

**TESIS**  
**PENGOLAHAN AIR LIMBAH LABORATORIUM**  
**DENGAN METODE ADSORPSI UNTUK PENURUNAN**  
**KADAR LOGAM BERAT Pb, Cu, DAN Cd**



**NOVI ANGRAINI**  
**03012682024001**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA**  
**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**2022**

**TESIS**  
**PENGOLAHAN AIR LIMBAH LABORATORIUM**  
**DENGAN METODE ADSORPSI UNTUK PENURUNAN**  
**KADAR LOGAM BERAT Pb, Cu, DAN Cd**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Magister**  
**Teknik (M.T) Pada Fakultas Teknik**  
**Universitas Sriwijaya**



**NOVI ANGRAINI**  
**03012682024001**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA**  
**JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**2022**

## HALAMAN PENGESAHAN

# PENGOLAHAN AIR LIMBAH LABORATORIUM DENGAN METODE ADSORPSI UNTUK PENURUNAN KADAR LOGAM BERAT Pb, Cu, DAN Cd

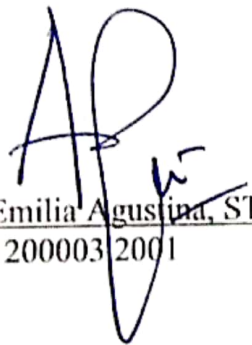
## TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan  
Gelar Magister Teknik (M.T) Pada Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya

Palembang, Juni 2022

Menyetujui,

Pembimbing I



Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 19720809 200003 2001


Pembimbing II



Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T.  
NIP. 19780822 200212 2001

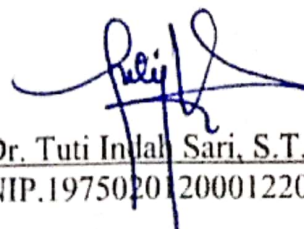
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya,

 Ketua Jurusan Teknik Kimia



Prof. Dr. H. H. Joni Arliansyah, M.T  
NIP. 196706151995121002



Dr. Tuti Inlah Sari, S.T., M.T  
NIP. 19750201 2000122001

## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis dengan Judul "Pengolahan Air Limbah Laboratorium dengan Metode Adsorpsi untuk Penurunan Kadar Logam Berat Pb, Cu, dan Cd" telah dipertahankan dihadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 13 Juni 2022.

Palembang, Juni 2022

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan Tesis

Ketua :

1. Prof. Dr. Ir. H. M. Said, M.Sc  
NIP.196108121987031003

()

Anggota :

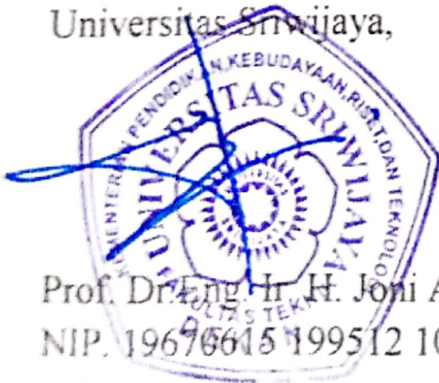
1. Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D  
NIP. 196009091987031004
2. Novia, S.T., M.T., Ph.D  
NIP. 19731105200032003
3. Dr. David Bahrin, S.T., M.T  
NIP. 198010312005011003

()

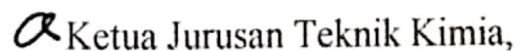
()

()

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya,



Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, MT  
NIP. 196706151995121002

 Ketua Jurusan Teknik Kimia,

()

Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.  
NIP.197502012000122001

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Novi Angraini

NIM : 03012682024001

Judul : Pengolahan Air Limbah Laboratorium Dengan Metode Adsorpsi  
Untuk Penurunan Kadar Logam Berat Pb, Cu, dan Cd

Menyatakan bahwa Laporan Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Laporan Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Juni 2022



Novi Angraini  
NIM. 03012682024001

## RINGKASAN

PENGOLAHAN AIR LIMBAH LABORATORIUM DENGAN METODE ADSORPSI UNTUK PENURUNAN KADAR LOGAM BERAT Pb, Cu, DAN Cd  
Karya tulis ilmiah berupa Tesis, Mei 2022

Novi Angraini, Dibimbing oleh Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, ST., MT., Ph.D.  
dan Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T.

Laboratory Wastewater Treatment with Adsorption Methods for Decreased Levels  
of Heavy Metals Pb, Cu, and Cd

xv + 133 halaman, 12 Tabel, 27 Gambar, 5 Lampiran

### RINGKASAN

Air limbah laboratorium seharusnya tidak dibuang langsung ke lingkungan tanpa pengolahan lebih lanjut. Hal ini dapat menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan yang dampaknya juga dirasakan oleh makhluk hidup di sekitarnya. Bahan yang terkandung dalam air limbah laboratorium tergolong limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang mengandung bahan organik dan anorganik seperti Cd, Pb, Cu, Hg, Cr, Zn, Fe, dan logam berat lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk mereduksi logam berat dalam air limbah laboratorium dengan metode adsorpsi menggunakan adsorben. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada penurunan kadar logam berat Pb, Cu, dan Cd pada air limbah laboratorium dengan arang aktif dan zeolit sintetis sebagai adsorben. Karakterisasi adsorben karbon aktif dan zeolit sintetis dilakukan dengan menggunakan SEM EDX, XRD dan BET. Proses adsorpsi dilakukan pada kondisi operasi terbaik yaitu dengan menggunakan adsorben karbon aktif yang ditambahkan sebanyak 1 gram pada pH 7,0. Adsorpsi dilakukan dengan pengadukan selama 1 jam dilanjutkan dengan pengendapan selama 24 jam. Larutan hasil adsorpsi disaring dan diperiksa kadar logamnya dengan menggunakan *Atomic Adsorption Spectrofotometer* (AAS). Pengolahan terhadap limbah sintetik multikomponen menunjukkan persentase penyisihan logam Pb sebesar 95,78 %, logam Cu sebesar 94,24 % dan logam Cd sebesar 87,59 %. Aplikasi adsorpsi pada air limbah laboratorium memberikan persentase penyisihan logam Pb terbesar yaitu sebesar 83,79 %, logam Cu sebesar 26,11 %, dan logam Cd sebesar 70,15 %. Isoterm adsorpsi yang sesuai adalah Isoterm Langmuir dengan  $R^2$  0,9990 dan nilai kapasitas adsorpsi 2,0842 mg/g.

**Kata kunci** : Adsorpsi, Air Limbah Laboratorium, *Plumbum*, *Cuprum*, *Cadmium*

Kepustakaan : 99 (1982 – 2021)

## SUMMARY

LABORATORY WASTEWATER TREATMENT WITH ADSORPTION METHODS FOR DECREASED LEVELS OF HEAVY METALS Pb, Cu, AND Cd

Scientific Paper in the form of Tesis, May 2022

Novi Angraini, Supervised by Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, ST., MT., Ph.D. and Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T.

Pengolahan Air Limbah Laboratorium dengan Metode Adsorpsi untuk Penurunan Kadar Logam Berat Pb, Cu, dan Cd

xv + 133 pages, 12 Tables, 27 Pictures, 5 Attachments

### SUMMARY

Laboratory wastewater should not be discharged directly into the environment without further treatment. That can cause pollution to the environment, whose impact is also felt by living things around it. Materials contained in laboratory wastewater are classified as hazardous and toxic waste materials (B3) that contain organic and inorganic materials such as Cd, Pb, Cu, Hg, Cr, Zn, Fe, and other heavy metals. The study aims to reduce heavy metals in laboratory wastewater by adsorption methods using adsorbents. Therefore, the study decreased heavy metals Pb, Cu, and Cd in laboratory wastewater with activated charcoal and synthetic zeolite as adsorbents. Characterization of activated carbon adsorbents and synthetic zeolites was done using SEM EDX, XRD and BET. The adsorption process was carried out under the best operating conditions, using activated carbon adsorbents added as much as 1 gram at a pH of 7.0. Adsorption was done by stirring for 1 hour, followed by deposition for 24 hours. The adsorption solution was filtered and checked for metal levels using an *Atomic Adsorption Spectrophotometer* (AAS). Treatment of multicomponent synthetic waste showed a metal removal percentage of Pb of 95.78%, Cu of 94.24% and Cd of 87.59%. Adsorption applications in laboratory wastewater provided the most significant percentage of Pb removal of 83.79%, Cu of 26.11%, and Cd of 70.15%. Isotherms adsorption that suitable was Isothermic Langmuir with  $R^2$  0,9990 and adsorption capacity value of 2,0842 mg/g.

**Keywords :** Adsorption, Laboratory Wastewater, *Plumbum*, *Cuprum*, *Cadmium*

Citations : 99 (1982 – 2021)

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga laporan tesis dengan judul “Pengolahan Air Limbah Laboratorium dengan Metode Adsorpsi untuk Penurunan Kadar Logam Berat Pb, Cu, Dan Cd” dapat diselesaikan dengan baik. Semoga isi tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan dapat menjadi referensi bagi peneliti dalam melakukan pengolahan air limbah laboratorium dengan menggunakan adsorben karbon aktif dan zeolit sintetik.

Tesis ini adalah salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T) pada Program Studi Teknik Kimia BKU Teknologi Lingkungan Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Topik penelitian tesis ini memfokuskan pada penurunan kadar logam berat Pb, Cu, dan Cd pada air limbah laboratorium dengan menggunakan proses adsorpsi. Besar harapan isi tesis ini dapat memberikan manfaat yang nyata bagi lembaga pendidikan dalam melakukan proses pengolahan air limbah laboratorium serta mendorong mahasiswa untuk mengaplikasikan semua ilmu teoritis yang diterima selama kuliah.

Laporan tesis ini tidak dapat diselesaikan tanpa adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada :

1. Orang tua dan keluarga tercinta atas semua doa, dorongan semangat, dan motivasi sehingga laporan tesis ini dapat selesai dengan baik.
2. Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE, IPU selaku Rektor Universitas Sriwijaya yang telah memberikan beasiswa pendidikan bagi Tenaga Kependidikan Universitas Sriwijaya.
3. Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Dr. David Bahrin, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Magister Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
5. Prof. Hj. Tuty Emilia Agustina, ST., MT., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I yang selalu memberikan bimbingan dan arahan hingga laporan tesis ini dapat selesai dengan baik.



6. Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang selalu memberikan bimbingan dan arahan hingga laporan tesis ini dapat selesai dengan baik.
7. Prof. Dr. Ir. H.M. Said, M.Sc., Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D., Novia, S.T., M.T., Ph.D., dan Dr. David Bahrin, S.T., M.T. selaku penguji tesis yang telah turut serta membantu, mengarahkan, dan memberikan ilmu agar tesis ini menjadi lebih baik lagi.
8. Kepala Laboratorium Oseanografi & Instrumentasi Jurusan Ilmu Kelautan FMIPA Universitas Sriwijaya serta Kepala Laboratorium dan Analis di Laboratorium Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup dan Pertanahan Provinsi Sumatera Selatan.
9. Restu Larassyah Aryani Putri, S.E. selaku tenaga administrasi pada Program Studi Magister Teknik Kimia yang selalu membantu proses administrasi selama pengerjaan tesis ini.
10. Sahabat seperjuangan Magister Teknik Kimia 2020 serta semua pihak yang telah banyak memberikan dukungan dan motivasi yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat ilmiah dan membangun agar laporan tesis ini dapat lebih bermanfaat sebagaimana mestinya.

Palembang, Juni 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS .....	v
RINGKASAN .....	vi
SUMMARY .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN .....	xvii
DAFTAR SIMBOL.....	xviii
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Hipotesa.....	5
1.5. Ruang Lingkup Penelitian .....	6
1.6. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Laboratorium .....	7
2.1.1. Laboratorium Tipe 1 .....	7
2.1.2. Laboratorium Tipe 2 .....	7
2.1.3. Laboratorium Tipe 3 .....	7
2.1.4. Laboratorium Tipe 4 .....	8
2.2. Limbah Laboratorium.....	9
2.3. Pengelolaan Limbah B3 Laboratorium .....	11
2.4. Pengolahan Limbah Secara Adsorpsi .....	11
2.4.1. Pengertian Adsorpsi.....	12

2.4.2. Faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi .....	12
2.4.3. Mekanisme Proses Adsorpsi .....	14
2.4.4. Jenis Adsorpsi .....	15
2.4.5. Metode Adsorpsi .....	17
2.5. Adsorben.....	17
2.5.1. Karbon Aktif .....	18
2.5.2. Zeolit.....	23
2.5.3. Aktivasi Adsorben .....	25
2.6. <i>Isoterm</i> Adsorpsi .....	29
2.6.1. <i>Isoterm</i> Langmuir .....	29
2.6.2. <i>Isoterm</i> Freundlich.....	30
2.7. Logam Berat Pb, Cu, dan Cd.....	31
2.7.1. Timbal (Pb).....	32
2.7.2. Tembaga (Cu) .....	34
2.7.3. Cadmium (Cd) .....	35
2.8. Penelitian Terdahulu.....	36
<b>BAB III. METODELOGI PENELITIAN .....</b>	<b>42</b>
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian .....	42
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian .....	42
3.2.1. Bahan Penelitian .....	42
3.2.2. Peralatan Penelitian.....	42
3.3. Rancangan Penelitian .....	43
3.3.1. Variabel dan Matriks Penelitian .....	43
3.3.2. Prosedur Penelitian .....	43
3.3.3. Diagram Alir Penelitian .....	48
3.4. Metode Pengolahan Data dan Analisis Data .....	49
<b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>50</b>
4.1. Karakterisasi Adsorben .....	50
4.1.1. Karakteristik dengan SEM EDX.....	50
4.1.2. Karakteristik dengan XRD.....	58
4.1.3. Karakteristik dengan BET .....	60
4.2. Pengaruh pH terhadap penurunan kadar logam berat.....	61
4.3. Pengaruh Dosis Adsorben terhadap penurunan kadar logam berat.....	65

4.4. <i>Isoterm</i> Adsorpsi .....	68
4.5. Adsorpsi pada Limbah Sintetik Multikomponen .....	73
4.6. Adsorpsi pada Air Limbah Laboratorium .....	74
<b>BAB V. KESIMPULAN</b> .....	<b>77</b>
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2. Saran.....	78
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>79</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Perbedaan antara adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia.....	15
Tabel 2.2. Efek bahaya logam berat terhadap kesehatan manusia.....	30
Tabel 4.1. Hasil analisa EDX Karbon Aktif sebelum dan sesudah aktivasi .....	54
Tabel 4.2. Hasil analisa EDX Zeolit sintetik sebelum dan sesudah aktivasi .....	56
Tabel 4.3. Hasil karakterisasi adsorben dengan BET .....	59
Tabel 4.4. Data kurva larutan standar Pb .....	69
Tabel 4.5. Data perhitungan nilai adsorpsi untuk penentuan <i>Isoterm</i> Langmuir ...	71
Tabel 4.6. Data perhitungan nilai adsorpsi untuk penentuan <i>Isoterm</i> Freundlich .	72
Tabel 4.7. Parameter <i>Isoterm</i> Adsorpsi .....	73
Tabel 4.8. Data persen <i>removal</i> limbah multikomponen .....	74
Tabel 4.9. Data persen <i>removal</i> air limbah laboratorium.....	75
Tabel 4.10. Konsentrasi Air Limbah Laboratorium setelah proses adsorpsi dibandingkan dengan baku mutu.....	75

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Mekanisme adsorpsi.....	14
Gambar 2.2. Karbon aktif bentuk serbuk.....	18
Gambar 2.3. Karbon aktif bentuk granular.....	19
Gambar 2.4. Karbon aktif bentuk pellet.....	19
Gambar 2.5. Zeolit.....	24
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	47
Gambar 4.1. SEM Karbon Aktif sebelum proses aktivasi perbesaran (a) 20 ribu kali (b) 30 ribu kali.....	49
Gambar 4.2. SEM Karbon Aktif setelah proses aktivasi perbesaran (a) 20 ribu kali (b) 30 ribu kali.....	50
Gambar 4.3. SEM Zeolit Sintetik sebelum proses aktivasi perbesaran (a) 10 ribu kali (b) 20 ribu kali.....	51
Gambar 4.4. SEM Zeolit Sintetik setelah proses aktivasi perbesaran (a) 10 ribu kali (b) 20 ribu kali.....	53
Gambar 4.5. Spektrum EDX Karbon Aktif sebelum aktivasi.....	53
Gambar 4.6. Spektrum EDX Karbon Aktif sesudah aktivasi.....	53
Gambar 4.7. Spektrum EDX Zeolit Sintetik sebelum aktivasi.....	55
Gambar 4.8. Spektrum EDX Zeolit Sintetik sesudah aktivasi.....	55
Gambar 4.9. XRD Karbon Aktif sebelum aktivasi.....	57
Gambar 4.10. XRD Karbon Aktif sesudah aktivasi.....	57
Gambar 4.11. XRD Zeolit sintetik sebelum aktivasi.....	58
Gambar 4.12. XRD Zeolit sintetik sesudah aktivasi.....	58
Gambar 4.13. Pengaruh pH terhadap persen <i>removal</i> logam Pb dengan adsorben Karbon Aktif dan Zeolit Sintetik.....	62
Gambar 4.14. Pengaruh pH terhadap persen <i>removal</i> logam Cu dengan adsorben Karbon Aktif dan Zeolit Sintetik.....	63
Gambar 4.15. Pengaruh pH terhadap persen <i>removal</i> logam Cd dengan adsorben Karbon Aktif dan Zeolit Sintetik.....	64
Gambar 4.16. Grafik persen <i>removal</i> logam Pb pada variasi dosis adsorben.....	65
Gambar 4.17. Grafik persen <i>removal</i> logam Cu pada variasi dosis adsorben.....	67
Gambar 4.18. Grafik persen <i>removal</i> logam Cd pada variasi dosis adsorben.....	68

Gambar 4.19. Grafik kurva standar Pb.....	70
Gambar 4.20. Grafik persamaan <i>Isoterm</i> Langmuir .....	71
Gambar 4.21. Grafik Persamaan <i>Isoterm</i> Freundlich.....	73

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Ringkasan Hasil Penelitian Terdahulu.....	91
Lampiran B. Skema Peralatan Proses Adsorpsi.....	94
Lampiran C. Peraturan terkait Baku Mutu Air Limbah.....	95
Lampiran D. Gambar Dokumentasi Penelitian.....	96
Lampiran E. Data Hasil Analisa.....	109



## DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

XRD	<i>X-Ray Diffraction (Difraksi Sinar-X)</i>
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy (Mikroskop Scan Elektron)</i>
EDX	<i>Energy Dispersive X-Ray</i>
BET	<i>Brunauer Emmet Teller</i>
AAS	<i>Atomic Absorption Spectrophotometer</i>

## DAFTAR SIMBOL

<i>Simbol</i>	<i>Keterangan</i>	<i>Satuan</i>
<i>C<sub>e</sub></i>	<i>Konsentrasi kesetimbangan setelah proses adsorpsi</i>	<i>mg/L</i>
<i>C<sub>o</sub></i>	<i>Konsentrasi mula-mula sebelum proses adsorpsi</i>	<i>mg/L</i>
<i>a</i>	<i>Kapasitas adsorpsi maksimum</i>	<i>mg/g</i>
<i>b</i>	<i>Konstanta Langmuir</i>	
<i>q<sub>e</sub></i>	<i>Jumlah zat yang diadsorpsi per gram adsorben pada kesetimbangan</i>	<i>mg/g</i>
<i>V</i>	<i>Volume sampel</i>	<i>L</i>
<i>W</i>	<i>Berat adsorben</i>	<i>g</i>
<i>K<sub>f</sub> dan n</i>	<i>Konstanta Freundlich</i>	
<i>C</i>	<i>Konsentrasi yang didapat dari hasil pengukuran</i>	<i>mg/L</i>
<i>f<sub>p</sub></i>	<i>Faktor pengenceran</i>	<i>-</i>

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Keseimbangan tatanan makhluk hidup tidak terlepas dari keadaan lingkungan sekitarnya. Adanya pencemaran lingkungan akan menyebabkan keseimbangan lingkungan terganggu dan akan berdampak juga pada makhluk hidup disekitarnya. Menurut Undang-Undang RI No. 32 tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup yang dimaksud dengan pencemaran lingkungan hidup adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan hidup oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan. Sumber pencemaran lingkungan yang biasa disebut dengan limbah dapat berupa cairan, padatan bahkan gas. Sumber air limbah tersebut dapat berasal dari air buangan kegiatan rumah tangga, air buangan dari kegiatan industri dan air buangan kotapraja (Metcalf and Eddy, 2003). Saat ini pengolahan limbah yang cukup baik baru dilakukan oleh industri-industri besar yang telah mempunyai instalasi pengolahan limbah sendiri. Limbah kegiatan rumah tangga, kegiatan pertanian, dan kegiatan laboratorium masih belum mendapat perhatian khusus. Limbah-limbah tersebut umumnya langsung dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan lebih lanjut. Hal ini dapat menyebabkan pencemaran pada lingkungan yang dampaknya dirasakan juga oleh makhluk hidup disekitarnya.

Limbah laboratorium merupakan salah satu limbah yang cukup banyak jumlahnya tetapi belum mendapatkan perhatian khusus. Pengolahan limbah laboratorium belum menjadi hal utama yang harus diselesaikan. Pada umumnya limbah laboratorium dari lembaga pendidikan langsung dibuang ke dalam wastafel pembuangan atau hanya ditampung pada dirigen-dirigen limbah untuk selanjutnya dikirim ke lembaga-lembaga pengolah limbah yang bersertifikat. Banyaknya bahan organik dan anorganik yang terkandung dalam limbah laboratorium jika dibuang langsung ke lingkungan dapat merusak lingkungan seperti rusaknya struktur tanah, terganggunya keseimbangan ekosistem, serta dapat menyebabkan gangguan kesehatan (Fajri, 2018). Sedangkan pengolahan limbah dengan menggunakan jasa

lembaga pengolah limbah yang bersertifikat membutuhkan biaya yang cukup tinggi sehingga akan meningkatkan biaya pemeliharaan lingkungan bagi lembaga pendidikan tersebut.

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.85 tahun 1999, bahan-bahan yang terkandung dalam limbah laboratorium termasuk ke dalam limbah bahan berbahaya dan beracun (B3). Kandungan bahan organik dan anorganik yang terkandung dalam limbah laboratorium harus memenuhi standar baku mutu air limbah untuk dapat dibuang ke lingkungan. Kandungan organik dapat meliputi COD, BOD, DO, TSS dan TDS. Sedangkan kandungan anorganik dapat berupa kandungan nutrisi seperti Sulfat, Nitrat, Nitrit, Amoniak dan Fosfat dan logam berat seperti logam Cd, Pb, Cu, Hg, Cr, Zn, Fe, dan logam-logam berat lainnya.

Laboratorium Oseanografi dan Instrumentasi Jurusan Ilmu Kelautan FMIPA Universitas Sriwijaya merupakan laboratorium yang melayani kegiatan praktikum dan penelitian. Mata kuliah praktikum yang dilakukan antara lain Praktikum Pencemaran Laut mengenai Analisis Logam Berat pada Air dan Sedimen dan Praktikum Ekotoksikologi mengenai Uji Toksisitas Logam Berat terhadap Ikan Nila. Pada kedua mata kuliah praktikum tersebut, bahan-bahan yang dipakai maupun parameter yang diuji adalah logam-logam Pb, Cu, dan Cd. Dari sisa kegiatan praktikum tersebut akan dihasilkan sisa reagen ataupun sisa larutan uji yang masuk ke dalam kategori air limbah laboratorium. Saat ini air limbah dari laboratorium tersebut masih ditampung pada dirigen penampungan.

Pengujian awal pada air limbah Laboratorium Oseanografi dan Instrumentasi Jurusan Ilmu Kelautan FMIPA telah dilakukan. Hasil pengujian awal pada air limbah laboratorium memberikan hasil pH sebesar 1,11, nilai TSS 46,5 mg/L, nilai TDS 735 mg/L, COD 391 mg/L, BOD 63,2 mg/L, Pb 3,0 mg/L, Cu 7,7 mg/L, dan Cd 11,7 mg/L. Baku mutu air limbah menurut PerMen LH No.5 Tahun 2014 adalah sebagai berikut pH 6-9, TSS 200 mg/L, TDS 2000 mg/L, COD 100 mg/L, BOD 50 mg/L, Pb 0,1 mg/L, Cu 2,0 mg/L, dan Cd 0,05 mg/L. Hasil pengukuran air limbah awal menunjukkan nilai pH, COD, BOD, Pb, Cu, dan Cd masih diluar baku mutu. Percobaan awal telah dilakukan dengan adsorpsi untuk menganalisis nilai pH, COD, BOD dan logam Pb. Nilai pH, COD dan BOD sudah memenuhi baku mutu pada

percobaan awal yaitu pH 6,94, COD 31 mg/L, dan BOD 13 mg/L namun nilai logam Pb masih diluar baku mutu yaitu 0,3 mg/L. Apabila air limbah tersebut langsung dibuang tanpa pengolahan lebih lanjut akan merusak lingkungan. Berdasarkan hasil pengujian parameter air limbah dan percobaan awal inilah maka penelitian ini akan difokuskan pada air limbah laboratorium yang mengandung logam berat Pb, Cu dan Cd.

Pencemaran yang disebabkan oleh logam berat sangat berbahaya bagi kesehatan manusia (Duan dkk., 2020). Logam Pb yang masuk ke dalam tubuh dapat menyebabkan terjadinya gangguan otot usus, gangguan sistem syaraf, gangguan pada sistem reproduksi, dapat merusak ginjal dan mengganggu proses pembentukan darah. Paparan logam Cu di dalam tubuh dapat menyebabkan toksisitas yang akut jika tertelan, dapat menyebabkan kerusakan kulit dan mata yang serius serta menyebabkan iritasi. Sedangkan paparan logam Cd pada tubuh dapat menyebabkan kerusakan ginjal, penyakit paru-paru, kanker paru-paru, kerusakan tulang, menaikkan tekanan darah, serta kanker (Nandal dkk., 2014).

Kandungan logam berat yang melebihi standar baku mutu harus diolah sedemikian rupa hingga memenuhi syarat baku mutu. Penelitian mengenai cara mereduksi kandungan logam berat pada air limbah laboratorium telah banyak dilakukan. Metode yang digunakan pun beraneka ragam antara lain dengan metode ekstraksi, ultrafiltrasi, osmosis balik, adsorpsi, elektrodialisis, *ion exchange* dan dengan menggunakan membran. Hasil yang diperoleh beragam sesuai dengan karakteristik dari air limbah yang diolah. Pemilihan akan metode dan bahan yang akan dipakai untuk mereduksi logam berat harus memperhatikan banyak faktor terutama harus efektif dan efisien. Saat ini metode yang paling banyak digunakan karena dinilai efektif, sederhana dan murah adalah metode adsorpsi dengan menggunakan adsorben seperti karbon aktif dan zeolit (Elboughdiri, 2020). Pengolahan air limbah dengan metode adsorpsi mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan metode lainnya diantaranya prosesnya ekonomis dan fleksibel, mempunyai kinerja yang baik, ramah lingkungan, serta dapat diregenerasi. Jenis adsorben yang dapat digunakan pada metode adsorpsi cukup banyak seperti karbon aktif, abu batu bara, tanah liat, dan zeolit (Setiawan dkk., 2021).

Karbon aktif merupakan bahan yang efektif untuk mereduksi logam berat pada proses pengolahan air limbah (Mariana dkk., 2021). Kapasitas adsorpsi yang tinggi dari karbon aktif disebabkan karena ukuran partikel yang kecil, luas permukaan internal besar, dan memiliki valensi bebas yang aktif (Angin dkk., 2017). Karbon aktif mempunyai banyak sekali ruang pori dengan ukuran tertentu dimana partikel dengan ukuran yang sangat halus akan tertangkap dan terjebak di dalamnya. Karbon aktif yang berasal dari tempurung kelapa adalah salah satu karbon aktif yang murah dan efisien (Sulistiyanti dkk., 2018). Zeolit merupakan adsorben yang efektif dalam mereduksi logam berat terutama logam Cd karena zeolit terdiri dari aluminosilikat (Choi dkk., 2016). Zeolit memiliki kemampuan pertukaran ion yang baik, mempunyai luas permukaan yang besar, dan bersifat hidrofilik sehingga sangat baik untuk menyerap logam Cd (Renu dkk., 2017). Berdasarkan referensi dari penelitian terdahulu, reduksi logam berat pada air limbah dapat menggunakan metode adsorpsi dengan beberapa jenis adsorben. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada reduksi kadar logam berat Pb, Cu, dan Cd pada air limbah laboratorium menggunakan metode adsorpsi dengan adsorben arang aktif atau zeolit sintetik yang telah diaktivasi.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Dari latar belakang diatas, permasalahan yang timbul antara lain :

- 1) Bagaimana pengaruh adsorben karbon aktif dan zeolit sintetik teraktivasi dalam menurunkan kadar logam berat Pb, Cu, dan Cd pada air limbah sintetik?
- 2) Bagaimana karakteristik adsorben karbon aktif dan zeolit sintetik sebelum dan sesudah proses aktivasi?
- 3) Bagaimana pengaruh dosis adsorben karbon aktif dan zeolit sintetik teraktivasi dalam menurunkan kadar logam berat Pb, Cu, dan Cd pada air limbah sintetik?
- 4) Bagaimana pengaruh pH terhadap penurunan kadar logam berat Pb, Cu, dan Cd pada air limbah sintetik?
- 5) Bagaimana penurunan kadar logam berat Pb, Cu, dan Cd pada air limbah laboratorium dengan menggunakan adsorben, dosis, dan pH optimum?

- 6) Bagaimana *isotherm* adsorpsi yang sesuai untuk menggambarkan proses reduksi logam berat pada air limbah sintetik?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini antara lain :

- 1) Mempelajari dan menganalisis pengaruh jenis adsorben karbon aktif dan zeolit sintetik dalam menurunkan kadar logam berat Pb, Cu, dan Cd pada air limbah sintetik.
- 2) Menganalisis karakteristik adsorben karbon aktif dan zeolit sintetik sebelum dan sesudah proses aktivasi.
- 3) Mempelajari dan menganalisis pengaruh dan menentukan dosis adsorben karbon aktif dan zeolit sintetik yang paling efektif dalam menurunkan kadar logam berat Pb, Cu, dan Cd pada air limbah sintetik.
- 4) Mempelajari dan menganalisis pengaruh pH dalam menurunkan kadar logam berat Pb, Cu, dan Cd pada air limbah sintetik.
- 5) Mengaplikasikan kondisi optimum dari adsorben, dosis, dan pH dalam menurunkan kadar logam berat Pb, Cu, dan Cd pada pengolahan air limbah laboratorium.
- 6) Mempelajari, menganalisis dan mengkaji jenis *isotherm* adsorpsi yang sesuai untuk menggambarkan proses reduksi logam berat pada air limbah sintetik.

### 1.4. Hipotesa

Adapun hipotesa dari penelitian ini adalah :

- 1) Karbon aktif lebih efektif dalam menurunkan kadar logam berat Pb, Cu, dan Cd pada air limbah laboratorium.
- 2) Semakin besar dosis adsorben maka persentase penurunan kadar logam berat akan semakin besar.
- 3) Proses adsorpsi akan berlangsung lebih efektif pada pH 7 (Elboughdiri, 2020).
- 4) Kondisi optimum pada air limbah sintetik dapat diterapkan untuk mengolah air limbah laboratorium sehingga diharapkan dapat memenuhi baku mutu.
- 5) Isoterm adsorpsi penurunan kadar logam berat mengikuti tipe isoterm Langmuir (Eletta dkk., 2021).

### **1.5. Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah :

- 1) Parameter uji yang diukur kadar logam berat Pb, Cu, dan Cd dari air limbah sintetik dan air limbah laboratorium.
- 2) Penelitian dilakukan dengan skala laboratorium dan sistem batch dengan menggunakan air limbah yang berasal dari Laboratorium Oseanografi dan Instrumentasi Jurusan Ilmu Kelautan FMIPA Universitas Sriwijaya.
- 3) Jenis adsorben yang digunakan dalam penelitian adalah karbon aktif dan zeolit sintetik yang telah diaktivasi.

### **1.6. Manfaat Penelitian**

Adapun beberapa manfaat dari penelitian ini adalah :

- 1) Memperoleh informasi dan pengetahuan mengenai metode adsorpsi dalam pengolahan air limbah laboratorium dan mengetahui jenis adsorben yang paling efektif untuk mereduksi logam berat Pb, Cu, dan Cd pada air limbah laboratorium dengan metode adsorpsi.
- 2) Memberikan alternatif adsorben bagi lembaga pendidikan dalam melakukan pengolahan air limbah laboratorium dengan metode adsorpsi untuk mengurangi pencemaran lingkungan sekitar.
- 3) Menambah informasi dan referensi untuk pengembangan bagi penelitian-penelitian serupa mengenai metode adsorpsi dengan adsorben karbon aktif dan zeolit sintetik yang telah diaktivasi dalam mereduksi logam berat pada air limbah laboratorium.



## DAFTAR PUSTAKA

- Adhani, R., dan Husaini. 2017. *Logam Berat Sekitar Manusia*. Lambung Mangkurat University Press, Banjarmasin. ISBN : 978-602-6483-47-8.
- Auerbach, S.M., Carrado, K.A., dan Dutta, P.K. 2003. *Handbook of Zeolite Science and Technology*. Marcel Dekker, Inc. ISBN : 0-8247-4020-3
- Angin, D., Dan Sarikulce, S. 2017. The Effect of Activation Temperature on Properties of Activated Carbon Prepared from Wine Industry Pressing Waste. *Desalination and Water Treatment* 73:373-379.
- Agustina, T.E., Faizal, M., Aprianti, T., Teguh, D., dkk. 2018. Pengolahan Limbah Logam Berat Kromium Hexavalen Menggunakan Reagen Fenton dan Adsorben Keramik Zeolit. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. Volume 13 No.1 Hlm. 60-69. ISSN 1412-5064.
- Aryani, F., Mardiana, F., dan Wartomo. 2019. Aplikasi Metode Aktivasi Fisika dan Aktivasi Kimia pada Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocos Nucifera L.*). *Indonesian Journal of Laboratory Vo.1 (2) 2019, 16-20*.
- Ali. R.M., Hendrawati, T.Y., Ismiyati, dan Fithriyah, N.H. 2020. Pengaruh jenis adsorben terhadap efektifitas penurunan kadar timbal limbah cair recycle aki bekas. *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta* Volume 12 No.1 januari 2020.
- Atkin, P. 2006. *Physical Chemistry*. Oxford University Press. ISBN 10 : 0198700725. Inggris.
- Ambroz, F., Macdonald, T.J., Martis, V., dan Parkin, I.P. 2018. Evaluation of the BET Theory for Characterization of Meso and Microporous MOFs. *Journal Small Methods*, 2, 1800173.
- Azamia, M. 2012. Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Kimia dalam Penurunan Kadar Organik serta Logam Berat Fe, Mn, Cr dengan Metode Koagulasi dan Adsorpsi. *Univeritas Indonesia Library*.

- Aidha N. 2013. Aktivasi Zeolit secara Fisika dan Kimia untuk Menurunkan Kadar Kesadahan (Ca dan Mg) dalam Air Tanah. *Jurnal Kimia Kemasan*, Volume 35 No.1 April 2013 : 58-64.
- Eletta, O.A.A., Ayandele, F.O., dan Ighalo, J.O. 2021. Adsorption of Pb(II) and Fe(II) by Mesoporous Composite Activated Carbon From Tithonia Diversifolia Stalk and Theobroma Cacao Pod. *Biomass Conversion and Biorefinery*. July 2021.
- Bakti, A. I., Gareso, P.L., dan Rauf, N. 2018. Characterization of Active Carbon from Coconut Shell using X-Ray Diffraction (X-RD) and SEM-EDX Techniques. *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA)* Volume 8, Issue 2, December 2018.
- Bunaciu, A.A., Udristioiu, E.G., dan Aboul-Enein, H.Y. 2015. X-Ray Diffraction : Instrumentation and Applications. *Critical Reviews in Analytical Chemistry* (2015) 45, 289-299.
- Cecen, F., dan Aktas, O. 2012. *Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment. Integration of Adsorption and Biological Treatment*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA, Jerman. ePDF ISBN : 978-3-527-63946-5
- Chun-Tao, H., Zhang, HR., Bo Li, J., dan Yi Ding, W. 2015. Biomass Based Activated Carbon Obtained from Sludge and Sugarcane Bagassa for Removing Lead Ion from Wastewater. *Journal Bioresource Technology*.
- Choi, H.J., Yu, S.W dan Kim, K.H. 2016. Efficient Use of Mg-Modified Zeolite in The Treatment Of Aqueous Solution Contaminated With Heavy Metal Toxic Ions. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 63, 482-489.
- Chowdhury, Z.K., Summers, R.S., Westerhoff, G.P., Leto, B.J., Nowack, K.O., dan Corwin, C.J. 2013. *Activated Carbon : Solution for Improving Water Quality*. American Water Works Association. ISBN-13 print : 978-1-58321-907-2.
- Dula, T., dan Nefo, T. 2019. Removal Methods of Heavy Metals from Laboratoroty Wastewater. *Journal of Natural Sciences Research*. ISSN 2224-3186. Vol.9 No.2. 2019.

- Daffalla, S.B., Mukhtar, H., dan Shaharun, M.S. 2012. Effect of Organic and Inorganic Acid Pretreatment on Structural Properties of Rice Husk and Adsorption Mechanism of Phenol. *Int. J Chem and Environ Eng* 3(3): 192-200.
- Duan, C., Ma, T., Wang, J., dan Zhou, Y. 2020. Removal Of Heavy Metals From Aqueous Solution Using Carbon-Based Adsorbents : A Review. *Journal Of Water Process Engineering* 37 (2020) 101339.
- Do, D.D. 1998. *Adsorption Analysis : Equilibria and Kinetics*. Imperial College Press, London. ISBN 1-86094-130-3.
- Dewi, R., Azhari, dan Nofriadi, I. 2020. Aktivasi Karbon Aktif dari Kulit Pinang dengan Menggunakan Aktivator Kimia KOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 9:2 (Nopember 2020) 12-22.
- Deritawati, Waliyadin, Rasyid. R., dan Nurjannah, N. 2017. Pemanfaatan Lignin dari Limbah Kulit Buah Coklat sebagai Adsorben Logam Cu dengan Penambahan CaCO<sub>3</sub>. *Journal of Chemical Process Engineering*. Vol.092, No. 02, Nov-2017.
- Efiyanti, L., Aprianty, W., dan Maslahat, M. 2020. Pembuatan dan Analisis Karbon Aktif dari Cangkang Buah dengan Proses Kimia dan Fisika. *Jurnal Ilmu Kehutanan* 14 (2020).
- Elboughdiri, N. 2020. The Use of Natural Zeolite to Remove Heavy Metals Cu (II), Pb (II) and Cd (II) from Industrial Wastewater. *Cogent Engineering* 7:1, 1782623.
- Einschlag, F.S.G., dan Carlos, L. 2013. *Waste Water – Treatment Technologies and Recent Analytical Developments*. Intech Publisher, Croatia. ISBN 978-953-51-0882-5.
- Eletta, O.A., Ayandele, F.O., dan Ighalo, J.O. 2021. Adsorption of Pb(II) and Fe(II) by Mesoporous Composite Activated Carbon from Tithonia Diversifolia Stalk and Theobroma Cacao Pod. *Biomass Conversion and Biorefinery Journal*.

- Fajri, A. 2018. Pengolahan Limbah Laboratorium Kimia dengan Sistem Penyaringan Sederhana. *Journal Of Sainstek*.
- Faust, D.S., dan Aly, M.O. 1987. *Adsorption Process for Water Treatment*. Butterworth Publisher Stoneham, Amerika Serikat. ISBN 0-409-90000-1.
- Fithry, D.A. 2017. *Kemampuan Adsorpsi Batang Jagung (Zea Mays) Yang Termodifikasi Asam Nitrat (HNO<sub>3</sub>) Terhadap Logam Berat Ion Cuprum (Cu<sup>2+</sup>) Pada Kolom Adsorpsi Secara Kontinu*. Tesis. Program Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik, USU, Medan.
- Gultom, E.R., dan Lubis, M.T. 2014. Aplikasi Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Aktivator H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> untuk Penyerapan Logam Berat Cd dan Pb. *Jurnal Teknik Kimia USU* Volume 3 No. 1 Maret 2014.
- Hatina, S. 2015. Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu dengan Menggunakan HCl sebagai Aktivator untuk Mengurangi Dampak Lingkungan dari Limbah Industri Tahu. *Jurnal Kinetika* Volume 6.
- Hegazi, H. A. 2013. Removal of Heavy Metals from Wastewater Using Agricultural and Industrial Wastes as Adsorbents. Housing and Building National Research Center. *HBRC Journal* (2013) 9, 276-282.
- Haura, U., Razi, F., dan Meilina, H. 2017. Karakterisasi Adsorben dari Kulit Manggis dan Kinerjanya pada Adsorpsi Logam Pb(II) Dan Cr(VI). *Biopropal Industri* Volume 8 No. 1 Juni 2017.
- Halim, A., Romadon, J., dan Achyar, M. Y. 2021. Pembuatan Adsorben dari Sekam Padi sebagai Penyerap Logam Berat Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) dalam Air Limbah. *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal*. Vol 3 Edisi 2 tahun 2021.
- Ibrahim, Martin, A., dan Nasruddin. 2014. Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif Berbahan Dasar Cangkang Sawit dengan Metode Aktivasi Fisika Menggunakan Rotary Autoclave. *Jom FTEKNIK* Volume 1 No. 2 Oktober 2014.

- Irnameria, D. 2020. Karakterisasi Karbon Aktif dari Limbah Kulit Durian pada Suhu Karbonisasi 300 °C Menggunakan Zat Activator Natirum Hidroksida Dan Asam Sulfat. *Journal of Nursing and Public Health* Vol 8 April 2020.
- Karimah, M., dan Sudibandriyo, M. 2013. Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Baku Ampas Tebu dengan Aktivasi Termal Menggunakan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) dengan Variasi Laju Alir dan Temperatur Aktivasi. *Jurnal Fakultas Teknik UI*.
- Karib, M., Kabbani, A., Holail, H., dan Olama Z. 2014. Heavy Metals Removal Using Activated Carbon, Silica and Silica Activated Carbon Composite. *Energy Procedia* 50 (2014) 113-120.
- Kavand, M., Eslami, P., dan Rازه, L. 2020. The Adsorption of Cadmium and Lead Ions from the Synthesis Wastewater. *Journal of Water Process Engineering* 34 (2020) 101151.
- Lakherwal, D. 2014. Adsorption of Heavy Metals : A Review. *Internasional Journal of Environmental Research and Development*. ISSN 2249-3131 Volume 4, Number 1 (2014), pp.41-48.
- Linda, T., Sugiarti, S., dan Rohaeti, E. 2015. Sintesis Zeolit dan Komposit Zeolit/Tio<sub>2</sub> dari Kaolin serta Uji Adsorpsi-Fotodegradasi Biru Metilena. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia*, Vol. 11 (2015), No. 2, Hal. 147-162.
- Mandal, S., Calderon, J., Marpu, S.B., Omary, M.A., dan Shi, S.Q. 2021. Mesoporous Activated Carbon as A Green Adsorbent for the Removal of Heavy Metals and Congo Red : Characterization, Adsorption Kinetics, and Isotherm Studies. *Journal of Contaminant Hydrology* 243 (2021) 103869.
- Mariana, Khalil, A.H.P.S., Mistar, E.M., Yahya, E.B., Alfatah, T., Danish, M., dan Amayreh, M. 2021. Recent advanceds in activated carbon modification techniques for enhanced heavy metal adsorption. *Journal of Water Process Engineering* 43 (2021) 102231.
- Maulana, G. G., Agustina L., dan Susi. 2017. Proses Aktivasi Arang Aktif dari Cangkang Kemiri (*Aleurites Moluccana*) dengan Variasi Jenis dan

- Konsentrasi Aktivator Kimia. *Ziraa'ah Volume 42 Nomor 3, Oktober 2017*. e-ISSN 2355-3545.
- Masthura dan Zulkarnain. 2018. Karakterisasi Mikrostruktur Karbon Aktif Tempurung Kelapa dan Kayu Bakau. *Journal of Islamic Science and Technology* Vol.4 No.1 Juni 2018.
- Metcalf dan Eddy, 1991. *Wastewater Engineering*, International Edition, The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Metcalf dan Eddy, 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuses Fourth Edition*. The McGraw-Hill Companies, Inc. EISBN 0 07 112250.8
- Mistar, E.M., Alfatah, T., dan Supardan, M.D. 2020. Synthesis and Characterization of Activated Carbon from *Bambusa Vulgaris Striata* Using Two-Step Activation. *Journal of Materials Research and Technology*. 2020.9(3)6278-6286.
- Masruhin, Rasyid, R., dan Yani, S. 2018. Penjerapan Logam Berat Timbal (Pb) dengan Menggunakan Lignin Hasil Isolasi Jerami Padi. *Journal of Chemical Process Engineering*. ISSN = 2303-3401 Vol. 03, No.01, Mei 2018.
- Nandal, M., Hooda, R., dan Dhanial, G. 2014. Tea Waste as A Sorbent for Removal of Heavy Metals from Wastewater. *Internasional Journal of Current Engineering and Technology*. E-ISSN 2277-4106.
- Nafi'ah, R. 2016. Kinetika Adsorpsi Pb (II) dengan Adsorben Arang Aktif dari Sabut Siwalan. *Jurnal Farmasi Sains dan Praktis*. Volume 1 No.2 Februari 2016.
- Nurhayati, I., Sugito, dan Pertiwi, A. 2018. Pengolahan Limbah Cair Laboratorium dengan Adsorpsi dan Pretreatment Netralisasi dan Koagulasi. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. ISSN : 2085-1227. Vol 10 Nomor 2.
- Nurhayati, I., Vigiani, S., dan Majid, D. 2020. Penurunan Kadar Besi (Fe), Kromium (Cr), COD dan BOD Limbah Cair Laboratorium dengan Pengenceran, Koagulasi, dan Adsorpsi. *Jurnal Ecotrophic*. Volume 14 Nomor 1 Tahun 2020.

- Noor, I., Priatmadi, B., Fatmawati, dan Kissinger. 2020. Application Of Activated Charcoal From Palm Oil Shell For Cadmium (Cd) and Cooper (Cu) Heavy Metal Adsorption In Acid Mine Drainage. *EnviroSceintee* Vol.16. No.2.
- Nurohmah, L., Wulandari, P. A., dan Fathoni, R. 2019. Kemampuan Adsorpsi Logam Berat Cu dan Pb dengan Menggunakan Adsorben Kulit Jagung (*Zea Mays*). *Jurnal Chemurgy*, Vol 03, No.2 Desember 2019.
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. Jhon Wiley & Sons, Inc, New York.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.85 Tahun 1999 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No.5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah
- Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia No.145 Tahun 2014 tentang Petunjuk Teknis Jabatan Fungsional Pranata Laboratorium Pendidikan Dan Angka Kreditnya
- Patel, HR dan Padya, H. N. 2013. Liquid Waste Minimization in the Production of 4-Amino di-Phenylamine 2. *Journal Of Scientific & Innovative Research*.
- Patil, B.S., dan Kulkarni, K.S. 2012. Development of High Surface Area Activated Carbon from Waste Material. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies* E-ISSN2249–8974.
- Ramadhani, LF., Nurjanah, IM., Yulistiani, R., dan Saputro, EA. 2020. Review : Teknologi Aktivasi Fisika pada Pembuatan Karbon Aktif dari Limbah Tempurung Kelapa. *Jurnal Teknik Kimia* No.2, Volume 26, Juli 2020.
- Renu, Agarwal, M., dan Singh, K. 2017. Heavy Metal Removal From Wastewater Using Various Adsorbents : A Review. *Journal of Water Reuse and Desalination*. 07.4. 2017.

- Raziah, C., Putri, Z., Lubis, A.R., Zuhra, Suhendrayatna, dan Mulyati, S. 2017. Penurunan Kadar Logam Cd dalam Air menggunakan Adsorben Zeolit Alam Aceh. *Jurnal Teknik Kimia USU* Volume 6 No. 1 Maret 2017.
- Salam, A., Agustina, T.E., dan Mohadi, R. 2018. Photocatalytic Degradation Of Procion Red Synthetic Dye Using ZnO-Zeolite Composites. *International Journal Of Scientific & Technology Research*. 7 (8) :54-59.
- Sartika, N.D., Sa'id, E.G., Machfud, Sunarti, T.C., dan Pari, G. 2014. Kajian Pembuatan Arang Aktif Berbahan Baku Bagas Tebu Melalui Kombinasi Proses Karbonisasi Hidrotermal dan Aktivasi Kimia. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 24 (2):157-165 (2014).
- Stum, W., and Morgan, J. J. 2006. *Aquatic Chemistry : Chemical Equilibria in Natural Water., 3rd ed.*, John Willey and Sons., Inc., New York.
- Suryani, D.A., Hamzah, F., dan Johan, V.S. 2018. Variasi Waktu Aktivasi terhadap Kualitas Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *JOM FAPERTA UR* Vol.5 No.1 April 2018.
- Sahraeni, S., Syahrir, S., dan Bagus. 2019. Aktivasi Kimia Menggunakan NaCl pada Pembuatan Karbon Aktif dari Tanah Gambut. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat 2019* (pp.145-150).978-602-60766-7-0.
- Sasongko, A., Yulianto, K., dan Sarasti, D. 2017. Verifikasi Metode Penentuan Logam Kadmium (Cd) dalam Air Limbah Domestik dengan Metode Spektrofotometri Serapan Atom. *Jurnal Sains dan Teknologi* Volume 6 No. 2 Oktober 2017.
- Sayed, M.E.A. 2020. Nanosorbents for Water and Wastewater Remediation. *Journal Science of the Total Environment* 739 (2020) 139903.
- Setiawan, A., Rahmadania, A.N., dan Mayangsari, N.E. 2021. Adsorpsi Cu (II) Menggunakan Zeolit Sintetik Kombinasi Abu Terbang dan Abu Dasar dengan Variasi Waktu Aging. *Jurnal Riset Teknologi Industri* Vol.15 No.1 Juni 2021.



- Sumarni, Hindryawati, N., Alimuddin. 2018. Aktivasi dan Karakterisasi Zeolit Alam Menggunakan NaOH. *Jurnal Atomik.*, 2018, 03 (2) hal.106-110.
- Subramanian, K.S., Janavi, G.J., Marimuthu, S., dan Kannan, M. 1998. *A Textbook of Fundamentals and Applications of Nanotechnology*. Tamil Nadu Agricultural University, India.
- Sulistiyanti, D., Antoniker, dan Nasrokhah. 2018. Penerapan Metode Filtrasi dan Adsorpsi dalam Pengolahan Limbah Laboratorium. *EduChemia* Vol.3 No.2, 2018.
- Sari, T.I.W., Muhsin., dan Wijayanti, H. 2016. Pengaruh Metode Aktivasi pada Kemampuan Kaolin sebagai Adsorben Besi (Fe) Air Sumur Garuda. *Jurnal Konversi* Volume 5 No.2 Oktober 2016.
- Sari, A., dan Tuzen, M. 2014. Cd(II) Adsorption from Aqueous Solution by Raw and Modified Kaolinite. *Applied Clay Science* 88-89 (2014) 63-72.
- Sharma, S.K. 2015. *Heavy Metals in Water : Presence, Removal, and Safety*. ISBN: 978-1-84973-885-9. PDF eISBN: 978-1-78262-017-4. The Royal Society of Chemistry.
- Setiawan, Y. 2018. Preparasi dan Karakterisasi Nanozeolit dari Zeolit Alam Gunungkidul dengan Metode Top-Down. *Indo.J. Chem.Sci*, vol.7, no.1, pp. 43-49, 2018.
- Syauqiah, I., Nurandini, D., Prihatini, N.S., dan Simanjuntak, R.A. 2020. Analisis Pengaruh Dosis Adsorben Arang Aktif Sekam Padi pada Adsorpsi Logam Kadmium (Cd) dari Limbah Cair Sasirangan. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah*. Volume 5 Nomor 1 Halaman 84-87 April 2020.
- Sanjaya, A.S., dan Agustine, RP. 2015. Studi Kinetika Adsorpsi Pb menggunakan Arang Aktif dari Kulit Pisang. *Jurnal Konversi*, Volume 4 No. 1 April, 2015.
- SNI 06-6989.6-2004. Air dan Air Limbah-Bagian 6 : Cara Uji Tembaga (Cu) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala.

- SNI 06-6989.8-2004. Air dan Air Limbah-Bagian 8 : Cara Uji Timbal (Pb) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala.
- SNI 06-6989.8-2004. Air dan Air Limbah-Bagian 16 : Cara Uji Kadmium (Cd) dengan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala
- Tim LPPT UGM. 2014. Spektrofotometri Serapan Atom. Buku Panduan LPPT UGM 2014
- Undang-Undang RI No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
- Wang, Y., Wang, X., dan Liu, M. 2013. Adsorption of Pb (II) from Aqueous Solution to Ni-doped Bamboo Charcoal. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 19 (2013) 353-359.
- Widiyatno, T., Yuliawati, T., dan Susilo, AA. 2017. Adsorpsi Logam Berat (Pb) dari Limbah Cair dengan Adsorben Arang Bambu Aktif. *Jurnal Teknologi Bahan Alam*. Volume 1 No.1. ISSN 2407-8476.
- Widodo, L.S., Najah, S., dan Istiqomah, C. 2020. Pembuatan Adsorben Berbahan Baku Tanah Liat dari Milbah Industri Pencucian Pasir Silika dengan Perbedaan Konsentrasi HCl dan Waktu Aktivasi. *Journal of Research and Technology*, Vol.6. No.1 Juni 2020.
- Wijayanti, I.E., Kurniawati, E.A. 2019. Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben. *Jurnal Kimia dan Pendidikan (EduChemia)* vol 4, No.2 tahun 2019.
- Wijaya, D.R.P., Martono, Y., dan Riyanto, C.A. 2018. Synthesis and Characterization of Nano Activated Carbon Tea Waste (*Camellia sinensis* L.) Viewed from the Content and Ratio of Orthophosphoric Acid. *IJCR- Indonesian Journal of Chemical Research* Vol. 3, No. 2, Hal. 12-21.
- Yuliusman. 2016. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Melalui Aktivasi Kimia dengan KOH dan Fisika Dengan CO<sub>2</sub>. *Seminar Nasional Teknik Kimia Soebardjo Brotohardjono XII PS. Teknik Kimia UPN "Veteran" Jawa Timur*. ISSN 1978-0427.

- Yang, R.T. 2003. *Adsorbents : Fundamentals and Applications*. A.John Wiley & Sons, Inc., Publication. ISBN 0-471-29741-0.
- Yang, X., Wan, Y., Zheng, Y., He, F., Yu, Z., Huang, J., Wang, S., Ok, Y.S., Jiang, Y., dan Gao, B. 2019. Surface Functional Groups of Carbon-Based Adsorbents and Their Roles in the Removal of Heavy Metals from Aqueous Solutions : a critical review. *Journal ChemEng*. 366 (2019) 608-621.
- Yoldi, M., Ordonez, F., Korili, S.A., dan Gil,A. 2019. Zeolite Synthesis from Industrial Wastes. *Microporous and Mesoporous Materials*. 287 (2019) 183-191.
- Yuan, M., Xie, T., Yan, G., Chen, Q., dan Wang, L. 2018. Effective Removal of Pb<sup>2+</sup> from Aqueous Solutions by Magnetically Modified Zeolite. *Powder Technology* 332 (2018) 234-241
- Yohana, N., Arifin, dan Destiarti, L. 2018. Pengolahan Limbah Laboratorium Lingkungan Fakultas Teknik dengan Kombinasi Proses Kimia dan Biologi. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah* Vol.6 No.1 Tahun 2018.
- Yusra, A., Yusnimar., dan Drastinawati. 2016. Penentuan Daya Jerap Karbon Aktif dari Meranti Merah Terhadap Ion Fe(III). *Jom FTEKNIK* Volume 3 No.2 Oktober 2016.
- Yustinah, Hudzaifah, Aprilia, M., dan Syamsudin. 2019. Keseimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) dengan Adsorben Tanah Diatomit secara Batch. *Jurnal KONVERSI*. Volume 9 No.1 Januari 2019. ISSN : 2252-7311.