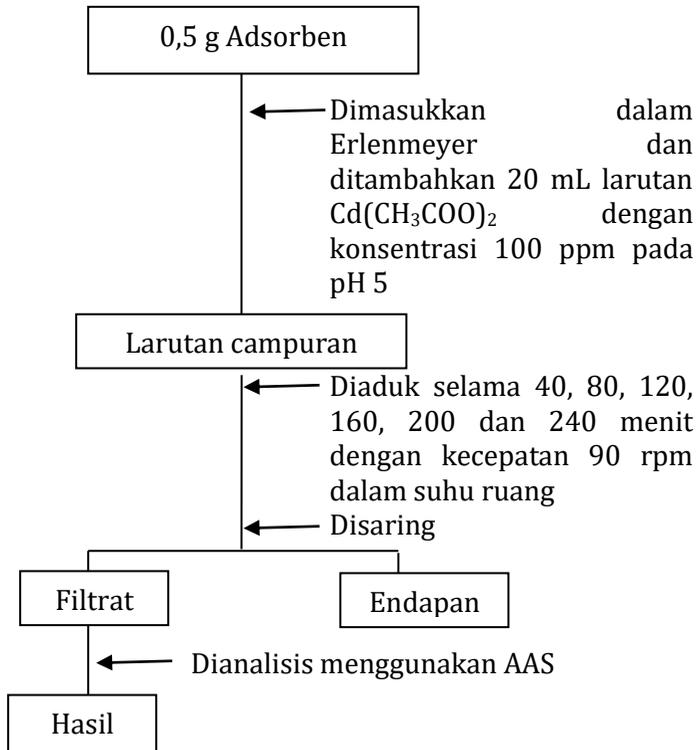


4.2 Optimasi Konsentrasi Larutan

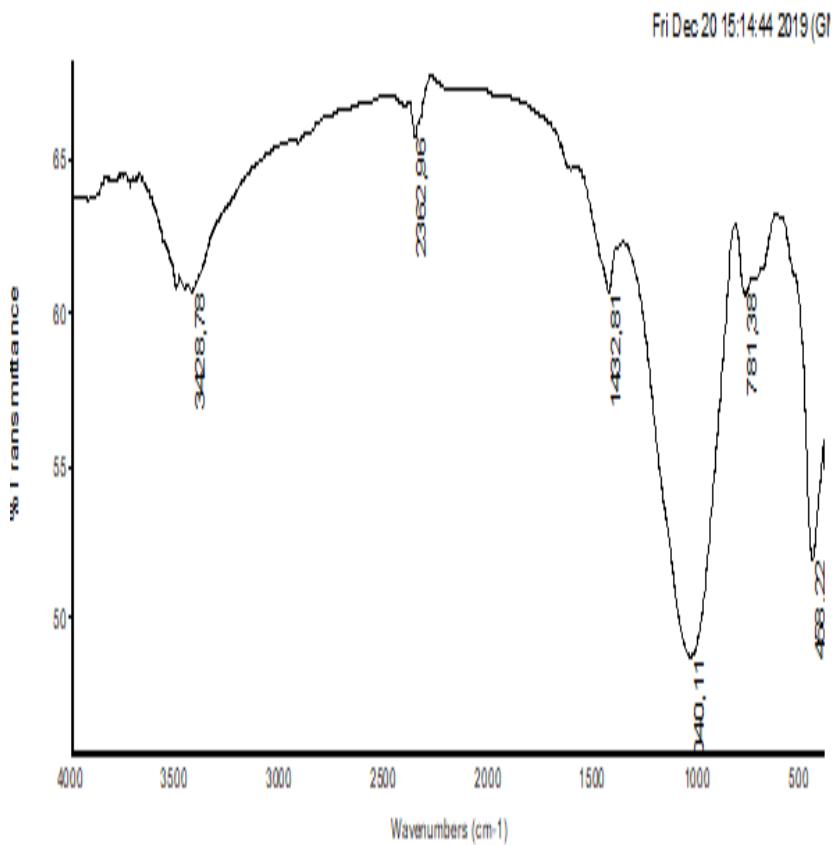




4.3 Optimasi Waktu Kontak

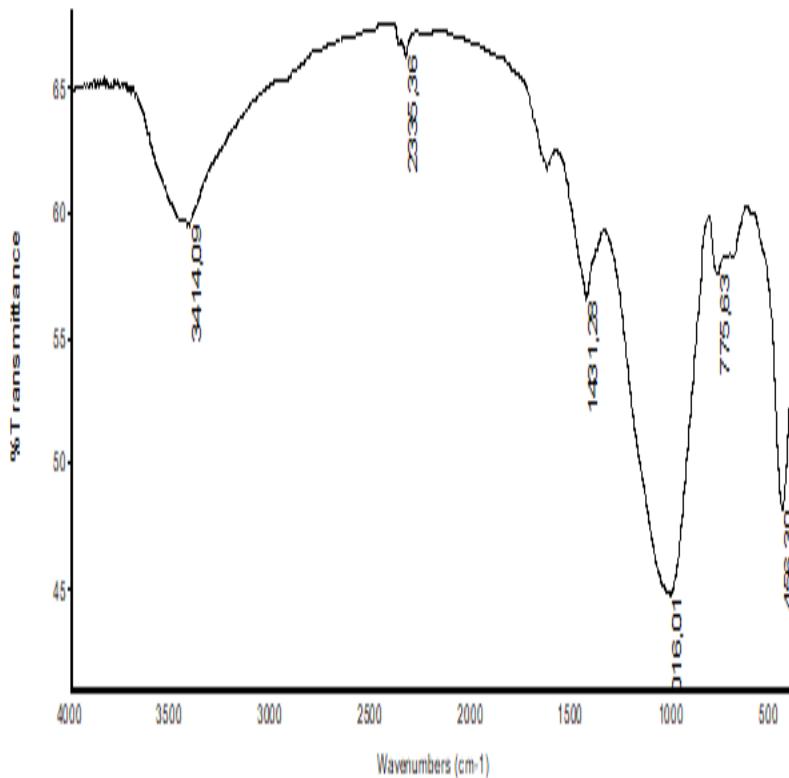


Lampiran 2. Spektra FTIR *fly ash* teraktivasi KOH 1M



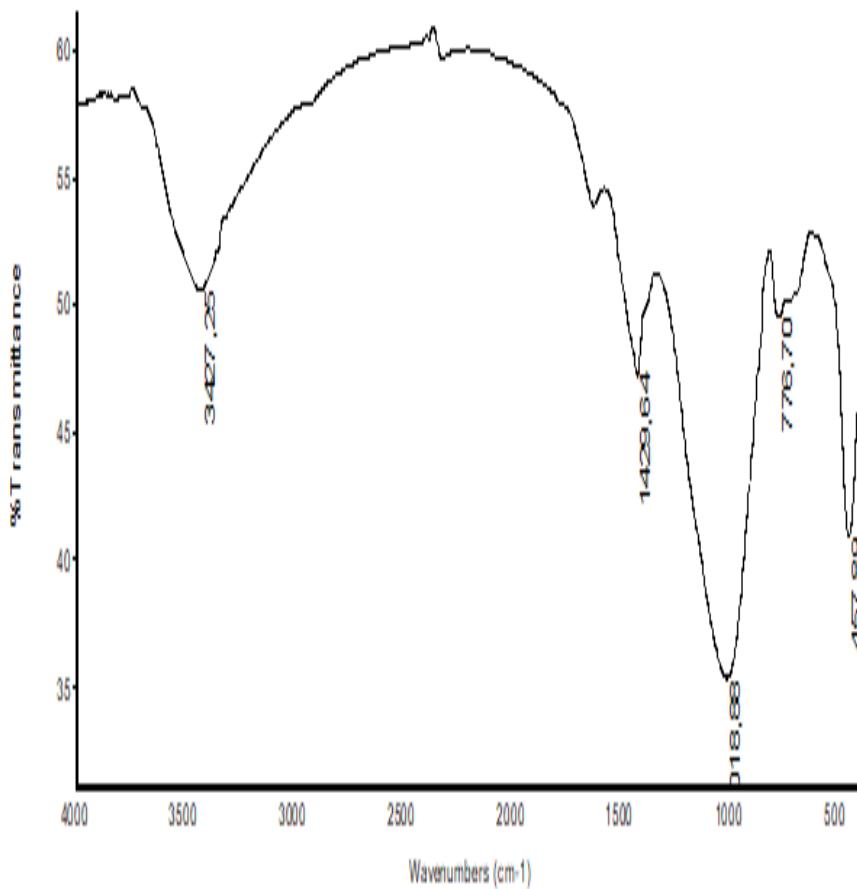
Lampiran 3. Spektra FTIR *fly ash* teraktivasi KOH 2M

Fri Dec 20 15:15:43 2019 (G)



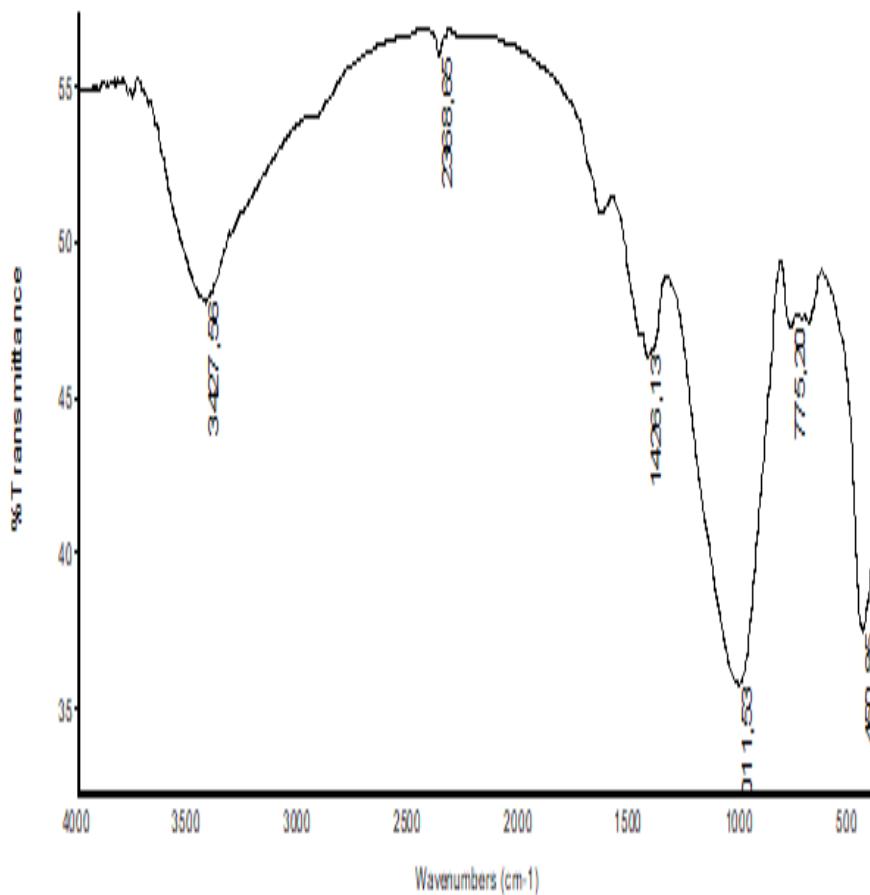
Lampiran 4. Spektra FTIR *fly ash* teraktivasi KOH 3M

Fri Dec 20 15:16:20 2019 (GI)



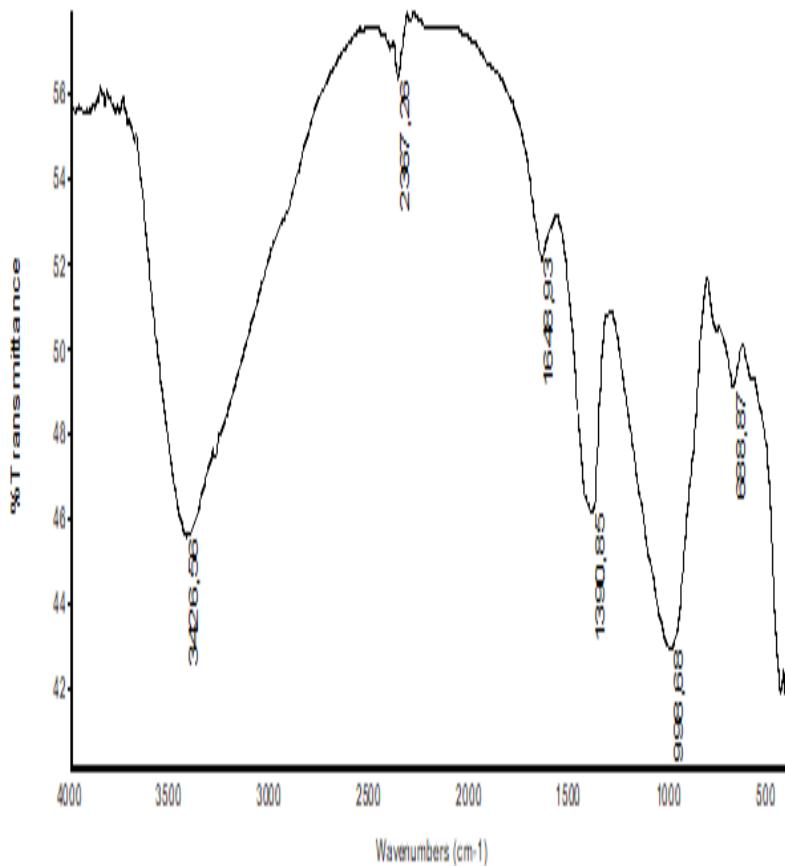
Lampiran 5. Spektra FTIR *fly ash* teraktivasi KOH 4M

Fri Dec 20 15:17:14 2019 (GI)



Lampiran 6. Spektra FTIR *fly ash* teraktivasi KOH 5M

Fri Dec 20 15:17:58 2019 (G)



Lampiran 7. Data pengaruh pH adsorpsi ion logam Cd²⁺ pada material *fly ash* teraktivasi KOH

pH	Co (mg/L)	Ce(mg/L)	Qe (mg/g)
3	100	0,348	3,9860
4	100	0,267	3,9893
5	100	0,085	3,9966
6	100	0,144	3,9942
7	100	0,154	3,9938
8	100	0,182	3,9927

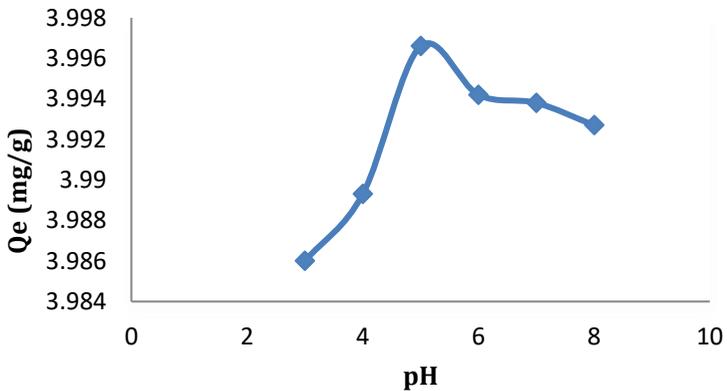
Perhitungan kapasitas adsorpsi

$$Q_e = \frac{(C_{awal} - C_{akhir}) \times V_{larutan}}{m}$$

$$Q_e = \frac{(100 - 0,348) \frac{mg}{L}}{0,5} \times 0,02 L$$

$$Q_e = 3,9860 \text{ mg/}$$

(Untuk variasi pH yang lain dapat digunakan cara yang sama)



Lampiran 8. Data pengaruh konsentrasi adsorbat terhadap adsorpsi Ion Logam Cd²⁺ pada material *fly ash* teraktivasi KOH

Konsentrasi (mg/L)	C ₀ (mg/L)	C _e (mg/L)	Q _e (mg/g)
50	50	1,1960	1,9521
75	75	0,6120	2,9755
100	100	0,0850	3,9966
125	125	27,025	3,9190
150	150	79,016	2,8393
175	175	114,467	2,4213
200	200	144,003	2,2398

Perhitungan kapasitas adsorpsi

a. Konsentrasi 50 mg/L

$$\begin{aligned}
 Q_e &= \frac{(C_{awal} - C_{akhir}) \times V_{Larutan}}{m} \\
 &= \frac{(50 - 1,1960) \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,5} \times 0,02 \text{ L} \\
 &= 1,9521 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

b. Konsentrasi 75 mg/L

$$\begin{aligned}
 Q_e &= \frac{(C_{awal} - C_{akhir}) \times V_{Larutan}}{m} \\
 &= \frac{(75 - 0,6120) \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,5} \times 0,02 \text{ L} \\
 &= 2,9755 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

c. Konsentrasi 100 mg/L

$$\begin{aligned}
 Q_e &= \frac{(C_{awal} - C_{akhir}) \times V_{Larutan}}{m} \\
 &= \frac{(100 - 0,085) \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,5} \times 0,02 \text{ L}
 \end{aligned}$$

$$= 3,9966 \text{ mg/g}$$

d. Konsentrasi 125 mg/L

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{(\text{Cawal}-\text{Cakhir}) \times V \text{Larutan}}{m} \\ &= \frac{(125-27,025) \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,5} \times 0,02 \text{ L} \\ &= 3,9190 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

e. Konsentrasi 150 mg/L

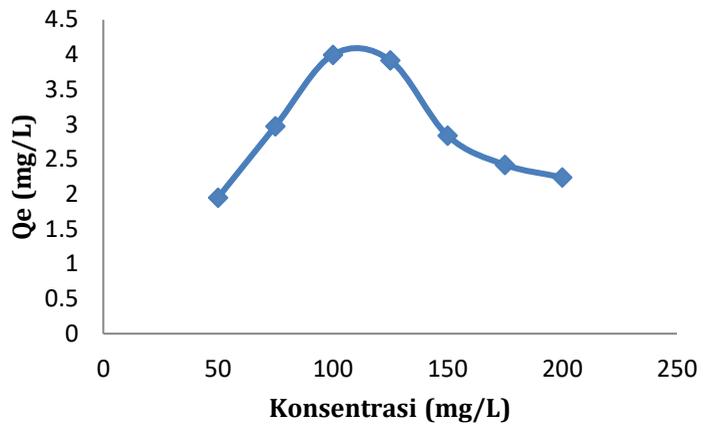
$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{(\text{Cawal}-\text{Cakhir}) \times V \text{Larutan}}{m} \\ &= \frac{(150-79,016) \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,5} \times 0,02 \text{ L} \\ &= 2,8393 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

f. Konsentrasi 175 mg/L

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{(\text{Cawal}-\text{Cakhir}) \times V \text{Larutan}}{m} \\ &= \frac{(175-114,467) \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,5} \times 0,02 \text{ L} \\ &= 2,4213 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

g. Konsentrasi 200 mg/L

$$\begin{aligned} Q_e &= \frac{(\text{Cawal}-\text{Cakhir}) \times V \text{Larutan}}{m} \\ &= \frac{(200-144,003) \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,5} \times 0,02 \text{ L} \\ &= 2,2398 \text{ mg/g} \end{aligned}$$



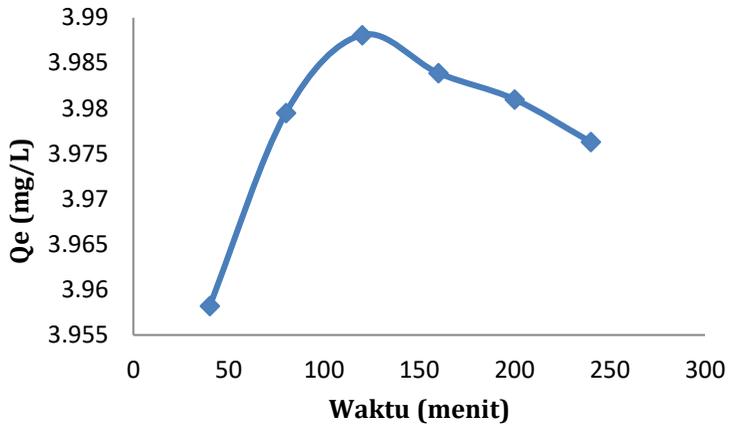
Lampiran 9. Data pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi ion logam Cd²⁺ pada material *fly ash* teraktivasi KOH

t (menit)	Co (mg/L)	Ce(mg/L)	Qe (mg/g)
40	100	1,0445	3,9582
80	100	0,5125	3,9795
120	100	0,2955	3,9881
160	100	0,4010	3,9839
200	100	0,4740	3,9810
240	100	0,5910	3,9763

Perhitungan kapasitas adsorpsi

$$\begin{aligned}
 Q_e &= \frac{(C_{awal} - C_{akhir}) \times V \text{Larutan}}{m} \\
 &= \frac{(40 - 1,0445) \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{0,5} \times 0,02 \text{ L} \\
 &= 3,9582 \text{ mg/g}
 \end{aligned}$$

(Untuk variasi waktu kontak sintesis yang lain dapat digunakan cara yang sama)

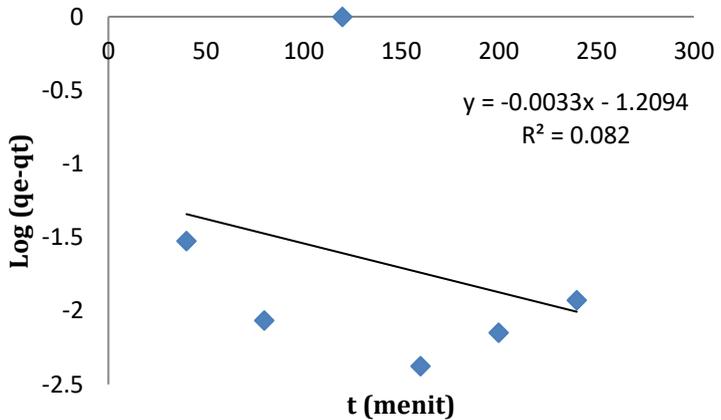


Lampiran 10. Data perhitungan kinetika adsorpsi pada *Pseudo* orde satu dan *pseudo* orde dua

a. Pseudo Orde Satu

t	q _t	q _e	q _e - q _t	Log (q _e - q _t)
40	3,9582	3,9881	0,0299	-1,5243
80	3,9795	3,9881	0,0086	-2,0655
120	3,9881	3,9881	0	-
160	3,9839	3,9881	0,0042	-2,3767
200	3,9810	3,9881	0,0071	-2,1487
240	3,9763	3,9881	0,0118	-1,9281

Grafik untuk persamaan *Pseudo* orde satu



Sehingga diperoleh persamaan garis sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = -0,003x - 1,209$$

$$R^2 = 0,082$$

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

$$\frac{k_1}{2,303} = -0,003$$

$$K_1 = -0,0069$$

$$\text{Log } q_e = b$$

$$\text{Log } q_e = -1,209$$

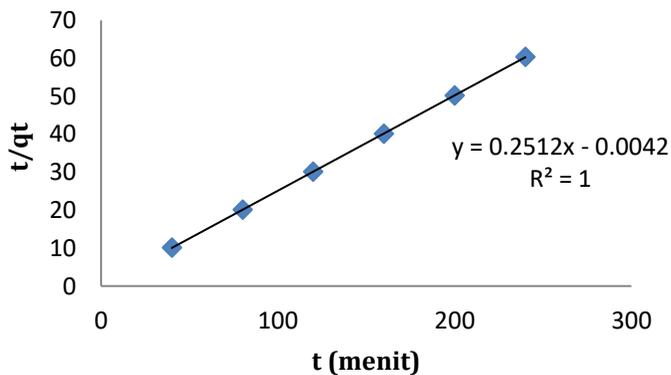
$$q_e = 10^{-1,209}$$

$$= 0,0618$$

b. Pseudo orde dua

t	q _t	q _e	t/q _t
40	3,9582	3,9881	10,1056
80	3,9795	3,9881	20,1030
120	3,9881	3,9881	30,0895
160	3,9839	3,9881	40,1616
200	3,9810	3,9881	50,2386
240	3,9763	3,9881	60,3576

Grafik untuk persamaan *Pseudo orde dua*



Sehingga diperoleh persamaan garis sebagai berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,251x - 0,004$$

$$R^2 = 1$$

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

$$\frac{1}{q_e} = 0,251$$

$$\frac{1}{0,251} = q_e$$

$$q_e = 3,9840$$

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

$$\frac{1}{k_2 \cdot 3,9840^2} = -0,004$$

$$\frac{1}{-0,004 \cdot 3,9840^2} = k_2$$

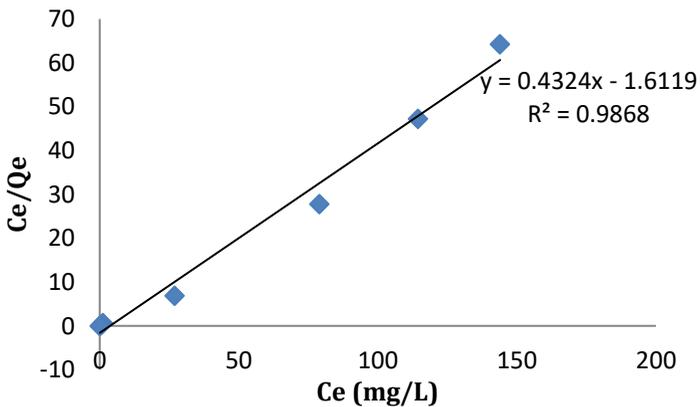
$$K_2 = \frac{1}{-0,0634} = -15,7728$$

Lampiran 11. Data perhitungan Isoterm Adsorpsi

a. Isoterm Langmuir

C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/g)	C_e/Q_e
50	1,1960	1,9521	0,6126
75	0,6120	2,9755	0,2056
100	0,0850	3,9966	0,0212
125	27,025	3,9190	6,8958
150	79,016	2,8393	27,8293
175	114,467	2,4213	47,2750
200	144,003	2,2398	64,2927

Berdasarkan data pada tabel maka dapat dibuat kurva C_e vs $\frac{C_e}{q_e}$ dengan slope adalah $\frac{C_e}{q_m}$ dan intersep adalah $\frac{1}{K_L q_m}$. Kurva C_e vs $\frac{C_e}{q_e}$ dapat dilihat pada Gambar L.11.a.



Gambar L11.a Kurva C_e vs $\frac{C_e}{q_e}$

Berdasarkan Gambar L11.a diperoleh persamaan isotherm Langmuir adalah $y = 0,432x - 1,611$ dengan $R^2 = 0,986$. Untuk mencari nilai q_m dan K_L maka dapat dihitung seperti cara berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = 0,432x - 1,611$$

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

$$0,432 = \frac{1}{q_m}$$

$$q_m = \frac{1}{0,432} = 2,3148$$

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

$$-1,611 = \frac{1}{K_L \cdot 2,3148}$$

$$K_L \cdot 2,3148 = \frac{1}{-1,611}$$

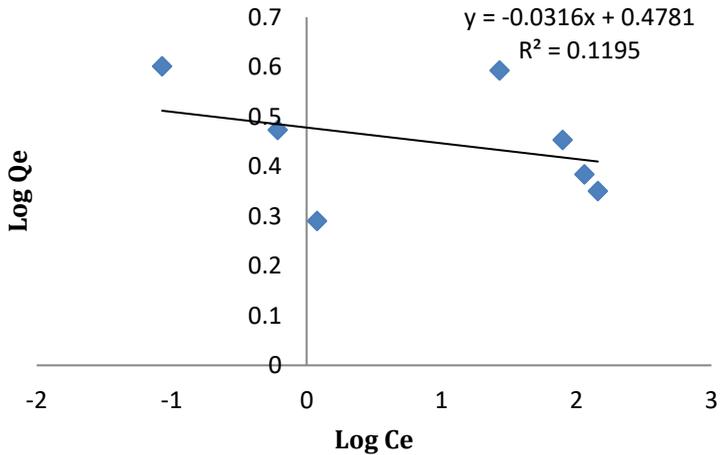
$$K_L \cdot 2,3148 = -0,6207$$

$$K_L = \frac{-0,6207}{2,3148} = -0,2681$$

b. Isotherm Freundlich

C_o	C_e	Q_e	$\text{Log } C_e$	$\text{Log } Q_e$
50	1,1960	1,9521	0,0777	0,2905
75	0,6120	2,9755	-0,2132	0,4735
100	0,0850	3,9966	-1,0705	0,6016
125	27,025	3,9190	1,4317	0,5931
150	79,016	2,8393	1,8977	0,4532
175	114,467	2,4213	2,0586	0,3840
200	144,003	2,2398	2,1583	0,3502

Berdasarkan data pada tabel maka dapat dibuat kurva $\log C_e$ vs $\log q_e$ dengan slope adalah $\frac{1}{n}$ dan intersep adalah $\log K_f$. Kurva $\log C_e$ vs $\log q_e$ dapat dilihat pada gambar L11.b.



Gambar L11.b kurva $\log C_e$ vs $\log q_e$

Berdasarkan Gambar L11.b diperoleh persamaan isotherm Freundlich adalah $y = -0,031x + 0,478$ dengan $R^2 = 0,119$. Untuk mencari nilai n dan K_f maka dapat dihitung seperti cara berikut:

$$y = ax + b$$

$$y = -0,031x + 0,478$$

$$b = \log K_f$$

$$0,478 = \log K_f$$

$$K_f = 10^{0,478} = 3,0060$$

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

$$-0,031 = \frac{1}{n}$$

$$n = \frac{1}{-0,031} = -32,2580$$

RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

1. Nama Lengkap : Novi Zulfa Ismah
2. Tempat & Tgl. Lahir : Semarang, 06 November 1997
3. Alamat Rumah : Jl. Krajan Bagus II Rt 07 Rw 02,
Sembung Harjo, Kec. Genuk,
Semarang
4. HP : 082136480295
5. E-mail : novizulfa91@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

- a. MI Tanwirul Qulub
- b. MTs Tanwirul Qulub
- c. MAN 2 SEMARANG

Semarang, 16 Maret 20



Novi Zulfa Ismah
1508036007