



**KESETIMBANGAN ADSORPSI ZINC MENGGUNAKAN KARBON
AKTIF TERIMPREGNASI Fe_3O_4 DARI LIMBAH DAUN MAHKOTA
NANAS**

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik Program Studi Teknik Kimia

Oleh :

Restu Kusumawardani

NIM. 5213416071

JURUSAN TEKNIK KIMIA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Restu Kusumawardani
NIM : 5213416071
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Kesetimbangan Adsorpsi *Zinc* Menggunakan Karbon Aktif Terimpregnasi Fe_3O_4 dari 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, 28 Agustus 2020

Pembimbing



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

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Keseimbangan Adsorpsi *Zinc* Menggunakan Karbon Aktif Terimpregnasi Fe_3O_4 dari Limbah Daun Mahkota Nanas” telah dipertahankan di depan Sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 3 bulan September tahun 2020.

Oleh

Nama : Restu Kusumawardani

NIM : 5213416071

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, 3 September 2020

Yang membuat pernyataan,



Restu Kusumawardani

NIM. 5213416071

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO : Tidak ada yang abadi, karena dunia ini sedikit dan sebentar. Cintai, nikmati, syukuri semua perjuangan, selagi masih ada kesempatan.

PERSEMBAHAN

1. Allah SWT
2. Ibu dan Bapak
3. Keluarga Besar
4. Almamater
5. Dosen-dosenku
6. Sahabat-sahabatku

ABSTRAK

KESETIMBANGAN ADSORPSI ZINC MENGGUNAKAN KARBON AKTIF TERIMPEGNASI Fe_3O_4 DARI LIMBAH DAUN MAHKOTA NANAS

Restu Kusumawardani
Universitas Negeri Semarang, Semarang, Indonesia
restuk41@gmail.com

Industri batik merupakan industri yang terus berkembang. Penggunaan bahan kimia sebagai zat warna sintesis yang mengandung logam berat menjadi sumber utama polusi air dalam limbah industri batik. Metode adsorpsi menggunakan karbon aktif adalah salah satu metode yang efektif untuk menghilangkan kandungan logam berat dalam limbah industri batik. Daun mahkota nanas sebagai limbah biomassa dapat digunakan sebagai prekursor untuk memproduksi karbon aktif. Penelitian ini memanfaatkan limbah daun mahkota nanas dalam pembuatan adsorben dengan aktivasi KOH menggunakan *tubular furnace*. Modifikasi penelitian ini yaitu impregnasi karbon aktif dengan penambahan senyawa Fe_3O_4 sehingga mempermudah untuk pemisahan larutan setelah proses adsorpsi dilakukan. Karbon aktif (AC) serta karbon aktif magnetik (MAC) yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), dan *gas sorption analyzer* dengan metode *Brunauer Emmet Teller* (BET). Hasil uji menunjukkan bahwa karbon aktif magnetik memiliki pori yang diselubungi oleh unsur Fe yang berikatan dengan O yang menutupinya dibandingkan karbon aktif tanpa magnetik. Selanjutnya, percobaan secara *batch* dilakukan untuk menyelidiki pengaruh pH, konsentrasi awal, dan waktu kontak terhadap kadar Zn^{2+} terjerap yang kemudian diuji menggunakan *Atomic Adsorption Spectrometer* (AAS). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat adsorpsi maksimum karbon aktif magnetik terjadi pada pH 4, konsentrasi awal larutan 2 mg/L, waktu kontak 180 menit, dan dosis adsorben 0,3 gram dalam 50 ml larutan Zn dengan jumlah Zn^{2+} yang teradsorpsi 76,5 %. Model kesetimbangan adsorpsi yang paling sesuai adalah model Freundlich dengan nilai K_f sebesar $0,2175 \text{ mg}^{1-1/n} \text{ L}^{1/n} \text{ g}^{-1}$ dan n sebesar 0,63974.

Kata Kunci : karbon aktif magnetik, limbah daun mahkota nanas, Zn^{2+} , KOH, model kesetimbangan adsorpsi

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Kesetimbangan Adsorpsi Zinc Menggunakan Karbon Aktif Terimpregnasi Fe_3O_4 Dari Limbah Daun Mahkota Nanas”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan 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, Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Widi Astuti, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah berkenan meluangkan waktunya serta penuh kesabaran memberikan bimbingan, motivasi, pengarahan dalam penyusunan skripsi.
4. Dr. Megawati, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan skripsi ini.
5. Dr. Ratna Dewi Kusumaningtyas, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan skripsi ini.
6. Kedua Orangtua, Ibu Sumiyatun dan Bapak Darmaji serta keluarga besar yang telah tulus ikhlas memberikan kasih sayang, cinta, doa, perhatian dan dukungan baik moral maupun materil.
7. Bernadetta Sisca Aprillia Purba yang telah menjadi teman yang luar biasa, teman berjuang dalam memperoleh gelar sarjana, yang memberikan banyak pelajaran dalam proses kehidupan.
8. Teman-teman seperjuangan Tekkim UNNES 2016, sahabat semasa sekolah yang selalu memberikan dukungan, dorongan semangat dan motivasi dalam menyelesaikan skripsi ini.

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

Semarang, 3 September 2020

Penulis

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
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 Karbon Aktif.....	9
2.4 Limbah Daun Mahkota Nanas.....	11
2.5 KOH.....	13
2.6 <i>Furnace</i>	14

2.7 Karbon Aktif Magnetik.....	14
2.8 Model Kesetimbangan Adsorpsi	15
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan.....	18
3.2 Variabel	18
3.3 Alat.....	19
3.4 Bahan	20
3.5 Rangkaian Alat	21
3.6 Prosedur Kerja	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1 Karakterisasi Adsorben	28
4.2 Uji Adsorpsi Logam Zn	32
4.3 Kesetimbangan Adsorpsi	35
BAB V PENUTUP	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran	39
DAFTAR PUSTAKA.....	40
LAMPIRAN – LAMPIRAN	46

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.....	31
Tabel 4.2 Perhitungan Kesetimbangan Adsorpsi	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Proses Aktivasi Kimia.....	21
Gambar 3.2 Proses Penanaman Senyawa Magnetit.....	21
Gambar 3.3 Proses Adsorpsi	22
Gambar 4.1 Hasil Uji FTIR.....	28
Gambar 4.2 Analisis SEM.....	30
Gambar 4.3 Pengaruh pH.....	32
Gambar 4.4 Pengaruh Konsentrasi Awal Larutan Zn.....	33
Gambar 4.5 Pengaruh Waktu Kontak	34
Gambar 4.6 Grafik Kesetimbangan Adsorpsi Karbon Aktif.....	37
Gambar 4.7 Grafik Kesetimbangan Adsorpsi Karbon Aktif Magnetik.....	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian.....	46
Lampiran 2. Pembuatan Larutuan.....	49
Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian.....	53
Lampiran 4. Data Karakterisasi	55
Lampiran 5. Perhitungan Model Kesetimbangan Adsorpsi	64

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).

Karbon aktif 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 karbon aktif (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* (CO_2), *Nirogen* (N_2), Argon, atau *steam* ke dalam tumpukan karbon (Erlina dkk., 2015), atau melalui aktivasi kimia dengan merendam karbon ke dalam larutan aktivator seperti *Zinc Chloride* (ZnCl_2), *Sulphate Acid* (H_2SO_4), *Phosphoric Acid* (H_3PO_4), *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, 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 perlu diketahui data kapasitas adsorpsi yang nilainya dapat dihitung melalui model kesetimbangan adsorpsi. Model kesetimbangan adsorpsi yang dapat digunakan pada adsorpsi cair dan akan diaplikasikan pada penelitian ini adalah model Langmuir, Freundlich, dan Redlich – Petterson.

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 karbon aktif magnetik (MAC).
3. Penggunaan metode pemanasan *tubular furnace* dengan mengalirkan gas N₂ membutuhkan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan proses konvensional.
4. MAC merupakan alternatif adsorben yang ramah lingkungan dan ekonomis.
5. Pemisahan dengan metode magnetik 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 model kesetimbangan 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 model kesetimbangan 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 sintetik. 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 karbon aktif (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 karbon aktif (Erto dkk., 2015).

2.3 Karbon Aktif

Karbon aktif (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 (adsorpsi) 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 pengubahan 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 (Poli, 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 karbon aktif, 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 karbon aktif.

Untuk meningkatkan ukuran pori dan kapasitas adsorpsi maka pada sintesis karbon aktif 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

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 karbon aktif menggunakan *furnace* dalam proses lanjutan untuk membentuk pori pada karbon aktif (Lempang, 2014).

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

2.7 Karbon Aktif Magnetik

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 dan mempermudah proses pemulihan dalam pemisahan AC (He dkk., 2018).

2.8 Model Keseimbangan Adsorpsi

Model keseimbangan adsorpsi dapat dipelajari melalui pendekatan isotermal, yakni adsorpsi yang menggambarkan hubungan keseimbangan antara konsentrasi adsorbat dalam larutan dengan jumlah adsorbat yang terjerap oleh suatu material berpori (Astuti dkk., 2017). Jika proses adsorpsi berlangsung secara proses batch berlaku :

$$C_{\mu} = \frac{(C_i - C_e)V}{m} \quad (2.1)$$

Keterangan :

C_{μ} = Konsentrasi adsorbat di permukaan adsorben (mol/g)

C_e = Konsentrasi adsorbat dalam larutan pada saat setimbang (mol/L)

C_i = Konsentrasi adsorbat mula-mula (mol/L)

V = Volume cairan (L)

M = Massa adsorben (g)

Model-model persamaan yang digunakan untuk keseimbangan adsorpsi komponen tunggal terdiri dari tiga model, yaitu: (Do, 1998):

2.8.1 Isoterm Langmuir

Isoterm Langmuir mengasumsikan bahwa proses adsorpsi hanya terjadi pada lapisan tunggal (monolayer), dimana semua situs aktif dan permukaannya bersifat homogen. *Langmuir* juga mengasumsikan

mekanisme kemisorpsi lebih mendominasi, afinitas molekul adsorbat sama untuk setiap tempat pada permukaan padatan homogen, serta molekul adsorben pada lokasi yang spesifik tidak dapat berpindah bebas ke permukaan padatan dan selalu *irreversible*. Interaksi antara molekul adsorbat diabaikan (Do, 1998; Astuti dkk., 2017).

Model Langmuir dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$C_{\mu} = C_{\mu m} \frac{b_1 C_e}{1 + b_1 C_e} \quad (2.2)$$

Dimana, C_e = konsentrasi kesetimbangan (mg/L)

C_{μ} = kapasitas adsorpsi per unit massa adsorben (mg/g)

$C_{\mu m}$ = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

b_1 = konstanta langmuir terkait adsorpsi

2.8.2 Isoterm Freundlich

Isoterm Freundlich digunakan untuk menggambarkan kesetimbangan adsorpsi cairan dengan mempertimbangkan heterogenitas permukaan adsorben. Pada sistem ini tidak ada pemisahan molekul pada permukaan setelah teradsorpsi, tidak adanya peristiwa adsorpsi kimia. Pengikatan molekul adsorbat tidak pada situs spesifik, sehingga tidak ada faktor pembatas stoikiometrik. Model Freundlich hanya terjadi pada peristiwa adsorpsi fisis, karena tidak ada pertukaran konfigurasi molekul pada adsorpsi, dimana dapat dinyatakan dengan persamaan :(Astuti dkk., 2017; Do, 1998).

$$C_{\mu} = k_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2.3)$$

Dimana, k_f = konstanta *freundlich*

C_μ = konsentrasi adsorbat di permukaan adsorben (mol/L)

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

$\frac{1}{n}$ = faktor heterogenitas yang menandai isotermal.

Konstanta *freundlich* didapat dari persamaan berikut :

$$\log C_\mu = \log k_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.4)$$

Nilai k_f dan n diperoleh dari hubungan antara $\log C_\mu$ dan $\log C_e$, akan diperoleh garis lurus tangen arah $\frac{1}{n}$ dan titik potong pada sumbu y koordinat $\log k_f$ (Do, 1998).

2.8.3 Isoterm Redlich – Petterson

Isoterm *Redlich – Petterson* merupakan hasil gabungan dari isoterm *langmuir* dan *freundlich*. Isoterm ini menggambarkan kesetimbangan cairan dengan mempertimbangkan homogenitas dan heterogenitas permukaan adsorben.

Persamaan *Redlich – Petterson* (Wu dkk., 2010) dirumuskan sebagai berikut :

$$q_e = \frac{K_R C_e}{1 + a_R C_e^\beta} \quad (2.5)$$

Dimana, q_e = kapasitas adsorpsi per unit massa adsorben (mg/g)

K_R = konstanta *Redlich – Petterson* (L/g)

a_R = konstanta *Redlich – Petterson* (L/mg)

C_e = konsentrasi kesetimbangan (mg/L)

β = eksponen isoterm *Redlich – Petterson*

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Karbon aktif magnetik memiliki kemampuan adsorpsi terhadap ion logam Zn lebih baik daripada karbon aktif tanpa magnetik.
2. Kondisi adsorpsi optimum karbon aktif tanpa magnetit 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 karbon aktif magnetik 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. Kestimbangan adsorpsi yang paling sesuai adalah model freundlich dengan nilai K_f sebesar $0,2175 \text{ mg}^{1-1/n} \text{ L}^{1/n} \text{ g}^{-1}$ dan n sebesar 0,63974.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan variasi kondisi operasi pada proses pembuatan adsorben, proses aktivasi, dan pembuatan karbon aktif magnetik.
2. Perlu dilakukan adsorpsi menggunakan karbon aktif magnetik 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.
- 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 Pb²⁺ dan Zn²⁺ 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.
- Lempang, 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 Fe₃O₄. *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. *Ekulibrium*, 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 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 Limbah Mahkota Nanas. *Jurnal Vokasi*, 7(1), 87-94.
- Umayah, I., Sulistyaningsih, 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.
- 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.