

TESIS
REDUKSI POLUTAN AIR LIMBAH BATUBARA
MENGGUNAKAN *MORINGA OLEIFERA* DAN CAMPURAN
BIOKOAGULAN ALAMI



M. ILHAM FADLI
03012622327001

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024

TESIS
REDUKSI POLUTAN AIR LIMBAH BATUBARA
MENGGUNAKAN *MORINGA OLEIFERA* DAN CAMPURAN
BIOKOAGULAN ALAMI

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



M. ILHAM FADLI
03012622327001

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024

HALAMAN PENGESAHAN

REDUKSI POLUTAN AIR LIMBAH BATUBARA MENGGUNAKAN *MORINGA OLEIFERA* DAN CAMPURAN BIOKOAGULAN ALAMI

TESIS

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

Telah disetujui Pada
Tanggal Juli 2024

Palembang, Juli 2024
Menyetujui,
Pembimbing I



Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, IPU
NIP. 19561024 198103 2001

Pembimbing II,



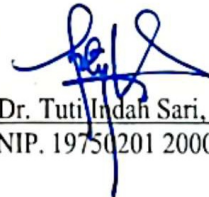
Prof. Dr. Ir. H. M. Djoni Bustan, M.Eng, IPU
NIP. 19560307 198103 1010

Mengetahui,



Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM
NIP. 19750211 200312 1002

✓ Ketua Jurusan Teknik Kimia,



Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.
NIP. 19750201 200012 2001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Laporan Tesis ini dengan judul “Reduksi Polutan Air Limbah Batubara menggunakan *Moringa Oleifera* dan Campuran Biokoagulan Alami” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 15 Juli 2024.

Palembang, Juli 2024

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Laporan

TesisKetua :

1. Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T

NIP.197502012000122001

()

Anggota :

1. Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc

NIP.195606041986021001

()

2. Dr. David Bahrin, S.T., M.T

NIP.198010312005011003

()

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya



Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T., M.T., IPM

NIP. 19670615 199512 1002

✓ Ketua Jurusan Teknik Kimia,


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

NIP. 19750201 200012 2001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : M. Ilham Fadli

NIM : 03012622327001

Judul : Reduksi Polutan Air Limbah Batubara menggunakan *Moringa Oleifera*
dan Campuran Biokoagulan Alami

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 sada dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Juli 2024

Yang Membuat Pernyataan,



M. Ilham Fadli

NIM. 03012622327001

RINGKASAN

REDUKSI POLUTAN AIR LIMBAH BATUBARA MENGGUNAKAN *MORINGA OLEIFERA* DAN CAMPURAN BIOKOAGULAN ALAMI

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 15 Juli 2024

M. Ilham Fadli, Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, IPU dan Prof. Dr. Ir. H. M. Djoni Bustan, M.Eng, IPU.

Reducing Pollutants in Coal Wastewater with *Moringa oleifera* and Natural Biocoagulants Combination

xvii + 72 halaman, 12 Tabel, 13 Gambar, 2 Lampiran

RINGKASAN

Proses pengolahan air limbah *medium rank coal* dalam mereduksi kandungan polutan dengan teknologi koagulasi-flokulasi menggunakan biokoagulan. Pada penerapan metode ini menggunakan serbuk biji kelor (*Moringa oleifera*) sebagai biokagulan utama, limbah kulit pisang ambon (*Musa paradisiaca var* sebagai biokoagulan pendukung dengan mencampurkan biokoagulan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan efektifitas bahan biokoagulan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan maupun limbah yang ada dilingkungan sebagai alternatif menggantikan penggunaan bahan kimia seperti Tawas (Alumunium Sulfat) yang berbahaya bagi lingkungan. Hasil penelitian didapatkan dosis optimum biokoagulan kelor sebanyak 1 g/L, dengan komposisi perbandingan koagulan kelor:koagulan alami pendukung sebanyak 2:1, didapatkan hasil analisa dosis optimum kelor komersil dengan penambahan biji pepaya dengan ukuran partikel koagulan alami sebesar 100 mesh, pengadukan cepat 100 rpm selama 30 detik, pengadukan lambat 30 rpm selama 10 menit dan sedimentasi selama 30 menit didapatkan persentase hasil penurunan polutan air limbah batubara yaitu: *Turbidity* sebesar 99,26%, *Total Suspended Solid* (TSS) sebesar 99,11%, penurunan logam berat Besi (Fe) dan Mangan (Mn) masing-masing sebesar sebesar 98,71 % dan 99,88%.

Kata Kunci: Koagulasi, Flokulasi, Air limbah batubara, Polutan, *Moringa Oleifera*, Kulit Pisang Ambon, Biji Pepaya

SUMMARY

REDUCING POLUTAN IN COAL WASTEWATER WITH *MORINGA OLEIFERA* AND NATURAL BIOCOAGULANTS COMBINATION

Scientific Paper in the form of Tesis Research Report, 15 Juli 2024

M. Ilham Fadli, Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, IPU dan Prof. Dr. Ir. H. M.Djoni Bustan, M.Eng, IPU.

Reduksi Polutan air Limbah Batubara Menggunakan *Moringa Oleifera* dan Campuran Biokoagulan Alami

xvii + 72 pages, 12 Tables, 13 Pictures, 2 Attachments

SUMMARY

The wastewater treatment procedure for medium rank coal involves the use of coagulation-flocculation technology with bio coagulants to effectively lower the level of pollutants. This approach utilizes *Moringa oleifera* seed powder as the primary bio coagulant, along with papaya seeds (*Carica papaya* Linn) and (Ambon banana peel waste (*Musa paradisiaca* var) as a secondary bio coagulant, which is mixed with the primary bio coagulant. The objective of this study is to identify the properties and efficacy of bio coagulant substances derived from plants and garbage. Present in the ecosystem as a substitute for the utilization of substances like Alum (Aluminum Sulfate) that have detrimental effects on the environment. The research findings indicated that the most effective dosage for blending bio coagulants was 1 gram per liter, with a composition ratio of 2 parts main bio coagulant to 1 part supporting bio coagulant. This combination yielded optimal analysis results. Commercial Moringa Seed Powder was incorporated into Papaya Seeds using a bio coagulant particle size of 100 mesh. The mixture was vigorously stirred at a speed of 100 rpm for 30 seconds, followed by gradual stirring at 30 rpm for 10 minutes. Afterward, the mixture was left for 30 minutes to allow sedimentation. The water pollutant reduction analysis yielded the following results: decrease of turbidity and Total Suspended Solid (TSS) by 99.26% and 99.11%, a decrease of heavy metals Iron (Fe) and Manganese (Mn) by 98.71% and 99.88% respectively.

Keywords: coagulation, flocculation, coal wastewater, pollutants, bio coagulant, *Moringa oleifera*, banana peel waste, papaya seeds

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan atas kehadiran Allah SWT atas berkat rahmat dan hidayahnya sehingga saya dapat menyelesaikan Laporan Tesis yang berjudul “Reduksi Polutan Air Limbah Batubara menggunakan *Moringa Oleifera* dan Campuran Biokoagulan Alami” dapat diselesaikan dengan baik. Isi Laporan tesis ini diharapkan dapat bermanfaat dan berguna bagi pembaca dan semogapemanfaatan tanaman kelor yang berada di alam dapat menjadi salah satu alternatif atau acuan dalam menjaga lingkungan khususnya dalam penanganan air limbah batubara.

Laporan tesis ini dibuat sebagai salah satu syarat yang harus dilewati dan dikerjakan untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Program Studi Teknik Kimia BKU Teknologi Lingkungan Program Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Besar harapan penulis agar Laporan tesis ini dapat bermanfaat secara nyata bagi kehidupan, dan diharapkan mahasiswa dapat mempelajari dan memahami aplikasi ilmu dibangku kuliah dalam kehidupan nyata. Laporan tesis ini tidak terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih diberikan penulis kepada:

1. Orang tua dan keluarga tercinta yang telah memberikan doa, semangat, dan motivasi yang sehingga proposal tesis ini dapat diselesaikan dengan baik.
2. Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
4. Dr. Selpiana, S.T., M.T., selaku Ketua Program studi Magister Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
5. Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, IPU selaku dosen pembimbing tesis ke-I yang selalu memberikan bimbingan dan arahan hingga pengerjaan tesis berjalan lancar.
6. Prof. Dr. Ir. H.M. Djoni Bustan, M.Eng, IPU selaku dosen pembimbing tesis ke-II yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam pengerjaan tesis sehingga berjalan dengan lancar.
7. Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., dan Dr. David Bahrin, S.T., M.T. selaku penguji tesis karena telah turut serta dalam membantu, mengarahkan, dan memberi ilmu agar tesis menjadi lebih baik.
8. Rianya Gayatri, S.T., M.T., PhD selaku rekan sepemikiran yang selalu memberikan

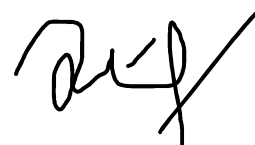
masukan dan diskusi dalam pengerjaan tesis sehingga berjalan dengan lancar.

9. Adhe Syaiful Rahman, S.T selaku Kepala Departemen *Quality Control* PT. Green Core International yang telah memberikan bimbingan dan arahan dalam pengerjaan tesis dapat berjalan dengan lancar.
10. Aryana C. Triapsila, S.T selaku Penanggungjawab Teknik dan Lingkungan yang telah memberikan bimbingan dan arahan sehingga pengerjaan tesis dapat berjalan lancar.
11. Noveriansyah, S.T., M.T selaku Manager Produksi Perumda Tirta Musi Palembang yang telah memberikan bimbingan dan arahan sehingga pengerjaan tesis dapat berjalan dengan lancar.
12. Nur Komalasari selaku Asisten Manager Laboratorium Perumda Tirta Musi Palembang yang telah memfasilitasi kegiatan penelitian.
13. Arfani, Dedy, Nelly, Andre, Faisal serta karyawan Perumda Tirta Musi Palembang yang telah meberikan masukan, pemahaman dan diskusi seputar proses pengolahan air, yang awalnya saya tidak paham menjadi sedikit lebih paham.
14. Laras selaku admin prodi Magister Teknik Kimia yang selalu membantu proses administrasi selama pengerjaan tesis.
15. Teman-teman seperjuangan Magister Teknik Kimia 2022 dan teman-teman terdekat serta semua pihak yang selalu memberikan dukungan dan semangat yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhir kata diharapkan kritik dan saran yang bersifat ilmiah dan membangun agar Laporan Tesis ini dapat lebih bermanfaat sebagaimana mesti.

Palembang, Juli 2024

Hormat Saya,



M. Ilham Fadli

DAFTAR ISI

	Halaman
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.....	xv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN.....	xvi
DAFTAR SIMBOL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Hipotesa.....	6
1.6 Ruang Lingkup.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Air Limbah Industri Batubara.....	7
2.1.1 Karakteristik Air Limbah Industri Batubara.....	8
2.1.1.1 Karakteristik Fisika.....	8
2.1.1.2 Karakteristik Kimia.....	9
2.1.1.3 Karakteristik Biologi.....	9
2.2 Klasifikasi Batubara.....	10
2.2.1 <i>American Society for Testing and Materials (ASTM)</i>	10
2.2.2 <i>National Coal Board (NCB)</i>	12
2.2.3 <i>International Standard Organization (ISO)</i>	13
2.3 Tanaman Kelor (<i>Moringa Oleifera</i> L.).....	14

2.3.1	Deskripsi Tanaman Kelor (<i>Moringa Oleifera</i>)	15
2.3.2	Komposisi Tanaman Kelor (<i>Moringa Oleifera</i>)	16
2.3.3	Koagulan Alami Pencampuran	17
2.3.3.1	Limbah Kulit Pisang Ambon (<i>Musa paradisiaca var.sapientum</i>).....	17
2.3.3.2	Biji Pepaya (<i>Carica papaya Linn</i>)	18
2.4	Penggolongan Pengolahan Air Limbah.....	19
2.4.1	Pengolahan Secara Fisika.....	19
2.4.2	Pengolahan Secara Kimia	20
2.4.3	Pengolahan Secara Biologis.....	22
2.5	Penelitian Terdahulu.....	22
BAB III METODELOGI PENELITIAN		
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.2	Bahan dan Peralatan Penelitian.....	27
3.2.1	Bahan Penelitian.....	27
3.2.2	Peralatan Penelitian	27
3.3	Rancangan Penelitian.....	28
3.3.1	Variabel dan Matriks Penelitian	28
3.3.1.1	Variabel Penelitian.....	28
3.3.2	Prosedur Penelitian.....	29
3.3.2.1	Karakteristik Tanaman Kelor (<i>Moringa Oleifera</i>).....	29
3.3.2.2	Preparasi Biji Kelor, Kulit Pisang Ambon dan Biji Pepaya	29
3.3.2.3	Pengambilan Sampel Air Limbah <i>Medium Rank Coal</i>	29
3.3.3	Pengukuran Parameter.....	30
3.3.3.1	Pengukuran Kekeruhan (<i>Turbidity</i>)	30
3.3.3.2	Pengukuran Derajat Keasaman (pH).....	30
3.3.3.3	Pengukuran <i>Conductivity</i> dan <i>Total Dissolved Solid (TDS)</i>	30
3.3.3.4	Pengukuran <i>Total Suspended Solid (TSS)</i>	30
3.3.3.5	Pengukuran Kadar Besi (Fe).....	31
3.3.3.6	Pengukuran Kadar Mangan (Mn)	31
3.4	Analisis Data.....	32
3.5	Diagram Alir Penelitian.....	33

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Karakteristik Air Limbah Batubara.....	35
4.2	Karakteristik Koagulan Alami.....	36
4.2.1	Preparasi Koagulan Alami.....	36
4.3	Pengaruh Dosis Biji Kelor (<i>Moringa oleifera</i>).....	37
4.3.1	Pengaruh terhadap nilai Kekeruhan (<i>turbidity</i>).....	37
4.3.2	Pengaruh terhadap nilai TDS dan EC.....	38
4.3.3	Pengaruh terhadap nilai <i>Total Suspended Solid</i> (TSS).....	40
4.3.4	Pengaruh terhadap logam berat.....	42
4.4	Efektifitas Penambahan Koagulan Kelor dengan Limbah Buah-buahan.....	45
4.4.1	Pengujian Bahan Koagulan Alami.....	45
4.4.2	Penambahan <i>Carica papaya linn</i> pada <i>Moringa oleifera</i> L.....	47
4.4.3	Penambahan <i>Musa paradisiaca var</i> pada <i>Moringa oleifera</i> L.....	49

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan.....	52
5.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN.....		59

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Klasifikasi Batubara Menurut Standar ASTM.....	11
Tabel 2.2 Klasifikasi Batubara Menurut Standar NCB	12
Tabel 2.3 Klasifikasi batubara Menurut standar ISO.....	14
Tabel 4.1 Karakteristik Air Limbah Batubara	35
Tabel 4.2 Pengaruh Dosis <i>moringa oleifera</i> terhadap logam Mn.....	44
Tabel 4.3 Pebandingan Hasil Pengujian <i>turbidity</i> pada Koagulan Alami	46
Tabel 4.4 Pebandingan Hasil Pengujian <i>TSS</i> pada Koagulan Alami.....	46
Tabel 4.5 Pebandingan Hasil Pengujian <i>Total Fe</i> pada Koagulan Alami.....	46
Tabel 4.6 Penambahan Biji Pepaya pada <i>moringa oleifera (commercial)</i>	47
Tabel 4.7 Penambahan Biji Pepaya pada <i>moringa oleifera (local)</i>	47
Tabel 4.8 Penambahan Kulit Pisang Ambon pada <i>moringa oleifera (commercial)</i>	49
Tabel 4.9 Penambahan Kulit Pisang Ambon pada <i>moringa oleifera (local)</i>	49

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Morfologi tanaman kelor (a), Tanaman kelor (b), Daun kelor (c) Bunga kelor (d) Benih kelor.....	16
Gambar 2.2 Buah Pisang Ambon.....	17
Gambar 2.3 Buah Pepaya.....	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Preparasi Tanaman Kelor (<i>Moringa Oleifera</i>).....	33
Gambar 3.2 Diagram Alir Pengujian Sampel Air Limbah <i>Medium Rank Coal</i>	34
Gambar 4.1 Pengaruh Dosis Koagulan Terhadap kekeruhan (<i>turbidity</i>).....	37
Gambar 4.2 Pengaruh Dosis Koagulan Terhadap <i>Total Dissolved Solid</i> (TDS).....	39
Gambar 4.3 Pengaruh Dosis Koagulan Terhadap <i>Electrical Conductivity</i> (EC).....	39
Gambar 4.4 Pengaruh Dosis Koagulan Terhadap Derajat Keasaman (pH).....	40
Gambar 4.5 Pengaruh Dosis Koagulan <i>Total Suspended Solid</i> (TSS).....	41
Gambar 4.6 Pengaruh Dosis Koagulan Terhadap Logam Besi (Fe).....	43
Gambar 4.7 Mekanisme Kation Protein Biji Kelor Pada Koagulasi/Flokulasi.....	44
Gambar 4.8 Penambahan Koagulan Limbah Kulit Pisang Ambon.....	51

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Data Karakteristik Air Limbah Batubara.....	59
Lampiran B. Gambar Dokumentasi Penelitian	60

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

ASTM	<i>American Society for Testing & Materials</i>
APHA	<i>American Public Health Association</i>
DO	<i>Dissolved Solid</i> Padatan Terlarut
EC	<i>Electrical Conductivity</i>
FC	<i>Fixed Carbon</i>
FSI	<i>Free Swelling Index</i>
ISO	<i>International Standard Organization</i>
NCB	<i>Nation Coal Board</i>
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Unit</i>
SDGs	<i>Sustainable Development Goals</i> Tujuan Pembangunan Berkelanjutan
SNI	Standar Nasional Indonesia
TDS	<i>Total Dissolved Solid</i>
TSS	<i>Total Suspended Solid</i>
VM	<i>Volatile Matter</i>

DAFTAR SIMBOL

A	Persen Penyisihan Parameter
B	Hasil Analisis Kualitas Air sebelum Perlakuan (Kontrol)
R	Hasil Analisis Kualitas Air sesudah Perlakuan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri pertambangan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap perekonomian dunia. Sumber daya pertambangan digunakan untuk berbagai tujuan, termasuk ornamen, perhiasan, kabel, keperluan bangunan, kendaraan, produksi listrik, aplikasi teknologi tinggi, dll (Marimuthu, dkk., 2021 and 40 CMTU).

Proses penambangan dan pemurnian sumber daya mineral membutuhkan air dalam jumlah besar, yang dilepaskan ke lingkungan setelah digunakan. Air limbah biasanya mengandung polutan organik beracun dengan kadar tinggi seperti reagen pengapung dan polutan anorganik seperti ion logam, yang biasanya melebihi batas pembuangan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) (S. Meißne., 2021).

Pembuangan air limbah pertambangan ke lingkungan telah menjadi perhatian utama masyarakat karena dapat dengan mudah mencemari sumber daya air dan berdampak negatif pada organisme hidup, termasuk manusia, hewan air, dan tanaman (Tomas dkk., 2022 dan Yaraghi dkk., 2020). Selain itu, pasokan air tawar merupakan tantangan di banyak bagian dunia, terutama di daerah kering dan semi-kering.

Air limbah dari usaha/kegiatan pertambangan batubara adalah air yang berasal dari aktifitas penambangan yang meliputi pengupasan lapisan tanah (*overburden*), penggalian, pengerukan, pengangkutan dan penyimpanan batubara yang berasal dari hulu meliputi tambang terbuka maupun tertutup dan hilir meliputi aktifitas pemuatan kargo batubara kedalam tongkang. Baku mutu air limbah batubara ditetapkan oleh pemerintah dengan mengacu pada SNI 6989 tahun 2019, APHA 5210 B tahun 2012 dan APHA 5220 D tahun 2017.

Air limbah yang dihasilkan oleh industri pertambangan batubara dilakukan pengolahan air sebelum dibuang ke lingkungan. Hal ini bertujuan agar air yang dibuang tersebut memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan oleh pemerintah dan tidak merusak biota air. Pada umumnya, proses pengolahan air limbah di industri pertambangan batubara sering menggunakan koagulan kimia berupa Tawas ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) dan Besi Klorida (FeCl_3). Penggunaan koagulan kimia ini merupakan salah 1 cara yang dapat dilakukan dalam proses penjernihan air sebelum dibuang ke lingkungan. Adapun keuntungan dalam penggunaan koagulan ini yaitu seperti harga yang ekonomis dan

mudah didapat. Akan tetapi penggunaan koagulan tawas ini cukup baik dalam jangka pendek, tetapi untuk jangka panjang sangat tidak dianjurkan karena berdampak pada masalah kesehatan seperti Alzheimer dan dampak lingkungan akibat buangan residu tawas (Pasymi., 2008).

Tanaman kelor (*moringa oleifera*) adalah salah satu jenis tanaman tropis yang mudah tumbuh di daerah tropis seperti Indonesia. Tanaman kelor merupakan tanaman berkayu lunak dengan ketinggian 4 - 10 m dan tumbuh subur dari dataran rendah sampai ketinggian 700 m di atas permukaan laut. Kelor dapat tumbuh pada daerah tropis dan subtropic pada semua jenis tanah dan tahan terhadap musim kemarau sampai 6 bulan (Mendieta-Araica et al., 2013).

Di Indonesia tanaman kelor dikenal dengan nama yang berbeda di setiap daerah, diantaranya kelor (Jawa, Sunda, Bali, Lampung), maronggih (Madura), moltong (Flores), kloro (Bugis), Ongge (Bima), murong atau barunggai (Sumatera) dan hau fo (Timur). Kelor atau yang dikenal dengan nama Drumstick yang merupakan tanaman asli gunung Himalaya bagian bagian barat laut India, Afrika, Arab, Amerika Selatan dan Asia Tenggara (Duke.,2001; Vanajakshi et al., 2015; Shah et al., 2015).

Pemanfaatan tanaman kelor sudah banyak digunakan dalam beberapa industri seperti bidang kesehatan, pangan, dan sebagai penjernihan air permukaan (air kolam, air Sungai, air danau sampai ke air Sungai) maupun air limbah kegiatan industri. Dalam penjernihan air bagian tanaman kelor yang dapat dimanfaatkan sebagai biokoagulan berupa biji maupun daun kelor (Irmayana et al., 2017).

Aminah *et al.* (2015) menyebutkan bahwa biji kelor dapat berfungsi sebagai koagulan dan penjernihan air permukaan dan air limbah kegiatan industri. Biji kelor mengandung komponen penting yaitu 4 α *L-amosyloxy benzyl isothiocynate*, minyak ben dan flokulan. Komponen tersebut merupakan senyawa yang bersifat bakteristatik, yakni dapat menghambat pertumbuhan atau aktivitas metabolisme bakteri (Goyal et al., 2007). Selain efek antimikroba, biji kelor juga memiliki efek koagulan karena kandungan proteinnya yang bersifat polielektrolit kationik (Pritcharda et al., 2010). Kandungan protein dalam biji kelor yang bersifat polielektrolit kationik ini memiliki muatan positif sehingga penting sebagai agen penjernihan air (Hidayat., 2009).

Sebagai koagulan, Srawali (2007) menyebutkan bahwa biji kelor dapat digunakan sebagai koagulan untuk mereduksi Total Suspended Solid (TSS) dan logam berat

seperti kadar ion besi dan mangan dalam air. Biji kelor mampu memperbaiki kualitas keasaman (pH) pada air limbah dengan waktu pengendapan yang lebih cepat.

Sumatera Selatan sebagai penghasil batubara terbesar kedua di Indonesia dengan kelas batubara yang diproduksi berada pada batubara kelas rendah (*low rank*) dan kelas menengah (*medium rank*) sebesar 23,09 juta Ton/Tahun. peningkatan produksi batubara berbanding lurus dengan limbah yang dihasilkan seperti air limbah kegiatan penambangan dan air limbah pemuatan batubara. Oleh karena itu, perlunya dilakukan pengelolaan air limbah tersebut agar tidak mencemari lingkungan dan memenuhi baku mutu kualitas air limbah yang dibuang dengan mengacu peraturan dari (SNI 6989 tahun 2019, APHA 5210 B tahun 2012 dan APHA 5220 D tahun 2017) (Bisnis.com).

Menurut Hendricks, Grimes & Mayer, Batubara adalah batuan yang tersusun dari dominasi senyawa organik dan senyawa pengotor anorganik/mineral yang berada didalam lapisan bumi yang dieksplorasi untuk memenuhi kebutuhan pembangkit listrik domestic maupun di ekspor keluar negeri. Proses pemuatan Batubara dikirim menggunakan armada tongkang yang berada di Pelabuhan Batubara. Umumnya, ukuran Batubara yang dikirimkan berkisar antara 0 – 50 mm dengan tipikal panas batubara yang dibutuhkan berkisar 4000 – 4500 kcal/kg dalam air received basis (Pasymi., 2008).

Air limbah usaha dan atau kegiatan pertambangan batu bara adalah air yang berasal dari kegiatan penambangan batu bara yang meliputi penggalian, pengangkutan dan penimbunan baik pada tambang terbuka maupun tambang bawah tanah. Baku mutu air limbah batu bara adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan atau jumlah unsur pencemaran yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah batu bara yang akan dibuang atau dilepas ke air permukaan. Parameter yang diperhatikan pada air limbah kegiatan penambangan batubara adalah TSS, total Fe dan total Mn berdasarkan SNI 6989 tahun 2019, APHA 5210 B tahun 2012 dan APHA 5220 D tahun 2017.

Studi sebelumnya tentang penggunaan biji kelor (*Moringa oleifera*) sebagai biokoagulan menunjukkan bahwa ia memiliki kemampuan untuk mengurangi kadar logam berat, kekeruhan, dan jumlah bakteri dalam air limbah dan air bersih yang diolah. Hasil dari Studi Eksplorasi Tentang Bahan Koagulan Alami Tumbuhan Dan Efek Terhadap Kandungan Bakteri Coli Menunjukkan bahwa biji kelor (*Moringa oleifera*) dapat mengurangi jumlah bakteri Coli sekitar 28% (Juli, N., Suria, W., Birsyam, II., 1986).

Pada penelitian Nugeraha, Sri Sumiyati, et.al. 2010. menggunakan tanaman kelor sebagai bio koagulan dalam mereduksi air asam tambang dari penelitian tersebut didapatkan hasil penurunan tertinggi pada sampel yaitu: TSS sebesar 99,29%, Total Fe sebesar 99,43%, dan Total Mn sebesar 50,54% dengan 1,25 g/L dengan hasil yang baik dalam penurunan konsentrasi pengotor pada air limbah dibandingkan dengan menggunakan bahan tawas ($Al_2(OH)_3$) ataupun $FeCl_3$ yang masih meninggalkan sisa *sludge* dari penggunaan bahan kimia tersebut yang tidak ramah lingkungan jika digunakan dalam jumlah yang besar.

Banyak tanaman alami yang digunakan sebagai koagulan seperti *moringa oleifera* (Muruganandam, 2019; I Made et al., 2020; Gali Aba Lelusa et al., 2022;), penelitian ini menggunakan serbuk biji kelor dalam menurunkan tingkat keasaman limbah cair peternakan hewan. Pada mulanya menggunakan 5 sampel air limbah sebanyak 500 mL dan tiga kali pengulangan. Konsentrasi serbuk biji kelor yang digunakan yaitu: 50mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L dan 200 mg/L dengan lama waktu pengendapan 0 menit, 20 menit, 40 menit dan 60 menit didapatkan nilai pH sebelum diberikan perlakuan adalah 7,4. Setelah perlakuan pH nya turun menjadi 7,1 pada dosis 200 mg/L lama waktu pengendapan 60 menit. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan serbuk biji kelor pada dosis tersebut mampu menurunkan nilai pH dengan baik.

Pada penelitian kulit pisang (Budiman et al., 2018; Mokhtar et al, 2019; Singh et al., 2018;), melakukan penelitian pengolahan air tanah atau air sumur yang memiliki permasalahan pada tingginya kandungan zat besi (Fe) dan zat kapur ($CaCO_3$) pada air baku. Penelitian ini menggunakan sebanyak 20 g kulit pisang dengan waktu pengendapan selama 5 menit, 10 menit dan 15 menit. Didapatkan hasil optimum waktu pengendapan 10 menit dengan penurunan zat besi (Fe) dan zat kapur ($CaCO_3$) sebesar 0,0147 mg/L dan 706,9 mg/L. Pemanfaatan limbah kulit pisang efektif dalam menurunkan kandungan zat besi (Fe) dan zat kapur ($CaCO_3$) pada pengolahan air tanah.

Pemanfaatan biji pepaya (Kristiantoe., 2018; George, D et al., 2018; Gita et al., 2023) pada pengolahan air limbah laundry menggunakan deterjen dapat diturunkan kadar pencemar pada air limbah *laundry* yaitu melalui proses koagulasi dan flokulasi. Massa koagulan biji pepaya yang dipakai yaitu 2, 3, 4, dan 5 g. Dari hasil percobaan tersebut didapatkan kondisi terbaik dalam menurunkan COD sebesar 54%, TSS sebesar 33% dan pH sebesar 6,5. Semakin besar massa koagula biji pepaya yang ditambahkan maka semakin besar pula penurunan kadar COD, TSS dan pH. Senyawa protein yang

terkandung pada biji pepaya terdiri atas asam Glutamat, Arginin dan Metionin yang mampu bertindak sebagai koagulan yang mampu menurunkan kadar COD, TSS dan pH pada air limbah *laundry*.

Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya penulis akan menjelaskan karakteristik dan proses preparasi tanaman kelor (*moringa oleifera*) sebagai biokoagulan dalam menurunkan kandungan logam berat (Total Fe, Mn) dan *Total Suspended Solid* (TSS) pada air limbah *coal medium rank* khususnya di daerah Sumatera Selatan, perbedaan tipikal batubara, ukuran partikel (*sizing*) dan jenis batuan pengotor (*parting*) yang terikut dapat menentukan komposisi senyawa logam berat yang terkandung sehingga penulis akan melakukan kajian mendalam pada penelitian ini.

Dengan adanya penelitian pemanfaatan tanaman kelor sebagai biokoagulan dapat dijadikan salah satu alternatif dalam mereduksi senyawa logam berat, TSS maupun komponen pengotor lain sehingga air limbah yang dibuang akan lebih ramah lingkungan. Selain itu, tanaman kelor juga dijadikan alternatif tanaman untuk reklamasi lahan bekas area tambang di lingkungan tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun yang menjadi permasalahan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh proses preparasi koagulan alami dalam mereduksi polutan air limbah batubara.
2. Bagaimana pengaruh dosis koagulan biji kelor (*moringa oleifera* L) dan penambahan biji pepaya (*Carica papaya* Linn) dan limbah kulit pisang ambon (*Musa paradisiaca* var) dalam mereduksi polutan air limbah batubara.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini, adalah:

1. Mengetahui pengaruh proses preparasi koagulan alami sebagai alternatif koagulan yang ramah lingkungan dalam mereduksi polutan air limbah batubara.
2. Mengetahui pengaruh dosis koagulan biji kelor (*Moringa oleifera* L), penambahan koagulan biji pepaya (*Carica papaya* Linn) dan limbah kulit pisang ambon (*Musa paradisiaca* var) dalam mereduksi polutan air limbah batubara.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dapat diambil dari penelitian ini, adalah:

1. Mendapatkan pengetahuan dan informasi mengenai preparasi koagulan alami sebagai alternatif koagulan yang ramah lingkungan dalam mereduksi polutan air

limbah batubara.

2. Mendapatkan informasi dan pemahaman dalam menyempurnakan penelitian sebelumnya mengenai pemanfaatan tanaman kelor (*Moringa oleifera* L) sebagai koagulan alami yang ramah lingkungan.
3. Memberikan informasi mengenai pengaruh penambahan koagulan biji pepaya (*Carica papaya* Linn) dan limbah kulit pisang ambon (*Musa paradisiaca* var) dalam mereduksi polutan air limbah batubara.

1.5 Hipotesa

Adapun hipotesa penelitian ini, adalah:

1. Semakin banyak dosis koagulan alami yang digunakan maka semakin besar penurunan polutan pada air limbah tersebut.
2. Semakin kecil ukuran butir partikel koagulan alami dapat mempercepat pembentukan flok-flok sehingga mempercepat proses pengikatan dan pembentukan partikel solid pada air limbah batubara.
3. Pencampuran koagulan alami dapat memberikan hasil optimum dalam mereduksi polutan air limbah sampai batas minum serta alternatif penggunaan koagulan lainnya.

1.6 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup dari penelitian ini, meliputi:

1. Penelitian ini mengambil sampel air limbah batubara di Pelabuhan muat (*jetty*) batubara di Palembang, Sumatera Selatan. Karakteristik air limbah dilakukan analisa awal di laboratorium PT. Ecosindo Laboranusa.
2. Koagulan pada penelitian ini menggunakan tanaman kelor (*moringa oleifera* L), Biji Pepaya (*Carica papaya* Linn) dan Kulit Pisang Ambon (*Musa paradisiaca* var. *Sapientum*).
3. Variabel Tetap: Metode pengolahan air (koagulasi, flokulasi dan sedimentasi)
4. Variabel Bebas: Preparasi Koagulan alami dan Dosis koagulan:air limbah (0,5 g : 1 L, 0,75 g : 1 L, 1 g : 1 L, 1,25 g : 1 L dan 1,5 g : 1 L) serta penambahan koagulan alami lainnya.
5. Parameter yang diuji: pH, Kekeruhan (*Turbidity*), *Total Suspended Solid* (TSS), dan Logam berat.

DAFTAR PUSTAKA

-] F.P. Camacho, V.S. Sousa, R. Bergamasco, M.R. Teixeira. 2017. The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. *Chem. Eng. J.* 313: 226–237.
- A.C. Brostlap and J. Schuurmans. Kinetics of valine uptake in tobacco leaf disc. Comparison of wild types the digenic mutant and its monogenic derivatives. 1988. *Planta*. vol. 176: pp. 42-50.
- Abda, R., Ana H.M., dan Fandhil A.W. 2020. Penurunan Kadar Nitrit dalam Air menggunakan Arang Aktif Biji Kelor. *Eksergi*. Vol 17, No.1, 28-32.
- Adesina, O.A., Abdulkareem, F., Yusuff, A.S., Lala, M., Okewale, A. 2019. Response surface methodology approach to optimization of process parameter for coagulation process of surface water using *Moringa oleifera* seed. *South Afr. J. Chem. Eng.* 28: 46–51.
- Adugna, A.T., Gebresilasie, N.M. 2018. Aloe Steudneri Gel as Natural flocculant For Textile Wastewater Treatment. *Water Pract. Technol.* 13 (3): 495–504.
- Akbar., Irwan S., dan Anang W.M.D. 2015. Efektifitas Biji Kelor (*Moringa oleifera* Lamk) Sebagai Koagulan Besi (Fe) dan Kalsium (Ca). *J.Akad.Kim.* Vol 4, No.2, 64-70.
- Alam, M.W., P. Pandey., F. Khan., B, Souayeh., and M. Farhan. 2020. Study to Investigate The Potential of Combined Extract of Leaves And Seeds of *Moringa Oleifera* in Groundwater Purification. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 17 (20): 1–13.
- Ali, M., Mustafa, A. and Saleem, M. 2019. Comparative Study between Indigenous Natural Coagulants and Alum for Microalgae Harvesting. *Arabian Journal for Science and Engineering.* 44(7): pp.6453–6463.
- Ang, W.L., Mohammad, A.W. 2020. State of The Art and Sustainability of Natural Coagulants in Water and Wastewater Treatment. *J. Clean. Prod.* 262: 121267.
- Angraini, S., Pinem, J.R., Saputra, E. 2016. The Effect of Stirring Speed and Pumping Pressure on the Combination of Coagulation Processes and Ultrafiltration Membranes in Rubber Industry Liquid Waste Processing. Bachelor's Thesis, Faculty of Engineering: Riau University Pekanbaru.
- Anthony, F. and Godfrey, K. 2014. Simultaneous adsorption of Ni (II) and Mn (II) ions from aqueous solution unto a Nigerian kaolinite clay. *Integrative Medicine Research.* 3(2): pp.129–141.
- Azeem, S., Shaik, U., Bi, Z. 2018. Carica papaya seed effectiveness as coagulant and solar disinfection in removal of turbidity and coliforms. *Appl. Water, Sci.* 1-8.

- Bertus, M. Y.P., Suherman, dan S. M. Sabang. 2014. Karakterisasi FTIR Poliblend Adsorben Serbuk Biji Buah Kelor (*Moringa Oleifera*) dan Cangkang Ayam Ras untuk Pengolahan Air Gambut di Daerah Palu Barat. *J. Akademika Kim.* 3(1): 243-251.
- Budiman, Hamidah and Hasria. 2018. Kepok Banana Peel Waste (*Musa Acuminata*) as a Biofilter for Iron (Fe) and Lime (CaCO_3). *Promotive: Journal of Public Health.* 8(2): 152–158.
- Camacho, F.P., et al. 2017. The Use of *Moringa Oleifera* as A Natural Coagulant in Surface Water Treatment. *Chem. Eng. J.* 313: 226–237.
- Chaidir, Z., Alif, A., and Tetra, N. 1999. Aktivitas Koagulan dari Fraksi-Fraksi Protein Biji Kelor Terhadap Penjernihan Air Rawa Gambut. *Jurnal Kimia Andalas*, 5(2), 99-103.
- Chitra, D., Muruganandam, L. 2019. Performance of natural coagulants on greywater treatment. *Recent Innov. Chem. Eng. Former. Recent Pat. Chem. Eng.* 13 (1): 81–92.
- Dandesa, Barecha., Abdissa, Desalegn, dkk. 2023. Water purification improvement using moringa oleifera seed extract pastes for coagulation follow scoria filtration. Damb Dollo University: Etiopia.
- Djeffal, K., Bouranene, S., Fievet, P., Déon, S., Gheid, A. 2021. Treatment of controlled discharge leachate by coagulation-flocculation: influence of operational conditions. *Sep. Sci. Technol.* 56: 168–183.
- Duke, J. A. 1983. *Handbook of Energy Crops*. Retrieved from <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20177200306>.
- Edogbanya. 2013. A Review on The Use of Plants' Seeds as Biocoagulants in The Purification of Water. *Continental J. Biological Sciences.* 15(3–2): Pp.26–32.
- Eri, I. R., W. Hadi., A. Slamet. 2018. Clarification of Pharmaceutical Wastewater with *Moringa Oleifera*: Optimization Through Response Surface Methodology. *Journal of Ecological Engineering.* 19(3): 126-134.
- G. Costa et al., 1997. Amino acids exuded form cadmium concentrations. *Journal of Plant Nutrition.* vol. 20: pp. 883–900.
- Gautama, S., Saini, G. 2020. Use of Natural Coagulant for Industrial wastewater treatment.
- George, D., Julyn, A.C. 2018. Coagulation Performance Evaluation of Papaya Seed For Purification Of River Water: 50-66.
- Ginting, S.B., Sebastian D.S., dan Yeni Y. 2017. Kombinasi Adsorben Biji Kelor-Zeolit Alam Lampung untuk Meningkatkan Efektifitas Penjerapan Logam Pb dalam Air secara kontinu pada Kolom Fixed Bed Adsorber. *Jurnal Rekayasa Proses.* Vol 11, No.1, 1-11.

Glob. J. Environ. Sci. Manag. 6: 553-578.

Gita, Bhayu., Nurul et al. 2023. Efektifitas Biokoagulan Biji Pepaya (*Carica papaya L.*) terhadap Penurunan Kadar Pencemar pada Limbah Laundry. UIN Ar-Raniry: Aceh.

Goyal BR, Agrawal BB, Goyal RK, Metha AA. 2007. Phytopharmacology of moringa oleifera: an overview. Natural Product Radiance. 6 (4): 347-353.

Hajrah, Ruslan, dan Prismawiryanti. 2018. Pemanfaatan Karbon Aktif Biji Kelor (*Moringa Oleifera*) Sebagai Penyerap Logam Timbal dalam Oli Bekas. Kovalen, 4(3): 297-303

Hak A., Y. Kurniasih., I.M. Merdana. 2019. Effectiveness of Using *Moringa Oleifera* Seed Powder as a Coagulant to Reduce TDS and TSS in Laundry Waste. Journal of Chemical Education. Vol.6 No.2. Pissn: 2338-6487.

Hanifah, H. N. dan, & Hadisoebroto. 2020. Efektivitas Biokoagulan Cangkang Telur Ayam Ras dan Kulit Pisang Kepok (*Musa Balbisiana ABB*) dalam Menurunkan Turbiditas, TDS, dan TSS dari Limbah Cair Industri Farmasi. Al-Kimiya. 7(1): 47– 54.

Hendrawati, I.R. Yuliasri, Nurhasni, E. Rohaeti, H. Effendi, L.K. Darusman, 2016. The use of *Moringa oleifera* seed powder as coagulant to improve the quality of wastewater and ground water, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 31: 012033.

Hidayat S. 2009. Protein biji kelor sebagai bahan aktif penjernihan air. Biospecies. 2(2): 12-17.

I, Made, A. U, Merdana, I.M. 2020. Giving *Moringa Seed Powder (Moringa Oleifera)* Reduces the Acidity Level of Pig Farm Liquid Waste. Udayana University: Bali.

Irmayana, Eko Prabowo Hadisantoso, dan Seoharti Isnaini. 2017. Pemanfaatan Biji Kelor (*Moringa oleifera*) Sebagai Koagulan Alternatif Dalam Proses Penjernihan Limbah Cair Industri Tekstil Kulit. Jurnal ISTEK, Vol. X, No.2. ISSN 1979-8911.

Jebun, N., Al-Mamun, A., Alam, Md.Z., Ahmad Raus, R. 2018. Optimization of flocculation process for a new myco-coagulant to reduce water turbidity. In: Yacob, N.A., Mohd Noor, N.A., Mohd Yunus, N.Y., Lob Yussof, R., Zakaria, S.A.K.Y. (Eds.), Regional Conference on Science, Technology and Social Sciences (RCSTSS 2016). Springer, Singapore. pp: 271–281.

Joe Henrique, et al. 2016. Evaluation of using aluminium sulfate and water soluble moringa oleifera seed lectin to reduce turbidity and toxicity of polluted stream water. UFPE: Brazi.

Katubi, K.M., A. Amari., H.N. Harharah., M.M. Eldirderi., M.A. Tahooun., D.B. Rebah. 2021.

- Aloe Vera As Promising Material For Water Treatment: A Review. Processes. MDPI AG.
- Kristianto, H., Kurniawan, M.A., Soetedjo, J.N.M. 2018. Utilization of Papaya Seeds as Natural Coagulation For Synthetic Textile Coloring Agent Wastewater Treatment. I.J.A.S.E.I.T: 2071-2077.
- Kusdarini, E., P.R. Sania., and A. Budianto. 2023. Adsorption of Iron and Manganese Ions from Mine Acid Water Using Manganese Green Sand in Batch Process. 24(12) : 158–166.
- Kusnaedi. 2002. Mengolah Air dan Air Kotor Untuk Air Minum. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Lelusa, G.A. 2022. Water Treatment Using Natural Coagulant and Electrocoagulation Process: A Comparison Study. Int. J. Anal. Chem.
- Linggawati, A., Muhdarina, and Sianturi, H. 2002. Effectiveness of Starch-Phosphate and Aluminum Sulfate as Flocculants and Coagulants. Indonesian Nature Journal: 4(1). LPP. UPN: Surabaya.
- Lubis, Z. 2012. Pengaruh Penambahan Tepung Kulit Pisang Raja (*Musa paradisiaca*) terhadap Daya Terima Kue Donat. USU. Medan.
- Mabrouki, J., Moufti, A., Bencheikh, I., Azoulay, K., El Hamdouni, Y., El Hajjaji, S., 2020. Optimization of the Coagulant Flocculation Process for Treatment of Leachate of the Controlled Discharge of the City Mohammedia (Morocco). In: Ezziyyani, M. (Ed.), Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development (AI2SD'2019), Lecture Notes in Electrical Engineering. Springer International Publishing, Cham: pp. 200–212.
- Made, I. A. U, Merdana, I.M. 2020. Giving Moringa Seed Powder (*Moringa Oleifera*) Reduces the Acidity Level of Pig Farm Liquid Waste. Udayana University: Bali.
- Manocha, S. 2003. Porous Carbon. India. Sadhana. Vol.28, part 1&2 P.348- 35
- Marimuthu, R., B. Sankaranarayanan, S.M. Ali, A.B.L. de S. Jabbour, K. Karuppiah. 2021. Assessment of Key Socio-Economic and Environmental Challenges in The Mining Industry: Implications For Resource Policies In Emerging Economies, Sustain.Prod. Consum. 27: 814–830.
- Maurya, S., Daverey, A. 2018. Evaluation of plant-based natural coagulants for municipal wastewater treatment. Journal Biotech School of Environment and Natural Resources, Doon University, Dehradun, Uttarakhan, India.
- Meißner, S. 2021. The Impact of Metal Mining on Global Water Stress and Regional Carrying Capacities—A Gis-Based Water Impact Assessment. Resources 10: 120.
- Mokhtar, N.M., M. Priyatharishini, R.A. Kristanti. 2019. Study on The Effectiveness of Banana

Peel Coagulant in Turbidity Reduction of Synthetic Wastewater, Int. J. Eng. Technol. Sci. 6.

- Musafira; Dzulkifli, 2020. Absorption of Mercury Metal Ions Using Activated Charcoal from Kepok Banana Peel Waste (*musa paradisiaca formatypica*). Covalent: Journal of Chemical Research. 6(1): 39-44.
- Muyibi et al. 2002. Effects of oil extraction from *Moringa oleifera* seeds on coagulation of turbid water. International Journal of Environmental Studies. vol. 59: pp. 243-254.
- Narasiah, K. S., Vogel A., and Kramadhathi, N. N. 2002. Coagulation of Turbid Water Using *Moringa Oleifera* Seeds from Two Distinct Source. J. Water Supply, 2(5), 83-88.
- Neny, Rasnyanti. 2021. Efektifitas Biji Kelor (*Moringa oleifera* L) sebagai Biokoagulan dalam Menurunkan Cemaran Limbah Cair Industri Minuman Ringan. Akademi Komunitas Industri Manufaktur: Sulawesi.
- Ngadi, N. And Aida, N. 2013. Treatment Of Textile Wastewater Using Biodegradable Flocculants of Chitosan and Extracted Pandan Leaves. Technology Journal: 1, 1–7.
- Ningsih, D.A., I. Said, dan P. Ningsih. 2016. Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dari Larutannya dengan menggunakan Adsorben dari Tongkol Jagung. Skripsi. Universitas Tadulako.
- Ningsih, Nunik Rahmawati. 2020. Efektivitas Biji Melon (*Cucumis melo* L.) dan Biji Pepaya (*Carica papaya* L.) Sebagai Koagulan Alami Untuk Menurunkan Parameter Pencemar Air Limbah Industri Tahu. Skripsi. Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi : UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Nirmala, Maria VA dan Suherman. 2015. Adsorpsi Ion Tembaga (Cu) dan ion besi (Fe) dengan Menggunakan Arang Hayati (Biocharcoal) Kulit Pisang Raja (*Musa sapientum*). Jurnal Akademika Kimia, Vol. 4, No. 4. Pendidikan Kimia Universitas Tadulako:Palu.
- Nugraha, S. Sumiyati. 2010. Wastewater Treatment for Coal Mining Activities Using Biocoagulants: Study of Reducing TSS, Total Fe and Total Mn Levels Using *Moringa* Seeds (*Moringa Oleifera*). Diponegoro University: Semarang.
- Owodunni, A.A., Ismail, S. 2021. Revolutionary Technique for Sustainable Plant-Base Green Coagulants in Industrial Wastewater Treatment-A review. J. Water Process Eng. 42: 102096.
- Pujiastuti, S. 2008. Pemanfaatan Limbah Elektroplating sebagai Campuran Batubara Merah.
- Rani, I. Y. 2010. Use of *Moringa oleifera* Seed Powder as a Coagulant and Flocculant in Improving the Quality of Wastewater and Groundwater. UIN Syarif Hidayatullah: Jakarta.

- Singh, S., Parveen, N., Gupta, H. 2018. Adsorptive Decontamination of Rhodamine-B From Water Using Banana Peel Powder: A Biosorbent. *Environ. Technol. Innov.* 12: 189–195.
- Smith, J.M. 1981. *Introduction to Chemical Engineering*. International Edition. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Soumia, Boulaadjoul, dkk. 2018. A Novel use of *Moringa oleifer* seed powder in enhancing the primary treatment of paper mill effluent. USTHB: Algeria.
- Srawailli, N. (2007). A *Caladium* Seed (*Moringa Oleifera*) Biocoagulan Efectivity to Decrease Ferum (Fe) And Manganese (Mn) Concentration from Aqueous Solution. *Environ, Sci. Technol*, (57), 3549-3556.
- Srikanth, K., 2020. Study on Replacement of Alum with Aloe Vera Gel In Turbidity Removal.
- Thomas, G., C. Sheridan, P.E. Holm. 2022. A Critical Review of Phytoremediation for Acid Mine Drainage-Impacted Environments, *Sci. Total Environ.* 811: 152230.
- Treyball, R.E. 1981. *Mass Transfer Operations*. 3rd ed. McGraw-Hill Book Company.
- Widyati, E. 2012. Kajian Fitoremediasi Sebagai Salah Satu Upaya Menurunkan Akumulasi Logam Akibat Air Asam Tambang Pada Lahan Bekas Tambang Batubara. *Tekno Hutan Tanaman*. 2:2, 67-75.
- Yaraghi, N., A.K. Ronkanen, A. Torabi Haghighi, M. Aminikhah, K. Kujala, B. Kløve. 2020. Impacts of gold mine effluent on water quality in a pristine sub-Arctic river. *J. Hydrol.* 589: 125170. *Int. J. Eng. Res. Appl.* 10 (8) : 17–19.
- Zaidi. 2019. Potential of Fruit Peels in Becoming Natural Coagulant for Water Treatment, *Int. J. Integr. Eng.* 11 (1).
- Zhao, Ru-Song. 2007. Using Bamboo Charcoal as Solid-phase Extraction Adsorbent for the Ultrace-level Determination of Perfluorooctanoic Acid in Water Samples by High-performance Liquid Chromatography-mass Spectrometry.