

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI Fe₃O₄-TiO₂/ KARBON
AKTIF UNTUK ADSORPSI ION LOGAM Cu(II) DAN Cd(II)
DALAM LARUTAN**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains
(S.Si.) Program Studi Kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia Yogyakarta**



Diajukan oleh:

ENDAH DESIYANI

No Mhs : 16612056

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2021

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI Fe₃O₄-TiO₂/ KARBON
AKTIF UNTUK ADSORPSI ION LOGAM Cu(II) DAN Cd(II)
DALAM LARUTAN**



SKRIPSI

yang diajukan oleh :

ENDAH DESIYANI

No Mhs : 16612056

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Penguji Skripsi
Prodi Ilmu Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 2 Agustus 2021

Dewan penguji

1. Drs.Allwar,M.Sc.Ph.D.
2. Argo Khoirul Anas, S.Si., M.Sc.
3. Gani Purwiandono, S.Si.,M.Sc.,Ph.D.

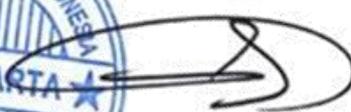
Tanda tangan



Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia




Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D.

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Endah Desiyani

Nim 16612056

Program Studi : Kimia

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif Untuk Adsorpsi Ion Logam Cu(II) dan Cd(II) Dalam Larutan”. Bersifat asli dan tidak *copy-paste* skripsi terdahulu maupun jurnal yang telah diterbitkan. Apabila ada referensi yang digunakan dari jurnal dan buku yang telah diterbitkan maka nama penulis sudah tercantum didalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 24 Agustus 2012

Yang menyatakan,



Endah Desiyani

(16612056)

HALAMAN PERSEMBAHAN

- Kupersembahkan untuk kedua orangtuaku (Bapak Margiyono Alm) dan Ibu (Janiah) serta saudara-saudara kandungku (Yunita Salsabila dan Muhammad Refandi) yang telah memberikan dukungan dan doa serta selalu mencurahkan kasih sayang dan cinta.
- Sesungguhnya sholatku, ibadahku, hidupku dan matiku semuanya bagi Allah, Rabb semesta alam (Q.S.Al-An'am: 162)
- Tiada manusia yang paling mulia selain kekasih Allah, Rasullullah Shallallahu'alaihi wasallam, nabi agung dan junjungan alam. Maka berkahilah dan permudahkan kehidupan di dunia dan di akhirat berkat syafa'atnya.
- Tiga tahapan ilmu Allah jika seseorang memasuki tahap pertama, maka dia akan sombong. Jika ia memasuki tahap kedua maka ia akan rendah hati, jika ia memasuki tahap ketiga maka ia akan merasa dirinya tidak ada apa-apanya (Umar bin Khattab).

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah, rasa syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan saya kecerdasan dan kemampuan dalam mengerjakan skripsi dan tidak lupa sholawat serta salam penulis haturkan kepada rasul kita Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si.) Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia Yogyakarta dengan judul "*Sintesis dan Karakterisasi Fe_{3O_4} - TiO_2 /Karbon aktif Untuk Adsorpsi Ion Logam Cu(II) dan Cd(II) Dalam Larutan*". Selama penyusunan Skripsi ini penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak akan terwujud tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak, baik berupa saran, kritik, bimbingan maupun masukan lainnya. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT serta Nabi Muhammad SAW dan para pengikutnya.
2. Prof. Riyanto., S.Pd., M.Si., Ph.D selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia
3. Bapak Dr. Dwiarso Rubiyanto, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Drs.Allwar,M.Sc.Ph.D., yang telah membimbing saya dan membantu saya menyelesaikan skripsi ini.
5. Mama, Revan yang selama ini sudah mendukung saya baik dalam keadaan suka maupun duka.
6. Seluruh pihak yang membantu dan support saya, terimakasih karena bantuan kalian skripsi ini dapat terselesaikan dengan lancar dan tepat waktu.

Skripsi ini masih perlu digali lagi penelitiannya dengan menggunakan limbah industri. Diharapkan skripsi ini bermanfaat untuk acuan kepenelitian lanjutan agar penelitian ini terus berkembang dan bisa diaplikasikan ke masyarakat luas. Aamiin

Wassalamu'alaikum Wr, Wb

Yogyakarta, 20 April 2021

Penulis



Endah Desiyani



**SINTESIS DAN KARAKTERISASI Fe₃O₄-TiO₂ / KARBON AKTIF
UNTUK ADSORPSI ION LOGAM Cu(II) DAN Cd(II) DALAM LARUTAN**

INTISARI

Endah Desiyani

NIM: 16612056

Telah dilakukan penelitian tentang sintesis dan karakterisasi Fe₃O₄-TiO₂/karbon aktif sebagai adsorben untuk mengadsorpsi logam berat Cu(II) dan Cd(II). Hasil karakterisasi menggunakan FTIR untuk Fe₃O₄-TiO₂/karbon aktif ditunjukkan dengan adanya serapan pada bilangan gelombang 623 cm⁻¹ (getaran ulur Fe-O), pada daerah serapan 951 cm⁻¹ (getaran ulur Ti-O). Puncak serapan adalah 1081,31 cm⁻¹ (CO alifatik), pita serapan 1600 cm⁻¹ (getaran C=C), dan daerah serapan 33000 cm⁻¹ hingga 3374 cm⁻¹ (peregangan OH). Karakterisasi dengan XRD menunjukkan bahwa Fe₃O₄-TiO₂/karbon aktif merupakan material kristal dengan puncak difraksi yang muncul pada sudut 2θ = 25.602° , 26.943° 48.312° , 54.142 ° , 62.958° memiliki ukuran kristal 27,230 nm hingga 63.904 nm dan memiliki struktur *Face Centered Cubic* (FCC). Kapasitas adsorpsi pada pH optimum logam Cu(II) dan Cd(II) adalah 9,2 mg/g dan 8,3 mg/g, serta kapasitas maksimum karbon aktif Fe₃O₄/TiO₂ terhadap logam Cu(II) adalah 7,194 mg/g. waktu kontak optimum untuk logam Cu(II) dan Cd(II) adalah 4,152 mg/g dan 5,656 mg/g, dengan laju adsorpsi pada logam Cu(II) sebesar 1,0237 mg/g.menit sedangkan pada logam Cd(II) sebesar 1,1043 mg/ g.menit .

Kata kunci : Karbon Aktif, Fe₃O₄, TiO₂, Cu(II), Cd(II).

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF Fe₃O₄-TiO₂/ ACTIVATED CARBON FOR ADSORPTION OF METAL IONS Cu(II) AND Cd(II) IN SOLUTION

ABSTRACT

Endah Desiyani

NIM: 16612056

Research has been carried out on the synthesis and characterization of Fe₃O₄-TiO₂/activated carbon as adsorbents to adsorb Cu(II) and Cd(II). The results of characterization using FTIR for composite Fe₃O₄-TiO₂/activated carbon are shown by the presence of absorption at a wave number of 623 cm⁻¹ (Fe-O stretching vibration), in the absorption region 951 cm⁻¹ (Ti-O stretching vibration) the absorption peak is 1081.31 cm⁻¹ (aliphatic CO), an absorption band of 1600 cm⁻¹ (C=C vibration), and an adsorption region of 33000 cm⁻¹ to 3374 cm⁻¹ (stretching OH). Characterization by XRD showed that the Fe₃O₄/TiO₂ activated carbon is a crystalline material with a diffraction peak that appears at an angle of $2\theta = 25.602^\circ, 26.943^\circ, 48.312^\circ, 54.142^\circ, 62.958^\circ$ has a crystal size of 27.230 nm to 63.904 nm and has a Face Centered Cubic (FCC) structure. The adsorption capacity at the optimum pH of Cu(II) and Cd(II) metals was 9.2 mg/g and 8.3 mg/g, and the maximum capacity of Fe₃O₄-TiO₂/activated carbon to Cu(II) metal was 7.194 mg/g. the optimum contact time for Cu(II) and Cd(II) is 4.152 mg/g and 5.656 mg/g, with the adsorption rate on Cu(II) of 1.0237 mg/g.minute while on Cd(II) metal of 1.1043 mg /g.minute

Keywords: Activated Carbon, Fe₃O₄, TiO₂, Cu(II), Cd(II).

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II	5
BAB III	8
3.1 Karbon Aktif	8
3.3 Adsorpsi	13
3.4 TiO ₂	16
3.5 <i>Magnetic</i> Fe ₃ O ₄	17
Logam Berat	18
3.7 Spektrofotometer Inframerah (FTIR)	26
3.8 X-Ray <i>Diffraction</i> (XRD)	29
3.9 Scanning Elctron Microscopy-EnergyDispersive X-Ray (SEM-EDX)	31
3.10 Atomic Analyzer Spectroscopy (AAS)	33
3.11 Kinetika Adsorpsi	23
BAB IV	35
1.1 Alat dan Bahan Penelitian	35
2.2 Prosedur Penelitian	35
2.2.3 Karakterisasi karbon aktif dan Fe ₃ O ₄ -TiO ₂ /karbon aktif	36
4.2.4 Pengaruh Kondisi Optimum Adsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II)	37
BAB V	38
5.1 Karakterisasi Karbon Aktif dan Fe ₃ O ₄ /TiO ₂	38

5.2 Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi.....	45
5.3 Penentuan Isoterm Adsorpsi.....	52
5.4 Penentuan Kinetika Adsorpsi.....	55
BAB VI.....	60
6.1 Kesimpulan.....	60
Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA.....	61
LAMPIRAN.....	67



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Karbon Aktif Bentuk Serbuk.....	9
Gambar 2. Karbon Aktif Bentuk Granular.....	10
Gambar 3. Karbon Aktif Bentuk Pellet.....	10
Gambar 4. Struktur kimia karbon aktif.....	11
Gambar 5. Interaksi adsorbat dengan adsorben.....	14
Gambar 6. Tipe-tipe kurva isoterm.....	20
Gambar 7. Struktur kimia TiO_2	17
Gambar 8. Struktur kimia Fe_3O_4	17
Gambar 9. Skema instrumen FTIR.....	27
Gambar 10. Skema instrumen XRD.....	31
Gambar 11. Mekanisme SEM-EDX.....	32
Gambar 12. Skema instrumen AAS.....	33
Gambar 13. Grafik kinetika orde pertama semu.....	24
Gambar 14. Grafik kinetika orde kedua semu.....	25
Gambar 15. (A) Spektrum IR karbon aktif dan IR $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ / karbon aktif.....	38
Gambar 16. Difraktogram Karbon Aktif dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif.....	40
Gambar 17. Morfologi (a) karbon aktif (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif.....	42
Gambar 18. Hasil EDX (a) karbon aktif (b) Karbon aktif $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$	43
Gambar 19. Grafik hubungan pH terhadap logam yang teradsorpsi.....	47
Gambar 20. Grafik hubungan konsentrasi terhadap logam teradsorpsi.....	49
Gambar 21. Grafik hubungan waktu kontak terhadap logam yang teradsorpsi.....	51
Gambar 22. Grafik isoterm Langmuir hubungan antara $1/c_e$ terhadap $1/q_e$	53
Gambar 23. Grafik isoterm Freundlich hubungan antara $1/c_e$ terhadap $1/q_e$	53
Gambar 24. Grafik model kinetika orde satu semu.....	55
Gambar 25. Grafik model kinetika orde dua semu.....	56
Gambar 26. Grafik model kinetika difusi intrapartikel.....	57

المعهد العربي للدراسات والبحوث
البيئية والهندسة

DAFTAR TABEL

Table 1. Tipe-tipe isoterm Langmuir	22
Table 2. Bilangan gelombang gugus fungsi	28
Table 3. Data hasil analisis FTIR	39
Table 4. Komposisi unsur dari EDX.....	44
Table 5. Adsorpsi pada variasi pH terhadap logam Cu(II)	46
Table 6. Adsorpsi pada variasi pH terhadap logam Cd(II)	46
Table 7. Adsorpsi pada variasi konsentrasi logam Cu(II).....	48
Table 8. Adsorpsi pada variasi konsentrasi logam Cd(II).....	49
Table 9. Adsorpsi f pada variasi waktu kontak terhadap logam Cu(II)	50
Table 10. Adsorpsi pada variasi waktu kontak terhadap logam Cd(II)	51
Table 11. Parameter Isoterm adsorpsi.....	54
Table 12. Parameter kinetika adsorpsi	56
Table 13. Parameter kinetika difusi intra partikel	57



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Limbah cair hasil produksi industri pabrik umumnya mengandung ion-ion logam berat yang termasuk dalam golongan limbah berbahaya dan beracun (B3) karena tidak dapat terdegradasi dan akan terakumulasi dalam tubuh makhluk hidup yang menyebabkan penyakit dan difungsi organ (Zamani et al., 2013). Logam berat dapat terikat dengan senyawa organik maupun anorganik melalui pembentukan senyawa kompleks yang dapat menyebabkan logam berat mudah terakumulasi dalam lingkungan. Beberapa logam berat yang terdapat dalam limbah cair industri pabrik antara lain adalah Tembaga (Cu) dan Kadmium (Cd) (Irianti, 2017).

Berbagai metode untuk memisahkan logam yang terlarut dalam limbah cair industri telah dikembangkan seperti *chemical precipitation*, *coagulation precipitation* dan *ion exchange*, akan tetapi metode-metode tersebut kurang efektif untuk air limbah dengan kandungan ion logam yang sedikit karena jumlah buangan *sluge* masih banyak (Khaisheh, et al., 2004). Metode lainnya seperti *membrane filtration*, *electrichemical precipitation* dan *membrane electrolysis* membutuhkan biaya material dan biaya operasional yang tinggi (Alemayehu & lennartz, 2010). Aplikasi pemisahan ion logam terlarut dalam limbah cair harus selektif dengan biaya operasi yang terjangkau. Adsorpsi merupakan salah satu pemisahan ion logam terlarut dalam limbah cair yang prosesnya cukup sederhana, bahan mudah didapat, biaya yang relatif murah, dan sangat efektif (Ponnusamy, 2013).

Karbon aktif merupakan adsorben yang paling banyak digunakan dalam proses adsorpsi. Karbon aktif merupakan padatan pendukung yang baik untuk mendispersikan semikonduktor karena material tersebut memiliki pori-pori dengan luas permukaan yang sangat tinggi untuk mengakumulasi senyawa

organik dan bersifat nonpolar, sehingga sifat tersebut menyebabkan karbon aktif memiliki fungsi ganda yaitu sebagai fotokatalis dan adsorben (Widaya, 2019).

Dengan adanya sifat karbon aktif tersebut, kemampuan daya serapnya dapat dimanfaatkan untuk dijadikan adsorben untuk menyerap limbah zat cair seperti ion Tembaga (Cu) dan Kadmium (Cd). Akan tetapi karbon aktif memiliki kelemahan karena sifatnya yang tidak stabil yaitu dalam proses aktivasi pada suhu tinggi zat pengaktif mudah lepas sehingga apabila digunakan untuk menjerap ion logam kurang maksimal, serta memiliki gugus fungsi yang bertindak sebagai sisi aktif dalam jumlah terbatas (Modirshahla, 2011), sehingga perlu dimodifikasi terhadap karbon aktif dengan mengompositkan partikel logam oksida agar proses adsorpsi terjadi secara maksimal (Marshall, 1996) dengan tujuan meningkatkan sisi aktif dari karbon aktif dan luas permukaan adsorben tersebut. Sehingga memiliki daya adsorpsi yang tinggi (Jing, 2012).

TiO₂ dikenal sebagai katalis yang ideal, di bawah iluminasi permukaan kristal TiO₂ menghasilkan elektron (e⁻) dan lubang (h⁺) yang memungkinkan produksi oksigen reaktif seperti radikal bebas hidroksil. Oksigen reaktif tersebut bereaksi dengan ikatan ganda nitrogen dalam pewarna azo, dan dengan demikian limbah terurai menjadi bahan kimia molekul kecil yang tidak beracun. Akan tetapi TiO₂ memiliki kelemahan karena luas permukaan spesifiknya yang rendah dan tingkat adsorpsinya yang rendah. Sehingga TiO₂ perlu dimodifikasi dengan material yang dapat meningkatkan proses adsorpsi (Rauf et al., 2011).

Fe₃O₄ memiliki sifat *superparamagnety* yang dapat menambah dan memperbesar pori-pori, meningkatkan sifat magnetiknya, Fe₃O₄ memiliki aktivitas fotokatalitik yang kuat dengan cara meningkatkan sifat fisika dan kimia sehingga Rijjing et al., (2011) dalam penelitiannya mengatakan campuran karbon aktif dengan Fe₃O₄ memiliki kemampuan adsorpsi yang sangat baik dibandingkan dengan Fe₃O₄ murni. Fe₃O₄ dapat dengan mudah dipisahkan dari larutan melalui pemisahan magnet yang sederhana (Teng et al., 2019).

Penelitian ini dilakukan pembuatan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{/Karbon}$ aktif sebagai adsorben Logam Tembaga (Cu) dan Kadmium (Cd). Dikombinasikan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{/TiO}_2$ dengan karbon aktif dimaksudkan agar material penyusun berperan saling melengkapi sehingga meningkatkan sifat fisik dan meningkatkan efektifitas adsorben menjadi lebih baik karena banyak sisi aktif yang terbentuk. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{/Karbon}$ aktif dan karbon aktif dikarakterisasi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Spectroscopy Infrared*), XRD (*X-Ray Diffraction*) dan SEM- EDX (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray*).

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka dirumuskan suatu masalah penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil Adsorpsi dan karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{/Karbon}$ aktif ?
2. Bagaimana perbandingan hasil karakterisasi karbon aktif dengan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{/Karbon}$ aktif ?
3. Bagaimana kondisi optimum dan kemampuan adsorpsi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{/Karbon}$ aktif ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui cara karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{/Karbon}$ aktif .
2. Mengetahui perbedaan karakterisasi antara karbon aktif $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{/Karbon}$ aktif.
3. Mengetahui kondisi optimum dan membandingkan efektifitas $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{/Karbon}$ aktif.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan yang telah disebutkan maka manfaat penelitian ini adalah:

1. Memperoleh ilmu tentang cara adsorpsi dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2\text{/Karbon}$ aktif.

2. Dapat meminimalisir dampak buruk akibat limbah cair industri pabrik.
3. Memperoleh data optimasi dalam adsorpsi logam berat Cu(II) dan Cd(II).



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pencemaran akibat aktivitas berat di bidang teknologi dan industri merupakan masalah global, dan munculnya logam-logam yang dikategorikan beracun di berbagai daerah sangat berbahaya bagi perkembangan sistem ekologi dan ekonomi. Salah satu polutan logam yang meresahkan adalah Kadmium (Cd), logam ini merupakan unsur yang belum diketahui fungsi biologis positifnya dan merupakan salah satu pencemar lingkungan yang paling serius dan dikenal sebagai karsinogen manusia karena sifatnya yang beracun yang dapat menyebabkan kanker, gangguan pernapasan, gagal ginjal hingga kematian (Edidiong et.al, 2017). Logam Kadmium (Cd) digunakan di berbagai industri seperti *Ni-Cd battery, metal coating and alloy, pigment material dan plastic synthesis* (Buhani dkk, 2021).

Polutan yang lainnya adalah Tembaga (Cu) tercatat sebagai polutan yang paling beracun bagi tubuh manusia apabila jumlahnya melebihi batas toleransi, karena dapat menyebabkan gangguan jaringan dan organ. Tembaga (Cu) dihasilkan dari industri pertambangan, penyulingan minyak bumi, dan industri metalurgi serta pertanian, yang kemudian dilepaskan melalui air limbah (Abrar et al.,2017).

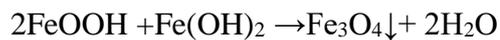
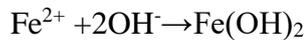
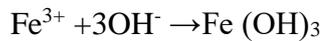
Putri (2015), menganalisis sedimen di Pulau Payung Kabupaten Banyuasin untuk menentukan kandungan logam beratnya yaitu logam Cu(II) dan logam Pb (II). Pada penelitian ini dilakukan bagaimana pengaruh karbon aktif kulit pisang raja untuk adsorpsi logam Cu(II). Hasil penelitian tersebut menunjukkan semakin tinggi konsentrasi larutan aktivator yang digunakan, maka logam Cu(II) yang dapat diadsorpsi semakin banyak.

I Made., dkk (2015) dalam penelitiannya mengadsorpsi logam Pb(II) dan Cu(II) dengan memanfaatkan arang aktif yang terbuat dari batang tanaman gemitir (*Tagetes erecta*) dan menggunakan NaOH sebagai aktivatornya, metode yang digunakan adalah adsorpsi. Dilakukan pengaruh konsentrasi aktivator

NaOH terhadap karbon aktif dari tempurung kelapa, hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan NaOH yang digunakan, maka semakin sedikit logam Cu(II) yang dapat diadsorpsi. Hasil adsorpsi karbon aktif tempurung kelapa tertinggi yaitu pada konsentrasi NaOH 1% dengan hasil adsorpsi logam Cu(II) sebesar 80,87%.

Sibuea dan Gultom (2005) dalam penelitiannya memanfaatkan cangkang kelapa sawit sebagai karbon aktif dengan aktivator H_3PO_4 untuk adsorpsi logam Pb(II) dan logam Cd(II). Hasil efisiensi penjerapan logam berat optimum ditunjukkan pada pH 3-4 sebesar 84,61% untuk logam Cd(II) dan 80,13% untuk logam Pb (II). Waktu optimum penjerapan yang didapatkan adalah 40 menit dengan efisiensi penjerapan sebesar 84,61% untuk logam Cd(II) 80,13% untuk logam Pb(II). pH optimum karbon aktif dalam penjerapan logam berat pada konsentrasi 10 ppm dengan waktu penjerapan 40 menit.

Ruey et al., (2018) berhasil melakukan sintesis Fe_3O_4 /activated carbon nano Karbon aktif dan digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi zat warna *methylene orange* (MO). Diawali dengan pembuatan NaOH yang ditambahkan ke dalam 100mL DEG (*Diethylene Glycol*) pada suhu $120^\circ C$ selama 1 jam dan kemudian didinginkan hingga $80^\circ C$ selama 30 menit (disebut larutan stok NaOH / DEG). Serbuk karbon aktif dimasukkan ke dalam 40 mL DEG (*Diethylene Glycol*) dengan sonikasi selama 1 jam (disebut solusi AC / DEG). Permukaan AC memiliki gugus -OH dan -COOH yang berasal dari proses aktivasi. Ketika x g $FeCl_3$ ditambahkan ke AC / DEG (*Diethylene Glycol*) larutan pada $220^\circ C$ selama 30 menit, ion Fe_3^+ dikoordinasikan ke gugus -COOH AC, kemudian Larutan stok NaOH / DEG (*Diethylene Glycol*) dengan cepat diinjeksikan ke dalam $FeCl_3$ / AC / DEG (*Diethylene Glycol*), dan reaksi berlangsung pada $220^\circ C$ selama 1 jam. Ion Fe_3^+ pada AC dihidrolisis menjadi $Fe(OH)_3$. Beberapa $Fe(OH)_3$ diubah menjadi $Fe(OH)_2$ dalam solusinya, kemudian $Fe(OH)_3$ terkonjugasi dengan $Fe(OH)_2$ dan didehidrasi untuk membentuk Fe_3O_4 dan H_2O reaksinya seperti berikut:



Nano Karbon aktif Fe_3O_4 yang terbentuk dikeringkan menggunakan *vacuum oven* selama 24 jam dengan suhu 60°C , setelah proses kalsinasi berakhir endapan dihaluskan dan dikarakterisasi sehingga dari penelitian ini menunjukkan bahwa hasil sintesis merupakan Fe_3O_4 dengan ukuran 5-20 nm dan hasil sintesis ini diaplikasikan pada adsorpsi zat warna *methyl orange* hasil menunjukkan bahwa zat warna tersebut teradsorpsi sebesar 384 mg / g .

Zega (2017), menggunakan metode adsorpsi, pada penelitian ini karbon aktif dikompositkan dengan menggunakan logam oksida Fe_3O_4 . Untuk adsorpsi metilen biru dan metilen jingga. Dilakukan dengan mencampurkan ion Fe^{2+} , Fe^{3+} dan OH dengan menggunakan metode fisika dan reaksi kimia untuk mendapatkan sifat magnet dan adsorben. Hasil adsorpsi metilen biru dan metilen jingga menunjukkan, Karbon aktif secara fisika memiliki penyerapan lebih baik dibandingkan dengan Karbon aktif secara kimia. Tetapi, untuk kekuatan magnet yang lebih baik menggunakan Karbon aktif secara kimia sehingga proses adsorpsi dan adsorbat dapat dilakukan menggunakan magnet.

Ramadhan., dkk (2017) dalam penelitiannya mengatakan (Titanium dioksida (TiO_2) banyak digunakan sebagai fotokatalisis semikonduktor digunakan untuk pemurnian di lingkungan dan obat-obatan. Penelitian yang terbaru mengungkapkan aktivitas semikonduktornya TiO_2 digunakan untuk mengatasi masalah lingkungan seperti fotodekomposisi air untuk energi hidrogen, sel surya peka-warna dan anti-bakteri. TiO_2 juga dikenal dalam fotoreduksi ion logam Hg(II). Pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa polutan organik dan anorganik sepenuhnya dapat dihancurkan dan dipisahkan oleh fotokatalisis ini. Proses aktivasi diawali dengan pembentukan elektron pada pita konduksi dan hole pada pita valensi dengan radiasi sinar ultra violet

sehingga terjadi reaksi redoks. Penelitian tersebut berhasil mendegradasi *methyl orange*, *phenol* dan pestisida.

Rijing., dkk (2011) dalam penelitiannya yang berjudul *Preparation and Photocatalytic Activity of Magnetic Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ Composites*, pada penelitian ini dilakukan sintesis pelapisan sol-gel sederhana untuk membuat Karbon aktif magnetik Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ dengan struktur core-shel. Dikarakterisasi menggunakan FT-IR, XRD, FE-SEM dan TEM hasil menunjukkan bahwa karbon aktif yang diperoleh memiliki kemagnetan yang sangat baik dan kemampuan untuk fotodegradasi lebih tinggi dibandingkan hanya menggunakan TiO₂ murni.



BAB III

DASAR TEORI

3.1 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan suatu material karbon yang mampu mengadsorpsi suatu cairan ataupun gas dengan baik. Arang aktif dapat dibuat dari bahan baku yang berasal dari hewan, tumbuhan, limbah ataupun mineral karena bahan tersebut mengandung unsur karbon seperti tulang, kayu lunak, sekam padi, tongkol jagung, tempurung kelapa, sabut kelapa, serbuk gergaji, kayu keras dan batubara (Sembiring dan Sinaga, 2003). Kandungan karbon setelah dikarbonisasi identik dengan berat arang (Trihendrardi, 1997).

Karbon aktif memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi gas dan uap dari campuran gas dan zat-zat yang tidak larut atau terdispersi dalam cairan karena pori-pori dari karbon aktif yang berbentuk Kristal mikro karbon grafit telah mengalami perkembangan (Mudiyanto, 2005).

Karbon aktif memiliki sifat yang selektif sehingga lebih menyukai bahan-bahan non polar dari pada bahan polar. Dalam bentuk larutan maupun gas karbon aktif mampu mengadsorpsi anion, kation dan molekul dalam bentuk senyawa organik dan anorganik (Paru, 1996).

Menurut Hessler (1951), Karbon aktif yang memiliki kemampuan daya serap yang baik adalah karbon aktif yang berbentuk amorf yang sebagian besar terdiri dari karbon bebas serta memiliki permukaan dalam (*internal surface*). Keaktifan dalam menyerap bergantung pada banyaknya senyawa karbon yang berkisar antara 85–95 % karbon bebas.

Karbon aktif memiliki ukuran pori yang diklasifikasikan menjadi tiga ukuran, yaitu mikropori (diameter < 2 nm), mesopori (diameter $2 - 50$ nm), dan makropori (diameter > 50 nm) (Hessler, 1951).

Menurut Martin (2008), berdasarkan bentuknya karbon aktif dapat diklasifikasikan berikut:

1. Karbon Aktif Bentuk Serbuk

Karbon aktif ini memiliki ukuran kurang dari 0,18 mm terutama yang digunakan dalam amplifikasi fasa cair dan gas. Karbon aktif bentuk serbuk ini sering dijumpai dalam industri farmasi, penghalus gula, air minum, pengolahan zat pewarna kadar tinggi dan bahan tambahan makanan.



Gambar 1. Karbon Aktif Bentuk Serbuk (Martin, 2008)

2. Karbon Aktif Bentuk Granular

Karbon aktif jenis ini memiliki bentuk yang tidak beraturan dengan ukuran 0,2-5 mm, sering dijumpai dan digunakan untuk pemurnian emas, air limbah dan air tanah, pengolahan air, pemurni pelarut dan penghilang bau busuk.



Gambar 2. Karbon Aktif Bentuk Granular (Martin, 2008)

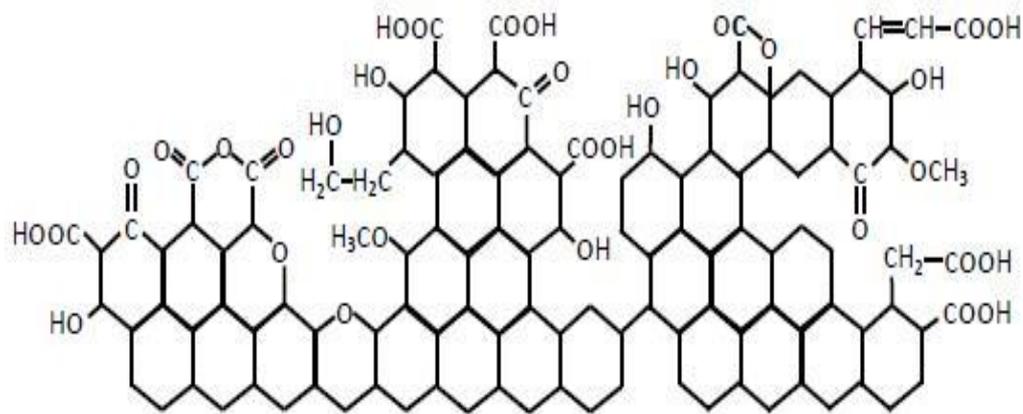
3. Karbon Aktif Bentuk Pellet

Karbon aktif jenis ini memiliki diameter 0,8-5 mm. Karbon aktif ini memiliki fungsi utama yaitu untuk aplikasi fasa gas karena mempunyai tekanan yang rendah, kekuatan mekanik tinggi dan kadar abu rendah. Karbon aktif jenis pellet ini digunakan untuk pemurnian udara, penghilang kotoran dan pengontrol emisi gas buang.



Gambar 3. Karbon Aktif Bentuk Pellet (Martin, 2008)

Keunggulan dari karbon aktif dari pengadsorpsi lain seperti resin adalah kemampuannya untuk mengadsorpsi lebih tinggi. Karbon aktif dapat menghilangkan polutan seperti Zn (Seng), Pb (Timbal), Fe (Besi), dan uap amonia NH_3 pada proses pengolahan air (Murti,2008). Fungsi lain dari karbon aktif sebagai penghilang zat warna, seperti pemurni pada pengolahan makanan, kosmetik dan farmasi ,pemurnian gas dan menyerap gas beracun dan bau busuk. Selain itu, karbon aktif juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan gas hidrogen dan gas metana (*adsorptive gas storage*) (Prabowo, 2009).



Gambar 4. Struktur kimia karbon aktif (Hessler, 1951)

Membuat karbon aktif dilakukan melalui dua tahap, yaitu tahap karbonasi kemudian tahap aktivasi. Karbonasi merupakan proses pengarangan dalam ruangan tanpa adanya oksigen dan bahan kimia lainnya, kemudian tahap yang kedua mengubah hasil karbonisasi menjadi adsorben yang memiliki luas permukaan yang besar dinamakan proses aktivasi (Jankowska, *et al.*, 1991).

Aktivasi dilakukan untuk merubah sifat fisika dan kimianya agar luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi, dengan memperbesar pori dengan cara memecah ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul permukaan. Karbon aktif diaktivasi menggunakan H_3PO_4 dan dipresto dalam kurun waktu empat jam dengan temperatur tinggi.

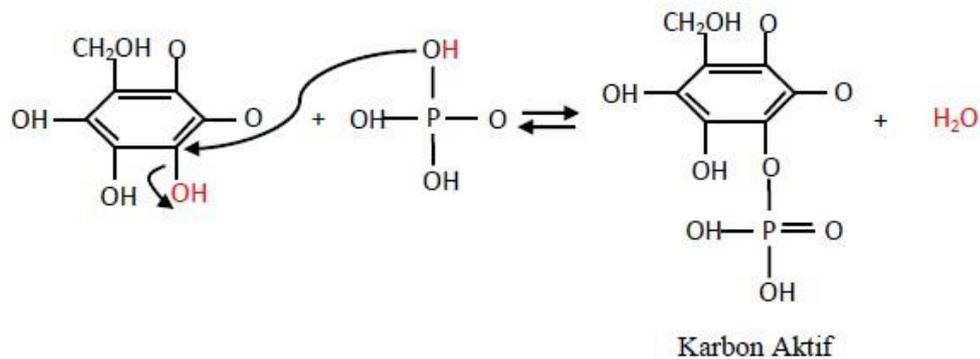
Proses aktivasi ini bertujuan agar pori-pori bertambah banyak dan bertambah besar dan mengembangkan volume yang terserap dalam pori serta menambah pori-pori baru (Erawati et al.,2018). Pada saat proses aktivasi dilakukan pemanasan tujuannya untuk mempercepat proses aktivasi. Penggunaan asam sebagai aktivator karena asam memiliki sifat *dehydrating agent* yang kuat sehingga pori dalam struktur karbon dapat diperbaiki perkembangannya yang dapat meningkatkan daya adsorpsinya. Kandungan air menjadi lebih sedikit pada karbon aktif dengan aktivator yang bersifat asam dibandingkan pada karbon aktif dengan aktivator yang bersifat basa karena aktivator yang bersifat asam dapat meningkatkan proses perusakan pada oksigen yang lebih kompleks (Erawati, et al., 2018).

Pada proses aktivasi dengan meningkatkan temperatur dan menggunakan bahan pengaktif berupa asam fosfat dapat mengakibatkan transformasi asam fosfat menjadi asam polifosfat pada matriks perkursor. Disatu sisi senyawa-senyawa H_3PO_4 , $H_2PO_4^-$, $H_2P_2O_7^{2-}$, dapat menguap yang menyebabkan ikatan fosfat dan polifosfat terputus, di sisi lain asam fosfat dapat bereaksi dengan karbon yang terkandung dalam biomassa dengan mekanisme seperti berikut (Sartika et al.,2014).



Tahap selanjutnya dilakukan penetralan dengan larutan NaOH lalu dicuci dan kemudian dihilngkan kandungan air dengan cara memanaskannya selama 24 jam pada temperatur 110 °C. Setelah dinetralkan kemudian dikarbonisasi kembali dengan metode hidrotermal. Setelah proses hidrotermal selesai karbon aktif dihaluskan agar ukuran karbon aktif homogen dan rata. Kemudian di *furnace* agar ikatan hidrokarbon pada karbon aktif terpecah sehingga pori karbon aktif bertambah luas dan meningkatkan daya adsorpsinya (Verayan et al., 2018).

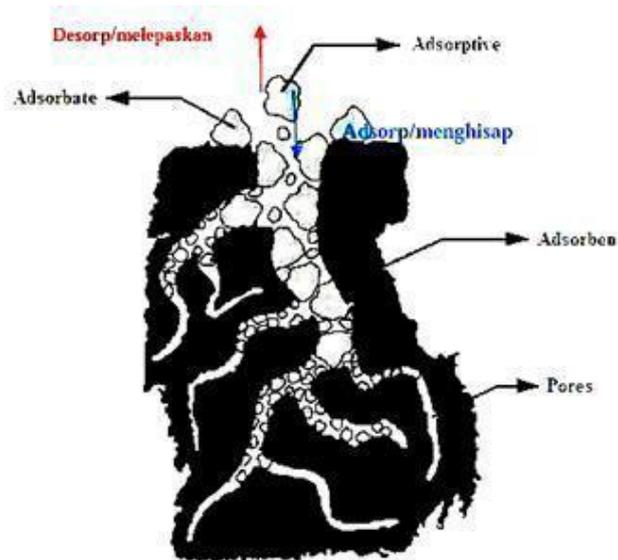
Mekanisme reaksi aktivasi karbon untuk menghasilkan karbon aktif seperti berikut (Bezzera, et al., 2015).



Gambar 5. Reaksi aktivasi antara karbon dengan H_3PO_4 (Bezzera, et al., 2015).

3.2 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa dimana molekul dari suatu materi terkumpul pada bahan pengadsorpsi atau adsorben dan terjadi penyerapan suatu zat, ion atau molekul yang melekat pada permukaan. Proses adsorpsi digunakan sebagai penjernih air atau pemurnian bahan yang masih mengandung pengotor karena partikel koloidnya memiliki permukaan yang luas yang menyebabkan daya adsorpsinya sangat besar. Adanya gaya tarik-menarik antar atom atau molekul terhadap permukaan larutan menyebabkan adsorpsi pada permukaan dapat terjadi. Zat yang menyerap disebut adsorben sedangkan zat yang diserap disebut fase terserap atau adsorbat (Estein, 2005). Daya adsorpsi juga dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat kemudian sifat adsorben dan sifat adsorbat, serta pH dan pengaruh suhu (Ardiana, 2006).



Gambar 6. Interaksi adsorbat dengan adsorben (Atkins, 1997)

Adsorpsi dibedakan menjadi dua jenis yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia yang didasari oleh interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat seperti berikut.

1. Adsorpsi fisika (*physisorption*) merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya Van der Waals. Adsorpsi fisika bersifat reversible, berlangsung secara cepat dengan penyerapan kalor kecil, interaksi yang terjadi dianggap hanya menghasilkan gaya Van Der Waals dan terjadi pada semua proses adsorpsi serta berlangsung pada temperatur rendah. Pada adsorpsi ini, gaya tarik-menarik antara molekul fluida dengan molekul pada permukaan padatan (intermolekular) lebih kecil dibandingkan dengan gaya tarik-menarik antar molekul fluida tersebut sehingga gaya tarik-menarik antara adsorbat dengan permukaan adsorben relatif lemah. Pada adsorpsi fisika, adsorbat tidak terikat kuat dengan permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke permukaan lainnya dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat tersebut dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorpsi fisika memiliki kegunaan dalam hal penentuan luas permukaan dan ukuran pori (Murti, 2008).

2. Adsorpsi kimia (*chemisorptions*) terjadi karena adanya ikatan kimia yang terbentuk antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Ikatan kimia dapat berupa ikatan kovalen atau ion. Ikatan yang terbentuk sangat kuat sehingga spesies aslinya tidak dapat ditemukan. Karena kuatnya ikatan kimia yang terbentuk, maka adsorbat tidak mudah teradsorpsi. Waktu penyerapan lebih lama dari adsorpsi fisika dan sulit diregenerasi. Reaksi berlangsung satu arah dari kiri ke kanan. Adsorpsi kimia ini diawali dengan adsorpsi fisika dimana adsorbat mendekati ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau ikatan hidrogen kemudian diikuti oleh adsorpsi kimia. Pada adsorpsi kimia, adsorbat melekat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia yang biasanya merupakan ikatan kovalen (Prabowo, 2009). Menurut Langmuir, molekul adsorbat ditahan pada permukaan adsorben oleh gaya valensi yang tipenya sama dengan yang terjadi antara atom-atom dalam molekul. Adsorpsi kimia biasanya digunakan untuk penentuan daerah pusat aktif dan kinetika reaksi permukaan (Murti, 2008).

Menurut Prawira (2008) dalam bukunya mengatakan bahwa adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

1. Pengadukan, pada proses ini tingkat adsorpsi dikontrol baik oleh difusi film maupun difusi pori, tergantung pada tingkat pengadukan sistem.
2. Luas permukaan adsorben, semakin luas permukaan suatu adsorben maka akan semakin tinggi kapasitas adsorpsinya. Luas permukaan yang tinggi akan memiliki banyak situs aktif yang dapat berikatan dengan adsorbat karena luas permukaan adsorben berbanding lurus dengan situs aktif yang ada pada adsorben.
3. Kelarutan adsorbat, senyawa yang terlarut memiliki gaya tarik-menarik yang kuat terhadap pelarutnya sehingga lebih sulit diadsorpsi dibandingkan senyawa tidak larut.
4. Ukuran molekul adsorbat, ketika ukuran molekul semakin mendekati ukuran pori karbon maka gaya tarik antara karbon dan molekul akan

semakin besar. Tingkat adsorpsi tertinggi terjadi jika pori karbon cukup besar untuk dilewati oleh molekul.

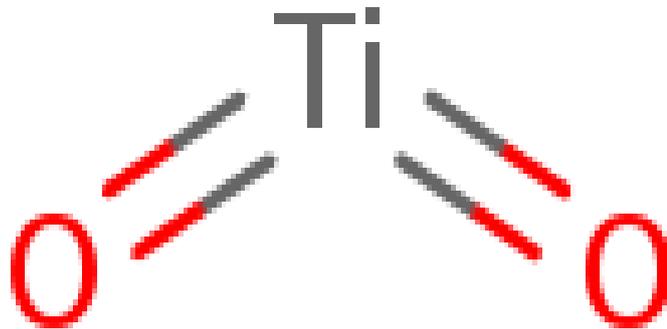
5. pH, basa organik akan lebih efektif teradsorpsi pada pH tinggi sedangkan asam organik lebih mudah teradsorpsi pada pH rendah.
6. Temperatur, temperatur yang turun menyebabkan adsorpsi menurun begitu juga dengan temperatur yang naik menyebabkan kenaikan adsorpsi.

3.3 TiO₂

Titanium dioksida (TiO₂) merupakan oksida logam Ti (Titanium) yang paling banyak ditemukan dalam lingkungan (Greenwood dan Earnshaw, 1997). Titanium dioksida memiliki ciri berwarna putih yang tahan terhadap karat dan tidak bersifat racun. Pada industri makanan dan kosmetik TiO₂ digunakan sebagai bahan pewarna putih. Titanium (22Ti) konfigurasi elektron atomnya yaitu 1s², 2s², 2p⁶, 3s², 3p⁶, 4s², 3d². Sementara atom oksigen (8O) konfigurasi elektronnya yaitu 1s², 2s², 2p⁴. Secara sederhana orbital molekul TiO₂ terbentuk antara ikatan kulit 3d Ti dengan kulit 2p O. Tingkat energi kulit 3d menjadi daerah konduktif molekul sedangkan kulit 2p menjadi area valensi molekul.

Titanium dioksida (TiO₂) secara mikroskopis memiliki dua bentuk utama yaitu kristal dan amorf (Gunlazuardi, 2001). Titanium dioksida (TiO₂) amorf seperti layaknya senyawa amorf lain tidak memiliki keteraturan susunan atom sehingga bahan tersebut tidak memiliki keteraturan pita konduksi dan valensi, akan tetapi TiO₂ amorf juga dikenal memiliki kemampuan untuk mendegradasi polutan dalam waktu yang tidak singkat.

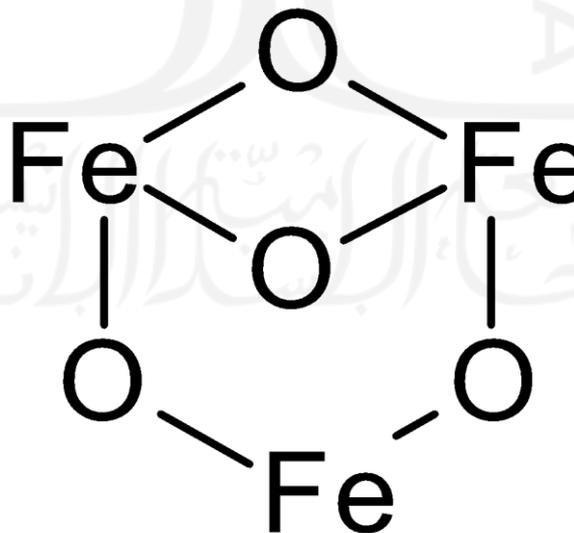
Titanium dioksida (TiO₂) bentuk kristal diketahui memiliki tiga fase kristal yang berbeda yaitu rutil, anatase, dan brookite. Anatase dikenal sebagai fase kristal yang paling reaktif terhadap cahaya, kristal ini juga dapat terbentuk akibat pemanasan TiO₂ amorf pada suhu 400°C hingga 600°C.



Gambar 7. Struktur kimia TiO_2

3.4 Magnetic Fe_3O_4

Magnetic Fe_3O_4 adalah salah satu oksida besi yang memiliki kemagnetan paling kuat diantara oksida-oksida besi lainnya sehingga *magnetic* Fe_3O_4 banyak dimanfaatkan diberbagai bidang (Teja, 2009). Memiliki sifat kemagnetan yang sangat kuat dan berukuran nanometer, *magnetic* Fe_3O_4 dapat menarik dengan menggunakan media yaitu magnet dan dapat mengikat logam berat yang terdapat dalam air limbah, sedangkan pada Fe_3O_4 non-magnet tidak dapat dilakukan proses penarikan dengan media magnet dikarenakan pada saat proses sintesis tidak semua Fe_3O_4 tersebar secara merata pada seluruh permukaan karbon (Fajaroh, 2009).



Gambar 8. Struktur kimia Fe_3O_4

Besi Oksida (Fe_3O_4) memiliki struktur spinel yang tidak normal yang tidak hanya digunakan dalam industri pelapisan, tetapi juga digunakan untuk industri konstruksi dikarenakan sifatnya yang tahan terhadap asam. Pada saat ini, Fe_3O_4 digunakan berbagai bidang termasuk teknologi preparasi dari serbuk nanopartikel (Meng, 2005).

Pada ukuran bulknya, material ini termasuk ke dalam kelompok bahan ferrimagnetik. Namun, pada ukuran nanometer material ini menjadi bahan superparamagnetik. Sedangkan pada ukuran lebih kecil dari 20 nm dengan morfologi partikel berbentuk bulat, material ini dapat diaplikasikan lebih baik lagi untuk kebutuhan biomedis karena memiliki kemampuan dalam mempengaruhi nilai relaksasi proton pada air (Wu, 2010).

3.5 Logam Berat

Logam berat merupakan unsur kimia yang memiliki bobot jenis lebih besar dari 5g/cm^3 dengan nomor atom 22 sampai dengan 92. Logam berat memiliki sifat yang tidak dapat terurai (non-degradable) dan mudah di adsorpsi sehingga logam berat termasuk dalam kategori zat tercemar (Darmono, 1995). Logam berat berasal dari proses yang terjadi secara alami, seperti pengendapan ataupun logam berat yang berasal dari industri (Sulistyowati, 2005).

Logam berat dikategorikan menjadi dua jenis berdasarkan ilmu toksikologi, yaitu:

1. Logam esensial, keberadaan logam ini sangat dibutuhkan oleh organisme dalam jumlah tertentu, akan tetapi menimbulkan efek racun apabila jumlahnya berlebihan. Contohnya Zn (Seng), Cu (Tembaga), Fe (Besi), Co (Kobalt), Mn (Mangan) dan lain sebagainya.
2. Logam berat tidak esensial atau beracun, keberadaan logam ini ada dalam tubuh dan belum diketahui manfaatnya atau bahkan beracun, seperti Hg (Merkuri), Cd (Kadmium), Pb (Timbal), Cr (Kromium), dan lain-lain.

Logam berat masih termasuk dalam golongan logam dengan sifat yang sama dengan golongan lainnya, yang membedakan pengaruh yang dihasilkan apabila logam berat ini berikatan atau masuk ke dalam tubuh makhluk hidup (Palar, 1994). Contohnya logam besi yang masuk ke dalam tubuh dengan jumlah berlebih tidak berpengaruh terhadap tubuh, karena unsur besi (Fe) dibutuhkan darah untuk mengikat oksigen sedangkan unsur logam baik esensial seperti tembaga (Cu) jika masuk ke dalam tubuh dalam jumlah berlebih dapat mempengaruhi fungsi fisiologis tubuh (Sembel, 2005).

3.5.1 Logam Tembaga (Cu)

Logam tembaga merupakan logam transisi (Golongan I B) memiliki ciri berwarna kemerahan, mudah regang, dan mudah ditempa. Logam tembaga memiliki nomor atom 29, bobot atom 63,546 g/mol, titik leleh 1.083°C , titik didih 2.595°C dengan berat jenis sebesar $8,96 \text{ g/cm}^3$, logam tembaga sangat ideal untuk sistem pemasangan listrik karena memiliki konduktivitas elektrik yang tinggi. Tembaga banyak dimanfaatkan sebagai bahan peralatan listrik, mesin industri seperti penukar panas, konstruksi atap dan pipa, dan logam campur. Logam tembaga juga biasa digunakan dalam pewarnaan tekstil, penyepuhan, pelapisan dan pembilasan pada industri perak (Alloway, 1995).

Dalam konsentrasi yang tinggi dapat menjadi penghambat sedangkan dalam konsentrasi yang rendah logam tembaga dapat merangsang pertumbuhan organisme. Dalam periode tertentu logam tembaga akan terakumulasi dalam tubuh yang merugikan kesehatan penduduk apabila terpapar dalam jangka waktu yang cukup lama.

3.5.2 Logam Kadmium (Cd)

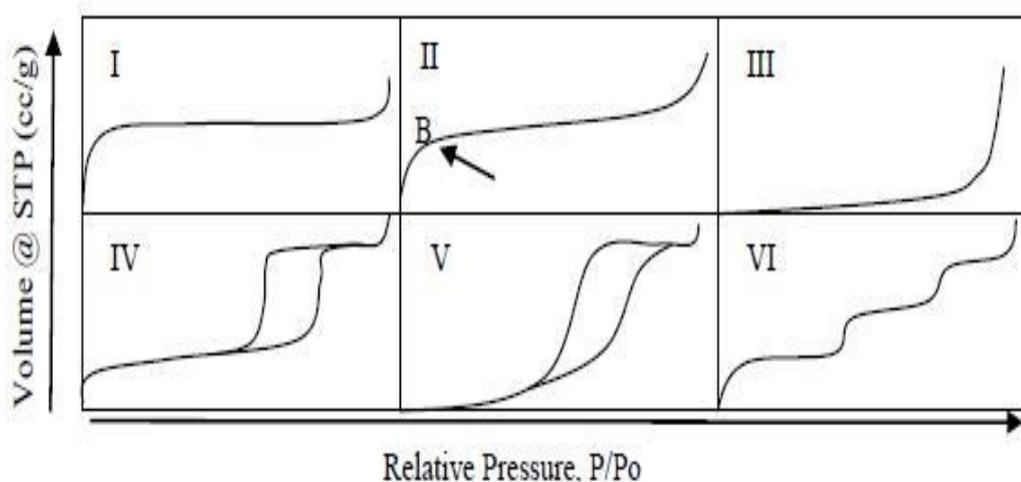
Logam kadmium (Cd) memiliki nomor atom 48 dengan massa atom 112,41. Logam kadmium (Cd) termasuk ke dalam golongan logam transisi (Manahan, 2001). Pabrik-pabrik yang mengolah logam kadmium (Cd) dalam setahun diperkirakan dapat melepaskan 1000 ton logam kadmium (Cd) ke atmosfer. Sebagian besar pelepasan logam kadmium (Cd) berasal dari industri

galvanik, sumber lain dari polusi logam kadmium (Cd) adalah industri baterai, pupuk dan fungisida (Allen et al., 1998).

Kadmium (Cd) dapat menyebabkan gangguan kesehatan manusia karena bisa terakumulasi dalam ginjal dan apabila terpapar mengolah logam kadmium (Cd) dalam kurun waktu yang cukup lama dapat membahayakan kesehatan tulang, hati, paru-paru dan organ reproduksi. Logam kadmium (Cd) juga bersifat neurotoksin yang dapat merusak indera penciuman (Anwar,1996).

3.6. Isoterm Adsorpsi

Isoterm adsorpsi merupakan fungsi konsentrasi zat terlarut yang terserap pada padatan terhadap konsentrasi larutan. Isoterm adsorpsi merupakan proses adsorpsi yang terjadi pada permukaan dengan sisi adsorpsi dan energi yang sama, dengan satu molekul yang terserap sisi adsorpsi sampai menutup satu lapisan permukaan adsorben. Isoterm adsorpsi menggambarkan konsentrasi yang bergantung pada kesetimbangan distribusi ion-ion logam antara larutan dan fase padat pada temperatur tetap (Nomanbhay, 2005). Berdasarkan IUPAC kurva isoterm adsorpsi diklasifikasikan menjadi enam jenis seperti berikut (Prasodjo, 2010).



Gambar 9. Tipe-tipe kurva isoterm (Prasodjo, 2010).

Adapun kurva isotherm memiliki enam tipe, yaitu:

1. Tipe I

Tipe ini disebut dengan Langmuir Isoterm, menggambarkan bahwa adsorpsi satu lapis (monolayer). Banyaknya adsorbat mendekati harga pembatas saat P/P_0 . Tipe ini sering ditemukan pada adsorben berpori mikropori.

2. Tipe II

Jenis ini memiliki ukuran lebih besar dari 50 nm yang menunjukkan adsorpsi monolayer-multilayer bentuk normal isoterm pada adsorben tak berpori atau padatan berpori besar. Titik B yang ditunjukkan pada gambar menunjukkan kondisi awal tahap linear dari isoterm, biasanya digunakan untuk mengindikasikan tekanan relatif saat pelapisan monolayer selesai.

3. Tipe III

Jenis ini menunjukkan tipe kuantitas adsorben semakin tinggi saat tekanan relatif bertambah. Interaksi adsorbat-adsorbat yang lebih kuat dibanding adsorben-adsorben menyebabkan tidak adanya titik B seperti pada jenis kedua.

4. Tipe IV

Jenis tipe ini hampir sama dengan tipe II, yang membedakan pada struktur porinya dimana pada tipe IV memiliki struktur pori mesopori sehingga ada proses desorpsi dari partikel adsorbat.

5. Tipe V

Jenis tipe ini hampir sama dengan tipe III, yang membedakan adalah adanya mesopori dan mikropori pada proses histerisis.

6. Tipe VI

Tipe jenis ini mengindikasikan permukaan adsorben yang memiliki struktur pori yang sangat beragam. Tipe adsorpsi yang dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi-adsorpsi fase cair-padat pada umumnya menganut tipe adsorpsi Freundlich dan Langmuir (Atkins, 1999).

1. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Isoterm Adsorpsi Langmuir merupakan adanya lapisan tunggal (monolayer) adsorbat dipermukaan adsorben, karena permukaan dengan jumlah yang terbatas dari tempat yang identik sehingga disebut juga dengan kapasitas adsorpsi maksimum (Mulyana, 2003). Adapun persamaan isoterm adsorpsi Langmuir seperti berikut.

$$q_e = \frac{Q_m k_L C_e}{1 + k_L C_e}$$

Di mana:

q_e = Jumlah yang teradsorpsi (mg/g)

C_e = Konsentrasi setimbang adsorbat (mg/L)

Q_m = Kapasitas adsorpsi maksimum dari adsorben (mg/L)

K_L = Konstanta Langmuir berdasarkan energi adsorpsi

Persamaan isoterm Langmuir tersebut terdapat empat tipe, seperti berikut:

Table 1. Tipe-tipe isoterm Langmuir

Nama	Persamaan Linear	Plot	Slope	Intersep
Langmuir-1	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{k_L Q_m} + \frac{C_e}{Q_m}$	$\frac{C_e}{q_e}$ Vs C_e	$\frac{1}{Q_m}$	$\frac{1}{k_L Q_m}$
Langmuir-2	$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{k_L Q_m C_e} + \frac{1}{Q_m}$	$\frac{1}{q_e}$ Vs $\frac{1}{C_e}$	$\frac{1}{k_L Q_m}$	$\frac{1}{Q_m}$
Langmuir-3	$q_e = Q - \left(\frac{1}{k_L}\right) \frac{q_e}{C_e}$	q_e Vs $\frac{q_e}{C_e}$	$\frac{1}{k_L}$	Q_m
Langmuir-4	$\frac{q_e}{C_e} = k_L Q_m - k_L q_e$	$\frac{q_e}{C_e}$ VS q_e	k_L	$k_L Q_m$

Persamaan isoterm adsorpsi Langmuir didasarkan pada asumsi sebagai berikut :

- a. Energi adsorpsi bergantung pada faktor ukuran dan struktur molekul adsorbat
- b. Adsorpsi terjadi pada situs aktif pada permukaan bersifat homogen
- c. Adsorpsi berlangsung secara kimisorpsi monolayer
- d. Sifat pelarut dan porositas adsorben

2. Isoterm Adsorpsi Freundlich

Isoterm adsorpsi Freundlich merupakan proses yang daya adsorpsinya tidak terjadi di setiap permukaan adsorben hal ini terjadi karena pada saat proses adsorpsi terjadi pada permukaan heterogen dan potensi penyerapan berbeda-beda pada setiap molekul serta jenis interaksi pada proses adsorbat melekat pada permukaan adsorben dapat ditentukan (Husin, 2005). Model isoterm Freundlich merupakan multilayer yaitu lapisan adsorbat yang terbentuk pada permukaan adsorben. Hal tersebut berkaitan dengan ciri-ciri dari adsorpsi secara fisika dimana adsorpsi dapat terjadi pada banyak lapisan (multilayer). Persamaan isoterm adsorpsi Freundlich dapat dituliskan sebagai berikut:

$$q_e = K_f \cdot C_e^{1/n}$$

q_e = Jumlah adsorbat yang terjerap (mg/g)

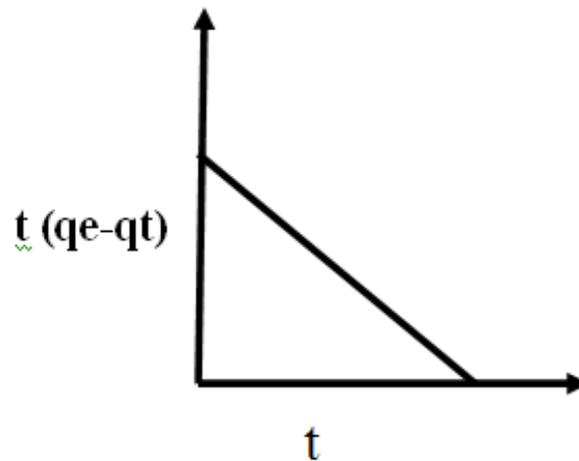
C_e = Konsentrasi setimbang adsorbat (mg/L)

K_f dan n = Konstanta empiris bergantung pada adsorben

3.7 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan gambaran dari kecepatan laju reaksi proses adsorpsi suatu adsorben terhadap adsorbat. Data kinetika adsorpsi ini digunakan untuk mengetahui dinamika yang terjadi pada proses adsorpsi berdasarkan kinetika orde pertama semu (*Pseudo First Order*) dan orde kedua semu (*Pseudo*

SecondOrder) (Ho, 1999). Kinetika orde pertama semu dihasilkan dari grafik antara t dengan $\log (q_e - q_t)$, sedangkan kinetika orde dua semu dihasilkan dari grafik antara t dengan t/q_t . Adapun grafik dari kinetika orde pertama semu sebagai berikut:



Gambar 10. Grafik kinetika orde pertama semu

Dapat dilihat dari grafik di atas menunjukkan bahwa konsentrasi adsorbat berlebih dibandingkan dengan sisi aktif yang tersedia pada permukaan adsorben. Persamaan differensial untuk orde satu semu, persamaan differensial untuk orde satu semu sebagai berikut (Buhani, 2009):

$$\frac{dq_t}{dt} = k (q_e - q_t)$$

Di mana:

q_t = jumlah logam yang teradsorpsi pada waktu optimum (mg/g)

q_e = jumlah logam yang teradsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g)

r = waktu (menit)

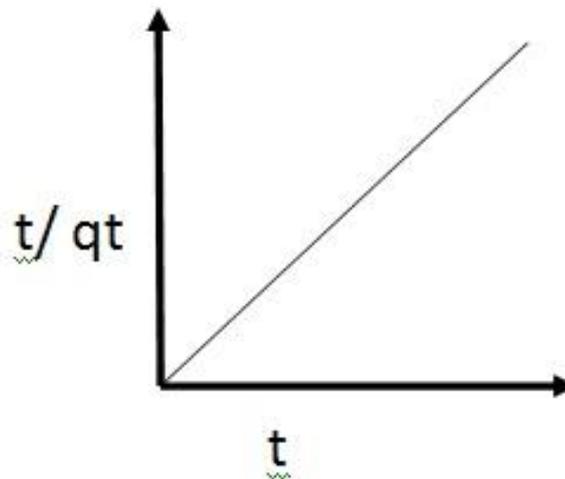
k = konstanta laju orde semu (menit⁻¹)

Dari hasil integrasi maka akan didapat sebuah persamaan sebagai berikut :

$$\log \frac{q_e}{q_e - q_t} = \frac{k_1}{2,303} t$$

Sehingga dari persamaan diatas, untuk orde pertama semu persamaannya dapat dituliskan seperti rumus dibawah ini:

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t$$



Gambar 11. Grafik kinetika orde kedua semu

Dapat dilihat dari grafik di atas menunjukkan bahwa kapasitas mengadsorpsi proporsional terhadap jumlah situs aktif dari adsorben. Persamaan diferensialnya yaitu sebagai berikut:

$$\frac{dq_t}{dt} = k (q_e - q_t)^2$$

Di mana:

q_t = jumlah logam yang teradsorpsi pada saat waktu optimum (mg/g)

q_e = jumlah logam yang teradsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g)

t = waktu (menit)

k = konstanta laju orde semu (menit^{-1})

Selanjutnya dari hasil intergrasi maka akan didapat sebuah rumus sebagai berikut:

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + kt$$

Sehingga diperoleh persamaan untuk kinetika orde dua semu yaitu sebagai berikut:

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

Kinetika perpindahan adsorbat dari permukaan adsorben ke dalam pori internal akibat pengadukan dapat diketahui dengan menggunakan model difusi intra-partikel Weber dan Morris. Dengan memplotkan $\log t$ vs $\log t$ diperoleh kinetika difusi intra-partikel. Bentuk persamaan kinetika difusi intra-partikel seperti berikut:

$$qt = K_i \cdot t^{1/2} + C$$

$$\text{Log } qt = \log K_i \cdot \frac{1}{2} \log t + \log C$$

Di mana:

Qt = jumlah adsorbat pada permukaan adsorben (mg/g)

Ki = tetapan laju difusi intra partikel (mg/g.menit)

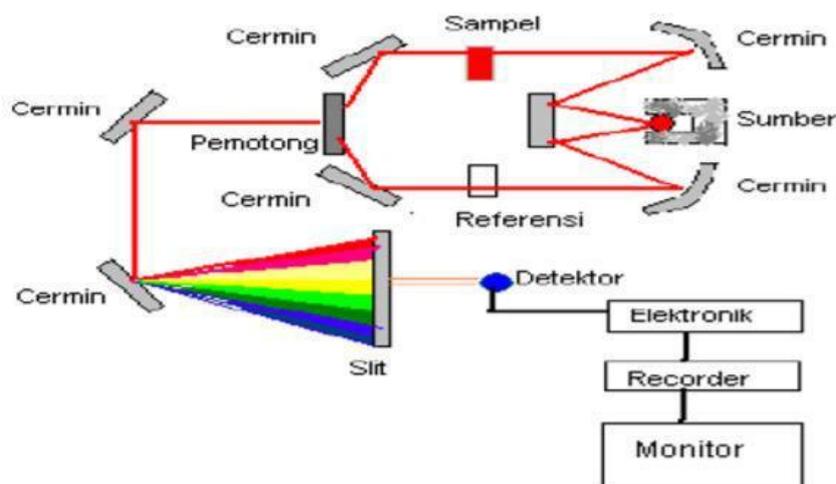
C = ketebalan lapisan batas yang dibentuk oleh proses adsorpsi

3.8 Spektrofotometer Inframerah (FTIR)

Spektroskopi inframerah (FTIR) merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0.75 – 1.000 μm atau pada bilangan gelombang 13.000 – 10 cm^{-1} . Prinsip kerja spektrofotometer inframerah

sama dengan spektrofotometer yang lainnya yakni interaksi energi dengan suatu materi. Spektroskopi inframerah berfokus pada radiasi elektromagnetik pada rentang frekuensi $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$, dimana cm^{-1} yang dikenal sebagai *wavenumber* ($1/\text{wavelength}$), yang merupakan ukuran unit untuk frekuensi (Earnshawa A, 1997).

Setiap molekul memiliki harga energi tertentu. Bila suatu senyawa menyerap energi dari sinar IR maka tingkatan energi di dalam molekul itu akan tereksitasi ke tingkatan energi yang lebih tinggi. Sesuai dengan energi yang diserap maka yang akan terjadi pada molekul itu adalah perubahan energi vibrasi yang diikuti dengan perubahan energi rotasi. Interaksi ini terjadi dengan syarat adanya perubahan momen dipol sebagai akibat dari vibrasi. Radiasi medan listrik berubah-ubah akan berinteraksi dengan molekul dan akan menyebabkan perubahan amplitudo salah satu gerakan molekul. Selain itu energi yang dihasilkan oleh sinar IR harus sesuai dengan energi yang dibutuhkan oleh atom untuk bervibrasi. Senyawa seperti O_2 dan N_2 tidak memiliki perubahan dipol dalam vibrasinya sehingga tidak dapat mengadsorpsi sinar IR (Earnshaw A, 1997).



Gambar 12. Skema instrumen FTIR (Agus, et al., 2012)

Hasil dari FTIR adalah sebuah grafik frekuensi gelombang yang menunjukkan sebuah gugus fungsi tertentu, seperti berikut.

Table 2. Bilangan gelombang gugus fungsi

Ikatan	Tipe Senyawa	Daerah Frekuensi (cm ⁻¹)
C-H	Alkana	2850-2970
		1340-1470
C-H	Alkena	3010-3095
		675-995
C-H	Alkana	3300
C-H	Cincin Aromatik	3010-3100
		690-900
O-H	Fenol, monomer, alkohol, alkohol ikatan hydrogen	3590-3650
		3200-600
	Monomer asam karboksilat, ikatan Hidrogen asam karboksilat	3500-650 2500-2700
N-H	Amina, amida	3300-3500
C=C	Alkena	1610-1680
C=C	Cincin aromatik	1500-1600
C=C	Alkuina	2100-2260
C-N	Amina Amida	1180-1360
C=N	Nitril	2210-2280
C-O	Alkohol, Eter, Asam karboksilat, Ester	1050-1300
C=O	Aldehid, Keton, AAsam karboksilat, Ester	1690-1760
NO ₂	Senyawa Nitro	1500-1570

Spektrofotometer inframerah berfungsi untuk mengidentifikasi gugus fungsional, mengidentifikasi senyawa, menentukan struktur molekul, mengetahui kemurnian dan mempelajari reaksi yang sedang berjalan. Setiap molekul memiliki harga energi tertentu. Bila suatu senyawa menyerap energi dari sinar IR maka tingkatan energi di dalam molekul itu akan tereksitasi keingkatan energi yang lebih tinggi. Sesuai dengan energi yang diserap maka yang akan terjadi pada molekul itu adalah perubahan energi vibrasi yang diikuti dengan perubahan energi rotasi. Interaksi ini terjadi dengan syarat adanya perubahan momen dipol sebagai akibat dari vibrasi. Radiasi medan listrik berubah-ubah akan berinteraksi dengan molekul dan akan menyebabkan perubahan amplitudo salah satu gerakan molekul. Selain itu energi yang dihasilkan oleh sinar IR harus sesuai dengan energi yang dibutuhkan oleh atom untuk bervibrasi. Senyawa seperti O₂ dan N₂

tidak memiliki perubahan dipol dalam vibrasinya sehingga tidak dapat mengadsorpsi sinar inframerah (Earnshaw A, 1997).

Karbon aktif memiliki gugus fungsi seperti O-H alkohol, C-H alifatik, C=O ester, C=C alifatik, C=C aromatik, C-O alkohol dan C-H aromatik (Jankowska, 1991). Apabila karbon aktif diimbangkan dengan logam Fe dan Ti, akan terjadi perbedaan serapan dan intensitas, daerah serapan logam terdapat pada serapan daerah *fingerprint* 424-454 cm^{-1} (Li, et al., 2017). Daya serap karbon aktif dan luas permukaan karbon aktif ditingkatkan dengan gugus fungsi tersebut. Semakin banyak gugus fungsi pada analisis FTIR maka intensitas % (persen) transmisi akan semakin menurun, penurunan tersebut menandakan bahwa proses modifikasi mengakibatkan bertambahnya gugus fungsi (Hessler, 1951).

3.9 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray *Diffraction* (XRD) adalah instrumen yang digunakan untuk menentukan struktur padatan kristal, parameter kisi, struktur kristal, derajat kristalinitas dan fase yang terdapat dalam suatu sampel. Instrumen ini dapat digunakan untuk mengetahui komposisi fasa-fasa secara kualitatif maupun secara kuantitatif (Fatimah, 2009).

Persamaan Hukum Bragg, yaitu:

$$n \lambda = 2d \cdot \sin \theta$$

dimana:

λ = Panjang gelombang sinar-X yang digunakan

d = Jarak antara dua bidang kisi

θ = Sudut antara sinar datang dengan bidang normal

n = Bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan

Menurut persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, maka semakin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material (Ratnasari, 2009).

Penentuan ukuran kristal dapat menggunakan difraksi sinar-X. Dimana dengan menggunakan pendekatan persamaan Debye Scherrer (Amanda, 2016), sebagai berikut:

$$D = \frac{K \lambda}{\beta \cos \theta}$$

dimana:

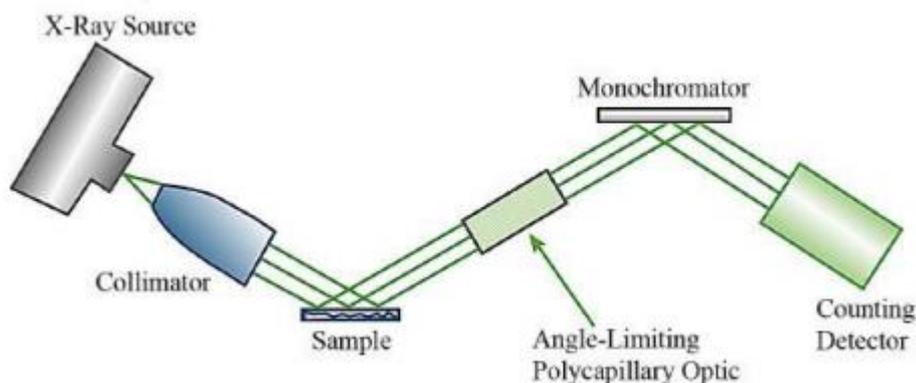
D = Ukuran kristal (nm)

K = Konstanta besarnya mengikuti faktor bentuk kristal

β = *Full Width at Half Maximum* (FWHM)

λ = Panjang gelombang sinar-X (1,54056)

θ = Sudut difraksi ($^{\circ}$)



Gambar 13. Skema instrumen XRD (Agus, et al., 2012)

Prinsip dari instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan difraksi sinar X yang mengalami *scattering* setelah saling bertumbukan dengan atom kristal. Pola difraksi yang dihasilkan menjelaskan struktur kristal uji setelah dibandingkan dengan parameter uji dapat ditentukan ukuran material, parameter kisi material, serta ukuran partikel kristal (Riyanto, 2009).

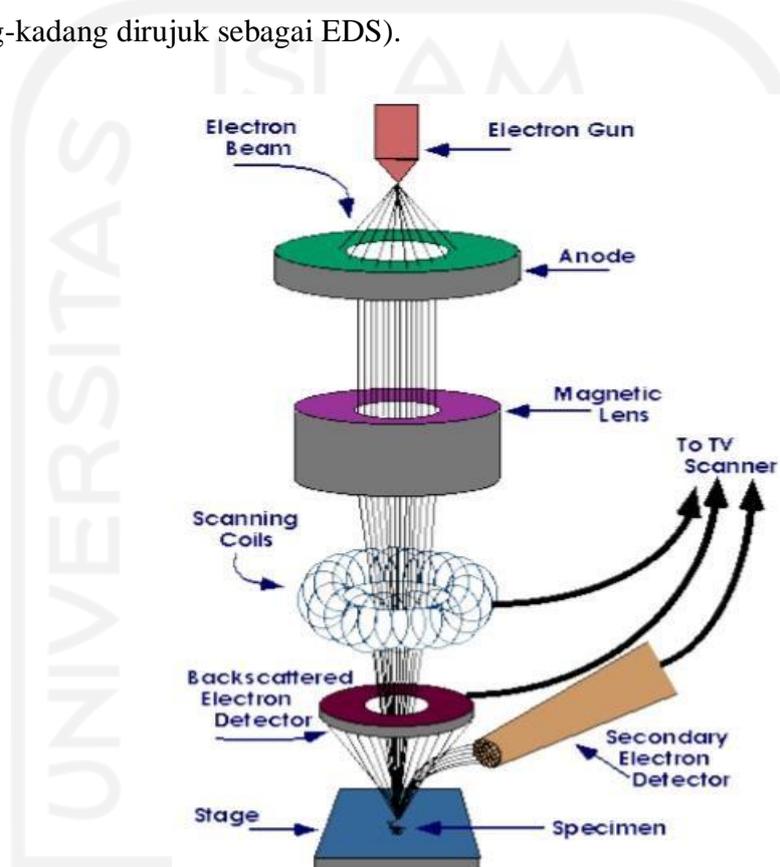
3.10 Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

Scanning Electron Microscope mempunyai *depth of field* yang besar, yang dapat memfokus jumlah sampel yang lebih banyak pada satu waktu dan menghasilkan bayangan yang baik dari sampel tiga dimensi. SEM memiliki perbesaran 10 – 3000000x, *depth of field* 4 – 0.4 mm dan resolusi sebesar 1 – 10 nm. Kombinasi dari perbesaran yang tinggi, *depth of field* yang besar, resolusi yang baik, kemampuan untuk mengetahui komposisi dan informasi kristalografi membuat SEM banyak digunakan untuk keperluan penelitian dan industri (Hendayana, 1994).

Untuk mengetahui morfologi senyawa padatan dan komposisi unsur yang terdapat dalam suatu senyawa dapat digunakan alat *scanning electron microscope* (SEM) yang merupakan suatu tipe mikroskop elektron yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses *scan* dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari elektron dalam suatu pola *scan raster*. Elektron berinteraksi dengan atom-atom yang membuat sampel menghasilkan sinyal yang memberikan informasi mengenai permukaan topografi sampel, komposisi dan

sifat-sifat lainnya seperti konduktivitas listrik.

Salah satu metode yang telah disebutkan di atas dapat dimanfaatkan SEM untuk menganalisis sampel tertentu. Sayangnya, setiap jenis analisis dianggap sebagai aksesori perangkat tambahan untuk SEM. Aksesori yang paling umum dilengkapi dengan SEM adalah dispersif *energi detektor x-ray* atau EDX (kadang-kadang dirujuk sebagai EDS).

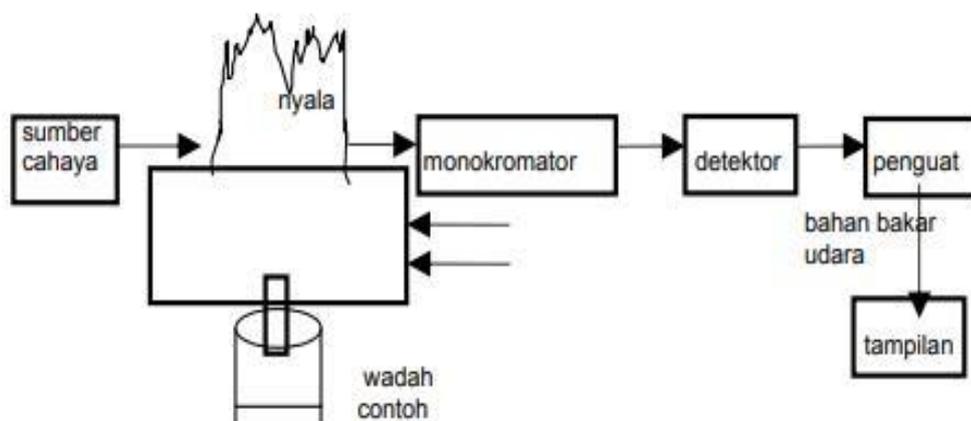


Gambar 14. Mekanisme SEM-EDX (Agus, et al.,2012)

Data yang diperoleh dari hasil SEM-EDX dapat dianalisis baik secara kuantitatif maupun kualitatif, karena dari data yang diperoleh dapat diketahui jenis atau unsur-unsur mineral yang terkandung dalam suatu sampel yang dianalisis dan menginformasikan jumlah proporsi dari tiap-tiap jenis mineral atau unsur yang diperoleh tersebut. Hasil dari SEM-EDX berupa gambar struktur permukaan dari sampel yang diperoleh dari analisa SEM dan grafik antara nilai energi dengan cacahan yang diperoleh dari analissi EDX.

3.11 Atomic Analyzer Spectroscopy (AAS)

Atomic Analyzer Spectroscopy (AAS) didasarkan pada penyerapan radiasi cahaya oleh atom-atom bebas dalam keadaan gas dimana penyerapan cahaya oleh ion logam bebas dan analisis ini termasuk ke dalam teknik analisis kuantitatif dari unsur-unsur kimia. *Atomic Analyzer Spectroscopy* (AAS) pada umumnya digunakan untuk metode analisis penentuan unsur-unsur logam dan metalloid yang berdasarkan pada penyerapan adsorpsi radiasi oleh atom bebas, teknik *Atomic Analyzer Spectroscopy* (AAS) dapat menentukan satu unsur logam dengan kehadiran unsur lain dengan syarat katoda berongga yang diperlukan tersedia, pengukuran tidak selalu memerlukan pemisahan unsur yang ditentukan, sehingga *Atomic Analyzer Spectroscopy* (AAS) termasuk ke dalam alat yang canggih dalam analisis (Skoog, 2000).



Gambar 15. Skema instrumen AAS (Day dan Underwood, 2001).

Prinsip kerja *Atomic Analyzer Spectroscopy* (AAS) adalah penyerapan sinar dari sumbernya oleh atom-atom yang dibebaskan oleh cahaya dengan panjang gelombang tertentu sesuai dengan sinar yang dibutuhkan oleh atom tersebut. Sumber cahaya AAS adalah sumber cahaya dari lampu katoda yang berasal dari elemen yang sedang diukur. Prinsip AAS dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Penguapan pelarut, pada tahap ini pelarut akan teruapkan dan meninggalkan residu padat.
2. Penguapan zat padat, zat padat ini terdisosiasi menjadi atom-atom penyusunnya yang mula-mula akan berada dalam keadaan dasar yang berbentuk kabut dilewatkan pada sinar dan panjang gelombang yang khas.
3. Sinar sebagian diserap, yang disebut absorpsi dan sinar yang diteruskan disebut emisi. Penyerapan yang terjadi berbanding lurus dengan banyaknya atom keadaan dasar yang berada dalam nyala. Pada grafik adsorpsi, terukur besarnya sinar yang diserap, sedangkan grafik emisi, terukur intensitas sinar yang dipancarkan.

Spektrofotometri molekular pita adsorpsi inframerah dan UV-tampak yang dipertimbangkan melibatkan molekul poliatom, keadaan energi elektronik tereksitasi yang ditimbulkan dari atom individu yang menyerap radiasi. Keadaan energi elektronik tidak mempunyai sub tingkat vibrasi rotasi sehingga pectra adsorpsi lebih sederhana dibandingkan dengan spectra molekulnya. Jadi spektra adsorpsi atom terdiri dari garis-garis yang jauh lebih tajam dari pada pita-pita yang diamati dalam spekroskopi molekular (Day dan Underwood, 2001).

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

1.1 Alat dan Bahan Penelitian

1.1.1 Alat penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi peralatan gelas, neraca analitik, *stirrer*, oven, *thermometer*, kompor, pH meter, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) (PerkinElmer Spectrum Versi 10.5.1), *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) (JEOL-JSM-6510LA), *X-Ray Diffraction* (XRD) (Shimadzu X-6000), *Atomic Analyzer Spectroscopy* (AAS) (Quantachrome).

1.1.2 Bahan penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu besi (III) klorida (FeCl_3), besi (II) klorida (FeCl_2), tembaga (II) asetat, ($\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), kadmium (II) asetat ($(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cd} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), karbon aktif dari tempurung kelapa sawit, pH buffer, Etanol 25 mL, NaoH, *Polyethylene Glycol* (PEG), buffer pH (2, 4, 6, 8 dan 10) dan Akuades.

2.2 Prosedur Penelitian

2.2.1 Preparasi Fe_3O_4

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 8,1 gram dan $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ sebanyak 3,2 gram dicampurkan dengan akuades 50 mL lalu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 50°C dan disaring larutan. Larutan tersebut dimasukkan kedalam NH_4OH distirrer kembali pada suhu 50°C , endapan yang terbentuk dicuci menggunakan *centrifuge* setelah itu larutan dipanaskan menggunakan Etanol kemudian endapan dikeringkan. Endapan yang terbentuk kemudian dihaluskan menggunakan ortar dan pasle. Serbuk yang terbentuk merupakan serbuk Fe_3O_4 .

2.2.2 Pembuatan Fe₃O₄-TiO₂/karbon aktif

Sebanyak 3,54 gram Fe₃O₄ dan 3,54 gram TiO₂ dicampurkan dengan 14 gram karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dengan rasio 1 : 1: 2 kemudian di dalam reaktor ditambah 25 mL Akuades dan 25 mL PEG (*Poliethylene Glycol*) dan dipanaskan sampai suhu 450°C selama empat jam dalam *furnace*. Setelah selesai dinginkan dalam reaktor dan dicuci karbon aktif dengan akuades sampai mengendap, kemudian karbon aktif disaring dan dikeringkan kembali dalam oven selama semalam pada suhu 110°C Kemudian sampel yang sudah kering, ditempelkan magnet untuk memisahkan antara karbon aktif yang magnet dan non magnet karbon aktif.

2.2.3 Karakterisasi karbon aktif dan Fe₃O₄-TiO₂/karbon aktif

Untuk mengetahui hasil sintesis berhasil maka dilakukan pengujian dengan beberapa instrumen untuk memperkuat data, bahwa hasil sintesis yang dihasilkan benar-benar Fe₃O₄-TiO₂/karbon aktif.

2.2.3.1 Karakterisasi menggunakan FTIR

Karakterisasi pertama dilakukan menggunakan instrumen FTIR. Instrumen ini digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang ada pada karbon aktif dan Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif. yang nantinya akan dibandingkan. Analisis dilakukan dengan cara mengambil masing-masing sampel sebanyak 0,1 gram yang diletakan pada media analisis dan dipress dengan *force gauge* 80 N, selanjutnya dianalisis gugus fungsi pada bilangan gelombang 4000-400 cm⁻¹.

2.2.3.2 Karakterisasi menggunakan XRD

XRD digunakan untuk mengetahui jenis dan ukuran kristal dari karbon dan Fe₃O₄-TiO₂/karbon aktif yang nantinya akan dibandingkan. Analisis dilakukan dengan cara mengambil masing-masing sampel sebanyak 0,5 gram yang dimasukkan ke dalam media analisis, selanjutnya sampel dikarakterisasi menggunakan XRD. Hasil analisis berupa grafik antara intensitas dengan sudut pengukuran.

2.2.3.3 Karakterisasi Menggunakan SEM-EDX

SEM digunakan untuk mengetahui struktur morfologi dan elemen-elemen dari karbon aktif dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif yang nantinya akan dibandingkan. Analisis dilakukan dengan mengambil sampel sebanyak 0,5 gram yang dimasukkan ke dalam media analisis, kemudian sampel dikarakterisasi. Hasil berupa gambar morfologi dan EDX elemen-elemen dari karbon aktif.

2.2.4 Pengaruh Kondisi Optimum Adsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II)

4.2.4.1 Pengaruh pH terhadap adsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II)

Ditimbang masing-masing 1 gram $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif lalu ditambahkan 40 mL larutan ion logam dengan konsentrasi 100 mg/L dengan variasi pH 3, 4, 6, 9 dan 12, kemudian dishaker selama 30 menit dengan kecepatan putaran 330 rpm, setelah itu disaring. Filtrat yang dihasilkan ditampung dan dianalisis dengan AAS.

4.2.4.2 Pengaruh konsentrasi terhadap adsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II)

Ditimbang masing-masing 1 gram $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif lalu ditambahkan larutan ion logam sebanyak 40 mL dengan variasi konsentrasi 25, 50, 100, 150, dan 200 mg/L dan dishaker selama 30 menit dengan kecepatan 330 rpm, setelah itu disaring. Filtrat yang dihasilkan ditampung dan dianalisis dengan AAS.

4.2.4.1 Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II)

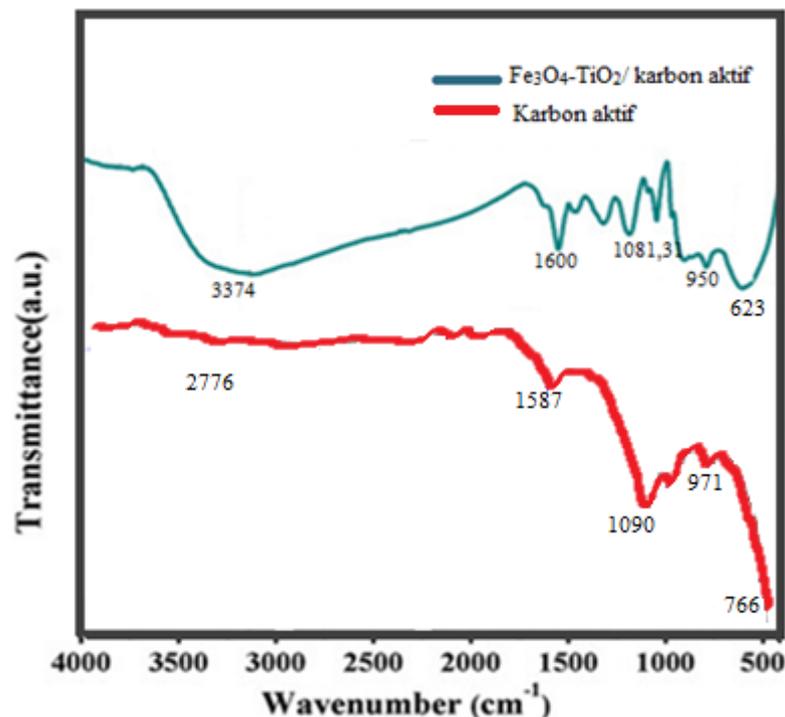
Ditimbang masing-masing 1 gram $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif, lalu ditambahkan larutan ion logam sebanyak 40 mL dengan konsentrasi 100 mg/L dan dishaker dengan variasi waktu selama 30, 45, 60, 90 dan 120 menit dengan kecepatan putaran 330 rpm, setelah itu disaring. Filtrat yang dihasilkan ditampung dan dianalisis dengan AAS.

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian tentang pembuatan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif untuk adsorpsi logam Cd(II) dan Cu(II) dilakukan di Laboratorium Penelitian Kimia FMIPA Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini dilakukan dengan pembuatan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif yang telah jadi dilakukan karakterisasi menggunakan instrumen FTIR, XRD, SEM-EDX. Kemudian diaplikasikan untuk penyerapan logam Cd(II) dan Cu(II) menggunakan instrumen AAS dengan menentukan pH, konsentrasi, dan waktu optimumnya yang kemudian dicari kapasitas adsorpsinya. Penelitian ini telah dilakukan di Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia, dengan capaian hasil yang diperoleh:

5.1 Karakterisasi Karbon Aktif dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$

5.1.1 Karakterisasi FTIR (Fourier Transform Infrared)



Gambar 16. Spektrum IR karbon aktif dan Spektrum IR $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ / karbon aktif

Table 3.Data hasil analisis FTIR

Ikatan	Bilangan Gelombang Karbon Aktif (cm ⁻¹)	Bilangan Gelombang Karbon aktif Fe ₃ O ₄ /TiO ₂ (cm ⁻¹)
O-H Alkohol	-	3374
C-H Alkana	2776	-
C=C Siklis	1587	1600
C-O Alifatik	1090	1081,31
C-H Alkena	971	-
C-H Alkena	766	-
O-Fe	-	623
O-Ti	-	950

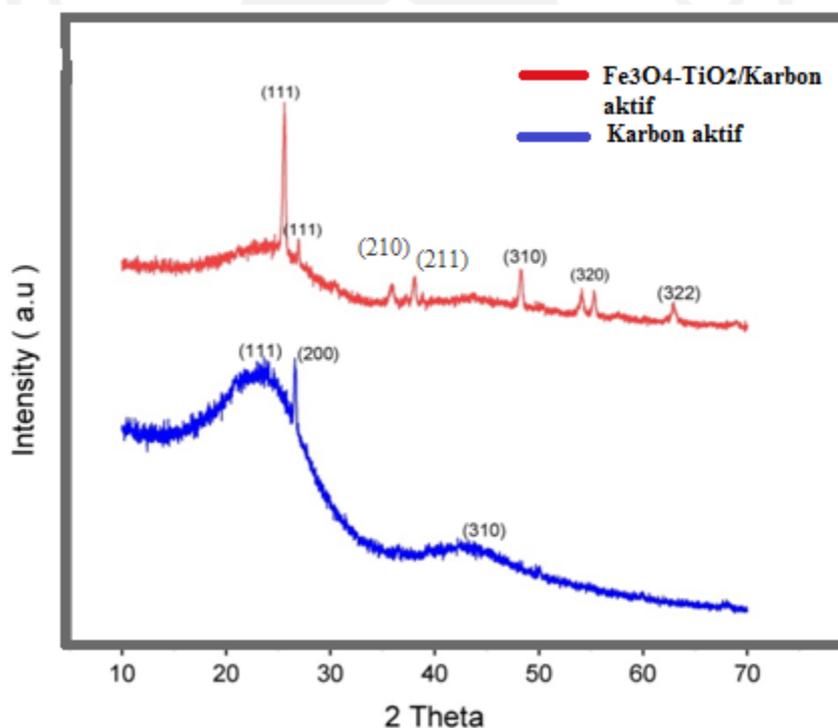
Berdasarkan hasil penelitian spektrum IR karbon aktif pada gambar 15. menunjukkan serapan 3201 cm⁻¹ yang menunjukkan vibrasi gugus fungsi O-H Alkohol, pada bilangan gelombang 1580 cm⁻¹ terdapat vibrasi *stretching* dari ikatan C-C siklis, pita serapan gelombang 1090 cm⁻¹ mengindikasikan adanya gugus C-O Alifatik, terdapat pula serapan bilangan gelombang 766-971 cm⁻¹ yang merupakan serapan gugus C-H alkena. Berdasarkan serapan frekuensi yang terpasang pada spektrum IR mengindikasikan bahwa karbon aktif memiliki gugus O-H.

Pada Gambar 16. terdapat serapan gugus O-H pada bilangan gelombang 3374 cm⁻¹. Terdapat pula serapan pada bilangan gelombang 1600 cm⁻¹ yang menunjukkan serapan gugus C=C siklis. Terdapat serapan pada daerah *fingerprint* yang merupakan serapan dari logam Fe dan Ti yaitu 623 cm⁻¹ dan 950 cm⁻¹. Serapan-serapan tersebut merupakan logam yang berinteraksi dengan atom oksigen, logam membentuk ikatan dengan oksigen dari alkohol pada karbon aktif yaitu C-O-Fe dan C-O-Ti. Sintesis Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif ini berhasil dilakukan karena terdapat pergeseran bilangan gelombang sebelum dan sesudah diimbakan

logam pada karbon aktif yang menunjukkan bahwa adanya interaksi antara logam dengan gugus aktif pada karbon aktif.

5.1.2 Karakterisasi XRD (X-Ray Diffraction)

Karakterisasi karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2/\text{Karbon aktif}$ menggunakan XRD (*X-Ray Diffraction*) bertujuan untuk melihat perubahan antara karbon aktif dan kristal $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2/\text{karbon aktif}$ dengan melihat struktur kristalnya. Dari hasil analisis XRD yang diperoleh karbon aktif dari tempurung kelapa sawit dibandingkan dengan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2/\text{Karbon aktif}$. Hasil yang didapat pada analisa XRD berupa pola difraksi hubungan antara sudut 2θ dengan intensitas hamburan.



Gambar 17. Difraktogram Karbon Aktif dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2/\text{Karbon aktif}$

Hasil analisis pola difraksi yang ditunjukkan pada gambar 16. menunjukkan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2/\text{Karbon aktif}$ memiliki struktur semi-kristalin yang ditandai intensitasnya semakin rendah dan puncak yang semakin runcing. Pada karbon aktif memiliki fasa amorf yang ditandai dengan hasil pola XRD yang diperoleh

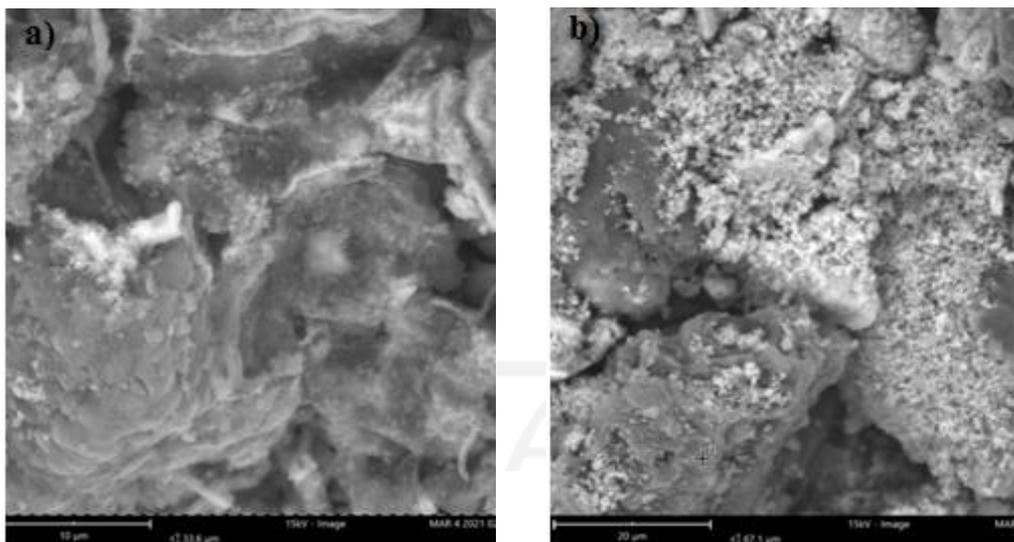
bentuknya tidak beraturan. Gambar 16. menunjukkan kesesuaian dengan data standar (JCPDS No. 85-1436) puncak-puncak dengan intensitas tertinggi muncul pada sudut 2θ (bidang hkl) sebagai berikut. $48,312^\circ$; $54,142^\circ$; $62,958^\circ$ dengan nilai hkl berturut-turut (311); (222); (400). Teridentifikasi puncak lain dengan kristalinitas yang teridentifikasi sebagai puncak-puncak dari TiO_2 yang sesuai dengan standar (JCPDS No 21-1272) pada sudut 2θ ditunjukkan pada daerah $25,602^\circ$; $26,943^\circ$; $37,526^\circ$; $36,673^\circ$ berturut-turut dengan bidang difraksi (hkl) (111); (111); (210); (211). Berdasarkan nilai *Full Width Half Maximum* (FWHM) dengan menggunakan persamaan Debye-Scherrer diperoleh ukuran kristal (D) 27,230 nm hingga 63,904 nm dan memiliki struktur bangun *Simple Cubic* (SC).

Karbon aktif memiliki struktur amorf sedangkan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif memiliki struktur semi-kristalin, sehingga dapat disimpulkan bahwa $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif telah berhasil dilakukan. Keberadaan partikel Fe_3O_4 dan TiO_2 yang mendoping permukaan karbon aktif yang mempengaruhi perbedaan tingkat kristalinitas dari struktur karbon aktif dan karbon aktif. Hal ini dibuktikan dengan refleksi dari (JCPDS No. 85-1436) dan (JCPDS No 21-1272). Struktur yang terbentuk dari proses sintesis tidak semua bertransformasi secara sempurna, adanya pengotor yang ikut tercampur dan Fe_3O_4 dan TiO_2 tidak semua tersebar secara merata selama proses sintesis.

5.1.3 Karakterisasi SEM-EDX (*Scanning Electron Microscopy-Energy*

***Dispersive X-Ray*)**

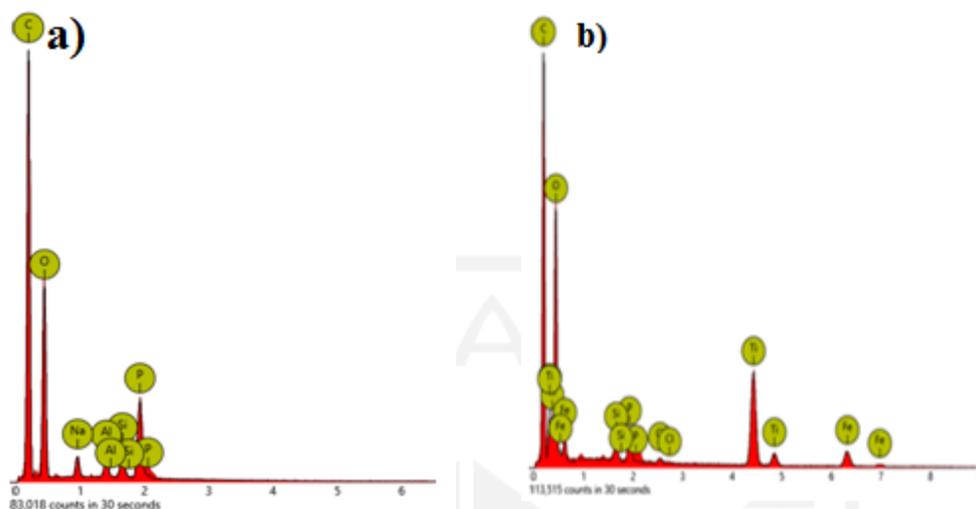
Karakterisasi menggunakan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray*) merupakan analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis dari karbon aktif tempurung kelapa sawit dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif bertujuan untuk mengetahui struktur morfologi permukaan dan kandungan unsur pada $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif dengan perbesaran sampai ribuan kali lipat. Morfologi dari karbon dan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif diperoleh seperti gambar berikut.



Gambar 18. Morfologi (a) karbon aktif (b) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif

Pada gambar 17. (a) dapat dilihat bahwa struktur dan pori hasil citra SEM karbon aktif gambar dengan aktivator H_3PO_4 30% dan karbonisasi pada 400°C terlihat morfologi permukaan tidak rata, terdapat bongkahan-bongkahan pori-pori karbon menunjukkan bahwa proses aktivasi dan karbonisasi yang dilakukan berlangsung efektif hal ini terjadi karena H_3PO_4 merupakan asam kuat yang menyebabkan terjadinya interaksi dengan oksigen yang terdapat dalam lignin tempurung kelapa sawit. H_3PO_4 dapat membentuk pori-pori karbon dengan mengangkat senyawa hidrokarbon atau zat pengotor lainnya. Terbentuknya pori-pori karbon juga disebabkan dari pemanasan yang sangat tinggi.

Pada citra SEM gambar 17.(b) dengan perbesaran 5000x menunjukkan morfologi dari Karbon aktif teremban dan dengan temperatur *furnace* 400°C terbentuk bongkahan-bongkahan yang lebih kecil dari karbon aktif, permukaannya tidak rata tertutup partikel-partikel berwarna putih hal ini terjadi karena logam Fe dan Ti berhasil terembankan dan menempel pada permukaan karbon aktif sehingga luas permukaan karbon aktif bertambah.



Gambar 19. Hasil EDX (a) karbon aktif (b) Karbon aktif Fe₃O₄/TiO₂

Pengujian menggunakan EDX (*Energy Dispersive X-ray*) untuk mengetahui elemen-elemen dari karbon aktif. Pada karbon aktif gambar 19. (a) hanya terdapat unsur Karbon (C), Oksigen (O), Fosfor (P), Silika (Si), Aluminium (Al), dan Natrium (Na). Terdapat unsur oksigen (O) dan Fosfor (P) dikarenakan proses aktivasi karbon aktif di mana pada proses aktivasi menggunakan aktivator H₃PO₄. Selain itu terdapat unsur silika (Si) merupakan unsur pengotor yang terdapat pada karbon aktif itu sendiri dan unsur Natrium (Na) pada karbon aktif berasal dari NaOH yang digunakan dalam proses pencucian yang masih tersisa kemudian unsur Al (Aluminium) merupakan pengotor yang didapatkan dari proses pembuatan karbon aktif. Aktivasi secara fisik dengan bantuan panas, uap, gas N (Nitrogen) pada temperatur 450-700°C dapat menghilangkan unsur-unsur pengotor tersebut karena gas nitrogen dan uap tersebut meningkatkan kualitas karbon aktif dan mendorong pengotor keluar (Jankowska, 2011). Sedangkan pada gambar 19. (b) merupakan hasil EDX dari Fe₃O₄-TiO₂/karbon aktif terdapat tambahan unsur yaitu besi (Fe) dan Titanium (Ti), terdapat unsur Fe dan Ti karena adanya logam besi oksida dan titanium oksida yang terembankan pada karbon aktif.

Table 4. Komposisi unsur dari EDX

Unsur	Karbon Aktif (%)	Fe ₃ O ₄ -TiO ₂ /Karbon aktif (%)
Karbon (C)	58,46	42,77
Oksigen (O)	35,24	37,47
Fosfor (P)	3,50	1,25
Natrium (Na)	1,07	-
Silika (Si)	1,00	0,78
Aluminium (Al)	0,73	-
Besi (Fe)	-	4,87
Titanium (Ti)	-	12,56
Klorin (Cl)	-	0,27

Berdasarkan hasil dari tabel 4. di atas yang merupakan komposisi unsur EDX terdapat perbedaan antara karbon aktif dan Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif, kandungan Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif lebih banyak dibandingkan dengan karbon aktif karena terjadi proses karbonisasi kembali, kandungan unsur karbon (C) pada Karbon aktif lebih tinggi, proses hidrotermal untuk sintesis karbon aktif dan Fe₃O₄/TiO₂ membuat unsur karbon berkurang. Unsur Oksigen (O) lebih tinggi pada Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif karena adsorpsi oksigen yang terjadi akibat proses penyimpanan Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif yang kurang tertutup rapat. Terdapat unsur Klorin (Cl) pada Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif karena bahan dasar campurannya yaitu FeCl₂ dan FeCl₃. Terdapat unsur besi Fe dan titanium Ti pada Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif hal ini menunjukkan bahwa besi (Fe) dan titanium (Ti) berhasil terembankan baik pada karbon aktif.

5.2 Penentuan Kondisi Optimum Adsorpsi

Uji efektifitas $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif dilakukan dengan memanfaatkan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif sebagai adsorben untuk menyerap logam Cu(II) dan Cd(II). Penentuan kondisi optimum adsorpsi terhadap logam didasarkan pada tiga parameter yaitu variasi pH dari larutan logam, variasi konsentrasi yang digunakan dan variasi kontak antara $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif dengan larutan logam untuk menentukan kapasitas adsorpsi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif terhadap larutan logam. Sebelum dilakukan optimasi oleh $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif, dilakukan pengukuran standar Cu(II) dan Cd(II) dengan konsentrasi 1, 2, 3, 4, dan 5 ppm, kemudian diukur absorbansinya dengan AAS, lalu ditentukan kurva kalibrasi untuk dapat ditentukan konsentrasi ion logam Cu(II) dan Cd(II) yang teradsorpsi oleh $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif.

5.2.1 Pengaruh pH terhadap adsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II)

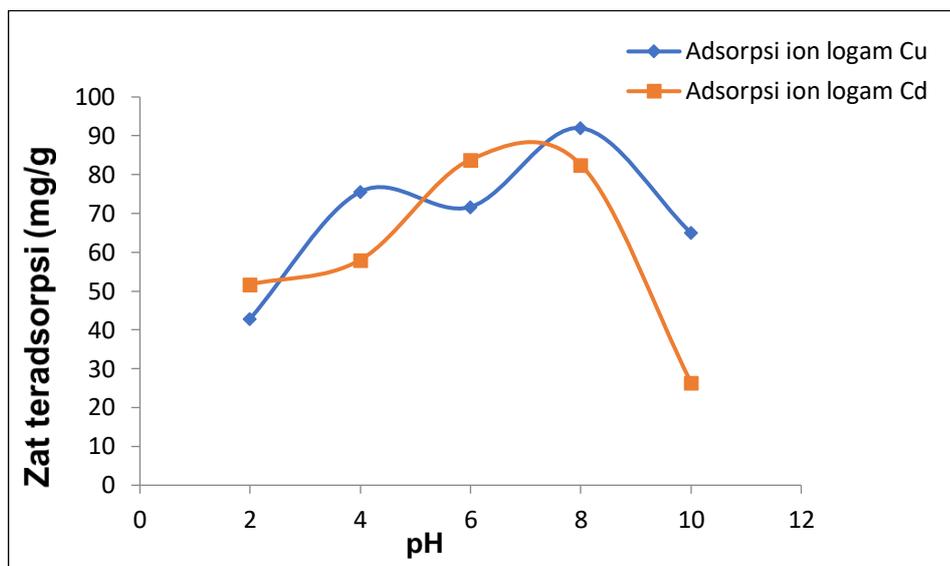
Penentuan pH optimum terhadap adsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II) penting dilakukan karena pH mempengaruhi muatan pada permukaan adsorben, ion dapat bereaksi dengan gugus fungsi pada sisi aktif permukaan adsorben. Variasi pH yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pada kondisi pH 2, 4, 6, 8, dan 10 dengan larutan logam Cu(II) dan Cd(II), dilakukan variasi bertujuan untuk mengetahui pH optimum dan kondisi efektif dalam penjerapan logam saat proses adsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II) sehingga penyerapannya menjadi lebih maksimal. Untuk melihat kondisi optimum penjerapan ion logam Cu(II) dan Cd(II) akibat pengaruh pH dilakukan penambahan 0,5 gram $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif pada setiap larutan logam yang telah diatur kondisi pH-nya, kemudian dishaker selama 30 menit dengan kecepatan 330 rpm. Pada proses shaker terjadi kontak antara adsorben dengan adsorbat sehingga terjadi ikatan antara partikel $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif dengan logam sehingga menyebabkan konsentrasi logam menurun. Kemudian disaring dan diuji dengan *Atomic Analyzer Spectroscopy* (AAS). Tabel dan grafik variasi pH dengan persentase zat yang teradsorpsi sebagai berikut.

Table 5. Adsorpsi Fe₃O₄-TiO₂/karbon aktif pada variasi pH terhadap logam Cu(II)

pH	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	%Adsorpsi
2	100	57,1	4,29	42,9
4	100	24,4	7,56	75,6
6	100	28,3	7,17	71,7
8	100	8	9,2	92
10	100	35	6,5	65

Table 6. Adsorpsi Fe₃O₄-TiO₂/karbon aktif pada variasi pH terhadap logam Cd(II)

pH	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Qe (mg/g)	%Adsorpsi
2	100	48,26	5,174	51,74
4	100	41,94	5,806	58,06
6	100	16,12	8,388	83,88
8	100	17,44	8,256	82,56
10	100	73,5	2,650	26,5



Gambar 20. Grafik hubungan pH terhadap logam Cu(II) dan Cd(II) yang teradsorpsi oleh Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif

Berdasarkan gambar 19. di atas yang merupakan grafik hubungan pH terhadap logam Cu(II) dan Cd(II) yang teradsorpsi oleh Fe₃O₄-TiO₂/karbon aktif menunjukkan bahwa pH larutan mempengaruhi muatan permukaan adsorben dan derajat ionisasi adsorbat. Jumlah ion Cu²⁺ dan Cd²⁺ yang teradsorpsi oleh adsorben ditunjukkan oleh kapasitas adsorpsinya (q_e).

Pada grafik adsorpsi logam Cu(II) menggunakan pH 2,5,6,8 dan 10 besar adsorpsinya secara berturut turut adalah 42,9%; 75,6%; 71,7% ; 92% ; dan 65% dengan nilai banyaknya logam Cu(II) yang teradsorpsi berturut-turut yaitu sebesar 4,29 mg/g ; 7,56 mg/g ; 7,17 mg/g ; 9,2 mg/g ; dan 6,5 mg/g. Dari nilai-nilai tersebut pH optimumnya berada pada kondisi pH 8 yang memiliki nilai adsorpsi sebesar 92% dan logam Cu(II) yang teradsorpsi sebesar 9,2 mg/g. Dapat disimpulkan bahwa logam yang teradsorpsi oleh Fe₃O₄-TiO₂/karbon aktif tidak meningkat seiring kenaikan pH. Larutan logam Cu(II) lebih mudah diadsorpsi pada suasana asam, hal tersebut terjadi karena pada suasana asam larutan dominan dalam bentuk ion positifnya yaitu Cu²⁺, ion tersebut akan bereaksi dengan oksigen yang bermuatan negatif pada Karbon aktif, akan tetapi grafik pada gambar 19. Menunjukkan bahwa zat teradsorpsi paling besar terjadi pada pH 8 yang bersifat

basa hal tersebut menunjukkan bahwa permukaan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif bermuatan negatif dan kation diadsorpsi oleh permukaan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif

Pada gambar 19. grafik adsorpsi logam Cd(II) menggunakan pH 2, 5, 6, 8 dan 10 besar adsorpsinya secara berturut turut adalah 51,75 % ; 58,06 % ; 83,88 % ; 82,56 % ; dan 26,50 % dengan nilai banyaknya logam Cu(II) yang teradsorpsi berturut-turut yaitu sebesar 5,175 mg/g ; 5,806 mg/g ; 8,388 mg/g ; 8,256 mg/g ; dan 2,650 mg/g. Dari nilai-nilai tersebut pH optimumnya berada pada kondisi pH 6 yang memiliki nilai adsorpsi sebesar 83,88 % dan logam Cu(II) yang teradsorpsi sebesar 8,3 mg/g. Dapat disimpulkan bahwa logam yang teradsorpsi oleh $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif tidak meningkat seiring kenaikan pH. Pada grafik menunjukkan zat teradsorpsi paling besar terjadi pada kondisi asam yaitu pada pH 6 hal tersebut menunjukkan logam Cd(II) tidak terionisasi.

5.2.2 Pengaruh konsentrasi Adsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II)

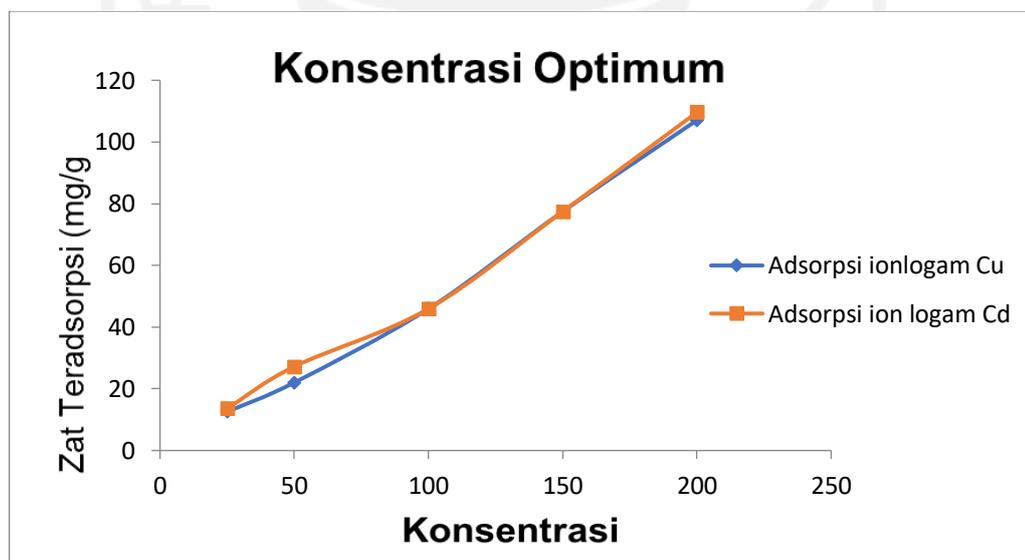
Pengaruh kapasitas adsorpsi logam Cd(II) dan Cu(II) dilakukan untuk mengetahui konsentrasi optimum yaitu konsentrasi yang mampu menyerap paling banyak saat proses adsorpsi. Konsentrasi optimum logam Cu(II) dan Cd(II) dapat mempengaruhi penyerapan adsorben, untuk mengetahui konsentrasi optimum terhadap proses adsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II) oleh $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif dilakukan variasi konsentrasi. Variasi konsentrasi ion logam yang digunakan yaitu 25, 50, 100, 150, dan 200 ppm. Hasil variasi konsentrasi ion logam dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut.

Table 7. Adsorpsi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif pada variasi konsentrasi logam Cu(II)

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	qe (mg/g)	Ce/qe	1/Ce	1/qe	%Adsorpsi
25	27,97	1,1015	25,3926	0,0357	0,9078	44,06
50	54,04	2,298	23,5161	0,0185	0,4351	45,96
100	72,54	3,873	18,7296	0,0137	0,2582	51,64
150	92,93	5,3535	17,3587	0,0107	0,1867	53,53
200	106,11	7,1945	14,7487	0,0094	0,1390	57,56

Table 8. Adsorpsi Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif pada variasi konsentrasi logam Cd(II)

Co (mg/L)	Ce (mg/L)	qe (mg/g)	Ce/qe	1/Ce	1/qe	%Adsorpsi
25	11,38	0,681	16,710	0,087873	1,46842	40.26
50	22,78	2,722	8,3688	0,043898	0,36737	50.04
100	54,04	9,192	5,8790	0,018504	0,10879	50.04
150	72,54	23,23	3,1226	0,013785	0,04304	50.83
200	90,369	43,853	2,0607	0,011065	0,02280	54.77

**Gambar 21.** Grafik hubungan konsentrasi terhadap logam Cu(II) dan Cd(II) yang teradsorpsi oleh Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif

Dilihat dari gambar 21. di atas menunjukkan bahwa konsentrasi optimum pada logam Cu(II) terjadi pada 200 ppm dengan persentase adsorpsinya sebesar 57,56 % dan kapasitas adsorpsinya sebesar 7,194 mg/g. Pada logam Cd(II) terajadi pada 200 ppm dengan persentas zat teradsorpsinya sebesar 54,77 % dan

kapasitas adsorpsinya sebesar 90,369 mg/g. Hal ini sesuai dengan teori yang menyebutkan bahwa semakin besar nilai konsentrasi pada larutan maka semakin banyak jumlah zat yang terlarut yang dapat diadsorpsi sehingga mencapai kesetimbangan (Mattel, 1991).

5.2.3 Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II)

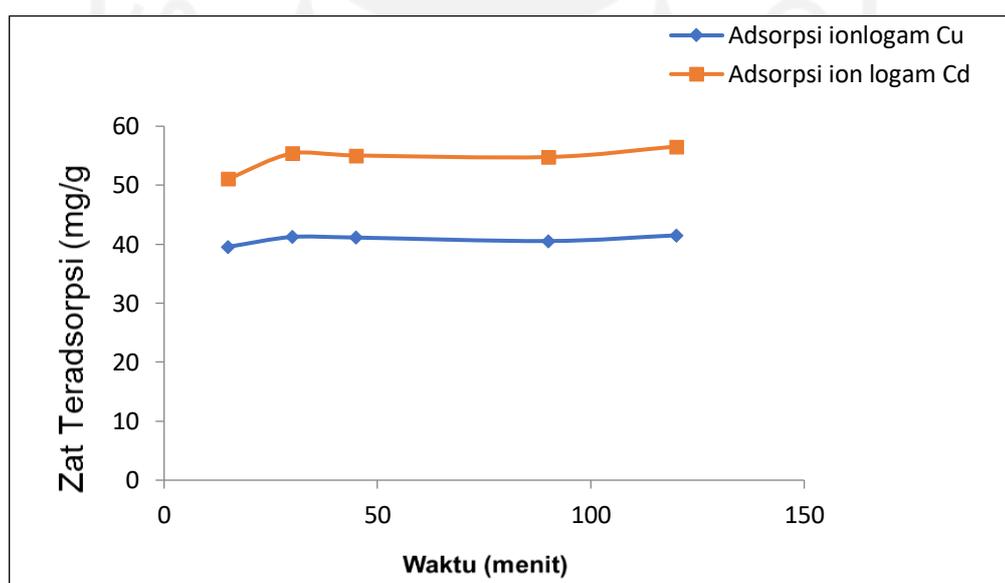
Waktu optimum merupakan keadaan di mana waktu pengadukan campuran $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif dengan logam Cu(II) dan Cd(II) terjadi penurunan kadar logam paling besar. Semakin lama waktu kontak maka semakin meningkat yang terjerap oleh adsorben. Pada proses pengadukan campuran $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif dengan logam Cu(II) dan Cd(II) terjadi penurunan kadar logam paling besar di waktu optimum. Penentuan waktu optimum dilakukan dengan variasi waktu kontak 14, 30, 45, 90, dan 120 menit dengan 100 ppm larutan logam dan 0,5 gram $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif. Persentase adsorpsi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif terhadap logam Cu(II) dan Cd(II) dengan variasi waktu kontak seperti tabel dan gambar berikut.

Table 9. Adsorpsi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif pada variasi waktu kontak terhadap logam Cu(II)

Waktu kontak (menit)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/L)	%Adsorpsi
15	100	60,44	3,956	39,56
30	100	58,77	4,123	41,23
45	100	58,87	4,113	41,13
90	100	59,46	4,054	40,54
120	100	58,49	4,151	41,51

Table 10. Adsorpsi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif pada variasi waktu kontak terhadap logam Cd(II)

Waktu kontak (menit)	C_0 (mg/L)	C_e (mg/L)	Q_e (mg/L)	%Adsorpsi
15	100	48,93	5,107	51,0
30	100	44,61	5,539	55,3
45	100	44,95	5,505	55,0
90	100	45,22	5,478	54,7
120	100	43,44	5,656	56,5



Gambar 22. Grafik hubungan waktu kontak terhadap logam Cu(II) dan Cd(II) yang teradsorpsi oleh $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif

Dilihat dari gambar 22. yang menunjukkan waktu kontak terhadap logam Cu(II) dan Cd(II) yang teradsorpsi. Pada adsorpsi logam Cu(II) dari hasil persentase menunjukkan bahwa semakin lama waktu kontak yang diberikan maka semakin besar logam Cu(II) yang teradsorpsi, karena semakin lama waktu pengadukan (*shaker*) membuka sisi aktif yang ada pada permukaan adsorben yang menyebabkan kemampuan adsorpsi meningkat. Diketahui waktu optimum

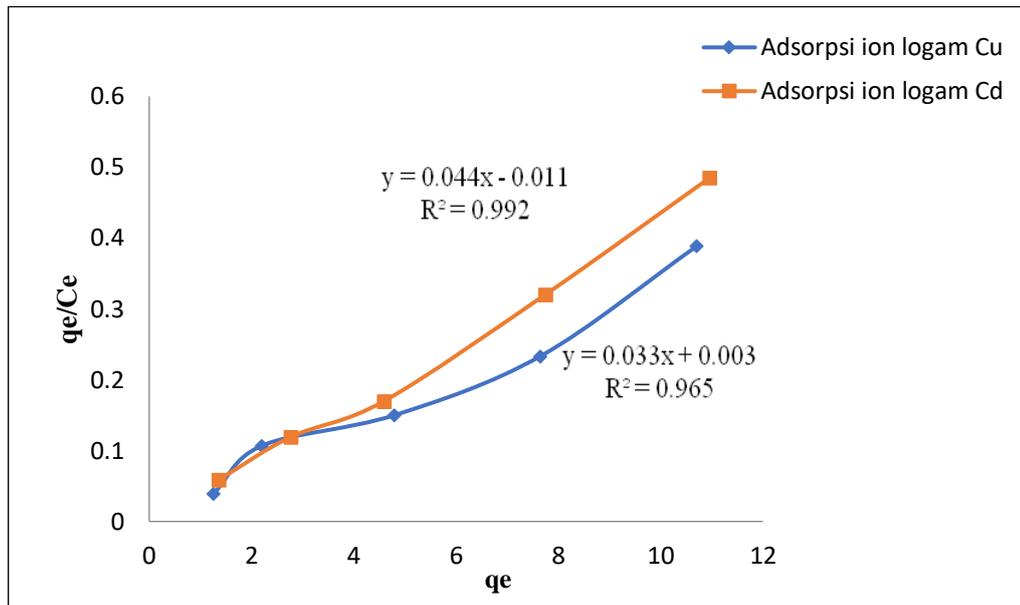
yang digunakan untuk adsorpsi logam Cu(II) oleh Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif terjadi pada waktu 120 menit dengan persentase zat teradsorpsi sebesar 41,51% dan banyaknya logam Cu(II) yang teradsorpsi sebesar 4,152 mg/g.

Pada adsorpsi logam Cd(II) oleh Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif meningkat dari menit 15 menit hingga ke menit 45, akan tetapi pada menit ke 45 terjadi penurunan daya adsorpsi. Terjadi penurunan daya adsorpsi pada logam Cd(II) disebabkan karena interaksi antara Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif dengan ion logam Cu(II) tidak terlalu kuat yang memungkinkan proses kontak menyebabkan putusannya ikatan yang terjadi pada ion logam Cd(II) dengan Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif. Kemudian meningkat kembali pada menit ke 90 hingga menit 120. Berdasarkan tabel 7 dan tabel 8 dapat disimpulkan waktu optimum yang dibutuhkan untuk adsorpsi logam Cd(II) terjadi pada waktu 120 menit dengan jumlah persentase logam Cd(II) yang teradsorpsi sebesar 56,56 % dan banyaknya logam Cd(II) yang teradsorpsi sebesar 5,656 mg/g.

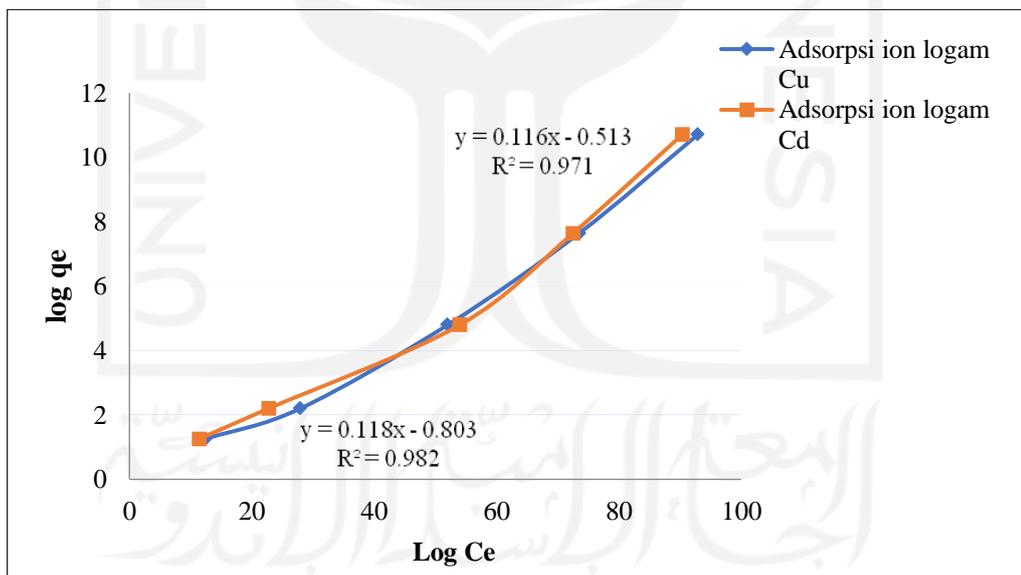
5.3 Penentuan Isoterm Adsorpsi

Kapasitas adsorpsi dan mekanisme adsorpsi yang terbentuk dapat ditentukan dengan menggunakan isoterm adsorpsi. Mekanisme adsorpsi merupakan keadaan dimana adsorbat berdifusi melalui lapisan batas ke permukaan luar adsorben dan sebagian lagi berdifusi ke dalam pori-pori adsorben (Atkins, 1999). Setiap adsorben memiliki pola isoterm yang berbeda dalam menyerap zat lain. Proses penyerapan logam Cu(II) dan Cd(II) oleh Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif dengan menentukan pola isoterm adsorpsi yang sesuai. Pada penelitian ini digunakan adsorpsi fase padat-cair, persamaan yang digunakan yaitu isoterm Langmuir dan Freundlich. Isoterm Langmuir digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum pada lapisan monolayer adsorbat dipermukaan karbon aktif sedangkan isoterm Freundlich digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum yang terjadi pada lapisan multilayer (Erika, 2014).

Kapasitas adsorpsi maksimum isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich dapat dilihat seperti gambar berikut.



Gambar 23. Grafik isoterm Langmuir hubungan antara q_e/C_e terhadap q_e



Gambar 24. Grafik isoterm Freundlich hubungan antara q_e/C_e terhadap q_e

Berdasarkan gambar 23. dan 24. di atas yang menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2/\text{Karbon}$ aktif terhadap ion logam Cu(II) terjadi pada lapisan tunggal (monolayer) dan banyak (multilayer) karena isoterm

Langmuir dan isotherm Freundlich memiliki nilai r^2 mendekati satu (1). Sedangkan pada ion logam Cd(II) kapasitas adsorpsi maksimumnya terjadi pada lapisan tunggal (monolayer) dan lapisan banyak (multilayer) hal ini dikarenakan nilai Langmuir dan Freundlich keduanya $R^2 > 0,9$. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kundari (2008) yang menyatakan bahwa nilai koefisien relasi R^2 dapat menentukan tipe isotherm adsorpsi. Pada adsorpsi ini terjadi pembentukan ikatan kimia antara unsur O pada permukaan adsorben dengan molekul adsorbat yaitu Cu dan Cd. Adsorpsi secara kimi ini melibatkan ikatan koordinasi sebagai hasil penggunaan bersama pasangan elektron oleh adsorbat dan adsorben (Rahmaati dan Santoso, 2012).

Table 11. Parameter Isotherm adsorpsi

Komposit	Langmuir			Freundlich		
	Qm (mg/g)	KL (L/mg)	R ²	Kf	n	R ²
Logam Cu	0,09734	0,0339	0,9655	6,3533	8,453	0,9824
Logam Cd	64	0,0015	0,9924	3,2628	8,6058	0,9715

Kemampuan adsorpsi relatif Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif dalam mengadsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II) dapat dilihat seperti tabel 9. di atas, di mana persamaan Langmuir memiliki kapasitas adsorpsi (Qm) sebesar 0,09734 mg/g pada logam Cu(II) dan 64 mg/g pada logam Cd(II) serta untuk nilai kekuatan interaksi logam Cu(II) dan Cd(II) dengan permukaan Karbon aktif (K_L) berturut-turut yaitu sebesar 0,0339 L/mg dan 0,0015 L/mg. Adsorpsi tersebut berlangsung secara tidak spontan karena hasil kekuatan interaksi adsorpsi bernilai positif.

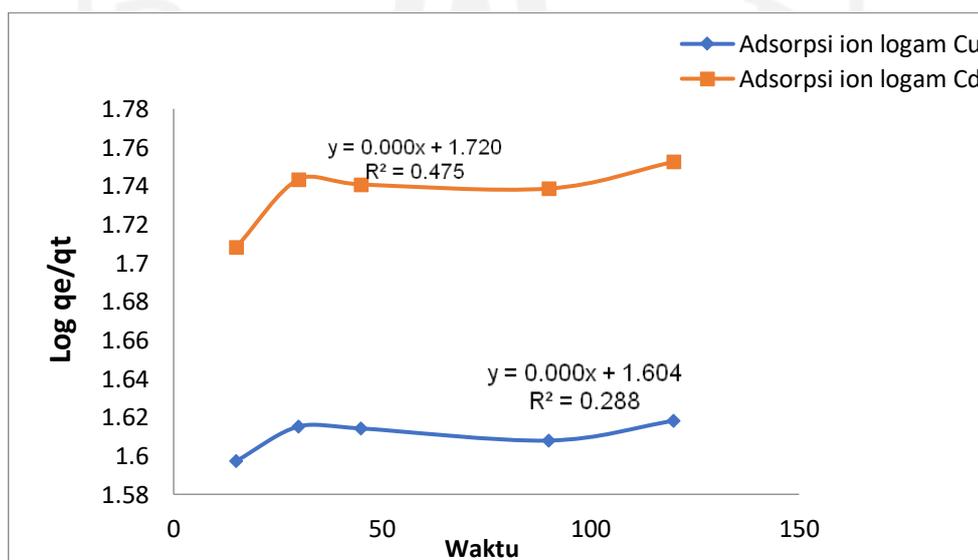
Kapasitas adsorpsi Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif (Kf) dalam mengadsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II) yang telah dilakukan berdasarkan perhitungan kapasitas adsorpsi menggunakan metode Freundlich sebesar 6,3533 untuk logam Cu(II) dan 3,2628 untuk logam Cd(II) serta nilai intensitas adsorpsi (n) maksimum

$\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2/\text{Karbon}$ aktif untuk adsorpsi logam Cu(II) sebesar 8,453 dan pada logam Cd(II) sebesar 8,6058. Nilai kapasitas adsorpsi (K_f) dan intensitas adsorpsi yang dihasilkan bernilai positif hal ini menunjukkan bahwa terjadi kesetimbangan antara adsorben dan adsorbat, konsentrasi larutan, serta waktu yang digunakan pada proses adsorpsi (Hasfita, 2011).

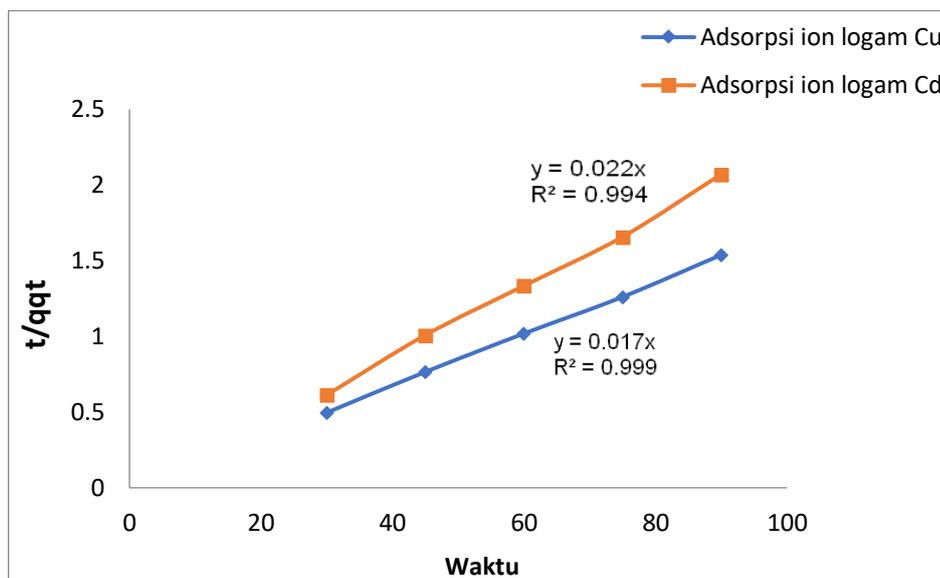
5.4 Penentuan Kinetika Adsorpsi

Laju dan tingkat penyerapan yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat ditentukan dengan menentukan kinetika adsorpsi. Kinetika adsorpsi dilakukan untuk menentukan laju adsorpsi maksimum yang terjadi dan mengetahui mekanisme adsorpsi yang terbentuk yang dipengaruhi oleh waktu. Laju adsorpsi dapat ditentukan dengan menentukan orde reaksinya. Orde reaksi laju suatu reaksi merupakan kecepatan terjadinya suatu reaksi.

Kinetika adsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II) oleh $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2/\text{Karbon}$ aktif dilihat berdasarkan persamaan reaksi orde satu semu (*Pseudo First Order*) dan orde dua semu (*Pseudo Second Order*) pada variasi kontak 15, 30, 45, 90, dan 120 menit. Grafik kinetika orde satu diperoleh dengan membuat kurva hubungan antara $\log(q_e - q_t)$ vs t (menit) dan orde dua dengan menggunakan t/q_t vs t (menit) sehingga diperoleh grafik model seperti berikut.



Gambar 25. Grafik model kinetika orde satu semu



Gambar 26. Grafik model kinetika orde dua semu

Dapat dilihat dari gambar 25. Dan gambar 26. merupakan grafik kinetika orde satu semu (*Pseudo First*) dan orde dua (*Pseudo Second Order*) diperoleh persamaan linier secara berturut-turut yaitu sebesar $y = 0,003x + 1,7208$ nilai $R^2 = 0,4757$ dan $y = 0,001x + 1,6044$ $R^2 = 0,288$ untuk orde satu kemudian $y = 0,0225x$ $R^2 = 0,9945$ dan $y = 0,017x$ $R^2 = 0,9994$ untuk orde dua. Dari persamaan linier tersebut, dapat ditentukan nilai konstanta laju orde semu (K), jumlah logam yang teradsorpsi (q_e) seperti pada tabel parameter kinetika adsorpsi di bawah ini.

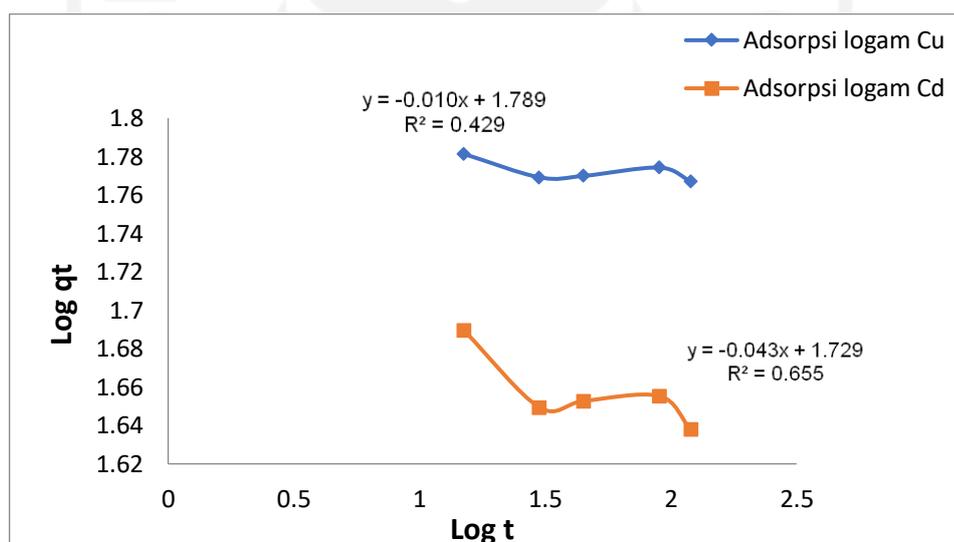
Table 12. Parameter kinetika adsorpsi

Karbon aktif	Orde satu			Orde dua		
	Q_m (mg/g)	K_1 (min^{-1})	R^2	q_e (mg/g)	K_2 (mg/g.min)	R^2
Logam Cu	0,258	0,044L	0,236	6,3533	8,453	0,9824
Logam Cd	64	0,0015	0,9924	3,2628	8,6058	0,9715

Nilai q_e teoritis ditentukan untuk menentukan orde kinetika reaksi, Berdasarkan data yang diperoleh pada tabel 10. menunjukkan bahwa adsorpsi

logam Cu(II) dan Cd(II) mengikuti orde dua karena nilai konstanta laju (K^2) dan regresi linier (R^2) mendekati satu (1). Nilai q_e pada penelitian mendekati nilai q_e teoritis yaitu dengan harga koefisien R^2 mendekati nilai satu (1).

Mekanisme yang terjadi pada saat proses adsorpsi dilakukan dengan menentukan difusi intra partikelnya. Pada proses ini dilalui dengan beberapa tahapan pertama perpindahan adsorbat dari larutan fasa menuju ke permukaan adsorben melalui difusi eksternal, pada difusi internal terjadi perpindahan adsorbat dari permukaan adsorben menuju permukaan dalam pori (Jadav, 2004). Difusi intra partikel umumnya terjadi secara lambat dan dianggap sebagai penentu laju dalam proses adsorpsi. Model kinetika difusi intra partikel dengan membuat plot $\log qt$ vs $\log t$ seperti gambar 26 berikut.

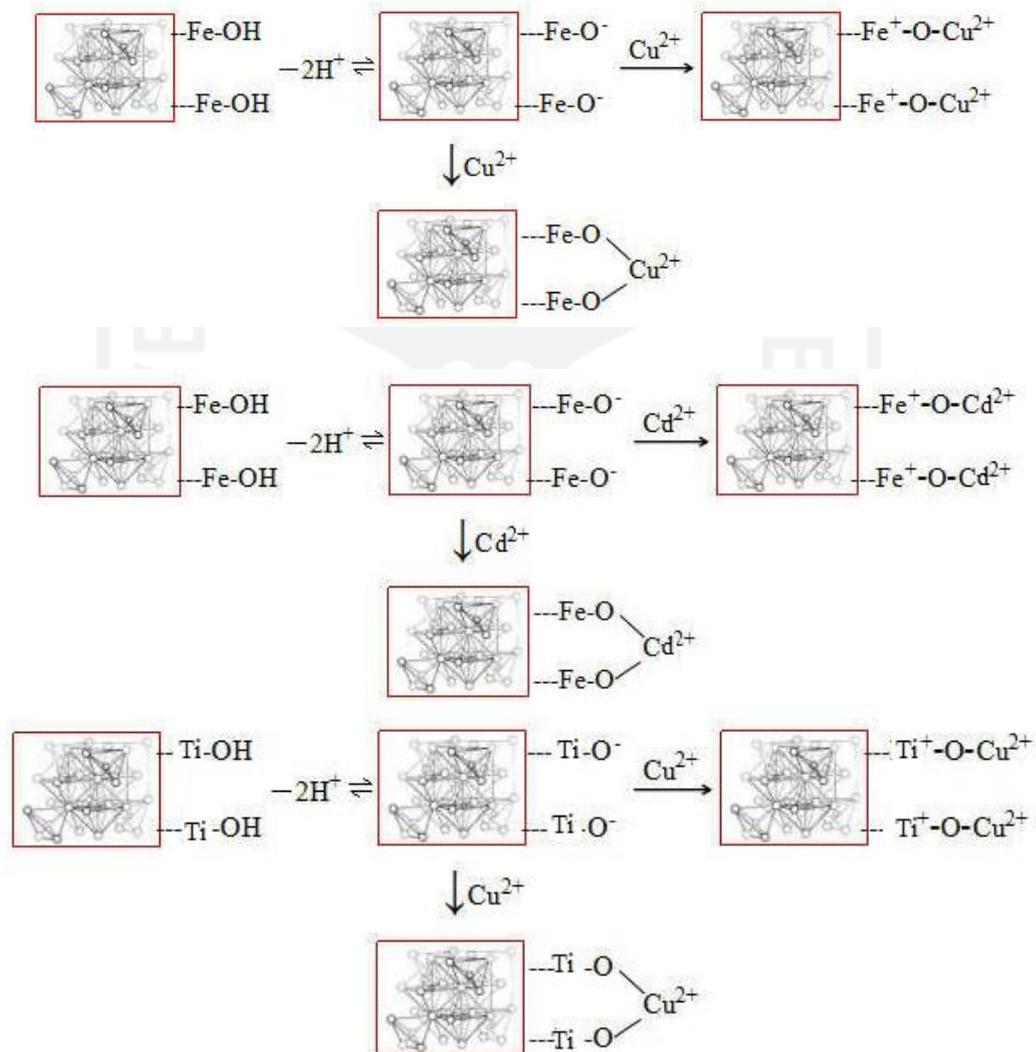


Gambar 27. Grafik model kinetika difusi intrapartikel adsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II)

Table 13. Parameter kinetika difusi intra partikel

Cu(II)			Cd(II)		
C (mg/g)	Ki (mg/g.min)	R ²	C (mg/g)	Ki (mg/g.min)	R ²
61,56	1,0237	0,4297	53,456	1,1043	0,6553

Gambar 27. menunjukkan adanya kurva dengan gradien kecil menggambarkan proses adsorpsi yang berlangsung lebih lambat. Tahapan ini merupakan proses adsorpsi yang dikontrol oleh difusi intra partikel. Dalam penelitian ini ion logam Cu^{2+} dan Cd^{2+} terdifusi atau bertansportasi kedalam adsorbennya yaitu $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2/\text{Karbon}$ aktif. Unsur Oksigen (O) dari $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2/\text{Karbon}$ aktif mengikat ion logam Cu^{2+} dan Cd^{2+} dengan ikatan kimia. Interaksi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2/\text{Karbon}$ aktif dengan ion logam Cu^{2+} dan Cd^{2+} digambarkan seperti berikut.



Gambar 28. Interaksi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2/\text{Karbon}$ aktif dengan logam Cu dan Cd

Berdasarkan tabel 13. di atas yaitu parameter kinetika difusi intra partikel pada logam Cu(II) nilai $R^2 = 0,4297$ dan pada logam Cd(II) = $0,6553$. Kurva gradien yang dihasilkan tidak lurus dan lebih kecil, menggambarkan proses yang berlangsung lebih lambat. C merupakan nilai perpotongan yang menunjukkan pengaruh lapisan batas pada adsorpsi sedangkan K_i merupakan konstanta laju intra partikel. Pada penelitian ini didapatkan nilai C pada logam Cu(II) sebesar 61,56 mg/g dan pada logam Cd(II) sebesar 53,456 mg/g, kemudian nilai K_i yang didapat pada logam Cu(II) sebesar 1,0237 mg/g.min sedangkan pada logam Cd(II) sebesar 1,1043mg/g.min. Dari hasil analisis tersebut dapat disimpulkan bahwa secara simultan penyerapan dan difusi intrapartikel mempengaruhi laju kinetika adsorpsi logam Cu(II) dan Cd(II) pada $Fe_3O_4-TiO_2$ /Karbon aktif.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil karakterisasi menggunakan FTIR, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif memiliki struktur semi-kristalin dan hasil karakterisasi menggunakan SEM-EDX terdapat besi oksida dan titanium oksida yang melapisi permukaan pori pada karbon sehingga meningkatkan daya adsorpsi dari material.
2. Hasil karakterisasi menggunakan XRD memperlihatkan bahwa karbon bersifat amorf, sedangkan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /Karbon aktif merupakan material semi-kristalin memiliki ukuran kristal (D) 27,230 nm hingga 63,904 nm dan memiliki struktur bangun *Face Centered Cubic* (FCC).
3. Kapaistas adsorpsi pada pH optimum logam Cu(II) dan Cd(II) sebesar 9,2 mg/g dan 8,3 mgg, dan kapasitas maksimum $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif terhadap logam Cu(II) sebesar 7,194 mg/g. Waktu kontak optimum logam Cu(II) dan Cd(II) sebesar 4,152 mg/g dan 5,656 mg/g, dengan laju adsorpsi pada logam Cu(II) sebesar 1,02337 mg/g.min sedangkan pada logam Cd(II) sebesar 1,1043 mg/g.min

Saran

Penelitian lebih lanjut diperlukan pembuatan karbon aktif dengan komposisi yang lebih tepat lagi agar meningkatkan daya adsorpsi terhadap logam berat pada limbah cair sehingga daya adsorpsi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-TiO}_2$ /karbon aktif meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrar, M., Ellysa., Syahiddin, D.S, 2017, *Cu(II) Ions Adsorption Using Activated Carbon Prepared from Pithecellobium Jiringa (Jengkol) Shells With Ultrasonic Assistance : Isotherm, Kinetic, and Thermodynamic Studies*, J.Eng. Techno;. Sci., Vol 49 No. 4, 2017, 472-490.
- Agus, Setiabudi, Rifan Hardian dan Ahmad Muzakir, 2012, *Karakterisasi Material Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian*, Universitas
- Aji NR, Wibowo EAP, Ujiningtyas R, Mardiansyah EA, Sari TM, Rahmawati, 2016, *Sintesis dan karakterisasi fotokatalis TiO₂-Bentotit dan aplikasinya untuk penurunan BOD dan COD air embung Unnes*, Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kmia, 2(2): 114-119
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M, 1998, *Crop evapotranspiration — guidelines for computing crop water requirements*, FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization, Rome.
- Anwar, D, 1996, *Kandungan Logam Berat Cu dan Hg dalam Aritrosit Warga Genjeran*, Fakultas Pasca Sarjana. Universitas Airlangga
- Ardiana, I., 2006, *Kajian Proses Pemucatan Minyak Nilam Menggunakan Asam Sitrat pada Skala Pilot Plant*, Fakultas Teknologi Pertanian IPB: Bogor
- Arutanti, O., M. Abdullah, Khairurrijal dan H. Mahfudz., 2009, *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, pp.53-55.
- Basuki, K. T., Setiawan, B., Nurimaniwathy, 2008, *Penurunan Konsentrasi Co Dan NO₂ Pada Emisi Gas Buang Menggunakan Arang Tempurung Kelapa Yang Disisipi TiO₂*, Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta.
- Bezzer, R.D.S, Teixeira, P.R.S., Teixeira, A.S.N.M., Eiras, C., Osajima, J.A., and Filho E.C.S., 2015, *Chemical Functionalization of Cellulosic Materials Main Reactions and Applications in the Contaminants Removal of Aqueous*

- Medium*, Article Federal Institute of Educ., Sci. and Tech. of Piaui Camp. Teresina and Central Federal University of Piaui LIMAV, Teresina Brazil.
- Buhani and Suharso, 2009, *Immobilization of Nannochloropsis Biomass by Sol-Gel Technique as Adsorbent of Metal Ion Cu(II) from Aqueous Solution*, Asian J.Chem, 21(5): 3799-3808
- Buhani and Suharso, 2021, *Removal of Cd(II) ions in solutions by activated carbon from palm oil shells modified with magnetit*, Desalination Publications 218 (2021) 352-362.
- Devina, I.A., Endang, T.W., And Mudasir., 2008, *Pengaruh p-klorofenol terhadap efektivitas fotoreduksi ion H(11) yang Dikatalisis TiO₂*, Jurnal kimia sains dan aplikasi 11(2) (2008): 29-33
- Earnshaw, A, 1997, *Chemistry of The Element 2nd Edition*, Elsevier, New York.
- Edidiong, A., Alastair. M., Petruz, N., Flor. S., dan Xiaoleo, F., *Adsorpyion of Cd(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions using mesoporous activated carbon adsorbent: Euilibrium, Kinetics and Characterization Studies*, Journal of Enviromental Chemical Engineering 5 (2017) 679-698.
- Erawati, Emi dan Fernando, Ardiansyah, 2018, *Pengaruh Jenis Aktivator dan Ukuran Terhadap Pembutan Adsorbent dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon*, *Jurnal Integrasi Proses*, Vol. 7, No. 2.
- Erika, M.G., dan Turmuzi, L, 2014, *Aplikasi Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivator H₃PO untuk Penyerapan Logam Berat Cd dan Pb*, Universitas Sumatera Utara.
- Fajaroh, F., Setyawan, H., Winardi, S., Widyastuti, W., Raharjo, W. & Sentosa, E. 2009. *Sintesis Nanopartikel Magnetite dengan Metode Elektrokimia Sederhana*. Jurnal Nanosains & Nanoteknologi, 2009: 22-25.
- Fatimah, S., Haryati, I., dan Jamaluddin, A., 2009, *Pengaruh Uranium Terhadap Analisis Thorium Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis*, Seminar Nasional V, SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, ISSN 1978-0176

- Greenwood, Norman N., Earnshaw, Alan, 1997, *Chemistry of the Elements*, 2nd Edition, Oxford, Butterworth, Heinemann
- Gurning, J., 1994, Pengaruh Karbon Aktif pada Produksi Keramik Terhadap Sifat Mekanisnya, Universitas Sumatera Utara, Skripsi.
- Gunlazuardi, J. 2001, *Fotokatalisis pada Permukaan TiO₂: Aspek Fundamental dan Aplikasinya*, Seminar Nasional Kimia Fisik II. Jakarta, 11-12 Juni.
- Hasfita, F., 2011, *Pengembangan Limbah Daun Akasia (Acacia mangium Wild) Sebagai Sorben Untuk Aplikasi Pengolahan Limbah*, Tesis, Program Studi Teknik Lingkungan, ITB, Bandung.
- Hendayana, S., 1994, *Kimia Analisis Instrumen*, Semarang : IKIP Semarang Press.
- Hessler, J.W., 1951, *Active Carbon*. Chemical Publishing Co Inc., Boston (MA).
- Hong, R., Li, J., Wang, J., Li, H., 2007, *Comparison of schemes for preparing magnetic Fe₃O₄ nanoparticles*. China Particuology 5 : 186–191
- Hu, Ningmeng, Chenghuan Yang, Liang He, Qingqing Guan dan Rongrong Miao, 2019, *Ni–Cu/Al₂O₃ catalysts for the selective hydrogenation of acetylene: a study on catalytic performance and reaction mechanism*, New Journal of Chemistry at Royal Science Chemistry, 43, 18120 - 18125.
- Jankowska, H., 1991, *Active Carbon*, Ellis Warwood, Polland.
- Jaya, 2014, *Pemanfaatan arang aktif tempurung kelapa sawit dan tongkol jagung sebagai adsorben logam berat pada limbah batik*. (Skripsi), Institute Pertanian Bogor.
- Karina, Carloz, M., De, Ana., L., 2015, *4-Chlorophenol removal from water using graphite and graphene oxides as photocatalysts*, Journal of Environmental Health Science and Engineering .
- Khopkar, S.M., 1990, *Konsep Dasar Kimia Analitik*, UI Press, Jakarta, Hal. 274-277.
- Kulkarni SJ, Kaware JP. *Review on research for removal of phenol from wastewater*. Int J Sci Res Publ. 2013; 3:1–4.

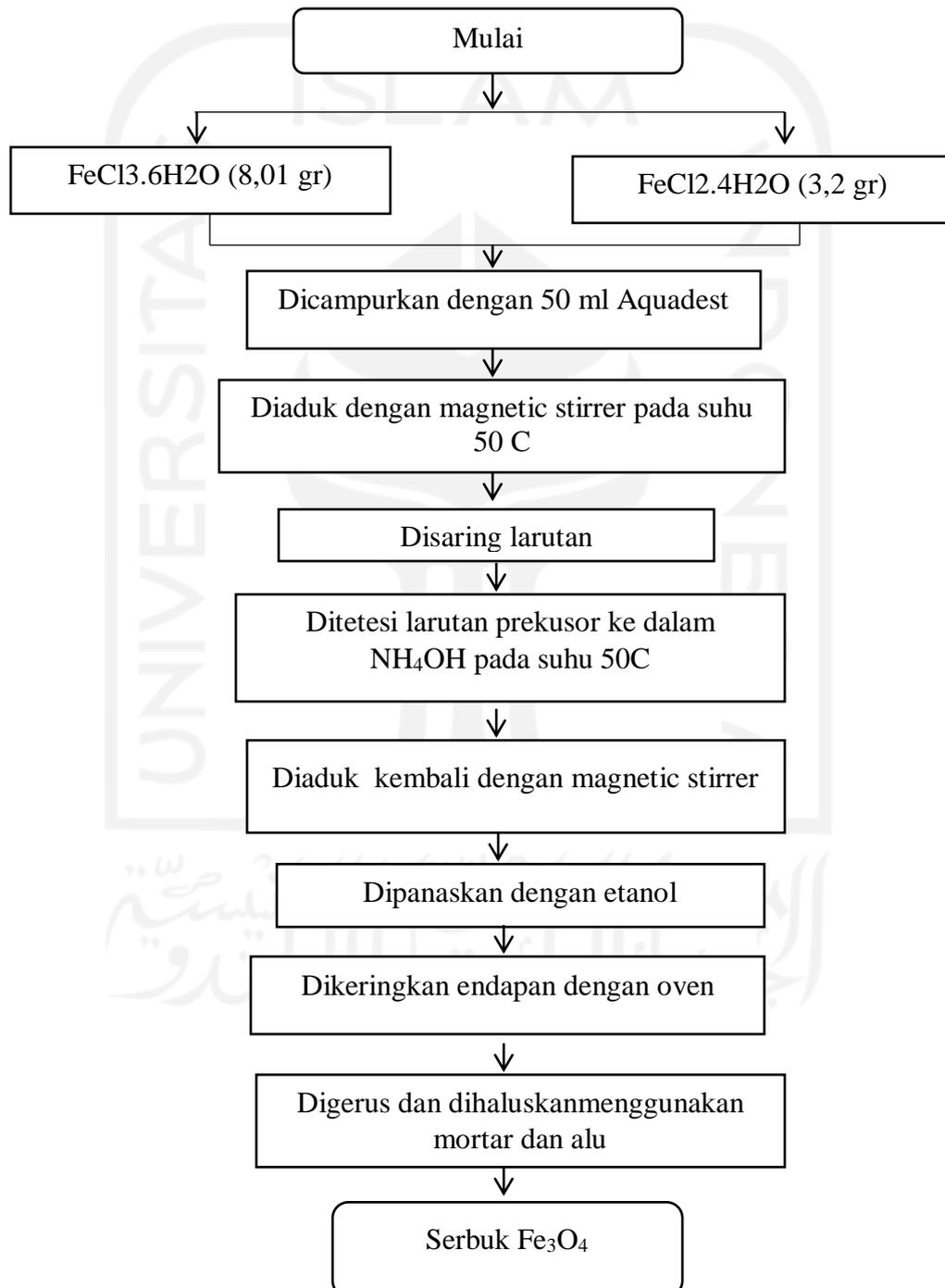
- Kundari, N.A. & Wiyuniati, S., 2008, *Tinjauan Kesetimbangan Adsorpsi Tembaga dalam Limbah Pencuci PCB dengan Zeolit*, Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta
- Luo, Y., J. Chen, J. Liu, Y. Shao, X. Li dan Danzhen L., 2015, *Applied Catalysis B: Environmental*, Hal. 533-540.
- Mattel, C.L., 1991, *Adsorption 2nd Edition*, Mc Graw-Hill Company Inc., New York
- M. A. Rauf, M. A. Meetani, and S. Hisaindee, "An overview on the photocatalytic degradation of azo dyes in the presence of TiO₂ doped with selective transition metals," *Desalination*, vol. 276, no. 1-3, pp. 13-27, 2011.
- Manahan, S.E. 2001, *Water Pollution dalam buku Fundamentals of Environmental Chemistry*, Edisi 2. CRC Press Lewis Pub. Boca Raton. Florida
- Martin, A., 2008, *Farmasi Fisika Dasar-Dasar Farmasi Fisik dalam Ilmu Farmasetik Edisi Ketiga jilid 2*. UI Press, Jakarta.
- Meng, J., G.Q. Yang, L.M. Yan and X.Y. Wang. 2005. *Synthesis and Characterization of Magnetic Nanometer Pigment Fe₃O₄*. *Dyes and Pigments*, 66(2):109-113.
- Metcalf, Eddy, Tchobanoglous, G., Burton. F.L, and STENSE, H.O., 2003. *Wastewater ENGINEERING Treatment and reuse*, 4th ed., McGraw-Hill, Boston, pp. 1138-1145
- Mukherjee S, Basak B, Bhunia B, Dey A, Mondal B. *Potential use of polyphenol oxidases (PPO) in the bioremediation of phenolic contaminants containing industrial wastewater*. *Rev Environ Sci Biotechnol*. 2013; 12:61-73.
- Murdiyanto, 2005, *Senyawa Karbon*, Universitas Brawijaya, Malang.
- Murti, S., 2008, *Pembuatan Karbon Aktif dari Tongkol Jagung untuk Adsorpsi Molekul Amonia dan Ion Krom*, Skripsi, Universitas Indonesia, Depok.

- Peings V, Frayret J, Pigot T. *Mechanism for the oxidation of phenol by sulfatoferrate (VI): comparison with various oxidants*. J Environ Manag. 2015; 157:287–96.
- Prabowo, A., 2009, *Pembuatan Karbon Aktif dari Tongkol Jagung Serta Aplikasinya untuk Adsorpsi Cu, Pb dan Amonia*, Skripsi, Universitas Indonesia, Depok
- Prawira, M.H., 2008, *Penurunan Kadar Minyak Pada Limbah Cair Dalam Reaktor Pemisah Minyak dengan Media Adsorben Karbon Aktif dan Zeolit*, UII, Yogyakarta.
- Qadeer & Rehan. 1998. *Proses Pengolahan Minyak Bumi*. Bandung
- Ramadhan, Adya, dan Rizky, 2017, *Synthesis of Fe₃O₄/TiO₂-Co Nanocomposite as Model of Photocatalyst with Magnetic Properties*. Materials Science Forum Vol. 901
- Ruey, Yao, Chien, Kuen, Hsi and Sea, 2018, *Synthesis of magnetic Fe₃O₄/activated carbon nanocomposites with high surface area as recoverable adsorbents*. Journal of the Taiwan Institute of chemical engineers
- Rijing., W, Xiaohong., W, Xiaoguang, Ruaming and Guohua, 2011, *Preparation and photocatalytic activity of magnetic Fe₃O₄/SiO₂/TiO₂ composites*, Advance in materials science and engineering, Volume 2012
- Riyanto., A. Ginting., O.M., dan Sembiring, S., 2009, *Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Pembentukan Gugus Borosilikat (B-O-Si) Bahan Keramik Borosilikat Berbasis Silika Sekam Padi*, Prosiding SN SMAP 09.
- Sartika, Nyimas Dewi, E. Gumbira Said, Machfud, Titi Candra Sunarti, Gustan Pari, 2014, *Kajian Pembuatan Arang Aktif Berbahan Baku Bagas Tebu Melalui Kombinasi Proses Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia*, Jurnal Teknologi Industri Pertanian, 24 (2) : 157 – 165
- Sarto, Siti, dan Andreas, 2007, *Penjerapan p-chlorophenol dalam air limbah dengan zeolit*, J.manusia dan lingkungan, vol.14, No2 63-77.
- Sembiring, T.M., dan Sinaga, T.S., 2003, *Arang Aktif (Pengenal dan Proses Pembuatannya*, Universitas Sumatera Utara, Medan.

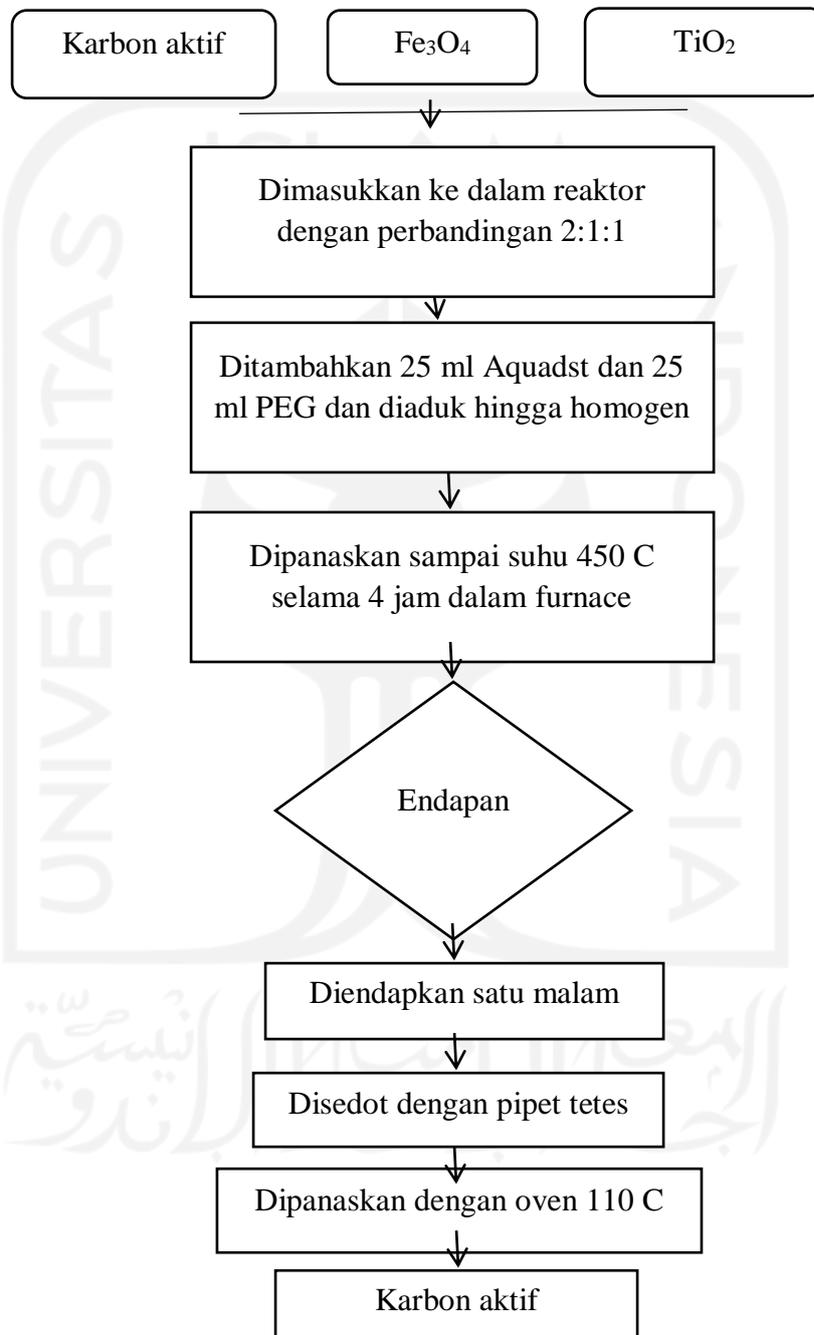
- Sibuea H. W, Panggabean M. M, Gultom P. S, 2005, *Ilmu Penyakit Dalam*, Cetakan Ke 2, Rineka Cipta, Jakarta
- Teja, A. S. & Koh, P. 2009. *Synthesis, properties , and application of magnetic iron oxide nanoparticles*. Progress in crystal growth and characterization of materials, 55: 22
- Teng Ong, Siew., Sim Cheong, Wai and Tse Hung, Yung. 2012. Photodegradation of Commercial Dye, Methylene Blue Using Immobilized TiO₂. International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering. Vol 43. (23)
- Trihendrardi, C., 1997, *Pembuatan Karbon Aktif Dengan Metoda Chemical Impregnating Agent Dengan Bahan Baku Serbuk Gergaji dari Pohon Kelapa dan Pengujiannya Terhadap Parameter Phenol*, Tugas Akhir S1, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS, Surabaya
- Verayan, Mardjan Papatungan dan Hendri Iyabu, 2018, Pengaruh Aktivator HCl dan H₃PO₄ Terhadap Karakteristik (Morfologi Pori) Arang Aktif Tempurung Kelapa Serta Uji Adsorpsi pada Logam Timbal (Pb), *Jurnal Entropi*, Vol. 13, No. 1, 67-75.
- Widya, 2019, *Modifikasi Karbon Aktif Dari Cangkang Jengkol Dengan TiO₂ Untuk Fotoegradasi Rhodamin B* , Jurnal Atomik 04(2) 64-69
- Wu,A., Ou, P, dan Zeng, L., 2010, *Biomedical Application of Magnetic Nanoparticles*, NANO: Breif Reports and Reviews, 5, 245-270.
- Zega, Sadrahman Abidin, Magr Dr Zaenal., 2017, Sintesis Karbon aktif Fe₃O₄/Karbon Aktif sebagai Adsorben Metilen Biru dan Metil Jingga

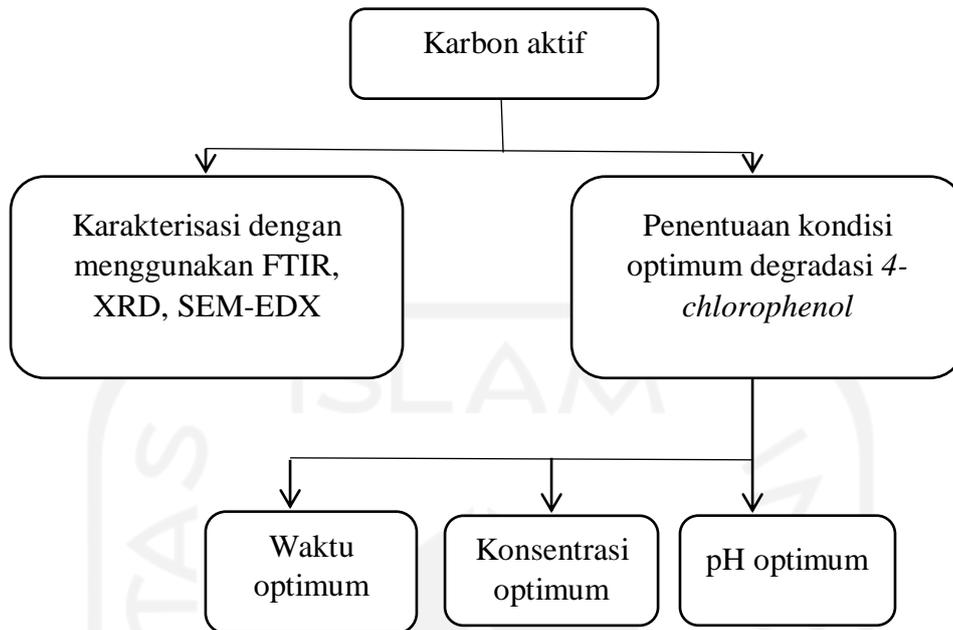
LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram alir penelitian

1. Pembuatan Fe_3O_4 

2. Pembuatan Karbon aktif Fe₃O₄/TiO₂





UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
الجامعة الإسلامية
الاستدراك والتربية

Lampiran 3. Analisis Data

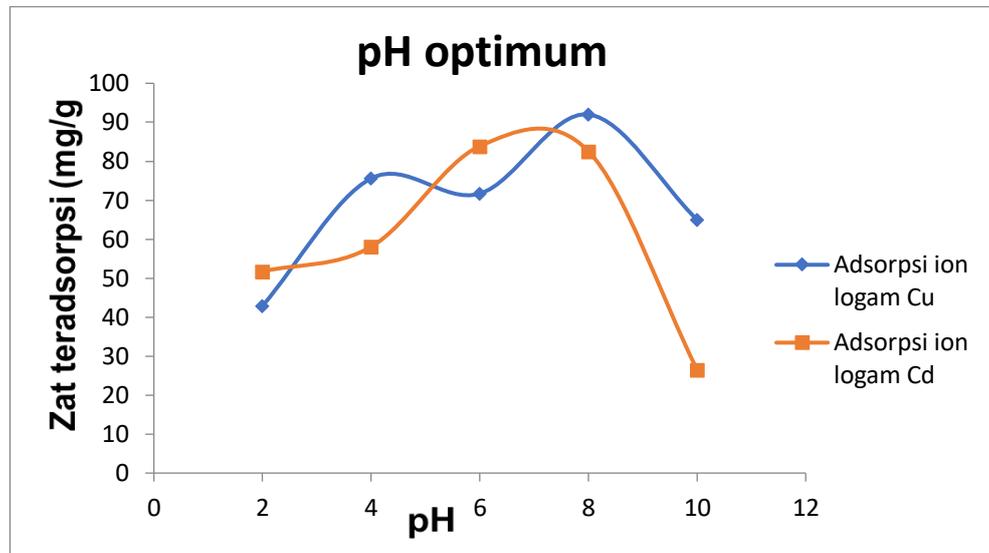
1. Penentuan pH optimum

Ion logam Cu(II)

pH	Abs	(g)	(menit)	(mg/L)	Ce(mg/L)	Co-Ce	Adsorpsi	q _e (mg/g)
2	0,525	0,5	30	100	57,1	42,9	42,9	4290
4	0,224	0,5	30	100	24,4	75,6	75,6	7560
6	0,26	0,5	30	100	28,3	71,7	71,7	7170
8	0,073	0,5	30	100	8	92	92	9200
10	0,322	0,5	30	100	35	65	65	6500

Ion logam Cd(II)

pH	Abs	(g)	(menit)	(mg/L)	Ce(mg/L)	Co-Ce	Adsorpsi	q _e (mg/g)
2	0,649	0,5	30	100	48,26	51,74	51,74	5174
4	1,272	0,5	30	100	41,94	58,06	58,06	5806
6	0,441	0,5	30	100	16,12	83,88	83,88	8388
8	0,433	0,5	30	100	17,44	82,56	82,56	8256
10	0,433	0,5	30	100	73,5	26,5	26,5	2650



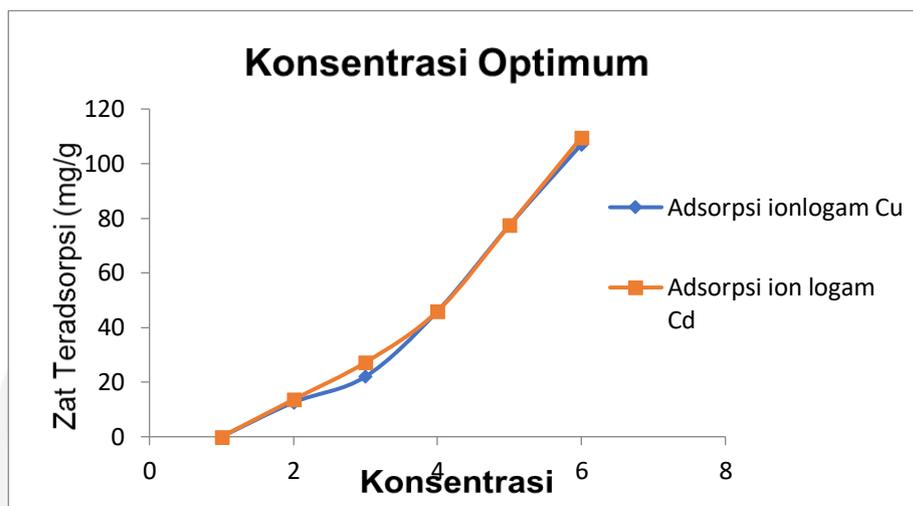
2. Penentuan konsentrasi optimum

Ion logam Cu(II)

pH	Abs	(g)	(menit)	(mg/L)	Ce(mg/L)	Co-Ce	Adsorpsi	qe (mg/g)
8	0,1237	0,5	30	25	12,45	12,55	44,06	1255
8	0,2311	0,5	30	50	27,97	22,03	45,96	2203
8	0,2873	0,5	30	100	54,04	45,96	51,64	4596
8	0,3713	0,5	30	150	72,54	77,46	53,535	7746
8	0,4256	0,5	30	200	92,93	107,07	57,556	10707

Ion logam Cd(II)

pH	Abs	(g)	(menit)	(mg/L)	Ce(mg/L)	Co-Ce	Adsorpsi	qe (mg/g)
6	0,114	0,5	30	25	11,38	13,62	40,26	0,681
6	0,211	0,5	30	50	22,78	27,22	50,04	2,722
6	0,297	0,5	30	100	54,04	45,96	50,04	9,192
6	0,371	0,5	30	150	72,54	77,46	50,83	23,23
6	0,445	0,5	30	200	90,369	109,631	54,77	43,853



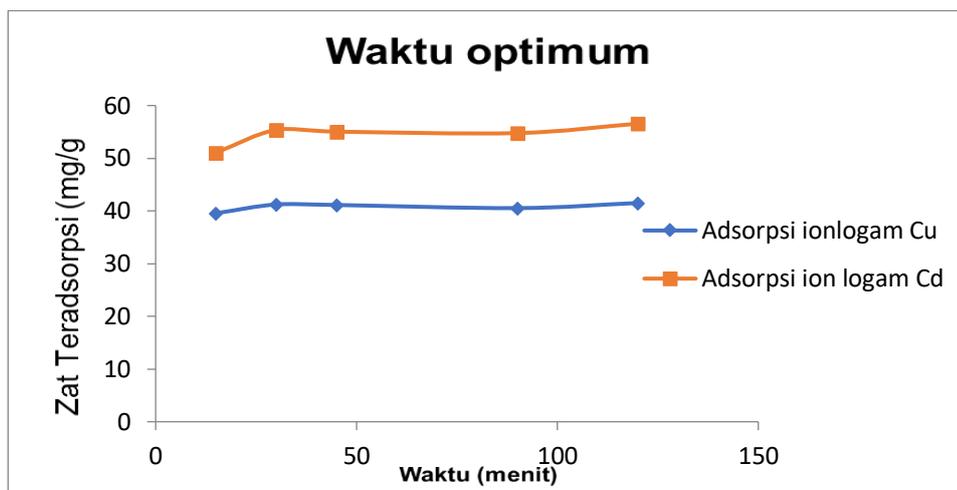
3. Penentuan waktu optimum

Ion logam Cu(II)

Ph	Abs	(g)	(menit)	(mg/L)	Ce(mg/L)	Co-Ce	Adsorpsi	qe (mg/g)
8	0,242	0,5	15	100	60,44	39,56	39,56	3,956
8	0,245	0,5	30	100	58,77	41,23	41,23	4,123
8	0,246	0,5	45	100	58,87	41,13	41,13	4,113
8	0,244	0,5	90	100	59,46	40,54	40,54	4,054
8	0,246	0,5	120	100	58,49	41,51	41,51	4,151

Ion logam Cd(II)

Ph	Abs	(g)	(menit)	(mg/L)	Ce(mg/L)	Co-Ce	Adsorpsi	qe (mg/g)
6	0,242	0,5	15	100	48,93	51,07	51,07	5,107
6	0,245	0,5	30	100	44,61	55,39	55,39	5,539
6	0,246	0,5	45	100	44,95	55,05	55,05	5,505
6	0,244	0,5	90	100	45,22	54,78	54,78	5,478
6	0,246	0,5	120	100	43,44	56,56	56,56	4,656



4. Penentuan Isoterm Adsorpsi

Ion logam Cu(II)

pH	Abs	(g)	(menit)	(mg/L)	Ce(mg/L)	Co-Ce	Adsorpsi	q _e (mg/g)
8	0,1237	0,5	30	25	12,45	12,55	44,06	1255
8	0,2311	0,5	30	50	27,97	22,03	45,96	2203
8	0,2873	0,5	30	100	52,04	47,96	51,64	4796
8	0,3713	0,5	30	150	73,54	76,46	53,535	7646
8	0,4256	0,5	30	200	92,93	107,07	57,556	10707

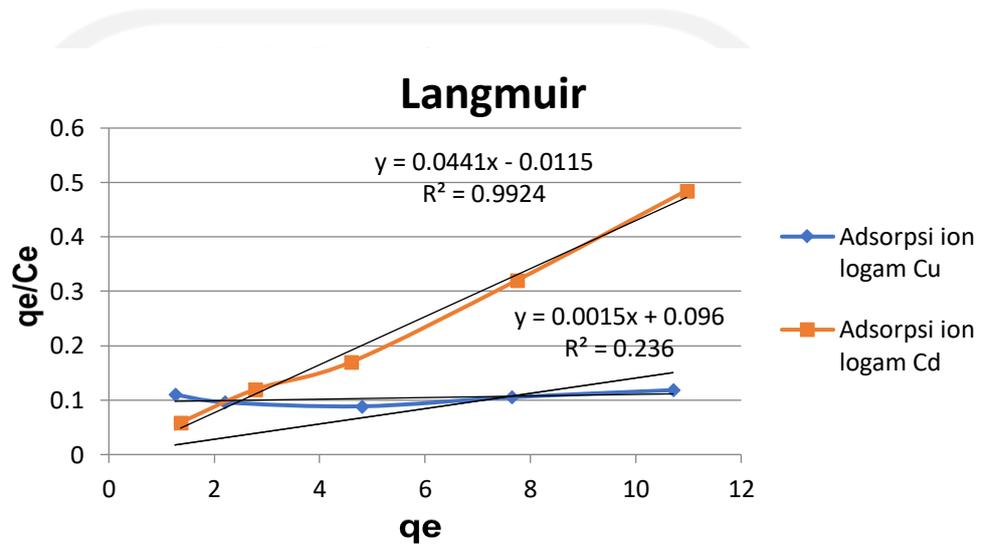
Co (mg/L)	Ce(mg/L)	Co-Ce (mg/L)	q _e (mg/g)	q _e /Ce	Log q _e	Log Ce
25	12.45	12.55	1.255	0.100803	0.098643726	1
50	27.97	22.03	2.203	0.078763	0.343014497	1
100	54.04	45.96	4.596	0.085048	0.66238002	2
150	72.54	77.46	7.746	0.106782	0.889077493	2
200	92.93	107.07	10.707	0.115216	1.029667803	2

Ion logam Cd(II)

pH	Abs	(g)	(menit)	(mg/L)	Ce(mg/L)	Co-Ce	Adsorpsi	q _e (mg/g)
6	0,114	0,5	30	25	11,38	13,62	40.26	1,255
6	0,211	0,5	30	50	22,78	27,22	50.04	2,203
6	0,297	0,5	30	100	54,04	45,96	50.04	4,796
6	0,371	0,5	30	150	72,54	77,46	50.83	7,646
6	0,445	0,5	30	200	90,369	109,631	54.77	10,707

Co (mg/L)	Ce(mg/L)	Co-Ce (mg/L)	q _e (mg/g)	q _e /Ce	Log q _e	Log Ce
25	11.38	13.62	1.255	0.110281	0.098643726	1
50	22.78	27.22	2.203	0.096708	0.343014497	1
100	54.04	45.96	4.796	0.088749	0.680879174	2
150	72.54	77.46	7.646	0.105404	0.883434294	2
200	90.369	109.631	10.707	0.118481	1.029667803	2

a. Isoterm langmuir



Logam Cd

$$y = 0,0015x + 0,096$$

$$R^2 = 0,9924$$

Persamaan isoterm langmuir

$$q_e/c_e = kL \cdot q_m - K1 \cdot q_e$$

Penentuan nilai q_m (kapasitas adsorpsi)	Penentuan nilai kL (energi adsorpsi)
Intersep (a) = $kL \cdot q_m$, maka	Slope (b) = $K1$ (energi adsorpsi)
$0,096 = 0,0015 \cdot q_m$	$0,0015 = K1$
$q_m = 64 \text{ mg/g}$	$kL = 0,0015 \text{ L/mg}$

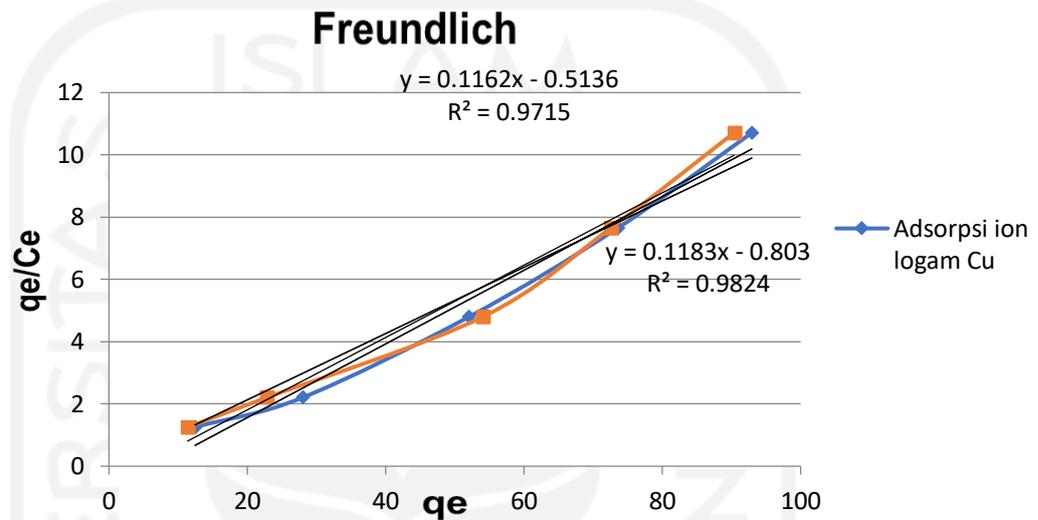
Logam Cu

$$y = 0,0441x - 0,0115$$

Penentuan nilai q_m (kapasitas adsorpsi)	Penentuan nilai kL (energi adsorpsi)
Intersep (a) = $kL \cdot q_m$, maka	Slope (b) = $K1$ (energi adsorpsi)

$0,0115=0,0441 \cdot q_m$	$0,044= K_l$
$q_m= 0,2528$	$k_l= 0,044L/mg$

b. Isoterm Freundlich



Logam Cd

$$y = 0,1162x - 0,5136$$

$$R^2 = 0,9715$$

Persamaan isoterm Freundlich

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \cdot \log C_e$$

Penentuan nilai n (intensitas adsorpsi)	Penentuan nilai FL (Kapasitas adsorpsi)
slope (b) = $1/n$ maka,	intersep (a) = $\log K_f$, maka
$0,1162 = 1/n$	$-0,5136$
$n = 1/0,1162$	$K_f = 10^{-0,5136}$
$n = 8,6058$	$3,2628$

Logam Cu

Penentuan nilai n (intensitas adsorpsi)	Penentuan nilai FL (Kapasitas adsorpsi)
slope (b) = $1/n$ maka,	intersep (a) = $\log K_f$, maka
$0,1183 = 1/n$	$-0,803$
$n = 1/0,1183$	$K_f = 10^{-0,803}$
$n = 8,4530$	$6,3533$

5. Penentuan Kinetika Adsorpsi

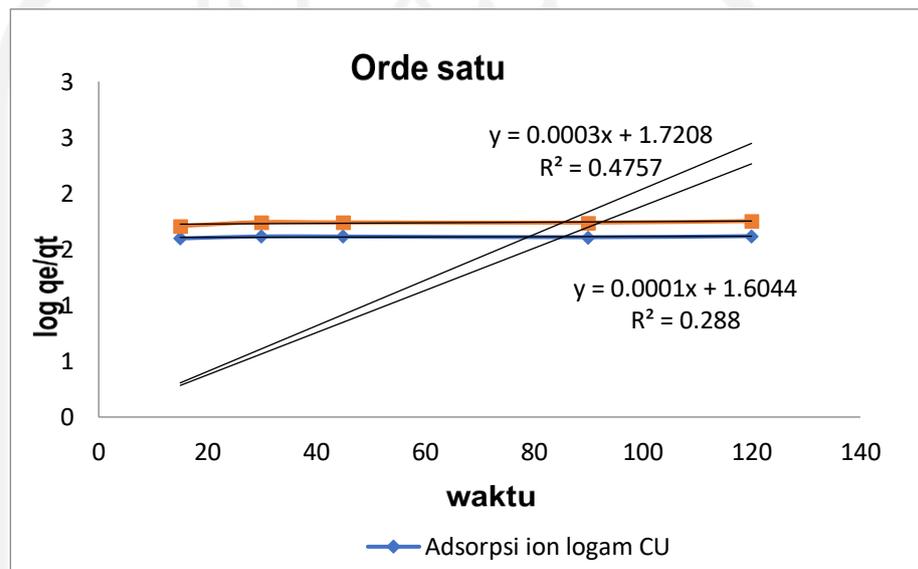
Ion logam Cu(II)

t (menit)	Abs	Ce(mg/L)	log t	qe	qt=ce	log qt	log qe-qt	t/qt	1/qt
15	0.242	60.44	1	100	60.44	1.78	2	0.24818001	0.016545334
30	0.245	58.77	1	100	58.77	1.76	2	0.51046452	0.0219
45	0.246	58.87	2	100	58.87	1.76	2	0.76439613	0.0218
90	0.244	59.46	2	100	59.46	1.77	2	1.5136226	0.0216
120	0.246	58.49	2	100	58.49	1.76	2	2.05163276	0.0226

Ion logam Cd(II)

t(menit)	Abs	Ce(mg/L)	log t	qe	qt=ce	log qt	log qe-qt	t/qt	1/qt
15	0.242	48.93	1	100	48.93	2	2	0.30656039	0.020437359
30	0.245	44.61	1	100	44.61	2	2	0.67249496	0.022416499
45	0.246	44.95	2	100	44.95	2	2	1.00111235	0.022246941
90	0.244	45.22	2	100	45.22	2	2	1.99026979	0.022114109
120	0.246	43.44	2	100	43.44	2	2	2.76243094	0.023020258

a. Orde pertama semu



Logam Cd

$$y = 0,0006x + 1,7031$$

$$R^2 = 0,6228$$

Bentuk persamaan laju orde pertama pseudo Lagrergen

$$\log(q_e - qt) = \log q_e - (K_1/2,303)t$$

Penentuan nilai K	Penentuan nilai q_e
Slope (b) = $(K_1/2,303)t$ maka	intersep (a) $\log q_e$ maka
$0,0006 = K_1/2,303$	$1,7031 = \log q_e$
$K_1 = 2,303 \times 0,0006$	$q_e = 10^{1,7031}$
$0,001383 \text{ menit}^{-1}$	$q_e = 10^{1,7031}$
	$50,477 \text{ mg/g}$

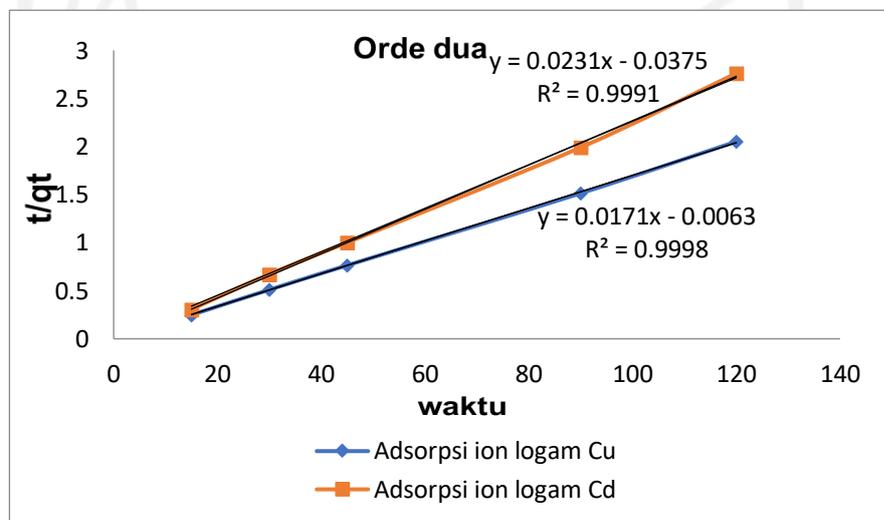
Logam Cu

$$y = 0,0002x + 1,5967$$

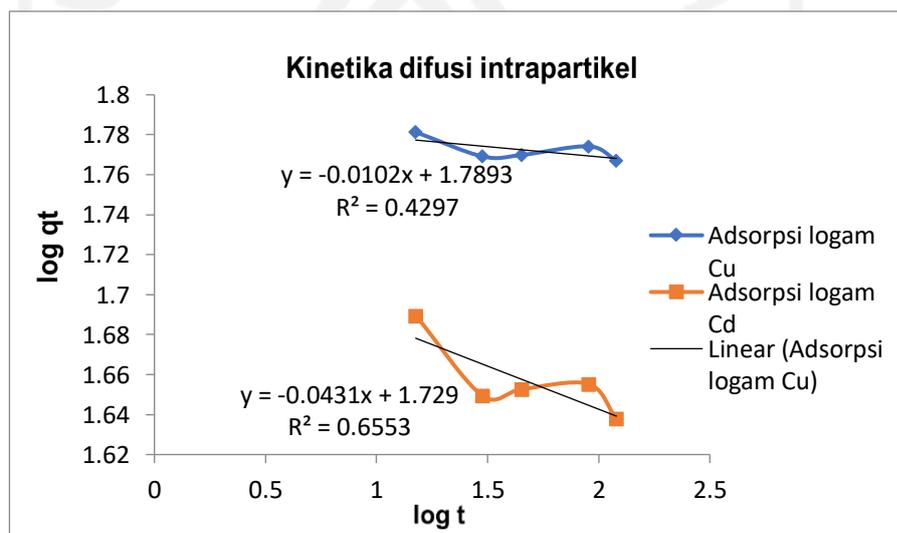
$$R^2 = 0,4297$$

Penentuan nilai K	Penentuan nilai q_e
Slope (b) = $(K1/2,303)t$ maka	intersep (a) $\log q_e$ maka
$0,0002=K1/2,303$	$1,5967=\log q_e$
$K1= 2,303 \times 0,0002$	$q_e=10^{1,5967}$
$0,0004606 \text{ menit}^{-1}$	$q_e=10^{1,5967}$

b. Orde ke dua



c. Kinetika difusi intra partikel



Logam Cu

$$y = -0,0102x + 1,7893$$

$$R^2 = 0,4297$$

Bentuk persamaan

$$\log qt = \log K_i \cdot 1/2 \log t + \log C$$

Penentuan nilai q_e	Penentuan nilai C
Slope (b) = $\log K_i$ maka,	Intersep (a) = $\log C$, maka,
0,0102 = $\log K_i$	1,7893 = $\log C$
$K_i = 10^{0,0102}$	$C = 10^{1,7893}$
$K_i = 1,0237$	$C = 61,56$

Logam Cd

$$y = -0,0431x + 1,729$$

$$R^2 = 0,6553$$

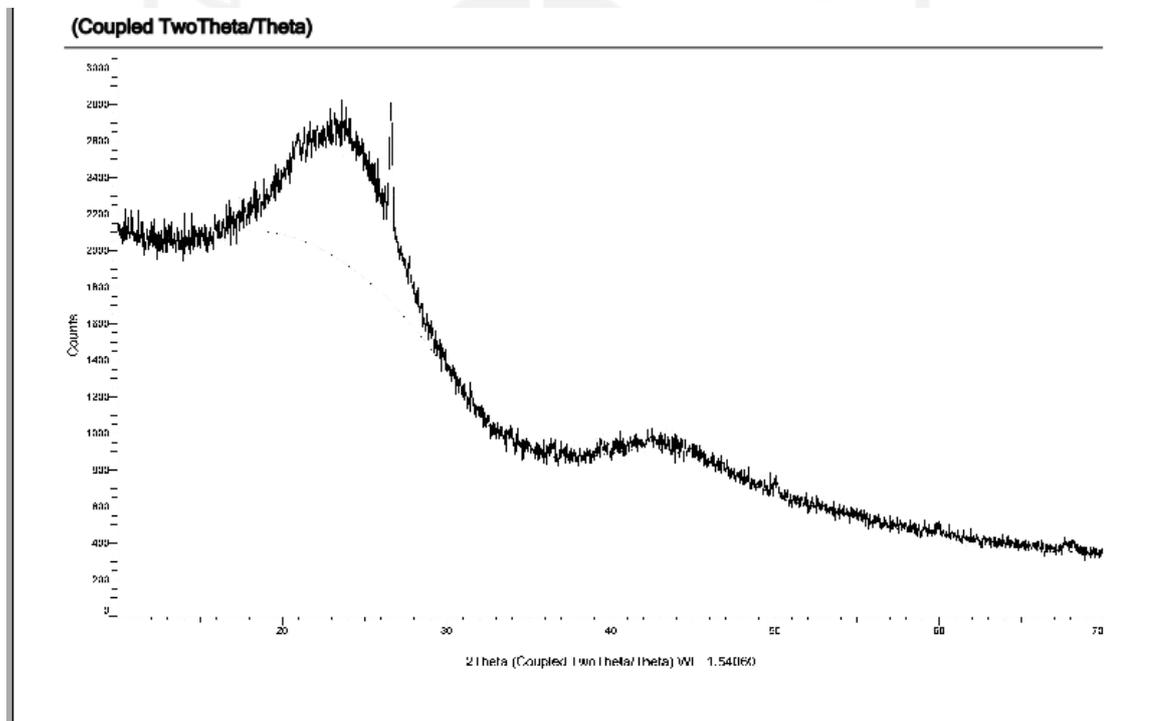
Penentuan nilai q_e	Penentuan nilai C
Slope (b) = $\log K_i$ maka,	Intersep (a) = $\log C$, maka,
0,0431 = $\log K_i$	1,729 = $\log C$
$K_i = 10^{0,0431}$	$C = 10^{1,729}$
$K_i = 1,1043$	$C = 53,456$

Cu+			Cd(II)		
C (mg/g)	K_i (mg/g.min ^{0,5})	R ²	C (mg/g)	K_i (mg/g.min ^{0,5})	R ²
61,56	1,0237	0,4297	53,456	1,1043	0,6553

Lampiran 4

Hasil Karakterisasi

1. Perhitungan (hkl), kisi kristal dan ukuran kristal karbon aktif



Area List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Left Angle
Yes			1	[17.213 ° - 26.273 °]	Area List #1	01300221-1 Karbon Aktif.raw #1	17.213 °
Yes			2	[26.354 ° - 26.801 °]	Area List #1	01300221-1 Karbon Aktif.raw #1	26.354 °
Yes			3	[49.653 ° - 50.364 °]	Area List #1	01300221-1 Karbon Aktif.raw #1	49.653 °

Right Angle	Left Int.	Right Int.	Obs. Max	d (Obs. Max)	Gross Int.	Net Height	FWHM
26.273 °	32.7	34.6	23.619 °	3.76387 Å	42.9	8.89	3.850
26.801 °	34.1	33.6	26.625 °	3.34530 Å	42.6	8.74	0.206
50.364 °	10.6	10.1	50.092 °	1.81954 Å	11.7	1.47	0.277

Chord Mid.	d (Chord Mid.)	I. Breadth	Gravity C.	d (Gravity C.)	Raw Area	Net Area
22.646 °	3.92326 Å	3.973	22.301 °	3.98321 Å	340.3	35.33
26.621 °	3.34579 Å	0.206	26.617 °	3.34633 Å	16.94	1.801
50.042 °	1.82126 Å	0.205	50.041 °	1.82130 Å	7.642	0.3019

C. Size	K	Instr. Width	Use I. Breadth
23.4 Å	1.000	0.000	No
439.4 Å	1.000	0.000	No
352.1 Å	1.000	0.000	No

(a) Perhitungan h,k,l karbon aktif

2θ	θ	Radians	$\cos \theta$	b	b Radians	K	λ (Å)	D (Å)	D (nm)
23.225	11.6125	0.202676	0.979531	3.85	0.067195176	1	1.5402	23.40026	2.340026
26.597	13.2985	0.232103	0.973185	0.206	0.003595378	1	1.5402	440.187	44.0187
42.523	21.2615	0.371083	0.931935	0.277	0.004834562	1	1.5402	341.849	34.1849

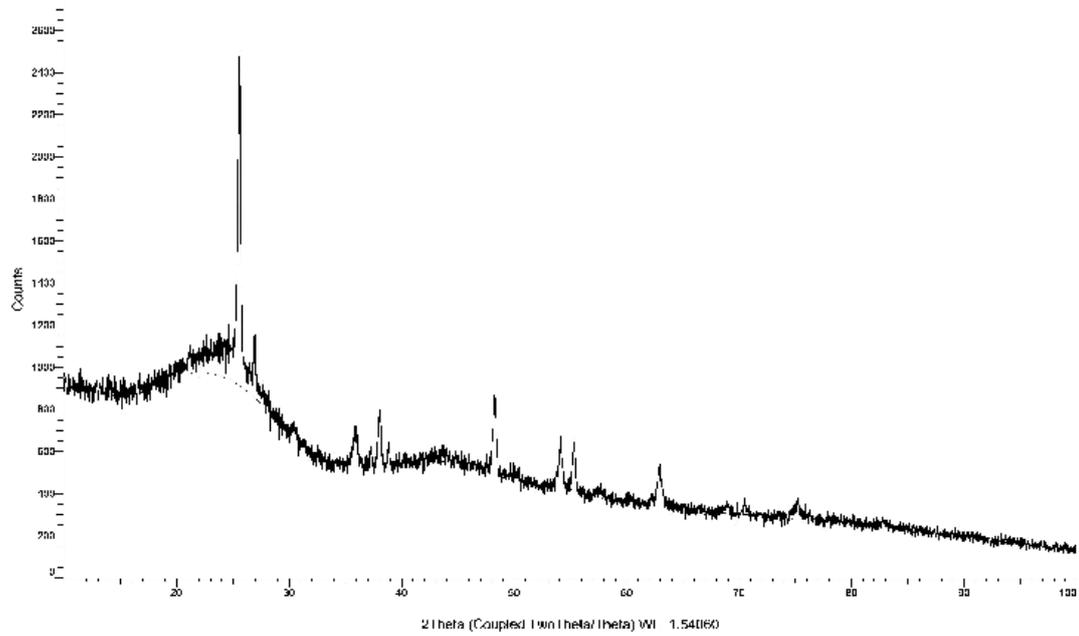
2θ	θ	Radians (θ)	$\sin 2\theta$	$1 \times (\sin 2\theta/$	$2 \times (\sin 2\theta/$	$3 \times (\sin 2\theta/$	$h^2 + k^2 + l^2$	h,k,l	d (Å)	a (Å)	a (nm)
			Radians	$\sin 2\theta$ min)	$\sin 2\theta$ min)	$\sin 2\theta$ min)					
23.225	11.6125	0.202676	0.040518	1	2	3	3	1,1,1	3.923	6.794835	0.679484
26.597	13.2985	0.232103	0.052911	1.30585773	2.611715457	3.917573185	4	2,0,0	3.345	6.69	0.669
42.523	21.2615	0.371083	0.131497	3.2453706	6.490741199	9.736111799	10	3,1,0	1.821	5.758508	0.575851

(b) Perhitungan ukuran kristal karbon aktif

2. Perhitungan (hkl), kisi kristal dan ukuran Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif

02710221-2 Fe3O4_TiO2.raw, 3/5/2021 3:13:40 PM

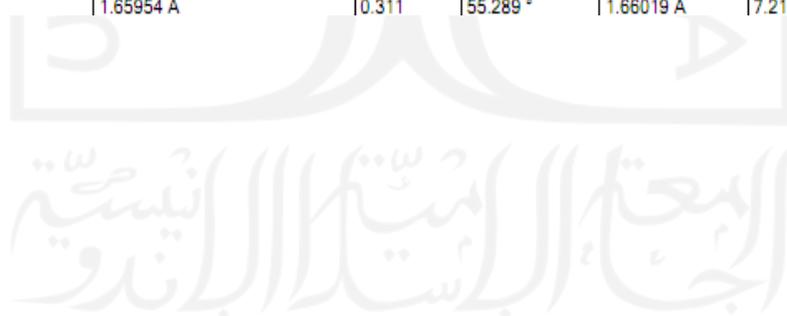
(Coupled TwoTheta/Theta)



Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Left Angle
Yes		■	1	[25.095 ° - 25.928 °]	Area List #1	02710221-2 Fe3O4_TiO2.raw #1	25.095 °
Yes		■	2	[26.720 ° - 27.146 °]	Area List #1	02710221-2 Fe3O4_TiO2.raw #1	26.720 °
Yes		■	3	[35.211 ° - 36.673 °]	Area List #1	02710221-2 Fe3O4_TiO2.raw #1	35.211 °
Yes		■	4	[36.694 ° - 37.526 °]	Area List #1	02710221-2 Fe3O4_TiO2.raw #1	36.694 °
Yes		■	5	[37.689 ° - 38.400 °]	Area List #1	02710221-2 Fe3O4_TiO2.raw #1	37.689 °
Yes		■	6	[38.603 ° - 39.131 °]	Area List #1	02710221-2 Fe3O4_TiO2.raw #1	38.603 °
Yes		■	7	[47.561 ° - 48.821 °]	Area List #1	02710221-2 Fe3O4_TiO2.raw #1	47.561 °
Yes		■	8	[53.228 ° - 54.691 °]	Area List #1	02710221-2 Fe3O4_TiO2.raw #1	53.228 °
Yes		■	9	[54.752 ° - 55.707 °]	Area List #1	02710221-2 Fe3O4_TiO2.raw #1	54.752 °
Yes		■	10	[61.801 ° - 63.751 °]	Area List #1	02710221-2 Fe3O4_TiO2.raw #1	61.801 °

Right Angle	Left Int.	Right Int.	Obs. Max	d (Obs. Max)	Gross Int.	Net Height	FWHM
25.928 °	17.0	15.9	25.602 °	3.47661 Å	37.8	21.4	0.278
27.146 °	14.7	14.0	26.945 °	3.30636 Å	17.7	3.34	0.142
36.673 °	8.30	7.88	35.917 °	2.49828 Å	11.0	2.89	0.461
37.526 °	7.96	8.26	37.278 °	2.41017 Å	9.46	1.29	0.341
38.400 °	8.51	8.21	38.078 °	2.36136 Å	12.0	3.68	0.287
39.131 °	8.18	7.90	38.869 °	2.31512 Å	9.77	1.73	0.156
48.821 °	8.04	7.50	48.294 °	1.88302 Å	13.1	5.42	0.323
54.691 °	6.56	6.59	54.123 °	1.69317 Å	10.1	3.49	0.313
55.707 °	6.57	6.27	55.274 °	1.66059 Å	9.92	3.51	0.288
63.751 °	5.29	5.24	62.919 °	1.47596 Å	8.17	2.91	0.380

Chord Mid.	d (Chord Mid.)	I. Breadth	Gravity C.	d (Gravity C.)	Raw Area	Net Area
25.569 °	3.48099 Å	0.294	25.554 °	3.48307 Å	19.99	6.288
26.946 °	3.30622 Å	0.157	26.946 °	3.30621 Å	6.658	0.5253
35.912 °	2.49866 Å	0.480	35.923 °	2.49792 Å	13.22	1.388
37.146 °	2.41845 Å	0.256	37.168 °	2.41707 Å	7.084	0.331
38.065 °	2.36210 Å	0.310	38.042 °	2.36350 Å	7.087	1.144
38.835 °	2.31705 Å	0.168	38.856 °	2.31581 Å	4.537	0.2911
48.272 °	1.88381 Å	0.357	48.266 °	1.88403 Å	11.72	1.937
54.143 °	1.69258 Å	0.391	54.060 °	1.69498 Å	10.98	1.365
55.312 °	1.65954 Å	0.311	55.289 °	1.66019 Å	7.217	1.092



(a) Perhitungan h,k,l Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif

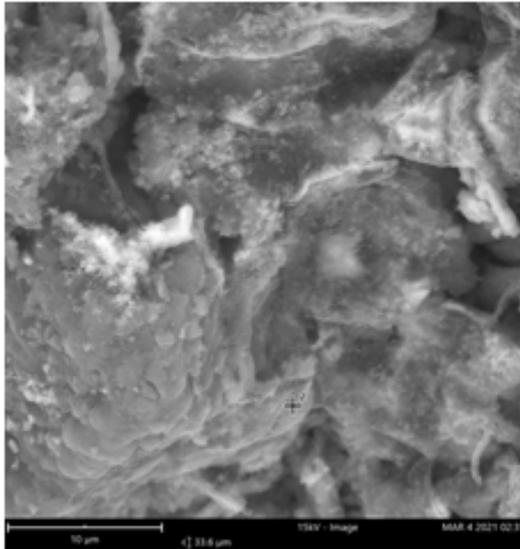
2θ	θ	Radians	Cos θ	b	b Radians	K	λ (Å)	D (Å)	D (nm)
25.602	12.801	0.22342	0.975145	0.278	0.004852015	1	1.5402	325.5259	32.55259
26.943	13.4715	0.235122	0.972486	0.142	0.002478368	1	1.5402	639.0401	63.90401
48.312	24.156	0.421602	0.912435	0.323	0.005637413	1	1.5402	299.4301	29.94301
54.142	27.071	0.472478	0.890443	0.313	0.005462881	1	1.5402	316.6279	31.66279
62.958	31.479	0.549412	0.852832	0.38	0.006632251	1	1.5402	272.3033	27.23033

(b) Perhitungan ukuran kristal Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif

2θ	θ	Radia ns (θ)	sin 2 θ	1 x (sin 2 θ/ sin 2 θ min)	2 x (sin 2 θ/ sin 2 θ min)	3 x (sin 2 θ/ sin 2 θ min)	h ² + k ² + l ²	h,k,l	d (Å)	a (Å)	a (nm)
			Radia ns								
25.6 02	12.80 1	0.2234 2	0.0490 91	1	2	3	3	1,1,1	3.483 07	6.0328 54	0.6032 85
26.9 43	13.47 15	0.2351 22	0.0542 71	1.10551 48	2.211029 607	3.316544 41	3	1,1,1	3.306 36	5.7267 84	0.5726 78
48.3 12	24.15 6	0.4216 02	0.1674 63	3.41125 803	6.822516 065	10.23377 41	10	3,1,0	1.883 81	5.9571 3	0.5957 13
54.1 42	27.07 1	0.4724 78	0.2071 11	4.21889 189	8.437783 775	12.65667 566	13	3,2,0	1.692 58	6.1026 84	0.6102 68
62.9 58	31.47 9	0.5494 12	0.2726 78	5.55451 496	11.10902 992	16.66354 488	17	3,2,2	1.475 26	6.0826 53	0.6082 65

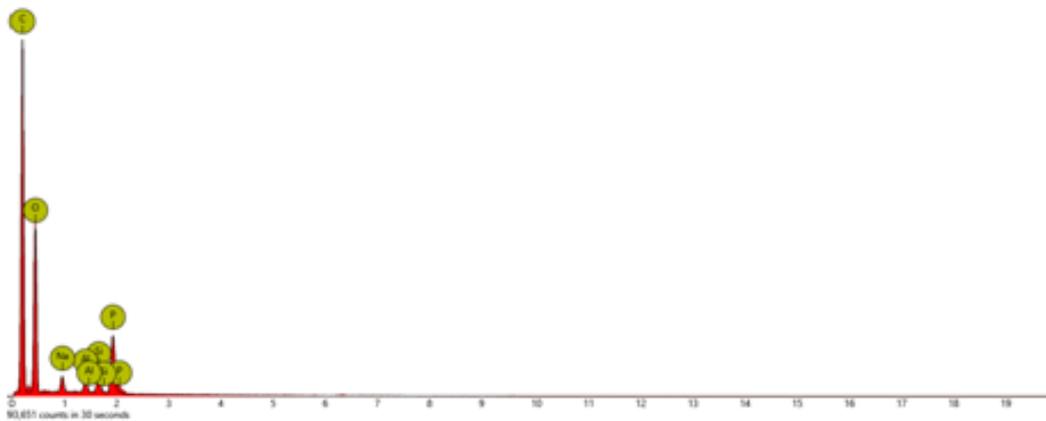
3. Karakterisasi dengan SEM

a). Karbon aktif



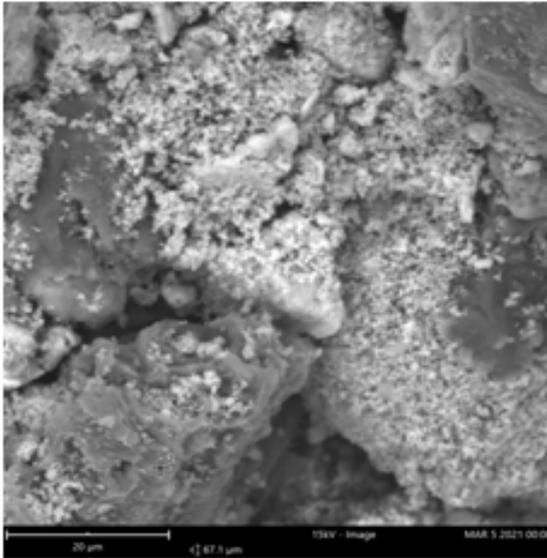
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	66.75	58.46
8	O	Oxygen	30.21	35.24
15	P	Phosphorus	1.55	3.50
11	Na	Sodium	0.64	1.07
14	Si	Silicon	0.49	1.00
13	Al	Aluminium	0.37	0.73

FOV: 33.6 μm, Mode: 15kV - Image, Detector: BSD Full, Time: MAR 4 2021 02:35



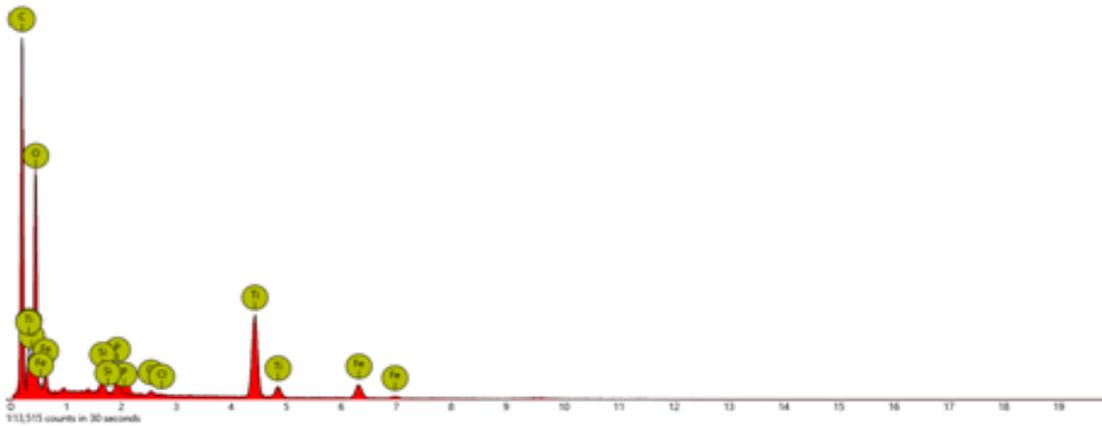
Disabled elements: Au, B, Ba, Cd, Nb

اجتازت با این روش

b). Fe₃O₄-TiO₂/Karbon aktif

Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	56.27	42.77
8	O	Oxygen	37.00	37.47
22	Ti	Titanium	4.15	12.58
26	Fe	Iron	1.38	4.87
15	P	Phosphorus	0.64	1.25
14	Si	Silicon	0.44	0.78
17	Cl	Chlorine	0.12	0.27

FOV: 67.1 μm, Mode: 15kV - Image, Detector: BSD Full, Time: MAR 5 2021 00:08



Disabled elements: Au, B, Ba, Cd, Nb, Zr

الجامعة الإسلامية

4.Karakterisasi dengan AAS

HASIL PENGUJIAN TEST RESULT

No	Label Pelanggan	Label Lab. Terpadu	Parameter	Hasil Uji	Satuan	Metode
1	Cu 15 menit	03860321-1	Cu Total	6,044 ±0,242	mg/L	SNI 6989.6:2009
2	Cu 30menit	03860321-2	Cu Total	5,877 ±0,245	mg/L	SNI 6989.6:2009
3	Cu 45 menit	03860321-3	Cu Total	5,887 ±0,246	mg/L	SNI 6989.6:2009
4	Cu 90 menit	03860321-4	Cu Total	5,946 ±0,244	mg/L	SNI 6989.6:2009
5	Cu 120 menit	03860321-5	Cu Total	5,849 ±0,246	mg/L	SNI 6989.6:2009
6	Cu 25 ppm	03860321-6	Cu Total	1,245 -	mg/L	SNI 6989.6:2009
7	Cu 50 ppm	03860321-7	Cu Total	2,797 -	mg/L	SNI 6989.6:2009
8	Cu 100 ppm	03860321-8	Cu Total	5,404 -	mg/L	SNI 6989.6:2009
9	Cu 150 ppm	03860321-9	Cu Total	7,245 -	mg/L	SNI 6989.6:2009
10	Cu 200 ppm	03860321-10	Cu Total	9,293 ±0,251	mg/L	SNI 6989.6:2009

HASIL PENGUJIAN TEST RESULT

No	Label Pelanggan	Label Lab. Terpadu	Parameter	Hasil Uji	Satuan	Metode
1	Cd pH 2	03710321-1	Cd Total	4,826±0,469	mg/L	SNI 6989.16:2009
2	Cd pH 4	03710321-2	Cd Total	4,194±1,272	mg/L	SNI 6989.16:2009
3	Cd pH 6	03710321-3	Cd Total	1,612±0,441	mg/L	SNI 6989.16:2009
4	Cd pH 8	03710321-4	Cd Total	1,744 ±0,433	mg/L	SNI 6989.16:2009
5	Cd pH 10	03710321-5	Cd Total	0,735 ±0,433	mg/L	SNI 6989.16:2009



Yogyakarta, 22 Maret 2021
Koordinator Teknis

Thorikul Huda
Thorikul Huda, S.Si., M.Sc.
NIP. 052316003