

**PEMANFAATAN LIMBAH KULIT SALAK PONDOH (*Salacca edulis*) SEBAGAI KOMPOSIT KARBON AKTIF
TERMODIFIKASI UNTUK ADSORBSI LOGAM TIMBAL (Pb)**

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 :

RIKA AWALIN SAFITRI

No Mhs : 16612048

PROGRAM STUDI KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2020

PEMANFAATAN LIMBAH KULIT SALAK PONDOH (*Salacca edulis*) SEBAGAI KOMPOSIT KARBON AKTIF TERMODIFIKASI UNTUK ADSORBSI LOGAM TIMBAL (Pb)

SKRIPSI

Yang diajukan oleh :

RIKA AWALIN SAFITRI

No. Mhs : 16612048

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

Universitas Islam Indonesia

Tanggal : 11 September 2020

Dewan Penguji

1. Mai Anugrahwati, S.Si., M.Sc.
2. Febi Indah Fajarwati, S.Si., M.Sc.
3. Argo Khoirul Anas, S.Si., M.Sc.
4. Imam Sahroni, S.Si., M.Sc.

Tanda tangan



Handwritten signatures of the examiners: Mai Anugrahwati, Febi Indah Fajarwati, Argo Khoirul Anas, and Imam Sahroni.

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 di bawah ini :

Nama : Rika Awaln Safitri

NIM : 16612048

Program Studi : Kimia

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan skripsi saya yang berjudul **PEMANFAATAN LIMBAH KULIT SALAK PONDOH (*Salacca edulis*) SEBAGAI KOMPOSIT KARBON AKTIF TERMODIFIKASI UNTUK ADSORBSI LOGAM TIMBAL (Pb)** bersifat asli dan tidak berisi material yang diterbitkan sebelumnya kecuali referensi yang disebutkan didalam skripsi ini. Apabila terdapat kontribusi dari penulis lain, maka penulis tersebut secara eksplisit telah disebutkan dalam skripsi ini.

Apabila dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan penuh tanggung jawab.

Yogyakarta, 20 September 2020

Yang menyatakan,



Rika Awaln Safitri

NIM. 16612048

HALAMAN PERSEMBAHAN

Yang paling utama dari segalanya,

Sembah sujud serta syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala

Atas karunia yang Engkau berikan, Alhamdulillah skripsi ini dapat terselesaikan.

Sholawat serta salam yang selalu tecurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wasallam yang membawa kita kepada jalan yang lurus dan indah seperti sekarang.

Dengan ini, saya persembahkan karya ini untuk orang-orang yang berarti dan sangat saya sayangi.

Kepada orang tua saya, Bapak Supardi dan Ibu Nur Khasanah, terima kasih atas limpahan do'a dan dukungan yang tak berkesudahan untuk saya. Terima kasih atas kasih sayang, pengorbanan, jerih payah dan semua kebaikan yang selalu diberikan kepada saya begitupun kepada adik saya, M. Ishomudin Ma'sum, yang selalu mendo'akan saya dan mendukung saya.

Kepada Dosen Pembimbing saya, Ibu Mai Anugrahwati, S.Si., M.Sc., terima kasih telah memberikan arahan, saran yang terbaik, tenaga dan waktunya serta dengan sabar dalam membimbing saya. Kepada seluruh Dosen di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam khususnya Jurusan Kimia, terima kasih atas segala ilmu yang diberikan dan kesabaran dalam mendidik selama menempuh pendidikan saya.

Kepada saudara dan teman-teman seperjuangan yang telah memberikan dukungan, kritik dan saran sehingga saya sampai pada titik terakhir dalam menempuh pendidikan S1.

Semoga Allah selalu memberikan kesehatan, keamanan, rahmat dan hidayahnya kepada kita semua sehingga kita bisa melakukan kewajiban-kewajiban sebagai hamba-Nya.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum wr. wb.

Segala puji bagi Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehinggalah Skripsi dengan judul “Pemanfaatan Limbah Kulit Salak Pondoh (*Salacca edulis*) Sebagai Komposit Karbon Aktif Termodifikasi Untuk Adsorpsi Logam Timbal (Pb)”, ini dapat diselesaikan dengan baik.

Terima kasih penulis ucapkan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses penulisan skripsi ini. Untuk itu, iringan do'a dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan, utamanya kepada:

1. Bapak selaku Rektor Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta.
2. Bapak Prof. Riyanto selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta.
3. Bapak Dr. Dwiarto Rubiyanto, M.Si., selaku ketua Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Indonesia.
4. Ibu Mai Anugrahwati, S.Si., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing saya dengan kesabaran dan ketulusan hati.
5. Ibu Febi Indah Fajarwati, S.Si., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan masukan, nasihat dan semangat dalam melaksanakan penelitian.
6. Ibu/Bapak selaku penguji II dan selaku penguji III yang senantiasa memberikan kritik dan saran bagi penulis.
7. Segenap Dosen Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia (UII) Yogyakarta yang telah mendidik dan memberikan ilmu kepada penulis.
8. Para Laboran Jurusan Kimia, yang telah banyak membantu selama berada di Laboratorium.
9. Kedua Orang Tua tersayang (Supardi dan Nur Khasanah) dan adik tersayang yang telah memberikan dukungan dan keikhlasan do'a yang telah

dipanjatkan. Semoga Allah SWT memberikan kesehatan dan menjaga mereka.

10. Saudara(i)ku di Kimia 2016 terkhusus Lodia, Labibatul, Shaleh, Monica, Nadiya, Mifta, Tuti, Nisa, Faiqoh, Niken, Indri, Astri, Sekar, Arlin, Yanti, Yeni dan Eldiva serta pihak-pihak lain yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak bisa diucapkan satu-persatu, terima kasih atas segala dukungannya.
11. Rekan peneliti saya (Labibatul, Lodia, dan Shaleh) yang senantiasa menemani dan berbagi ilmu dari awal hingga akhir penelitian.

Akhir kata Penulis, semoga Skripsi ini bermanfaat bagi Penulis dan bagi pembaca umum.

Wassalamu 'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 19 Agustus 2020

Penulis



PEMANFAATAN LIMBAH KULIT SALAK PONDOH (*Salacca edulis*) SEBAGAI KOMPOSIT KARBON AKTIF TERMODIFIKASI UNTUK ADSORBSI LOGAM TIMBAL (Pb)

INTISARI

Rika Awaln Safitri

NIM 16612048

Kulit salak mengandung selulosa yang tersusun dari unsur karbon yang dapat disintesis menjadi karbon aktif (KA). Dalam penelitian ini karbon aktif kemudian dimodifikasi menjadi komposit magnet (KAM) dan magnet surfaktan (KAMS) sebagai adsorpsi logam Pb^{2+} . Pembuatan komposit magnet dilakukan dengan cara mencampurkan $FeSO_4$ dan $FeCl_3$ ke dalam suspensi karbon aktif sehingga terbentuk komposit karbon aktif magnetik (KAM). Kemudian KAM dimodifikasi dengan *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) sehingga terbentuk komposit karbon aktif magnetik surfaktan (KAMS). Sampel dianalisis menggunakan FTIR dan menunjukkan gugus yang terdapat dalam sampel, yaitu gugus O-H, C=O, C-O, C=C, dan Fe-O. Sampel KA, KAM, dan KAMS diaplikasikan untuk menyerap logam berat Pb^{2+} dengan penentuan kondisi waktu optimum dan konsentrasi optimum yang dianalisis menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Untuk mengaplikasikannya dalam adsorpsi logam Pb^{2+} dibuat pada kondisi waktu optimum untuk sampel KA, KAM, dan KAMS secara berturut-turut memiliki waktu optimum yaitu, 15 menit, 60 menit, dan 45 menit yang mengikuti persamaan kinetika adsorpsi orde dua. Serta konsentrasi optimum larutan Pb^{2+} untuk masing-masing sampel KA, KAM, dan KAMS adalah 100 ppm, 450 ppm dan 250 ppm yang mengikuti persamaan isotherm Langmuir.

Kata kunci : Kulit salak, Aktivasi, Komposit, Adsorpsi, Logam berat

**UTILIZATION OF SALAK PONDOH (*Salacca edulis*) WASTE AS A
MODIFIED ACTIVATED CARBON COMPOSITE FOR ADSORPTION
OF TIMBAL METALS (Pb)**

ABSTRACTS

Rika Awaln Safitri

NIM 16612048

Salacca peel contains cellulose which is composed of carbon elements which can be synthesized into activated carbon (KA). In this research, activated carbon is modified into a magnetic composite (KAM) and a surfactant magnet (KAMS) as Pb^{2+} adsorbent. Preparation of magnetic composites was done by mixing $FeSO_4$ and $FeCl_3$ into activated carbon suspension to form a magnetic activated carbon composite (KAM). Then KAM was modified with Sodium Dodecyl Sulfate (SDS) to form a surfactant magnetic activated carbon composite (KAMS). Samples were analyzed using FTIR and showed the groups contained in the sample, namely the O-H, C = O, C-O, C = C, and Fe-O groups. KA, KAM, and KAMS were applied to absorb heavy metal Pb^{2+} by determining the optimum time conditions and The optimum concentrations then were analyzed using Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS). In this application the adsorption was proceed at the optimum time conditions for KA, KAM, and KAMS respectively with the optimum time, namely, 15 minutes, 60 minutes, and 45 minutes. All of the adsorption process followed the second order adsorption kinetics equation. Meanwhile, the optimum concentration of Pb^{2+} solution for each adsorbent of KA, KAM, and KAMS was 100 ppm, 450 ppm and 250 ppm, following the Langmuir isotherm equation.

Keywords : Zalacca Peel, Activation, Composites, Adsorption, Heavy Metals

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
INTISARI.....	vii
ABSTRACTS.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
BAB III DASAR TEORI	9
2.1. Karbon Aktif	9
2.2. Adsorpsi	11
2.3. Salak.....	11
2.4. Logam Berat.....	13
2.5. Timbal	14
2.6. Komposit.....	16
2.7. Surfaktan	18
2.8. Isoterm Adsorpsi Langmuir dan Freundlich	19
2.9. Spektrometri Serapan Atom (SSA).....	21
2.10. Spektrofotometer FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>).....	23
BAB IV METODE PENELITIAN	25
4.1. Waktu dan Tempat	25
4.2. Alat dan Bahan	25
4.3. Cara Kerja.....	25

4.3.1. Karbonisasi	25
4.3.2. Aktivasi Karbon.....	26
4.3.3. Magnetisasi Karbon Aktif.....	26
4.3.4. Penambahan Surfaktan	26
4.3.5. Uji Adsorpsi.....	27
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
5.1. Karbonisasi.....	29
5.2. Aktivasi Karbon	30
5.3. Magnetisasi Karbon Aktif.....	33
5.4. Penambahan Surfaktan.....	34
5.5. Karakteristik Karbon Aktif	36
5.6. Uji Adsorpsi	39
5.6.1. Penentuan Waktu Optimum.....	39
5.6.2. Kinetika Adsorpsi	42
5.6.3. Isoterm Adsorpsi	44
5.6.4. Penentuan Konsentrasi Optimum.....	47
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	50
6.1. Kesimpulan	50
6.2. Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur pori dan karbon aktif	9
Gambar 2. Struktur ukuran pori karbon aktif.....	10
Gambar 3. Salak Pondoh (<i>Salaca edulis</i>).	12
Gambar 4. Struktur magnetit.....	17
Gambar 5. Struktur umum surfaktan.....	18
Gambar 6. Struktur sodium dodecyl sulfate.....	19
Gambar 7. Prinsip kerja Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).....	23
Gambar 8. Prinsip kerja Fourier Transform Infrared (FTIR).....	24
Gambar 9. Arang kulit salak.	30
Gambar 10. Struktur kimia karbon aktif	32
Gambar 11. Struktur magnetit.....	34
Gambar 12. Hasil karakterisasi menggunakan FTIR	36
Gambar 13. Kurva penurunan ion Pb^{2+} terhadap waktu kontak.....	39
Gambar 14. Kurva Penurunan ion Pb^{2+} terhadap waktu kontak.	40
Gambar 15. Kurva Penurunan 1 ion Pb^{2+} terhadap waktu kontak.	40
Gambar 16. Reaksi penjerapan logam Pb^{2+}	46

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Ukuran karbon aktif.	9
Tabel 2. Standar mutu karbon aktif.....	10
Tabel 3. Komposisi kulit salak pondoh.....	13
Tabel 4. Tabel interpretasi FTIR.....	36
Tabel 5. Parameter adsorpsi orde satu dan orde dua sampel KA.....	42
Tabel 6. Parameter adsorpsi orde satu dan orde dua sampel KAM.	43
Tabel 7. Parameter adsorpsi orde satu dan orde dua sampel KAMS.....	43
Tabel 8. Perbandingan tipe isotherm adsorpsi.	44
Tabel 9. Perbandingan konsentrasi optimum.....	47



LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian.....	58
Lampiran 2. Perhitungan Pembuatan Larutan.....	61
Lampiran 3. Analisis Data.....	65



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pesatnya kemajuan zaman membuat kebutuhan manusia semakin meningkat. Dengan meningkatnya kebutuhan manusia juga memberikan efek pada industri untuk terus meningkatkan aktivitasnya untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Berbagai aktivitas yang berada di industri penambangan logam, pelapisan dan pencampuran logam, industri minyak, industri pigmen, pembuatan pestisida dan industri penyamakan kulit sangat berpotensi menghasilkan limbah yang mengandung logam berat (Igwe dan Abia 2006; Kaewsarn dkk., 2008).

Limbah industri yang mengandung logam berat umumnya tidak dapat membusuk dan susah didegradasi oleh mikroorganisme. Salah satu contoh logam berat yang terdapat dalam limbah industri adalah logam timbal (Pb). Timbal yang dibuang ke lingkungan akan mencemari air dalam bentuk $Pb(OH)_2$ dan dapat memberikan efek negatif pada kesehatan lingkungan serta makhluk hidup. Efek negatif yang dapat ditimbulkan dari pencemaran logam timbal adalah dapat menyebabkan kecerdasan anak menurun, pertumbuhan badan terhambat, bahkan dapat menimbulkan kelumpuhan. Gejala keracunan logam Pb lainnya: mual, anemia, dan sakit perut (Manahan, 1990).

Unsur-unsur logam berat dapat masuk ke tubuh manusia melalui makanan dan minuman serta pernafasan dan kulit. Peningkatan kadar logam berat dalam air laut akan diikuti oleh peningkatan logam berat dalam tubuh ikan dan biota lainnya, sehingga pencemaran air laut oleh logam berat akan mengakibatkan ikan yang hidup di dalamnya tercemar. Pemanfaatan ikan-ikan ini sebagai bahan makanan akan membahayakan kesehatan manusia (Hutagalung, 1991).

Terdapat beberapa metode untuk mengatasi permasalahan pencemaran akibat logam berat seperti pertukaran ion, elektrolisis, pengendapan, osmosis balik, ultrafiltrasi dan sebagainya. Namun metode-metode tersebut masih memiliki kekurangan antara lain: mahal, memerlukan waktu yang lama untuk proses

pengurangan logam berat dalam limbah, pada metode pengendapan menghasilkan lumpur yang banyak sehingga menimbulkan masalah baru yaitu masalah limbah lumpur yang dihasilkan (Yahaya & Don, 2014; Zein dkk., 2010; damein dkk., 2014; Guyo dkk., 2015).

Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang efektif dan ekonomis sehingga dapat mengantisipasi pencemaran logam timbal. Salah satu metode pengolahan limbah yang dapat digunakan adalah adsorpsi. Karbon aktif merupakan material yang memiliki banyak pori-pori, sehingga dapat digunakan sebagai bahan adsorpsi suatu zat baik cairan ataupun gas.

Kulit salak memiliki potensi sebagai karbon aktif yang layak digunakan pada saat ini. Pemanfaatan limbah kulit salak untuk pemurnian minyak jelantah menjadi *alternative* karena kandungan karbon yang tinggi merupakan salah satu alasan utama untuk pembuatan karbon aktif. Karbon aktif adalah suatu padatan yang memiliki mengandung karbon sebesar 85-95%. Limbah pertanian pada saat ini banyak digunakan sebagai bahan baku karbon aktif. Limbah pertanian yang sudah diuji coba sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif adalah biji kurma, sabut kelapa, kulit salak, dan biji salak (Aziz, 2016).

Karbon aktif juga dapat dikombinasi dengan sifat magnet untuk meningkatkan penyerapannya. Material yang memiliki sifat magnet diantaranya material-material oksida besi seperti hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), ilmenit (FeTiO_3), dan magnetit (Fe_3O_4), material sulfide besi seperti pirhotit (Fe_7S_8), dan greigit (Fe_3S_4) (Cohen, 2006). Penelitian penggunaan material oksida-oksida besi sudah banyak dilakukan dalam berbagai bidang (Cornell, 2003). Material magnetik nanopartikel yang dimodifikasi dengan polimer digunakan untuk mengadsorpsi ion logam seperti Cd(II), Zn(II), Pb(II), dan Cu(II) (Ge, 2012).

Selain itu proses pengompositan partikel oksida besi (magnetit) pada karbon aktif menghasilkan suatu material baru yang dapat berperan sebagai penjerap yaitu komposit oksida besi-karbon aktif atau OB-KA. Sifat magnet yang dimiliki sampel ini akan menambah kinerja karbon aktif untuk menjerap adsorbat. Seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Nur Akmal, dkk., (2014), menunjukkan penyerapan

karbon aktif tanpa oksida besi dan dengan penambahan oksida besi mengalami peningkatan dari 34,17% menjadi 39,6%.

Surfactant Modified Active Carbon (SMAC) atau karbon aktif termodifikasi surfaktan merupakan material baru dari adsorben jenis karbon aktif. SMAC mempunyai keunggulan sebagai adsorben yang lebih spesifik dari karbon aktif, dimana SMAC diaplikasikan untuk adsorben kation logam berat atau anion yang berbahaya di perairan karena surfaktan dapat merubah permukaan karbon aktif menjadi lebih polar dan bermuatan (Pargiman, 2018). Penelitian yang telah dilakukan oleh Pargiman (2018) dkk., membuktikan bahwa sampel karbon memiliki luas permukaan 1,937 (m^2/g) dan volume pori 0,012 (cc/g), sampel karbon aktif memiliki luas permukaan 15,039 (m^2/g) dan volume pori 0,049 (cc/g), serta karbon aktif yang dimodifikasi dengan surfaktan memiliki luas permukaan 14,141 (m^2/g) dan volume pori 0,049 (cc/g) dimana sampel-sampel tersebut dikarbonisasi pada temperature 300 °C. Dari uraian tersebut dapat dilihat bahwa karbon aktif yang dimodifikasi dengan penambahan surfaktan memiliki luas permukaan dan volume pori yang lebih besar.

Alternatif bahan organik yang dapat digunakan sebagai bahan baku karbon aktif yaitu limbah produk-produk pertanian. Pemanfaatan dan penggunaan limbah pertanian sebagai bahan baku karbon aktif selain dapat membantu mengurangi volume limbah juga dapat memberdayakan limbah menjadi suatu produk yang mempunyai nilai jual. Oleh karena itu, potensi limbah pertanian cukup besar jika digunakan sebagai bahan baku karbon aktif untuk menyerap logam berat (Kurniasari, 2010). Limbah pertanian yang digunakan sebagai bahan utama karbon aktif dapat berasal dari kulit ataupun biji tanaman seperti biji kurma, sabut kelapa, kulit kentang, kulit apel, bonggol jagung, kayu, tempurung kelapa, sekam padi, jerami biji salak dan kulit salak.

Kabupaten Sleman, DI Yogyakarta merupakan salah satu kawasan yang masih mengedepankan perkembangan pertanian. Baik pada jenis tanaman pangan, tanaman kebun, dan perternakan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), produksi pada tahun 2018 mencapai 896.504 ton dengan jumlah tanaman

menghasilkan 38.024.008 batang. Dari total produksi tersebut, sejumlah 1.233,28 ton (0,14 persen) telah diekspor ke beberapa negara di Asia dan Timur Tengah, antara lain Kamboja (46,25 persen), China (15,89 persen), Malaysia (14,16 persen), Singapura (10,14 persen), dan Saudi Arabia (4,84 persen) dengan total nilai ekspor sebesar 1,4 juta dolar AS (Republika, 2019).

Dari besarnya hasil tanaman buah salak tersebut juga meningkatkan limbah dari buah salak, salah satunya adalah kulit salak. Kulit salak sebagai limbah bahan biologi dapat dimanfaatkan menjadi karbon aktif. Alasan kulit salak menjadi bahan dasar pembuatan karbon aktif karena kulit salak mengandung selulosa. Selulosa berpotensi digunakan sebagai adsorben karena adanya gugus OH yang dapat berinteraksi dengan adsorbat (Dewi, 2012).

Dari latar belakang yang telah dipaparkan maka penulis melakukan penelitian mengenai “Pemanfaatan Limbah Kulit Salak Pondoh (*Salacca edulis*) Sebagai Komposit Karbon Aktif Termodifikasi untuk Adsorpsi Logam Timbal (Pb)” melalui proses karbonisasi dan aktivasi serta memodifikasi karbon aktif dengan magnet untuk meningkatkan penyerapan adsorbat kemudian memodifikasi dengan penambahan surfaktan untuk memperoleh jenis karbon aktif yang spesifik sebagai adsorben logam berat.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana proses pembuatan karbon aktif dari kulit salak?
2. Bagaimana karakterisasi karbon aktif termodifikasi magnet dan surfaktan dari kulit salak?
3. Bagaimana kemampuan adsorpsi karbon aktif termodifikasi magnet dan surfaktan untuk menyerap logam berat timbal (Pb)?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

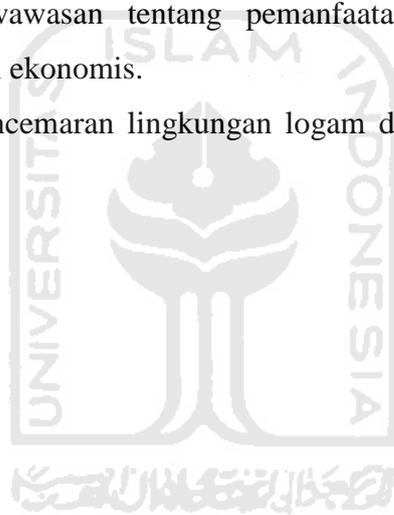
1. Mengetahui proses pembuatan karbon aktif dari kulit salak.

2. Mengetahui karakterisasi karbon aktif termodifikasi magnet dan surfaktan dari kulit salak.
3. Mengetahui kemampuan adsorpsi karbon aktif termodifikasi magnet dan surfaktan untuk menyerap logam berat timbal (Pb).

1.4. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat diambil manfaat sebagai berikut :

1. Bagi peneliti: meningkatkan wawasan dalam pengolahan limbah logam terutama limbah logam timbal (Pb).
2. Bagi masyarakat:
 - a. memberikan wawasan tentang pemanfaatan kulit salak sehingga meningkatkan nilai ekonomis.
 - b. mengurangi pencemaran lingkungan logam dengan pemanfaatan kulit salak.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Industri saat ini banyak yang menghasilkan logam berat dalam olahan produk sampingnya. Beberapa industri yang menghasilkan limbah logam berat antara lain, industri pelapisan logam, cat, peralatan listrik, pestisida, industri percetakan, karoseri, dan industri batik.

Logam berat yang tidak diolah secara benar dan dibuang ke lingkungan akan menyebabkan kerugian bagi kesehatan manusia, hewan maupun tumbuhan. Dalam tubuh makhluk hidup seperti ikan, udang, dan biota perairan lainnya akan terjadi proses bioakumulasi logam jika keberadaan logam melebihi ambang batas maksimum.

Salah satu cara yang dapat mengurangi kadar logam berat yang terkandung dalam limbah industri adalah dengan metode adsorpsi. Metode adsorpsi merupakan metode yang efisien dalam menyerap logam berat dan biayanya relatif murah. Adsorpsi banyak digunakan sebagai metode pemisahan fisik yang efektif untuk eliminasi atau menurunkan konsentrasi berbagai polutan terlarut (organik, anorganik) dalam limbah (Chaiyut, 2013).

Metode adsorpsi dengan menggunakan material biologi disebut sebagai biosorpsi. Biosorpsi menunjukkan kemampuan biomassa untuk mengikat logam berat dari dalam larutan melalui langkah-langkah metabolisme atau kimia-fisika. Keuntungan penggunaan proses biosorpsi diantaranya adalah biaya yang relatif murah, efisiensi tinggi pada larutan encer, minimalisasi pembentukan lumpur, serta kemudahan proses regenerasinya (Ashraf, 2010).

Limbah pertanian atau material biologi pada saat ini banyak digunakan sebagai bahan baku karbon aktif. Limbah pertanian yang sudah diuji coba sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif adalah biji kurma, sabut kelapa, kulit salak, dan biji salak. Kulit salak juga berpotensi sebagai karbon aktif yang layak digunakan pada saat ini (Aziz, 2016). Begitu pula, menurut penelitian Johnson (2008)

beberapa limbah pertanian dapat dijadikan alternatif adsorben yang mampu mengadsorpsi logam berat.

Karbon aktif adalah bahan yang mengandung komposisi karbon dengan luas permukaan yang besar dan memiliki struktur berpori yang kompleks. Karbon aktif banyak dimanfaatkan dalam industri maupun pengolahan limbah. Karbon aktif adalah suatu padatan yang mengandung karbon sebesar 85-95% (Aziz, 2016).

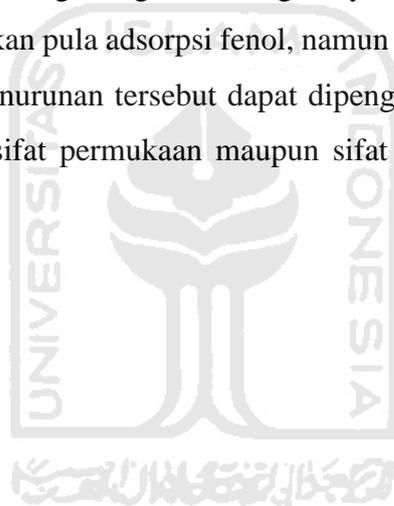
Kulit salak merupakan limbah buah salak yang belum dimanfaatkan dari konsumsi masyarakat dan industri pengolahan buah salak. Untuk meningkatkan nilai ekonomisnya kulit salak dapat dimanfaatkan sebagai adsorben logam berat. Kulit salak dipilih karena mudah diperoleh dan mengandung selulosa yang berpotensi digunakan sebagai adsorben karena adanya gugus OH yang dapat berinteraksi dengan adsorbat (Dewi, 2012). Selain itu, karbon aktif dapat dibuat dari bahan yang mengandung karbon, baik bahan organik maupun anorganik (Asano, 1999).

Biomassa berupa kulit buah salak telah berhasil disintesis melalui aktivasi secara kimia menggunakan beberapa jenis senyawa, yaitu KOH, ZnCl₂, K₂CO₃, dan H₃PO₄ dengan hasil terbaik yang diperoleh dari senyawa KOH (Vincent, 2015). Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Vincent, dkk., (2015) karbon aktif kulit salak yang diaktivasi menggunakan larutan KOH, pernah diuji untuk mengadsorpsi zat warna metilen biru dan memberikan kapasitas adsorpsi maksimum 674 mg/g. Dengan kapasitas adsorpsi karbon aktif kulit salak yang cukup tinggi untuk menyerap zat warna metilen biru diharapkan memberikan hasil yang serupa untuk logam berat timbal (Vincent, 2015).

Pemisahan limbah yang ada di air secara magnetik menjadi salah satu teknik yang menjanjikan untuk pemurnian karena sifatnya yang tidak memproduksi kontaminan seperti flokulan dan memiliki kemampuan menyaring sejumlah besar air limbah dalam waktu singkat. Selain itu, pendekatan ini sangat diinginkan dalam industri karena dapat mengatasi masalah yang hadir dalam filtrasi, sentrifugasi atau pemisahan gravitasi (Wu dkk., 2013).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Nur Akmal, dkk., (2014) karbon aktif magnetik memiliki waktu penyerapan optimum yang lebih lama dibandingkan dengan karbon aktif saja. Selain itu adsorbat yang terserap pada karbon aktif magnetik juga lebih besar dari karbon aktif saja. Pada waktu penyerapan karbon aktif selama 1 jam dapat menyerap logam berat Fe sebesar 0,5532 ppm sedangkan pada waktu penyerapan karbon aktif magnetik selama 2 jam dapat menyerap logam berat Fe sebesar 0,6643 ppm (Akmal, 2014).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sriatun, dkk., (2008) penambahan surfaktan ke dalam zeolit dealuminasi akan meningkatkan adsorpsi zeolite terhadap fenol. Seiring dengan meningkatnya penambahan konsentrasi surfaktan akan meningkatkan pula adsorpsi fenol, namun pada zeolit dealuminasi 4 mengalami penurunan. Penurunan tersebut dapat dipengaruhi oleh sifat adsorben seperti ukuran pori atau sifat permukaan maupun sifat dari adsorbat itu sendiri (Sriatun, 2008).

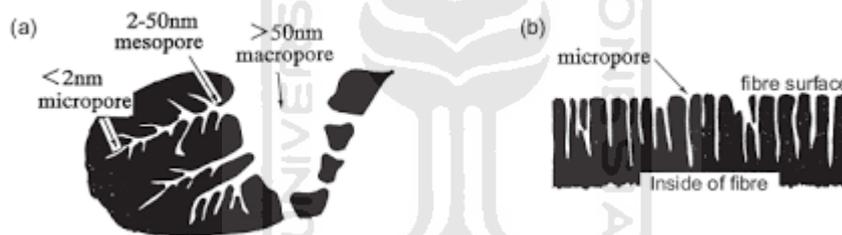


BAB III DASAR TEORI

2.1. Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan adsorben yang kuat karena kemampuannya yang dapat mengadsorpsi berbagai zat termasuk gas dan cairan. Karbon aktif terdiri 87-97% karbon dan sisanya berupa hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen serta senyawa-senyawa lain yang terbentuk dari proses pembuatan. Volume pori karbon aktif biasanya lebih besar dari $0,2 \text{ cm}^3 / \text{gram}$ dan bahkan terkadang melebihi $1 \text{ cm}^3 / \text{gram}$. Luas permukaan internal karbon aktif umumnya lebih besar dari $400 \text{ m}^2 / \text{gram}$ (Sudibandriyo, 2003: 23-24).

Struktur pori dari karbon aktif dibagi menjadi beberapa range ukuran dan bentuk. Struktur pori dari karbon aktif ada berbentuk granular dan serat seperti terlihat pada gambar berikut:

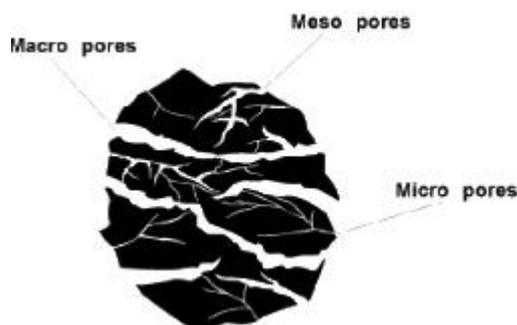


Gambar 1. Struktur pori dan karbon aktif: a). Granular. b). Serat.

Ukuran pori dibagi menjadi tiga rentang ukuran, mikropori, mesopori (pori transisi) dan makropori. Ukuran pori karbon aktif dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Diameter Pori (nm)	Jenis Pori
$d < 2$	Mikropori
$2 < d < 50$	Mesopori
$d > 50$	Makropori

(Sumber: Ibrahim, 2014).



Gambar 2. Struktur ukuran pori karbon aktif.

Karbon aktif dengan susunan *microcrystallites* acak dan ikatan antar sesama *microcrystallites* sangat kuat memiliki struktur pori sangat baik. Memiliki densitas rendah (kurang dari 2 gr/cm³). Struktur pori terbentuk selama proses karbonisasi dan aktivasi, yaitu ketika jarak antara kristal dasar dibersihkan dari tar dan unsur-unsur lain (Bansal, dkk., 2005).

Pada umumnya karbon aktif dihasilkan melalui dua tahap yaitu karbonisasi dan aktivasi. Selama proses karbonisasi, komponen yang mudah menguap akan terlepas dari karbon dan karbon mulai membentuk struktur pori-pori dimana proses pembentukan pori-pori itu akan ditingkatkan pada proses aktivasi. Pada proses aktivasi, terjadi pembukaan pori-pori kecil yang telah terbentuk (Pujiyanto, 2010).
Tabel 2. Standar mutu karbon aktif.

Uraian	Persyaratan kualitas	
	Butiran	Serbuk
Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C	Maks. 15%	Maks. 25%
Konsentrasi air	Maks. 4%	Maks. 15%
Konsentrasi abu	Maks. 2,5%	Maks. 15%
Daya serap terhadap larutan I ₂	≥760 mg/g	≥760 mg/g
Luas permukaan	300-3500 m ² /g	300-3500 m ² /g

(Sumber: Asbahani, 2013; Marsh. H, 2006).

2.2. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu proses pemisahan dimana molekul-molekul gas atau cair diserap oleh suatu padatan dan terjadi secara reversibel. Pada proses adsorpsi terdapat dua komponen yaitu adsorbat sebagai zat yang diserap dan adsorben sebagai zat yang menyerap. Adsorben adalah padatan yang memiliki kemampuan menyerap fluida ke dalam bagian permukaannya sedangkan adsorbat dapat berupa bahan organik, zat warna dan zat pelembab. Kesetimbangan adsorpsi terjadi apabila larutan dikontakkan dengan adsorben padat dan molekul dari adsorbat berpindah dari larutan ke padatan sampai konsentrasi adsorbat dilarutkan dan padatan dalam keadaan setimbang. Dalam mengukur kesetimbangan adsorpsi dapat dilakukan dengan cara pengukuran konsentrasi adsorbat larutan awal dan pada saat terjadi kesetimbangan, dimana model kesetimbangan yang sering digunakan pada sistem adsorpsi adalah model isoterm Freundlich dan Langmuir (Zultiniar, 2010).

Adsorpsi merupakan suatu fenomena yang berkaitan erat dengan permukaan dimana terlibat interaksi antara molekul-molekul cairan atau gas dengan molekul padatan. Interaksi ini terjadi karena adanya gaya tarik atom atau molekul yang menutupi permukaan. Kapasitas adsorpsi dari karbon aktif tergantung pada jenis pori dan jumlah permukaan yang mungkin dapat digunakan untuk mengadsorpsi (Asbahani, 2013).

2.3. Salak

Salak merupakan tanaman asli Indonesia yang buahnya banyak digemari masyarakat karena rasanya manis, renyah dan kandungan gizi yang tinggi. Di Indonesia, buahnya yang sudah matang dapat dijadikan manisan dan asinan. Buah yang belum matang dapat digunakan dalam rujak atau semacam salad pedas terdiri dari campuran buah-buahan yang belum matang (Schuiling & Moge, 1992).



Gambar 3. Salak Pondoh (*Salacca edulis*).

Salak pondoh (*Salacca edulis*) adalah buah yang banyak dijumpai di hampir seluruh daerah Indonesia. Buah salak dikenal dalam bahasa Inggris disebut *snake fruit*, karena kulitnya mirip dengan sisik. Kulit buah tersusun seperti sisik-sisik/genteng berwarna coklat kekuningan sampai kehitaman. Daging buah tidak berserat, warna dan rasa tergantung varietasnya. Dalam satu buah terdapat 1-3 biji. Biji keras, berbentuk dua sisi, sisi dalam datar dan sisi luar cembung (Suskendriyati dkk., 2000).

Buah salak (*Salacca edulis*) mengandung banyak jumlah senyawa nutrisi utama (serat, protein, lemak-lemak, dan karbohidrat) dan memiliki antioksidan yang tinggi. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa buah salak mempengaruhi tingkat lipid plasma dan makanan yang mengandung rendah kolesterol sehingga banyak dikonsumsi (Hendri, 2010). Namun, limbah padat dari buah salak yaitu kulit salak masih belum banyak diolah menjadi produk yang bermanfaat oleh masyarakat setempat. Kulit salak yang masih segar atau yang baru dilepas umumnya mengandung air, karbohidrat, mineral dan protein (Chaiyut, 2013).

Struktur pada kulit salak mirip dengan kulit *reptile* sehingga banyak yang mengatakan bahwa salak adalah “buah ular”. Kulit salak yang masih segar dan baru dilepas dari dagingnya mengandung zat air, karbohidrat dan protein.

Tabel 3. Komposisi kulit salak pondoh.

Air	74,67%
Karbohidrat	3,8%
Protein	0,565%

(Sumber : Sahputra, 2011).

Berdasarkan penelitian Wijayanti dan Endang Widjajanti L., 2017, karbon aktif kulit salak mengandung gugus fungsi –OH, C-H alifatik, C-O, Si-O, C-C alkil. Dan pada spectra EDS muncul puncak yang menunjukkan unsur Si (Silikon). Dapat dikatakan bahwa selain mengandung selulosa yang tinggi kulit salak juga mengandung Si. Kulit salak dikatakan mengandung selulosa dilihat dari adanya gugus –OH yang terbaca melalui FTIR.

2.4. Logam Berat

Logam berat ialah unsur logam dengan berat molekul tinggi, yaitu berat jenis lebih besar dari 5 g/cm^3 . Namun unsur-unsur metaloid yang mempunyai sifat berbahaya juga dimasukkan ke dalam kelompok tersebut. Dengan demikian, yang termasuk ke dalam kriteria logam berat saat ini mencapai kurang 40 jenis unsur. Beberapa contoh logam berat yang beracun bagi manusia antara lain arsen (As), cadmium (Cd), tembaga (Cu), timbal (Pb), merkuri (Hg), nikel (Ni), dan seng (Zn) (Darmono, 1995).

Logam berat dapat masuk ke lingkungan hidup dengan berbagai cara, seperti pelapukan batu-batuan yang mengandung logam berat, aktivitas gunung berapi, dan pembuangan limbah yang berasal dari pertambangan, industri, dan transportasi. Sumber utama kontaminan logam berat berasal dari udara dan air yang mencemari tanah. Selanjutnya, semua tanaman yang tumbuh di atas tanah yang telah tercemar akan mengakumulasi logam-logam tersebut. Setelah itu ternak akan memanen logam-logam berat yang ada pada tanaman yang dimakannya. Pada akhirnya manusia akan tercemar logam tersebut dari empat sumber utama, yaitu

udara yang dihirup saat bernapas, air minum, tanaman, dan ternak yang dikonsumsi (Notohadiprawiro, 2006).

Menurut (Connell dan Miller, 1995), dalam lingkungan perairan ada tiga media yang dapat dipakai sebagai indikator pencemaran logam berat, yaitu air, sedimen, dan organisme hidup. Pemakaian organisme hidup sebagai indikator pencemaran inilah yang disebut bioindikator. Dalam pemilihan organisme laut sebagai bioindikator pencemaran, memberikan beberapa kriteria sebagai berikut:

1. Harus dapat mengakumulasi bahan cemar tanpa dia sendiri mati terbunuh.
2. Harus terdapat dalam jumlah yang banyak di seluruh daerah penelitian.
3. Terikat pada suatu tempat yang keras agar bisa mewakili daerah yang diteliti.
4. Hidup dalam waktu yang lama untuk memungkinkan sampling lebih dari satu tahun jika dibutuhkan.
5. Mudah diambil dan tidak mudah rusak.

2.5. Timbal

Timbal atau dalam keseharian lebih dikenal dengan sebutan nama timah hitam yang merupakan sesuatu hal yang merugikan dan berbahaya bagi lingkungan, terlebih lagi bagi kesehatan dan lingkungan. Timbal dalam bahasa ilmiahnya dinamakan plumbum, dan logam ini diberikan simbol Pb. Logam ini termasuk ke dalam kelompok logam-logam golongan IV-A pada tabel periodik unsur kimia. Logam tersebut mempunyai nomor atom (NA) 82 dengan bobot atau berat atom (BA) 207,2 dengan kata lain timbal (Pb) disebut juga sebagai unsur logam berat (Palar, 2008).

Ion Pb^{2+} termasuk kation golongan I yang akan mengendap sebagai campuran $PbCl_2$. Kation-kation golongan I adalah kation-kation yang akan mengendap bila ditambahkan dengan asam klorida (HCl). Pengendapan ion-ion golongan I harus pada temperature kamar atau lebih rendah karena $PbCl_2$ terlalu mudah larut dalam air panas. Juga harus dijaga agar asam klorida tidak terlalu

banyak ditambahkan. Dalam larutan HCl pekat, $PbCl_2$ melarut karena Pb^{2+} membentuk kompleks yang dapat larut (Keenan, 1984).

Timbal banyak digunakan untuk berbagai keperluan karena sifat-sifatnya sebagai berikut (Fardiaz, 1992):

1. Timbal mempunyai titik cair rendah sehingga jika digunakan dalam bentuk cair dibutuhkan teknik yang cukup sederhana dan tidak mahal.
2. Timbal merupakan logam yang lunak sehingga mudah diubah menjadi berbagai bentuk.
3. Sifat kimia timbal menyebabkan logam ini dapat berfungsi sebagai lapisan pelindung jika kontak dengan udara lembab.
4. Timbal dapat membentuk alloy dengan logam lainnya, dan alloy yang terbentuk mempunyai sifat berbeda dengan timbal yang murni.
5. Densitas timbal lebih tinggi dibandingkan dengan logam lainnya kecuali emas dan merkuri.

Keberadaan logam timbal dalam perairan dapat berasal dari sumber alamiah dan dari aktivitas manusia. Sumber alamiah masuk ke dalam perairan bisa dari pengikisan batuan mineral. Di samping itu partikel logam yang ada di udara, karena adanya hujan dapat menjadi sumber logam dalam perairan (Palar, 2008).

Umumnya logam-logam yang terdapat dalam tanah dan perairan dalam bentuk persenyawaan, seperti senyawa hidroksida, senyawa oksida, senyawa karbonat, dan senyawa sulfida. Senyawa-senyawa itu sangat mudah larut dalam air. Namun demikian pada badan perairan yang mempunyai derajat keasaman mendekati normal atau pada daerah kisaran pH 7 sampai 8, kelarutan dari senyawa-senyawa ini cenderung stabil (Darmono, 2001).

Logam timbal di dalam air akan membentuk $Pb(OH)_2$ dan dapat memberikan efek negatif pada kesehatan, baik lingkungan maupun manusia (Manahan, 1990). Logam timbal tidak bereaksi dengan asam sulfat dan asam fosfat,

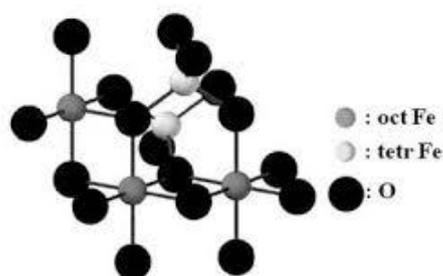
tetapi bereaksi dengan asam klorida dan asam nitrat; hasilnya tergantung apakah garam-garam yang dihasilkan dapat larut atau dapat membentuk lapisan pasivasi (Thornton, 2001). Timbal larut dalam asam organik seperti asam asetat jika ada oksigen (Greenwood, 1997).

2.6. Komposit

Komposit ialah material baru yang terbuat dari dua atau lebih material berbeda yang bila digabungkan memiliki sifat lebih baik dari material asli. Bahan komposit antara lain bertujuan meningkatkan sifat individu bahan seperti kekuatan, struktur, stabilitas sifat kimia dan fisika, sehingga diperoleh bahan baru dengan mutu yang lebih baik (Fisli dkk., 2007).

Komposit umumnya terdiri dari dua fasa yaitu matrik dan filter. Matrik merupakan bagian dari komposit yang memiliki bagian atau volume terbesar (dominan) yang berfungsi untuk mentransfer tegangan ke serat, melindungi dan memisahkan serat, membentuk dan melepaskan ikatan serta tetap stabil setelah dilakukan proses manufaktur. Berdasarkan kualitas dari ikatan antara matriks dan filter dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu ukuran partikel, fraksi volume material, rapat jenis bahan yang digunakan, bentuk partikel, komposisi material, kecepatan dan waktu pencampuran, penekanan (kompaksi) dan pemanasan (Mahnusah, 2015).

Komposit yang akan dibentuk dalam penelitian ini adalah komposit magnetik. Dimana karbon aktif yang akan dibuat ditambahkan dengan logam yang memiliki medan magnet. Dengan menggabungkan nanopartikel magnet oksida besi dengan karbon aktif diperoleh suatu bahan komposit baru yang mempunyai sifat adsorpsi dan dapat merespon medan magnet luar. Sifat yang terakhir digunakan untuk mengambil partikel adsorben dari cairan limbah yang telah menyerap kontaminan dengan menggunakan batangan magnet permanen (Fisli, 2012).



Gambar 4. Struktur magnetit.

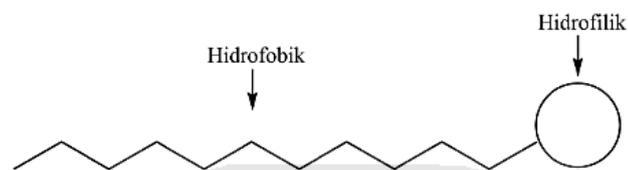
Pemisahan magnetik telah menjadi salah satu teknik yang menjanjikan untuk pemurnian air lingkungan karena sifatnya tidak memproduksi kontaminan seperti flokulan dan memiliki kemampuan menyaring sejumlah besar air limbah dalam waktu singkat. Selain itu, pendekatan ini sangat diinginkan dalam industri karena dapat mengatasi masalah yang hadir dalam filtrasi, sentrifugasi atau pemisahan gravitasi. Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi pemisahan magnetik telah banyak digunakan di bidang pemisahan dan adsorbpsi (Wu, dkk., 2013).

Oksida besi termasuk salah satu mineral dalam tanah. Mineral-mineral oksida besi bersifat amfoter dan memiliki daya serap yang tinggi (Notodarmojo, 2005). Oksida besi memiliki empat fase yaitu magnetit (Fe₃O₄), magemit (γ -Fe₂O₃), hematit (α -Fe₂O₃), dan geotit (FeO(OH)). Hanya magnetit dan magemit yang bersifat magnet (Gong, dkk., 2009).

Sintesis karbon aktif magnetik mempunyai beberapa metode seperti impregnasi, penggilingan, dan ko-presipitasi, telah dikembangkan untuk menggabungkan mereka dengan satu sama lain untuk menghasilkan komposit magnetik, yang dapat digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan berbagai polutan organik. Di antara metode ini, ko-presipitasi adalah metode kimia yang paling menjanjikan, karena sederhana dan tidak ada bahan kimia dan prosedur khusus yang diperlukan (Hashemian, dkk., 2015). Komposit karbon aktif-magnetit dibuat dengan cara kopresipitasi in situ menggunakan karbon aktif dan larutan magnetit (Raj & Joy, 2015).

2.7. Surfaktan

Surfaktan adalah senyawa yang dapat menurunkan tegangan permukaan air. Surfaktan menurunkan tegangan permukaan air dengan memutuskan ikatan-ikatan hidrogen pada permukaan, dengan bagian kepala (hidrofiliknya) berikatan pada permukaan air dan ekor-ekor (hidrofobik) menjauhi permukaan air. Struktur umum surfaktan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Struktur umum surfaktan.

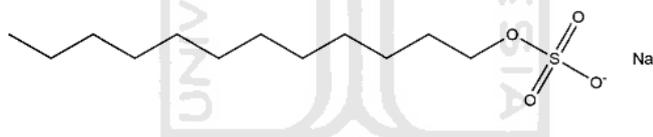
Surfaktan merupakan molekul amfifilik yang terdiri atas bagian kepala hidrofilik yang mempunyai afinitas tinggi terhadap air, dan bagian hidrofobik yang mempunyai afinitas tinggi terhadap minyak (Dickinson & Mc Clements 1996). Gugus hidrofilik dari surfaktan anionik dapat berupa gugus karboksilat, sulfat, sulfonat, dan fosfat, sedangkan gugus hidrofobiknya berupa rantai hidrokarbon alifatik, aromatik, atau gabungan keduanya.

Menurut Salager (1999), surfaktan dibagi menjadi beberapa kelompok penting dan digunakan secara meluas pada hampir semua sektor industri modern. Berdasarkan sifat gugus hidrofiliknya, surfaktan terbagi menjadi surfaktan kationik, anionik, nonionik, dan amfoterik (Rosen, 2004).

Surfaktan kationik mempunyai ekor hidrofobik melekat pada kepala hidrofilik yang bermuatan positif. Surfaktan nonionik dalam media berair tidak bermuatan. Kehidrofilikannya disebabkan oleh ikatan hidrogen antara molekul surfaktan dengan molekul-molekul air. Surfaktan amfoterik mempunyai rantai hidrofobik melekat pada gugus hidrofilik yang mengandung muatan positif dan negatif.

Surfaktan anionik mempunyai ekor hidrofobik melekat pada kepala hidrofilik yang bermuatan negatif. Gugus-gugus bermuatan negatif pada surfaktan anionik biasanya berupa karboksilat, sulfonat, sulfat, atau fosfat, sedangkan gugus hidrofobiknya berupa rantai hidrokarbon alifatik, aromatik, atau gabungan keduanya. (Kosswig, dkk., 1994). Surfaktan anionik digunakan dalam sabun, detergen, sampo, dan bubuk pembersih (Puspitasari, 2006).

Surfaktan yang digunakan pada penelitian ini adalah surfaktan anionik yaitu *sodium dodecyl sulfate* (SDS). *Sodium dodecyl sulfate* atau *sodium lauryl sulfate* ($C_{12}H_{25}SO_4Na$) adalah surfaktan anionik yang digunakan dalam produk industri seperti produk pembersih lantai, sabun pencuci mobil, dan beberapa kebutuhan rumah tangga seperti sabun dan lain-lain. Molekul ini mempunyai bagian hidrofobik yang mengandung 12 atom karbon dan yang mengikat gugus sulfat yang menjadikannya sebagai senyawa ampifilik. Struktur senyawa ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 6. Struktur *sodium dodecyl sulfate*.

(Salager, 2002)

2.8. Isoterm Adsorpsi Langmuir dan Freundlich

Model yang umum digunakan untuk menjelaskan adsorpsi isothermis, yaitu isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich. Secara umum isotherm adsorpsi diartikan sebagai fungsi konsentrasi zat terlarut yang terjerap pada padatan terhadap konsentrasi larutan. Tipe isotherm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi (Arif, 2014).

Pada tahun 1918, Langmuir menurunkan teori isotherm adsorpsi dengan menggunakan model sederhana berupa padatan yang mengadsorpsi gas pada permukaannya. Model ini mendefinisikan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum

terjadi akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat di permukaan adsorben. Isotherm Langmuir merupakan proses adsorpsi yang berlangsung secara kimisorpsi satu lapisan. Kimisorpsi adalah adsorpsi yang terjadi melalui ikatan kimia yang sangat kuat antara tapak aktif permukaan dengan molekul adsorbat dan dipengaruhi oleh densitas elektron. Adsorpsi satu lapisan terjadi karena empat ikatan kimia biasanya bersifat spesifik, sehingga permukaan adsorben dapat mengikat adsorbat dengan ikatan kimia (Handayani, 2009).

Isotherm adsorpsi Langmuir untuk sistem komponen tunggal dinyatakan:

$$q_e = \frac{q_{max} K_a C_e}{K_a C_e + 1}$$

dengan:

q_e : jumlah adsorbat terserap / berat adsorben pada kesetimbangan (mek/g)

q_0 : kapasitas penyerap maksimum pada permukaan / berat padatan (mek/g)

K_a : konstanta kesetimbangan Langmuir (L/mek)

C_e : konsentrasi pada kesetimbangan (mek/L)

q_{max} : kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

Isotherm Langmuir mungkin linier menggunakan persamaan di bawah ini (Longhinotti, dkk., 1998):

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} C_e + \frac{1}{K_a q_{max}}$$

$$\frac{1}{q_e} = \left(\frac{1}{K_a q_{max}} \right) \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_{max}}$$

$$q_e = q_{max} - \left(\frac{1}{K_a} \right) \frac{q_e}{C_e}$$

$$\frac{q_e}{C_e} = K_a q_{max} - K_a q_e$$

Isotherm Freundlich didasarkan pada asumsi bahwa adsorben mempunyai permukaan heterogen dan tiap molekul mempunyai potensi penjerapan yang berbeda – beda serta asumsi bahwa adsorpsi terjadi secara multilayer pada permukaan adsorben. Persamaan isotherm Freundlich sering digunakan dalam

penetapan praktis karena umumnya memberikan korelasi yang memuaskan. Persamaannya adalah :

$$x/m = kC^{1/n}$$

dengan:

x : banyaknya zat terlarut yang teradsorpsi (mg).

m : massa dari adsorben (mg).

C : konsentrasi dari adsorbat yang tersisa dalam kesetimbangan.

k,n : konstanta adsorben.

Adsorpsi ion logam oleh material padat secara kuantitatif mengikuti persamaan Langmuir. Persamaan Langmuir merupakan tinjauan teoritis proses adsorpsi :

$$C/(x/m) = 1/Kb + C/b$$

Persamaan tersebut dapat digunakan pada adsorpsi oleh padatan. Konstanta pada persamaan adsorpsi Langmuir menunjukkan besarnya adsorpsi maksimum (b) oleh adsorben, dan K menunjukkan konstanta yang dihubungkan dengan energi ikat.

2.9. Spektrometri Serapan Atom (SSA)

Spektrofotometer serapan atom (SSA) adalah suatu metode spektrofotometer yang memanfaatkan fenomena serapan sebagai dasar pengukurannya. Penyerapannya energi sinar terjadi oleh atom netral dalam keadaan gas, sinar yang diserap itu biasanya sinar tampak atau ultra lembayung (Sastrohamidjojo, Hardjono, 2001).

Dasar dari spektrofotometri serapan atom adalah penyerapan cahaya oleh atom bebas dari suatu unsur pada tingkat energi terendah (*ground state*). Keadaan *ground state* dari sebuah atom adalah keadaan dimana semua elektron yang dimiliki unsur tersebut memiliki konfigurasi yang stabil. Saat cahaya diserap oleh atom, maka satu atau lebih elektron tereksitasi ke tingkat energy yang lebih tinggi.

Penyerapan energy cahaya ini berlangsung pada panjang gelombang yang spesifik untuk setiap logam dan mengikuti hukum *Lambert-Beer*, yakni serapan berbanding lurus dengan konsentrasi uap atom dalam nyala (Vandecasteele & Block, 1993).

Hubungan antara penyerapan cahaya dan konsentrasi dinyatakan oleh hukum Lambert – Beer :

$$I = I_0 \cdot e^{-abc}$$

$$A = \text{Log } I_0 / I = a b c$$

Keterangan :

I = intensitas cahaya yang sampai pada detector

I_0 = Intensitas cahaya dari sumber sinar

A = Absorban

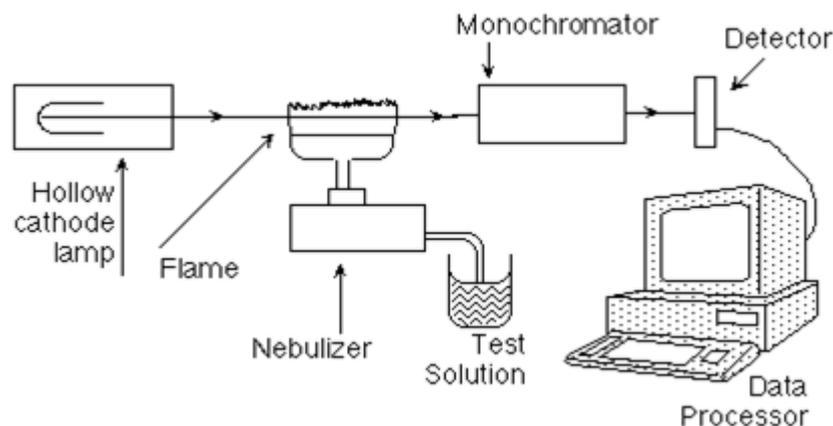
a = Konstanta absorptivitas

b = Panjang medium absorpsi

c = Konsentrasi

Dalam analisis unsur dengan panjang gelombang tertentu, absorptivitas (a) dan panjang medium absorpsi (b) telah tertentu pula, sehingga nilai a dan b dalam persamaan di atas adalah tetap. Dengan demikian maka A sebanding dengan konsentrasi (c) (Van Loon, 1980).

Dalam analisis senyawa SSA, unsur yang dianalisis berada sebagai atom yang netral, dalam keadaan uap dan disinari dengan berkas sinar yang berasal dari sumber sinar. Proses ini dapat dilaksanakan dengan jalan menghisap cuplikan melalui tabung kapiler dan menyemprotkannya ke dalam nyala api yang memenuhi persyaratan tertentu sebagai kabut yang halus. Dengan demikian nyala api itu berfungsi sama seperti sel (kuvet) dan larutan dalam spektrofotometer serapan molekul. Untuk membebaskan atom atom dari persenyawannya dibutuhkan sejumlah energi yang umumnya diperoleh dari nyala hasil reaksi pembakaran. Untuk itu diperlukan bahan bakar gas (Noor, 1989).

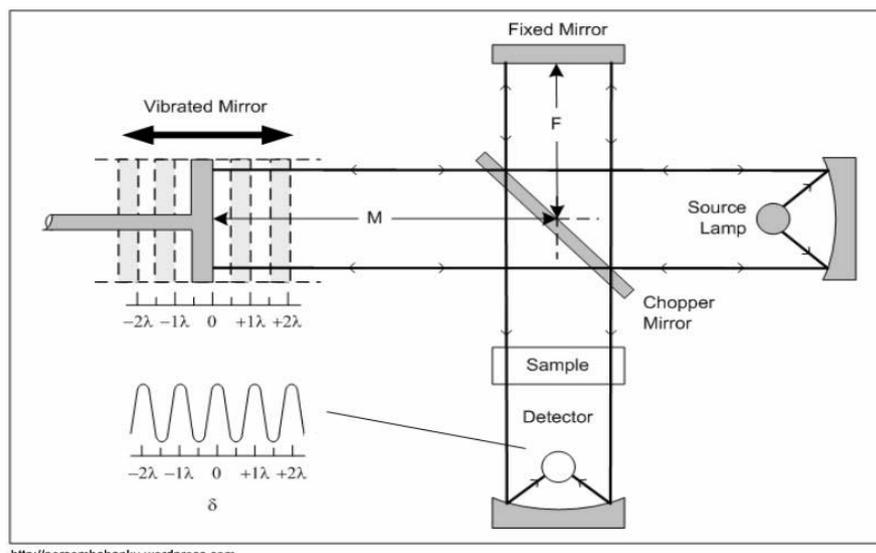


Gambar 7. Prinsip kerja Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Spektrofotometri serapan atom memiliki lima komponen dasar, yaitu sumber cahaya, sistem atomisasi, monokromator, detector, dan alat pembacaan (Welz & Michael, 2005).

2.10. Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Fourier transform infrared (FTIR) merupakan alat untuk menganalisis suatu material secara kualitatif maupun kuantitatif menggunakan spektra inframerah. Prinsip kerja alat FTIR adalah sinar inframerah/IR dengan rentang panjang gelombang (λ) 2,5 μm hingga 25 μm diradiasikan pada sampel uji. Penyinaran sinar inframerah pada λ tertentu akan menghasilkan energi foton tertentu. Saat besarnya energi foton yang mengenai sampel sama besar dengan energi vibrasi dalam sampel maka energi foton akan terserap dan molekul sampel akan tereksitasi ke tingkat energi yang lebih tinggi. Perbedaan energi inilah yang kemudian direkam untuk mengetahui getaran ulur/stretching vibration dan getaran tekuk/bending vibration yang mengindikasikan gugus molekul tertentu. Molekul tertentu hanya akan menyerap energi foton yang identik dengan energi vibrasinya saja sehingga identifikasi FTIR dapat digunakan untuk mengindikasikan ikatan kimia yang terdapat dalam sampel (Theophanides, 2012).



<http://persembahanku.wordpress.com>

Gambar 8. Prinsip kerja Fourier Transform Infrared (FTIR).

Bila radiasi inframerah dilewatkan melalui suatu cuplikan, maka molekul-molekulnya dapat menyerap (mengabsorpsi) energi dan terjadilah transisi di antara tingkat vibrasi dasar (ground state) dan tingkat vibrasi tereksitasi (excited state). Pengabsorpsian energi pada berbagai frekuensi dapat dideteksi oleh spektrofotometer inframerah, yang memplot jumlah radiasi inframerah yang diteruskan melalui cuplikan sebagai fungsi frekuensi radiasi. Plot tersebut adalah spektrum infra merah yang memberikan informasi penting tentang gugus fungsional suatu molekul (Hendayana, dkk., 1994: 189-193).

Setiap struktur senyawa mempunyai karakteristik tertentu dilihat dari gugus fungsi yang terdapat dalam molekul tersebut. masing-masing gugus fungsi akan menunjukkan serapan pada daerah yang berbeda-beda. Spektrofotometer inframerah hampir menggunakan daerah dari $650 - 4000 \text{ cm}^{-1}$. Gugus fungsional untuk suatu molekul tampak pada daerah-daerah yang spesifik, seperti misalnya ikatan CO dan C-N biasanya terletak pada daerah $800-1300 \text{ cm}^{-1}$, sementara ikatan C=C, C=N dan C=O biasanya terletak pada daerah $1500-1900 \text{ cm}^{-1}$. Daerah antara $1400-4000 \text{ cm}^{-1}$ pada spektra disebut sebagai daerah inframerah. Daerah sidik jari berada pada daerah spektra sebelah kanan 1400 cm^{-1} yang terjadi karena adanya modus uluran dan tekukan sehingga gugus fungsional sulit diamati (Fessenden, 1986: 317).

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Waktu dan Tempat

Penelitian akan dilaksanakan di Laboratorium Penelitian Universitas Islam Indonesia yang dilaksanakan selama 2 bulan dimulai pada November 2019 – Desember 2019.

4.2. Alat dan Bahan

Bahan utama yang akan digunakan untuk penelitian ini adalah kulit salak yang diperoleh dari penjual salak di jalan Turi, Sleman, Yogyakarta, dengan disortir terlebih dahulu, KOH 20% p.a (Merck, Germany), serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ p.a (Merck, Germany), akuades, NaOH 10 M p.a (Merck, Germany), FeCl_3 p.a (Merck, Germany), FeSO_4 p.a (Merck, Germany), HCl 1 M p.a (Merck, Germany), SDS (*Sodium Dodecyl Sulfate*) p.a (Merck, Germany), NaOH 1 N p.a (Merck, Germany), HNO_3 p.a (Merck, Germany), dan etanol p.a (Merck, Germany).

Alat-alat yang digunakan meliputi : neraca analitik, Oven, penyaring *buchner*, pH universal, ayakan 100 mesh, cawan porselen, lumpang dan mortar, *magnetic stirrer*, *muffle furnace*, kaca arloji, spatula, pengaduk kaca, pipet volume (1, 2, 5 dan 10 mL), pipet tetes, erlenmeyer 100 mL, labu ukur (10, 50, 100 dan 250 mL), gelas beaker (100 dan 250 mL), spektrometer inframerah (Nicolet Avatar 360 IR) dan spektrometer serapan atom (SSA) (BUCK Scientific 205).

4.3. Cara Kerja

4.3.1. Karbonisasi

Kulit salak dicuci sampai bersih, dikeringkan dibawah sinar matahari selama 3 hari dan dipotong kecil. Setelah itu dikarbonisasi dalam *furnace* pada suhu 300°C selama 1 jam agar menjadi arang (Hartanto, 2010). Setelah proses karbonisasi selesai, arang kulit salak didinginkan dalam desikator selama ± 30 menit. Karbon digerus dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh agar dapat memiliki ukuran yang seragam (Alifaturrahma, 2017).

4.3.2. Aktivasi Karbon

Kemudian dilanjutkan dengan aktivasi menggunakan larutan KOH (20%-b larutan) dengan perbandingan massa kulit salak dan KOH sebesar 1:4, kontak dilakukan selama 20 jam dan selanjutnya dikeringkan dalam oven 110 °C selama 24 jam. Setelah kering, karbon aktif dikarbonisasi akhir pada suhu 300 °C selama 1 jam (Hartanto, 2010). Kemudian akan dicuci dengan HCl 1 M dan akuades hingga air pencucian mencapai pH 6-7 dan diakhiri dengan pengeringan dalam oven 110 °C selama 2 jam (Apecsiana, 2016).

4.3.3. Magnetisasi Karbon Aktif

Magnetisasi dilakukan dengan menyiapkan karbon aktif, besi klorida dan besi sulfat dengan perbandingan 1:2,78:2. Karbon aktif yang telah diperoleh kemudian direndam dalam 50 mL akuades. Dibuat larutan besi klorida dengan menambahkan ke dalam 130 mL akuades. Pada saat yang sama, larutan besi sulfat disiapkan dengan menambahkan besi sulfat ke dalam 150 mL air suling. Kedua larutan kemudian dicampur dan diaduk pada suhu 60-70°C. Suspensi yang terbentuk kemudian ditambahkan ke dalam karbon aktif suspensi pada suhu kamar sambil diaduk perlahan selama 30 menit (Fajarwati, 2019) (Mohan, 2011).

Setelah pencampuran, larutan NaOH 10 M ditambahkan tetes demi tetes ke dalam suspensi campuran hingga pH mencapai 10-11. Selama penambahan NaOH, warna suspensi menjadi hitam pada pH 10. Setelah diaduk selama 60 menit, suspensi dibiarkan pada suhu kamar selama 24 jam dan berulang kali dicuci dengan akuades, diikuti oleh etanol. Kemudian, komposit yang terbentuk disaring dengan filter vakum dan dikeringkan semalaman pada 50°C dalam oven (Fajarwati, 2019). Kemudian karbon aktif dikarakterisasi dengan FTIR (Nicolet Avatar 360 IR), dan dilanjutkan dengan penambahan surfaktan.

4.3.4. Penambahan Surfaktan

Karbon aktif magnetik dimodifikasi dengan agitasi dalam larutan surfaktan. Larutan surfaktan dibuat dengan malarutkan SDS (*Sodium Dodecyl Sulfate*). Konsentrasi larutan surfaktan yang digunakan yaitu 9 g/L. Sebanyak 100 mL

larutan surfaktan ditambahkan ke dalam 5 gram karbon aktif dan diagitasi 180 rpm selama 24 jam pada temperatur ruangan menggunakan *mechanical shaker*. Karbon aktif kemudian dipisahkan dan dicuci menggunakan akuades sebanyak 10 kali dan dikeringkan dalam oven pada temperatur 60 °C semalam (Lee dkk, 2018). Dilakukan karakterisasi material dengan FTIR (Nicolet Avatar 360 IR) guna mengobservasi gugus fungsi yang ada pada karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi surfaktan.

4.3.5. Uji Adsorpsi

4.3.5.1. Uji Adsorpsi dengan Variasi Waktu Kontak

Uji kinetika adsorpsi dilakukan pada temperature ruangan. Sebanyak 0,04 g adsorben (karbon aktif non-modifikasi, karbon aktif termodifikasi Fe₃O₄ dan karbon aktif termodifikasi Fe₃O₄ serta surfaktan anionik) dengan ukuran partikel 100 mesh dimasukkan ke dalam botol gelas berukuran 50 mL. Kemudian ke dalam masing-masing botol gelas tersebut ditambahkan 10 mL larutan timbal (II) dengan konsentrasi 100 mg/L. Selanjutnya digojog dengan *shaker* kecepatan 290 rpm. Variasi waktu kontak yang digunakan adalah 5, 15, 30, 45, 60 dan 75 menit. Larutan timbal yang telah diinteraksikan dengan adsorben kemudian didiamkan selama 5 menit dan disaring dengan kertas saring Whatman 42. Konsentrasi Pb (II) pada filtrat ditentukan menggunakan SSA (BUCK Scientific 205). Data yang diperoleh dari hasil Spektrofotometer Serapan Atom yaitu konsentrasi Pb (II), yang teradsorpsi (selisih konsentrasi Pb (II) awal dan konsentrasi sisa dalam larutan Pb (II)). Kandungan Pb yang teradsorpsi dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$qe = \frac{(Ci - Ce)}{W} \times V$$

Dengan :

q_e : kapasitas adsorpsi (mg/g)

C_i : konsentrasi awal logam (mg/L)

C_e : konsentrasi akhir logam (mg/L)

W : massa dari adsorben (g)

V : volume larutan logam (L) (Safrianti, 2012).

Guna menentukan konsentrasi Pb dalam larutan sampel, kurva standar Pb dibuat dari $\text{Pb}(\text{NO}_2)_3$.

4.3.5.2. Uji adsorpsi dengan Variasi Konsentari Timbal (Pb)

Uji isoterm dilakukan pada temperature ruangan. Sebanyak 0,04 g adsorben (karbon aktif non-modifikasi, karbon aktif termodifikasi Fe_3O_4 dan karbon aktif termodifikasi Fe_3O_4 serta surfaktan anionik) dengan ukuran partikel 100 mesh dimasukkan ke dalam botol gelas berukuran 50 mL. Kemudian ke dalam masing-masing botol gelas tersebut ditambahkan 10 mL larutan timbal (II) dengan variasi konsentrasi yaitu 100, 150, 200, 250, 350, dan 450 mg/L. Selanjutnya diaduk dengan *mechanical shaker* kecepatan 290 rpm. Waktu yang digunakan yaitu pada waktu optimum masing-masing sampel. Larutan timbal yang telah diinteraksikan dengan adsorben kemudian didiamkan selama 5 menit dan disaring dengan kertas saring Whatman 42. Konsentrasi logam berat dianalisis menggunakan SSA (BUCK Scientific 205) dan untuk perhitungan dibuat kurva kalibrasi larutan standar. Kondisi pengujian kinerja adsorben dilakukan pada keadaan isotherm, yaitu pada suhu ruangan (Fajarwati dkk,2019).

4.3.5.2.1. Pembuatan Larutan Induk Pb 1000 mg/L

Pembuatan larutan induk Pb 1000 ppm dengan cara melarutkan sebanyak 1,600 gram serbuk $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ke dalam labu ukur 1L, kemudian ditambah aquades sampai tanda batas dan dihomogenkan.

4.3.5.2.2. Pembuatan Larutan Kerja Pb

Dipipet 0,5 mL; 2 mL; 4 mL; 6 mL; 8 mL dan 10 mL larutan baku Pb 100 mg/L masing-masing ke dalam labu ukur 100 mL. Ditambahkan larutan pengencer sampai tepat tanda batas sehingga diperoleh konsentrasi logam timbal 0,5 mg/L; 2 mg/L; 4 mg/L; 6 mg/L; 8mg/L dan 10 mg/L.

4.3.5.2.3. Pembuatan Larutan Pengencer

Pembuatan larutan pengencer dibuat dengan cara menambahkan asam nitrat pekat ke dalam air suling sampai pH 2 (SNI 06-6989.8-2004).

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan pengaruh modifikasi karbon aktif dengan memberikan sifat magnet dan penambahan surfaktan untuk mengetahui penyerapan terhadap logam timbal (II) efektivitas penyerapan Pb^{2+} dilihat dengan variabel uji isotherm adsorpsi dan kinetik adsorpsi.

Bahan utama yang digunakan adalah limbah kulit salak pondoh yang didapatkan dari pengusaha manisan salak pondoh di daerah Turi, Sleman, Yogyakarta. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Riset Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.

5.1. Karbonisasi

Kulit salak sebagai bahan utama perlu dibersihkan dan dijemur terlebih dahulu untuk menghilangkan kotoran yang menempel dan menghilangkan air yang terdapat didalamnya. Karbonisasi dilakukan untuk membuka pori-pori, menguapkan air yang tidak hilang saat dijemur, zat volatile, dan zat-zat organik lainnya. Karbonisasi dilakukan menggunakan *muffle furnace* pada suhu 300 °C selama 1 jam.

Proses karbonisasi merupakan pemecahan bahan-bahan organik menjadi panas kering (*steaming*). Banyaknya pori-pori yang terbentuk dan luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan akan semakin meningkat dengan adanya karbonisasi. Dalam pembuatan arang terjadi proses dehidrasi, yaitu proses untuk menghilangkan kadar H_2O (air) dimana bahan baku dipanaskan hingga mencapai temperatur 170 °C (Alfiandy, 2013).

Penelitian ini menggunakan tiga tahap proses yaitu karbonasi, aktivasi, dan modifikasi serta pengujian kinetik dan isotherm. Proses dehidrasi dilakukan bersamaan dengan proses karbonasi dan dilakukan proses aktivasi untuk mendekomposisi material dan memperluas pori-pori, serta proses modifikasi untuk menambah sifat pada karbon aktif sehingga memiliki fungsi yang lebih baik.

Pada saat karbonisasi senyawa hemiselulosa yang merupakan polimer dari beberapa monosakarida seperti pentosan dan heksosan terurai paling awal yaitu

pada suhu 200 °C-260 °C, kemudian diikuti oleh penguraian selulosa pada suhu 240 °C-350 °C, dan lignin terurai paling akhir yaitu pada 280 °C-500 °C. Kulit salak sendiri tersusun atas senyawa selulosa dan senyawa organik lainnya yang mengandung unsur karbon. Selain itu tingginya suhu yang diberikan pada serat alam mampu menghilangkan komponen-komponen pengotor pada arang seperti kadar air, komponen volatile, dan mineral sehingga meningkatkan kadar karbon dan sekaligus menambah keteraturan strukturnya. Penghilangan komponen-komponen pengotor ini yang menyebabkan keluarnya asap putih saat karbonisasi menggunakan furnace (Destyorini, 2010).



Gambar 9. Arang kulit salak.

Sebelum proses karbonisasi dilakukan perlu diketahui terlebih dahulu berat kulit salak yang akan dikarbonisasi. Kulit salak sebelum dan setelah dikarbonisasi ditimbang untuk mendapatkan rendemen (*yield*) karbon dari kulit salak. Dari massa kulit salak sebanyak 635,034 gram didapatkan massa karbon sebanyak 322,082 gram sehingga didapatkan *yield* karbon 46,89%.

5.2. Aktivasi Karbon

Aktivasi bertujuan untuk meningkatkan volume dan memperbesar diameter pori setelah proses karbonisasi serta dapat meningkatkan penyerapan ion ke dalam pori. Metode aktivasi dibagi menjadi dua, yaitu aktivasi secara kimia dan aktivasi secara fisika. Dalam penelitian ini aktivasi dilakukan dengan metode kimia. Metode ini berfungsi untuk mendegradasi molekul organik selama proses karbonisasi, membatasi pembentukan tar, membantu dekomposisi senyawa organik, dehidrasi

air yang terjebak dalam rongga-rongga karbon, membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan serta melindungi permukaan karbon (Alfiany, 2013).

Melalui tahap aktivasi ini akan diperoleh karbon yang memiliki daya serap rendah menjadi karbon yang mempunyai daya serap tinggi atau sering disebut dengan karbon aktif. Dari proses aktivasi akan didapatkan kenaikan luas permukaan dan memperoleh karbon yang berpori (Idrus, 2013).

Untuk proses aktivasi kimia ini digunakan aktivator asam yaitu KOH (20%-b larutan) dengan perbandingan massa kulit salak dan larutan KOH sebesar 1:4, kontak dilakukan selama 20 jam. Larutan KOH 20% adalah larutan yang mengandung 20 gram kalium hidroksida dalam 100 mL akuades. Menurut Aswin (2011) bahwa asam-asam ini akan lebih mudah melarutkan zat-zat pengotor yang bersifat basa sehingga akan membentuk garam-garam mineral anorganik selain itu juga akan memberikan efek sinergis yang berfungsi sebagai aktivator.

Aktivator basa cocok digunakan untuk material yang mengandung karbon tinggi. Hal ini disimpulkan dari penelitian yang telah dilakukan oleh Esterlita dkk., (2015), peneliti menyatakan bahwa aktivator yang baik digunakan untuk material yang mengandung karbon tinggi seperti kulit salak ialah aktivator yang bersifat basa seperti KOH, dibandingkan dengan aktivator yang bersifat asam seperti $ZnCl_2$ dan H_3PO_4 . Sedangkan aktivator yang bersifat asam cocok digunakan untuk material yang mengandung lignoselulosa yang tinggi.

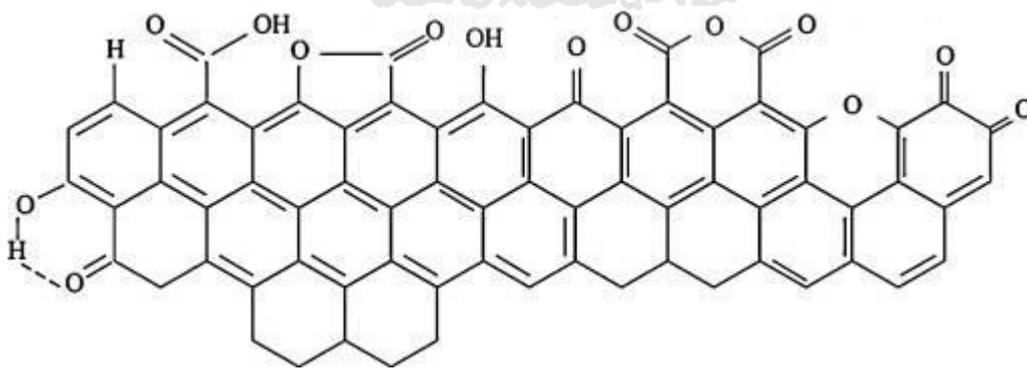
Saat perendaman selama 20 jam dapat melarutkan tar dan mineral anorganik. Hilangnya zat tersebut dari permukaan arang aktif akan menyebabkan pori-pori arang aktif menjadi terbuka lebih besar. Besarnya pori arang aktif berakibat meningkatnya luas permukaan arang aktif sehingga kemampuan adsorpsi dari arang aktif akan meningkat (Alfiany, 2013).

Arang yang telah teraktivasi kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 110 °C selama 24 jam untuk menguapkan sisa larutan KOH. Setelah kering, karbon aktif dikarbonisasi akhir pada suhu 300 °C selama 1 jam. Saat karbonisasi ulang akan menyebabkan gugus OH terurai membentuk struktur baru yaitu rantai karbon (Caroline, dkk., 2015). Kemudian dicuci dengan HCl 1 M dan akuades hingga air pencucian mencapai pH 6-7. Dalam penelitian ini didapatkan air cucian

karbon aktif pada pH 6. Dalam banyak kasus, ion logam berat teradsorpsi pada kisaran pH 4 hingga 7 (Lai, dkk., 2010).

Pencucian dengan HCl dimaksudkan untuk menghilangkan sisa larutan KOH yang merupakan basa kuat sehingga perlu dicuci dengan asam kuat untuk membantu mempercepat proses pencucian. Dilanjutkan dengan pencucian menggunakan akuades bertujuan untuk menghilangkan larutan KOH yang masih tersisa di dalam karbon aktif. Kemudian karbon aktif dioven kembali pada suhu 110 °C selama 2 jam untuk mengeringkan karbon aktif. Karbon aktif yang didapatkan kemudian disimpan di dalam desikator untuk menjaga agar tetap dalam kondisi kering.

Mekanisme reaksi pengaktifan karbon secara kimia dapat terjadi karena adanya interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen. Selain mengandung karbon, karbon aktif juga mengandung sejumlah kecil hidrogen dan oksigen yang secara kimiawi terikat dalam berbagai gugus fungsi seperti karbonil, karboksil, fenol, lakton, quinon, dan gugus-gugus eter. Gugus fungsional tersebut dibentuk selama proses aktivasi. Gugus fungsional ini membuat permukaan karbon aktif reaktif secara kimiawi dan mempengaruhi sifat adsorbsinya. Gambar 5.2 menunjukkan struktur kimia karbon aktif dengan gugus fungsionalnya.



Gambar 10. Struktur kimia karbon aktif.

(Sumber : Shafeeyan, dkk., 2010).

Aktivasi dengan KOH menghasilkan pori-pori yang didominasi dengan ukuran mikropori, dimana diketahui bahwa adsorben dengan ukuran pori mesopori

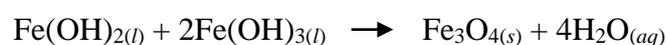
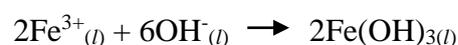
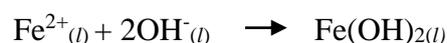
dan mikropori lebih efektif untuk proses adsorpsi. Selain itu aktivasi dengan KOH menghasilkan produk samping berupa tar yang lebih sedikit (Marsh dan Rodriguez-Reinoso, 2006).

Berat karbon yang digunakan untuk membuat karbon aktif adalah 174,606 gram dan didapatkan karbon aktif seberat 81,889 gram sehingga didapatkan % rendemen sebesar 46,89%.

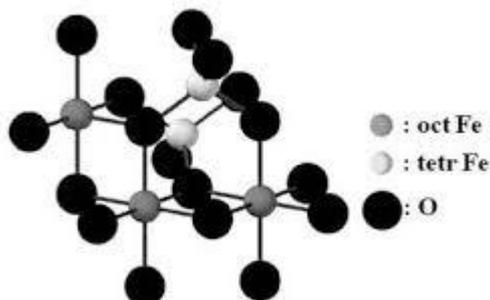
5.3. Magnetisasi Karbon Aktif

Sifat magnet pada karbon aktif didapatkan dari penambahan oksida besi. Dalam penelitian ini untuk mendapatkan sifat magnet perlu ditambahkan FeCl_3 dan FeSO_4 dengan perbandingan 1,8:2 ke dalam 5 gram karbon aktif. Dalam pembuatan larutan besi, perlu dilarutkan terlebih dahulu FeCl_3 kedalam 130 mL akuades kemudian di wadah yang lain dilarutkan FeSO_4 ke dalam 150 mL akuades. Kemudian kedua larutan dicampur dan diaduk pada suhu 60-70 °C. Pada pemanasan 60 °C - 70 °C menyebabkan proses pelepasan air atau hidrasi pada hidroksida besi sehingga terbentuk oksida besinya. Suspensi yang terbentuk kemudian ditambahkan ke dalam karbon aktif suspensi pada suhu kamar sambil diaduk perlahan selama 30 menit.

Pada pencampuran FeCl_3 dan FeSO_4 ini terjadi reaksi redoks, serta oksigen didapatkan dari penambahan larutan basa (NaOH) sehingga terbentuk Fe(OH)_2 dan Fe(OH)_3 . Pada saat penambahan NaOH terbentuk warna hitam yang menunjukkan pembentukan magnetit (Fe_3O_4). Pembentukan besi oksida dengan cara ini disebut dengan metode kopresipitasi. Kemudian suspensi didiamkan selama 24 jam dan berulang kali dicuci dengan akuades dan etanol. Pencucian dengan etanol bertujuan untuk menghilangkan zat-zat yang tidak larut dengan akuades. Tahapan pembentukan partikel Fe_3O_4 pada sintesis berlangsung mengikuti persamaan reaksi kimia berikut (Petcharoen, 2012) :



Prediksi struktur komposit magnetit :



Gambar 11. Struktur magnetit.

(Sumber : Ariyani, 2011).

Pembuatan komposit oksida besi pada karbon aktif diawali dengan penjerapan ion-ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} oleh karbon aktif. Ion-ion tersebut membentuk endapan hidroksida besi atau $\text{Fe}(\text{OH})_2$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ lalu membentuk oksida besi karena proses hidrasi pada pemanasan di suhu $70\text{ }^\circ\text{C}$ sehingga terbentuk oksida besi yang terkomposit pada struktur karbon aktif.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh K. Satpathy dan Chaudhuri (1995), material yang sudah dilapisi Fe_2O_3 mempunyai luas permukaan yang lebih luas dibandingkan dengan yang tidak dilapisi. Luas permukaan suatu adsorben merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi karena semakin luas suatu permukaan adsorben maka akan semakin banyak adsorbat yang teradsorpsi. Material yang dilapisi Fe_2O_3 ini dapat digunakan sebagai adsorben untuk menurunkan berbagai logam berat dalam limbah seperti Pb.

Selain sifat adsorpsi, komposit magnet juga memiliki kelebihan yaitu memudahkan dalam proses pemisahan adsorban dari larutan. Selain itu karbon aktif magnet akan lebih banyak menyerap ion logam karena sifatnya yang dapat merespons medan magnet luar.

5.4. Penambahan Surfaktan

Penambahan surfaktan pada karbon aktif bertujuan untuk memodifikasi karbon aktif sehingga terbentuk material baru yaitu SMAC (*Surfactant Modified Active Carbon*). Material tersebut mempunyai keunggulan sebagai adsorben yang

lebih spesifik dari karbon aktif, dimana diaplikasikan untuk adsorben kation logam berat yang berbahaya di perairan. SMAC dapat menyerap logam berat karena surfaktan dapat merubah permukaan karbon aktif menjadi lebih polar dan bermuatan bergantung kepada surfaktan yang digunakan (Agustinus, 2013).

Karbon aktif yang telah ditambahkan FeCl_3 dan FeSO_4 atau disebut karbon aktif magnetik (KAM) dapat memberikan sifat magnet sehingga kemampuan daya serap terhadap logam meningkat. KAM yang telah terbentuk dikontakkan dengan surfaktan SDS (*Sodium Dodecyl Sulfate*) sehingga menjadi material yang lebih spesifik untuk menyerap logam berat yaitu logam Timbal (Pb).

Larutan surfaktan dibuat dengan melarutkan SDS kedalam akuades sehingga didapatkan larutan SDS dengan konsentrasi 9 g/L sebanyak 100 mL untuk 5 gram material karbon. Karbon diagitasi dengan kecepatan 180 rpm selama 24 jam menggunakan *mechanical shaker*. Tujuan agitasi adalah untuk menghomogenkan antara material karbon dengan larutan surfaktan, sehingga didapatkan hasil ion surfaktan yang menempel pada pori-pori karbon.

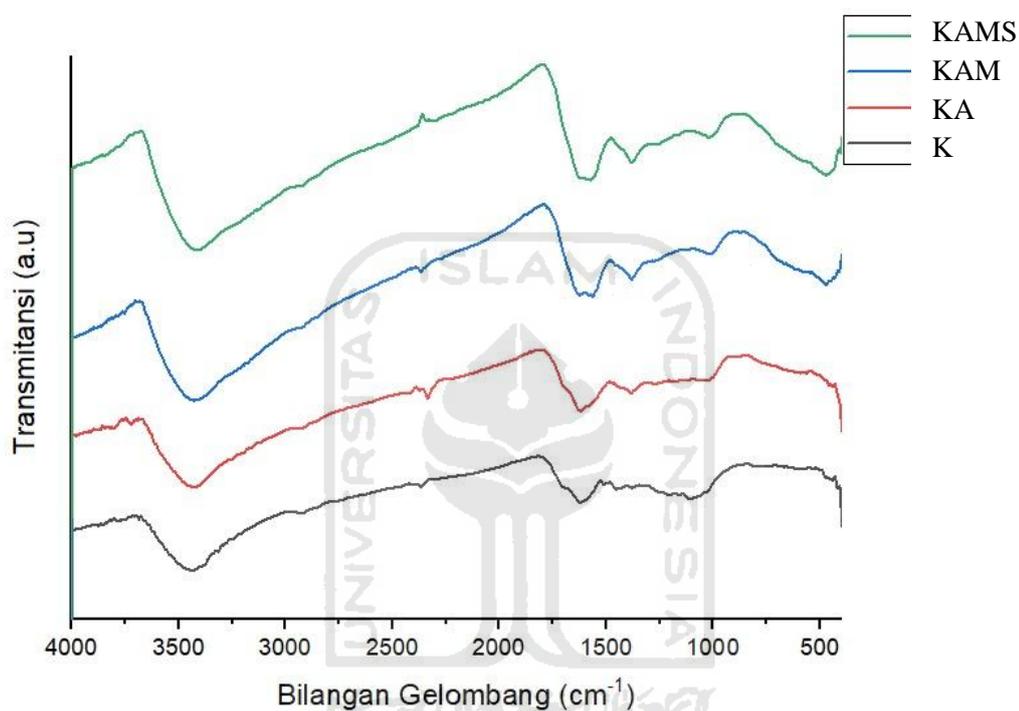
Kemudian karbon yang telah diagitasi dicuci menggunakan akuades untuk membersihkan pengotor-pengotor yang terdapat pada karbon saat proses agitasi. Selanjutnya karbon dioven pada temperatur 60 °C selama semalam untuk menghilangkan air yang tersisa pada karbon.

Pada saat penambahan surfaktan terjadi interaksi antara permukaan karbon aktif dengan gugus fungsi dari surfaktan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Wooram Lee, dkk., (2018) terbentuk ikatan hidrofobik antara karbon aktif dengan surfaktan.

Karbon aktif yang telah dimodifikasi terlebih dahulu dengan oksida besi mengalami penambahan oksida besi. Namun diprediksi masih terdapat sebagian kecil pori-pori yang belum berikatan dengan oksida besi sehingga masih ada ruang yang bisa digunakan oleh surfaktan untuk berikatan. Pada karbon aktif magnetik surfaktan ini akan melepaskan Na^{2+} yang berikatan dengan O^- pada gugus surfaktan sehingga gugus O^- tersebut dapat berfungsi untuk menyerap logam Pb^{2+} .

5.5. Karakteristik Karbon Aktif

Analisis *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) ini ditujukan untuk melihat gugus fungsi dan perubahan gugus fungsi dari bahan ataupun senyawa yang digunakan. Pada penelitian ini dilakukan uji FTIR untuk melihat perubahan gugus fungsi sampel karbon (K), karbon aktif (KA), karbon aktif magnetik (KAM), dan karbon aktif magnetik-surfaktan (KAMS).



Gambar 12. Hasil karakterisasi menggunakan FTIR sampel K (karbon), KA (karbon aktif), KAM (karbon aktif magnetik), dan KAMS (karbon aktif magnetik surfaktan).

Tabel 4. Tabel interpretasi FTIR.

BILANGAN GELOMBANG				Gugus fungsi
K (cm ⁻¹)	KA (cm ⁻¹)	KAM (cm ⁻¹)	KAMS (cm ⁻¹)	
3440,03	3427,62	3430,45	3423,01	O-H
1622,23	1619,94	1563,49	1572,45	C = O
1380,37	1383,77	1381,64	1379,87	C – O
-	-	1563,49	1572,45	C = C

Pada sampel karbon (K) menunjukkan pita serapan yang lebar dan kuat pada bilangan gelombang $3440,03 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan setelah aktivasi (KA) bilangan gelombang turun menjadi $3427,62 \text{ cm}^{-1}$ dan setelah penambahan sifat magnet (KAM) menjadi $3430,45 \text{ cm}^{-1}$ serta setelah dimodifikasi dengan magnet dan surfaktan (KAMS) bilangan gelombang turun menjadi $3423,01 \text{ cm}^{-1}$. Puncak serapan pada bilangan gelombang $3200 \text{ cm}^{-1} - 3600 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus fungsi O-H hidroksil (merujuk pada O-H *stretching*). Besarnya gugus hidroksil merupakan cerminan dari banyaknya senyawa kimia pada kulit salak yang mengandung gugus O-H seperti senyawa alkohol dan fenol. Banyaknya senyawa O-H juga menandakan bahwa sampel berpotensi berinteraksi dengan adsorbat (Dewi, 2012). Saat peningkatan suhu pada karbonisasi akan menyebabkan gugus O-H terurai membentuk struktur baru yaitu rantai karbon (Caroline, 2015). Dilihat dari spektra FTIR yang masih menunjukkan adanya gugus O-H pada KA, KAM dan KAMS menandakan bahwa gugus O-H belum terurai sepenuhnya saat karbonisasi, sehingga pembentukan karbon tidak merata yang dapat memengaruhi efektivitas adsorpsi dari material yang telah dibuat.

Pada sampel K muncul bilangan gelombang pada $1622,23 \text{ cm}^{-1}$ dan pada sampel KA muncul pada bilangan gelombang $1619,94 \text{ cm}^{-1}$. Namun pada sampel KAM bilangan tersebut bergeser pada bilangan gelombang $1563,49 \text{ cm}^{-1}$ serta pada sampel KAMS muncul pada bilangan gelombang $1572,45 \text{ cm}^{-1}$. Puncak serapan pada bilangan gelombang $1600-1800 \text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan keberadaan gugus C=O. Gugus C=O merupakan gugus khas yang terdapat pada karbon aktif dan menunjukkan bahwa kulit salak membentuk zat aktif karbon. Pada sampel K, KA, KAM, dan KAMS juga memperlihatkan bilangan gelombang yang menunjukkan adanya gugus C-O yaitu, secara berturut-turut pada bilangan gelombang $1380,37 \text{ cm}^{-1}$, $1383,77 \text{ cm}^{-1}$, $1381,64 \text{ cm}^{-1}$, dan $1379,87 \text{ cm}^{-1}$. Puncak serapan pada bilangan $1300-1000 \text{ cm}^{-1}$ mengidentifikasi gugus C-O (Shafeeyan, 2010). Keberadaan gugus C-O dan bilangan gelombang yang bergeser menunjukkan adanya ikatan C=O tidak stabil (Sari, 2017).

Selain itu pada penelitian yang telah dilakukan oleh Mohammed Jibril, dkk., (2015) pada karbon aktif juga akan membentuk ikatan C=C yang ditandai dengan

adanya pemunculan spektrum pada bilangan gelombang 1500-1400 cm^{-1} . Pada sampel KAM dan KAMS bilangan gelombang bergeser pada 1563,49 cm^{-1} dan 1572,45 cm^{-1} . Gugus C=C menunjukkan adanya peningkatan kadar karbon. Dapat dilihat bahwa gugus fungsi yang terdapat dalam kulit salak yaitu gugus C=O, C=C, dan O-H.

Pada sampel KAM terbaca pita serapan pada bilangan gelombang 470,47 cm^{-1} yang menandakan terdapat oksida besi di dalam sampel KAM. Hal ini didukung oleh analisis spektra FTIR dari magnetit dicirikan oleh pita serapan kurang dari 700 cm^{-1} yang menunjukkan vibrasi ikatan Fe-O dari Fe_3O_4 . (Prasdiatika, 2016). Dan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Srividya *dkk* (2016) bahwa pada rentang bilangan 630-550 cm^{-1} dan 447 cm^{-1} terjadi vibrasi ikatan atom dari Fe-O. Sehingga penulis memprediksi bilangan gelombang 470,47 cm^{-1} yang terbaca merupakan bilangan gelombang dari vibrasi ikatan Fe-O dari Fe_3O_4 .

Hasil pencirian menggunakan FTIR menunjukkan proses pengompositan partikel oksida (magnetit) pada karbon aktif menghasilkan suatu material baru yang dapat berperan sebagai penjerap dan juga bersifat magnet, yaitu komposit oksida besi-karbon aktif. Sifat magnet yang dimiliki sampel ini akan memudahkan proses pemisahan karbon aktif dari medium berair. Hal ini dikarenakan komposit dapat dikendalikan melalui tarikan magnet permanen (Fisli, *dkk.*, 2007).

Hasil karakterisasi sampel KAMS tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dari sampel KAM. Pada sample KAMS hanya menunjukkan intensitas yang sedikit lebih tajam pada bilangan gelombang 1563,49 cm^{-1} , 1381,64 cm^{-1} , dan 470,47 cm^{-1} . Penambahan intensitas tersebut sekitar 4%.

Jika dilihat dari hasil karakterisasi SDS murni menunjukkan adanya gugus fungsi spesifik pada bilangan gelombang 2956,66 – 2853,76 cm^{-1} dan 1191,82 – 1114,11 cm^{-1} , sedangkan pada sampel KAMS tidak menunjukkan adanya gugus fungsi pada bilangan gelombang tersebut. Hal ini dapat disebabkan oleh pori-pori pada sampel KAM telah terisi penuh sehingga menyebabkan SDS tidak terjerap atau terkomposit pada sampel dengan sempurna. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui secara spesifik persentase surfaktan yang

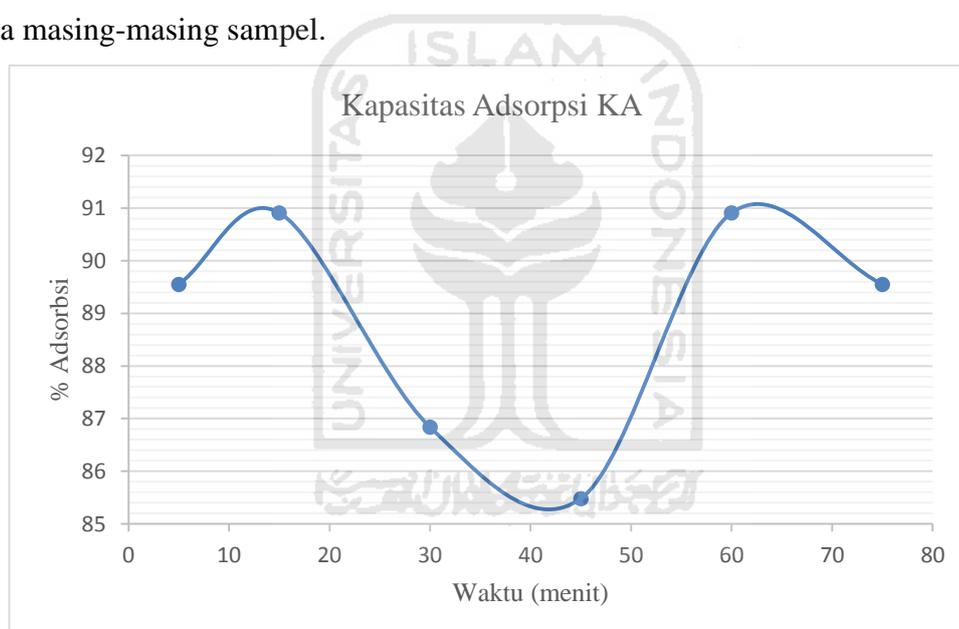
terjerap dalam sampel menggunakan alat yang dapat mendeteksi keberadaan surfaktan dengan jelas.

5.6. Uji Adsorpsi

5.6.1. Penentuan Waktu Optimum

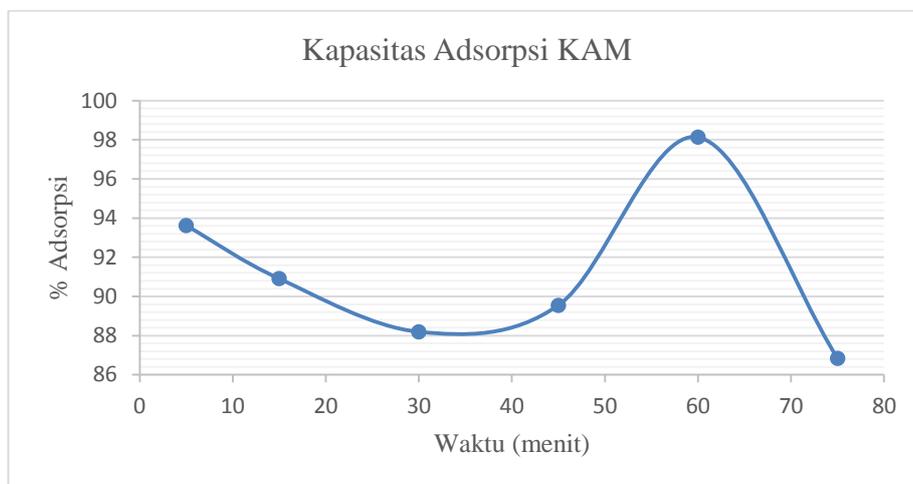
Perbandingan adsorpsi sampel KA, KAM, KAMS terhadap larutan Pb^{2+} pada variasi waktu dilakukan untuk mengetahui waktu optimum Pb^{2+} terhadap kapasitas adsorpsi masing-masing sampel.

Parameter uji adsorpsi dilakukan pada konsentrasi awal Pb^{2+} 100 mg/L, volume larutan 10 mL dan berat adsorben 0,04 gram yang diaduk pada variasi waktu yaitu 5, 15, 30, 45, 60, dan 75 menit. Dibawah ini kurva hasil pengolahan data masing-masing sampel.



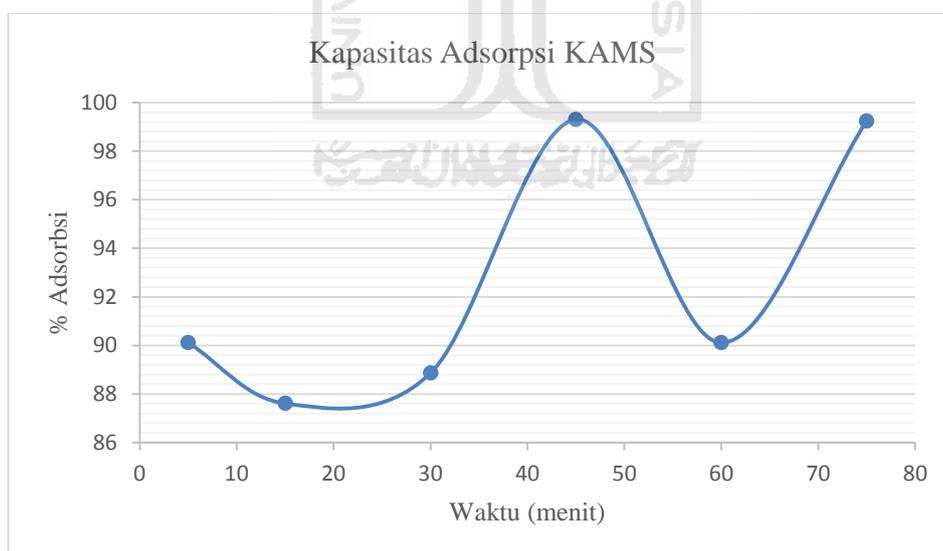
Gambar 13. Kurva penurunan ion Pb^{2+} terhadap waktu kontak.

Pada sampel KA waktu optimum terjadi pada waktu ke 15 menit dan 60 menit dengan kapasitas adsorpsi 90,909%. Pada waktu ke 30 menit dan 45 menit adsorpsi karbon aktif menurun menjadi 86,84% dan 85,48%. Hal ini karena waktu kontak yang berlebih menyebabkan karbon aktif lewat jenuh sehingga logam Pb^{2+} kembali terlepas dari pori-pori karbon aktif (desorpsi). Kemudian terjadi adsorpsi kembali pada waktu ke 60 menit dan desorpsi pada waktu ke 75 menit.



Gambar 14. Kurva Penurunan ion Pb²⁺ terhadap waktu kontak.

Pada sampel KAM waktu optimum terjadi pada waktu ke 60 menit dengan kapasitas adsorpsi 98,129%. Kemudian terjadi pelepasan adsorbat dari pori-pori (desorpsi) pada waktu ke 75 menit. Hal ini terjadi karena waktu kontak yang berlebih menyebabkan karbon aktif lewat jenuh dan logam kembali terlepas dari pori-pori karbon aktif.



Gambar 15. Kurva Penurunan 1 ion Pb²⁺ terhadap waktu kontak.

Pada sampel KAMS waktu optimum terjadi pada waktu ke 45 menit dengan kapasitas adsorpsi 99,309%. Kemudian terjadi desorpsi pada waktu 60 menit dan mengadsorpsi kembali pada waktu ke 75 menit. Adsorpsi pada waktu ke 75 menit

dapat terjadi karena sebelumnya telah terjadi desorpsi, sehingga logam terlepas dari pori-pori dan terdapat ruang kembali untuk logam masuk dalam pori-pori.

Semakin lama waktu kontak maka semakin banyak terjadi penurunan kadar Pb yang signifikan. Semakin lama waktu kontak, maka semakin banyak logam yang teradsorpsi karena semakin banyak kesempatan partikel karbon aktif untuk bersinggungan dengan logam. Hal ini menyebabkan semakin banyak logam yang terikat didalam pori-pori karbon aktif (Gultom, 2014).

Peristiwa adsorpsi pada arang aktif terjadi karena adanya gaya Van der Waals yaitu gaya tarik-menarik intermolekuler antara molekul padatan dengan solut yang diadsorpsi lebih besar daripada gaya tarik-menarik sesama solute itu sendiri di dalam larutan, maka solut akan terkonsentrasi pada permukaan padatan. Adsorpsi jenis ini tidak bersifat site spesifik, dimana molekul yang teradsorpsi bebas untuk menutupi seluruh permukaan padatan (Rizki, 2015).

Dari perbandingan ketiga sampel diatas dapat dilihat bahwa KAMS mengadsorpsi logam Pb^{2+} lebih banyak. Hal ini disebabkan karena adanya Fe_3O_4 dan surfaktan yang terkomposit pada karbon aktif sehingga karbon aktif memiliki sifat yang lebih dari sekedar karbon aktif. Seperti yang diketahui bahwa logam akan lebih mudah terjerap ketika terdapat sifat magnet dari suatu adsorben (Ariyani, 2011). Dan keberadaan surfaktan anionik akan mengikat unsur yang bermuatan kationik. Pada sampel KA hanya terjadi penyerapan sebanyak 90,909%, dimana kapasitas adsorpsi KA lebih rendah dari KAMS dan KAM. Hal ini bisa terjadi karena tidak adanya modifikasi pada karbon aktif sehingga yang berperan dalam penyerapan hanya pori-pori dari karbon aktif.

Sedangkan pada sampel KAM terjadi penyerapan sebanyak 98,129%, dimana hanya berbeda 1,18% dari sampel KAMS yaitu 99,309%. Hal ini dapat disebabkan oleh penambahan surfaktan pada KAM tidak terkomposit dengan baik sehingga penyerapannya tidak optimal. Pori-pori pada karbon aktif yang sudah diisi dengan Fe_3O_4 tidak dapat diisi kembali dengan surfaktan. Hal ini dapat dibuktikan

dengan melihat hasil karakterisasi FTIR bahwa pada sampel KAMS tidak terjadi perubahan gugus fungsi yang signifikan dari sampel KAM.

Perbedaan kapasitas adsorpsi pada ketiga sampel tidak terlalu signifikan. Perbedaan tersebut dapat diketahui dengan melakukan uji ANOVA dua faktor seperti yang tertera pada Lampiran 3. Nilai signifikansi atau *P-value* yang didapatkan lebih dari 0,05 sehingga H_0 diterima. *P-value* diatas 0,05 menandakan tidak terdapat perbedaan yang signifikan dalam penyerapan logam Pb^{2+} pada ketiga sampel tersebut.

Pada dasarnya modifikasi karbon aktif dengan magnet dan surfaktan ini dimaksudkan agar penyerapan terhadap logam berat lebih optimal. Seperti yang diketahui bahwa proses magnetisasi akan menambah muatan negatif yang berasal dari gugus O sehingga akan memberikan peluang lebih banyak untuk menjerap logam Pb yang bermuatan positif. Begitu pula pada sampel KAMS yang banyak memiliki gugus negatif karena penambahan *Sodium Dodecyl Sulfate* (SDS) yang merupakan surfaktan anionik akan menambah gugus O sehingga membuat sampel menjadi bermuatan negatif dan mudah untuk menjerap senyawa atau unsur yang bersifat kation yaitu logam Pb^{2+} .

5.6.2. Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi ion Pb^{2+} oleh sampel KA, KAM dan KAMS dievaluasi berdasarkan persamaan reaksi pseudo orde satu Lagergren dan pseudo orde dua. Parameter uji adsorpsi dilakukan pada konsentrasi awal Pb^{2+} 100 mg/L, volume larutan 10 mL dan berat adsorben 0,04 gram yang diaduk pada variasi waktu yaitu 5, 15, 30, 45, 60, dan 75 menit. Dibawah ini tabel perbandingan dari masing-masing sampel.

Tabel 5. Parameter adsorpsi orde satu dan orde dua sampel KA.

Kinetika Adsorpsi Sampel KA			
	Persamaan	R^2	k ($\text{min}^{-1}\text{ppm}^{-1}$)
Orde 1	$y = 0,005x - 0,2181$	0,42	0,005

Orde 2	$y = 0,0409x + 0,0141$	0,9974	0,0409
---------------	------------------------	--------	--------

Tabel 6. Parameter adsorpsi orde satu dan orde dua sampel KAM.

Kinetika Adsorpsi Sampel KAM			
	Persamaan	R^2	k ($\text{min}^{-1}\text{ppm}^{-1}$)
Orde 1	$y = 0,08x - 4,4341$	0,3768	0,08
Orde 2	$y = 0,0369x + 0,0836$	0,9852	0,0369

Tabel 7. Parameter adsorpsi orde satu dan orde dua sampel KAMS.

Kinetika Adsorpsi Sampel KAMS			
	Persamaan	R^2	k ($\text{min}^{-1}\text{ppm}^{-1}$)
Orde 1	$y = -0,0577x - 2,2197$	0,1215	-0,0577
Orde 2	$y = 0,0427x + 0,0148$	0,9999	0,0427

Kinetika orde satu diperoleh dari $\ln(q_e - q_t)$ versus t sedangkan kinetika orde dua diperoleh dari t/q_t versus t , dari persamaan garis linieritas diatas dapat diketahui nilai slope dan gradiennya. Berdasarkan persamaan garis tersebut dapat diketahui nilai k dan R^2 . Nilai k dan R^2 berguna untuk menentukan orde yang digunakan dilihat dari nilai k dan R^2 yang mendekati 1.

Berdasarkan data diatas dapat dilihat bahwa penelitian ini mengikuti kinetika adsorpsi orde dua. Hal ini dikarenakan nilai dari k dan R^2 pada orde 2 mendekati 1 dibandingkan dengan kinetika adsorpsi orde satu. Sampel KA, KAM, dan KAMS secara berturut-turut memiliki nilai R^2 0,9974, 0,9852, dan 0,9999. Sedangkan nilai k untuk sampel KA, KAM, dan KAMS adalah 0,0409, 0,0369, dan 0,0427 $\text{min}^{-1}\text{ppm}^{-1}$.

Model kinetika orde kedua semu mengindikasikan adanya proses kemisorosi dalam reaksi (Farooq dkk,2011). Model kinetika orde kedua semu ini menunjukkan bahwa mekanisme adsorpsi yang terjadi adalah reaksi tak balik (*irreversible*) yang melibatkan ikatan kimia (kimisorpsi) antara adsorben dengan adsorbat dan membentuk lapisan *monolayer*.

5.6.3. Isoterm Adsorpsi

Tipe isoterm adsorpsi dapat digunakan untuk mengetahui mekanisme adsorpsi karbon terhadap ion Pb^{2+} . Adsorpsi fase padat cair biasanya menganut tipe isoterm Freundlich dan Langmuir (Atkins, 1999). Isoterm Langmuir untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum yang terjadi pada monolayer atau satu lapis dipermukaan komposit, karena mengandung sejumlah tertentu pusat-pusat aktif identik (Nawasivayam, 1997). Sedangkan isoterm Freundlich beranggapan bahwa energi permukaan itu heterogen, dimana digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum yang terjadi pada multilayer atau banyak lapisan (Hasrianti, 2012). Ikatan yang terjadi antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben dapat terjadi secara fisisorpsi dan kimisorpsi (Nafi'ah, 2017). Oleh karena itu penulis disini menggunakan kedua tipe isotherm tersebut untuk melihat mekanisme adsorpsi yang terjadi pada masing-masing sampel.

Untuk menentukan isotherm adsorpsi logam Pb^{2+} perlu dibuat variasi konsentrasi logam Pb^{2+} terlebih dahulu sehingga dapat dibuat kurva persamaan garis lurus isotherm Langmuir dan isotherm Freundlich. Dari variasi data tersebut kemudian dibandingkan linearitas kurva dengan melihat koefisien determinasi (R^2) yang tertinggi.

Tabel 8. Perbandingan tipe isoterm adsorpsi.

Perbandingan Isoterm Adsorpsi						
	Isoterm Langmuir			Isoterm Freundlich		
	R^2	Q_m (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2	K_f (mg/g)	N
KA	0,6917	1,528818	0,040562	0,0446	0,454151	9,960159
KAM	0,9676	0,630358	-0,04899	0,8354	304,0185	-1,71644
KAMS	0,892	0,144879	-0,03182	0,6448	4848,417	-0,95093

Perbandingan adsorpsi isotherm karbon terhadap ion Pb^{2+} tipe Langmuir dan Freundlich diperlihatkan pada tabel 5.4. Masing-masing sampel menunjukkan linieritas tertinggi, yaitu $R^2 = 0,6917$ untuk KA, $R^2 = 0,9676$ untuk KAM, dan $R^2 =$

0,892 untuk KAMS. Penentuan penggunaan model isoterm adsorpsi yang sesuai untuk material karbon terhadap ion Pb^{2+} dapat diketahui dengan melihat koefisien korelasi (R^2) yang mendekati nilai 1.

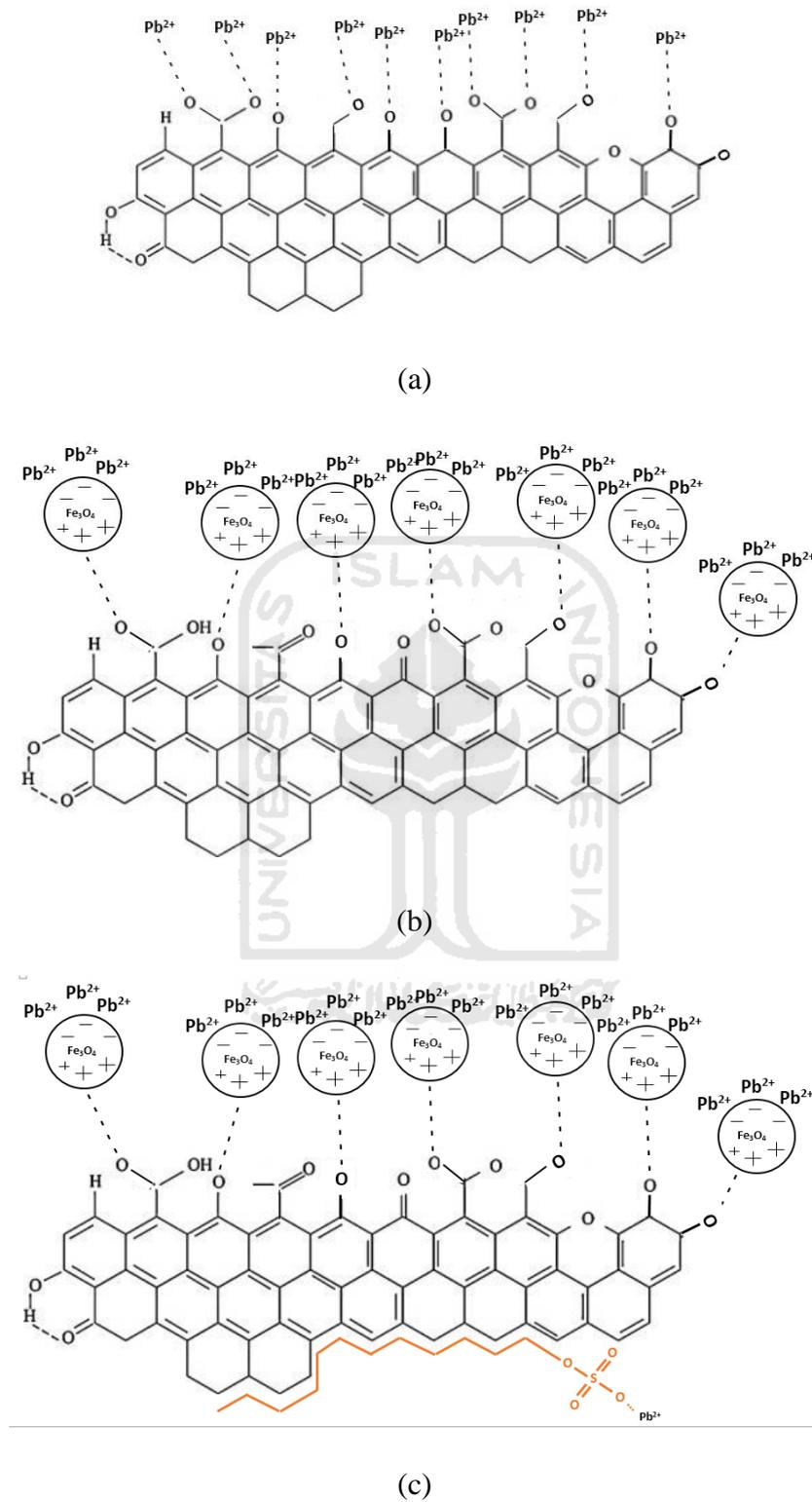
Berdasarkan perbandingan dari kedua tipe isoterm adsorpsi diatas, ketiga sampel mengikuti tipe isoterm adsorpsi Langmuir. Linearitas isoterm adsorpsi tipe Langmuir lebih mendekati nilai 1 dibandingkan dengan isoterm Freundlich. Dengan demikian kemungkinan adsorpsi bersifat kimia yang terjadi pada lapisan tunggal (monolayer) dengan membentuk ikatan kovalen koordinasi antara ion Pb^{2+} dengan gugus hidroksil (-OH) (Nafi'ah, 2017). Oleh karena itu, isoterm tipe Langmuir lebih baik digunakan untuk mencirikan mekanisme adsorpsi terhadap ion Pb^{2+} .

Pada persamaan Langmuir Q_m menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum yang dapat dijerap oleh adsorben sedangkan K_L menunjukkan energi adsorpsi. Nilai K_L positif menandakan reaksi tidak spontan sedangkan nilai K_L negatif menandakan reaksi spontan.

Sampel KA, KAM, dan KAMS memiliki kapasitas adsorpsi maksimum masing-masing sebesar 1,528818 mg/g, 0,630358 mg/g, dan 0,144879 mg/g. Nilai K_L pada sampel KA yaitu, 0,040562 L/mg yang menunjukkan reaksi berlangsung tidak spontan sedangkan pada sampel KAM dan KAMS reaksi berlangsung spontan dengan nilai K_L sebesar -0,04899 L/mg, dan -0,03182L/mg.

Reaksi spontan menandakan adsorpsi yang terjadi secara langsung setelah terjadi kontak antara partikel-partikel adsorbat dengan partikel adsorben. Sedangkan reaksi tidak spontan membutuhkan energi untuk terjadi adsorpsi. Kespontanan suatu reaksi dapat dipengaruhi oleh tekanan dan suhu.

Prediksi reaksi yang terjadi antara sampel dengan adsorbat di bawah ini didasarkan pada jurnal yang ditulis oleh Monika Jain, dkk. (2018) :



Gambar 16. Reaksi penjerapan logam Pb^{2+} : a). KA (karbon aktif), b). KAM (karbon aktif magnetic), dan c). KAMS (karbon aktif magnetic surfaktan).

Pada karbon aktif (KA) logam Pb^{2+} langsung berikatan dengan karbon aktif yang memiliki gugus O yang bermuatan negatif. Pada karbon aktif magnetik (KAM) logam Pb^{2+} berikatan dengan gugus O yang ada pada oksida besi dan karbon aktif. Sedangkan pada sampel karbon aktif magnetik surfaktan (KAMS) logam Pb^{2+} berikatan dengan gugus O yang disediakan oleh karbon aktif, oksida besi dan surfaktan.

5.6.4. Penentuan Konsentrasi Optimum

Perbandingan adsorpsi karbon aktif non-modifikasi, karbon aktif magnetik, karbon aktif magnetik-surfaktan terhadap larutan Pb^{2+} pada variasi konsentrasi Pb^{2+} dilakukan untuk mengetahui konsentrasi optimum Pb^{2+} terhadap kapasitas adsorpsi masing-masing sampel.

Parameter uji adsorpsi dilakukan pada kondisi awal volume larutan 10 mL, berat adsorben 0,04 gram dan variasi konsentrasi yaitu 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L, 250 mg/L, dan 450 mg/L yang diaduk dengan kecepatan 290 rpm pada masing-masing waktu optimum sampel. Tabel 5.5 menunjukkan perbandingan konsentrasi optimum pada masing-masing sampel.

Tabel 9. Perbandingan konsentrasi optimum.

Sampel	Konsentrasi (ppm)	% Ads	Co (ppm)	Ce (ppm)
KA	100	99	125	1,25
	150	94,489	165,540	9,121
	200	95,970	226,351	9,121
	250	96,582	266,891	9,121
	450	72,847	510,135	138,513
KAM	100	97,733	93,167	2,111
	150	99,047	130,434	1,242
	200	99,206	180,124	1,428

	250	99,416	223,602	1,304
	450	99,826	428,571	0,745
KAMS	100	98,93	93,167	0,993
	150	99,285	130,434	0,931
	200	99,344	180,124	1,180
	250	99,583	223,602	0,931
	450	99,565	428,571	1,863

Penyerapan ion Pb^{2+} pada sampel KA mampu menyerap ion Pb^{2+} lebih banyak pada konsentrasi 100 ppm, yaitu sebesar 99% dan semakin tinggi konsentrasi ion dalam larutan maka ion Pb^{2+} yang diserap akan semakin kecil. Hal ini dapat terjadi karena jumlah pori-pori yang terdapat pada permukaan sampel KA tidak sebanding dengan jumlah ion Pb^{2+} yang ada dalam larutan. Sehingga kelebihan ion Pb^{2+} pada larutan tidak dapat teradsorpsi ke dalam pori-pori sampel KA.

Sedangkan pada sampel KAM dan KAMS penyerapan optimum terjadi pada konsentrasi 450 ppm dan 250 ppm. Penyerapan sampel KAM dan KAMS terhadap ion Pb^{2+} lebih tinggi dibanding dengan sampel KA, yaitu sebesar 99,826% dan 99,583%. Hal ini dapat terjadi karena pada sampel KAM terdapat gugus aktif magnet yang dapat membantu penyerapan ion logam.

Sedangkan pada sampel KAMS penyerapan optimum terjadi pada konsentrasi 250 ppm dengan % adsorpsi yang lebih rendah dari sampel KAM. Hal ini dapat terjadi karena diprediksi pada sampel KAMS sebagian pori-pori sudah mengikat gugus aktif magnet dan surfaktan, sehingga ketika dikontakkan dengan ion logam penyerapannya menjadi kurang efektif. Secara umum, konsentrasi dapat mencapai optimum disebabkan oleh pori-pori yang tidak dapat menerima adsorbat lagi.

Perbedaan adsorpsi pada ketiga sampel juga dapat dianalisis menggunakan uji ANOVA dua faktor seperti yang tertera pada Lampiran 3. Dari uji anova tersebut

didapatkan signifikansi atau *P-value* lebih dari 0,05 dan H_0 diterima. *P-value* diatas 0,05 berarti tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara ketiga sampel tersebut dalam penyerapan logam Pb^{2+} .

Dari hasil data-data diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi logam dalam larutan maka persentase adsorpsinya semakin menurun. Hasil ini dihubungkan dengan semakin banyaknya jumlah Pb^{2+} dalam larutan namun jumlah sisi aktif dari sampel tetap sama sehingga kelebihan Pb^{2+} dalam larutan tidak dapat terjerap.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

- a. Kulit salak dapat diubah menjadi karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi yaitu 300 °C dengan persentase karbon 50,7%. Dan diubah menjadi karbon aktif dengan metode aktivasi. Modifikasi karbon aktif dilakukan dengan magnetisasi dan penambahan surfaktan.
- b. Hasil karakterisasi dengan FTIR menunjukkan bahwa karbon aktif yang dihasilkan dari kulit salak mengandung gugus fungsi C=O, C=C, dan O-H dengan bilangan gelombang 1563,49 cm^{-1} – 1622,23 cm^{-1} , 1563,45 cm^{-1} – 1572,45 cm^{-1} , dan 3423,01 cm^{-1} – 3440,03 cm^{-1} . Pada sampel KAM muncul bilangan gelombang pada 470,47 cm^{-1} yang menunjukkan adanya vibrasi ikatan FeO dari Fe_3O_4 .
- c. Kinetika adsorpsi pada sampel KAMS mengikuti orde 2 yang menyatakan reaksi bersifat kemosorpsi dengan nilai k adalah 0,0427 $\text{min}^{-1}\text{ppm}^{-1}$. Waktu optimum yang didapatkan adalah 45 menit dengan kapasitas adsorpsi 99,309%.
- d. Model isoterm yang sesuai dalam pengolahan limbah logam Pb^{2+} sampel KAMS adalah model isoterm Langmuir yang menunjukkan adsorpsi bersifat kimia dengan R^2 yaitu 0,892. Konsentrasi optimum logam Pb^{2+} yang dapat teradsorpsi oleh sampel KAMS yaitu 250 ppm dengan kapasitas adsorpsi 99,583%.

6.2.Saran

Pada penelitian lebih lanjut disarankan :

- a. Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk sampel KAMS menggunakan instrumen lain sehingga dapat mengetahui secara spesifik komponen yang terdapat dalam sampel tersebut.
- b. Diperlukan analisis lebih lanjut menggunakan instrumen lainnya untuk menunjang hasil yang didapatkan sebelumnya.

- c. Diperlukan analisis yang dilakukan secara berulang dalam uji kinetika adsorpsi dan isotherm adsorpsi untuk mengetahui ketepatan hasil.



DAFTAR PUSTAKA

- Adamson, A. W., 1990, *Physical Chemistry of Surfaces*, Fifth Edition, Penerbit: John Wiley & Sons, Inc.
- Agustinus, E., T., S., Anggoro Tri Mursito, Happy Sembiring, 2013, Peningkatan Daya Serap Karbon Aktif terhadap Ion Logam Hexavalent Chromium (CrVI) melalui Modifikasi dengan *Cationic Surfactant (ethylenediamine)*, *RISSET Geologi dan Pertambangan*, 23 (1), 15-26.
- Akmal, N., E., Tager, dan Sugianto, 2014, Pengaruh Magnetik Fe₃O₄ pada Serbuk Karbon terhadap Tingkat Penyerapan Limbah Logam Fe, *JOM FMIPA*, 1(2), 185-192.
- Alfiany, H., Syaiful Bahri, dan Nurakhirawati, 2013, Kajian Penggunaan Arang Aktif Tongkol Jagung sebagai Adsorben Logam Pb dengan beberapa Aktivator Asam, *Jurnal Natural Science*, 2(3), 75-86.
- Alifaturrahma, P., dan Okik H., C., 2017, Pemanfaatan Kulit Pisang Kepok Sebagai Adsorben Untuk Menyingkahkan Logam Cu, *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 8(2).
- Apecsiana, F., H., Kristianto dan A., Andreas, 2016, Adsorpsi Ion Logam Tembaga Menggunakan Karbon Aktif dari Bahan Baku Kulit Salak, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan*, ISSN 1693-4393.
- Arif, A.R., 2014, *Adsorpsi Karbon Aktif dari Tempurung Kluwak (Pangium edule) terhadap Penurun Fenol*, Skripsi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Alauddin, Makasar.
- Ariyani, Anis, 2011, *Pembuatan Komposit Magnet Oksida Besi-Karbon Aktif sebagai Adsorben cs dan Sr*, Skripsi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Arnelli, 2010, Subasi Surfaktan dari Larutan Detergen dan Larutan Detergen Sisa Cucian serta Penggunaannya Kembali sebagai Detergen, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 13(1), 4-7.
- Asano, N., J., Nishimura., K., Nishimiya., T., Hata., Y., Imamura., S., Ishihara dan B., Tomita, 1999, Formaldehyde Reduction in Indoor Enviroments by Wood Charcoals, *Wood Researsch*, 86.
- Asbahani, 2013, Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu sebagai Karbon Aktif untuk Menurunkan Kadar Besi pada Air Sumur, *Jurnal Teknik Sipil Untan*, 13(1), 105-114.
- Ashraf, MA., Maah, MJ., Yusoff, I., 2010, Study of Banana peel (*Musa sapientum*) as a Cationic Biosorben, *American-Eurasian J. Agric & Environ.* 8(1), 7-17.

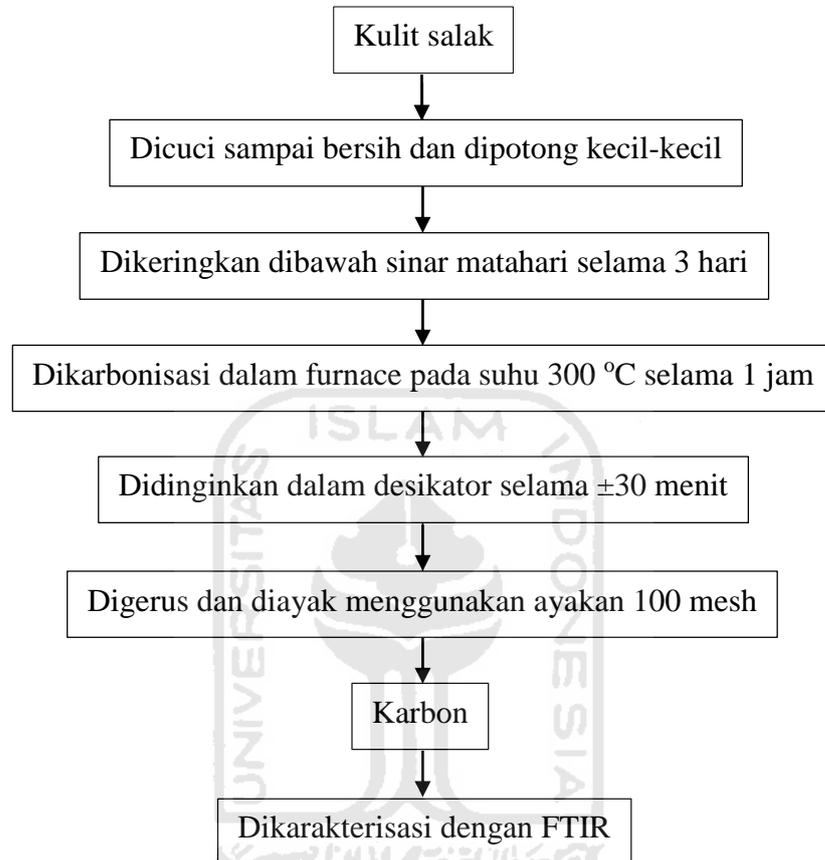
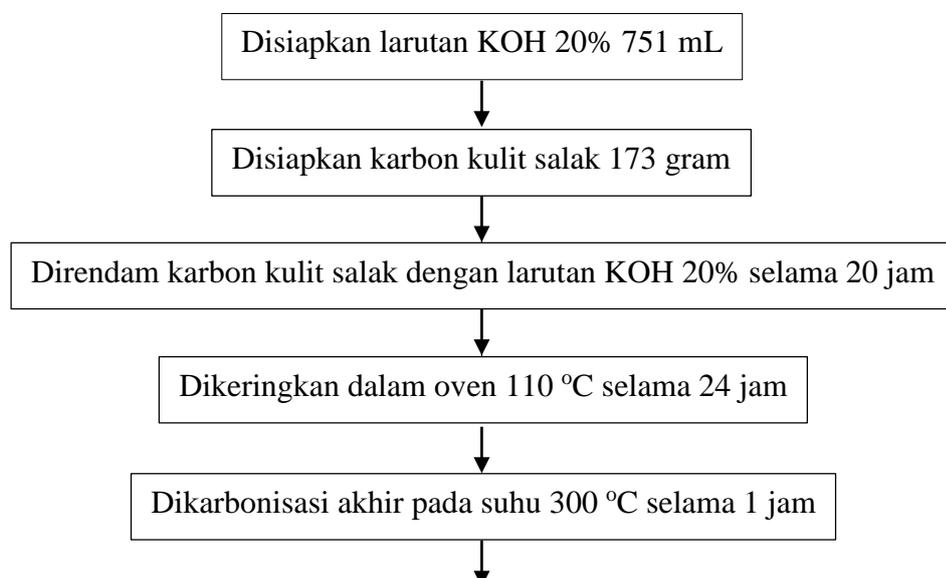
- Aswin, 2011. Preparasi dan karakterisasi karbon aktif dari kulit kacang mete (*Anacardium occidentale*) serta uji aktivitas adsorpsi menggunakan methylene blue. Ilmu kimia. Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada. (cari lagi, tesis).
- Atkins, P.W. 1999. Kimia Fisika. Jakarta: Erlangga.
- Aziz, Tamzil, dkk, 2016, Penurunan Kadar FFA dan Warna Minyak Jelantah Menggunakan Adsorben Dari Biji Kurma dan Kulit Salak, *Jurnal Teknik Kimia*, 22 (1), 43-48.
- Bansal, Roop Chand & Meenakshi Goyal, 2005, *Activated Carbon Adsorption*, Taylor & Francis Group, USA.
- Caroline, S., Matthew A, Adebayo, Eder C. Lima, Renato Cataluna Pascal S. Thue, Lizie D.T. Prola, M.J. Puchana-Rosero, Fernando M. Machado, Flavio A, Pavan, G.L. Dotto, 2015, Microwave-Assisted Activated Carbon From Cocoa Shell as Adsorbent For Removal of Sodium Diclofenac and Nimesulide From Aqueous Effluents, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 289.
- Chaiyut. A. Buasri, N, V. Loryuenyong, E. Phakdeepataraphan, S. Watpathomsub, dan V., Kunakemakorn, 2013, Synthesis of Activated Carbon Using Agricultural Wastes from Biodiesel Production. *International Journal of Chemical, Nuclear, Metallurgical and Materials Engineering*, 7(1), 106-110.
- Cohen, S., A. Deodhar, A. Kavanaugh, E. Ruderman, R.H. Shmerling, B.N. Weissman, M. Weisman, dan C. Winalski, 2006, Extremity Magnetic Resonance Imaging in Rheumatoid Arthritis. *Arthritis & Rheumatism* 54(4), 1034-1047.
- Cornell, R.M., dan U. Shwertmann, 2003, *The Iron Oxide: Structure, Properties, Reaction, Occurrences and Use*, 2nd ed, WILEY-VCH GmbH & Co, KGaA.
- Darmono, 2001, *Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya dengan Toksikologi Senyawa Logam*, Jakarta: UI Press.
- Destyorini, F., Andi Suhadi, Achmad Subhan, dan Nanik Indayaningsih., 2010, Pengaruh Suhu Karbonisasi terhadap Struktur dan Konduktivitas Listrik Arang Serabut Kelapa, *Jurnal Fisika*, 10 (2).
- Dewi, S., dan Indah N., 2012, Sabut Kelapa sebagai Penyerap Cr(VI) dalam Air Limbah, *Jurnal Teknik Waktu*, 10(1), 23-27.
- Dickinson E., dan Mc Clements, 1996, *Advance in Food Colloids*, New York: Chapman and Hall.
- Esterlita, M. O.; Herlina, N., 2015, Pengaruh Penambahan Aktivator ZnCl₂, KOH, dan H₃PO₄ dalam Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Aren (*Arenga pinnata*), *Jurnal Teknik Kimia*, 4(1), 47-52.
- Fajarwati, F., 2019, Adsorption Study of Methylene Blue and Eriochrome Black T Dyes on Activated Carbon and Magnetic Carbon Composite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 599 : 012025.
- Fisli A., Hamsah D., Wardiyati S., dan Ridwan, 2007, Pengaruh suhu pembuatan

- nanokomposit oksida besi bentonit, *Jurnal Sains Mat Indonesia*, 2, 145-149.
- Fisli, A., Anis A., Siti W., dan Saeful Y., 2012, Adsorben Magnetik Nanokomposit Fe₃O₄ Karbon Aktif Untuk Menyerap Thorium, *Jurnal SainsMateri Indonesia*, 13(3), 192 – 197.
- Ge, F., L. Meng-Meng, Y. Hui, dan Z. Bao- Xiang, 2012, Effective Removal of Heavy Metal Ions Cd²⁺, Zn²⁺, Pb²⁺, Cu²⁺ from Aqueous Solution by Polymer-Modified Magnetic Nanoparticles, *Journal of Hazardous Materials*, 211-212, 366-372.
- Greenwood, N. N., dan Earnshaw A., 1997, *Chemistry of The Elements*, Second Edition, U.K : University of Leeds.
- Gultom, Erika M., dan M. Turmuzi L., 2014, Aplikasi Karbon Aktif Dari Cangkang Kelapa Sawit Dengan Aktivator H₃PO₄ Untuk Penyerapan Logam Berat Cd Dan Pb, *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(1).
- Guyo, U., Mhonyera, J., dan Moyo, M., 2015, Pb (II) adsorption from aqueous solutions by raw and treated biomass of maize stover—a comparative study, *Process Safety and Environmental Protection*. 93, 192-200.
- Handayani, M., dan Eko Sulistiyono, 2009, Uji Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Penyerapan Limbah Chrom (VI) oleh Zeolit, *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR – BATAN*, Pusat Penelitian Metalurgi – LIPI, Serpong.
- Hasrianti, 2012, Adsorpsi Ion Cd²⁺ dan Cr⁶⁺ pada Limbah Cair menggunakan Kulit Singkong, Universitas Hassanudin, *Jurnal Dinamika*, 4(2), 59-76.
- Ibrahim, Awaludin Martin, dan Nasruddin, 2014, Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif Berbahan Dasar Cangkang Sawit dengan Metode Aktivasi Fisika Menggunakan Rotary Autoclave, *Jom FTEKNIK*, 1(2).
- Idrus, R., Lapanoro, B.P., & Putra, Y.G. 2013. Pengaruh Suhu Aktivasi terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa. *Jurnal Prisma Fisika*, 1(1), 50-55.
- Igwe, J., C., dan Abia, A., A., 2006, A Bioseparation Process for Removing Heavy Metals from Waste Water Using Biosorbents, *African Journal of Biotechnology*, 5(12), 1167- 1179.
- Iyengar, S. J., M. Joy, T. Maity, J. Chakraborty, R. K. Kotnala, dan S. Ghosh, 2016, Colloidal Properties of Water Dispersible Magnetite Nanoparticles by Photon Correlation Spectroscopy, *RSC Advances*, 6(17), 14393–14402.
- Jain, Monika, Mithilesh, Y., Tomas, K., Manu, L., Vinod, K.G., dan Mika, S., 2018, Development of Iron Oxide/Activated Carbon Nanoparticle Composite for The Removal of Cr(VI), Cu(II) and Cd(II) Ions From Aqueous Solution, *Elsevier*, 20, 54-74.
- Johnson, T., A., Niveta Jain, Joshi, dan S. Prasad, 2008, Agricultural and Agro-

- Processing Wastes as Low Cost Adsorbents for Metal Removal from Wastewater: A review, *Journal of Scientific and Industrial Research*, 67, 647 – 658.
- Keenan, dkk., 1984, *Kimia Analitik Kualitatif I*, Yogyakarta : UNY Press.
- Kosswig K, Huls AG, Marl., 1994, *Surfactants, Volume ke-A25, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. New York: Federal Republic of Germany.
- Lee, Wooram., Sangwong Yoon., Jong Kwon Choe., Miran Lee dan Yongju Choi, 2018, Anionic Surfactant Modification of Activated Carbon for Enhancing Adsorption of Ammonium Ion from Aqueous Solution, *Elsevier*, 639, 1432-1439.
- Longhinotti, E., Pozza, F., Furlan, L., Sanchez, M.D.N.D., Klug, M., Laranjeira, M.C.M., and Favere, V.T. 1998. Adsorption of Anionic Dyes on the Biopolymer Chitin, *J. Brazil. Chem. Soc.*, 9, 435-440.
- Mahsunah, Almar Atu, 2015, Pengembangan Komposit Polivinil Alkohol (PVA)-Alginat dengan Getah Batang Pisang Sebagai Wound Dressing Antibakteri, *Skripsi*, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang.
- Manahan, S., E, 1990, *Environment Chemistry*, 4 ed, Jewis Publisher, Michigan, p. 17-18.
- Marsh, Harry and Rodriguez-Reinoso, Francisco, 2006, *Activated Carbon*, Elsevier Science & Technology Books, pp. 322-31.
- Nafi'ah, Rohmatun dan Bektu Nugraheni, 2017, Kinetika Adsorpsi Timbal dengan Adsorben Sabut Siwalan Terxanthasi, *Cendekia Journal of Pharmacy*, 1(1).
- Namasivayam, C., dan K. Kadirvelu, 1997, Activated Carbons Prepared From Coir Pith by Physical and Chemical Activation Methods, *Bioresource Technology*, 62, 123-127.
- Palar. H, 1994, *Pencemaran dan Toksikologi Logam berat*, PT.Rineka Cipta, Jakarta.
- Pargiman, G. N. R., Arnelli, dan Yayuk, A., 2018, Adsorption of HDTMA-Br Surfactant with Concentration Variation by Rice Husk-Based Activated Carbon Proceeded by Variation of Carbonization Temperature, *Journal of Scientific and Applied Chemistry*, 21(4), 171-174.
- Permanasari, A., Wiwi S., dan Irnawati W., 2010, Uji Kinerja Adsorben Kitosan-Bentonit Terhadap Logam Berat dan Diazinon Secara Simultan, *Jurnal Sains dan Teknologi Kimia*, 1(2).
- Petcharoen, K., dan A. Sirivat, 2012, Synthesis and Characterization of Magnetite Nanoparticles Via The Chemical Coprecipitation Method, *Mater. Sci. Eng. B*, 177:5, 421–427.
- Pujiyanto, 2010, *Pembuatan Karbon Aktif Super dari Batubara dan Tempurung Kelapa*, Thesis, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.
- Prasdiatika, Ricka, 2016, Preparasi dan Penentuan Jenis Oksida Besi pada Material Magnetik Pasir Besi Lansilowo, *Jurnal Tekno Sains*, 6(1), 7-15.
- Puspitasari, Dyah Pratama, 2006, Adsorpsi Surfaktan Anionik pada berbagai pH menggunakan Karbon Aktif Termodifikasi Zink Klorida, *Skripsi*, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Bogor.

- Raj, K. G., dan Pattayil Alias Joy, 2015, Coconut Shell Based Activated Carbon–Iron Oxide Magnetic Nanocomposite for Fast and Efficient Removal of Oil Spills, *Jurnal of Enviromental Chemical Engineering* : 1–8.
- Rizki, Adi Prima. 2015. *Isoterm Langmuir, Model Kinetika dan Penentuan Laju Reaksi Adsorpsi Besi Dengan Arang Aktif Dari Ampas Kopi*. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik - Universitas Mulawarman.
- Rosen MJ., 2004, *Surfactants and Interfacial Phenomena*, Ed. Ke-3, New York: J Wiley.
- Safrianti, I., Nelly W., dan Titin A., Z., 2012, Adsorpsi Timbal (II) Oleh Selulosa Limbah Jerami Padi Teraktivasi Asam Nitrat : Pengaruh pH dan Waktu Kontak, *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 1(1), 1-7.
- Salager JL., 1999, *Surfactants-Types and Uses*. Merida, Venezuela: *Laboratorio FIRP Escuela de Ingeneira Quimica*, Universidad de Los Andes.
- Salager, J., L., 2002, *Surfactants Types and Uses*, De Los Andes University, Venezuela.
- Satpathy, K and Chaudhuri, M.. 1995. Treatment of Cadmium-Plating and Chromium-Plating Wastes by IronOxide-Coated Sand. *Water Environment Research*.
- Shafeeyan, M., S., Wan Mohd Ashri Wan Daud, Amir hossein, Housh manddan, Shamiri, Ahmad, 2010, A Review On Surface Modification Of Activated Carbon For Carbon Dioxide Adsorption, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 89(2), 143-151.
- Sari, Indah, Uchi Inda P., dan M. Turmuzi Lubis, 2017, Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Salak (*Salacca Zalacca*) dengan Proses Fisika menggunakan Uap dengan Pemanas *Microwave*, *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(4), 45-49.
- Sriatun, D., B., dan Adi D., 2008, Pengaruh Penambahan Surfaktan Hexadecyltrimethyl-Ammonium (HDTMA) pada Zeolit Alam Terdealuminasi terhadap Kemampuan Mengadsorpsi Fenol, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 11(1), 11-14.
- Sudibandriyo, M., 2003, A Generalized Ono-Kondo Lattice Model for High Pressure Adsorption on Carbon Adsorbents, *Thesis*, Oklahoma State University.
- Theophanides, T., 2012, Introductory Chapter Introduction to Infrared Spectroscopy, Pp. 1–510 in *Infrared Spectroscopy – Materials Science, Engineering and Technology*, Shanghai: InTech.
- Thornton I., Radu Rautiu dan Susan Brush, 2001, *The Lead Facts*, London : IC Consultants Ltd.
- Van Loon, J.C, 1980, *Analytical Atomic Absorbition Spectroscopy*, Departemen Of Geologi and Chemistry, Universitas Toronto, Canada.
- Vincent, L., Aditya P., and Arenst A., 2015, Sintesis Karbon Aktif dari Kulit Salak

- dengan Aktivasi Kimia-Senyawa KOH Sebagai Adsorben Proses Adsorpsi Zat Warna Metilen-Biru, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
- Wu, Q., C. Feng, C. Wang dan Z. Wang, 2013, A facile One-pot Solvothermal Method to Produce Superparamagnetic Graphene-Fe₃O₄ Nanocomposite and its Application in the Removal of Dye from Aqueous Solution. *Elsevier Press*, 101, 210-214.
- Wijayanti dan Endang Widjajanti L., 2017, Daya Adsorpsi Adsorben Kulit Salak Termodifikasi terhadap Krom (III), *Jurnal Kimia Dasar*, 6(1), 11-18.
- Yahaya, Y.A., dan Don, M.M., 2014, Pycnopus sanguineus as potential biosorbent for heavy metal removal from aqueous solution: A review. *Journal of Physical Science*, 25(1), 1-32.
- Zein, R., Hidayat, D.A., Elfia, M., Nazarudin, N. dan Munaf, E., 2014, Sugar palm *Arenga pinnata* Merr (Magnoliophyta) fruit shell as biomaterial to remove Cr (III), Cr (VI), Cd (II) and Zn (II) from aqueous solution, *Journal of Water Supply: Research & Technology-AQUA*, 63(7), 553-559.
- Zhang, J., Shao, J., Jin, Q., Li, Z., Zhang, X., Chen, Y., ... Chen, H, 2019, Sludge-based biochar activation to enhance Pb(II) adsorption, *Fuel*, 252, 101-108.
- Zultiniar dan Desi H., 2010, *Kesetimbangan Adsorpsi Senyawa Fenol dengan Tanah Gambut*, h. 1-11.

LAMPIRAN**Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian.****a. Proses Karbonisasi****b. Proses Aktivasi**

Dicuci dengan HCl 1 M dan akuades hingga air pencucian mencapai pH 6-7

Dikeringkan dalam oven 110 °C selama 2 jam

c. Proses Magnetisasi

Disiapkan karbon aktif sebanyak 5 gram

Dimasukkan dalam gelas beaker

Direndam dalam akuades 50 mL

Dibuat larutan besi klorida dengan menyiapkan 1,8 gram besi klorida

Dilarutkan dengan akuades 130 mL

Dibuat larutan besi sulfat dengan menyiapkan 2 gram besi sulfat

Dilarutkan dengan akuades 150 mL

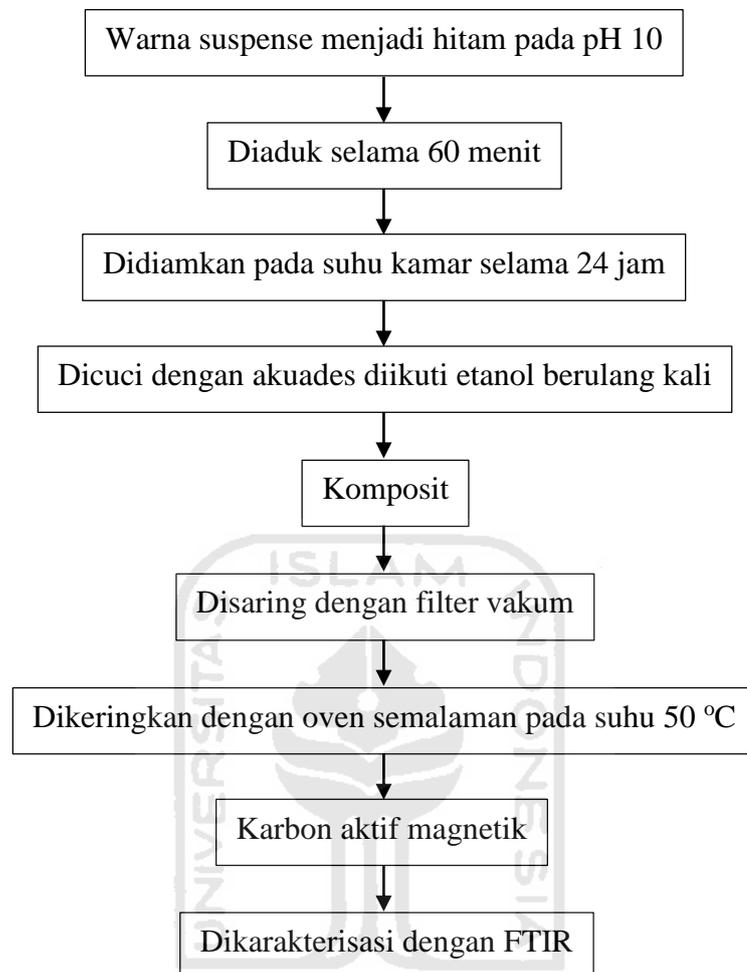
Dicampur kedua larutan dan diaduk pada suhu 60-70 °C

Suspensi

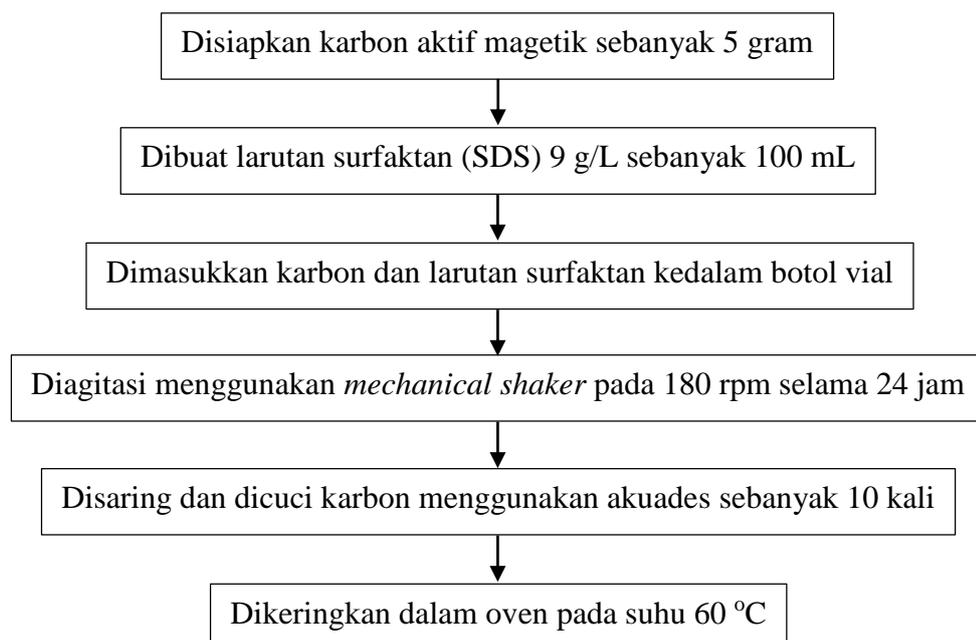
Ditambahkan suspensi ke dalam karbon aktif pada suhu kamar

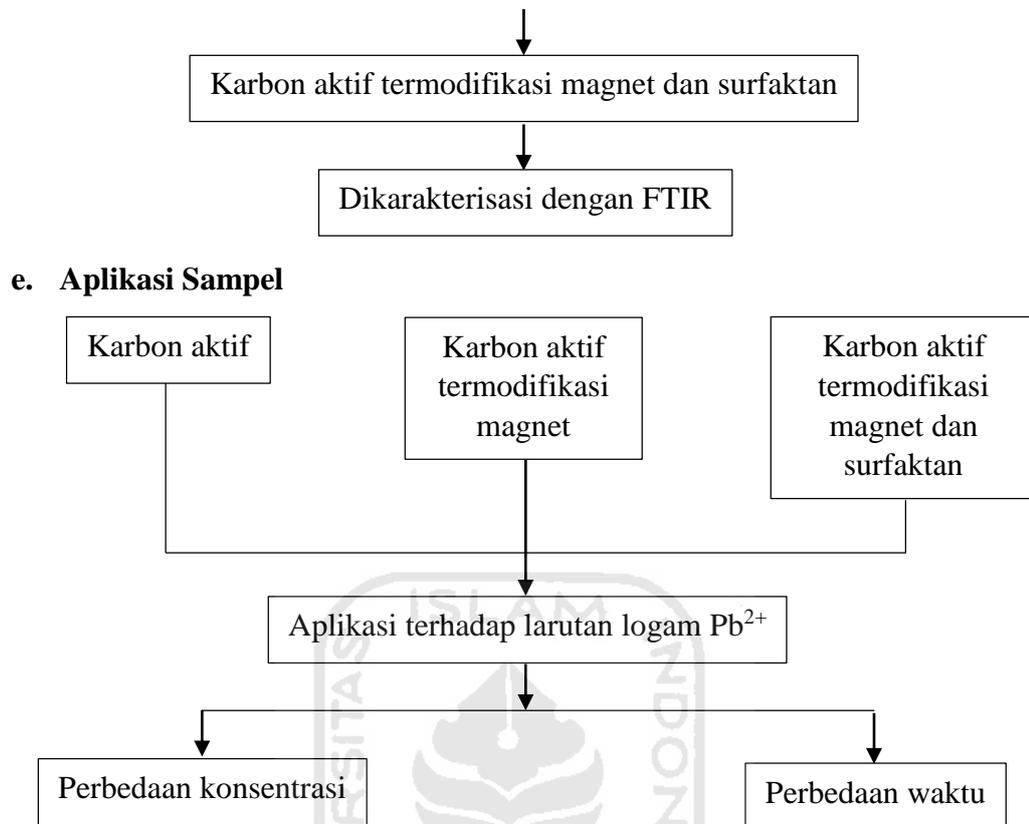
Diaduk perlahan selama 30 menit

Ditambahkan larutan NaOH 10 M tetes demi tetes hingga pH mencapai 10-11



d. Proses Penambahan Surfaktan





Lampiran 2. Perhitungan Pembuatan Larutan.

a. Pembuatan Larutan KOH 20% sebanyak 1000 mL

- Larutan KOH 20% mengandung 20 gram kalium hidroksida dalam 100 ml akuades.
- Massa KOH = 200 gram
- 1 mL KOH = 1,0856 gram

Caranya :

- i. Ditimbang KOH sebanyak 200 gram.
- ii. Dilarutkan dengan akuades di dalam gelas beaker.
- iii. Dimasukkan kedalam labu ukur 1000 mL dan ditera sampai tanda batas.
- iv. Digojok hingga homogen.

b. Pembuatan Larutan HCl 1 M

- Konsentrasi HCl = 37%
- BJ = 1,19 g/mol

$$\text{➤ } B_m = 36,9 \text{ g/mol}$$

1. Perhitungan M larutan HCl

$$M = \frac{\% \times B_J \times 10}{B_m}$$

$$M = \frac{37\% \times 1,19 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \times 10}{36,9 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 12,06 \text{ M}$$

2. Volume larutan HCl yang diambil

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 12,06 \text{ M} = 250 \text{ mL} \times 1 \text{ M}$$

$$V_1 = \frac{250 \text{ mL} \times 1 \text{ M}}{12,06 \text{ M}} = 20,7 \text{ mL}$$

Caranya :

- i. Disiapkan labu ukur 250 mL dan ditambahkan sedikit akuades.
- ii. Dipipet larutan HCl 20,7 mL.
- iii. Dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL melalui dinding labu ukur.
- iv. Digojok secara perlahan.
- v. Ditambahkan akuades sampai tanda batas.
- vi. Digojok hingga homogen.

c. Pembuatan Larutan NaOH 10 M

$$M = \frac{\text{gram}}{M_r} \times \frac{1000}{V}$$

$$10 \text{ M} = \frac{\text{gram}}{40 \text{ g/mol}} \times \frac{1000}{250 \text{ mL}}$$

$$10 \text{ M} = \frac{\text{gram}}{40 \text{ g/mol}} \times 4$$

$$10 \text{ M} \times 40 \text{ g/mol} = \text{gram} \times 4$$

$$\text{gram} = \frac{10 \text{ M} \times 40 \text{ g/mol}}{4}$$

$$\text{gram} = 100$$

Caranya :

- i. Ditimbang 100 gram NaOH.
- ii. Dilarutkan dengan sedikit akuades di dalam gelas beaker.

- iii. Dimasukkan ke dalam labu ukur 250 mL.
- iv. Ditambahkan akuades sampai tanda batas.
- v. Digojok hingga homogen.

d. Pembuatan Larutan Surfaktan (SDS/Sodium Dodecyl Sulfate) 9 g/L

Perhitungan berat surfaktan

$$\frac{9 \text{ gram}}{1000 \text{ mL}} = \frac{x}{100 \text{ mL}}$$

$$x = \frac{9 \text{ gram} \times 100 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}$$

$$x = 0,9 \text{ gram}$$

Caranya :

- i. Ditimbang SDS sebanyak 0,9 gram.
- ii. Dilarutkan di dalam *beaker glass*.
- iii. Dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL.
- iv. Ditambahkan akuades sampai tanda batas.
- v. Digojok hingga homogen.

e. Pembuatan Larutan Induk Timbal 1000 ppm

$$\begin{aligned} \text{Massa timbal (II) nitrat} &= \frac{V \text{ (mL)} \times \text{Mr timbal (II)nitrat} \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) \times C(\text{ppm})}{n \times \text{Ar timbal} \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) \times 1000} \\ &= \frac{1000 \text{ mL} \times 331,2 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) \times 1000 \text{ ppm}}{1 \times 207 \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}}\right) \times 1000} \\ &= 1600 \text{ mg} = 1,6 \text{ gram} \end{aligned}$$

Caranya :

- i. Ditimbang timbal (II) nitrat sebanyak 1,6 gram.
- ii. Dilarutkan di dalama *beaker glass*.
- iii. Dimasukkan ke dalam labu ukur 1000 mL.
- iv. Ditambahkan akuades sampai tanda batas.
- v. Digojok hingga homogen.

f. Pembuatan Larutan Timbal 100 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 100 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 100 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} = 10 \text{ mL}$$

Caranya :

- i. Diambil 10 mL larutan induk timbal 1000 ppm
- ii. Dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL
- iii. Ditambahkan akuades sampai tanda batas dan dihomogenkan

g. Perhitungan Pembuatan Larutan Kerja Variasi Konsentrasi

1. Larutan kerja timbal (II) nitrat 100 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 100 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 100 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} = 10 \text{ mL}$$

2. Larutan kerja timbal (II) nitrat 150 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 150 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 150 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} = 15 \text{ mL}$$

3. Larutan kerja timbal (II) nitrat 200 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 200 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 200 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} = 20 \text{ mL}$$

4. Larutan kerja timbal (II) nitrat 250 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 250 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 250 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} = 25 \text{ mL}$$

5. Larutan kerja timbal (II) nitrat 450 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 1000 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 450 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 450 \text{ ppm}}{1000 \text{ ppm}} = 45 \text{ mL}$$

h. Perhitungan Pembuatan Larutan Standar Pb²⁺

1. Larutan standar timbal (II) nitrat 0,5 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 0,5 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 0,5 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} = 0,5 \text{ mL}$$

2. Larutan standar timbal (II) nitrat 2 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 2 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 2 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} = 2 \text{ mL}$$

3. Larutan standar timbal (II) nitrat 4 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 4 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 4 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} = 4 \text{ mL}$$

4. Larutan standar timbal (II) nitrat 6 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 6 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 6 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} = 6 \text{ mL}$$

5. Larutan standar timbal (II) nitrat 8 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 8 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 8 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} = 8 \text{ mL}$$

6. Larutan standar timbal (II) nitrat 10 ppm

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 100 \text{ ppm} = 100 \text{ mL} \times 10 \text{ ppm}$$

$$V_1 = \frac{100 \text{ mL} \times 10 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} = 10 \text{ mL}$$

Caranya :

- i. Diambil larutan timbal (II) sebanyak masing-masing perhitungan.
- ii. Dimasukkan kedalam labu ukur 100 mL.
- iii. Ditambahkan akuades sampai tanda batas.
- iv. Digojok hingga homogen.

Lampiran 3. Analisis Data.

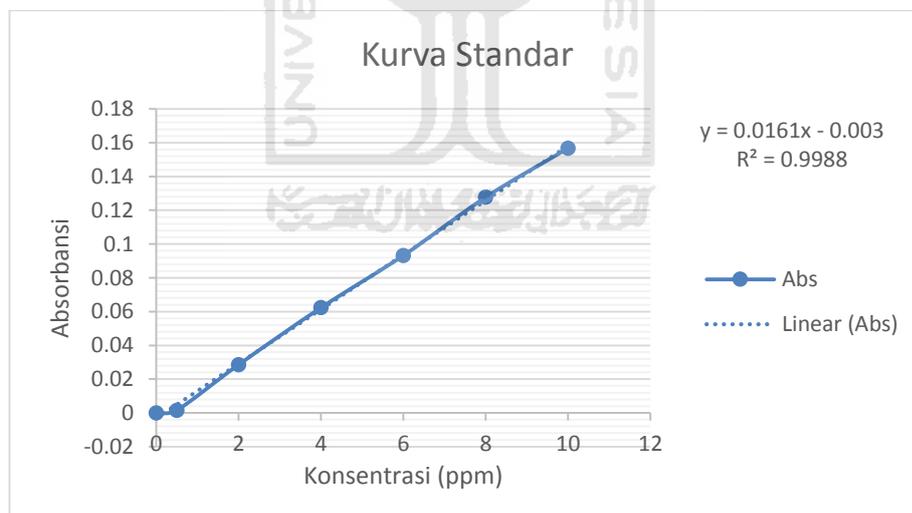
a. Perhitungan Rendemen (Yield) Karbon

$$\begin{aligned} \text{Rendemen (\%)} &= \frac{\text{massa karbon}}{\text{massa bahan}} \times 100\% \\ &= \frac{322,082 \text{ gram}}{635,034 \text{ gram}} \times 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rendemen (\%)} &= \frac{\text{massa karbon aktif}}{\text{massa bahan}} \times 100\% = 50,7\% \\ &= \frac{81,889 \text{ gram}}{174,606 \text{ gram}} \times 100\% = 46,89\% \end{aligned}$$

b. Kurva Kalibrasi Standar

Konsentrasi (ppm)	Absorbansi
0	0
0.5	0.00159
2	0.02856
4	0.06235
6	0.09323
8	0.12777
10	0.15677

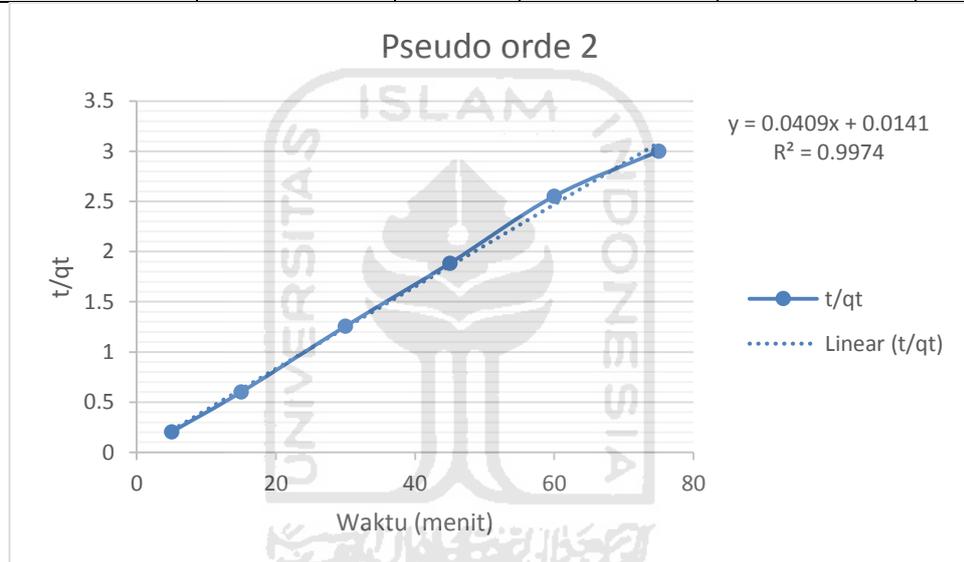


c. Kinetika Adsorpsi

1. Penentuan Orde Reaksi

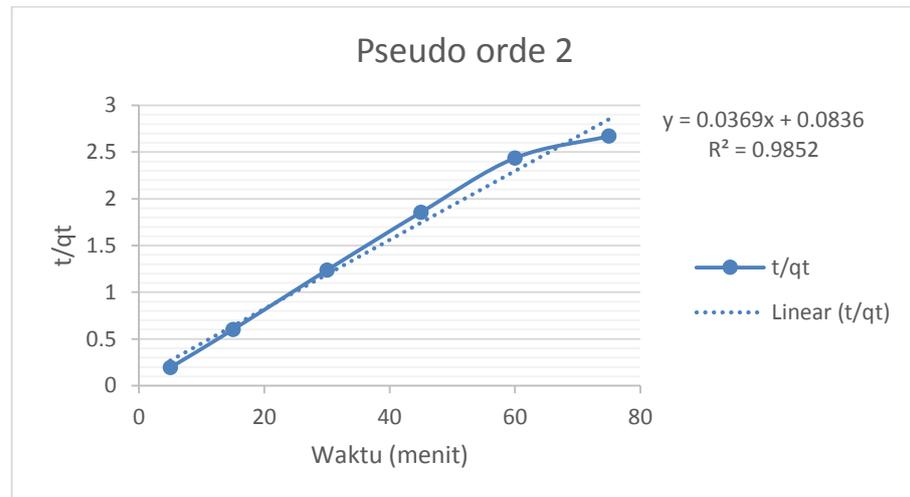
1.1. Orde Reaksi Sampel KA

Waktu adsorpsi (menit)	qt	qe opt	qe-qt	log (qe-qt)	t/qt
5	24.62686567	25	0.373134328	-0.42813479	0.2030303
15	25	25	0	#NUM!	0.6
30	23.88059701	25	1.119402985	0.048986461	1.25625
45	23.88059701	25	1.119402985	0.048986461	1.884375
60	23.50746269	25	1.492537313	0.173925197	2.552381
75	25	25	0	#NUM!	3



1.2. Orde Reaksi Sampel KAM

Waktu adsorpsi (menit)	qt	qe opt	qe-qt	log (qe-qt)	t/qt
5	25.7462687	25.74626866	3.28E-09	-8.48365268	0.194203
15	25	25.74626866	0.746269	-0.1271048	0.6
30	24.2537313	25.74626866	1.492537	0.173925198	1.236923
45	24.2537313	25.74626866	1.492537	0.173925198	1.855385
60	24.6268657	25.74626866	1.119403	0.048986462	2.436364
75	28.0839552	25.74626866	-2.33769	#NUM!	2.670564



1.3. Orde Reaksi Sampel KAMS

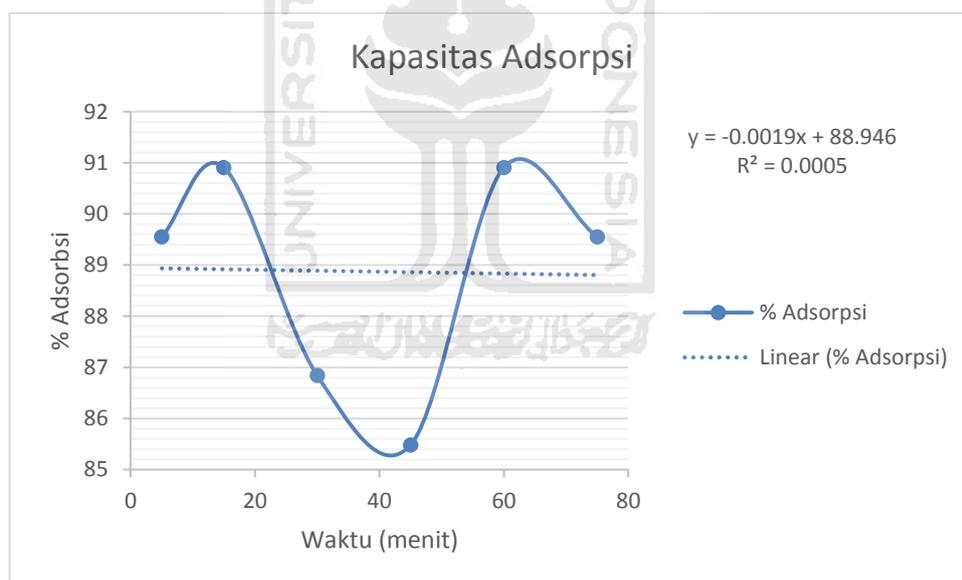
Waktu adsorpsi (menit)	qt	qe opt	qe-qt	log (qe-qt)	t/qt
5	23.37662338	23.37662338	3.37662E-09	-8.47151737	0.2138889
15	22.72727273	23.37662338	0.649350653	-0.18752072	0.66
30	23.05194805	23.37662338	0.324675328	-0.48855071	1.3014085
45	23.05194805	23.37662338	0.324675328	-0.48855071	1.9521127
60	23.37662338	23.37662338	3.37662E-09	-8.47151737	2.5666667
75	23.37662338	23.37662338	3.37662E-09	-8.47151737	3.2083333



2. Penentuan Waktu Optimum

2.1. Waktu Optimum Sampel KA

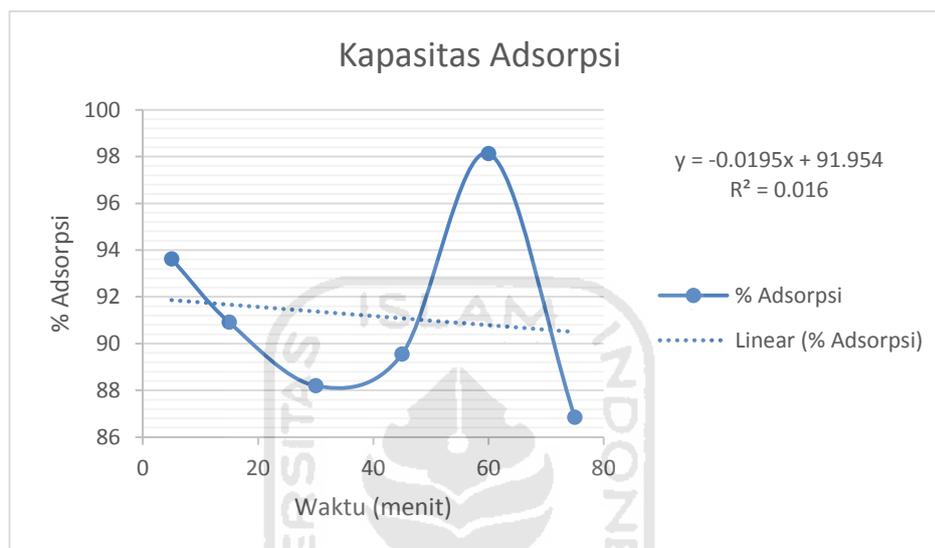
Waktu (menit)	Co (ppm)	Ce (ppm)	Qe (mg/g)	% Ads
5	110	11.49253731	24.62686567	89.55223881
15	110	10	25	90.90909091
30	110	14.47761194	23.88059701	86.8385346
45	110	15.97014925	23.50746269	85.4816825
60	110	10	25	90.90909091
75	110	11.49253731	24.62686567	89.55223881



2.2. Waktu Optimum Sampel KAM

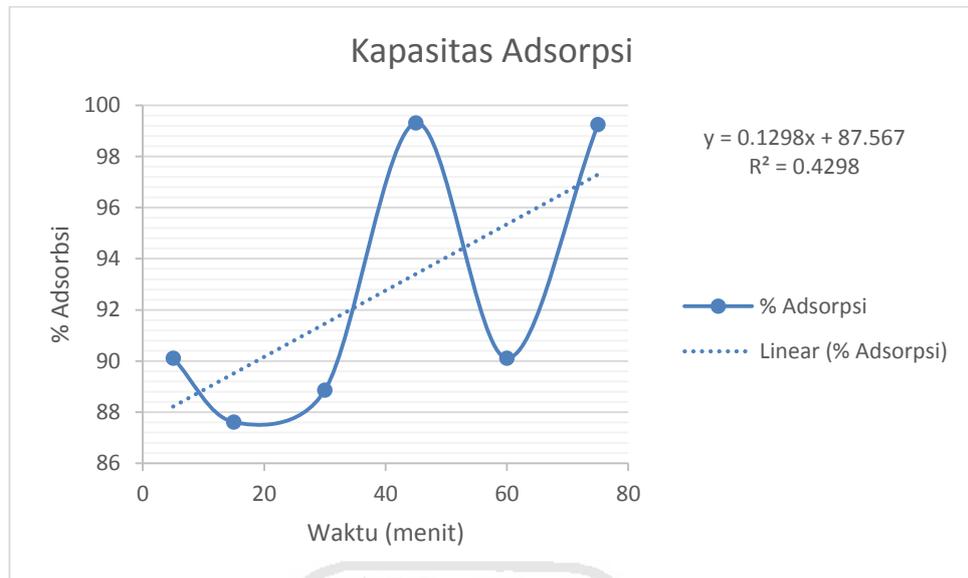
Waktu (menit)	Co (ppm)	Ce (ppm)	Qe (mg/g)	% Ads
5	110	7.014925373	25.74626866	93.62279512
15	110	10	25	90.90909091
30	110	12.98507463	24.25373134	88.1953867

45	110	11.49253731	24.62686567	89.55223881
60	114.4776119	2.141791045	28.08395522	98.12907432
75	110	14.47761194	23.88059701	86.8385346



2.3. Waktu Optimum Sampel KAMS

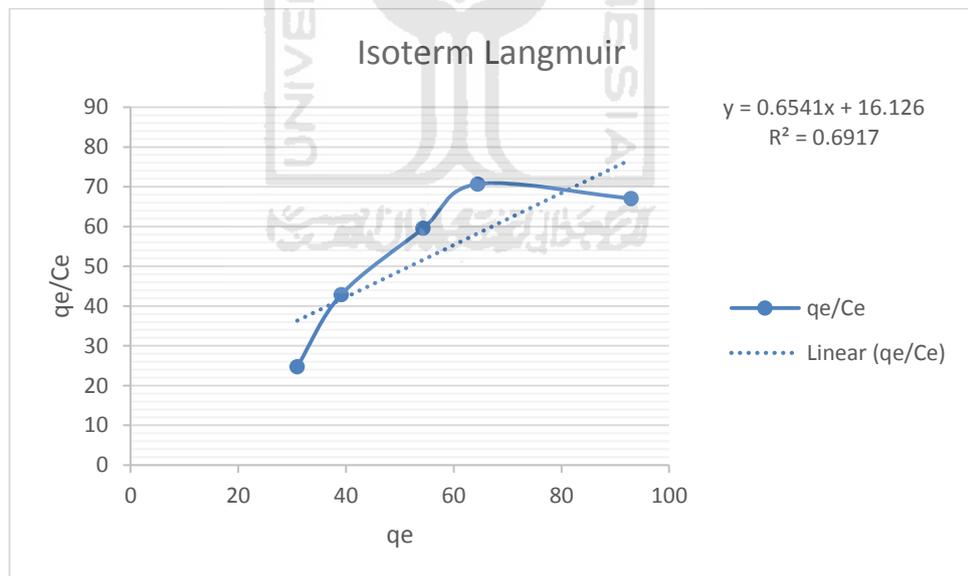
Waktu (menit)	Co (ppm)	Ce (ppm)	qe (mg/g)	% Ads
5	103.7662338	10.25974026	23.37662338	90.1126408
15	103.7662338	12.85714286	22.72727273	87.60951189
30	103.7662338	11.55844156	23.05194805	88.86107635
45	102.4675325	0.707792208	25.43993506	99.30925222
60	103.7662338	10.25974026	23.37662338	90.1126408
75	102.4675325	0.772727273	25.4237013	99.24588086



d. Isoterm Adsorpsi

1. Penentuan Tipe Isoterm Adsorpsi

1.1. Tipe Isoterm Adsorpsi Sampel KA



Diperoleh persamaan isotherm Langmuir $y = 0.6541x + 16.126$.
Maka dapat dihitung nilai Q_m dan K_L sebagai berikut :

$$\text{Slope} = \frac{1}{Q_m}$$

$$0.6541 = \frac{1}{Q_m}$$

$$Q_m = \frac{1}{0.6541}$$

$$Q_m = 1.528818$$

Jadi, nilai Q_m yaitu 1.528818 mg/g

$$\text{Intersep} = \frac{1}{K_L Q_m}$$

$$16.126 = \frac{1}{K_L Q_m}$$

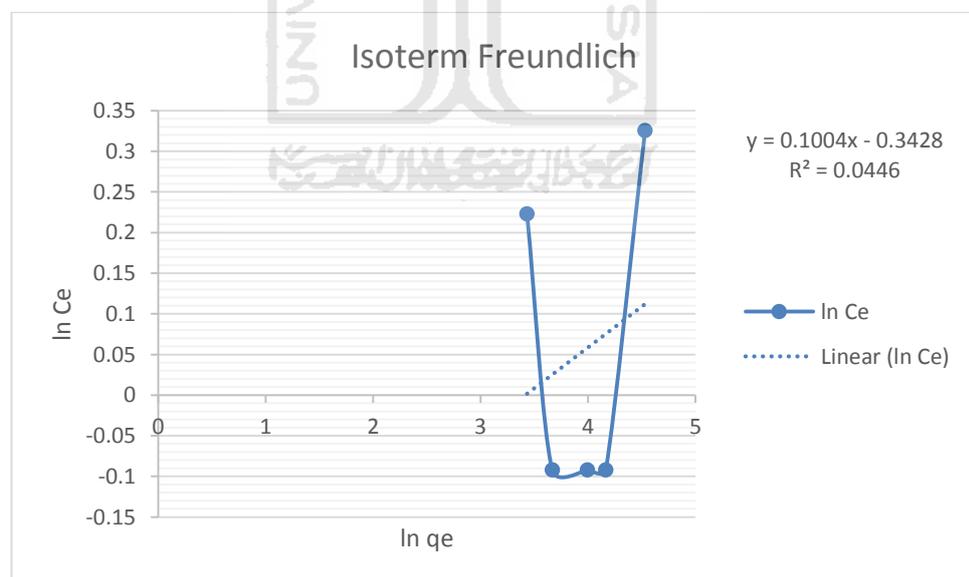
$$K_L Q_m = \frac{1}{16.126}$$

$$K_L Q_m = 0.062012$$

$$K_L \cdot 1.528818 = 0.062012$$

$$K_L = \frac{0.062012}{1.528818} = 0.040562$$

Jadi, nilai K_L sebesar 0.040562 L/mg



Diperoleh persamaan isotherm Freundlich $y = 0.1004x - 0.3428$. Maka dapat dihitung nilai K_f dan n sebagai berikut :

$$\text{Log } K_f = a$$

$$\text{Log } K_f = -0.3428$$

$$K_f = 0.454151$$

Jadi, nilai K_f sebesar 0.454151 mg/g

$$\text{Slope} = \frac{1}{n}$$

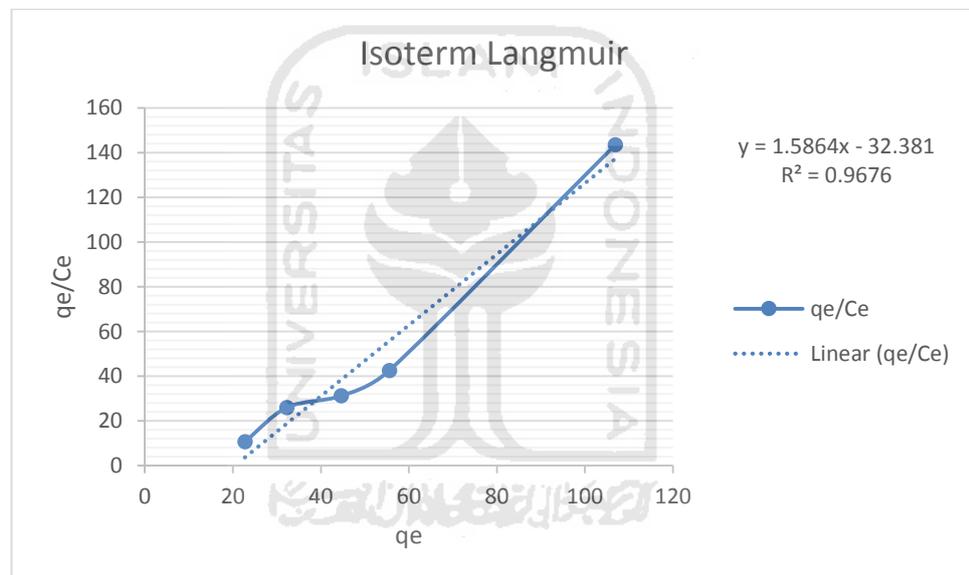
$$0.1004 = \frac{1}{n}$$

$$n = \frac{1}{0.1004}$$

$$n = 9.960159$$

Jadi, nilai n sebesar 9.960159

1.2. Tipe Isoterm Adsorpsi Sampel KAM



Diperoleh persamaan isoterm Langmuir $y = 1.5864x - 32.381$.

Maka dapat dihitung nilai Q_m dan K_L sebagai berikut :

$$\text{Slope} = \frac{1}{Q_m}$$

$$1.5864 = \frac{1}{Q_m}$$

$$Q_m = \frac{1}{1.5864}$$

$$Q_m = 0.630358$$

Jadi, nilai Q_m yaitu 0.630358 mg/g

$$\text{Intersep} = \frac{1}{K_L Q_m}$$

$$-32.381 = \frac{1}{K_L Q_m}$$

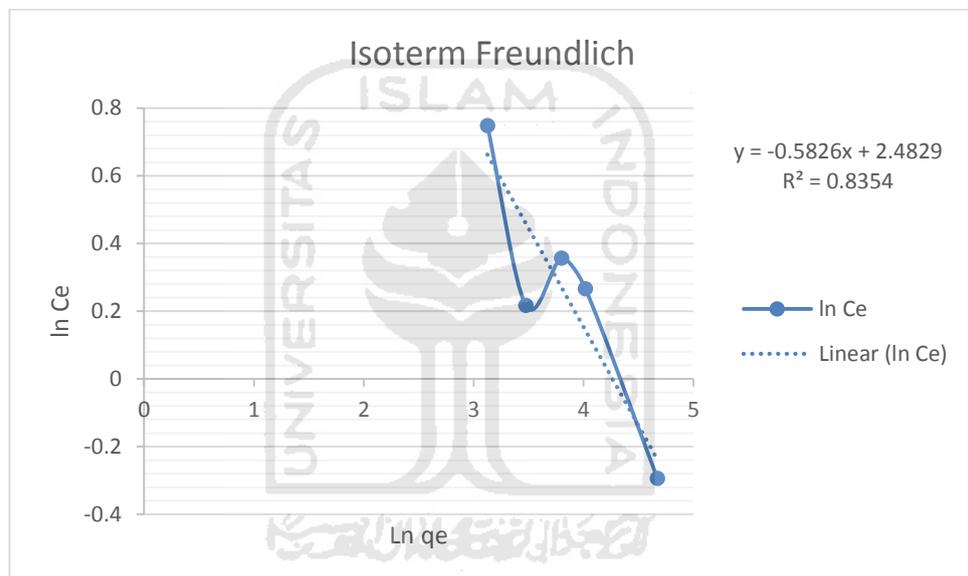
$$K_L Q_m = \frac{1}{-32.381}$$

$$K_L Q_m = -0.03088$$

$$K_L \cdot 0.630358 = -0.03088$$

$$K_L = \frac{(-0.03088)}{0.630358} = -0.04899$$

Jadi, nilai K_L sebesar -0.04899 L/mg



Diperoleh persamaan isotherm Freundlich $y = -0.5826x + 2.4829$. Maka dapat dihitung nilai K_f dan n sebagai berikut :

$$\text{Log } K_f = a$$

$$\text{Log } K_f = 2.4829$$

$$K_f = 304.0185$$

Jadi, nilai K_f sebesar 304.0185 mg/g

$$\text{Slope} = \frac{1}{n}$$

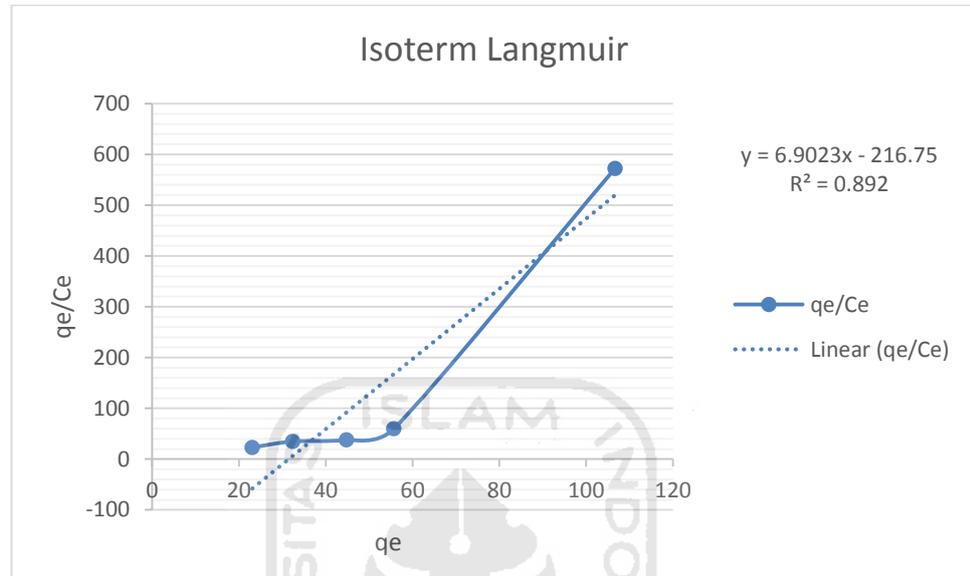
$$-0.5826 = \frac{1}{n}$$

$$n = \frac{1}{-0.5826}$$

$$n = -1.71644$$

Jadi, nilai n sebesar -1.71644

1.3. Tipe Isotherm Adsorpsi Sampel KAMS



Diperoleh persamaan isotherm Langmuir $y = 6.9023x - 216.75$.

Maka dapat dihitung nilai Q_m dan K_L sebagai berikut :

$$\text{Slope} = \frac{1}{Q_m}$$

$$6.9023 = \frac{1}{Q_m}$$

$$Q_m = \frac{1}{6.9023}$$

$$Q_m = 0.144879$$

Jadi, nilai Q_m yaitu 0.144879 mg/g

$$\text{Intersep} = \frac{1}{K_L Q_m}$$

$$-216.75 = \frac{1}{K_L Q_m}$$

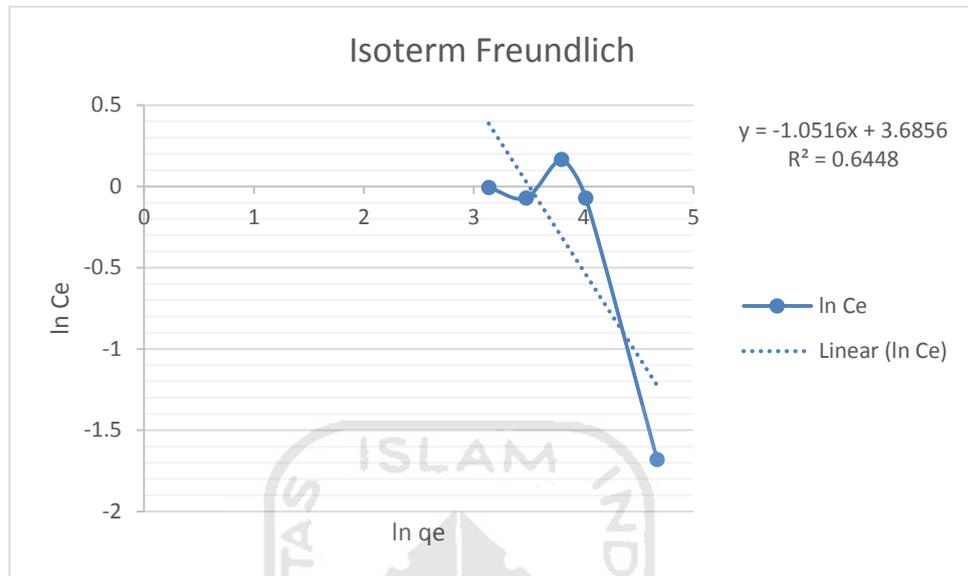
$$K_L Q_m = \frac{1}{-216.75}$$

$$K_L Q_m = -0.00461$$

$$K_L \cdot 0.144879 = -0.00461$$

$$K_L = \frac{(-0.00461)}{0.144879} = -0.03182$$

Jadi, nilai K_L sebesar -0.03182 L/mg



Diperoleh persamaan isotherm Freundlich $y = -1.0516x + 3.6856$. Maka dapat dihitung nilai K_f dan n sebagai berikut :

$$\text{Log } K_f = a$$

$$\text{Log } K_f = 3.6856$$

$$K_f = 4848.417$$

Jadi, nilai K_f sebesar 4848.417 mg/g

$$\text{Slope} = \frac{1}{n}$$

$$-1.0516 = \frac{1}{n}$$

$$n = \frac{1}{-1.0516}$$

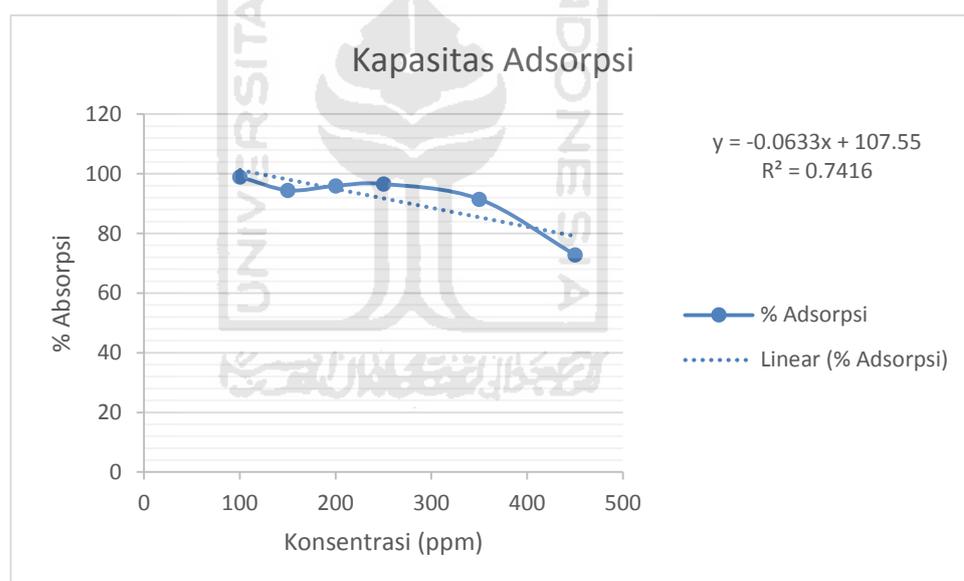
$$n = -0.95093$$

Jadi, nilai n sebesar -0.95093

2. Penentuan Konsentrasi Optimum

2.1. Konsentrasi Optimum Sampel KA

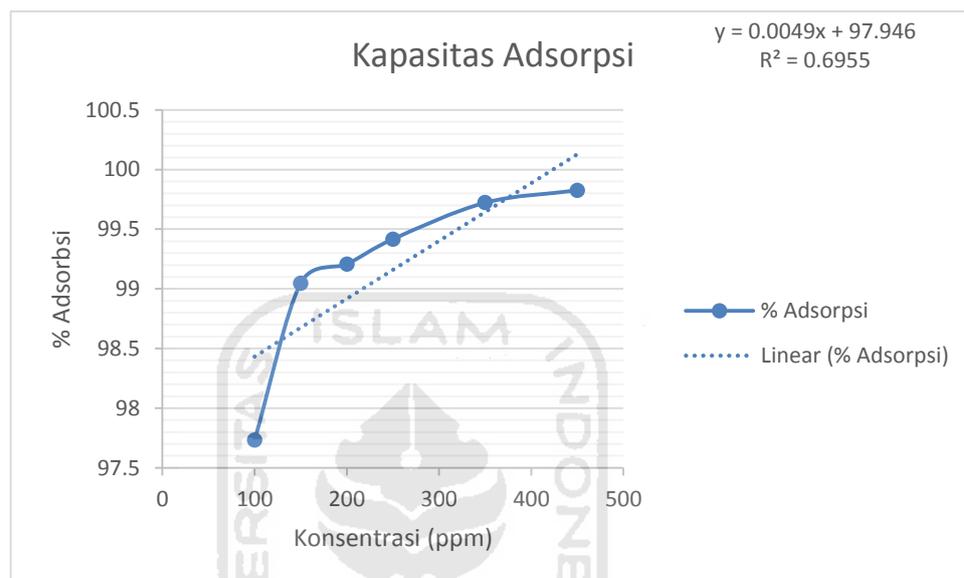
Konsentrasi Optimum (ppm)	Co (ppm)	Ce (ppm)	Qe (mg/g)	% Ads
100	125	1.25	30.9375	99
150	165.5405405	9.121621622	39.10472973	94.48979592
200	226.3513514	9.121621622	54.30743243	95.97014925
250	266.8918919	9.121621622	64.44256757	96.58227848
450	510.1351351	138.5135135	92.90540541	72.84768212



2.2. Konsentrasi Optimum Sampel KAM

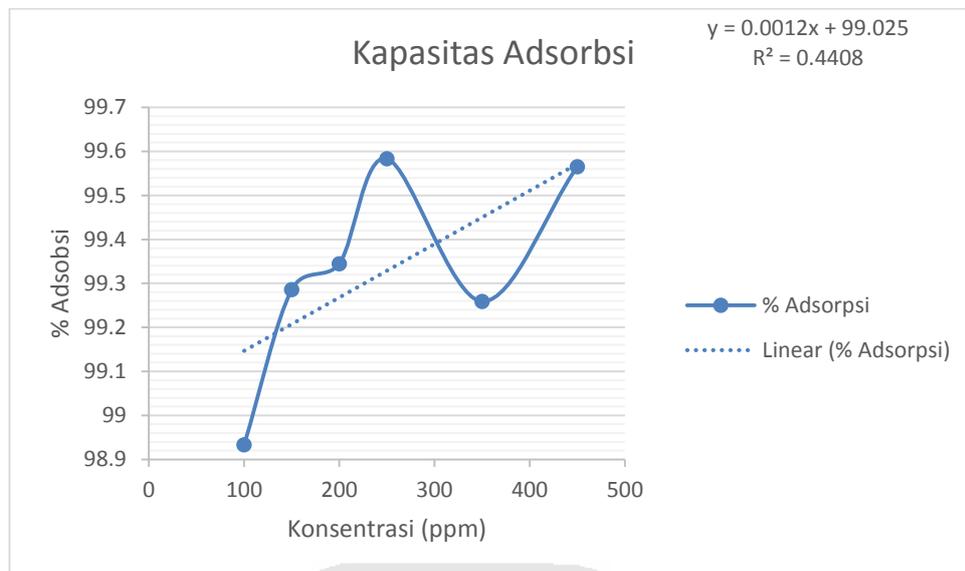
Konsentrasi Optimum (ppm)	Co (ppm)	Ce (ppm)	Qe (mg/g)	% Ads
100	93.16770186	2.111801242	22.76397516	97.73333333
150	130.4347826	1.242236025	32.29813665	99.04761905

200	180.1242236	1.428571429	44.67391304	99.20689655
250	223.6024845	1.304347826	55.57453416	99.41666667
450	428.5714286	0.745341615	106.9565217	99.82608696



2.3. Konsentrasi Optimum Sampel KAMS

Konsentrasi Optimum (ppm)	Co (ppm)	Ce (ppm)	Qe (mg/g)	% Ads
100	93.16770186	0.99378882	23.04347826	98.93333333
150	130.4347826	0.931677019	32.3757764	99.28571429
200	180.1242236	1.180124224	44.73602484	99.34482759
250	223.6024845	0.931677019	55.66770186	99.58333333
450	428.5714286	1.863354037	106.6770186	99.56521739



e. Uji ANOVA

1. Uji ANOVA Kinetik

Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
5 menit	3	273.2875	91.09583	4.867303
15 menit	3	269.4275	89.80917	3.6289
30 menit	3	263.8948	87.96493	1.062428
45 menit	3	274.343	91.44767	50.49523
60 menit	3	279.1506	93.0502	19.50422
75 menit	3	275.6365	91.87883	42.54519
KA	6	533.2425	88.87375	4.9708
KAM	6	547.2467	91.20778	16.9462
KAMS	6	555.2507	92.54178	28.08384

ANOVA

<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	47.16113	5	9.432227	0.465001	0.794066	3.325835
Columns	41.36347	2	20.68174	1.019593	0.39538	4.102821
Error	202.8431	10	20.28431			
Total	291.3677	17				

2. Uji ANOVA Isoterm

Anova: Two-Factor Without Replication

<i>SUMMARY</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>
100 ppm	3	295.6633	98.55443	0.50692
150 ppm	3	292.823	97.60767	7.30546
200 ppm	3	294.5217	98.1739	3.647312
250 ppm	3	295.5821	98.52737	2.844702
450 ppm	3	272.2388	90.74627	240.2887
KA	5	458.8896	91.77792	114.6312
KAM	5	495.2303	99.04606	0.623696
KAMS	5	496.709	99.3418	0.070241

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Rows	135.6569	4	33.91423	0.833162	0.540447	3.837853
Columns	183.5427	2	91.77133	2.254523	0.167287	4.45897
Error	325.6435	8	40.70544			
Total	644.8431	14				

