



**KINETIKA ADSORPSI LOGAM ZN MENGGUNAKAN KARBON AKTIF
MAGNETIK BERBASIS LIMBAH DAUN MAHKOTA NANAS**

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik Program Studi Teknik Kimia

Oleh :

Bernadetta Sisca Aprillia Purba

NIM. 5213416042

JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020



LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**KINETIKA ADSORPSI LOGAM ZN MENGGUNAKAN KARBON AKTIF
MAGNETIK BERBASIS LIMBAH DAUN MAHKOTA NANAS**

Oleh :

Bernadetta Sisca Aprillia Purba

NIM. 5213416042

Semarang, 26 Agustus 2020

Pembimbing

Dr. Widi Astuti., S.T., M.T.
NIP.197310172000032001

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Bernadetta Sisca Aprillia Purba
NIM : 5213416042
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Kinetika Adsorpsi Logam Zn Menggunakan Karbon Aktif
Magnetik Berbasis Limbah Daun Mahkota Nanas

Skripsi ini disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian
Skripsi Program Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 26 Agustus 2020

Pembimbing



Dr. Widi Astuti., S.T., M.T.
NIP.197310172000032001

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Kinetika Adsorpsi Logam Zn Menggunakan Karbon Aktif Magnetik Berbasis Limbah Daun Mahkota Nanas” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 3 bulan September tahun 2020.

Oleh

Nama : Bernadetta Sisca Aprillia Purba

NIM : 5213416042

Program Studi : Teknik Kimia

Panitia :

Ketua

Sekretaris



Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T.
NIP. 197103161999032002

Dr. Megawati, S.T., M.T.
NIP. 197211062006042001

Penguji 1

Penguji 2

Pembimbing



Dr. Megawati, S.T., M.T.
NIP. 197211062006042001

Dr. Ratna Dewi Kusumaningtyas, S.T., M.T.
NIP. 197603112000122001

Dr. Widi Astuti, S.T., M.T.
NIP. 197310172000032001

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T.
NIP. 196911301994031001

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 26 Agustus 2020

Yang membuat pernyataan,



Bernadetta Sisca Aprillia Purba
NIM.5213416042

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO : Jadilah kuat dan berani, lakukan seperti untuk Tuhan dan bukan manusia. Segala perkara dapat dihadapi melalui Kristus yang menyertai, memberi kemampuan dan kekuatan (Yosua 1:9).

PERSEMBAHAN

1. Tuhan Yesus Kristus
2. Mama, Papa, dan Adik
3. Keluarga Besar
4. Teknik Kimia UNNES
5. Dosen-dosenku
6. Sahabat-sahabatku

ABSTRAK

KINETIKA ADSORPSI LOGAM ZN MENGGUNAKAN KARBON AKTIF MAGNETIK BERBASIS LIMBAH DAUN MAHKOTA NANAS

Bernadetta Sisca Aprillia Purba
Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia
bernadettasap@gmail.com

Industri batik merupakan industri yang terus berkembang. Limbah dari industri batik mengandung logam berat yang jika terakumulasi dalam jumlah besar akan mengakibatkan polusi air yang serius. Metode adsorpsi menggunakan *activated carbon* (AC) adalah salah satu metode yang efektif untuk menghilangkan kandungan logam berat dalam limbah industri batik. Daun mahkota nanas sebagai limbah agrikultural dapat digunakan sebagai perkusor untuk memproduksi AC. Penelitian ini memanfaatkan limbah daun mahkota nanas dalam pembuatan adsorben dengan penambahan KOH sebagai aktivator dilanjutkan dengan proses kalsinasi menggunakan *tubular furnace*. Modifikasi penelitian ini yaitu adanya penambahan senyawa magnetit terhadap AC untuk menghasilkan *magnetic activated carbon* (MAC) sehingga mempermudah proses pemisahan dengan larutan setelah adsorpsi dilakukan. AC dan MAC yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), dan *gas sorption analyzer* dengan metode *Bruneaur Emmet Teller* (BET). Hasil uji menunjukkan bahwa MAC memiliki pori yang diselubungi oleh unsur Fe yang berikatan dengan O yang menutupinya dibandingkan AC tanpa magnetit. Selanjutnya, percobaan secara *batch* dilakukan untuk menyelidiki pengaruh pH, konsentrasi awal, dan waktu kontak terhadap kadar ion logam Zn terjerap yang kemudian diuji menggunakan *Atomic Adsorption Spectrometer* (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat adsorpsi maksimum MAC sebesar 76,5 % terjadi pada pH 4, konsentrasi awal larutan 2 mg/L, waktu kontak 180 menit, dosis adsorben 0,3 gram dalam 50 ml larutan Zn, dan permodelan kinetika adsorpsi *pseudo first order* lebih sesuai untuk proses adsorpsi menggunakan MAC pada kondisi optimum .

Kata Kunci : *adsorpsi, activated carbon, magnetic activated carbon, limbah daun mahkota nanas, Zn, tubular furnace, kinetika adsorpsi, KOH*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yesus Kristus karena oleh kasih dan anugerah-Nya sehingga penulis dimampukan untuk menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kinetika Adsorpsi Logam Zn Menggunakan Karbon Aktif Magnetik Berbasis Limbah Daun Mahkota Nanas”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Dr. Nur Qudus, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T, M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia.
3. Dr. Widi Astuti, S.T, M.T, selaku Dosen Pembimbing yang telah berkenan meluangkan waktunya serta penuh kesabaran memberikan bimbingan, bantuan, motivasi, pengarahan dalam penyusunan tugas akhir.
4. Dr. Megawati, S. T., M. T., selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan tugas akhir ini.
5. Dr. Ratna Dewi Kusumaningtyas, S. T., M. T., selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan tugas akhir ini.
6. Mama, Papa, Juan, Dicky, serta keluarga yang telah memberikan perhatian, motivasi dan dukungannya.
7. Restu Kusumawardani sahabat sekaligus *partner* berjuang saya.
8. Keluarga besar UKK Unnes yang telah menjadi keluarga dan memberikan banyak dukungan selama saya berproses di Unnes.
9. Teman-teman Teknik Kimia angkatan 2016 yang telah berproses bersama.

10. Sahabat, teman-teman dan semua pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga tugas penelitian ini dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan maupun industri di masyarakat.

Semarang, 10 Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING	iii
PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Rumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	6
1.6 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Logam Zn pada Industri Batik.....	7
2.2 Adsorpsi	7
2.3 <i>Activated Carbon</i>	9
2.4 Limbah Daun Mahkota Nanas.....	11
2.5 KOH.....	13

2.6 <i>Furnace</i>	14
2.7 <i>Magnetic Activated Carbon</i>	14
2.8 Kinetika Adsorpsi	15
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	19
3.2 Variabel.....	19
3.3 Alat.....	20
3.4 Bahan	21
3.5 Rangkaian Alat	22
3.6 Prosedur Kerja.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Karakterisasi Adsorben	29
4.2 Uji Adsorpsi Logam Zn	33
4.3 Tinjauan Kinetika Adsorpsi	36
BAB V PENUTUP	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA	40
LAMPIRAN – LAMPIRAN	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Kimia Serat Daun Mahkota Nanas	12
Tabel 2.2 Sifat Fisika dan Kimia KOH.....	13
Tabel 4.1 Hasil Analisis Luas Permukaan menggunakan Metode BET.....	32
Tabel 4.2 Parameter Kinetika Adsorpsi	37
Tabel 4.3 Hasil Analisis Kesalahan Permodelan Kinetika.....	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Proses Aktivasi Kimia.....	22
Gambar 3.2 Proses Penanaman Senyawa Magnetit.....	22
Gambar 3.3 Proses Adsorpsi	23
Gambar 4.1 Hasil Uji FTIR.....	29
Gambar 4.2 Analisis SEM.....	31
Gambar 4.3 Pengaruh pH.....	33
Gambar 4.4 Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan Zn.....	34
Gambar 4.5 Pengaruh Waktu Kontak	35
Gambar 4.6 Perbandingan Permodelan Kinetika <i>Magnetic Activated Carbon</i> ..	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian.....	47
Lampiran 2. Pembuatan Larutuan.....	50
Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian.....	54
Lampiran 4. Data Karakterisasi	56
Lampiran 5. Perhitungan Model Kesetimbangan Adsorpsi	65
Lampiran 6. Perhitungan Kinetika Adsorpsi.....	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kampung Batik Semarang merupakan kompleks industri pengerajin batik di Kota Semarang yang memproduksi batik secara langsung (Na'am, 2017). Proses produksi tersebut antara lain menghasilkan limbah cair yang mengandung zat warna sintesis dan logam berat seperti timah, tembaga, seng, serta timbal, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan yang cukup serius apabila konsentrasinya melebihi ambang batas yang telah ditetapkan oleh *World Health Organization* (WHO) yaitu 1,5 ppm dan menurut Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) adalah 0,005 ppm (Desianna dkk., 2017). Zat pencemar tersebut bersifat *non-biodegradable* dan beracun yang jika terakumulasi dalam tubuh dapat menyebabkan penyakit yang serius bagi manusia seperti ketidakseimbangan elektrolit, dehidrasi, sakit perut, mual, dan pusing jika dikonsumsi dalam jumlah yang berlebih (Nurhasni dkk., 2010; Priadi dkk., 2014). Selain itu Zn dapat menyebabkan warna air menjadi *opalescent* dan apabila dimasak akan menghasilkan endapan seperti pasir (Said dkk., 2010).

Beberapa upaya pengendalian limbah ion logam diantaranya presipitasi-koagulasi (Wilyanda dkk., 2015), fitoremediasi (Setiyono dkk., 2017), ekstraksi pelarut (Tavlarides dkk., 2012), elektrolisis (Murniati dkk., 2018), dan adsorpsi (Zhang dkk., 2017). Adsorpsi merupakan metode pemurnian dan pemisahan yang sering digunakan untuk mengurangi ion logam berat dalam

air limbah karena dianggap lebih efektif dan efisien dari segi proses, kapasitas hasil serapan, dan biaya (Desianna dkk., 2017; Shofiyani dkk., 2006). Metode ini aman digunakan sebagai upaya pengolahan limbah logam berat karena tidak menimbulkan hasil samping berupa zat beracun (Anggrenistia dkk., 2015; Pratama dkk., 2015).

Activated carbon (AC) merupakan senyawa karbon yang diperoleh melalui proses pemanasan pada suhu tinggi dan telah diaktivasi sehingga memiliki pori dan luas permukaan yang lebih besar (Pratiwi dkk., 2017; Erlina dkk., 2015). Proses adsorpsi menggunakan AC berbahan dasar limbah biomassa banyak dikembangkan karena melimpahnya ketersediaan bahan yang dapat dijadikan adsorben, regeneratif, lebih ekonomis, serta memiliki daya serap logam yang tinggi, salah satunya yaitu daun mahkota nanas (Komari dkk., 2012; Setiawan dkk., 2019; Astuti dkk., 2019). Limbah daun mahkota nanas (*Ananas comosus*) memiliki kandungan selulosa yang tinggi sebesar 70 – 80%, lignin 5 – 12%, dan hemiselulosa (Weng dkk., 2009), serta mengandung karbonil, karboksil, dan gugus hidroksil, sehingga cocok sebagai bahan dasar pembuatan AC (Astuti dkk., 2019).

Proses aktivasi AC dapat dilakukan melalui aktivasi fisika dengan mengalirkan gas *Carbon Dioxide* (CO₂), *Nirogen* (N₂), Argon, atau *steam* ke dalam tumpukan karbon (Erlina dkk., 2015), atau melalui aktivasi kimia dengan merendam karbon ke dalam larutan aktivator seperti *Zinc Chloride* (ZnCl₂), *Sulphate Acid* (H₂SO₄), *Phosphoric Acid* (H₃PO₄), *Sodium Hydroxide* (NaOH), dan *Potassium Hydroxide* (KOH) (Pratiwi dkk., 2017; Sharifirad

dkk., 2012). Masing – masing aktivator memiliki pengaruh yang berbeda – beda terhadap pori dan luas permukaan AC yang dihasilkan (Pratiwi dkk., 2017). Penggunaan KOH sebagai aktivator dianggap sesuai dalam pembuatan AC karena menghasilkan AC dengan luas permukaan mencapai $3000 \text{ m}^2/\text{g}$ (Erlina dkk., 2015). Proses impregnasi pada aktivasi kimia dilanjutkan dengan proses kalsinasi pada *tubular furnace* yang disertai dengan aliran gas nitrogen untuk membantu proses pengeluaran tar, pengotor, dan ion K dari dalam pori (Sivakumar dkk., 2012).

Namun demikian, pada proses adsorpsi menggunakan AC membutuhkan proses lebih lanjut untuk memisahkan serbuk AC dengan *effluent* limbah. Pada umumnya proses ini menggunakan *rotary drum vacuum filter* yang harganya mahal (Arsad dkk., 2010). Proses ini menjadi sangat penting apabila densitas AC kecil, sehingga lebih sulit untuk terpisah dari *effluent* limbah. Oleh karena itu, penanaman partikel magnetit pada AC merupakan inovasi yang dewasa ini mulai banyak dikembangkan (Astuti dkk., 2019). Partikel magnetit terbentuk dari senyawa $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ yang saling bereaksi menghasilkan partikel Fe_3O_4 yang dapat menempel pada medan magnet eksternal, sehingga proses pemisahan AC dengan *effluent* limbah menjadi lebih mudah dan cepat (Astuti dkk., 2019). Penanaman partikel magnetit ini diduga dapat memengaruhi karakteristik AC karena pori AC kemungkinan dapat terisi oleh partikel magnetit sehingga dapat menyebabkan penurunan luas permukaan dan kemampuan adsorpsi. Hal inilah yang akan dipelajari lebih lanjut pada penelitian ini. Selanjutnya, *magnetic activate*

carbon (MAC) yang diperoleh diuji kemampuan adsorpsinya untuk logam Zn. Variabel yang memengaruhi proses adsorpsi seperti pH, konsentrasi awal, waktu kontak juga dipelajari.

Dalam perancangan proses adsorpsi diperlukan permodelan kinetika adsorpsi untuk mengetahui laju reaksi yang mengontrol proses adsorpsi yang berlangsung. Model perhitungan yang akan digunakan yaitu difusi eksternal, difusi internal, *pseudo first order*, dan *pseudo second order*.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut :

1. Ion logam berat Zn merupakan limbah logam berat yang berbahaya bagi lingkungan dan tubuh manusia.
2. Limbah mahkota daun nanas dapat digunakan sebagai alternatif bahan baku pembuatan MAC
3. Penggunaan metode pemanasan *tubular furnace* dengan mengalirkan gas N_2 membutuhkan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan proses konvensional.
4. MAC merupakan alternatif adsorben yang ramah lingkungan dan ekonomis.
5. Pemisahan dengan metode *magnetic* merupakan salah satu teknik pemurnian air yang efektif.

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah diperlukan agar permasalahan tidak meluas sehingga dapat dibahas secara mendalam, meliputi :

1. Limbah daun mahkota nanas merupakan bahan baku dari pembuatan MAC.
2. KOH digunakan sebagai aktivator AC.
3. *Tubular furnace* dengan aliran gas N_2 sebagai teknik pemanasan yang digunakan.
4. Zn merupakan limbah ion logam industri batik Kampung Batik Kota Semarang yang dijadikan adsorbat.
5. $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ dan $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ merupakan bahan yang digunakan untuk pembuatan MAC.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah maka dapat ditentukan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh penambahan partikel magnetit terhadap karakteristik MAC ?
2. Bagaimana pengaruh pH adsorbat, konsentrasi awal larutan Zn, waktu kontak, serta penambahan partikel magnetit terhadap jumlah ion logam Zn yang terjerap ?
3. Bagaimana permodelan kinetika yang tepat untuk menggambarkan adsorpsi Zn oleh MAC dari limbah daun mahkota nanas ?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh penambahan partikel magnetit terhadap karakteristik MAC.
2. Mengetahui pengaruh pH adsorbat, konsentrasi awal larutan Zn, waktu kontak, serta penambahan senyawa magnetit terhadap jumlah ion logam Zn yang terjerap.
3. Mengetahui permodelan kinetika yang tepat untuk menggambarkan adsorpsi Zn oleh MAC dari limbah daun mahkota nanas.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi lingkungan dan masyarakat
 - a. Memberikan informasi dibidang pengolahan limbah daun mahkota nanas.
 - b. Memberikan kontribusi terhadap alternatif pengolahan limbah cair guna mengatasi permasalahan pencemaran lingkungan akibat limbah logam berat industri batik.
2. Bidang IPTEK
 - a. Memberikan informasi dibidang teknologi dalam pembuatan MAC berbasis limbah daun mahkota nanas.
 - b. Memberikan alternatif mengenai teknologi dalam mengatasi permasalahan limbah logam berat industri batik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Logam Zn pada Industri Batik

Industri batik merupakan industri yang potensial menghasilkan limbah cair yang mengandung logam berat yang dikategorikan sebagai limbah berbahaya sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan (Ninggar, 2014). Hampir semua zat warna yang digunakan pada industri batik berupa zat warna sintetis. Indigosol merupakan salah satu zat warna yang sering digunakan pada industri batik dimana mengandung logam berat yang tergolong memiliki tingkat toksisitas tinggi salah satunya adalah logam Zn. Logam berat tidak dapat terdegradasi dan bersifat racun sehingga berbahaya dan dalam jangka waktu tertentu dapat mencemari lingkungan (Kartikasari dkk., 2012). Berbagai metode dapat digunakan untuk mengurangi kadar Zn pada limbah cair batik, salah satu diantaranya adalah adsorpsi (Fu dkk., 2011).

2.2 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menurunkan konsentrasi ion logam berat dalam limbah cair (Darmayanti dkk., 2012). Proses adsorpsi menggunakan *activated carbon* (AC) berbahan dasar limbah biomassa banyak dikembangkan karena melimpahnya ketersediaan bahan yang dapat dijadikan adsorben, dapat digunakan kembali (regeneratif), serta lebih ekonomis. Metode ini juga memiliki efisiensi pengikatan logam berat tinggi dan pengambilan kembali (desorpsi) ion – ion logam yang terikat relatif mudah (Komari dkk., 2012; Setiawan dkk., 2019). Beberapa faktor yang

memengaruhi proses adsorpsi yaitu waktu adsorpsi, konsentrasi awal adsorbat, dan pH larutan adsorbat (Lubis dkk., 2016).

2.2.1 Waktu Adsorpsi

Waktu adsorpsi berpengaruh terhadap proses adsorpsi dimana semakin lama waktu kontak adsorpsi semakin besar jumlah zat yang terjerap (Padmavathy, 2016). Proses adsorpsi pada penelitian Suratman dkk., (2016) terhadap logam Zn dengan *interval* waktu adsorpsi 10, 20, 40, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240 menit terjadi peningkatan kemampuan adsorpsi yang signifikan pada menit ke 10 sampai 60 dan mencapai titik kesetimbangan adsorpsi pada menit ke 120 (Suratman dkk., 2016).

2.2.2 Konsentrasi Awal Larutan Zn

Konsentrasi awal larutan berpengaruh terhadap konsentrasi limbah yang terjerap, keduanya berbanding lurus dimana semakin besar konsentrasi awal larutan maka semakin besar konsentrasi limbah yang terjerap (Salam dkk., 2013).

2.2.3 pH Larutan Adsorbat

Pada proses adsorpsi, pH akan memengaruhi muatan pada situs aktif dan muatan ion logam dalam larutan (Ariyani dkk., 2018). Astuti dkk., (2017) menyebutkan bahwa pada kondisi pH asam, gugus-gugus fungsional pada adsorben akan terprotonisasi, sehingga akan terjadi interaksi elektrostatis dengan molekul adsorbat. Proses adsorpsi pada penelitian Ariyani dkk., (2018) terhadap logam Zn mempelajari kondisi pH dengan variasi 2,3,4,5,6,7 diperoleh pH optimal AC adalah 4.

Selama proses adsorpsi dan desorpsi berlangsung tidak ada perubahan volume yang signifikan serta memiliki tingkat kemurnian yang tinggi dan jenis atau gugus fungsi yang terkandung di dalam adsorben dapat berinteraksi dengan molekul adsorbat (Aisyahlika dkk., 2018). Salah satu media yang dapat digunakan pada proses adsorpsi logam berat Zn adalah *activated carbon* (Erto dkk., 2015).

2.3 Activated Carbon

Activated Carbon (AC) merupakan suatu bahan hasil proses pirolisis arang pada suhu 600 - 900°C (Septiani dkk., 2014). AC merupakan senyawa karbon yang telah diaktivasi sehingga memiliki pori dan luas permukaan yang sangat besar dengan tujuan untuk meningkatkan daya adsorpsi akibat gaya *Van der Waals* yang kuat pada pori adsorben (Erlina dkk., 2015). AC merupakan suatu bahan berupa karbon amorf yang sebagian besar terdiri atas atom karbon bebas dan mempunyai permukaan dalam (*internal surface*) sehingga mempunyai kemampuan daya serap yang baik (Laos, 2016). AC terbuat dari bahan - bahan yang mengandung 85 – 95% karbon dengan proses pemanasan pada suhu tinggi (Pratiwi dkk., 2017). AC adalah adsorben yang sangat serbaguna karena ukuran dan distribusi pori-pori di dalam matriks karbon yang mudah untuk dikontrol.

Proses pembuatan AC dilakukan dalam dua tahap, yaitu karbonisasi dan aktivasi.

1. Karbonisasi

Karbonisasi merupakan proses penguraian selulosa organik menjadi unsur karbon, serta mengeluarkan senyawa-senyawa non karbon (Lempang, 2014). Proses karbonisasi merupakan proses pembentukan karbon dari bahan baku, proses ini berlangsung secara sempurna pada suhu 400 - 600°C (Rahmadani dkk., 2017).

2. Aktivasi

Aktivasi adalah proses perubahan karbon dengan cara memecahkan ikatan hidrogen atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga terjadi perubahan sifat, baik fisika maupun kimia yaitu bertambah besar luas permukaan arang dan menghasilkan karbon dengan daya serap tinggi (Polii, 2017). Untuk menaikkan luas permukaan dan memperoleh karbon yang berpori, dilakukan aktivasi karbon menggunakan uap panas, gas karbon dioksida dengan suhu 700 - 1100°C atau penambahan bahan-bahan mineral sebagai aktivator (Rahmadani dkk., 2017). Mutu AC yang dihasilkan sangat tergantung dari bahan baku yang digunakan, bahan pengaktif, suhu dan cara pengaktifannya (Lempang, 2014). Pada prinsipnya AC dibuat dengan dua cara yaitu aktivasi secara kimia dan cara fisika.

a. Aktivasi Kimia

Aktivasi secara kimia pada dasarnya adalah perendaman AC dengan senyawa kimia sebelum dipanaskan. Pada proses pengaktifan secara kimia, AC direndam dalam larutan pengaktifasi selama 24 jam,

lalu ditiriskan dan dipanaskan pada suhu 600-900°C. Pada suhu tinggi bahan pengaktif akan masuk di antara sela-sela lapisan heksagonal dan selanjutnya membuka permukaan yang tertutup (Lempang, 2014). Salah satu bahan kimia yang dapat digunakan sebagai aktivator adalah KOH.

b. Aktivasi Fisika

Aktivasi secara fisika menggunakan oksidator lemah, misalnya uap air, gas CO₂, N₂, O₂, dan gas pengoksidasi lainnya. Pada proses ini tidak terjadi oksidasi terhadap atom-atom karbon penyusun AC, akan tetapi oksidator tersebut hanya mengoksidasi komponen yang menutupi permukaan pori AC. Prinsip aktivasi secara fisika dimulai dengan mengalir gas-gas ringan ke dalam *retort* yang berisi AC dan dipanaskan pada suhu 800-1000°C (Lempang, 2014).

Berbagai limbah biomassa dapat digunakan sebagai prekursor dalam pembuatan AC, salah satunya yaitu limbah daun mahkota nanas (Astuti dkk., 2019).

2.4 Limbah Daun Mahkota Nanas

Tanaman Nanas, dengan nama latin *Ananans cosmosus* Merr. termasuk famili *Bromeliaceae* merupakan tumbuhan tropis dan subtropis yang banyak terdapat di Filipina, Brasil, Hawaii, India, dan Indonesia (Susana, 2011). Menurut Badan Pusat Statistika pada tahun 2018, produksi nanas di Indonesia mencapai 1.805.506 ton yang tersebar di berbagai daerah, antara lain Sumatera Selatan, Jawa Tengah, dan Jawa Barat. Daun mahkota nanas memiliki bentuk

menyerupai pedang yang meruncing diujungnya dengan warna hijau kehitaman dan pada tepi daun terdapat duri yang tajam. Panjang daun mahkota nanas berkisar antara 10 sampai 25 cm dengan lebar 3,1 sampai 5,3 cm serta memiliki tebal daun antara 0,18 sampai 0,27 cm (Hidayat, 2008).

Serat nanas terdiri atas selulosa dan non selulosa yang diperoleh melalui penghilangan lapisan luar daun nanas (Hadi dkk., 2016). Kandungan kimia dari serat daun nanas yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 adalah selulosa, hemiselulosa, lignin, abu dan zat-zat lain (protein dan asam organik lainnya) (Daud dkk., 2014). Kandungan kimia serat daun mahkota nanas ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan Kimia Serat Daun Mahkota Nanas

Kandungan Kimia	Serat Nanas (%)
Selulosa	66,2
Hemiselulosa	19,5
Lignin	4,2
Abu	4,5
Zat-zat lain (protein dan asam organik)	5,6

(Daud dkk., 2014)

Pada Tabel 2.1 dapat dilihat bahwa kandungan α -selulosa dari daun mahkota nanas mencapai 66,2 %. Kandungan selulosa yang tinggi pada daun mahkota nanas dapat menandakan bahwa daun mahkota nanas memiliki struktur rongga dalam selulosa yang dapat dijadikan sebagai adsorben logam berat (Reyra dkk., 2017). Kriteria pemilihan adsorben antara lain ketersediaan bahan, harga murah, memiliki kandungan karbon yang tinggi serta memiliki

unsur anorganik (Reyra dkk., 2017). Tingkat produksi nanas yang cukup tinggi memungkinkan jumlah daun mahkota nanas yang tidak dimanfaatkan juga tinggi sehingga berdampak terhadap pencemaran lingkungan. Limbah daun mahkota nanas yang terbuang dan melimpah keberadaannya memiliki harga yang relatif murah, sehingga dapat disimpulkan bahwa limbah daun mahkota nanas dapat digunakan sebagai alternatif bahan AC.

Untuk meningkatkan ukuran pori dan kapasitas adsorpsi maka pada sintesis AC dilakukan proses aktivasi menggunakan *Potassium Hydroxide* (KOH).

2.5 KOH

Potassium Hydroxide (KOH) adalah senyawa anorganik yang bersifat basa kuat dan korosif (Utomo, 2012). Senyawa KOH sering digunakan sebagai *chemical agent* pada proses adsorpsi limbah cair (Astuti dkk., 2019). Pada penelitian Astuti dkk., (2019) menyatakan bahwa konsentrasi aktivator KOH berpengaruh terhadap luas volume adsorben pada proses aktivasi kimia.

Tabel 2.2 Sifat Fisika dan Kimia KOH

Sifat	Keterangan
Massa molar	56,11 g/mol
Wujud	Padatan putih
Specific gravity	2,044
Titik leleh	380 °C
Titik didih	1320 °C
Kelarutan dalam air	97 g/L g H ₂ O (H ₂ O = 0 °C)
Keasaman (pKa)	0

(Perry, 1984)

Proses aktivasi kimia menggunakan KOH dilanjutkan dengan proses kalsinasi pada suhu tinggi menggunakan *furnace* untuk membentuk pori yang lebih besar.

2.6 Furnace

Furnace merupakan alat penghasil panas sekaligus mentransfer panas ke massa cair atau padat secara langsung atau tidak langsung dengan tujuan untuk memengaruhi perubahan fisik, kimia, atau metalurgi dalam massa (Otulana dkk., 2015). *Furnace* dilengkapi dengan dinding berinsulasi bertujuan agar terisolasi dari lingkungan serta semua panas yang ditambahkan atau dihasilkan dapat memanaskan material (Otulana dkk., 2015). Pada pembuatan AC, *furnace* berperan dalam proses lanjutan untuk membentuk pori pada AC (Lempang, 2014).

Berbagai modifikasi yang dilakukan terhadap AC untuk meningkatkan karakter dan kemampuan adsorpsinya, salah satunya dengan penambahan senyawa magnetit untuk efisiensi proses pemisahan (Zhao dkk., 2016).

2.7 Magnetic Activated Carbon

Senyawa Fe_3O_4 merupakan senyawa yang dihasilkan dari reaksi antara senyawa $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang memiliki banyak bentuk diantaranya: magnetit, maghemit, dan hematit (Yulianto, 2019). Senyawa magnetit Fe_3O_4 merupakan partikel feromagnetik yang bersifat amfoter dan memiliki daya adsorpsi tinggi (Sari, 2019). Partikel-partikel Fe_3O_4 memiliki kecenderungan saling mendekat dan beraglomerasi sehingga membentuk suatu

kumpulan partikel Fe_3O_4 (Zhao dkk., 2016). Menurut Astuti dkk., (2019) senyawa Fe_3O_4 berpengaruh terhadap morfologi, ukuran, dan struktur AC.

Tujuan penambahan magnetit adalah meningkatkan jumlah situs adsorpsi dalam MAC dan mempermudah proses pemulihan dalam pemisahan fitrat dan residu (He dkk., 2018).

2.8 Kinetika Adsorpsi

Kinetika adsorpsi merupakan salah satu faktor penting dalam proses adsorpsi karena menunjukkan tingkat laju penyerapan yang terjadi pada adsorben terhadap adsorbat (Widihati dkk., 2012).

Mekanisme adsorpsi meliputi empat tahapan, meliputi :

1. Difusi eksternal molekul adsorbat dari fase cairan ke bagian lapisan luar film

Tahap pertama adsorpsi adalah molekul adsorbat akan berdifusi dari fase cairan menuju bagian luar lapisan film dibantu dengan proses pengadukan dan kepolaran yang sama antara molekul adsorbat dengan pelarut. Pada tahap ini umumnya berjalan sangat cepat sehingga dapat diabaikan (Astuti dkk., 2017).

2. Difusi eksternal adsorbat dari bagian luar lapisan film ke permukaan adsorben

Tahap kedua dari proses adsorpsi adalah difusi eksternal adsorbat dari bagian luar lapisan film ke permukaan adsorben. Proses ini bergantung pada sifat adsorbat dan adsorben, adsorbat yang bersifat polar akan sulit melalui adsorben yang bersifat non polar (Astuti dkk., 2017).

Difusi eksternal menggunakan persamaan kinetik yang diusulkan oleh Mc Kay dan Allen sebagai berikut:

$$\ln \left[\left(\frac{C_t}{C_o} \right) - \left(\frac{A'}{m_s K_L} \right) \right] = \ln A' - \left(\frac{k_f S_s}{A'} \right) \cdot t \quad (2.6)$$

Keterangan :

C_t = konsentrasi adsorbat di larutan pada saat setimbang (mol/L)

C_o = konsentrasi adsorbat mula-mula (mol/L)

K_L = konstanta Langmuir (L/mg)

K_f = koefisien transfer massa eksternal (mg/min)

t = waktu kontak (menit)

S_s = luas permukaan partikel adsorben (cm^{-1})

$m_s = m/V_s$ = konsentrasi adsorben pada fase cair (mg/L)

$$A' = \left(\frac{m_s K_L}{1 + m_s K_L} \right)$$

Nilai tetapan k_f dapat diketahui dari plot grafik $\ln \left[\left(\frac{C_t}{C_o} \right) - \left(\frac{A'}{m_s K_L} \right) \right]$ terhadap waktu (t) yang akan diperoleh tangen arah terhadap $-\left(\frac{k_f S_s}{A'} \right)$ dan titik potong pada sumbu y dengan ordinat $\ln A'$ (Belaid dkk., 2013).

3. Difusi intrapartikel molekul adsorbat melalui pori menuju situs aktif

Difusi intrapartikel molekul adsorbat melalui pori menuju situs aktif dipengaruhi oleh ukuran butir adsorben, dimana semakin kecil ukuran butir adsorben maka proses difusi akan berjalan secara cepat. Tahap ini dianggap tahap penentu laju dalam proses adsorpsi, umumnya berjalan sangat lambat, hal ini disebabkan adanya molekul-molekul adsorbat yang terlebih dahulu menempel pada permukaan pori adsorben yang

memungkinkan terhambatnya pergerakan molekul adsorbat didalam pori-pori (Astuti dkk., 2017).

Difusi intrapartikel molekul adsorbat melalui pori menuju situs aktif dapat dinyatakan dengan persamaan Weber dan Morris sebagai berikut :

$$q_t = k_d t^{\frac{1}{2}} \quad (2.7)$$

Dimana, q_t = jumlah adsorbat yang teradsorpsi (mg/g)

t = waktu kontak (menit)

k_{id} = konstanta difusi intrapartikel

Secara linier persamaan (2.7) dapat diubah menjadi :

$$\log q_t = \log k_{id} + \frac{1}{2} \log t \quad (2.8)$$

Nilai k_{id} dapat diketahui dari plot grafik $\log q_t$ dengan $\log t$ sehingga akan diperoleh tangen arah $\frac{1}{2}$ dan titik potong pada sumbu y dengan ordinat $\log k_{id}$ (Belaid dkk., 2013).

4. Pengikatan adsorbat oleh situs aktif

Pada tahap pengikatan adsorbat umumnya proses penjerapan dapat berlangsung secara cepat yang memungkinkan laju adsorpsi tidak terkontrol secara keseluruhan (Astuti dkk., 2017). Terdapat dua jenis persamaan yang digunakan untuk mempelajari proses adsorpsi cair, yaitu: *pseudo-first-order* dan *pseudo-second-order*.

1. Persamaan *pseudo-first-order*

Persamaan *pseudo-first-order* dapat dinyatakan sebagai persamaan Lagergren :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_f(q_e - q_t) \quad (2.9)$$

Pada kondisi $t = 0$, $q_t = 0$ dan $q_t = q_t$ maka persamaan (2.9) menjadi:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_f t \quad (2.10)$$

Keterangan :

q_e = kapasitas adsorpsi pada keadaan setimbang (mg/g)

q_t = kapasitas adsorpsi pada waktu t (mg/g)

k_f = konstanta *pseudo-first-order* (min^{-1})

t = waktu (menit)

Nilai k_f dapat diketahui dari plot grafik $\ln(q_e - q_t)$ terhadap waktu (t) (Astuti dkk., 2017).

2. Persamaan *pseudo-second-order*

Persamaan *pseudo-second-order* adalah sebagai berikut :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_s(q_e - q_t)^2 \quad (2.11)$$

Pada kondisi $t = 0$, $q_t = 0$ dan $q_t = q_t$ pada $t = t$ maka persamaan

(2.11) menjadi :

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{k_s q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (2.12)$$

Nilai k_s dapat diketahui dari *intercept* persamaan garis linear antara $\frac{t}{q_t}$ terhadap waktu (t) yang akan diperoleh garis lurus dengan

tangen arah $\frac{1}{q_e}$ dan titik potong pada sumbu y dengan ordinat $\frac{1}{k_s q_e^2}$

(Belaid dkk., 2013).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. *Magnetic activated carbon* (MAC) memiliki kemampuan adsorpsi terhadap ion logam Zn lebih baik daripada *activated carbon* (AC).
2. Kondisi adsorpsi optimum AC adalah pada pH 4, waktu kontak 120 menit, dosis adsorben 0,3 gram dan konsentrasi awal larutan Zn 2 mg/L, jumlah Zn^{2+} yang teradsorpsi sebesar 73,5 %. Sedangkan kondisi adsorpsi optimum MAC adalah pada pH 4, waktu kontak 180 menit, dosis adsorben 0,3 gram dan konsentrasi awal larutan Zn 2 mg/L, jumlah Zn^{2+} yang teradsorpsi sebesar 76,5 %.
3. Permodelan kinetika yang paling sesuai adalah *pseudo first order* dengan nilai q_e sebesar 1,1717 mg/gram, K_1 sebesar 0,06816 g/mg.menit, serta nilai SSE 0,002256398 dan SAE 0,098712508.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan variasi kondisi operasi pada proses pembuatan adsorben, proses aktivasi, dan pembuatan MAC.
2. Perlu dilakukan adsorpsi menggunakan MAC dari limbah daun mahkota nanas untuk menjerap jenis limbah lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyahlika, S. Z., Firdaus, M. L., & Elvia, R. (2018). Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkang Bintaro (Cerbera odollam) Terhadap Zat Warna Sintetis Reactive Red-120 dan Reactive Blue-198. *Alotrop*, 2(2).
- Alimano, M., & Syafila, M. (2014). Reduksi Ukuran Adsorben Untuk Memperbesar Diameter Pori Dalam Upaya Meningkatkan Efisiensi Adsorpsi Minyak Jelantah. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 20(2), 173-182.
- Anggrenistia, F., Wahyuni, N., Zaharah, T.A. (2015). Adsorpsi Ion Logam Zn (II) Menggunakan Biomassa *Chlorella* sp. Yang Diimobilisasi Pada Silika Gel. *JKK*, 4(3), 94-99.
- Ariyani, D. (2018). Pengaruh pH dan Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Logam Zn (II) pada Komposit Arang Eceng Gondok Termodifikasi Kitosan-Epiklorohidrin. *Pengaruh pH dan Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Logam Zn (II) pada Komposit Arang Eceng Gondok Termodifikasi Kitosan-Epiklorohidrin*.
- Arsad, E. (2010). Teknologi pengolahan dan pemanfaatan karbon aktif untuk industri. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 2(2), 43-51.
- Astuti, W., dan Fatin, D. M. (2017). Jurnal Bahan Alam Terbarukan Adsorption of Methyl Violet Dye by Thermally Modified Ceiba Pentandra Sawdust.
- Astuti, W., Hidayah, M., Fitriana, L., Mahardhika, M. A., & Irchamsyah. E. F. (2019). Preparation of Activated Carbon from Cassava Peel by Microwave-Induced H₃PO₄ Activation for Naphtol Blue-Black Removal.
- Astuti, W., Sulistyaningsih, T., & Maksiola, M. (2017). Equilibrium and Kinetics of Adsorption of Methyl Violet from Aqueous Solutions Using Modified Ceiba pentandra Sawdust. *Asian Journal of Chemistry*, 29(1).
- Astuti, W., Sulistyaningsih, T., Kusumastuti, E., Thomas, G. Y. R. S., & Kusnadi, R. Y. (2019). Thermal Conversion of Pineapple Crown Leaf Waste to Magnetic Activated Carbon for Dye Removal. *Bioresource Technology*, 287, 121426.
- Astuti, W., Sulistyaningsih, T., Prastiyanto, D., Purba, B. S. A., & Kusumawardani, R. (2020). Synthesis of Magnetically Separable Activated Carbon from Pineapple Crown Leaf for Zinc Ion Removal. *Materials Science Forum*, 71-75, 1007.

- Ayawei, N., Ebelegi, A. N., & Wankasi, D. (2017). Review Article "Modelling and Interpretation of Adsorption Isotherms". *Journal of Chemistry*, Vol.2017.
- Belaid, K.D., Kacha, S., Kameche, M., Derriche, Z. (2013) Adsorption Kinetics of Some Textile Dyes onto Granular Activated Carbon. *Journal of Environmental Engineering*, 1, 496-50.
- Bhernama, B.G. (2017). Biosorpsi Ion Logam Zink (II) Dalam Larutan Menggunakan Daun Kari (*Murraya koenigii*). *Al-Kimia* Vol.5 No.1.
- Darmayanti, D., Rahman, N., & Supriadi, S. (2012). Adsorpsi Timbal (Pb) Dan Zink (Zn) Dari Larutannya Menggunakan Arang Hayati (Biocharcoal) Kulit Pisang Kepok Berdasarkan Variasi Ph (Adsorption of Plumbum (Pb) and Zinc (Zn) From Its The Solution by Using Biological Charcoal (Biocharcoal) of Kepok Banana). *Jurnal Akademika Kimia*, 1(4).
- Daud, Z., Hatta, M. Z. M., Kassim, A. S. M., Awang, H., & Aripin, A. M. (2014). Exploring of Agro Waste (Pineapple Leaf, Corn Stalk, and Napier Grass) by Chemical Composition and Morphological Study. *BioResources*, 9(1), 872-880.
- Desianna, I., Putri, C.A., Yulianti, I., & Sujarwata. (2017). Selulosa Kulit Jagung sebagai Adsorben Logam Cromium (Cr) pada Limbah Cair Batik. *Unnes Physics Journal*, 6(1), 19-24.
- Do, D. D. (1998). Adsorption Analysis: Equilibria and Kinetics. London: *Imperial college press*, 2, 13-34.
- Erlina, U., & Budi, E. (2015). Pengaruh Konsentrasi Larutan KOH pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa Untuk Adsorpsi Logam Cu. *Jurnal Fisika Universitas Negeri Jakarta*, 4, 55-60.
- Erto, A., Di Natale, F., Musmarra, D., & Lancia, A. (2015). Modeling of Single and Competitive Adsorption of Cadmium and Zinc onto Activated Carbon. *Adsorption*, 21(8), 611-621.
- Fu, F., & Wang, Q. (2011). Removal of Heavy Metal Ions from Wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 407-418.
- Hadi, T. S., Jokosisworo, S., & Manik, P. (2016). Analisa Teknis Penggunaan Serat Daun Nanas Sebagai Alternatif Bahan Komposit Pembuatan Kulit Kapal Ditinjau Dari Kekuatan Tarik, Bending Dan Impact. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(1).

- Han, Z., Sani, B., Mrozik, W., Obst, M., Beckingham, B., Karapanagioti, H. K., & Werner, D. (2015). Magnetite impregnation effects on the sorbent properties of activated carbons and biochars. *Water research*, 70, 394-403.
- He, Q., Liu, J., Liu, X., Li, G., Chen, D., Deng, P., & Liang, J. (2018). Fabrication of Amine-Modified Magnetite-Electrochemically Reduced Graphene Oxide Nanocomposite Modified Glassy Carbon Electrode for Sensitive Dopamine Determination. *Nanomaterials*, 8(4), 194.
- Hidayat, P. (2008). Teknologi Pemanfaatan Serat Daun Nanas Sebagai Alternatif Bahan Baku Tekstil. *Teknoin*, 13(2).
- Husni, H. & Rosnelly, C.M. (2007). Studi Kinetika Adsorpsi Larutan Logam Timbal (Pb) Menggunakan Karbon Aktif dari Batang Pisang. *Jurnal Hasil Penelitian Industri*, 20(1), 1-10.
- Kartikasari, T. H., Lestari, S., & Dewi, R. S. (2012). Adsorpsi Zn dan Dekolorisasi Limbah Batik Menggunakan Limbah Baglog *Pleurotus ostreatus* dengan Sistem Inkubasi dan Volume Limbah Batik Berbeda. *Majalah Ilmiah Biologi BIOSFERA: A Scientific Journal*, 29(3), 168-174.
- Komari, N., Utami, U. B. L., & Malinda, N. (2012). Adsorpsi Pb^{2+} dan Zn^{2+} pada Biomassa *Imperata cylindrica*. *Jurnal Kimia Valensi*, 2(5).
- Kul, M., & Oskay, K. O. (2015). Separation and recovery of valuable metals from real mix electroplating wastewater by solvent extraction. *Hydrometallurgy*, 155, 153-160.
- Laos, L. E. (2016). Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *JIPF (Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika)*, 1(1), 32-36.
- Lembang, M. (2014). Pembuatan dan Kegunaan Arang Aktif. *Info teknis EBONI*, 11(2), 65-80.
- Lubis, S., Sheilatina, S. N. S., & Putra, V. P. (2016). Adsorption of Naphthol Blue Black Dye onto Acid Activated Titania Pillared Bentonite: Equilibrium Study. *Orient. J. Chem*, 32(4), 1789-1797.
- Meng, J., Yang, G., Yan, L., & Wang, X. (2005). Synthesis and characterization of magnetic nanometer pigment Fe_3O_4 . *Dyes and Pigments*, 66(2), 109-113.
- Murniati, T., Muljadi. (2013). Pengolahan Limbah Batik Cetak Dengan Menggunakan Metode Filtrasi-Elektrolisis Untuk Menentukan Efisiensi Penurunan Parameter COD, BOD, dan Logam Berat (Cr) Setelah Perlakuan Fisika-Kimia. *Ekuilbrium*, 12(1), 27-36.

- Na'am, Muh Fakhrihun. (2018). Kearifan Lokal Motif Batik Semarang Sebagai Ide Dasar Model Kreatif Desain Kaus Digital Printing. *Teknobuga*, 6(1), 16-34.
- Ninggar, R. D. (2014). *Kajian Yuridis Tentang Pengendalian Limbah Batik Di Kota Yogyakarta* (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- Nurhasni., Hendrawati., & Saniyah, N. (2010). Penyerapan Ion Logam Cd dan Cr Dalam Air Limbah Menggunakan Sekam Padi. *Jurnal Kimia Valensi*, 310-318.
- Otulana, J. O., Oluwole, O. O., & Adeleke, M. B. (2016). A reactor plant for activated carbon production. *Int J Novel Res Eng Sci*, 2, 20
- Owamah, H. I. (2014). Biosorptive removal of Pb(II) and Cu(II) from wastewater using AC from cassava peels. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 16(2), 347–358.
- Padmavathy, K. S., Madhu, G., & Haseena, P. V. (2016). A study on effects of pH, adsorbent dosage, time, initial concentration and adsorption isotherm study for the removal of hexavalent chromium (Cr (VI)) from wastewater by magnetite nanoparticles. *Procedia Technology*, 24, 585-594.
- Perry, R.H., and Green, D.W., 1984, "Perry's Chemical Engineers Hand Book", 6 th. ed. Mc. Graw Hill Co., International Student edition, Kogakusha, Tokyo.
- Polii, F. F. (2017). Pengaruh Suhu dan Lama Aktifasi Terhadap Mutu Arang Aktif dari Kayu Kelapa.(Effects of Activation Temperature and Duration Time on the Quality of the Active Charcoal of Coconut Wood). *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, 12(2), 21-28.
- Pratama, O.Y., Darjito., Tjahjanto, R.T. (2015). Pengaruh pH dan Waktu Kontak pada Adsorpsi Zn (II) Menggunakan Kitin Terikat Silang Glutaraldehyd. *Kimia Student Journal*, 1(1), 741-747.
- Pratiwi, Diana Eka. (2017). Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif dari Kulit Singkong terhadap Ion Logam Timbal. *Jurnal Chemica*, 18(2), 66-70.
- Priadi, C.R., Anita., Sari, P.N., & Moersidik, S.S. (2014). Adsorpsi Logam Seng dan Timbal Pada Limbah Cair Industri Keramik Oleh Limbah Tanah Liat. *Reaktor*, 15(1), 10-19.
- Rahmadani, N., & Kurniawati, P. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Karbon Teraktivasi Asam dan Basa Berbasis Mahkota Nanas. In *Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pembelajaran*, 154-161.

- Reyra, A.S., Daud, S., & Yenti, S.R. (2017). Pengaruh Massa dan Ukuran Partikel Adsorben Daun Nanas Terhadap efisiensi Penyisihan Fe Pada Air Gambut. *Jom FTEKNIK*, 4(2), 1-9.
- Said, Nusa Idaman. (2010). Metoda Penghilangan Logam Berat (As, Cd, Cr, Ag, Cu, Pb, Ni dan Zn) Di Dalam Air Limbah Industri. *JAI*, 6(2), 136-148.
- Salam, M. A., & Mohamed, R. M. (2013). Removal of Antimony (III) By Multi-Walled Carbon Nanotubes From Model Solution and Environmental Samples. *Chemical Engineering Research and Design*, 91(7), 1352-1360.
- Sari, I., Purnamasari, U. I., & Lubis, M. T. (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.
- Sari, M. (2019). Studi Adsorpsi Ion Cd (II) Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*) yang Dimodifikasi dengan Magnetit.
- Septiani, U., & Bella, I. (2014). Pembuatan Dan Karakterisasi Katalis ZnO/Karbon Aktif D]dengan Metode Solid State dan Uji Aktifitas Katalitiknya pada Degradasi Rhodamin B. *Jurnal Riset Kimia*, 7(2), 180.
- Setiawan, A.A., Shofiyani, A., Syahbanu, I. (2017). Pemanfaatan Limbah Daun Nanas (*Ananas comosus*) Sebagai Bahan Dasar Arang Aktif. Untuk adsorpsi Fe(II). *JKK*, 6(3), 66-74.
- Setiyono, A., & Gustaman, R.A. (2017). Pengendalian Kromium (Cr) Yang Terdapat di Limbah Batik Dengan Metode Fitoremediasi. *Unnes Journal of Public Health*, 6(3), 155-160.
- Sharifirad, M., Koohyar, F., Rahmanpour, S. H., & Vahidifar, M. (2012). Preparation of Activated Carbon from Phragmites Australis: Equilibrium Behaviour Study. *Research Journal of Recent Sciences ISSN*, 2277, 2502.
- Shofiyani, A., & Gusrizal. (2006). Determination of pH Effect and Capacity of Heavy Metals Adsorption By Water Hyacinth (*Eichhornia carssipes*) Biomass. *Indo J. Chem*, 6(1), 56-60.
- Sinaga, R.S., Danar, P., & Darjito. (2015). Adsorpsi Seng (II) Oleh Biomassa *Azolla microphylla* Diesterifikasi Dengan Asam Sitrat: Kajian Desorpsi Menggunakan Larutan HCl. *Kimia Student Journal*, Vol 1, 629-635.
- Sivakumar, B., Kannan, C., & Karthikeyan, S. (2012). Preparation and characterization of activated carbon prepared from balsamodendron caudatum wood waste through various activation processes. *Chem*, 5(3), 321-327.

- Soeprijanto, Bambang Aryanto & Ryan Fabella. (2007). Kinetika Biosorpsi Ion Logam Berat Cu(II) dalam Larutan Menggunakan Biomassa *Phanerochaete chrysosporium*. *Jurnal Imiah Sains dan Teknologi*, (6)1, 61-67.
- Suratman, A., Kamalia, N. Z., & Kusumawati, W. A. (2016). Adsorption and Desorption of Zn (II) and Cu (II) on Ca-alginate Immobilized Activated Rice Bran. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 107, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
- Susana. (2011). Ekstraksi Selulosa Limbha Mahkota Nanas. *Jurnal Vokasi*, 7(1), 87-94.
- Umayah, I., Sulistyarningsih, T., & Kusumastuti, E. (2018). Preparasi Nanopartikel Mg/Al Hidrotalsit-Magnetit secara Kopresipitasi serta Aplikasinya sebagai Adsorben Ion Cr (VI). *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2), 140-145.
- Utomo, S. (2012). Bahan Berbahaya dan Beracun (B-3) dan Keberadaannya di dalam Limbah. *Jurnal Konversi*, 1(1).
- Weng, C. H., Lin, Y. T., & Tzeng, T. W. (2009). Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution by Adsorption Onto Pineapple Leaf Powder. *Journal of Hazardous Materials*, 170(1), 417-424.
- Widihati, I. A. G., Suastuti, N. G. D. A., & Nirmalasari, M. Y. (2012). Studi kinetika adsorpsi larutan ion logam kromium (Cr) menggunakan arang batang pisang (*Musa paradisiaca*). *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*.
- Wilyanda., & Chairul, Y. (2015). Pengolahan Limbah Cair Logam Berat (Limbah B3) Secara Presipitasi dan Koagulasi di UPT Pengujian Dinas Pekerjaan Umum. *Jom FTEKNIK*, 2(2), 1-10.
- Wu, F. C., Liu, B. L., Wu, K. T., & Tseng, R. L. (2010). A New Linear form Analysis of Redlich–Peterson isotherm Equation for The adsorptions of Ddyes. *Chemical Engineering Journal*, 162(1), 21-27.
- Yulianto, A. (2019). Fasa Oksida Besi Untuk Sintesis Serbuk Magnet Ferit. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 39-41.
- Zhang, W., Gao, B., Creamer, A.E., Cao, C., Li, Y. (2017). Adsorption of VOCs Onto Engineered carbon Materials: A Review. *Journal of Hazardous Materials*, 338, 102-123.
- Zhang, X., Zhang, P., Wu, Z., Zhang, L., Zeng, G., & Zhou, C. (2013). Adsorption of methylene blue onto humic acid-coated Fe₃O₄

nanoparticles. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 435, 85-90.

Zhao, J., Liu, J., Li, N., Wang, W., Nan, J., Zhao, Z., & Cui, F. (2016). Highly efficient removal of bivalent heavy metals from aqueous systems by magnetic porous Fe₃O₄-MnO₂: Adsorption behavior and process study. *Chemical Engineering Journal*, 304, 737-746.