



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

**EFEKTIFITAS BIOFLOKULAN BIJI KELOR (*moringa aleifera*
lamk) TANPA KULIT DALAM PENURUNAN KONSENTRASI
LOGAM SENG (zn) PADA AIR**

SKRIPSI



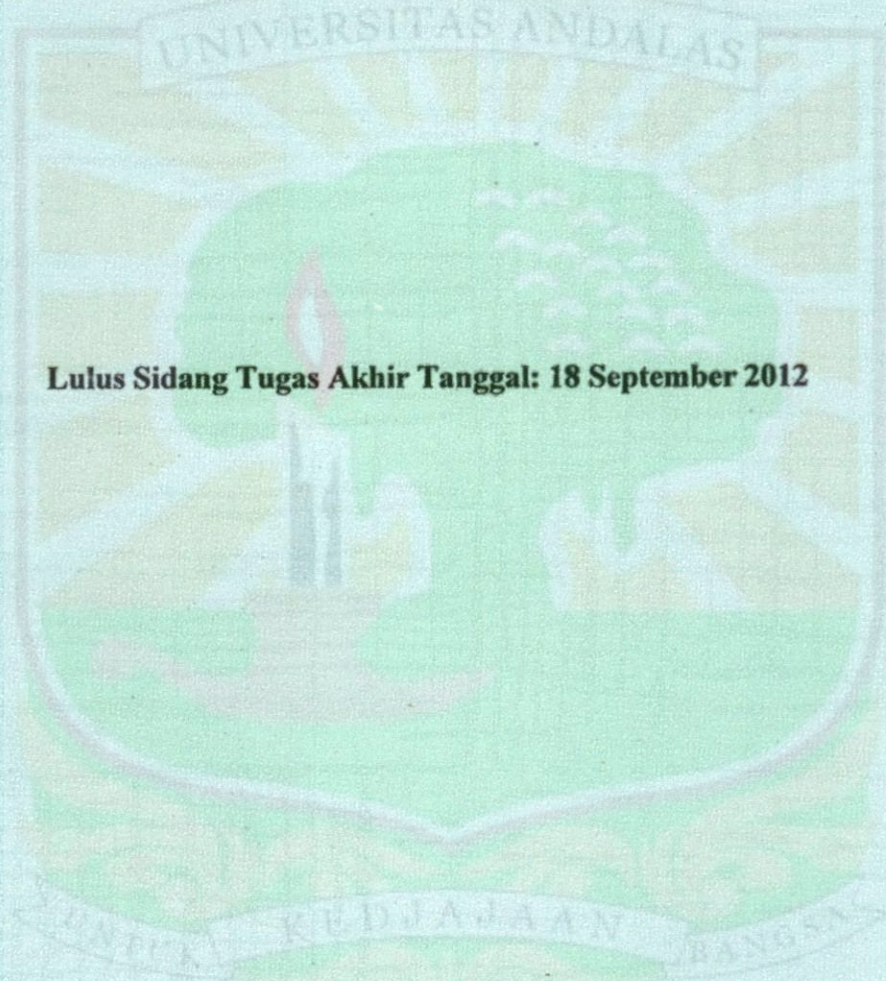
**RATIH AULIA TIARA
0810942026**

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS
PADANG 2012**

LEMBAR PENGESAHAN

**EFEKTIFITAS BIOFLOKULAN BIJI KELOR
(*Moringa Oleifera* Lamk) TANPA KULIT
DALAM PENURUNAN KONSENTRASI LOGAM SENGG (Zn)
PADA AIR**

(Studi Kasus : Air Sungai Batang Idas, Padang)



Lulus Sidang Tugas Akhir Tanggal: 18 September 2012

**Disetujui Oleh:
Pembimbing Utama,**

A handwritten signature in black ink, which appears to read 'Suarni', is written over a horizontal line.

Ir. Hj. SUARNI S. ABUZAR, MS
NIP. 1952 0426 198702 2001

ABSTRAK

Analisa kuatiltas air Sungai Batang Idas mengandung konsentrasi logam seng (Zn) yang merupakan jenis logam berat dan bersifat toksik bagi manusia. Penggunaan biji kelor sebagai bioflokulan yang mengandung polielektrolit kationik dengan komposisi kimia berbasis polipeptida, mampu mengadsorbsi dan menetralsir partikel lumpur serta logam yang terkandung dalam air. Sehubungan hal diatas perlu dilakukan penelitian dengan tujuan untuk mengetahui efektifitas penurunan konsentrasi logam Zn pada air Sungai Batang Idas menggunakan bioflokulan biji kelor tanpa kulit. Metoda penelitian ini dilakukan secara batch menggunakan larutan artifisial $Zn(NO_3)_2 \cdot HNO_3$ pada konsentrasi 2 mg/l dan volume 500 ml dengan variasi pH 2-10, massa bioflokulan 200-1000 mg, kecepatan pengadukan koagulasi 80-120 rpm, kecepatan pengadukan flokulasi 20-60 rpm, waktu pengadukan koagulasi 1-5 menit, waktu pengadukan flokulasi 90-130 menit dan waktu pengendapan 30-150 menit. Kondisi optimum yang diperoleh untuk setiap variasi adalah pH 6, massa bioflokulan 400 mg, kecepatan pengadukan koagulasi 100 rpm, kecepatan pengadukan flokulasi 30 rpm, waktu pengadukan koagulasi 3 menit, waktu pengadukan flokulasi 12 menit dan waktu pengendapan 120 menit. Efisiensi penyisihan konsentrasi logam Zn pada percobaan optimasi larutan artifisial adalah 88,30%, sedangkan sampel air Sungai Batang Idas menggunakan kondisi optimum variasi adalah 81,63%. Hal ini dikarenakan adanya kandungan logam lainnya pada air Sungai Batang Idas.

Kata Kunci: Kondisi Optimum, Efisiensi Penyisihan, Biji Kelor Tanpa Kulit, Logam Zn , Air Sungai Batang Idas



KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, puji syukur Penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul **EFEKTIFITAS BIOFLOKULAN BIJI KELOR (*Moringa Oleifera Lamk*) TANPA KULIT DALAM PENURUNAN KONSENTRASI LOGAM SENG (Zn) PADA AIR (Studi Kasus: Air Sungai Batang Idas, Padang)**. Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program strata satu di Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas. Pada kesempatan ini, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat perkenankanlah Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Hj. Zanidar dan Rama Drh. H. Abdul Kahar Soewali (Alm) serta mbak-mbak yang tersayang Carthyca Fevrier Filia Veterina, SH, Meita Ratna Ning Tyas, SS, Galuh Aulia Latifah, SP, dan adikku Ratu Aulia Tilqa atas bimbingan, petunjuk, semangat, dan bantuan baik moril maupun materil serta doa yang tulus sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan sebaik-baiknya;
2. Ibu Ir. Hj. Suarni S. Abuzar, MS selaku Pembimbing yang telah banyak memberikan arahan, saran, dan dukungan moril, serta kesabaran selama pelaksanaan dan penyusunan Tugas Akhir ini;
3. Ibu Reri Arfrianita, MT dan Ibu Yeggi Darnas, MT selaku Penguji atas tambahan dan saran untuk kesempurnaan laporan Tugas Akhir ini;
4. Ibu Dr. Ir. Puti Sri Komala selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan;
5. Ibu Vera S. Bachtiar, PhD selaku Koordinator Tugas Akhir yang telah memberikan informasi sehubungan dengan pelaksanaan dan penyelesaian Tugas Akhir;
6. Ibu Syofni, S.Si selaku analis laboratorium air dan Uni Firda Winengsih yang telah banyak membantu dalam penelitian di laboratorium;

7. Bapak dan Ibu staf pengajar Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas yang telah memberikan ilmu berharga baik dalam pengerjaan Tugas Akhir ini maupun untuk masa yang akan datang;
8. Karyawan dan karyawan pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas yang telah membantu dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini;
9. Rekan Tugas Akhir Lora Septriani, ST dengan usaha, kerjasama dan kenangan-kenangan yang tak terlupakan;
10. Teman-teman Angkatan 2008 (Leni, Iput, Dwi, Vani, ST, Yudi, Yuda, Upik, Dedy (komting'08), Rei, Andre, Ocie, Iyin, Riri, Nadya, ST, Ika, Novi, Juju, Ajeng, Diva, Wulan, Oce, Ekho, Ary, Ajo, Rima, Vivin, Sandy, Dilla, Icai, Aan, dan Feni) yang telah memberikan saran, motivasi, semangat dan dukungan serta bantuan moril pada penulis;
11. Tim asisten laboratorium air yang telah memberikan inspirasi dan semangat dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini;
12. Uda-uda, Uni-uni (angkatan 05, 06 dan 07) dan adik-adikku (angkatan 09 dan 010) di Jurusan Teknik Lingkungan yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini;
13. Dan seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhirnya Penulis berharap tulisan ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Penulis menerima segala bentuk kritik dan saran demi kesempurnaan laporan ini dan perbaikan dimasa yang akan datang. Semoga Allah SWT membalas semua kebaikan dengan yang lebih baik, Amin ya Rabbil A'lamin.

Padang, Oktober 2012

Wassalam,

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI i

DAFTAR TABEL iv

DAFTAR GAMBAR v

DAFTAR LAMPIRAN vii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang I-1

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian I-2

1.3 Manfaat Penelitian I-3

1.4 Ruang Lingkup I-3

1.5 Sistematika Penulisan I-3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum II-1

2.2 Sungai II-2

2.2.1 Kuantitas II-2

2.2.2 Kualitas II-2

2.2.3 Pencemaran II-3

2.2.4 Standar Kualitas II-4

2.2.5 Pengolahan II-5

2.3 Koagulasi II-6

2.3.1 Pengadukan Koagulasi II-11

2.3.2 Jenis-Jenis Koagulasi II-13

2.3.3 Mekanisme Koagulasi II-14

2.4 Flokulasi II-17

2.5 Kelor (*Moringa oleifera* Lamk) II-17

2.5.1 Biji Kelor II-19

2.5.2 Biji Kelor Sebagai Bioflokulan II-20

2.5.3 Penelitian-Penelitian Terkait Penggunaan Biji Kelor Sebagai Bioflokulan.....	II-24
2.6 Penyisihan Kontaminan.....	II-27
2.7 Logam Zn.....	II-27
2.7.1 Sifat dan Keberadaan Logam Zn.....	II-28
2.7.2 Toksisitas Logam Zn.....	II-30

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Umum.....	III-1
3.2 Lokasi Penelitian.....	III-1
3.3 Tahapan Penelitian.....	III-1
3.3.1 Studi Literatur.....	III-3
3.3.2 Studi Pendahuluan.....	III-3
3.3.2.1 Survei Lapangan.....	III-3
3.3.2.2 Penentuan Titik Pengambilan Sampel.....	III-3
3.3.2.3 Waktu Pengambilan Sampel.....	III-4
3.3.2.4 Bahan Baku Bioflokulan.....	III-4
3.3.3 Persiapan Percobaan.....	III-5
3.3.3.1 Persiapan Peralatan.....	III-5
3.3.3.2 Persiapan Bahan.....	III-6
3.3.3.3 Persiapan Pembuatan Bubuk Bioflokulan Biji Kelor Tanpa Kulit.....	III-6
3.3.4 Analisa Laboratorium Parameter Uji dan Konsentrasi Logam Zn pada Sampel.....	III-8
3.3.5 Percobaan Pendahuluan dan Optimasi pada Larutan Artifisial...	III-8
3.3.6 Analisis dan Pembahasan Hasil Percobaan Optimasi.....	III-13
3.3.7 Percobaan pada Sampel.....	III-13
3.3.8 Analisis dan Pembahasan.....	III-14

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum.....	IV-1
4.2 Hasil Analisa pada Sampel.....	IV-1
4.3 Hasil dan Pembahasan Percobaan Optimasi Larutan Artifisial.....	IV-2
4.3.1 pH Optimum.....	IV-3

4.3.2 Massa Bioflokulan Optimum	IV-5
4.3.3 Kecepatan Pengadukan Optimum	IV-8
4.3.3.1 Kecepatan Pengadukan Koagulasi Optimum	IV-8
4.3.3.2 Kecepatan Pengadukan Flokulasi Optimum	IV-10
4.3.4 Waktu Pengadukan Optimum	IV-13
4.3.4.1 Waktu Pengadukan Koagulasi Optimum	IV-13
4.3.4.2 Waktu Pengadukan Flokulasi Optimum	IV-14
4.3.5 Waktu Pengendapan Optimum.....	IV-17
4.3.6 Rekapitulasi Kondisi Optimum Larutan Artifisial	IV-20
4.4 Hasil dan Pembahasan Percobaan pada Sampel	IV-21

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan	V-1
5.2 Saran.....	V-1

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kandungan Alamiah Air Sungai.....	II-3
Tabel 2.2	Kandungan Biji Kelor	II-20
Tabel 2.3	Kandungan Per 100 gr Biji Kelor Tua (Coklat).....	II-20
Tabel 2.4	Kandungan Per 100 gr Biji Kelor Muda (Hijau)	II-20
Tabel 2.5	Karakteristik Air Gambut Sebelum dan Setelah Percobaan	II-24
Tabel 3.1	Variasi Parameter pada Percobaan Optimasi	III-8
Tabel 3.2	Percobaan Optimasi dengan Variasi pH, Massa Bioflokulan Biji Kelor Tanpa Kulit, Kecepatan Pengadukan, Waktu Pengadukan dan Waktu Pengendapan	III-11
Tabel 4.1	Hasil Pengukuran Analisa Laboratorium Sampel Air Sungai Batang Idas	IV-1
Tabel 4.2	Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi pH.....	IV-3
Tabel 4.3	Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Massa	IV-6
Tabel 4.4	Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Koagulasi.....	IV-8
Tabel 4.5	Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Flokulasi	IV-10
Tabel 4.6	Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Koagulasi	IV-13
Tabel 4.7	Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Flokulasi	IV-15
Tabel 4.8	Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengendapan	IV-18
Tabel 4.9	Rekapitulasi Kondisi Optimum pada Percobaan Optimasi Larutan Artifisial.....	IV-20
Tabel 4.10	Perbandingan Hasil Percobaan Larutan Artifisial dan Sampel Air Sungai Batang Idas	IV-21

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Model Teori Lapisan <i>Diffuse Double</i>	II-9
Gambar 2.2 Model Anyaman Koloid oleh Polimer	II-10
Gambar 2.3 Mekanisme Koagulasi. a) Gaya yang ditunjukkan oleh Partikel Koloid pada Kondisi Stabil. b) Destabilisasi Partikel Koloid oleh Penambahan Koagulan. c) Pembentukan Flok-Flok yang Terikat Membentuk Benang Panjang.....	II-15
Gambar 2.4 Daun dan Bunga Kelor	II-18
Gambar 2.5 Biji Kelor	II-19
Gambar 2.6 Struktur 4 (α -L-ramnosilosi) benzil isotiosianat)	II-21
Gambar 2.7 Struktur Umum Asam Amino	II-23
Gambar 2.8 Struktur Asam Amino Asam Aspartat	II-24
Gambar 2.9 Struktur Asam Amino Asam Glutamat.....	II-24
Gambar 3.1 Peta Orientasi dan Lokasi Sungai Batang Idas	III-1
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Pelaksanaan Penelitian	III-2
Gambar 3.3 Sketsa Titik Sampling Air Sungai Batang Idas	III-4
Gambar 3.4 Skema Kerja Pembuatan Bioflokulan Biji Kelor Tanpa Kulit....	III-7
Gambar 3.5 Diagram Alir Tahapan Percobaan	III-13
Gambar 4.1 Perbandingan Konsentrasi Logam Zn pada Hari Sampling	IV-2
Gambar 4.2 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi pH ..	IV-3
Gambar 4.3 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi pH	IV-4
Gambar 4.4 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Massa	IV-6
Gambar 4.5 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Massa.....	IV-6
Gambar 4.6 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Koagulasi	IV-9
Gambar 4.7 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Koagulasi.....	IV-9
Gambar 4.8 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Flokulasi	IV-10

Gambar 4.9 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Flokulasi	IV-11
Gambar 4.10 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Koagulasi	IV-13
Gambar 4.11 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Koagulasi	IV-14
Gambar 4.12 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Flokulasi	IV-15
Gambar 4.13 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Flokulasi	IV-15
Gambar 4.14 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Waktu Pengendapan.....	IV-18
Gambar 4.15 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengendapan.....	IV-18
Gambar 4.16 Efisiensi Penyisihan Larutan Artifisial dan Sampel Air Sungai Batang Idas.....	IV-21



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001

Lampiran B Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010

Lampiran C SNI 6989.7:2009 - Cara Uji Seng (Zn) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-Nyala

Lampiran D Data Percobaan

Lampiran E Dokumentasi



1.1 Latar Belakang

Sungai Batang Idas merupakan salah satu sungai di Kota Padang yang dijadikan sumber air baku dan irigasi pertanian bagi penduduk sekitar. Adanya aktivitas penambangan batu kapur di Bukit Karang Putih disekitar Sungai Batang Idas berkontribusi untuk masuknya kontaminan ke dalam air sungai seperti serpihan batu kapur dan lumpur hasil sampingan aktivitas penambangan. Pengikisan batuan Bukit Karang Putih pada saat hujan juga berkontribusi untuk masuknya logam yang terkandung salah satu nya yaitu logam seng (Zn).

Logam Zn merupakan jenis logam berat yang kandungannya tinggi dibandingkan beberapa logam lainnya di sungai. Keberadaan logam Zn dapat berasal dari proses alam, limbah industri dan pertanian yang jika dibuang ke perairan dalam jumlah banyak dapat menimbulkan pencemaran perairan. Apabila konsentrasi logam Zn terakumulasi dalam tubuh manusia menyebabkan gejala mual, muntah, pusing, sakit perut, demam dan diare (Palar, 1994).

Hasil analisa kualitas air Sungai Batang Idas untuk konsentrasi logam Zn adalah 2 mg/l, dimana berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, konsentrasi logam Zn tersebut masuk ke dalam kategori kelas IV dengan batas baku mutu 2 mg/l yaitu air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian. Oleh sebab itu diperlukan penurunan konsentrasi logam Zn jika air Sungai Batang Idas digunakan sebagai sumber air baku yang peruntukannya untuk kategori kelas I, II dan III. Alternatif penurunan konsentrasi logam Zn yaitu menggunakan biji dari tanaman kelor sebagai bioflokulan alami.

Pemanfaatan biji kelor (*Moringa oleifera* Lamk) sebagai bioflokulan telah dilakukan pada beberapa penelitian seperti pada proses penjernihan air minum (Zulkarnain, 2008), penyisihan logam besi, mangan dan kekeruhan pada air baku (Rahayu, 2011) dan penurunan pH, warna, kekeruhan, zat organik dan logam Fe pada air gambut (Irianty, 2008).

Kelor merupakan tumbuhan perdu yang tumbuh di daerah tropis salah satunya adalah Indonesia, dimana tanaman kelor tersebar di beberapa daerah seperti Jawa, Bali, Lampung, Madura, Sumba, Gorontalo dan Sulawesi Utara. Tanaman kelor sering dimanfaatkan sebagai tanaman pagar karena berkhasiat untuk obat-obatan dan sayuran (Watson, 1997).

Selain itu biji dari tanaman kelor juga mengandung zat aktif 4-(α -L-ramnosiloksi)benzil isotiosianat yang mampu mengadsorpsi dan menetralkan partikel-partikel lumpur, logam dan partikel kotoran yang melayang di air (Irianty, 2008). Biji kelor bagian dalam memiliki nilai konsentrasi protein yang paling tinggi, protein biji kelor yang tidak dikupas kulit bijinya mengandung separuh bagian dibandingkan dengan protein dari bagian biji dalam saja. Biji kelor diketahui mengandung polielektrolit kationik dengan komposisi kimia berbasis polipeptida yang mempunyai berat molekul 6.000-16.000 dalton dan mengandung 6 asam amino (Hidayat, 2006). Selain itu terdapat karakteristik dan sifat pada biji kelor yang mempunyai kemampuan dalam menyisihkan parameter-parameter pencemar air baku (Narasiah, 2002).

Sehubungan dengan hal tersebut perlu dilakukan penelitian untuk melihat efektifitas penurunan konsentrasi logam Zn oleh biji kelor tanpa kulit menggunakan air Sungai Batang Idas sebagai sampel penelitian dengan berbagai variasi kondisi untuk menentukan kondisi optimum biji kelor sebagai bioflokulan.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini untuk menguji kemampuan biji kelor tanpa kulit sebagai bioflokulan dalam menurunkan konsentrasi logam Zn pada air Sungai Batang Idas.

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kondisi optimum kemampuan biji kelor tanpa kulit sebagai bioflokulan terhadap penurunan konsentrasi logam Zn yang meliputi variasi pH, massa bioflokulan, kecepatan pengadukan koagulasi dan flokulasi, waktu pengadukan koagulasi dan flokulasi serta waktu pengendapan menggunakan larutan artifisial;

2. Menganalisis kemampuan biji kelor tanpa kulit sebagai bioflokulan terhadap penurunan konsentrasi logam Zn sampel pada kondisi optimum yang diperoleh;
3. Membandingkan kemampuan penurunan konsentrasi logam Zn pada larutan artifisial dengan sampel.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah untuk memberikan alternatif bioflokulan pada pengolahan air baku berupa bioflokulan alami dalam penurunan konsentrasi logam Zn.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Sampel yang digunakan adalah air Sungai Batang Idas;
2. Analisa laboratorium kualitas air Sungai Batang Idas;
3. Parameter air Sungai Batang Idas yang digunakan adalah logam Zn;
4. Percobaan dilakukan secara *batch*;
5. Biji kelor kering tanpa kulit dalam bentuk bubuk digunakan sebagai sumber bioflokulan;
6. Menentukan kondisi optimum dengan variasi pH, massa bioflokulan, kecepatan pengadukan koagulasi dan flokulasi, waktu pengadukan koagulasi dan flokulasi serta waktu pengendapan sampel pada suhu ruangan;
7. Percobaan dengan sampel dilakukan pada kondisi optimum yang telah diperoleh dari percobaan optimasi.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini adalah :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, maksud dan tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas tentang sungai dan karakteristiknya, proses koagulasi dan flokulasi, biji kelor, pemanfaatan biji kelor sebagai bioflokulan, kandungan logam Zn dalam air sungai.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tahapan penelitian yang dilakukan, metode sampling dan metode analisis di laboratorium, serta lokasi dan waktu penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

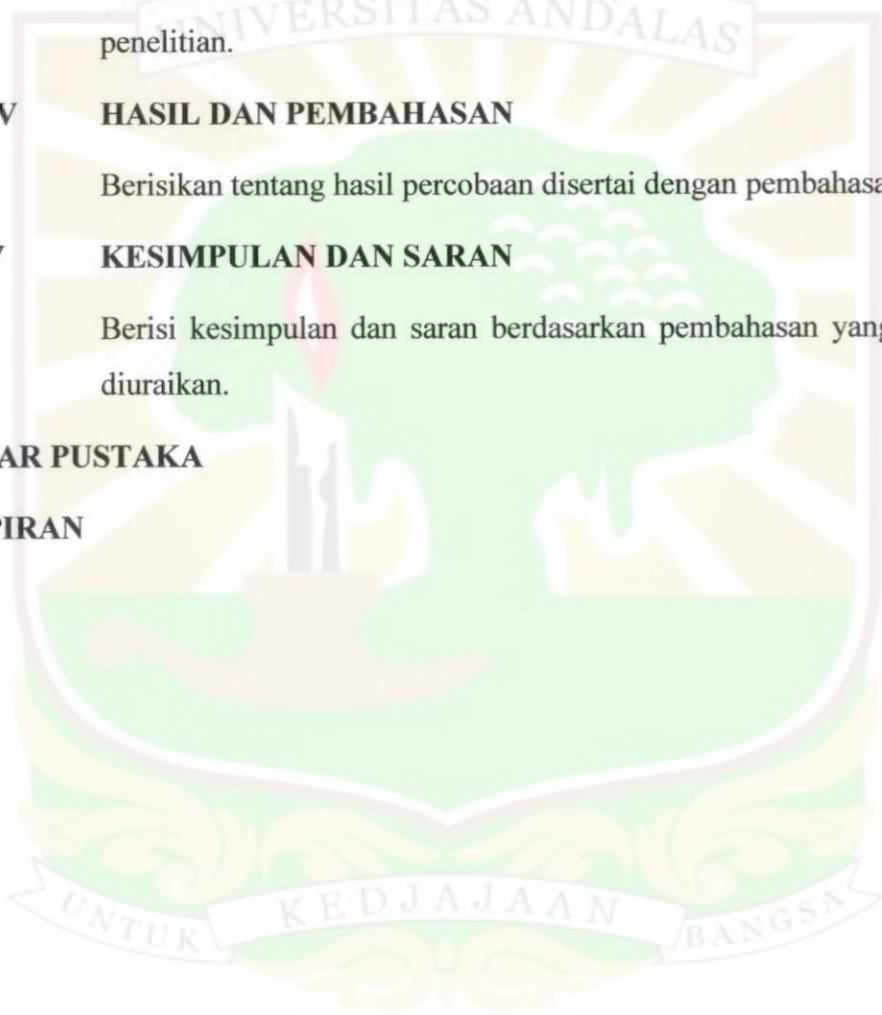
Berisikan tentang hasil percobaan disertai dengan pembahasannya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dan saran berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



2.1 Umum

Air yang terdapat di atmosfer bumi sebagian besar merupakan air laut, sedangkan sisanya berupa air tawar, air permukaan, air tanah, salju atau es. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, dijelaskan bahwa air merupakan sumber daya alam yang memenuhi hajat hidup orang banyak sehingga perlu dilindungi agar dapat tetap bermanfaat bagi hidup dan kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya. Untuk menjaga atau mencapai kualitas air agar dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan sesuai dengan tingkat mutu air yang diinginkan, maka perlu upaya pelestarian dan atau pengendalian (Soemirat, 2000).

Air sebagai komponen sumber daya alam yang sangat penting maka harus dipergunakan sebesar-besarnya bagi kemakmuran rakyat. Hal ini berarti bahwa penggunaan air untuk berbagai manfaat dan kepentingan harus dilakukan secara bijaksana dengan memperhitungkan kepentingan generasi masa kini dan masa depan. Untuk itu air perlu dikelola agar tersedia dalam jumlah yang aman, baik kuantitas maupun kualitasnya dan bermanfaat bagi kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya agar tetap berfungsi secara ekologis, guna menunjang pembangunan yang berkelanjutan (Soemirat, 2000).

Terbentuknya sumber-sumber air di alam mengalami serangkaian proses, seperti air hujan jatuh ke tanah kemudian meresap ke dalam tanah. Sampai di kedalaman tertentu air tersebut tertahan oleh lapisan batu-batuan (lapisan kedap air) yang membendung air sehingga tidak terus meresap ke bawah dan membentuk sumber air yang jernih dan tidak tercemar. Sumber air yang dapat dijadikan sumber air baku yaitu seperti air permukaan, air tanah dan air hujan atau air angkasa (Soemirat, 2000).

Pemilihan sumber air baku ditentukan melalui penelitian, agar sistem penyediaan air minum yang direncanakan memenuhi persyaratan yang berlaku dan memenuhi kebutuhan konsumen serta tidak merusak kelestarian sumber. Pemilihan sumber

air untuk menjadi sumber air baku air minum harus memperhatikan (Al-layla, 1978):

1. Kualitas yang cukup baik dan kuantitas yang memadai;
2. Kemudahan dalam operasional dan pemeliharaan;
3. Biaya yang ekonomis.

2.2 Sungai

Ditinjau dari segi hidrologi sungai merupakan salah satu jenis air permukaan yang sering dimanfaatkan sebagai sumber air baku yang mempunyai fungsi utama menampung curah hujan setelah menjadi aliran permukaan (*surface runoff*) dan mengalirkannya sampai ke titik pengeluaran (laut). Oleh karena itu, sungai dapat diartikan sebagai wadah atau penampungan dan penyalur alamiah aliran air dengan segala benda-benda yang terbawa dari daerah pengaliran sungai ke tempat yang lebih rendah dan bermuara di laut (Soewarno, 2000).

2.2.1 Kuantitas

Sungai dicirikan oleh arus yang searah dan relatif kencang dengan kecepatan berkisar antara 0,1-1,0 m/dtk, serta sangat dipengaruhi oleh waktu, iklim dan pola drainase. Kecepatan arus dan pergerakan air sangat dipengaruhi oleh jenis bentang alam, jenis batuan dasar dan curah hujan (Jeffries, 1996).

Kuantitas air sungai menyangkut jumlah air yang dibutuhkan manusia dalam kegiatan tertentu. Air adalah materi esensial didalam kehidupan, tidak ada satupun makhluk hidup di dunia ini yang tidak membutuhkan air. Air sungai dibutuhkan dalam pemenuhan kebutuhan manusia, sehingga perlu diketahui bagaimana air sungai dikatakan bersih dari segi kualitas dan bisa digunakan dalam jumlah yang memadai dalam kegiatan sehari-hari manusia. Agar kelangsungan hidup manusia dapat berjalan lancar, sesuai dengan aktifitas manusia pada tempat tertentu dan kurun waktu tertentu (Sosrodarsono, 1993).

2.2.2 Kualitas

Sungai merupakan salah satu sumber daya air permukaan yang dapat menimbulkan berbagai masalah. Masalah pencemaran air sungai cenderung meningkat, khususnya pada sungai-sungai yang melintasi wilayah industri, pemukiman penduduk dan pusat kota. Sebagian besar limbah domestik, institusi

dan prasarana umum yang dibuang langsung ke sungai akan menyebabkan kualitas air sungai menurun (Sunu, 2001). Selama hujan akan terjadi peningkatan warna, rasa dan bau. Pada musim panas akan terjadi peningkatan jumlah alga yang disebabkan oleh masalah rasa dan bau (Davis, 1991). Pada kondisi alamiah, air sungai mengandung karakteristik umum yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan Alamiah Air Sungai

No	Parameter	Kondisi Alamiah Air Sungai	Satuan
1.	Fisik		
	a. Turbiditas	26,00	TU
	b. Warna	18,00	(Pt-Co units)
2.	Organik		
	a. Methoxychlor	0,1	mg/l
	b. Lindane	0,004	mg/l
	c. Toxaphene	0,005	mg/l
	d. 2,4,5 TP (Silvex)	0,001	mg/l
3.	Anorganik		
	a. Arsenic	0,05	mg/l
	b. Barium	1,00	mg/l
	c. Cadmium	0,01	mg/l
	d. Chromium	0,05	mg/l
	e. Merkuri	0,002	mg/l
	f. Nitrat	10,00 (sebagai N)	mg/l
	g. Selenium	0,10	mg/l
	h. Silver	0,05	mg/l
	i. Aluminium	29,00	mg/l

Sumber : Davis, 1991

2.2.3 Pencemaran

Pencemaran air diakibatkan oleh masuknya bahan pencemar (polutan) berupa gas, bahan-bahan terlarut dan partikulat. Definisi pencemaran air menurut Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya. Pencemar memasuki badan air dengan berbagai cara, misalnya melalui atmosfer, tanah, limpasan (*run off*) pertanian, limbah domestik, perkotaan, pembuangan limbah industri dan lain-lain (Lamb, 1986).

Faktor-faktor yang menyebabkan pencemaran sungai adalah (Lamb, 1986):

1. Faktor Alamiah

Faktor yang mempunyai sedikit hubungan atau tidak sama sekali dengan aktivitas manusia. Sebagai contoh atmosfer mengandung konstituen asam, partikulat logam-logam, nitrogen, belerang dan fosfor yang berasal dari letusan gunung, erosi, angin dan sebagainya.

2. Faktor Buatan

a. Sumber pertanian

Jumlah zat yang tersuspensi dalam air yang memasuki badan air akan bertambah bila melewati kawasan pertanian, seperti masuknya pestisida, pupuk, kotoran ternak dan sebagainya.

b. Air buangan

Air buangan perkotaan dan air buangan industri merupakan sumber titik yang potensial terhadap pencemaran seperti riol-riol kota.

c. Sumber gabungan

Aktivitas pembangunan dan pemukiman, pertambangan, tempat-tempat pembuangan sampah, drainase dan sebagainya yang mengandung sejumlah zat kimia akan masuk ke badan air.

2.2.4 Standar Kualitas

Standar kualitas air diatur dalam peraturan-peraturan berikut:

1. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air serta pedoman penetapan baku mutu air (dapat dilihat pada lampiran A);
2. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum (dapat dilihat pada lampiran B).

Standar kualitas air merupakan suatu persyaratan kualitas air untuk perlindungan dan pemanfaatan air yang bersangkutan. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 baku mutu air adalah batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain yang ada atau harus ada dan atau unsur pencemar yang dapat ditenggang dalam sumber air tertentu, sesuai dengan peruntukannya.

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, mengklasifikasikan kualitas air menjadi beberapa kelas menurut peruntukannya. Nilai kualitas air dari masing-masing kelas ditunjukkan dalam pasal 8. Adapun klasifikasi dan kriteria mutu air menurut peruntukannya adalah sebagai berikut:

1. Kelas 1 : air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum;
2. Kelas 2 : air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan dan air untuk mengairi pertanaman;
3. Kelas 3 : air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan dan air untuk mengairi pertanaman;
4. Kelas 4 : air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman.

Pengelolaan kualitas air dikenal dua macam standar yaitu *stream standard* dan *effluent standard*. *Stream standard* merupakan batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi atau komponen lain yang ada atau harus ada dan satu unsur pencemaran yang ditenggang adanya dalam air pada sumber air tertentu sesuai dengan peruntukannya serta kemampuan *self purification* (mengencerkan dan membersihkan diri terhadap beban pencemaran) badan air tersebut. Sedangkan *effluent standard* adalah persyaratan mutu air limbah yang dialirkan ke sumber air, sawah, tanah dan tempat-tempat lain dengan mempertimbangkan pemanfaatan sumber air yang bersangkutan dan faktor ekonomi pengelolaan air buangan. Baku mutu ini ditetapkan pada daerah padat industri atau pada daerah-daerah yang akan digunakan sebagai zona pengembangan industri (Saraswati, 1993).

2.2.5 Pengolahan

Ada tiga tahapan proses untuk menghilangkan parameter pencemar dalam air yaitu (Kawamura, 1991):

1. Pra pengolahan

Pra pengolahan merupakan pengolahan air baku sebelum air baku diolah pada unit-unit pengolahan utama yang umum digunakan seperti koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi dan desinfeksi yang terjadi pada akhir pengolahan. Pra pengolahan diutamakan untuk menurunkan parameter tertentu yang dapat

mengganggu proses pada pengolahan utama. *Screening*, pre-klorinasi, prasedimentasi dan aerasi merupakan unit-unit pra pengolahan.

2. Pengolahan utama

Pengolahan utama meliputi pengolahan yang secara umum diperlukan untuk mengolah air baku untuk air minum seperti penurunan kesadahan, koagulasi dan flokulasi yang diikuti oleh proses sedimentasi, filtrasi dan desinfeksi.

3. Pengolahan khusus

Pengolahan khusus adalah pengolahan tambahan yang benar-benar diperlukan untuk kondisi air baku yang spesifik.

2.3 Koagulasi

Koagulasi merupakan proses destabilisasi muatan partikel koloid dengan penambahan koagulan disertai dengan pengadukan cepat untuk mendispersikan bahan kimia secara merata (Kawamura, 1991). Koloid adalah suatu campuran zat heterogen (dua fase) antara dua zat atau lebih dimana partikel-partikel zat yang berukuran koloid (fase terdispersi atau yang pecah) tersebar secara merata di dalam zat lain (medium pendispersi atau pemecah). Sistem koloid yang sederhana terdiri dari dua fasa, yaitu (Kawamura, 1991):

1. Fasa terdispersi yang merupakan fasa partikel.
2. Fasa pendispersi yang merupakan medium tempat partikel terdistribusi.

Partikel koloid merupakan partikel yang stabil. Kestabilan partikel koloid disebabkan ukuran dan muatan listrik yang dimiliki oleh partikel koloid. Akibat luas permukaannya yang besar, maka koloid memiliki daya adsorb yang kuat. Muatan pada partikel koloid umumnya disebabkan oleh teradsorbsinya ion-ion dari medium pendispersi pada permukaan partikel koloid. Hal yang membedakan antara koloid, larutan sejati dan suspensi adalah ukuran partikelnya. Diameter partikel koloid berkisar antara 10λ sampai 10.000λ , sedangkan partikel-partikel yang mempunyai diameter lebih kecil dari 10λ akan membentuk larutan sejati dan partikel-partikel dengan diameter lebih besar dari 10.000λ akan membentuk suspensi (Levine, 2002).

Ukuran partikel cenderung mempengaruhi pengendapan partikel dalam suatu media air tenang. Koloid sering memerlukan koagulan untuk mencapai ukuran

partikel agar dapat terbentuk suatu endapan dan juga memerlukan waktu yang cukup lama untuk mengendap. Bila waktu pengendapan tidak cukup dapat dilakukan dengan perlakuan lain untuk menggeser padatan suspensi, koagulasi dan flokulasi bisa menyebabkan perbesaran ukuran dan pengendapan dengan cukup cepat (Sawyer, 1987).

Pengadukan diperlukan untuk memperbesar koagulasi agar dapat merusak stabilitas sistem koloid dengan terjadinya penggumpalan partikel. Penambahan energi pengadukan sangat diperlukan agar dapat memberikan intensitas pengadukan yang tinggi sehingga koagulan terdistribusi secara merata yang akan memperbesar tumbukan antar partikel-partikel dalam suatu larutan koloid. Proses koagulasi untuk pengolahan air dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: efek pH, efek garam, efek koagulan yang digunakan, efek suhu dan efek pencampuran (pengadukan). Berikut ini adalah beberapa teori tentang koagulasi menurut para ahli, yaitu (Murniati, 2007):

1. Teori koagulasi Farooq dan Velioglu

Umumnya partikel-partikel tersuspensi atau koloid dalam air memperlihatkan gerak Brownian. Gerak Brownian adalah gerak acak partikel dalam air. Permukaan partikel-partikel tersebut bermuatan listrik negatif. Partikel-partikel itu menarik ion-ion negatif, kemudian ion-ion positif tersebut menyelubungi partikel koloid dan membentuk lapisan rapat muatan di dekat permukaannya. Proses terjadinya koagulasi menurut Farooq dan Velioglu adalah sebagai berikut (Murniati, 2007):

- a. Partikel koloid (suspensi) yang bermuatan negatif menarik partikel koagulan (polimer) yang bermuatan positif.
- b. Ion-ion positif kemudian menyelubungi partikel koloid dan membentuk lapisan rapat muatan didekat permukaannya yang disebut lapisan kokoh/tetap (*fixed layer*).
- c. Lapisan kokoh dikelilingi lagi oleh sejumlah ion-ion yang berlawanan muatan yang disebut difusi (*difused layer*).
- d. Di dalam lapisan difusi terdapat bidang geser (*shear plane*) batas dimana ion-ion yang berlawanan muatan dapat tersapu dari permukaan partikel karena gerakan fluida.

- e. Kumpulan ion-ion berlawanan di dalam air yang mengelilingi partikel koloid dan muatan-muatan permukaannya itu disebut lapisan ganda listrik (*electrical doublelayer*).
- f. Potensial listrik diantara bidang geser (*shear plane*) dan badan cairan dapat ditentukan dengan pengukuran elektroforesis (pengukuran laju partikel dalam suatu medan listrik) dan disebut potensial zeta (ξ). Potensial zeta berhubungan dengan muatan partikel dan ketebalan lapisan ganda. Ketebalan lapisan tergantung pada konsentrasi ion didalam cairan, semakin besar konsentrasi ion semakin kecil ketebalan lapisan ganda dan berarti semakin rapat muatan.

Jika ion-ion atau koloid bermuatan positif (kation) ditambahkan ke dalam target koagulasi, maka kation tersebut akan masuk ke dalam lapisan difusi karena tertarik oleh muatan negatif yang ada pada permukaan partikel koloid. Hal ini menyebabkan konsentrasi ion-ion dalam lapisan difusi akan meningkat. Akibatnya ketebalan lapisan difusi akan berkurang (termampatkan ke arah permukaan partikel) (Murniati, 2007).

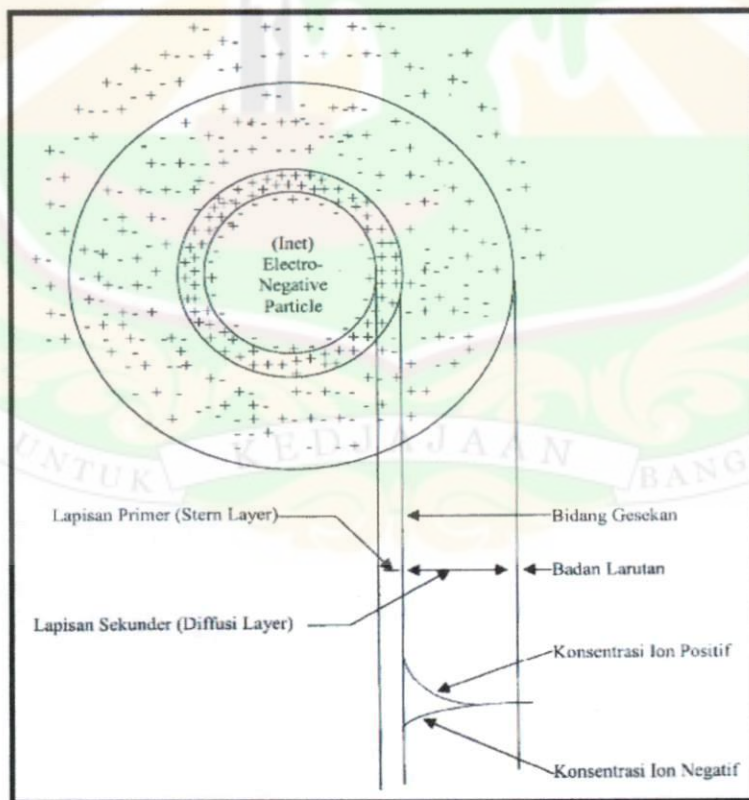
Pemampatan lapisan difusi ini akan mempengaruhi potensial permukaan partikel koloid, gaya tolak menolak antar partikel serta stabilitas partikel koloid. Penambahan kation hingga mencapai suatu jumlah tertentu, akan mengubah besar potensial zeta ke suatu tingkat dimana gaya tarik menarik Van der Waals antar partikel dapat melampaui gaya tolak menolak yang ada. Partikel koloid dapat saling mendekati dan menempel satu sama lain serta membentuk mikroflok (Murniati, 2007).

Koloid bersifat listrik, ada yang bermuatan positif dan ada yang bermuatan negatif tergantung dari asalnya. Bila berasal dari bahan anorganik maka muatan listriknya positif sedangkan yang berasal dari bahan organik muatan listriknya negatif. Pada umumnya partikel koloid bermuatan negatif, sehingga pada permukaannya terdapat ion-ion seperti Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} dan lain-lain. Ion-ion ini membentuk suatu lapisan yang disebut lapisan primer atau *stern layer*. Lapisan primer membentuk suatu lapisan yang disebut lapisan sekunder atau *diffuse layer* dengan badan air (*bulk solution*). Dalam hal ini lapisan primer dan

lapisan sekunder telah membentuk lapisan rangkap listrik atau *electric double layer* yang memberikan suatu tingkat kestabilan kepada dispersi koloid (Pontius, 1990).

Pada garis singgung ke badan larutan konsentrasi ion positif semakin berkurang karena ion positif dari air cenderung membuat lapisan primer yang bermuatan positif karena terikat pada koloid yang bermuatan negatif. Hal ini menyebabkan konsentrasi ion negatifnya meningkat. Keadaan ini terjadi sampai suatu titik dimana setelah sampai titik tersebut muatan positif dan muatan negatif tersebar merata (Pontius, 1990).

Lapisan rangkap listrik menyebabkan partikel-partikel koloid saling tolak menolak sehingga tidak dapat menyebabkan tumbukan untuk membentuk partikel-partikel yang lebih besar. Partikel dapat dibuat berkoagulasi untuk membentuk gumpalan-gumpalan yang lebih besar, dengan jalan menghilangkan muatan listrik pada lapisan primer (proses koagulasi) (Pontius, 1990). Model lapis rangkap listrik ditunjukkan pada Gambar 2.1.

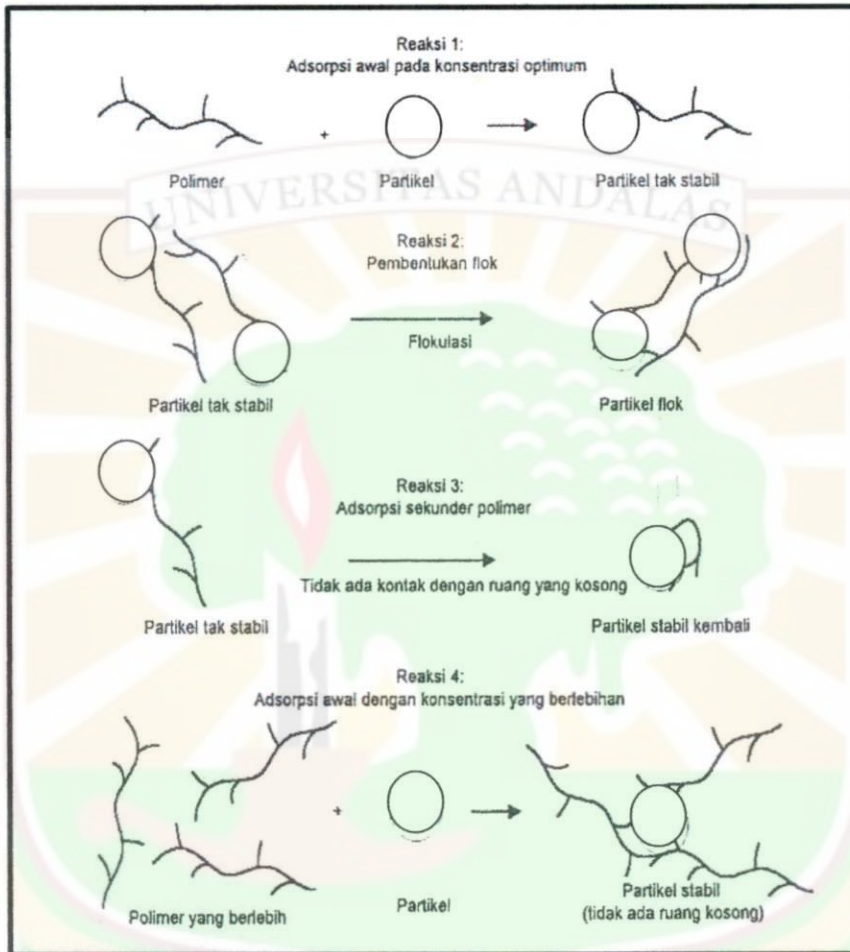


Gambar 2.1 Model Teori Lapisan *Diffuse Double*

Sumber: Pontius, 1990

2. Teori koagulan Larry dkk

Teori pengikatan partikel koloid oleh polimer menyebabkan bahwa molekul polimer akan mengikat partikel koloid pada satu sisi seperti tergambar pada reaksi 1 pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Model Anyaman Koloid oleh Polimer

Sumber : Murniati, 2007

Bagian dari rantai yang tidak mengikat koloid dapat berikatan dengan rantai lain yang telah mengikat koloid. Rangkaian tersebut membentuk suatu jembatan kimia, seperti yang tergambar pada reaksi 2. Makin banyak ikatan yang terjadi maka makin banyak koloid yang bergabung. Penggabungan tersebut membentuk gumpalan atau flok yang dapat mengendap (Murniati, 2007).

Akan tetapi bila rantai yang bebas tidak berhasil berikatan dengan rantai lain kemungkinan rantai tersebut akan menutupi seluruh permukaan partikel koloid

yang diikatnya. Hal itu mengakibatkan partikel koloid kembali dalam keadaan stabil (reaksi 3). Penambahan koagulan berlebih dapat menyebabkan kegagalan pembentukan flok. Mekanismenya adalah polimer-polimer yang berlebih akan menutupi seluruh permukaan partikel koloid, sehingga tidak ada tempat untuk rantai akhir menempel dan proses flokulasi tidak terjadi. Keadaan ini bisa mengakibatkan partikel koloid kembali stabil atau tidak dapat bergabung dengan partikel lain karena memiliki muatan yang sama (reaksi 4) (Murniati, 2007).

2.3.1 Pengadukan Koagulasi

Pengadukan merupakan operasi yang mutlak diperlukan pada proses koagulasi. Pengadukan cepat berperan penting dalam pencampuran koagulan dan destabilisasi partikel. Agar proses pencampuran koagulan berlangsung efektif dibutuhkan derajat pengadukan atau nilai gradien kecepatan (G) > 500 /detik (Reynolds, 1982).

Dalam mencapai derajat pengadukan yang memadai, berbagai cara pengadukan dapat dilakukan, diantaranya (Reynolds, 1982):

1. Pengadukan mekanis

Pengadukan mekanis adalah metoda pengadukan menggunakan peralatan mekanis yang terdiri atas motor, poros penganduk (*shaft*) dan alat pengaduk (*impeller*). Peralatan tersebut digerakkan dengan motor bertenaga listrik. Berdasarkan bentuknya, ada tiga macam *impeller* yaitu *turbine*, *propeller* (baling-baling) dan *paddle* (pedal).

2. Pengadukan *pneumatis*

Pengadukan *pneumatis* menggunakan penginjeksian udara berbentuk gelembung dengan kompresor pada bagian bawah bak koagulasi sebagai tenaga pengadukan. Gelembung tersebut dimasukkan ke dalam air dan akan menimbulkan gerakan pada air. Injeksi udara bertekanan ke dalam air akan menimbulkan turbulensi, akibat lepasnya gelembung udara ke permukaan air. Aliran udara yang digunakan untuk pengadukan cepat harus mempunyai tekanan yang menghasilkan gradien kecepatan cukup besar sehingga mampu menekan dan menggerakkan air. Gradien kecepatan diperoleh dengan

pengaturan *flow rate* udara yang diinjeksikan.

3. Pengadukan hidrolis

Pengadukan hidrolis adalah pengadukan yang memanfaatkan aliran air sebagai tenaga pengadukan. Tenaga pengadukan dihasilkan dari energi hidrolik yang dihasilkan dari suatu aliran hidrolik. Energi hidrolik dapat berupa energi gesek, energi potensial (jatuh) atau adanya lompatan hidrolik dalam suatu aliran.

Pengadukan cepat menggunakan sistem hidrolis dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya melalui terjunan air, aliran air dalam pipa dan aliran dalam saluran. Sementara besar *headloss* masing-masing tipe pengadukan hidrolis berbeda-beda tergantung pada sistem hidrolis yang dipakai. Untuk pengadukan secara hidrolis, besar nilai *headloss* yang digunakan sangat mempengaruhi efektivitas pengadukan. Beberapa cara pengadukan cepat menggunakan sistem hidrolis, yaitu (Reynolds, 1982):

a. Terjunan hidrolis

Metode pengadukan terjunan air merupakan metode pengadukan hidrolis yang simpel dalam operasional. Besar *headloss* selama pengadukan dipengaruhi oleh tinggi jarak terjunan yang dirancang. Metode ini tidak membutuhkan peralatan yang bergerak dan semua peralatan yang digunakan berupa peralatan diam/statis.

b. Aliran dalam pipa

Salah satu metoda pengadukan cepat yang paling ekonomis dan simpel adalah pengadukan melalui aliran dalam pipa. Metoda ini sangat banyak digunakan pada instalasi-instalasi berukuran kecil dengan tujuan menghemat biaya operasional dan pemeliharaan alat. Efektivitas pengadukan dipengaruhi oleh debit, jenis, diameter pipa dan panjang pipa pengaduk yang digunakan.

c. Aliran dalam saluran (*baffle*)

Bentuk aliran dalam saluran *baffle* ada dua macam, yang paling umum digunakan yaitu pola aliran mendatar (*round end baffle channel*) dan pola aliran vertikal (*over and under baffle*).

2.3.2 Jenis-Jenis Koagulan

Jenis-jenis koagulan yang dikenal saat ini sangat beragam. Seluruh jenis koagulan tersebut memiliki sifat, karakteristik dan cara kerja yang berbeda (Schroeder, 1977).

Berikut ini beberapa jenis koagulan yang sering digunakan (Schroeder, 1977):

1. Tawas

Tawas dengan rumus kimia $Al_2(SO_4)_3$ (aluminium Sulfat) merupakan bahan koagulan yang paling banyak digunakan karena bahan ini paling ekonomis (murah), mudah didapatkan dipasaran, serta mudah dalam penyimpanannya. Selain itu bahan ini cukup efektif untuk menurunkan kadar karbonat.

Banyaknya dosis tawas yang ditambahkan menyebabkan pH makin turun, karena dihasilkan asam sulfat sehingga perlu dicari dosis tawas optimum yang harus ditambahkan. Pemakaian tawas paling efektif antara pH 5,8-7,4, apabila alkalinitas alami dan air tidak seimbang dengan dosis tawas perlu ditambahkan alkalinitas. Untuk pengaturan (menaikkan) pH biasanya ditambahkan larutan kapur ($Ca(OH)_2$) atau soda abu (Na_2CO_3).

2. Feri Sulfat dan Feri Chlorida

Feri Sulfat dan Feri Chlorida dengan rumus kimia $Fe_2(SO_4)$ dan $FeCl_3$, bahan ini bersifat korosif serta tidak tahan penyimpanan lama dan mempunyai sifat asam. Endapan $Fe_2(OH)_3$ efektif terbentuk pada pH 5,5. Pengaturan pH biasanya ditambahkan larutan kapur. Garam feri ini biasanya dipakai untuk koagulasi air buangan industri, tetapi setelah itu harus diolah lagi untuk menghilangkan Fe yang ada dalam air olahan.

3. Fero Sulfat dan Fero Chlorida

Penggunaan fero biasanya akan lebih bau apabila ditambahkan larutan kapur atau NaOH Fe sebagai pengatur kondisi flokulasi dengan perbandingan 2:1. Reaksi dengan bikarbonat dan basa membentuk $Fe(OH)_2$ yang sedikit larut dan selanjutnya akan dioksidasi oleh oksigen terlarut menjadi $Fe(OH)_3$ yang tidak dapat larut.

4. Kapur

Pengaruh penambahan kapur dengan rumus $\text{Ca}(\text{OH})_2$ akan menaikkan pH dan bereaksi dengan bikarbonat membentuk endapan CaCO_3 , bila kapur yang ditambahkan cukup banyak sampai pH 10,5 maka akan terbentuk endapan $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Kelebihan ion Ca pada pH tinggi dapat diendapkan dengan penambahan soda abu.

5. *Poly Aluminium Chlorida* (PAC)

Bahan ini merupakan polimer dari Aluminium Chlorida dan baru beberapa tahun terakhir digunakan, dikemas dalam bentuk sederhana dan siap pakai serta merupakan bahan koagulasi yang bermanfaat untuk menurunkan kekeruhan.

6. Koagulan Pembantu (*Coagulan Acid*)

Biasanya untuk mendapatkan air yang lebih jernih dan mempercepat proses pengendapan ditambahkan koagulan tambahan yang berfungsi membantu atau memacu proses koagulasi. Bahan yang sering digunakan sebagai koagulan pembantu ialah dari bahan polimer organik. Polimer adalah bahan organik yang berat molekulnya besar. Biasanya sering disebut juga polielektrolit. Bahan ini ada yang asli (alamiah) dan ada yang sintetis. Polielektrolit sintetis diklasifikasikan berdasarkan atas jenis muatan pada rantai polimer sebagai berikut:

- a. Anion polielektrolit : polimer bermuatan negatif.
- b. Kation polielektrolit : polimer bermuatan positif.
- c. Polielektrolit bukan ion : polimer tak bermuatan.

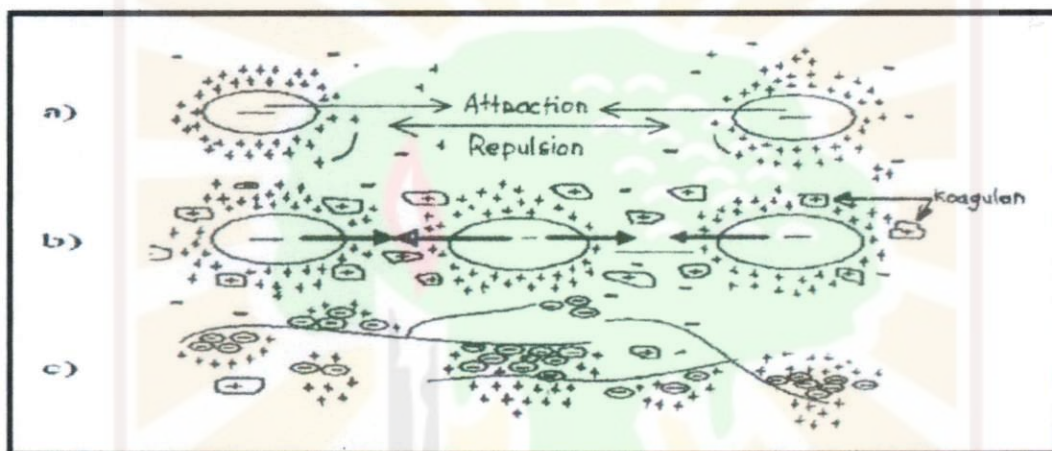
Kisaran dosis anion dan kation polielektrolit adalah 1-10 mg/l.

2.3.3 Mekanisme Koagulasi

Proses koagulasi pada pengolahan air meliputi tiga tahap, yaitu: penambahan dan pencampuran bahan koagulan, pemisahan antar partikel koloid atau destabilisasi partikel dikarenakan perubahan muatan listrik akibat penambahan koagulan, pembentukan flok-flok yang mengendap dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Selain gaya gravitasi, gaya-gaya lain yang mempengaruhi partikel koloid dalam pembentukan flok adalah (Hammer, 1997):

1. Gaya vander Waals, yang menyebabkan saling tarik menarik (gaya atraksi). Besarnya gaya ini tergantung pada komposisi dan densitas koloid.
2. Gaya tolak menolak antar koloid karena mempunyai muatan listrik yang sama (gaya repulsi).

Gaya repulsi umumnya lebih besar dari gaya atraksi. Gaya atraksi tidak dapat dipengaruhi dari luar, sebaliknya gaya repulsi dapat dipengaruhi dari luar misalnya dapat menambah muatan elektrolit. Sifat koloid seperti ini menjadi dasar dalam proses koagulasi dan flokulasi. Mekanisme koagulasi dan flokulasi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Mekanisme Koagulasi. a) Gaya yang ditunjukkan oleh Partikel Koloid pada Kondisi Stabil. b) Destabilisasi Partikel Koloid oleh Penambahan Koagulan. c) Pembentukan Flok-Flok yang Terikat Membentuk Benang Panjang

Sumber: Hammer, 1997

- a. Partikel koloid dalam air yang bermuatan listrik sama (misalnya negatif), akan saling tolak menolak dan tidak dapat saling mendekat. Kondisi ini disebut stabil.
- b. Larutan jika ditambah ion logam, misalnya yang berasal dari koagulan maka akan terjadi pengurangan repulsi sesama koloid. Kondisi ini disebut destabilisasi koloid, yang memungkinkan koloid saling mendekat dan membentuk mikroflok.
- c. Mikroflok-mikroflok tersebut cenderung untuk bersatu dan membentuk makroflok karena sudah mengalami destabilisasi dan akan mengendap.

Hammer (1997) menjelaskan bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi terjadinya proses koagulasi dan flokulasi, antara lain:

1. Dosis Koagulan

Kebutuhan koagulan atau dosis koagulan pada proses koagulasi air tergantung pada jenis air keruhnya. Air yang tingkat kekeruhannya paling tinggi membutuhkan dosis koagulan yang tepat sehingga proses pengendapan partikel koloid pada air keruh dapat berjalan dengan baik.

2. Kecepatan Pengadukan

Kecepatan pengadukan yang tepat sangatlah penting dalam proses koagulasi. Kurangnya kecepatan pengadukan akan menyebabkan koagulan tidak dapat terdispersi dengan baik, begitu sebaliknya apabila kecepatan putaran terlalu tinggi akan menyebabkan flok-flok yang sudah terbentuk akan terpecah kembali sehingga terjadi pengendapan tidak sempurna.

Pengadukan pada proses koagulasi dibutuhkan untuk reaksi penggabungan antara koagulan dengan bahan organik dalam air, melarutkan koagulan dalam air, menggabungkan inti-inti endapan menjadi molekul besar dan untuk memberi kesempatan pada pertikel-pertikel flok kecil yang sudah terkoagulasi untuk bergabung menjadi flok yang lebih besar.

3. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman adalah suatu besaran yang menyatakan sifat asam basa dari suatu larutan juga mempengaruhi proses koagulasi dan pembentukan flok.

4. Waktu Pengendapan

Pengendapan dilakukan untuk memisahkan benda terlarut atau tersuspensi pada air keruh. Pengendapan juga merupakan suatu cara yang digunakan untuk memisahkan lumpur yang terbentuk akibat penambahan bahan kimia (koagulan).

5. Kekeruhan

Kekeruhan teramati sebagai sifat optik larutan yang mengandung zat yang tersuspensi di dalam air. Jika intensitas cahaya yang dihamburkan semakin tinggi, maka semakin tinggi pula kekeruhan dan sebaliknya.

6. Jenis Koagulan

Pemilihan jenis koagulan disesuaikan dengan kandungan di dalam air. Jenis koagulan yang biasa dipakai adalah koagulan alami seperti biji kelor atau koagulan sintesis seperti tawas.

7. Temperatur

Temperatur mempunyai hubungan erat dengan viskositas air, semakin tinggi suhu air semakin kecil viskositasnya. Viskositas ini akan berpengaruh pada pengendapan flok. Hal ini terjadi karena bertambahnya suhu akan meningkatkan gradien kecepatan sehingga flok akan terlarut kembali.

2.4 Flokulasi

Proses flokulasi dalam pengolahan air bertujuan untuk mempercepat proses penggabungan flok-flok yang telah dibibitkan pada proses koagulasi dengan bantuan pengadukan lambat. Partikel-partikel yang telah distabilkan selanjutnya saling bertumbukan serta melakukan proses tarik-menarik dan membentuk flok yang ukurannya makin lama makin besar serta mudah mengendap (Hammer, 1997).

Pengadukan lambat (*agitasi*) pada proses flokulasi dapat dilakukan dengan metoda yang sama dengan pengadukan cepat pada proses koagulasi, perbedaannya terletak pada nilai gradien kecepatan dimana pada proses flokulasi nilai gradien jauh lebih kecil dibanding gradien kecepatan koagulasi. Jika nilai gradien terlalu besar maka gaya geser yang timbul akan mencegah pembentukan flok, sebaliknya jika nilai gradien terlalu rendah atau tidak memadai maka proses penggabungan antar partikulat tidak akan terjadi dan flok besar yang mudah mengendap akan sulit dihasilkan. Nilai gradien kecepatan proses flokulasi dianjurkan berkisar antara 90/detik hingga 30/detik (Hammer, 1997).

2.5 Kelor (*Moringa oleifera* Lamk)

Moringa oleifera Lamk memiliki sinonim *Guilandina moringa* dan *Mypterygosperma gaertner*, sedangkan di Indonesia *Moringa oleifera* memiliki beragam sebutan seperti kelor (Jawa, Sunda, Bali dan Lampung), morongohi (Madura), kawona wona (Sumba), kelo (Gorontalo), Kalohe (Sangir), kero (Sulawesi Utara) (Watson, 1997). Awalnya *Moringa oleifera* merupakan tumbuhan asli daerah Himalaya yang terletak di sebelah utara India dan Pakistan, akan tetapi saat ini sudah menjadi tumbuhan asli di beberapa daerah lain misalnya Afrika dan Arab Saudi (Sutherland, 1994).

Kelor (*Moringa oleifera* Lamk) termasuk jenis tumbuhan perdu yang dapat memiliki tinggi batang 7-11 meter. Daun kelor berbentuk bulat telur dengan ukuran kecil-kecil bersusun majemuk dalam satu tangkai. Kelor dapat berkembang biak dengan baik pada daerah yang mempunyai ketinggian tanah 300-500 meter di atas permukaan laut, bunganya berwarna putih kekuning-kuningan dan tudung pelelah bunganya berwarna hijau seperti yang terlihat di Gambar 2.4 (Winarno, 2006).

Klasifikasi tanaman kelor adalah sebagai berikut (Cronquist, 1991):

- Kingdom : *Plantae*
Divisio : *Magnoliophyta*
Class : *Magnoliopsida*
Subclass : *Dilleniidae*
Ordo : *Capparales*
Family : *Moringaceae*
Genus : *Moringa*
Spesies : *Moringa oleifera* Lamk



Gambar 2.4 Daun dan Bunga Kelor
Sumber: Winarno, 2006

Tanaman kelor di Pulau Jawa sering dimanfaatkan sebagai tanaman pagar karena berkhasiat untuk obat-obatan. Pohon kelor tidak terlalu besar, batang kayunya mudah patah dan memiliki cabang yang jarang, tetapi mempunyai akar yang kuat. Tanaman kelor tidak beracun dan ramah lingkungan, di Indonesia kelor dikenal sebagai jenis tanaman sayuran yang sudah dibudidayakan. Buah kelor memiliki bentuk yang memanjang dan bersudut-sudut pada sisinya. Daun kelor telah

banyak digunakan sebagai pakan ternak seperti sapi dan kambing. Akar tanaman kelor juga sering digunakan sebagai bumbu campuran perangsang nafsu makan (Winarno, 2006).

Komoditas kelor di pasar lokal dijual dalam bentuk buah polong segar. Polong kelor yang masih muda berwarna hijau, dapat dikalengkan atau dibotolkan dalam medium larutan garam dan menjadi komoditas ekspor khususnya ke Eropa dan Amerika Serikat. Buah kelor yang mentah dipanen sebagai sayuran pada 50-70 hari setelah berbunga, sedangkan buah yang matang dengan biji tua dapat dipanen sekitar 100-115 hari setelah berbunga. Buah kelor yang sudah tua berwarna coklat, sedangkan biji kelor berwarna hitam dengan diameter 1-1,4 cm dan "bersayap" tipis tiga helai dengan panjang 0,5-2,5 cm seperti yang terlihat pada Gambar 2.5 (Winarno, 2006).



Gambar 2.5 Biji Kelor

Sumber: Winarno, 2006

2.5.1 Biji Kelor

Biji kelor mengandung *mustard oil* (minyak moringa) yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dalam pembuatan sabun, bahan iluminasi, bahan campuran untuk pembuatan kosmetik. Pendapat lain menyatakan bahwa kotiledon kelor mengandung tiga komponen penting yaitu substansi anti mikroba yang dikenal dengan nama 4- α -L-rhamnosiloksi-benzil-isotiosianat, minyak bend dan bioflokulan (Sutherland, 1994). Bagian dari biji kelor yang berperan sebagai bioflokulan adalah protein yang larut dalam air. Meskipun demikian tidak semua protein dapat berperan sebagai bioflokulan. Kandungan dari biji kelor dapat

dilihat pada tabel 2.2, untuk kandungan pada biji kelor kering pada tabel 2.3 dan kandungan pada biji kelor masak pada tabel 2.4

Tabel 2.2 Kandungan Biji Kelor

Unsur	Jumlah (%)
Air	22,4
Protein	15,6
Asam Amino	15,3
Abu	11,5
Lemak	10,1
Sukrosa	5,5
Serat	5,1
Kalsium	3,76
Kalium	1,43
Magnesium	0,96
Natrium	0,34
Mangan	0,008
Tembaga	0,0005

Sumber : Prayogo, 2006 dalam Muharto, 2007

Tabel 2.3 Kandungan Per 100 gr Biji Kelor Tua (Coklat)

Unsur	Berat	Satuan
Air	4,08	Gram
Protein	38,4	Gram
Lemak	34,7	%
Serat	3,5	Gram
Ampas	3,2	Gram
Ekstrak N	16,4	Gram

Sumber : Prayogo, 2006 dalam Muharto, 2007

Tabel 2.4 Kandungan Per 100 gr Biji Kelor Muda (Hijau)

Unsur	Berat	Satuan
Air	86,9	Gram
Protein	2,5	Gram
Lemak	0,1	Gram
Karbohidrat	8,5	Gram
Serat	4,8	Gram
Ca	30	Milligram
Fe	5,3	Milligram
Vitamin A	184	UI
Niacin	0,2	Milligram
Asam Askorbat	120	Milligram
Cu	310	μ gram
I	1,8	μ gram

Sumber : Prayogo, 2006 dalam Muharto, 2007

2.5.2 Biji Kelor Sebagai Bioflokulan

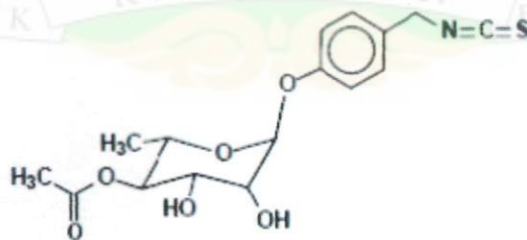
Biji kelor merupakan bagian dari tanaman kelor yang memiliki protein dengan konsentrasi yang tinggi. Protein biji kelor penting untuk diketahui karena untuk

keperluan penjernihan air. Protein inilah yang berperan sebagai koagulan partikel-partikel penyebab kekeruhan (Hidayat, 2006).

Biji kelor pada prinsipnya merupakan makromolekul yang mengandung karbohidrat, lemak serta komposisi utamanya adalah protein yang merupakan poli asam amino yang banyak memiliki gugus fungsional (basa lewis) disamping gugus utamanya, sedangkan yang berperan sebagai bioflokulan adalah protein yang larut dalam air bermuatan positif. Larutan tersebut memiliki sifat seperti polielektrolat alum dan merupakan polimer yang dapat mengikat partikel koloid dan membentuk flok yang dapat mengendap (Muharto, 2007).

Keberadaan gugus fungsional asam amino diperkirakan mampu mengikat ion logam di dalam larutan melalui proses koagulasi. Koagulasi ion logam oleh biji kelor diduga terjadi melalui mekanisme pembentukan ikatan antara basa lewis dari protein dengan ion logam yang bersifat asam lewis. Mekanisme penurunan konsentrasi logam berat juga dimungkinkan karena adanya aktivitas asam amino bioflokulan yang mampu mengadsorpsi dan membentuk ikatan antar partikel air dan bioflokulan, sehingga terbentuk ikatan-ikatan stabil yang dapat mengendap (Lehninger, 1982).

Bioflokulan biji kelor yang dicampur dengan air merupakan protein yang bersifat serupa dengan polielektrolit positif. Biji kelor juga mengandung logam alkali kuat seperti K dan Ca, yang menjadi kutub positif (Duke 1998). Efektivitas koagulasi biji kelor ditentukan oleh kandungan protein kationik dengan bobot molekul sekitar 6.5 kDa. Zat aktif dalam biji kelor adalah 4-(α -L-ramnosiloksi) benzil isotiosianat (Gambar 2.6) (Muharto, 2007).



Gambar 2.6 Struktur 4(α -L-ramnosiloksi) benzil isotiosianat)

Sumber : Muharto, 2007

Mekanisme koagulasi dengan koagulan protein yang paling mungkin adalah adsorpsi, netralisasi muatan dan pembentukan ikatan antar partikel yang tidak

stabil (Katayon, 2006). Dari ketiga mekanisme tersebut, sulit untuk menentukan mekanisme yang terjadi, karena mungkin berlangsung simultan. Akan tetapi, umumnya mekanisme koagulasi dengan biji kelor adalah adsorpsi dan netralisasi muatan (Sutherland, 1994).

Pembentukan ikatan protein bermuatan positif dari biji kelor akan terjadi pada bagian bermuatan negatif dari permukaan partikel serta membantu pembentukan muatan negatif dan positif pada permukaan partikel. Pembentukan ikatan partikel dapat ditingkatkan dengan proses pengadukan. Terjadi kejenuhan antar partikel yang berbeda muatan sehingga flok akan terbentuk (Sutherland, 1994).

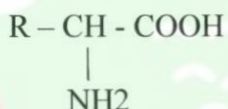
Hidayat (2006) menyatakan bahwa konsentrasi protein dari biji kelor (biji dalam) sebesar 147.280 ppm/gram dari kulit biji kelor sebesar 73.547 ppm/gram. Konsentrasi protein yang tinggi di dalam biji kelor dinyatakan sebagai flokulan polielektrolit kationik alami berbasis polipeptida dengan berat molekul berkisar antara 6.000-16.000 dalton yang mengandung tiga asam amino yang sebagian besar merupakan asam glutamat, metionin dan arginin. Biji kelor sebagai polielektrolit juga dapat dijadikan sebagai bahan penjernih air dengan cara adsorpsi dan membuat jembatan antar partikel (Hidayat, 2006)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2006) bagian biji kelor dalam memiliki nilai konsentrasi protein yang paling tinggi. Protein biji kelor yang tidak dikupas kulit bijinya mengandung separuh bagian dibandingkan dengan protein dari bagian biji dalam saja, oleh karena itu jika akan digunakan sebagai bioflokulan maka sebaiknya kulit biji kelor dikupas terlebih dahulu. Pengupasan biji kelor memang memerlukan waktu yang lebih lama tetapi akan lebih efektif jika dibandingkan dengan menggunakan biji kelor tanpa dikupas kulitnya sebagai bahan koagulan (Hidayat, 2006).

Ndabigengesere (1995) menyatakan bahwa biji kelor bagian dalam beserta kulit biji kelor dan biji bagian dalam saja sama-sama memiliki aktivitas koagulasi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Hidayat (2006) protein biji kelor memiliki muatan positif, serta protein yang terdapat pada biji kelor merupakan koagulan polielektrolit kationik. Perbedaan muatan antara protein biji kelor yang dilarutkan dalam air dengan partikel-partikel penyebab kekeruhan menyebabkan terjadinya

flok yang semakin membesar dan mengendap seiring dengan lamanya waktu pengendapan.

Kestabilan struktur protein sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pH dan temperatur. Semua asam amino yang ditemukan pada protein mempunyai ciri yang sama, yaitu adanya gugus karboksil dan gugus amina yang diikat pada atom karbon yang sama. Asam amino yang ada dalam protein memiliki perbedaan pada rantai sampingnya atau gugus alkil (R-) yang bervariasi dalam struktur. Berdasarkan gugus alkil yang dimiliki, terdapat empat golongan asam amino yaitu golongan alkil nonpolar, alkil polar tetapi tidak bermuatan, alkil bermuatan negatif dan alkil bermuatan positif (Lehninger, 1982).

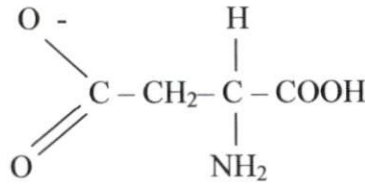


Gambar 2.7 Struktur Umum Asam Amino

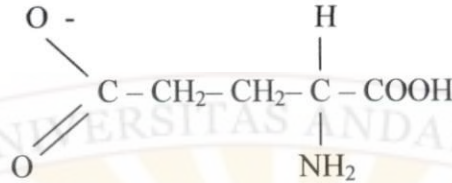
Sumber: Lehninger, 1982

Wirahadikusumah (1977) menjelaskan bahwa berdasarkan gugus alkil (R-) yang dimiliki asam amino dapat dibagi menjadi empat golongan:

1. Asam amino dengan gugus alkil non polar.
Golongan ini terdiri dari lima asam amino dengan alkil alifatik (*alanin, lesin, isoleusin, valin dan prolin*), dua dengan alkil aromatik (*fenilalanin dan triptopan*) dan satu mengandung atom sulfur (*metionin*).
2. Asam amino dengan gugus alkil polar tetapi tidak bermuatan.
Golongan ini lebih mudah larut di dalam air karena gugus alkil polar dapat membentuk ikatan hidrogen dengan molekul air. Golongan ini meliputi *glisin, serin, treosin, sistein, tirosin, asparagin dan glutamin*.
3. Asam amino dengan gugus alkil bermuatan negatif (asam amino asam).
Golongan ini bermuatan negatif pada pH 6,0-7,0 dan terdiri dari asam aspartat dan asam glutamat yang masing-masing memiliki gugus karboksil. Struktur asam amino asam aspartat dapat dilihat pada Gambar 2.8 dan Struktur asam amino asam glutamat pada Gambar 2.9.
4. Asam amino dengan gugus alkil bermuatan positif (asam amino basa).
Golongan ini bermuatan positif pada pH 7,0. terdiri dari *lisin, arginin dan histidin*.



Gambar 2.8 Struktur Asam Amino Asam Aspartat
Sumber: Lehninger, 1982



Gambar 2.9 Struktur Asam Amino Asam Glutamat
Sumber: Lehninger, 1982

2.5.3 Penelitian-Penelitian Terkait Penggunaan Biji Kelor Sebagai Bioflokulan

Penelitian penggunaan biji kelor sebagai bioflokulan telah dilakukan oleh beberapa orang seperti:

1. Irianty (2008) menggunakan biji kelor sebagai koagulan dalam proses penjernihan air gambut di daerah Desa Bunga Raya. Tujuannya untuk mengetahui jumlah massa biji kelor dan waktu pengendapan yang tepat terhadap jumlah air gambut. Parameter yang dianalisis adalah warna, kekeruhan, pH, zat organik dan besi (Fe).

Percobaan analisa dilakukan dengan variasi berat biji kelor sebanyak enam taraf, yaitu: 125 mg, 250 mg, 375 mg, 500 mg, 625 mg dan 750 mg, dan waktu pengendapan dengan tiga taraf, yaitu: 5 menit, 10 menit dan 15 menit. Hasil percobaan analisis menggunakan biji kelor 250 mg/l dalam air gambut dengan waktu pengendapan 10 menit dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Karakteristik Air Gambut Sebelum dan Setelah Percobaan

Parameter	Sebelum Penambahan Bioflokulan Biji Kelor	Setelah Penambahan Bioflokulan Biji Kelor	% Penyisihan
pH	4,9	7,03	6,9
Warna	45 PtCo	4 PtCo	82,1
Kekeruhan	36 NTU	4,3 NTU	85,9
Zat organik	20,7 mg/l	9 mg/l	91,1
Logam Fe	0,43 mg/l	0,1 mg/l	89,8

Sumber : Irianty, 2008

2. Khasanah (2008) dalam skripsinya yang berjudul Efektivitas Biji Kelor (*Moringa Oleifera*, Lamk) Sebagai Koagulan Fosfat Dalam Limbah Cair Rumah Sakit RSUD Dr. Saiful Anwar Malang, menggunakan variasi dosis koagulan, waktu pengendapan dan pH dalam menentukan kondisi optimum untuk menurunkan kadar fosfat pada air limbah.

Dosis optimum koagulasi fosfat limbah cair rumah sakit menggunakan biji kelor dengan variasi konsentrasi 200 ppm, 250 ppm, 300 ppm, 350 ppm dan 400 ppm adalah 200 ppm. Semakin besar dosis biji kelor yang ditambahkan ternyata tidak memberikan hasil yang lebih baik. Hal ini dikarenakan lemahnya ikatan antara fosfat dan biji kelor sehingga fosfat terlepas kembali.

Penurunan konsentrasi fosfat paling besar diperoleh dengan variasi waktu pengendapan 0 menit, 15 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit adalah pada waktu pengendapan 90 menit, semakin lama waktu pengendapan atau waktu kontak biji kelor dengan fosfat ternyata tidak memberikan penurunan konsentrasi fosfat yang lebih besar, hal ini disebabkan lemahnya ikatan antara fosfat dengan biji kelor dan banyaknya elektrolit anionik selain fosfat yang ikut terkoagulasi. Pada variasi pH 2, 3, 4, 5 dan 6, penurunan konsentrasi fosfat terbesar terjadi pada kondisi optimum pH larutan 2.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa serbuk biji kelor mampu menurunkan konsentrasi fosfat total pada dosis 200 ppm dengan waktu pengendapan 90 menit sebesar 27,82 % atau 8,068 ppm dan ortofosfat sebesar 29,87 % atau 3,195 ppm. Efektivitas biji kelor pada pH 2 mampu menurunkan konsentrasi fosfat total sebesar 52,15 % atau 14,93 ppm dan ortofosfat sebesar 56,70 % atau 8,65 ppm, hal ini dikarenakan gugus $-NH_3^+$ yang telah terbentuk sempurna atau lebih besar dari pada gugus $-NH_2$ pada pH larutan asam dan pada pH 2 fosfat membentuk senyawa $H_2PO_4^-$.

3. Zulkarnain (2008) menyisihkan kadar logam kadmium (II) pada air baku untuk air minum menggunakan biji kelor sebagai koagulan dengan variasi dosis, pH dan waktu pengendapan. Variasi dosis biji kelor dalam mengkoagulasi kadmium (II) adalah 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm dan 50 ppm dan didapatkan dosis optimum 50 ppm, untuk pH optimum biji kelor dengan variasi

2, 3, 4, 5 dan 6 adalah pH 6, sedangkan variasi waktu pengendapan biji kelor pada variasi 15 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit didapatkan waktu optimum adalah 120 menit. Dari hasil penelitian, diketahui bahwa biji kelor mampu mengkoagulasi kadmium sampai 62%.

4. Rambe (2009) memanfaatkan biji kelor sebagai koagulan pada limbah cair industri tekstil (pencucian jeans) dengan parameter penyisihan kekeruhan, TSS, warna dan COD. Variasi yang digunakan untuk menentukan kondisi optimum dalam penggunaan biji kelor sebagai koagulan adalah dosis koagulan yaitu 750 mg/l, 875 mg/l, 1000 mg/l, 1125 mg/l, 1250 mg/l (mg/l limbah cair) dengan kecepatan pengadukan cepat 100 rpm selama 3 menit dan pengadukan lambat 40 rpm selama 12 menit.

Hasil pengolahan limbah cair industri pencucian jeans menggunakan kondisi optimum dosis koagulan 1250 mg/l air limbah dengan ukuran partikel 212 mesh, mampu menyisihkan kekeruhan 77,77%, TSS sebesar 83,69%, COD sebesar 75,86% dan kadar warna merah 0,05, biru 0,2, kuning 0,37 dengan alat lovibond pada pH 7,8.

Pada percobaan ini juga dilakukan kombinasi antara biji kelor dan alum sebagai koagulan. Kombinasi biji kelor dan alum yang didapatkan adalah 8:8 untuk rasio massa.

5. Rahayu (2011) membandingkan efektivitas biji kelor tanpa kulit dan berkulit dalam menurunkan kekeruhan, konsentrasi ion besi dan ion mangan pada air tanah sebagai sumber air minum. Penentuan kondisi optimum untuk biji kelor tanpa kulit dan berkulit dilakukan dengan variasi pH 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 dan 13, waktu penganapan dengan variasi waktu 10 menit, 20 menit, 30 menit, 40 menit, 50 menit, 60 menit, 70 menit, 80 menit, 90 menit dan 100 menit, dan untuk konsentrasi dosis koagulan 10 mg/l, 20 mg/l, 30 mg/l, 40 mg/l, 50 mg/l, 60 mg/l, 70 mg/l, 80 mg/l, 90 mg/l, 100 mg/l, 200 mg/l, 300 mg/l, 400 mg/l dan 500 mg/l.

Kondisi optimum untuk biji kelor tanpa kulit adalah pada pH 6, waktu pengendapan selama 60 menit dengan konsentrasi 50 mg/L. Sementara kondisi optimum untuk biji kelor berkulit adalah pada pH 7, waktu

pengenapan 60 menit dan konsentrasi 80 mg/L. Kondisi optimum masing-masing koagulan memberikan respon yang berbeda-beda terhadap penurunan kekeruhan, konsentrasi ion besi dan ion mangan. Nilai rata-rata penurunan kekeruhan dengan koagulan biji kelor tanpa kulit dan biji kelor berkulit masing-masing 99,10% dan 99,07%. Nilai rata-rata penurunan ion besi untuk kedua koagulan di atas berturut-turut 98,30 dan 98,45%, sedangkan nilai rata-rata penurunan ion mangan berturut-turut 77,87% dan 81,08%. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa biji kelor berpotensi sebagai koagulan yang efektif baik untuk biji kelor tanpa kulit maupun biji kelor berkulit.

2.6 Penyisihan Kontaminan

Setelah proses koagulasi dan flokulasi diperlukan waktu untuk proses pengendapan flok-flok yang telah terbentuk. Lamanya waktu detensi untuk proses pengendapan tersebut yaitu 1,5-4 jam (Kawamura, 1991). Hasil proses akan membentuk pemisahan antara air jernih dan endapan yang telah terbentuk pada dasar bak sedimentasi. Kontaminan yang tersisihkan dapat dihitung efisiensi penyisihannya, Efisiensi penyisihan merupakan penurunan konsentrasi kontaminan oleh bioflokulan biji kelor dan dinyatakan dengan persentase. Besarnya efisiensi penyisihan dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.1 (Supranto, 2000):

$$\%R = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana: %R = Persentase penyisihan
 C_{in} = Konsentrasi kontaminan pada larutan awal (mg/l)
 C_{out} = Konsentrasi kontaminan pada larutan saat kesetimbangan (mg/l)

2.7 Logam Zn

Logam berat merupakan bagian dari senyawa anorganik yang pada umumnya bersifat racun (toksik). Logam berat dapat mengalami biokonsentrasi dan bioakumulasi dalam tubuh makhluk hidup yang berakibat kadar dalam tubuh mkhluk hidup lebih besar dari pada kadarnya di perairan. Selain itu, logam berat juga mengalami biomagnifikasi, yaitu kadarnya semakin meningkat seiring dengan peningkatan posisi organisme pada rantai makanan (Effendi, 2000).

Mason (1981) dalam Sudarso (1997) mengemukakan bahwa logam berat merupakan toksikan yang umum berada di perairan Indonesia (sungai), yang meliputi logam timbal, nikel, cadmium, seng, tembaga dan merkuri. Dari beberapa jenis logam berat yang mencemari sungai-sungai di Indonesia, logam Zn merupakan jenis logam berat yang kandungannya paling tinggi dibandingkan beberapa logam berat lainnya.

2.7.1 Sifat dan Keberadaan Logam Zn

Zinkum (seng) adalah unsur kimia yang mempunyai lambang kimia Zn dengan nomor atom 30, massa atom relatif 65,37 dan memiliki valensi +2. Titik cair Zn berada pada suhu $419,6^{\circ}\text{C}$ dan titik leburnya pada suhu 906°C (Mason, 1981). Logam Zn merupakan suatu logam berat putih keperakan dan dapat larut dalam air. Sumber logam Zn terbagi dua, yaitu (Mason, 1981):

1. Secara alamiah dapat berasal dari batu dan lumpur lahar;
2. Berasal dari aktivitas manusia.

Seng tidak diperoleh dengan bebas di alam, melainkan dalam bentuk terikat (Mason, 1981).

Keberadaan logam Zn dapat berasal dari proses alamiah maupun dari limbah industri dan pertanian. Pada lahan pertanian, seng sangat diperlukan untuk kesuburan tanah. Logam Zn adalah unsur hara mikro esensial bagi manusia, hewan dan tumbuh-tumbuhan tingkat tinggi. Kandungan Zn total rata-rata pada litosfir sekitar 80 mg/kg. Mineral-mineral sebagai sumber utama yang kaya Zn dalam tanah adalah sphalerite dan wurtzite (ZnS), dan sumber yang sangat kecil dari mineral-mineral smithsonites (ZnCO_3), willemite (Zn_2SiO_4), zincite (ZnO), zinkosite (ZnSO_4), franklinite (ZnFe_2O_4) dan hopeite ($\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) (Palar, 1994).

Pada batuan magmatik Zn terdistribusi merata, dan kandungannya berbeda pada batuan asam dan basik yaitu dari 40 mg/kg dalam batuan granit dan 100 mg/kg dalam batuan basaltik. Pelarutan mineral-mineral tersebut di atas dapat terjadi secara alami sehingga unsur-unsur yang terkandung di dalamnya terbebas dalam bentuk ion. Ion Zn^{2+} yang terbebas mengalami proses lebih lanjut, terikat dengan matriks tanah atau bereaksi dengan unsur-unsur lain. Sehingga Zn dalam tanah

dikelompokkan dalam bentuk-bentuk kelompok mudah tersedia sampai tidak tersedia bagi tanaman, yaitu bentuk terlarut dalam air, dapat dipertukarkan (terikat pada koloid-koloid bermuatan listrik), teradsorpsi dalam bentuk khelat atau bentuk senyawa kompleks (ikatan logam pada ligan organik), mineral sekunder dan oksida metalik tidak larut, serta dalam bentuk mineral primer (Sudarso, 1997).

Endapan Zn dapat terbentuk dengan senyawa-senyawa hidroksida, karbonat, fosfat, sulfida, molibdat dan asam-asam organik yang terdiri dari humat, fulvat dan ligand organik. Asam-asam organik berasal dari dekomposisi senyawa-senyawa organik yang terdapat dalam bahan organik. Adsorpsi Zn^{2+} yang kuat dalam tanah dapat terjadi dengan adanya bahan organik dan mineral liat, dan hal ini berhubungan dengan kapasitas kation tanah dan keasaman tanah (Mason, 1981).

Effendi (2000), logam yang masuk ke perairan akan mengalami pengenceran, pengendapan dan dispersi. Rendahnya kandungan logam Zn di perairan kemungkinan disebabkan oleh sifat logam Zn dalam lingkungan perairan dan sangat dipengaruhi oleh bentuk senyawanya. Effendi (2000) menyatakan bahwa logam Zn di perairan umumnya berbentuk persenyawaan sphalerite (ZnS), calamine ($ZnCO_3$), oksida seng (ZnO) dan milemite (Zn_2SiO_4).

Kelarutan logam Zn dalam air relatif rendah, logam Zn dengan gugusan klorida dan sulfat mudah terlarut ke dalam sedimen, sehingga logam Zn di perairan banyak mengendap di dasar. Menurut Bryan dalam Efendi (2000) bahwa pengendapan logam di perairan terjadi karena adanya anion karbonat, hidroksil dan klorida.

Kelarutan Zn tanah atau mineral-mineral Zn dalam tanah meningkat dengan meningkatnya aktivitas ion H^+ dalam larutan tanah atau sebaliknya. Dengan kata lain kestabilan atau kelarutan senyawa Zn sangat dipengaruhi oleh keasaman tanah, makin tinggi keasaman tanah makin tinggi kelarutan Zn, sebaliknya makin rendah keasaman tanah makin rendah kelarutan Zn. Sebaliknya reaksi hidrolisis dan kompleks dengan ion-ion lain bereaksi lambat untuk membentuk senyawa kompleks (Efendi, 2000).

Penambahan unsur logam pada tanah dapat terjadi dengan berbagai cara yaitu melalui polusi, penggunaan sarana produksi seperti pupuk, pestisida dan fungisida, sehingga terjadi kontaminasi logam-logam pada tanah dan tumbuh-tumbuhan. Penambahan logam Zn ke tanah melalui polusi umumnya terjadi di daerah-daerah industri peleburan bahan tambang seng (Mason, 1981).

Masuknya logam Zn ke sungai sebagai akibat dari limpasan air permukaan tanah yang umumnya disebabkan oleh hujan. Untuk logam Zn yang berasal dari adisi limbah industri, umumnya terdapat dalam bentuk Sphalerite (ZnS) dan Smithsonite ($ZnCO_3$). Sekitar $\frac{3}{4}$ dari total Zn diperoleh dari pembentukan logam dan masing-masing komponen Zn tergantung jenis industrinya. Palar (1994), menyatakan bahwa sumber logam Zn di perairan berasal dari material geokimia yang terbawa atau ada pada sungai, bahan baku minyak, besi, cat dan sisa-sisa kaleng bekas.

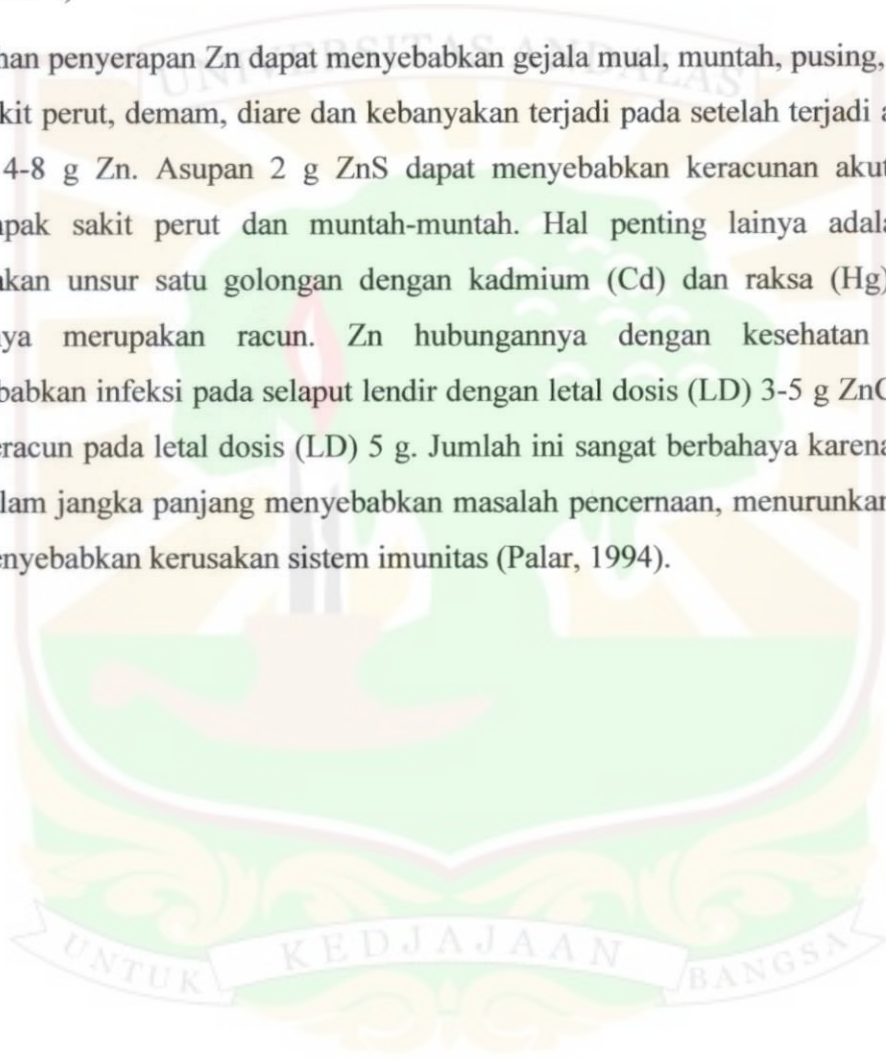
Limbah industri yang mengandung logam Zn dibuang ke perairan dalam jumlah banyak dapat menimbulkan pencemaran perairan. Logam Zn mempunyai kemampuan melarut yang relatif tinggi, sehingga logam tersebut tersebar luas di perairan. Apabila konsentrasi logam berat Zn dalam perairan berada pada konsentrasi yang tinggi, maka kemungkinan besar logam Zn dapat terakumulasi dalam tubuh biota air. Pada konsentrasi yang tinggi, logam berat Zn dapat bersifat racun bagi mikroorganisme. Kadar logam Zn sebesar 0,015 ppm dapat menurunkan aktivitas fotosintesa tumbuhan perairan dan konsentrasi 0,02 ppm dapat menurunkan proses pertumbuhan fitoplankton (Palar, 1994).

2.7.2 Toksikologi Logam Zn

Pada dasarnya logam seng terutama pada Zn murni tidak berbahaya akan tetapi jika tersusun membentuk senyawa seperti Zn arsenat, Zn sianida, dsb, kemungkinan akan sangat berbahaya. Uji ekotoksikologi didasarkan pada 50 $\mu\text{g/L}$ nilai PNEC dalam Zn terlarut yang berarti total konsentrasi berkisar antara 150-200 $\mu\text{g/L}$ Zn dalam air. PNEC (Predicted No Effect Concentration) merupakan representasi dari konsentrasi maksimum yang tidak mempengaruhi lingkungan (Palar, 1994).

Kelarutan Zn dalam air alam tergantung pada adsorpsi mineral permukaan, kesetimbangan karbonat dan kompleks organik. Jumlahnya yang terlalu berlebih akan bersifat racun pada beberapa spesies kehidupan air. Organisasi Pangan dan Pertanian PBB merekomendasikan kandungan Zn pada air irigasi sekitar 2 mg/L. USEPA menstandarkan untuk air minum sekitar 5 mg/L MCL. Konsentrasi Zn yang melebihi 5 mg/L dapat menyebabkan rasa pahit dan tidak enak pada air (Palar, 1994).

Kelebihan penyerapan Zn dapat menyebabkan gejala mual, muntah, pusing, mulas atau sakit perut, demam, diare dan kebanyakan terjadi pada setelah terjadi asupan antara 4-8 g Zn. Asupan 2 g ZnS dapat menyebabkan keracunan akut yang berdampak sakit perut dan muntah-muntah. Hal penting lainnya adalah Zn merupakan unsur satu golongan dengan kadmium (Cd) dan raksa (Hg) yang keduanya merupakan racun. Zn hubungannya dengan kesehatan dapat menyebabkan infeksi pada selaput lendir dengan letal dosis (LD) 3-5 g ZnCl₂ dan ZnS beracun pada letal dosis (LD) 5 g. Jumlah ini sangat berbahaya karena dosis oral dalam jangka panjang menyebabkan masalah pencernaan, menurunkan HDL dan menyebabkan kerusakan sistem imunitas (Palar, 1994).

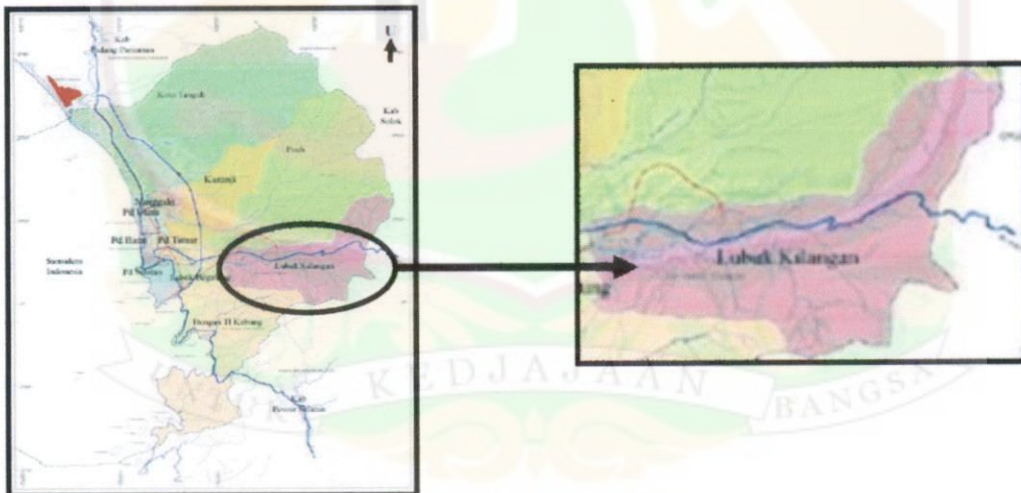


3.1 Umum

Penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan biji kelor tanpa kulit sebagai bioflokulan dalam proses koagulasi dan flokulasi untuk menurunkan konsentrasi logam Zn melalui mekanisme secara *batch*. Percobaan dilakukan untuk menentukan kondisi optimum pada variasi pH, massa bioflokulan, kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan koagulasi flokulasi dan waktu pengendapan terhadap efisiensi penurunan konsentrasi logam Zn dalam sampel.

3.2 Lokasi Penelitian

Pengambilan sampel penelitian dilakukan di Sungai Batang Idas, Kota Padang. Analisa percobaan dan analisa sampel dilakukan di Laboratorium Air dan Laboratorium Penelitian Tugas Akhir Teknik Lingkungan Universitas Andalas Padang. Lokasi Sungai Batang Idas dapat dilihat pada Gambar 3.1.



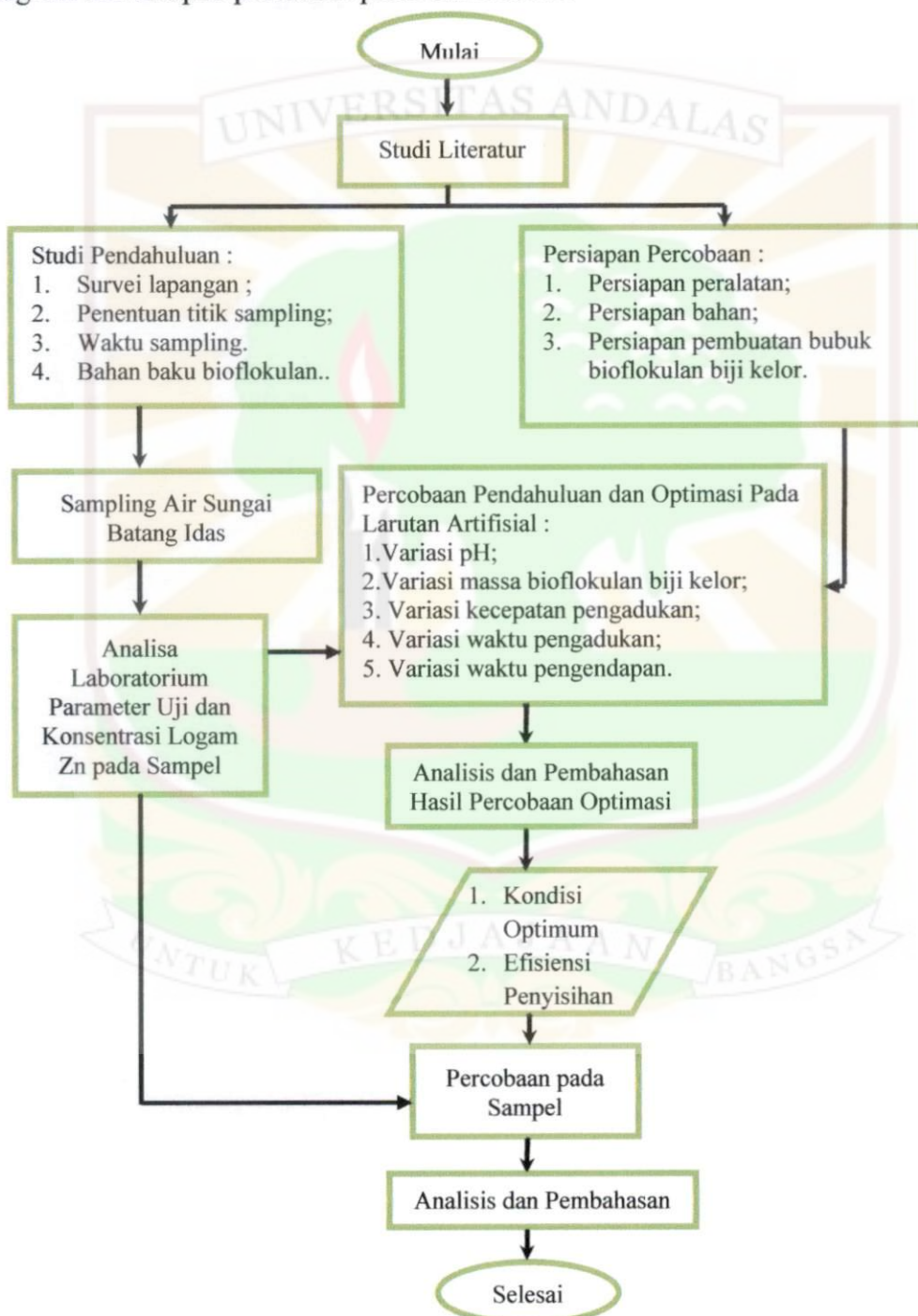
Gambar 3.1 Peta Orientasi dan Lokasi Sungai Batang Idas

Sumber : Wikipedia, 2012

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian meliputi studi literatur, studi pendahuluan, persiapan percobaan, sampling, analisa laboratorium, menentukan konsentrasi logam Zn pada sampel, percobaan optimasi dengan larutan artifisial pada variasi pH, massa

bioflokulan, kecepatan pengadukan koagulasi dan flokulasi, waktu pengadukan koagulasi dan flokulasi serta waktu pengendapan. Selanjutnya menentukan kondisi optimum dari efisiensi penurunan yang didapatkan, kemudian dilanjutkan percobaan dengan sampel pada kondisi optimum yang diperoleh. Hasil percobaan ini dilakukan analisis dan pembahasan. Tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram alir tahapan penelitian pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Pelaksanaan Penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur memberikan informasi dan teori yang berkaitan dengan penelitian. Studi literatur penelitian ini dikaji tentang air permukaan (sungai), karakteristik, sumber, baku mutu air baku, penjelasan biji kelor sebagai bioflokulan, proses koagulasi dan flokulasi, logam Zn, serta dampak negatif konsentrasi logam Zn dalam air baku.

3.3.2 Studi Pendahuluan

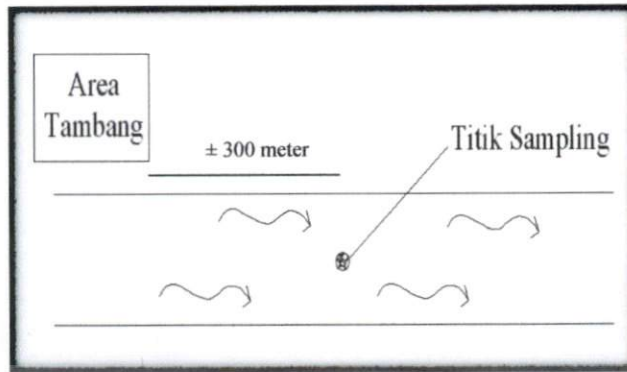
3.3.2.1 Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk melihat kondisi eksisting tempat pengambilan sampel, menentukan lokasi dan waktu pengambilan sampel yang tepat. Survei lapangan dilakukan pada Sungai Batang Idas.

3.3.2.2 Penentuan Titik Pengambilan Sampel

Sungai Batang Idas terletak di dekat Bukit Karang Putih yang merupakan tempat penambangan batu kapur sebagai bahan baku pembuatan semen oleh industri PT Semen Padang. Sungai Batang Idas dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar untuk keperluan sehari-hari dan irigasi pertanian. Pada saat proses penambangan baru kapur pihak industri menggunakan peledak untuk memecah batu kapur menjadi serpihan-serpihan kecil, sehingga mempermudah dalam proses pengangkutan ke daerah produksi. Akibat dari penggunaan peledak tersebut terdapat longsoran batu masuk ke sungai, selain itu saat hujan turun air hujan akan melarutkan kandungan logam-logam yang terdapat di batuan Bukit Karang Putih.

Sungai Batang Idas memiliki aliran air turbulen dengan debit yang cukup besar, berdasarkan hal tersebut lokasi pengambilan sampel dilakukan pada satu titik di tengah sungai dengan dua kali periode pengambilan, di hilir yang berjarak \pm 300 m setelah area penambangan batu kapur. Tujuannya adalah untuk menganalisis kondisi air setelah masuknya kontaminan (logam-logam) ke dalam air Sungai Batang Idas. Sketsa titik pengambilan sampel air Sungai Batang Idas dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Sketsa Titik Sampling Air Sungai Batang Idas

3.3.2.3 Waktu Pengambilan Sampel

Proses penambangan batu kapur biasanya dilakukan saat pagi dan sore hari. Waktu pengambilan sampel dipilih dilakukan siang hari pukul 13.15 saat hari kerja yaitu hari Senin tanggal 28 Mei 2012 dan Selasa tanggal 29 Mei 2012 setelah proses penambangan batu kapur di Bukit Karang Putih, karena kontaminan (logam-logam) akan masuk ke dalam sungai sehingga air sungai akan terkontaminasi.

3.3.2.4 Bahan Baku Bioflokulan

Bahan baku bioflokulan adalah biji tanpa kulit dari tanaman kelor (*Moringa oleifera* Lamk), dimana penggunaan bioflokulan biji kelor tanpa kulit juga mempengaruhi penyisihan kontaminan di dalam air. Penelitian Rahayu (2011) yang memanfaatkan biji kelor berkulit dan biji kelor tanpa kulit dalam penurunan konsentrasi logam besi (Fe), dengan persentase penyisihan biji kelor berkulit adalah 98,45%, sedangkan menggunakan biji kelor tanpa kulit persentase penyisihan sebesar 98,30%.

Perbedaan persentase penyisihan tersebut dikarenakan perbedaan nilai konsentrasi protein pada masing-masing bagian buah kelor yaitu kulit biji dan biji kelor. Biji kelor bagian dalam memiliki nilai konsentrasi protein yang paling tinggi, protein biji kelor yang tidak dikupas kulit bijinya mengandung separuh bagian dibandingkan dengan protein dari biji bagian dalam saja, namun secara keseluruhan biji kelor memiliki kemampuan sebagai bioflokulan (Hidayat, 2006).

Biji kelor yang diambil adalah biji yang telah kering (tua) di dahan pohon. Pohon kelor biasanya dibudidayakan sebagai sayuran (daun) dan obat-obatan (akar), serta sebagian tumbuh liar di semak-semak. Di Kota Padang tanaman kelor jarang dimanfaatkan karena minimnya pengetahuan masyarakat tentang manfaat dari tanaman kelor. Lokasi pengambilan bahan baku bioflokulan yaitu pohon kelor yang terdapat di pemukiman rumah warga pada beberapa daerah seperti Pasar Baru, By Pass dan Tarandam.

3.3.3 Persiapan Percobaan

Persiapan percobaan adalah persiapan peralatan yang digunakan, bahan penelitian dan persiapan bubuk bioflokulan biji kelor tanpa kulit.

3.3.3.1 Persiapan Peralatan

1. Peralatan Pembuatan Bubuk Bioflokulan:
 - a. Blender digunakan untuk menghaluskan biji kelor tanpa kulit;
 - b. Ayakan digunakan untuk mendapatkan bubuk biji kelor tanpa kulit yang seragam;
2. Peralatan Penentuan Kondisi Optimum (Koagulasi dan Flokulasi):
 - a. *Beaker glass* 1000 ml digunakan sebagai wadah pengadukan sampel;
 - b. *jar-Test* digunakan sebagai alat pengaduk pada proses koagulasi flokulasi;
 - c. pH meter digunakan untuk pengukuran pH;
 - d. *Magnetik mixer* digunakan untuk pengadukan larutan artifisial saat pengaturan pH;
 - e. Neraca analitik digunakan untuk mengukur massa bubuk bioflokulan biji kelor tanpa kulit;
 - f. Pipet tetes digunakan untuk pemberian larutan asam basa pada variasi pH;
 - g. Spatula berfungsi digunakan untuk membubuhkan bubuk bioflokulan biji kelor tanpa kulit;
 - h. Pipet takar dan bola hisap digunakan untuk pengambilan sampel yang telah diendapkan.
3. Peralatan Penentuan Kadar Logam Zn:
 - a. Gelas ukur 10 ml digunakan sebagai alat ukur bahan penelitian;

- b. Labu ukur 25 ml dan 2000 ml digunakan sebagai wadah pengenceran sampel dan wadah pembuatan larutan standar;
- c. *Beaker glass* 100 ml digunakan sebagai wadah sampel;
- d. Corong dan statip digunakan untuk proses penyaringan;
- e. Pipet takar digunakan sebagai alat takar untuk bahan penelitian;
- f. Kompor listrik digunakan sebagai alat pemanas;
- g. Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) digunakan untuk mengukur kadar logam seng (Zn) pada sampel.

3.3.3.2 Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Larutan Artifisial

Larutan Induk $Zn(NO_3)_2 \cdot HNO_3$ dibuat sebagai larutan artifisial berdasarkan konsentrasi logam Zn yang terkandung pada sampel air Sungai Batang Idas.

2. Bahan Baku Bioflokulan

Biji kelor kering (tua) tanpa kulit;

3. Bahan Penelitian

Larutan asam nitrat pekat (HNO_3) untuk proses destruksi;

Larutan H_2SO_4 untuk pengaturan pH pada kondisi asam;

Larutan NaOH untuk pengaturan pH pada kondisi basa.

3.3.3.3 Persiapan Pembuatan Bubuk Bioflokulan Biji Kelor Tanpa Kulit

Tahapan-tahapan dalam pembuatan bubuk bioflokulan biji kelor tanpa kulit adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan biji kelor

Biji kelor yang dipilih adalah biji yang telah kering (tua) berwarna coklat tua. Biji dikeluarkan dan dipilih yang tidak kisut, dikumpulkan dan disimpan di tempat yang kering.

2. Pengupasan kulit biji kelor

Pengupasan biji kelor dari kulitnya sampai ditemukan isi biji berwarna putih.

3. Penghulsan biji kelor

Biji kelor dihaluskan dengan cara diblender untuk memperoleh biji kelor bentuk bubuk.

4. Pengayakan bubuk biji kelor

Bubuk biji kelor yang telah halus kemudian diayak untuk diperoleh bubuk bioflokulan dengan ukuran yang seragam.

Untuk lebih jelasnya tahapan persiapan pembuatan bioflokulan biji kelor tanpa kulit dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Skema Kerja Pembuatan Bioflokulan Biji Kelor Tanpa Kulit

3.3.4 Analisa Laboratorium Parameter Uji dan Konsentrasi Logam Zn pada Sampel

Sampel air Sungai Batang Idas terlebih dahulu dilakukan analisa terhadap parameter-parameter yang kemungkinan terkandung seperti pH, suhu serta logam Seng (Zn), Kadmium (Cd), Mangan (Mn) dan Tembaga (Cu) (hasil analisa kualitas dapat dilihat pada Lampiran D Data Percobaan). pH sampel diuji dengan pH-meter, suhu diukur dengan termometer dan kandungan logam dianalisa dengan alat SSA.

Setelah penentuan hasil analisa laboratorium sampel air sungai, ditentukan kandungan parameter yang cukup tinggi yaitu logam Zn, dimana konsentrasi logam Zn digunakan untuk menentukan konsentrasi maksimum dari sampel yang diambil sebagai acuan konsentrasi pada pembuatan larutan artifisial.

3.3.5 Percobaan Pendahuluan dan Optimasi pada Larutan Artifisial

Percobaan optimasi ini dilakukan menggunakan variasi pH, massa bioflokulan, kecepatan pengadukan koagulasi dan flokulasi, waktu pengadukan koagulasi dan flokulasi serta waktu pengendapan. Percobaan optimasi dilakukan dengan larutan artifisial logam Zn yaitu larutan induk $Zn(NO_3)_2 \cdot HNO_3$ berdasarkan konsentrasi maksimum logam Zn yang terdapat pada sampel dengan beberapa variasi parameter. Percobaan ini menggunakan alat *jar test* dengan dua tahap pengadukan dalam volume kerja 500 mL larutan artifisial dan menggunakan metoda SSA untuk mengukur konsentrasi logam Zn. Variasi parameter pada percobaan optimasi dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Variasi Parameter pada Percobaan Optimasi

No	Parameter	Satuan	Variasi
1.	pH	-	2, 4, 6, 8, 10
2.	Massa bioflokulan biji kelor tanpa kulit	mg	200, 400, 600, 800, 1000
3.	Kecepatan pengadukan a. Koagulasi b. Flokulasi	rpm	80, 90, 100, 110, 120 20, 30, 40, 50, 60
4.	Waktu pengadukan a. Koagulasi b. Flokulasi	menit	1, 2, 3, 4, 5 9, 10, 11, 12, 13
5.	Waktu pengendapan	menit	30, 60, 90, 120, 150

Percobaan optimasi dilakukan secara duplo dengan tujuan agar data percobaan dari variasi parameter yang diperoleh lebih akurat. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya (Rahayu, 2011) dalam menurunkan kekeruhan, konsentrasi ion besi dan ion mangan, pH larutan optimum yang digunakan adalah pH 6, sehingga variasi pH yang digunakan pada percobaan optimasi ini adalah 2, 4, 6, 8 dan 10. Irianty (2008) memperoleh massa bioflokulan optimum sebesar 250 mg dalam penurunan konsentrasi logam Fe pada sampel limbah, sehingga diambil rentang massa yang lebih besar agar massa optimum pada sampel air Sungai Batang Idas dapat ditentukan menggunakan variasi 200 mg, 400 mg, 600 mg, 800 mg dan 1000 mg.

Rambe (2009) menggunakan kecepatan pengadukan pada proses koagulasi 100 rpm selama 3 menit dan untuk proses flokulasi 40 rpm selama 12 menit, sehingga pada percobaan optimasi ini digunakan variasi kecepatan pengadukan 80 rpm, 90 rpm, 100 rpm, 110 rpm, 120 rpm dan variasi waktu pengadukan 1 menit, 2 menit, 3 menit, 4 menit, 5 menit untuk proses koagulasi serta variasi kecepatan pengadukan 20 rpm, 30 rpm, 40 rpm, 50 rpm, 60 rpm dan variasi waktu pengadukan 9 menit, 10 menit, 11 menit, 12 menit, 13 menit untuk proses flokulasi, agar diperoleh kecepatan dan waktu pengadukan optimum pada percobaan optimasi ini. Pada percobaan Zulkarnain (2008) dalam menyisihkan logam kadmium (II) didapatkan lama waktu pengendapan optimum 120 menit sehingga dipilih variasi waktu pengendapan berkisar antara 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit.

Tahapan percobaan optimasi menggunakan larutan artifisial adalah sebagai berikut :

1. Percobaan optimasi pH menggunakan variasi 2, 4, 6, 8 dan 10 dengan massa bioflokulan biji kelor 200 mg, kecepatan pengadukan koagulasi dan flokulasi masing-masing 80 rpm dan 20 rpm, waktu pengadukan koagulasi dan flokulasi masing-masing selama 1 menit dan 9 menit serta waktu pengendapan selama 30 menit. Variasi pH berdasarkan penelitian yang dilakukan Rahayu (2011) dengan pH optimum yang didapatkan adalah pH 6. Hasil percobaan diperoleh pH optimum.

2. Percobaan optimasi massa bioflokulan menggunakan variasi 200 mg, 400 mg, 600 mg, 800 mg dan 1000 mg dengan pH optimum dari percobaan sebelumnya, kecepatan pengadukan koagulasi dan flokulasi masing-masing 80 rpm dan 20 rpm, waktu pengadukan koagulasi dan flokulasi masing-masing selama 1 menit dan 9 menit serta waktu pengendapan selama 30 menit. Variasi massa bioflokulan berdasarkan penelitian yang dilakukan Irianty (2008) dengan massa optimum yang didapatkan adalah 250 mg. Hasil percobaan diperoleh massa bioflokulan optimum.
3. Percobaan optimasi kecepatan pengadukan koagulasi menggunakan variasi 80 rpm, 90 rpm, 100 rpm, 110 rpm dan 120 rpm dengan pH optimum dan massa optimum dari percobaan sebelumnya, kecepatan pengadukan flokulasi 20 rpm, waktu pengadukan koagulasi dan flokulasi masing-masing selama 1 menit dan 9 menit serta waktu pengendapan selama 30 menit. Variasi kecepatan pengadukan koagulasi berdasarkan penelitian yang dilakukan Rambe (2009) dengan kecepatan pengadukan koagulasi yang digunakan adalah 100 rpm. Hasil percobaan diperoleh kecepatan pengadukan koagulasi optimum.
Dilanjutkan dengan percobaan optimasi kecepatan pengadukan flokulasi menggunakan variasi 20 rpm, 30 rpm, 40 rpm, 50 rpm dan 60 rpm dengan pH optimum, massa optimum dan kecepatan pengadukan koagulasi optimum dari percobaan sebelumnya, waktu pengadukan koagulasi dan flokulasi masing-masing selama 1 menit dan 9 menit serta waktu pengendapan selama 30 menit. Variasi kecepatan pengadukan flokulasi berdasarkan penelitian yang dilakukan Rambe (2009) dengan kecepatan pengadukan flokulasi yang digunakan adalah 40 rpm. Hasil percobaan diperoleh kecepatan pengadukan flokulasi optimum.
4. Percobaan optimasi waktu pengadukan koagulasi menggunakan variasi 1 menit, 2 menit, 3 menit, 4 menit dan 5 menit dengan pH optimum, massa optimum, kecepatan pengadukan koagulasi dan flokulasi optimum dari percobaan sebelumnya dan waktu pengadukan flokulasi 9 menit serta waktu pengendapan selama 30 menit. Variasi waktu pengadukan koagulasi berdasarkan penelitian yang dilakukan Rambe (2009) dengan waktu

pengadukan koagulasi yang digunakan adalah 3 menit. Hasil percobaan diperoleh waktu pengadukan koagulasi optimum.

Percobaan selanjutnya adalah optimasi waktu pengadukan flokulasi menggunakan variasi 9 menit, 10 menit, 11 menit, 12 menit dan 13 menit dengan pH optimum, massa optimum, kecepatan pengadukan koagulasi dan flokulasi optimum serta waktu pengadukan koagulasi optimum dari percobaan sebelumnya dan waktu pengendapan selama 30 menit. Variasi waktu pengadukan flokulasi berdasarkan penelitian yang dilakukan Rambe (2009) dengan waktu pengadukan flokulasi yang digunakan adalah 12 menit. Hasil percobaan diperoleh waktu pengadukan flokulasi optimum.

- Percobaan optimasi waktu pengendapan menggunakan variasi 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150 menit dengan pH optimum, massa optimum, kecepatan pengadukan koagulasi dan flokulasi optimum serta waktu pengadukan koagulasi dan flokulasi optimum dari percobaan sebelumnya. Variasi waktu pengendapan berdasarkan penelitian yang dilakukan Zulkarnain (2008) dengan waktu pengendapan yang digunakan adalah 120 menit. Hasil percobaan diperoleh waktu pengendapan optimum.

Lebih jelasnya tahapan percobaan optimasi dapat dilihat pada Tabel 3.2.

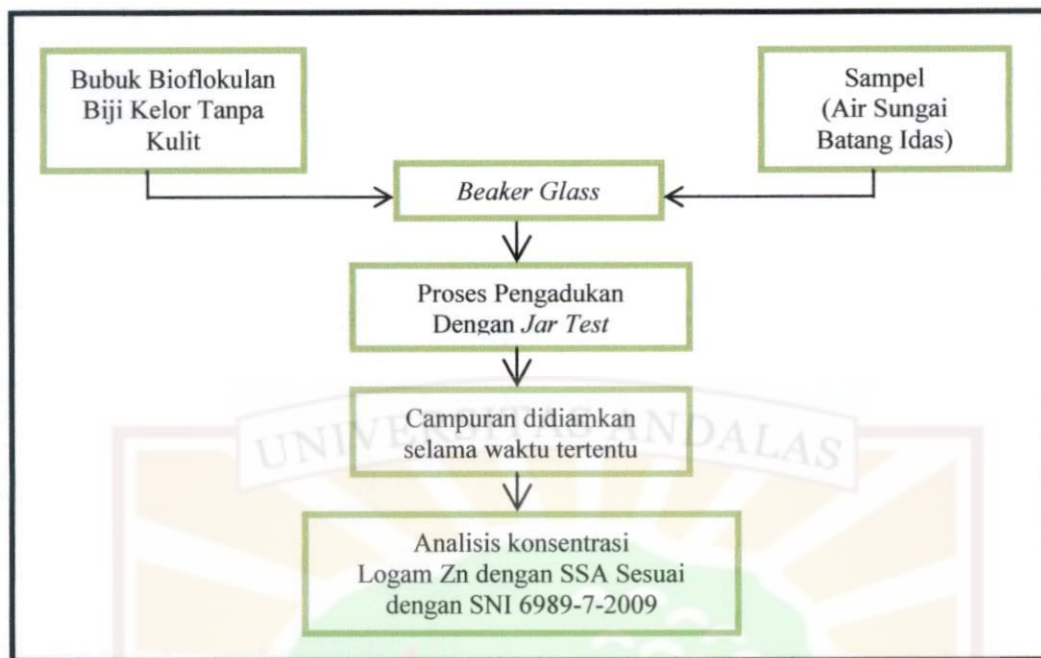
Tabel 3.2 Percobaan Optimasi dengan Variasi pH, Massa Bioflokulan Biji Kelor Tanpa Kulit, Kecepatan Pengadukan, Waktu Pengadukan dan Waktu Pengendapan

Konsentrasi Larutan Standar (mg/l)	Parameter							Hasil
	pH	Massa Bioflokulan Biji Kelor Tanpa Kulit (mg)	Kecepatan Pengadukan (rpm)		Waktu Pengadukan (menit)		Waktu Pengendapan (menit)	
			Koagulasi	Flokulasi	Koagulasi	Flokulasi		
C sampel	2	200	80	20	1	9	30	pH Optimum
	4	200	80	20	1	9	30	
	6	200	80	20	1	9	30	
	8	200	80	20	1	9	30	
	10	200	80	20	1	9	30	
C sampel	pH Optimum	200	80	20	1	9	30	Massa Optimum
		400	80	20	1	9	30	
		600	80	20	1	9	30	
		800	80	20	1	9	30	
		1000	80	20	1	9	30	

Sambungan Tabel 3.2

Parameter								Hasil
Konsentrasi Larutan Standar (mg/l)	pH	Massa Bioflokulan Biji Kelor Tanpa Kulit (mg)	Kecepatan Pengadukan (rpm)		Waktu Pengadukan (menit)		Waktu Pengendapan (menit)	
			Koagulasi	Flokulasi	Koagulasi	Flokulasi		
C sampel	pH Optimum	Massa Optimum	80	20	1	9	30	Kecepatan Pengadukan Koagulasi Optimum
			90	20	1	9	30	
			100	20	1	9	30	
			110	20	1	9	30	
			120	20	1	9	30	
C sampel	pH Optimum	Massa Optimum	Kecepatan Pengadukan	20	1	9	30	Kecepatan Pengadukan Flokulasi Optimum
			Koagulasi Optimum	30	1	9	30	
				40	1	9	30	
				50	1	9	30	
				60	1	9	30	
C sampel	pH Optimum	Massa Optimum	Kecepatan Pengadukan Koagulasi Optimum	Kecepatan Pengadukan Flokulasi Optimum	1	9	30	Waktu Pengadukan Koagulasi Optimum
					2	9	30	
					3	9	30	
					4	9	30	
					5	9	30	
C sampel	pH Optimum	Massa Optimum	Kecepatan Pengadukan Koagulasi Optimum	Kecepatan Pengadukan Flokulasi Optimum	Waktu Pengadukan Koagulasi Optimum	9	30	Waktu Pengadukan Flokulasi Optimum
					10	30		
					11	30		
					12	30		
					13	30		
C sampel	pH Optimum	Massa Optimum	Kecepatan Pengadukan Koagulasi Optimum	Kecepatan Pengadukan Flokulasi Optimum	Waktu Pengadukan Koagulasi Optimum	Waktu Pengadukan Flokulasi Optimum	30	Waktu Pengendapan Optimum
							60	
							90	
							120	
							150	

Percobaan optimasi pada larutan artifisial diukur konsentrasi logam Zn menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA) dengan panjang gelombang 213,9 nm sesuai dengan cara uji logam Zn menurut SNI 06-6989-7-2009 (Lampiran C Cara Uji Seng Secara SSA) yaitu dengan membuat kurva kalibrasi logam Zn dengan menggunakan larutan standar logam Zn yang telah diketahui konsentrasinya. Percobaan optimasi yang dilakukan dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 3.5 diagram alir tahapan percobaan optimasi.



Gambar 3.5 Diagram Alir Tahapan Percobaan

3.3.6 Analisis dan Pembahasan Hasil Percobaan Optimasi

Analisis dan pembahasan percobaan optimasi meliputi efisiensi penurunan konsentrasi logam Zn serta pengaruh pH, massa bioflokulan biji kelor tanpa kulit yang digunakan, kecepatan pengadukan koagulasi dan flokulasi, waktu pengadukan koagulasi dan flokulasi serta waktu pengendapan terhadap efisiensi penurunan konsentrasi logam Zn dalam larutan artifisial. Efisiensi penyisihan merupakan penurunan konsentrasi logam Zn oleh larutan bioflokulan biji kelor tanpa kulit. Efisiensi dinyatakan dengan persentase dan besarnya dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.1.

3.3.7 Percobaan pada Sampel

Prinsip percobaan menggunakan sampel air Sungai Batang Idas ini dilakukan sama dengan larutan artifisial yaitu mengkondisikan pH sampel berada pada pH optimum yang telah didapatkan, tambahkan bioflokulan biji kelor tanpa kulit dengan massa optimum dari percobaan optimasi. Kemudian larutan sampel diaduk dengan kecepatan koagulasi dan flokulasi optimum selama waktu pengadukan koagulasi dan flokulasi optimum yang telah didapatkan. Larutan dikondisikan kemudian didiamkan selama waktu pengendapan optimum lalu dipisahkan

supernatannya dan dilakukan pemeriksaan konsentrasi logam Zn dengan metode yang sama dengan larutan artifisial.

3.3.8 Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan meliputi:

1. Pengaruh variasi pH larutan dalam mendapatkan kondisi optimum dalam proses koagulasi flokulasi;
2. Pengaruh variasi massa bioflokulan biji kelor tanpa kulit dalam mendapatkan kondisi optimum dalam proses koagulasi flokulasi;
3. Pengaruh variasi kecepatan dan waktu pengadukan dalam mendapatkan kondisi optimum dalam proses koagulasi flokulasi;
4. Pengaruh variasi waktu pengendapan dalam mendapatkan kondisi optimum dalam proses koagulasi flokulasi;
5. Membandingkan konsentrasi logam Zn sebelum dan setelah proses koagulasi flokulasi;
6. Menganalisis tingkat efisiensi penurunan konsentrasi logam Zn menggunakan bioflokulan biji kelor tanpa kulit;
7. Membandingkan kemampuan penurunan konsentrasi logam Zn pada larutan artifisial dengan sampel air Sungai Batang Idas;
8. Membandingkan hasil penelitian yang dilakukan dengan penelitian sebelumnya.

4.1 Umum

Bab ini menjelaskan hasil yang diperoleh berdasarkan penelitian dan dilanjutkan dengan analisa dan pembahasan data. Hasil yang diperoleh meliputi hasil analisa sampel air Sungai Batang Idas, hasil percobaan optimasi dengan larutan artifisial dan hasil percobaan sampel air Sungai Batang Idas. Hasil setiap percobaan dilakukan secara duplo bertingkat dengan dua kali pengukuran absorban. Hasil percobaan untuk lebih detail dapat dilihat pada Lampiran D Data Percobaan.

Pembahasan meliputi pengaruh parameter percobaan berupa variasi pH larutan, massa bioflokulan, kecepatan pengadukan koagulasi dan flokulasi, waktu pengadukan koagulasi dan flokulasi serta waktu pengendapan terhadap efektifitas bioflokulan biji kelor tanpa kulit terhadap penurunan konsentrasi logam Zn pada larutan artifisial dan sampel air Sungai Batang Idas.

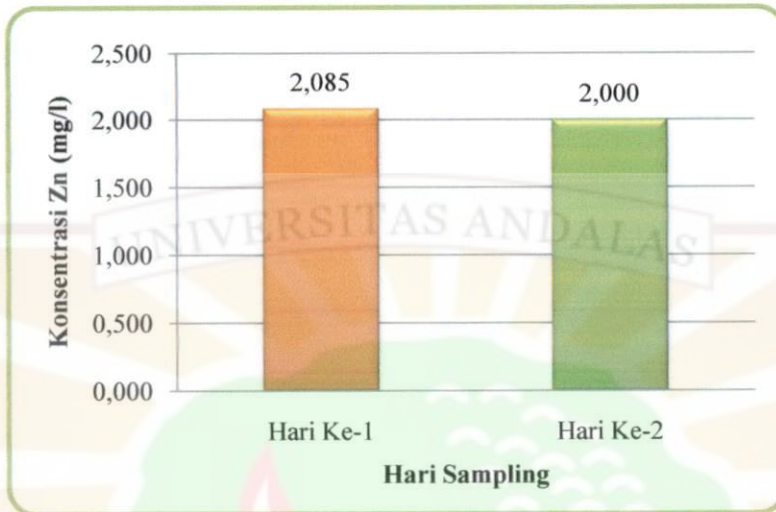
4.2 Hasil Analisa pada Sampel

Sampel air Sungai Batang Idas diambil di satu titik pengambilan pada dua kali periode, yaitu pada hari kerja Senin dan Selasa. Hasil pengukuran sampel didapatkan dua nilai hasil analisa laboratorium sampel air Sungai Batang Idas. Hasil analisa laboratorium kualitas air diperoleh nilai pH, temperatur dan konsentrasi logam Zn. Parameter-parameter ini ditentukan guna untuk melakukan perlakuan awal terhadap sampel sebelum dilakukan percobaan. Hasil pengukuran analisa laboratorium sampel air Sungai Batang Idas dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Analisa Laboratorium Sampel Air Sungai Batang Idas

Parameter	Hari Ke-1 (Senin)	Hari Ke-2 (Selasa)
pH	8,78	8,78
Temperatur (°C)	25	25
Logam Zn (mg/l)	2,085	2,000

Setelah penentuan analisa laboratorium dilakukan penentuan konsentrasi logam Zn yang terdapat pada sampel, dapat dilihat Gambar 4.1 perbandingan konsentrasi logam Zn berdasarkan hari pengambilan sampel.



Gambar 4.1 Perbandingan Konsentrasi Logam Zn pada Hari Sampling

Pada pengambilan hari pertama konsentrasi logam Zn adalah 2,085 mg/l sedangkan pada hari kedua sebesar 2,000 mg/l, perbedaan konsentrasi tersebut terjadi diprediksi akibat beberapa faktor seperti pengaruh cuaca, produksi penambangan batu kapur dan lain sebagainya. Berdasarkan data tersebut diambil konsentrasi 2,000 mg/l karena perbedaan konsentrasi yang sangat kecil antara konsentrasi pengambilan pada hari pertama dan kedua. Konsentrasi yang diambil dijadikan sebagai konsentrasi larutan artifisial yang akan dibuat dan digunakan untuk menentukan kondisi optimum penggunaan bioflokulan biji kelor tanpa kulit.

4.3 Hasil dan Pembahasan Percobaan Optimasi Larutan Artifisial

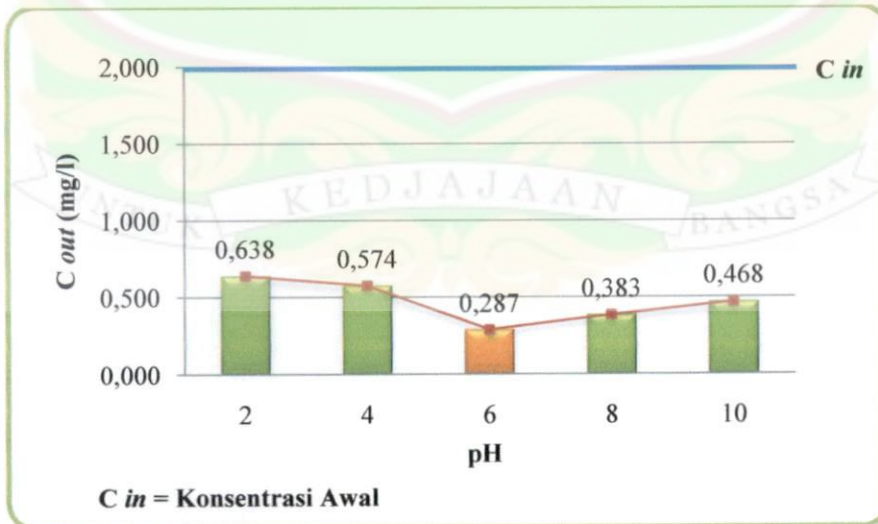
Hasil percobaan optimasi menggunakan larutan artifisial ditentukan berdasarkan persentase efisiensi penyisihan logam Zn paling besar. Percobaan optimasi ini menggunakan bioflokulan biji kelor tanpa kulit dengan variasi pH, massa bioflokulan, kecepatan pengadukan koagulasi dan flokulasi, waktu pengadukan koagulasi dan flokulasi serta waktu pengendapan pada suhu ruangan.

4.3.1 pH Optimum

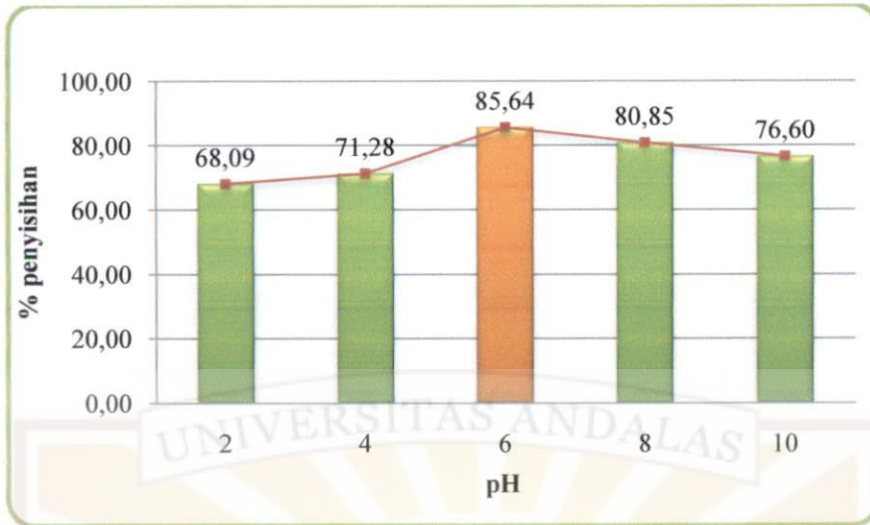
Percobaan dimulai dengan melakukan penentuan pH optimum, penentuan pH optimum dilakukan di awal untuk melihat kondisi bioflokulan biji kelor tanpa kulit secara maksimal dalam membantu proses penurunan konsentrasi logam Zn pada larutan artifisial. Kondisi tersebut dapat berupa kondisi asam, netral ataupun basa. Percobaan optimasi menggunakan variasi pH larutan yaitu pH 2, 4, 6, 8 dan 10 dengan parameter massa bioflokulan 200 mg, kecepatan pengadukan koagulasi 80 rpm, kecepatan pengadukan flokulasi 20 rpm, waktu pengadukan koagulasi 1 menit, waktu pengadukan flokulasi 9 menit dan waktu pengendapan 30 menit. Keenam parameter tetap untuk masing-masing variasi pH larutan yang digunakan. Hasil percobaan variasi pH dapat dilihat pada Tabel 4.2, Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.

Tabel 4.2 Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi pH

Variasi pH	Massa (mg)	Kecepatan Pengadukan (rpm)		Waktu Pengadukan (menit)		Waktu Pengendapan (menit)	C_{in} (mg/l)	C_{out} rata-rata (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
		Koagulasi	Flokulasi	Koagulasi	Flokulasi				
2	200	80	20	1	9	30	2	0,638	68,09
4								0,574	71,28
6								0,287	85,64
8								0,383	80,85
10								0,468	76,60



Gambar 4.2 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi pH



Gambar 4.3 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi pH

Perbandingan konsentrasi akhir logam Zn dan persentase efisiensi penyisihan untuk variasi pH dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3. Pada variasi pH 2, 4, 6, 8 dan 10 konsentrasi akhir logam Zn berturut-turut adalah dari 2 mg/l menjadi 0,638 mg/l, 0,574 mg/l, 0,287 mg/l, 0,383 mg/l dan 0,468 mg/l. Penurunan konsentrasi logam Zn paling besar terlihat pada pH larutan 6, dimana konsentrasi awal logam Zn yaitu 2 mg/l berkurang menjadi 0,287 mg/l. Persentase efisiensi penyisihan untuk variasi pH 2, 4, 6, 8 dan 10 berturut-turut adalah 68,09%, 71,28%, 85,64%, 80,85% dan 76,60%. Efisiensi terbesar dari variasi pH terlihat pada pH larutan 6 yaitu dengan nilai efisiensi 85,64%. Pada kelima variasi pH yang digunakan dalam percobaan optimasi ini, terlihat bahwa pH 6 merupakan kondisi pH optimum.

Berdasarkan hasil optimasi pH didapatkan bahwa pada pH asam yaitu pH 2, 4 dan 6 konsentrasi akhir logam Zn mengalami penurunan, namun pada pH basa yaitu pH 8 dan 10 konsentrasi akhir logam Zn kembali meningkat. Efisiensi penyisihan terbesar yaitu 85,64% terjadi pada pengaturan pH dalam kondisi asam yaitu pada pH 6.

Pada dasarnya logam Zn merupakan logam padat yang baik kelarutannya di dalam air pada kondisi asam lemah yaitu sekitar pH 4-6. Penurunan konsentrasi logam Zn pada larutan artifisial dipengaruhi oleh pengendapan alami yang dapat dilakukan oleh logam Zn, hal ini disebabkan terbentuknya senyawa kompleks

logam Zn yaitu $[ZnOH]^+$ yang dapat mengendap pada pH asam (Sneed dan Brasted, 1996). Sneed dan Brasted (1996) juga menyatakan bahwa pada pH 6, OH^- yang dihasilkan merupakan basa lewis yang akan diikat oleh ion logam yang belum bereaksi menjadi ion kompleks yang mudah mengendap.

Disisi lain pH air sangat berpengaruh terhadap proses koagulasi dan flokulasi, dimana menurut penelitian yang dilakukan oleh Anggara (2011), masing-masing jenis koagulan akan bekerja secara efektif dalam rentang pH tertentu. Untuk itu dilakukannya variasi pH pada sampel larutan artifisial sangat membantu untuk melihat pengaruh perubahan pH terhadap kinerja proses koagulasi flokulasi dari bioflokulan biji kelor tanpa kulit.

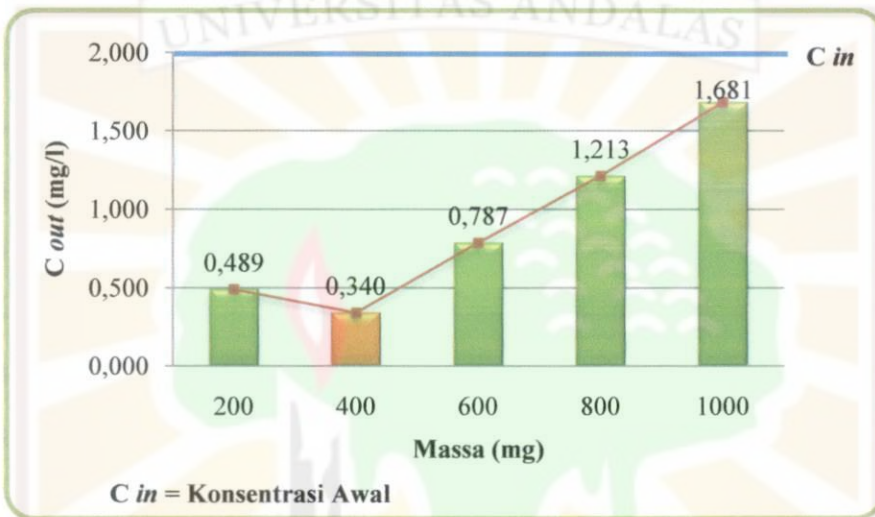
Pada bioflokulan biji kelor tanpa kulit memiliki kandungan asam amino dengan gugus alkil bermuatan negatif. Golongan ini akan bermuatan negatif pada pH 6,0-7,0 yaitu asam aspartat dan asam glutamat yang masing-masing memiliki gugus karboksil (Wirahadikusumah, 1977). Interaksi yang terjadi adalah gaya tarik menarik antara $R-COO^-$ gugus fungsi karboksil dengan logam Zn yang bermuatan positif, interaksi tersebut akan saling berikatan dan membentuk flok-flok yang mudah akan mengendap mengakibatkan penurunan konsentrasi logam Zn. Namun pada kondisi pH yang lebih tinggi bioflokulan sebagai polielektrolit kationik menjadi jenuh, akibatnya akan merusak ikatan antar partikel sehingga flok-flok tidak terendapkan sempurna.

4.3.2 Massa Bioflokulan Optimum

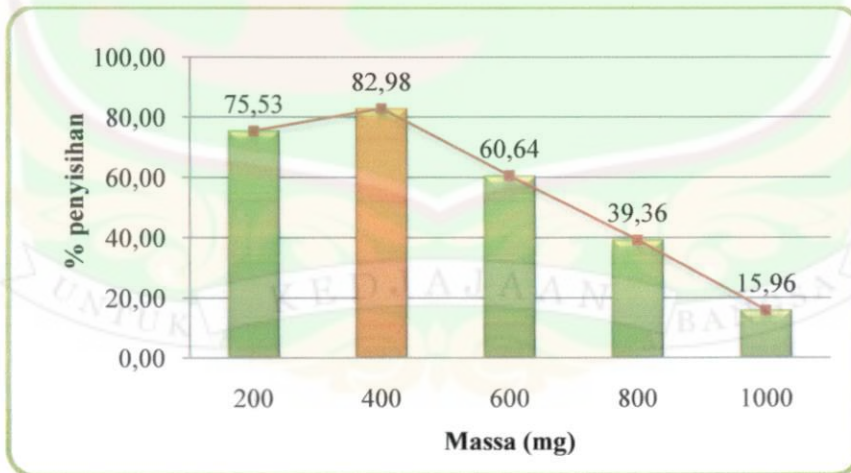
Percobaan optimasi menggunakan variasi massa bioflokulan yaitu 200 mg, 400 mg, 600 mg, 800 mg dan 1000 mg dengan parameter pH optimum yang didapatkan dari percobaan optimasi sebelumnya adalah yaitu pH 6. Parameter lain yang digunakan adalah kecepatan pengadukan koagulasi 80 rpm, kecepatan pengadukan flokulasi 20 rpm, waktu pengadukan koagulasi 1 menit, waktu pengadukan flokulasi 9 menit dan waktu pengendapan 30 menit. Keenam parameter tetap untuk masing-masing variasi massa bioflokulan yang digunakan. Hasil percobaan variasi massa bioflokulan dapat dilihat pada Tabel 4.3, Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.

Tabel 4.3 Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Massa

Variasi Massa (mg)	pH Optimum	Kecepatan Pengadukan (rpm)		Waktu Pengadukan (menit)		Waktu Pengendapan (menit)	C_{in} (mg/l)	C_{out} rata-rata (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
		Koagulasi	Flokulasi	Koagulasi	Flokulasi				
200	6	80	20	1	9	30	2	0,489	75,53
400								0,340	82,98
600								0,787	60,64
800								1,213	39,36
1000								1,681	15,96



Gambar 4.4 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Massa



Gambar 4.5 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Massa

Pada variasi massa bioflokulan 200 mg, 400 mg, 600 mg, 800 mg dan 1000 mg, konsentrasi akhir logam Zn berturut-turut adalah dari 2 mg/l menjadi 0,489 mg/l, 0,340 mg/l, 0,787 mg/l, 1,213 mg/l dan 1,681 mg/l. Penurunan konsentrasi logam

Zn paling besar terlihat pada massa bioflokulan 400 mg, dimana konsentrasi awal logam Zn yaitu 2 mg/l berkurang menjadi 0,340 mg/l.

Persentase penyisihan untuk variasi massa bioflokulan 200 mg, 400 mg, 600 mg, 800 mg dan 1000 mg berturut-turut adalah 75,53%, 82,98%, 60,64%, 39,36% dan 15,96%. Efisiensi penyisihan terbesar dari variasi massa terlihat pada massa bioflokulan 400 mg yaitu dengan nilai persentase efisiensi penyisihan 82,98%. Pada kelima variasi massa yang digunakan dalam percobaan optimasi, terlihat bahwa massa 400 mg merupakan massa bioflokulan optimum dengan tingkat efisiensi penyisihan yang terbesar.

Kecenderungan meningkatnya kinerja pada proses koagulasi flokulasi logam Zn dipengaruhi oleh massa bioflokulan biji kelor tanpa kulit. Berkurangnya konsentrasi logam Zn disebabkan oleh berinteraksinya logam Zn dengan kandungan asam amino biji kelor. Meningkatnya jumlah massa bioflokulan biji kelor tanpa kulit yang ditambahkan ke dalam larutan artifisial tidak sebanding dengan penurunan konsentrasi logam Zn. Hal ini terlihat pada penambahan massa bioflokulan biji kelor tanpa kulit dari 400 mg menjadi 600 mg, 800 mg dan 1000 mg, dimana konsentrasi akhir logam semakin meningkat yang disebabkan adanya keadaan jenuh larutan artifisial akibat kelebihan massa dari bioflokulan biji kelor tanpa kulit yang mengakibatkan konsentrasi logam Zn tidak dapat diturunkan lagi.

Pada percobaan yang dilakukan oleh Irianty (2008) dalam penurunan konsentrasi logam besi (Fe) menggunakan variasi massa biji kelor sebanyak enam taraf, yaitu: 125 mg, 250 mg, 375 mg, 500 mg, 625 mg dan 750 mg diperoleh kondisi optimum yaitu pada massa 250 mg dengan persentase efisiensi penyisihan sebesar 76,7%. Namun pada variasi dengan massa yang lebih besar, konsentrasi logam Fe tidak lagi mengalami penurunan melainkan kembali meningkat.

Massa bioflokulan yang berlebih akan menutupi seluruh permukaan flok-flok ion logam Zn, sehingga tidak ada tempat untuk rantai akhir menempel dan proses flokulasi tidak terjadi. Keadaan ini bisa mengakibatkan flok-flok kembali stabil atau tidak dapat bergabung dengan flok lain karena memiliki muatan yang sama (Murniati, 2007).

Interaksi antara logam Zn dengan gugus fungsi karboksil adalah melalui gaya van der Waals yaitu gaya ikatan kimia yang lemah, hal ini dibuktikan dengan labilnya endapan yang terbentuk pada proses koagulasi flokulasi. Perbedaan muatan antara gugus fungsi karboksil pada asam aspartat, asam glutamat dan COO^- dari karboksilat pada biji kelor dengan logam Zn yang bermuatan positif menyebabkan terjadinya pembentukan flok yang semakin besar seiring dengan lamanya waktu pengendapan. Perbedaan muatan pada gugus fungsional dalam protein menyebabkan bioflokulan biji kelor tanpa kulit mampu mengendapkan senyawa-senyawa non polar, polar, ion bermuatan negatif, maupun ion yang bermuatan positif (Wirahadikusumah, 1977).

4.3.3 Kecepatan Pengadukan Optimum

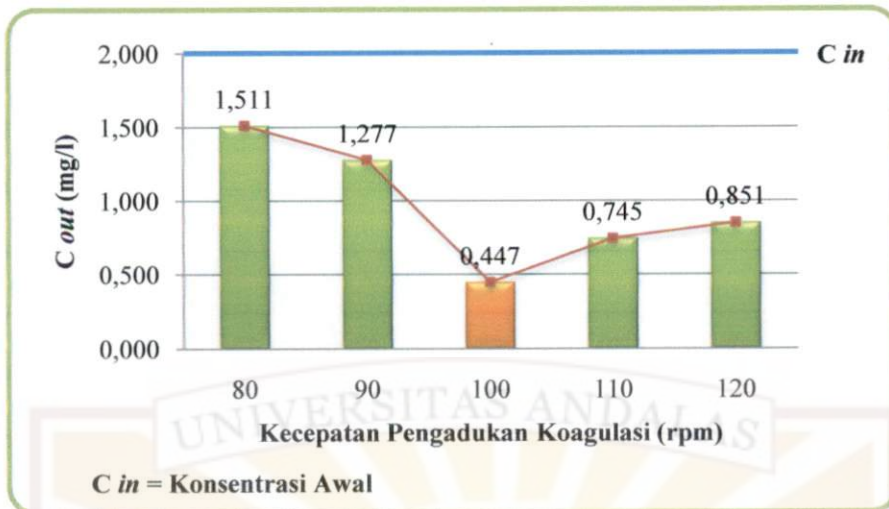
Hasil pada percobaan optimasi larutan artifisial kecepatan pengadukan ini adalah penentuan kecepatan pengadukan pada proses koagulasi dan flokulasi untuk mendapatkan kondisi optimum.

4.3.3.1 Kecepatan Pengadukan Koagulasi Optimum

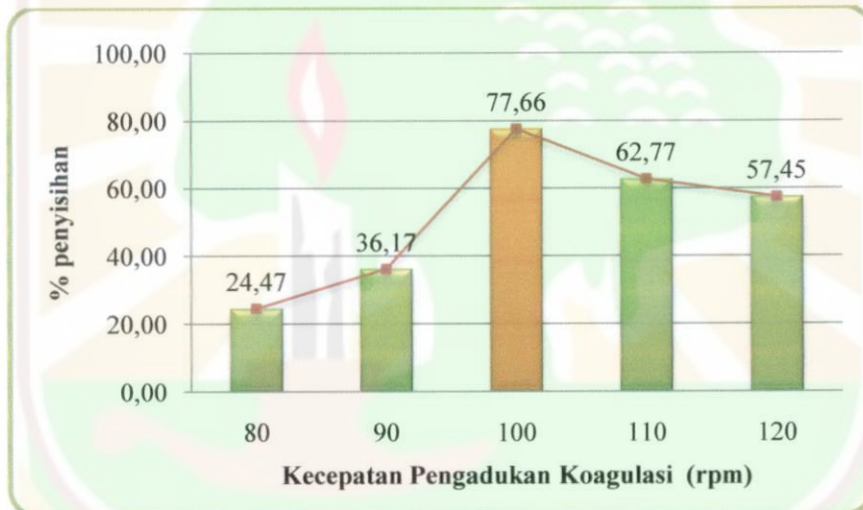
Percobaan optimasi menggunakan variasi kecepatan pengadukan koagulasi yaitu 80 rpm, 90 rpm, 100 rpm, 110 rpm dan 120 rpm. Penentuan kecepatan pengadukan koagulasi optimum menggunakan pH larutan optimum 6 dan massa optimum 400 mg, kecepatan pengadukan flokulasi 20 rpm, waktu pengadukan koagulasi 1 menit, waktu pengadukan flokulasi 9 menit dan waktu pengendapan 30 menit. Penurunan konsentrasi dari variasi kecepatan pengadukan koagulasi dapat dilihat pada Tabel 4.4, Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.

Tabel 4.4 Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Koagulasi

Variasi Kecepatan Koagulasi (rpm)	pH Optimum	Massa Optimum (mg)	Kecepatan Pengadukan Flokulasi (rpm)	Waktu Pengadukan (menit)		Waktu Pengendapan (menit)	C_{in} (mg/l)	C_{out} rata-rata (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
				Koagulasi	Flokulasi				
80	6	400	20	1	9	30	2	1,511	24,47
90								1,277	36,17
100								0,447	77,66
110								0,745	62,77
120								0,851	57,45



Gambar 4.6 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Koagulasi



Gambar 4.7 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Koagulasi

Pada variasi kecepatan pengadukan koagulasi yaitu 80 rpm, 90 rpm, 100 rpm, 110 rpm dan 120 rpm mampu mengurangi konsentrasi awal logam Zn yaitu 2 mg/l menjadi 1,511 mg/l, 1,277 mg/l, 0,447 mg/l, 0,745 mg/l dan 0,851 mg/l. Dari grafik tersebut terlihat bahwa penurunan konsentrasi logam Zn terbesar terjadi pada kecepatan pengadukan koagulasi 100 rpm dengan konsentrasi akhir logam Zn 0,447 mg/l.

Efisiensi penyisihan pada kecepatan pengadukan koagulasi 80 rpm dan 90 rpm tidak mencapai 50% dari penurunan konsentrasi logam Zn yaitu bernilai 24,47% dan 36,17%. Efisiensi penyisihan meningkat pada kecepatan pengadukan

koagulasi 100 rpm yaitu sebesar 77,66% dan kembali mengalami penurunan efisiensi penyisihan pada kecepatan pengadukan 110 rpm dan 120 rpm yaitu sebesar 62,77% dan 57,45%. Tingginya efisiensi pada kecepatan pengadukan koagulasi 100 rpm menunjukkan kondisi optimum kecepatan pengadukan koagulasi adalah pada kecepatan pengadukan 100 rpm yaitu dengan efisiensi 77,66%.

4.3.3.2 Kecepatan Pengadukan Flokulasi Optimum

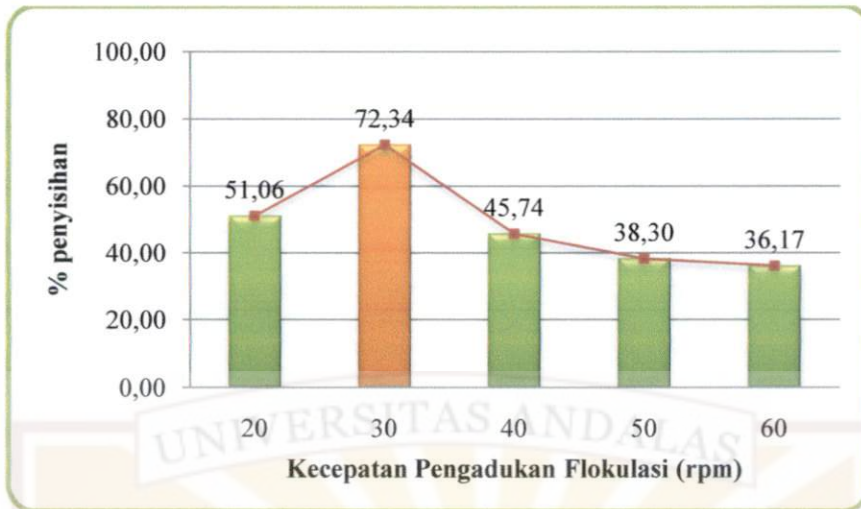
Percobaan optimasi menggunakan variasi kecepatan pengadukan flokulasi yaitu 20 rpm, 30 rpm, 40 rpm, 50 rpm dan 60 rpm. Penentuan kecepatan pengadukan flokulasi optimum menggunakan pH larutan optimum 6, massa optimum 400 mg, kecepatan pengadukan koagulasi optimum 100 rpm, waktu pengadukan koagulasi 1 menit, waktu pengadukan flokulasi 9 menit dan waktu pengendapan 30 menit. Penurunan konsentrasi dari variasi kecepatan pengadukan flokulasi dapat dilihat pada Tabel 4.5, Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.

Tabel 4.5 Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Flokulasi

Variasi Kecepatan Flokulasi (rpm)	pH Optimum	Massa Optimum (mg)	Kecepatan Koagulasi Optimum (rpm)	Waktu Pengadukan (menit)		Waktu Pengendapan (menit)	C_{in} (mg/l)	C_{out} rata-rata (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
				Koagulasi	Flokulasi				
20	6	400	100	1	9	30	2	0,979	51,06
30								0,553	72,34
40								1,085	45,74
50								1,234	38,30
60								1,277	36,17



Gambar 4.8 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Flokulasi



Gambar 4.9 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Flokulasi

Perbandingan konsentrasi akhir logam Zn dan persentase efisiensi penyisihan untuk variasi kecepatan pengadukan flokulasi dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9. Variasi kecepatan pengadukan flokulasi yaitu 20 rpm, 30 rpm, 40 rpm, 50 rpm dan 60 rpm mampu mengurangi konsentrasi awal logam Zn yaitu 2 mg/l menjadi 0,979 mg/l dan 0,553 mg/l, 1,085 mg/l, 1,234 mg/l dan 1,277 mg/l. Berdasarkan Gambar 4.8 tersebut terlihat bahwa penurunan konsentrasi logam Zn yang terbesar terjadi pada kecepatan pengadukan flokulasi 30 rpm dengan konsentrasi akhir 0,553 mg/l.

Efisiensi penyisihan untuk kecepatan pengadukan flokulasi 20 rpm dan 30 rpm adalah 51,06% dan 72,34%, sedangkan pada kecepatan pengadukan flokulasi 40 rpm, 50 rpm dan 60 rpm efisiensi penyisihan mengalami penurunan dan tidak mencapai 50% dari penurunan konsentrasi logam Zn yaitu bernilai 45,74%, 38,30% dan 36,17%. Efisiensi tertinggi pada kecepatan pengadukan flokulasi 30 rpm menunjukkan kinerja bioflokulan biji kelor tanpa kulit optimum pada kecepatan pengadukan flokulasi tersebut.

Pada variasi kecepatan pengadukan koagulasi terlihat bahwa saat variasi kecepatan awal 80 rpm dan 90 rpm bioflokulan biji kelor tanpa kulit dalam sampel larutan artifisial belum larut sempurna dan tercampur secara homogen, sehingga pencampuran bioflokulan tidak merata dan belum banyak menghasilkan flok-flok. Pada kecepatan pengadukan koagulasi 100 rpm, bioflokulan telah tercampur

secara merata dan membentuk flok yang lebih banyak, sehingga flok-flok yang tersisihkan semakin banyak. Pada kecepatan yang lebih tinggi yaitu 110-120 rpm sebagian muatan yang telah melekat pada inti flok terpisah kembali, menyebabkan muatan koloid kembali stabil dan konsentrasi logam Zn kembali meningkat.

Pada hasil percobaan optimasi kecepatan pengadukan flokulasi terlihat bahwa kecepatan pengadukan flokulasi dengan kecepatan 20 rpm belum terbentuk flok-flok secara sempurna, sedangkan pada kecepatan pengadukan flokulasi 30 rpm flok-flok yang terbentuk mencapai kondisi optimum. Namun pada kecepatan pengadukan flokulasi 40 rpm, 50 rpm dan 60 rpm flok-flok yang telah terbentuk secara optimum kembali terpecah dan terjadi kejenuhan protein dari bioflokulan untuk saling bereaksi satu sama lain dengan ligan-ligan dari senyawa kompleks logam Zn terlarut sehingga konsentrasi logam Zn kembali meningkat pada larutan artifisial. Dalam lapisan difusi terdapat bidang geser (*shear plane*) batas dimana ion-ion yang berlawanan muatan dapat terpisah dari permukaan partikel karena gerakan fluida (Farooq dan Velioglu dalam Murniati, 2007).

Semakin tingginya kecepatan pengadukan pada proses koagulasi dan flokulasi tidak menjamin semakin meningkatnya efisiensi penurunan konsentrasi logam Zn terlarut pada larutan artifisial. Pengadukan pada proses koagulasi digunakan hanya untuk menghomogenkan bioflokulan biji kelor tanpa kulit dengan larutan agar mudah berinteraksi satu sama lain sehingga membentuk flok-flok dan pengadukan flokulasi digunakan untuk menggabungkan flok-flok yang telah terbentuk.

Hammer (1997) menjelaskan bahwa kecepatan pengadukan yang terlalu rendah akan menyebabkan koagulan tidak terdispersi dengan baik, begitu sebaliknya apabila kecepatan pengadukan terlalu tinggi akan menyebabkan flok-flok yang sudah terbentuk akan pecah kembali.

Kecepatan pengadukan untuk setiap jenis koagulan ataupun bioflokulan berbeda satu sama lainnya. Oleh sebab itu perlu diketahui kecepatan pengadukan koagulasi flokulasi yang optimum untuk proses penurunan konsentrasi logam Zn terlarut pada larutan artifisial menggunakan bioflokulan biji kelor tanpa kulit.

4.3.4 Waktu Pengadukan Optimum

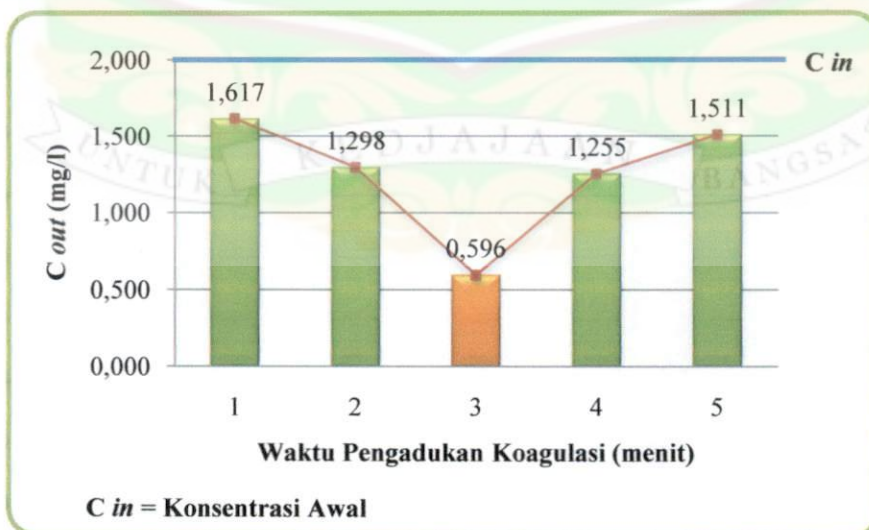
Hasil pada percobaan optimasi larutan artifisial waktu pengadukan ini adalah penentuan waktu pengadukan pada proses koagulasi dan flokulasi untuk mendapatkan kondisi optimum.

4.3.4.1 Waktu Pengadukan Koagulasi Optimum

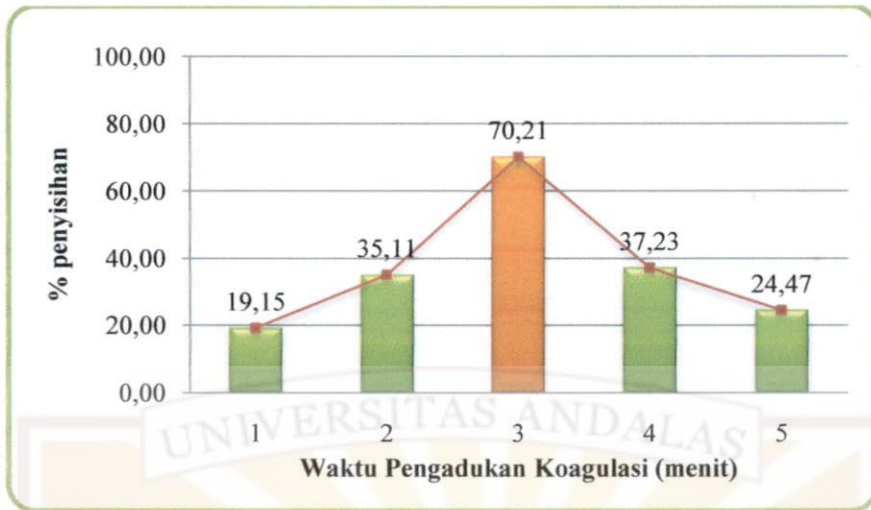
Percobaan optimasi menggunakan variasi waktu pengadukan koagulasi yaitu 1 menit, 2 menit, 3 menit, 4 menit dan 5 menit. Penentuan waktu pengadukan koagulasi optimum dengan menggunakan pH larutan optimum 6, massa optimum 400 mg, kecepatan pengadukan koagulasi optimum 100 rpm, kecepatan pengadukan flokulasi optimum 30 rpm, waktu pengadukan flokulasi 9 menit dan waktu pengendapan 30 menit. Penurunan konsentrasi dari variasi waktu pengadukan koagulasi dapat dilihat pada Tabel 4.6, Gambar 4.10 dan Gambar 4.11.

Tabel 4.6 Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Koagulasi

Variasi Waktu Koagulasi (menit)	pH Optimum	Massa Optimum (mg)	Kecepatan Pengadukan Optimum (rpm)		Waktu Pengadukan Flokulasi (menit)	Waktu Pengendapan (menit)	C in (mg/l)	C out rata-rata (mg/l)	Efisiensi Pengikatan (%)
			Koagulasi	Flokulasi					
1	6	400	100	30	9	30	2	1,617	19,15
2								1,298	35,11
3								0,596	70,21
4								1,255	37,23
5								1,511	24,47



Gambar 4.10 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Koagulasi



Gambar 4.11 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Koagulasi

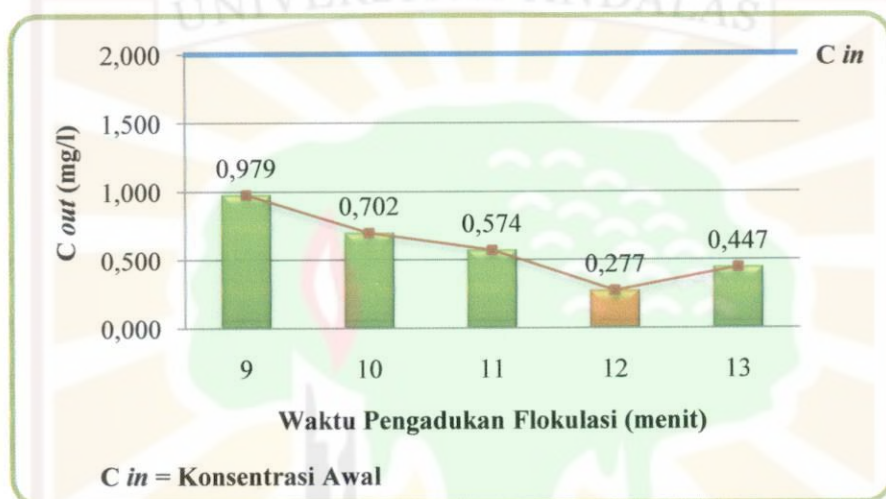
Pada variasi waktu pengadukan koagulasi 1 menit, 2 menit, 3 menit, 4 menit dan 5 menit konsentrasi logam Zn mengalami penurunan berturut-turut dari 2 mg/l menjadi 1,617 mg/l, 1,298 mg/l, 0,596 mg/l, 1,255 mg/l dan 1,511 mg/l. Berdasarkan grafik tersebut diperoleh waktu pengadukan koagulasi optimum yaitu selama 3 menit dengan konsentrasi akhir logam Zn adalah 0,596 mg/l. Efisiensi penyisihan logam Zn pada variasi waktu pengadukan koagulasi 1 menit dan 2 menit didapat masing-masing sebesar 19,15% dan 35,11%. Efisiensi penyisihan mengalami peningkatan pada waktu pengadukan koagulasi 3 menit yaitu 70,21%. Selanjutnya efisiensi penyisihan menurun untuk waktu pengadukan 4 menit dan 5 menit yaitu sebesar 37,23% dan 24,47%. Pada grafik terlihat jelas bahwa kondisi optimum untuk variasi waktu pengadukan koagulasi terjadi pada waktu 3 menit.

4.3.4.2 Waktu Pengadukan Flokulasi Optimum

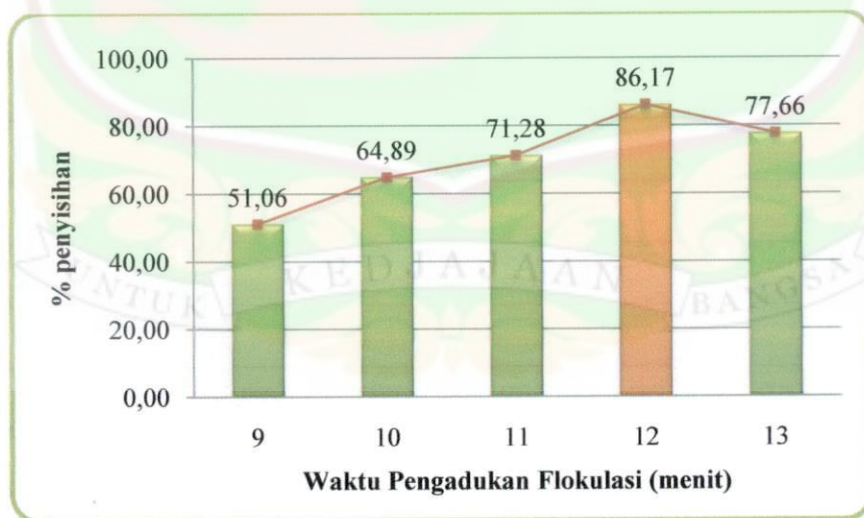
Percobaan optimasi menggunakan variasi waktu pengadukan flokulasi yaitu 9 menit, 10 menit, 11 menit, 12 menit dan 13 menit. Penentuan waktu pengadukan flokulasi optimum dengan menggunakan pH larutan optimum 6, massa optimum 400 mg, kecepatan pengadukan koagulasi optimum 100 rpm, kecepatan pengadukan flokulasi optimum 30 rpm, waktu pengadukan koagulasi optimum 3 menit dan waktu pengendapan 30 menit. Penurunan konsentrasi dari variasi waktu pengadukan koagulasi dapat dilihat pada Tabel 4.7, Gambar 4.12 dan Gambar 4.13.

Tabel 4.7 Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Flokulasi

Variasi Waktu Flokulasi (menit)	pH Optimum	Massa Optimum (mg)	Kecepatan Pengadukan Optimum (rpm)		Waktu Koagulasi Optimum (menit)	Waktu Pengendapan (menit)	C_{in} (mg/l)	C_{out} rata-rata (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
			Koagulasi	Flokulasi					
9	6	400	100	30	3	30	2	0,979	51,06
10								0,702	64,89
11								0,574	71,28
12								0,277	86,17
13								0,447	77,66



Gambar 4.12 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Flokulasi



Gambar 4.13 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Flokulasi

Perbandingan konsentrasi akhir logam Zn dan persentase efisiensi penyisihan untuk variasi waktu pengadukan flokulasi terlihat pada Gambar 4.12 dan Gambar

4.13 bahwa terjadi penurunan konsentrasi logam Zn untuk semua variasi waktu pengadukan. Pada variasi waktu pengadukan flokulasi yaitu 9 menit, 10 menit, 11 menit, 12 menit dan 13 menit terjadi penurunan konsentrasi logam Zn berturut-turut adalah dari 2 mg/l menjadi 0,979 mg/l, 0,702 mg/l, 0,574 mg/l, 0,277 mg/l dan 0,447 mg/l. Penurunan konsentrasi logam Zn paling besar terlihat pada waktu pengadukan flokulasi selama 12 menit, dimana konsentrasi awal logam Zn yaitu 2 mg/l berkurang menjadi 0,277 mg/l.

Variasi waktu pengadukan flokulasi selama 9 menit, 10 menit, 11 menit, 12 menit dan 13 menit, persentase efisiensi penyisihan yang terjadi berturut-turut adalah 51,06%, 64,89%, 71,28%, 86,17% dan 77,66%. Efisiensi penyisihan terbesar dari variasi waktu pengadukan flokulasi terlihat pada waktu 12 menit yaitu dengan nilai efisiensi 86,17%. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa waktu pengadukan selama 12 menit merupakan kondisi waktu pengadukan flokulasi yang optimum.

Penurunan konsentrasi logam Zn terlarut pada larutan artifisial juga dipengaruhi oleh waktu pengadukan, namun semakin lamanya waktu pengadukan tidak menjamin semakin tingginya efisiensi penurunan konsentrasi logam Zn. Berdasarkan hasil percobaan optimasi variasi waktu pengadukan koagulasi 1 menit dan 2 menit flok-flok belum terbentuk secara merata, hal ini disebabkan bioflokulan yang belum tercampur secara homogen pada larutan artifisial.

Pada variasi waktu pengadukan 3 menit bioflokulan telah tercampur merata dan menghasilkan flok-flok yang lebih banyak. Pada waktu pengadukan koagulasi yang lebih lama yaitu 4-5 menit menyebabkan bidang geser (*shear plane*) batas dimana ion-ion yang berlawanan muatan dapat tersapu dari permukaan partikel akibat gerakan fluida dan waktu pengadukan yang terlalu lama.

Berdasarkan percobaan variasi waktu pengadukan flokulasi terlihat bahwa penambahan waktu pengadukan flokulasi dari 9-12 menit akan menaikkan efektivitas kerja bioflokulan biji kelor tanpa kulit hingga dapat dicapai waktu pengadukan flokulasi yang optimum. Selain itu juga menghasilkan lamanya waktu kontak antara bioflokulan biji kelor tanpa kulit dan logam Zn, dimana pertumbuhan flok telah mencapai titik optimumnya. Pada waktu pengadukan

flokulasi selama 12 menit terjadi aksi tumbukan antara bioflokulan biji kelor tanpa kulit dan logam Zn dalam waktu yang optimum, seiring proses tersebut dihasilkan flok-flok dengan ukuran besar dalam jumlah yang banyak, sehingga penurunan konsentrasi logam Zn terlarut pada larutan artifisial semakin besar.

Namun saat ukuran flok telah maksimum terbentuk dan cukup untuk mengendap (saat waktu pengadukan flokulasi optimum tercapai), penambahan waktu pengadukan flokulasi selama 13 menit tidak lagi memperbesar ukuran flok karena flok berada pada kondisi jenuh. Penambahan waktu pengadukan flokulasi akan kembali meningkatkan konsentrasi logam Zn terlarut (efisiensi penyisihan bioflokulan menurun) karena flok-flok terlarut telah jenuh dan akan kembali pecah.

Sebagian protein bioflokulan biji kelor tanpa kulit yang memiliki gugus fungsi karboksil (-COOH) dengan gugus alkil (R-) bermuatan negatif yaitu asam aspartat dan asam glutamat tidak berhasil mendestabilisasikan ligan-ligan senyawa kompleks logam Zn terlarut akibat tersapu oleh gerakan fluida yang terlalu lama (Farooq dan Velioglu dalam Murniati, 2007).

4.3.5 Waktu Pengendapan Optimum

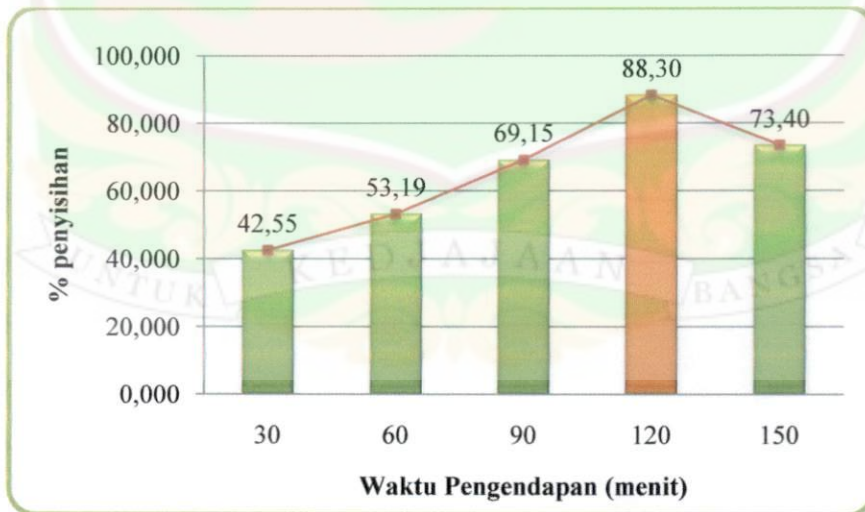
Penentuan kondisi optimum terakhir adalah parameter waktu pengendapan proses koagulasi flokulasi. Percobaan optimasi menggunakan variasi waktu pengendapan yaitu 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150 menit dengan parameter pH larutan optimum 6, massa optimum 400 mg, kecepatan pengadukan koagulasi optimum 100 rpm, kecepatan pengadukan flokulasi optimum 30 rpm, waktu pengadukan koagulasi optimum 3 menit dan waktu pengadukan flokulasi optimum 12 menit. Keenam parameter tetap untuk masing-masing variasi waktu pengendapan yang digunakan. Hasil percobaan variasi waktu pengendapan dapat dilihat pada Tabel 4.8, Gambar 4.14 dan Gambar 4.15.

Tabel 4.8 Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengendapan

Variasi Waktu Pengendapan (menit)	pH Optimum	Massa Optimum (mg)	Kecepatan Pengadukan Optimum (rpm)		Waktu Pengadukan Optimum (menit)		C_{in} (mg/l)	C_{out} rata-rata (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
			Koagulasi	Flokulasi	Koagulasi	Flokulasi			
30	6	400	100	30	3	12	2	1,149	42,55
60								0,936	53,19
90								0,617	69,15
120								0,234	88,30
150								0,532	73,40



Gambar 4.14 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Waktu Pengendapan



Gambar 4.15 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengendapan

Perbandingan konsentrasi akhir logam Zn dan persentase efisiensi penyisihan untuk variasi waktu pengendapan dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan Gambar

4.15. Pada variasi waktu pengendapan 30 menit, 60 menit dan 90 menit nilai konsentrasi Zn menurun dari 2 mg/l menjadi 1,149mg/l, 0,936 mg/l dan 0,617 mg/l. Pada waktu pengendapan 120 menit nilai konsentrasi Zn tereduksi dari 2 mg/l menjadi 0,234 dan konsentrasi logam Zn mengalami kenaikan pada waktu pengendapan 150 menit dengan nilai konsentrasi 0,532 mg/l. Hal tersebut membuktikan bahwa penyisihan logam Zn jauh lebih baik bila dilakukan dengan kondisi waktu pengendapan tertinggi yang terjadi pada waktu pengendapan 120 menit.

Pada masing-masing variasi waktu pengendapan 30 menit, 60 menit, 90 menit dan 120 menit, nilai efisiensi penyisihan cenderung naik yaitu 42,55%, 53,19%, 69,15% dan tertinggi mampu mencapai efisiensi 88,30%. Selanjutnya efisiensi penyisihan mengalami penurunan menjadi 73,40% pada waktu pengendapan 150 menit. Pada kelima variasi waktu pengendapan yang digunakan dalam percobaan optimasi, terlihat bahwa waktu pengendapan 120 menit merupakan waktu pengendapan optimum dengan tingkat efisiensi penyisihan yang terbesar yaitu 88,30%.

Penurunan konsentrasi logam Zn pada larutan artifisial juga dilihat dari banyaknya flok-flok yang terbentuk pada proses koagulasi dan flokulasi yang dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan serta juga dipengaruhi lamanya waktu pengendapan. Waktu pengendapan yang optimum harus ditentukan untuk proses koagulasi flokulasi logam Zn dalam air, waktu pengendapan optimum menyebabkan semakin banyaknya flok-flok yang akan terendap di dasar bak sehingga konsentrasi logam Zn terlarut pada larutan artifisial akan semakin kecil.

Penelitian Zulkarnain (2008) biji kelor mampu mengurangi konsentrasi kadmium (II) pada waktu pengendapan optimum 120 menit dimana semakin lama waktu kontak antara koagulan dan kadmium (II) maka semakin lama aksi gaya tarik terjadi antara keduanya, sehingga semakin banyak kadmium (II) yang terikat dengan koagulan dan membentuk flok.

Interaksi antara logam Zn dengan gugus fungsi karboksil adalah melalui gaya van der Waals yaitu gaya ikatan kimia yang lemah, hal ini dibuktikan dengan labilnya

endapan yang terbentuk pada proses koagulasi flokulasi (Zulkarnain, 2008). Perbedaan muatan antara gugus fungsi karboksil pada asam aspartat dan asam glutamat dari gugus fungsi karboksil pada biji kelor dengan logam Zn yang bermuatan positif menyebabkan terjadinya pembentukan flok yang semakin besar seiring dengan lamanya waktu pengendapan.

Pada waktu pengendapan selama 120 menit terjadi efisiensi penyisihan terbesar yaitu 88,30%, sedangkan kembali mengalami penurunan efisiensi penyisihan pada waktu pengendapan 150 menit yaitu 73,40%. Lamanya waktu pengendapan tidak selalu dapat menurunkan konsentrasi logam Zn terlarut yang terendapkan, ada masa dimana flok-flok yang telah terbentuk secara optimum tersebut akan pecah kembali akibat saling tumbuk saat proses pengendapan sehingga konsentrasi logam Zn kembali meningkat.

4.3.6 Rekapitulasi Kondisi Optimum Larutan Artifisial

Berdasarkan percobaan optimasi sampel larutan artifisial diperoleh konsentrasi akhir logam Zn sebesar 0,234 mg/l dengan efisiensi penyisihan sebesar 88,30% menggunakan pH optimum, massa bioflokulan optimum, kecepatan pengadukan koagulasi dan flokulasi optimum, waktu pengadukan koagulasi dan flokulasi optimum serta waktu pengendapan optimum. Berikut rekapitulasi semua variasi kondisi optimum pada percobaan optimasi pada larutan artifisial yang dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Kondisi Optimum pada Percobaan Optimasi Larutan Artifisial

No	Variasi Percobaan	Kondisi Optimum	Satuan
1.	pH	6	-
2.	Massa bioflokulan	400	mg
3.	Kecepatan pengadukan koagulasi	100	rpm
4.	Kecepatan pengadukan flokulasi	30	rpm
5.	Waktu pengadukan Koagulasi	3	menit
6.	Waktu pengadukan flokulasi	12	menit
7.	Waktu pengendapan	120	menit

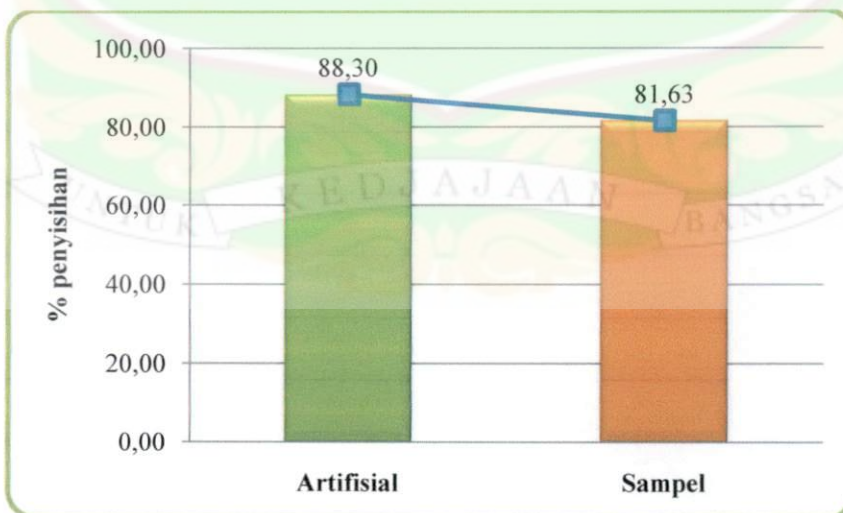
4.4 Hasil dan Pembahasan Percobaan pada Sampel

Hasil percobaan sampel air Sungai Batang Idas diperoleh menggunakan kondisi optimum yang telah didapatkan dari percobaan optimasi larutan artifisial yaitu dengan pH optimum 6, massa bioflokulan optimum 400 mg, kecepatan pengadukan koagulasi optimum 100 rpm dan kecepatan pengadukan flokulasi optimum 30 rpm, waktu pengadukan koagulasi optimum 3 menit dan waktu pengadukan flokulasi optimum 12 menit, serta waktu pengendapan optimum 120 menit.

Pada larutan artifisial penurunan konsentrasi logam Zn dari 2 mg/l menjadi 0,234 mg/l dengan efisiensi penyisihan sebesar 88,30%, sedangkan hasil percobaan pada sampel diperoleh penurunan konsentrasi logam Zn dari 2,085 mg/l menjadi 0,383 dengan efisiensi penyisihan sebesar 81,63%. Perbandingan hasil percobaan pada larutan artifisial dan sampel air Sungai Batang Idas dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.16.

Tabel 4.10 Perbandingan Hasil Percobaan Larutan Artifisial dan Sampel Air Sungai Batang Idas

Sampel	C in (mg/l)	C out rata-rata (mg/l)	Efisiensi (%)
Artifisial	2	0,234	88,30
Sampel	2,085	0,383	81,63



Gambar 4.16 Efisiensi Penyisihan Larutan Artifisial dan Sampel Air Baku Sungai Batang Idas

Salah satu parameter terpenting yang perlu diperhatikan dalam percobaan ini adalah pH larutan, dimana pH mempunyai peranan penting dalam proses koagulasi dan flokulasi, serta mempengaruhi kelarutan logam dalam air. Pada dasarnya logam akan baik kelarutannya di air pada pH asam, sehingga logam terlarut dapat secara alami mengendap dan tersisihkan namun membutuhkan waktu yang cukup lama. Selain itu, logam yang terendapkan dapat kembali stabil dan terlarut di dalam air yang mengakibatkan konsentrasi logam semakin meningkat. Selain parameter pH, parameter massa, kecepatan pengadukan, waktu pengadukan dan waktu pengendapan juga saling mempengaruhi satu sama lain.

Pada larutan artifisial efisiensi penyisihan logam Zn sebesar 88,30% sedangkan pada sampel air baku Sungai Batang Idas, efisiensi penyisihan sebesar 81,63%. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa efisiensi penyisihan pada larutan artifisial lebih tinggi dibandingkan dengan efisiensi penyisihan dengan menggunakan sampel air Sungai Batang Idas. Hal ini disebabkan karena pada larutan artifisial tidak terdapat kandungan logam lain ataupun senyawa lain dan hanya mengandung konsentrasi logam Zn saja.

Pada sampel air Sungai Batang Idas terdapat kandungan logam terlarut yang lain seperti logam Kadmium (Cd), Mangan (Mn), Tembaga (Cu) dan lain sebagainya. Kandungan logam terlarut lainnya berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi logam Zn oleh bioflokulan biji kelor tanpa kulit sehingga menyebabkan adanya persaingan antar logam-logam terlarut pada sampel untuk berikatan dengan bioflokulan. Persaingan tersebut terjadi akibat adanya perbedaan reaktifitas dari masing-masing logam terlarut untuk berikatan (daya afinitas).

Reaktifitas logam merupakan sifat kecenderungan dari suatu logam untuk berikatan dengan senyawa lain, dimana daya afinitas (pengikatan) logam Zn juga dipengaruhi oleh keberadaan logam Cd, Mn dan Cu. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya perbedaan efisiensi penyisihan logam Zn pada sampel larutan artifisial dan sampel air Sungai Batang Idas. Deret afinitas logam dapat dilihat sebagai berikut (Zakaria, 2011): $Fe^{3+} > Al^{3+} > Pb^{2+} > Cd^{2+} > Zn^{2+} > Cu^{2+} > Fe^{2+} > Mn^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^+ > NH_4^+ > H^+$

Penurunan konsentrasi logam Zn pada sampel air Sungai Batang Idas cukup tinggi dapat dilihat dari deret afinitas tersebut dimana daya afinitas logam Zn lebih kecil dari logam Cd namun lebih besar dibandingkan dengan logam Cu dan Mn, sehingga dapat dikatakan penyisihan logam Zn menggunakan bioflokulan biji kelor tanpa kulit masih memberikan hasil yang baik dalam proses penurunan konsentrasi logam Zn.



5.1 Kesimpulan

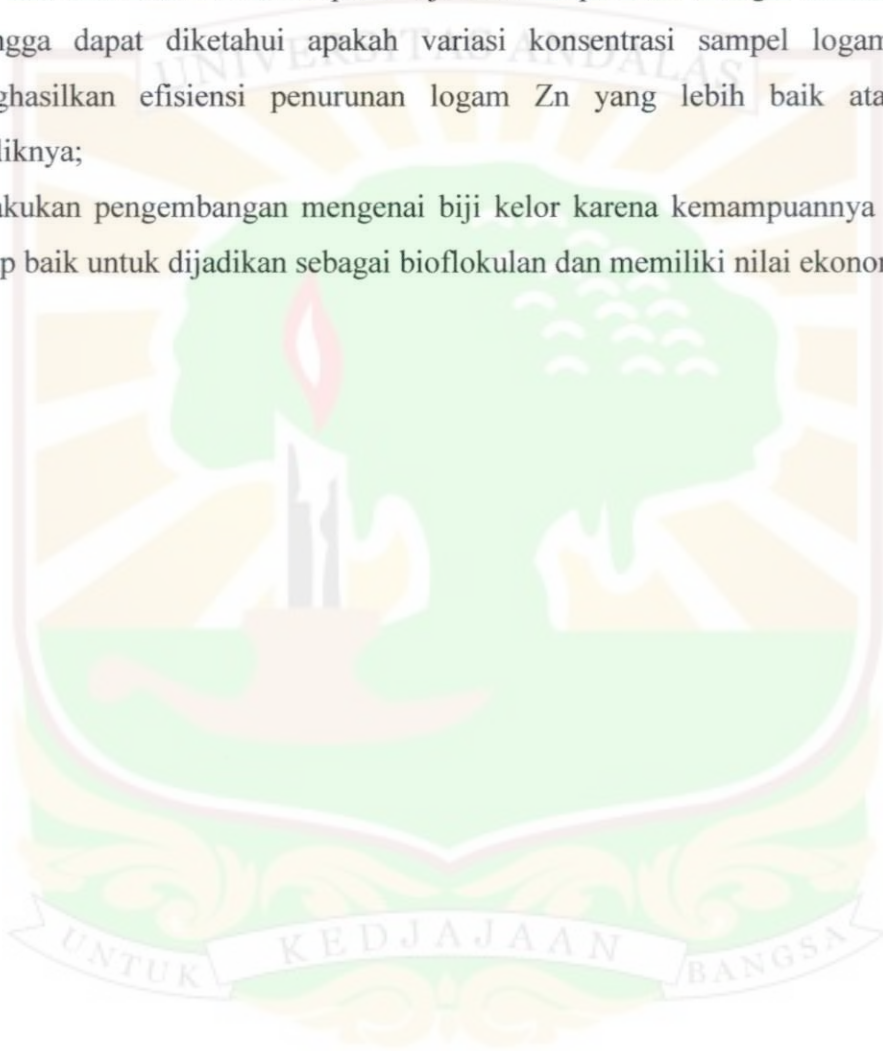
Efektifitas bioflokulan biji kelor tanpa kulit dalam penyisihan logam Zn pada studi kasus Sungai Batang Idas, dapat diperoleh beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Kondisi optimum penurunan konsentrasi logam Zn pada larutan artifisial adalah pada pH larutan 6, massa bioflokulan 400 mg, kecepatan pengadukan koagulasi 100 rpm, kecepatan pengadukan flokulasi 30 rpm, waktu pengadukan koagulasi 3 menit, waktu pengadukan flokulasi 12 menit dan waktu pengendapan 120 menit;
2. Efisiensi penyisihan pada kondisi optimum larutan artifisial dari variasi pH larutan, massa bioflokulan, kecepatan pengadukan koagulasi, kecepatan pengadukan flokulasi, waktu pengadukan koagulasi, waktu pengadukan flokulasi dan waktu pengendapan masing-masing adalah 85,88%, 82,98%, 77,66%, 72,34%, 70,21%, 86,17% dan 88,30%;
3. Efisiensi penyisihan logam Zn menggunakan larutan artifisial sebesar 88,30% dengan penurunan konsentrasi dari 2 mg/l menjadi 0,234 mg/l;
4. Penurunan konsentrasi logam Zn menggunakan bioflokulan biji kelor tanpa kulit pada sampel air Sungai Batang Idas dari 2,085 mg/l menjadi 0,383 mg/l dengan efisiensi penyisihan sebesar 81,63%;
5. Adanya kandungan logam lain seperti Cd, Mn dan Cu yang terdapat pada sampel menyebabkan terjadinya perbedaan kemampuan efisiensi penyisihan pada larutan artifisial dan sampel air Sungai Batang Idas.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, beberapa hal yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Melakukan karakterisasi biji kelor, agar didapatkan struktur (rumus kimia) dari biji kelor sehingga dapat dilakukan metoda lain dalam menyisihkan pencemar yaitu metode pelarutan;
2. Pemanfaatan biji kelor sebagai bioflokulan dapat dilanjutkan dengan meneliti berbagai jenis logam dan senyawa lainnya dengan berbagai variasi parameter;
3. Menggunakan sampel logam Zn dengan konsentrasi yang lebih tinggi dari 2 mg/l dan menentukan kemampuan biji kelor tanpa kulit sebagai bioflokulan sehingga dapat diketahui apakah variasi konsentrasi sampel logam Zn menghasilkan efisiensi penurunan logam Zn yang lebih baik ataupun sebaliknya;
4. Melakukan pengembangan mengenai biji kelor karena kemampuannya yang cukup baik untuk dijadikan sebagai bioflokulan dan memiliki nilai ekonomis.



DAFTAR PUSTAKA

- Al-Layla M.A, Shamin ahmad and E. Joe Middlebrooks. 1978. *Water Supply Engeneering design*. Michigan : Ann Arbor Science Publisher.Inc. Ann Arbor.
- Anggara, Prima. 2011. *Kemampuan Kitosan dari Limbah Cangkang Udang sebagai Resin Koagulan dalam Penuruna Kekeruhan*. Tugas Akhir. Teknik Lingkungan. Universitas Andalas. Padang.
- Cronquist, 1991. *An Integrated System of Classification of Flowering Plant*, Colombia University Press, New York.
- Effendi. H. 2000. *Telaah Kualitas Air*. Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Davis, M.L and Cornwell, D.A. 1991. *Introduction to Environmental Engineering*. Second Edition. Mc Graw-Hills Inc. New York.
- Duke, J.A. 1998. *Handbook of Nuts*. Boca Rotan. CRC Pr.
- Hammer. 1997. *Water and Wastewater Technology*, Second edition, John Willey and Son Inc, New York.
- Hidayat, Saleh. 2006, *Pemberdayaan Masyarakat Bantaran Sungai Lematang Dalam Menurunkan Kekeruhan Air Dengan Biji Kelor (Moringa oleifera Lamk) Sebagai Upaya Pengembangan Proses Penjernihan Air*.Universitas Negeri Malang.
- Irianty, Rozanna Sri. 2008. *Pengaruh Massa Biji Kelor dan Waktu Pengendapan Pada Pengolahan Air Gambut*. Thesis. Teknik Kimia. Universitas Riau.
- Jeffries, M and Mills, D. 1996. *Freshwater Ecology Principles and Applications*. John Willey and Sons. Chichester. UK.
- Katayon S *et al.* 2006. *Preservation of Coagulation Efficiency of Moringa Oleifera a Natural Coagulant*. Biotechnol Bioprocess Eng. 11: 489-495.
- Khasanah, Uswatun. 2008. *Efektivitas Biji Kelor Sebagai Koagulan Fosfat Dalam Limbah Cair rumah Sakit*. Thesis. Kimia. Universitas Islam Negeri Malang.
- Kawamura, Susumu. 1991. *Integrated Design of Water Treatment Facilities*. New York. John Willey and Sonns, Inc.
- Lamb, J.C. 1986. *Water and it's Control*. Second edition. John Willey and Soons. New York.

- Lehninger. 1982, *Dasar-Dasar Biokimia*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Levine, I.N. 2002. *Physical Chemistry*. Fifth edition. New York : Mc-Graw-Hill Book. Co.
- Mason, C. F. 1981. *Biology of Fresh Water Pollution*. Longman. London and New York, 100-104 pp.
- Muharto, Kuswytasari ND, Aunurohim. 2007. *Biji Kelor (Moringa oleifera) Sebagai Bahan Penyerap untuk Menurunkan Kadar Detergen Logam Berat Serta Bakteri dalam Air Jernih*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing. Surabaya. Institut Teknologi Surabaya.
- Murniati, Dewi. 2007. *Pemanfaatan Kitosan Sebagai Koagulan untuk Memperoleh Kembali Protein yang dihasilkan Limbah Cair Industri Pemindangan Ikan*. Thesis. Pasca Sarjana Magister Teknik Kimia. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Narasiah, K. S., Vogel, A., dan Kramadhati, N.N. 2002. *Coagulation of Turbid Water using Moringa Oleifera Seeds from Two Distinct Source*. J. Water Supply.
- Ndabigengesere, A., Narasiah, K.S. dan Talbot, B.G. 1995. *Active Agent and Mechanism of Coagulation of Turbid Water Using Moringa Oleifera*. Water Research, 29(2):701-710.
- Palar, H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001. *Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air*.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010. *Persyaratan Kualitas Air Minum*.
- Pontius, Frederick W. 1990. *American Water Works Association Water Quality and Treatment*, 4th edition.
- Prayogo, Setiyo. 2006, *Karakteristik Koagulasi Biji Kelor Untuk Menurunkan Kekeruhan Pada Limbah Industri Penyamakan Kulit di Lingkungan Industri Kecil (LIK) Magetan*, Skripsi. Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Rahayu, Restu Sminar. 2011. *Kajian Potensi Biji Kelor Sebagai Koagulan*. Thesis. Kimia. Institut Pertanian Bogor.
- Rambe, Ahmad Mulia. 2009. *Pemnfaatan Biji Kelor Sebagai Koagulan Alternatif Dalam Proses Penjenihan Limbah Cair Industri Tekstil*. Thesis. Universitas Sumatera Utara.

- Reynolds, Tom D. 1982. *Unit Operation and Processes*. California: Wadsworth.Inc.Belmont.
- Saraswati. 1993. *Dasar-dasar Pengolahan Limbah*. PT Petakonsulindo Utama. Jakarta.
- Sawyer, Mc. Carty. 1987. *Chemistry For Environmental Engineering*. New York: Mc. Graw Hill.
- Schroeder, E. D. 1977. *Water and Wastewater Treatment*. Mc. Graw Hill. New York.
- Sneed dan Brasted. 1996. *Comprehensive Inorganic Chemistry*. Van Nostrand Company Inc. Canada
- SNI 6989.7:2009. Cara Uji Seng (Zn) Secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)- Nyala.
- Soemirat, Juli. 2000. *Kesehatan Lingkungan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Soewarno. 2000. *Hidrologi Operasional Jilid Kesatu*. Bandung: PT Citra Aditya Bakti.
- Sosrodarsono. 1993. *Hidrologi untuk Pengairan*. PT Prandya Paramita. Jakarta.
- Sudarso, Y. 1997. *Toksisitas Beberapa Senyawa Logam Berat terhadap Siput Hydrobia sp.* Limnotek Vol, No.1, hal 75-79.
- Sunu, Yana. 2001. *Melindungi Lingkungan dengan Menerapkan ISO 14001*. Gramedia Widia Sarana Indonesia. Jakarta.
- Supranto. J. 2000. *Statistika Teori dan Aplikasi*. Jakarta : Erlangga.
- Sutherland, J.P, Folkard, G.K., Mtawali, M.A., Grant, W.D. 1994. *Moringa Oliefera as a Natural Coagulant, Proceeding 20th WED Conference Affordable Water Supply and Sanitation*. Pickford. J. (ed) Colombo, Srilanka, 297-299.
- Watson, L and dauwitz, M.J. 1997. *The Family of Flowering Plants Moringaceae*. <http://www.keil.unkans.Edu/delta>, diakses tanggal 18 Oktober 2007.
- Wikipedia. 2012. *Peta Kota Padang*. [www. padang.co.id](http://www.padang.co.id). Tanggal akses : 10 Mei 2012
- Winarno. 2006. *Tanaman Obat-Obatan Tradisional*. [www.// digilib.ac.id /ind/pd.obattradisonal/ view&=8933.php/id](http://www.digilib.ac.id/ind/pd.obattradisonal/view&=8933.php/id), diakses tanggal 17 Agustus 2007.

Wirahadikusumah. 1977, *Biokimia*, ITB, Bandung.

Zakaria, Ahmad. 2011. *Adsorpsi Cu (II) Menggunakan Zeolit Sintesis dari Abu Terbang Batu Bara*. Tugas Akhir. Institut Pertanian Bogor.

Zulkarnain. 2008. *Efektifitas Biji Kelor Dalam Mengurangi Kadar Kadmium (II)*. Thesis. Kimia. Universitas Islam Negeri Malang.



LAMPIRAN

PERATURAN PEMERINTAH NOMOR 82 TAHUN 2001 TANGGAL 14 DESEMBER 2001

TENTANG PENGELOLAAN KUALITAS AIR DAN PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR

Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas

PARAMETER	SATUAN	KELAS				KETERANGAN
		I	II	III	IV	
FISIKA						
Tempelatur	°C	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 3	deviasi 5	Deviasi temperatur dari keadaan alaminya
Residu Terlarut	mg/ L	1000	1000	1000	2000	
Residu Tersuspensi	mg/L	50	50	400	400	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, residu tersuspensi ≤ 5000
KIMIA ANORGANIK						
pH		6-9	6-9	6-9	5-9	Apabila secara alamiah di luar rentang tersebut, maka ditentukan berdasarkan kondisi
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	50	100	
DO	mg/L	6	4	3	0	Angka batas minimum
Total Fosfat sbg P	mg/L	0,2	0,2	1	5	
NO 3 sebagai N	mg/L	10	10	20	20	
NH3-N	mg/L	0,5	(-)	(-)	(-)	Bagi perikanan, kandungan amonia bebas untuk ikan yang peka ≤ 0,02 mg/L sebagai NH3
Arsen	mg/L	0,05	1	1	1	
Kobalt	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	
Barium	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	
Boron	mg/L	1	1	1	1	
Selenium	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	
Kadmium	mg/L	0,01	0,01	0,01	0,01	
Khrom (VI)	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,01	

PARAMETER	SATUAN	KELAS				KETERANGAN
		I	II	III	IV	
Tembaga	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, $Cu \leq 1$ mg/L
Besi	mg/L	0,3	(-)	(-)	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, $Fe \leq 5$ mg/L
Timbal	mg/L	0,03	0,03	0,03	1	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, $Pb \leq 0,1$ mg/L
Mangan	mg/L	0,1	(-)	(-)	(-)	
Air Raksa	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,005	
Seng	mg/L	0,05	0,05	0,05	2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, $Zn \leq 5$ mg/L
Klorida	mg/L	600	(-)	(-)	(-)	
Sianida	mg/L	0,02	0,02	0,02	(-)	
Fluorida	mg/L	0,5	1,5	1,5	(-)	
Nitrit sebagai N	mg/L	0,06	0,06	0,06	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, $NO_2_N \leq 1$ mg/L
Sulfat	mg/L	400	(-)	(-)	(-)	
Khlorin bebas	mg/L	0,03	0,03	0,03	(-)	Bagi ABAM tidak dipersyaratkan
Belereng sebagai H ₂ S	mg/L	0,002	0,002	0,002	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, S sebagai H ₂ S $< 0,1$ mg/L
MIKROBIOLOGI						
Fecal coliform	jml/100 ml	100	1000	2000	2000	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, fecal coliform ≤ 2000 jml / 100 ml dan total coliform ≤ 10000 jml/100 ml
-Total coliform	jml/100 ml	1000	5000	10000	10000	
RADIOAKTIVITAS						
- Gross-A	Bq /L	0,1	0,1	0,1	0,1	

PARAMETER	SATUAN	KELAS				KETERANGAN
		I	II	III	IV	
- Gross-B	Bq /L	1	1	1	1	
KIMIA ORGANIK						
Minyak dan Lemak	ug /L	1000	1000	1000	(-)	
Detergen sebagai MBAS	ug /L	200	200	200	(-)	
Senyawa Fenol sebagai Fenol	ug /L	1	1	1	(-)	
BHC	ug /L	210	210	210	(-)	
Aldrin / Dieldrin	ug /L	17	(-)	(-)	(-)	
Chlordane	ug /L	3	(-)	(-)	(-)	
DDT	ug /L	2	2	2	2	
Heptachlor dan heptachlor epoxide	ug /L	18	(-)	(-)	(-)	
Lindane	ug /L	56	(-)	(-)	(-)	
Methoxyclor	ug /L	35	(-)	(-)	(-)	
Endrin	ug /L	1	4	4	(-)	
Toxaphan	ug /L	5	(-)	(-)	(-)	

Keterangan :

Mg = miligram

ug = mikrogram ml = militer

L = liter

Bq = Bequerel

MBAS = Methylene Blue Active Substance

ABAM = Air Baku untuk Air Minum

Logam berat merupakan logam terlarut

Nilai di atas merupakan batas maksimum, kecuali untuk pH dan DO. Bagi pH merupakan nilai rentang yang tidak boleh kurang atau lebih dari nilai yang tercantum.

Nilai DO merupakan batas minimum.

Arti (-) di atas menyatakan bahwa untuk kelas termasuk, parameter tersebut tidak dipersyaratkan.

Tanda \leq adalah lebih kecil atau sama dengan

Tanda $<$ adalah lebih kecil

PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA

ttd.

MEGAWATI SOEKARNO PUTRI



MENTERI KESEHATAN
REPUBLIK INDONESIA

Lampiran
Peraturan Menteri Kesehatan
Nomor : 492/Menkes/Per/IV/2010
Tanggal : 19 April 2010

PERSYARATAN KUALITAS AIR MINUM

I. PARAMETER WAJIB

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
1	Parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan		
	a. Parameter Mikrobiologi		
	1) E.Coli	Jumlah per 100 ml sampel	0
	2) Total Bakteri Koliform	Jumlah per 100 ml sampel	0
	b. Kimia an-organik		
	1) Arsen	mg/l	0,01
	2) Fluorida	mg/l	1,5
	3) Total Kromium	mg/l	0,05
	4) Kadmium	mg/l	0,003
	5) Nitrit, (Sebagai NO ₂ ⁻)	mg/l	3
	6) Nitrat, (Sebagai NO ₃ ⁻)	mg/l	50
	7) Sianida	mg/l	0,07
	8) Selenium	mg/l	0,01
2	Parameter yang tidak langsung berhubungan dengan kesehatan		
	a. Parameter Fisik		
	1) Bau		Tidak berbau
	2) Warna	TCU	15
	3) Total zat padat terlarut (TDS)	mg/l	500
	4) Kekeruhan	NTU	5
	5) Rasa		Tidak berasa
	6) Suhu	°C	suhu udara ± 3
	b. Parameter Kimiawi		
	1) Aluminium	mg/l	0,2
	2) Besi	mg/l	0,3
	3) Kesadahan	mg/l	500
	4) Klorida	mg/l	250
	5) Mangan	mg/l	0,4
	6) pH		6,5-8,5



MENTERI KESEHATAN
REPUBLIK INDONESIA

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
	7) Seng	mg/l	3
	8) Sulfat	mg/l	250
	9) Tembaga	mg/l	2
	10) Amonia	mg/l	1,5

II. PARAMETER TAMBAHAN

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
1.	KIMIAWI		
a.	Bahan Anorganik		
	Air Raksa	mg/l	0,001
	Antimon	mg/l	0,02
	Barium	mg/l	0,7
	Boron	mg/l	0,5
	Molybdenum	mg/l	0,07
	Nikel	mg/l	0,07
	Sodium	mg/l	200
	Timbal	mg/l	0,01
	Uranium	mg/l	0,015
b.	Bahan Organik		
	Zat Organik (KMnO ₄)	mg/l	10
	Deterjen	mg/l	0,05
	Chlorinated alkanes		
	Carbon tetrachloride	mg/l	0,004
	Dichloromethane	mg/l	0,02
	1,2-Dichloroethane	mg/l	0,05
	Chlorinated ethenes		
	1,2-Dichloroethene	mg/l	0,05
	Trichloroethene	mg/l	0,02
	Tetrachloroethene	mg/l	0,04
	Aromatic hydrocarbons		
	Benzene	mg/l	0,01
	Toluene	mg/l	0,7
	Xylenes	mg/l	0,5
	Ethylbenzene	mg/l	0,3
	Styrene	mg/l	0,02
	Chlorinated benzenes		
	1,2-Dichlorobenzene (1,2-DCB)	mg/l	1
	1,4-Dichlorobenzene (1,4-DCB)	mg/l	0,3
	Lain-lain		
	Di(2-ethylhexyl)phthalate	mg/l	0,008
	Acrylamide	mg/l	0,0005
	Epichlorohydrin	mg/l	0,0004
	Hexachlorobutadiene	mg/l	0,0006



MENTERI KESEHATAN
REPUBLIK INDONESIA

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimum yang diperbolehkan
	Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)	mg/l	0,6
	Nitrilotriacetic acid (NTA)	mg/l	0,2
c.	Pestisida		
	Alachlor	mg/l	0,02
	Aldicarb	mg/l	0,01
	Aldrin dan dieldrin	mg/l	0,00003
	Atrazine	mg/l	0,002
	Carbofuran	mg/l	0,007
	Chlordane	mg/l	0,0002
	Chlorotoluron	mg/l	0,03
	DDT	mg/l	0,001
	1,2- Dibromo-3-chloropropane (DBCP)	mg/l	0,001
	2,4 Dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D)	mg/l	0,03
	1,2-Dichloropropane	mg/l	0,04
	Isoproturon	mg/l	0,009
	Lindane	mg/l	0,002
	MCPA	mg/l	0,002
	Methoxychlor	mg/l	0,02
	Metolachlor	mg/l	0,01
	Molinate	mg/l	0,006
	Pendimethalin	mg/l	0,02
	Pentachlorophenol (PCP)	mg/l	0,009
	Permethrin	mg/l	0,3
	Simazine	mg/l	0,002
	Trifluralin	mg/l	0,02
	Chlorophenoxy herbicides selain 2,4-D dan MCPA		
	2,4-DB	mg/l	0,090
	Dichlorprop	mg/l	0,10
	Fenoprop	mg/l	0,009
	Mecoprop	mg/l	0,001
	2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid	mg/l	0,009
d.	Desinfektan dan Hasil Sampingannya		
	Desinfektan		
	Chlorine	mg/l	5
	Hasil sampingan		
	Bromate	mg/l	0,01
	Chlorate	mg/l	0,7
	Chlorite	mg/l	0,7
	Chlorophenols		
	2,4,6 -Trichlorophenol (2,4,6-TCP)	mg/l	0,2
	Bromoform	mg/l	0,1
	Dibromochloromethane (DBCM)	mg/l	0,1
	Bromodichloromethane (BDCM)	mg/l	0,06
	Chloroform	mg/l	0,3

UNIVERSITAS ANDALAS

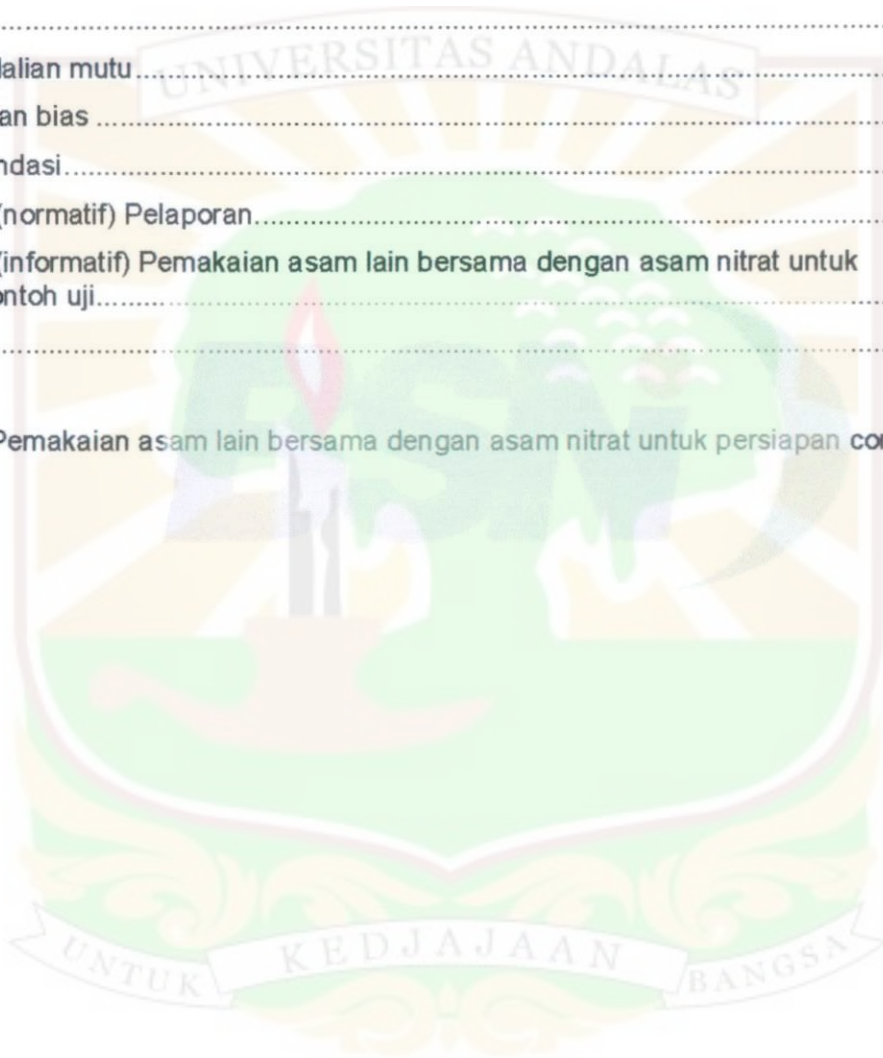
LAMPIRAN C

**SNI 6989.7:2009 - Cara Uji Seng (Zn)
Secara Spektrofotometri Serapan Atom
(SSA)-Nyala**

UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

Daftar isi

Daftar isi	i
Prakata	ii
1 Ruang lingkup	1
2 Istilah dan definisi	1
3 Cara uji	2
4 Pengendalian mutu	5
5 Presisi dan bias	5
6 Rekomendasi	5
Lampiran A (normatif) Pelaporan	6
Lampiran B (informatif) Pemakaian asam lain bersama dengan asam nitrat untuk persiapan contoh uji	7
Bibliografi	8
Tabel B.1 - Pemakaian asam lain bersama dengan asam nitrat untuk persiapan contoh uji ..	7



Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) ini merupakan hasil revisi dari SNI 06-6989.7-2004, *Air dan air limbah – Bagian 7: Cara uji kadar seng (Zn) dengan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-nyala*. SNI ini menggunakan referensi dari metode standar internasional yaitu *Standard Methods for the Examination Of Water and Wastewater 21 th Edition*, editor L.S.Clesceri, A.E.Greenberg, A.D.Eaton, APHA, AWWA and WPCF, Washington DC (2005), *Electrothermal Atomic Absorption Spectrofotometric Method*. SNI ini telah melalui uji coba di laboratorium pengujian dalam rangka validasi dan verifikasi metode serta dikonsensuskan oleh Subpanitia Teknis 13-03-S1, *Kualitas Air* dari Panitia Teknis 13-03, *Kualitas Lingkungan dan Manajemen Lingkungan* dengan para pihak terkait.

SNI ini telah disepakati dan disetujui dalam rapat konsensus dengan peserta rapat yang mewakili produsen, konsumen, ilmuwan, instansi teknis dan pemerintah terkait pada tanggal 11 September 2007 di Serpong. Selanjutnya SNI ini telah melalui tahap jajak pendapat pada tanggal 11 Juni 2008 sampai dengan 11 Agustus 2008. Kemudian SNI ini telah melalui tahap pemungutan suara pada tanggal 18 Maret 2009 sampai dengan 18 Juni 2009, dengan hasil akhir RASNI.

Dengan dirumuskannya SNI ini, maka penerapan SNI 06-6989.7-2004, dinyatakan tidak berlaku lagi. Pemakai SNI agar dapat meneliti validasi SNI yang terkait dengan metode ini, sehingga dapat selalu menggunakan SNI edisi terakhir.



Air dan air limbah – Bagian 7: Cara uji seng (Zn) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)-nyala

1 Ruang lingkup

Metode ini digunakan untuk penentuan logam seng (Zn) total dan terlarut dalam air dan air limbah secara spektrofotometri serapan atom-nyala (SSA)-nyala pada kisaran kadar Zn 0,05 mg/L sampai dengan 2,0 mg/L dengan panjang gelombang 213,9 nm.

2 Istilah dan definisi

2.1

air bebas mineral

air yang diperoleh dengan cara penyulingan ataupun proses demineralisasi sehingga diperoleh air dengan konduktivitas lebih kecil dari 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$

2.2

blind sample

larutan dengan kadar analit tertentu yang diperlakukan seperti contoh uji

2.3

kurva kalibrasi

grafik yang menyatakan hubungan kadar larutan kerja dengan hasil pembacaan serapan yang merupakan garis lurus

2.4

larutan induk logam seng (Zn)

larutan yang mempunyai kadar logam seng 100 mg Zn/L yang digunakan untuk membuat larutan baku dengan kadar yang lebih rendah

2.5

larutan baku logam seng (Zn)

larutan induk logam seng yang diencerkan dengan air bebas mineral sampai kadar tertentu

2.6

larutan kerja logam seng (Zn)

larutan baku logam seng yang diencerkan, digunakan untuk membuat kurva kalibrasi

2.7

larutan blanko

air bebas mineral yang diasamkan atau perlakuannya sama dengan contoh uji

2.8

larutan pengencer

larutan yang digunakan untuk mengencerkan larutan kerja, yang dibuat dengan cara menambahkan asam nitrat pekat ke dalam air bebas mineral hingga pH ≤ 2

2.9

larutan pencuci

larutan yang digunakan untuk mencuci semua peralatan gelas dan plastik

2.10

matrix modifier

bahan yang digunakan untuk mengurangi gangguan matriks contoh uji

2.11

seng terlarut

seng dalam air yang dapat lolos melalui saringan membran berpori 0,45 μm

2.12

seng total

seng yang terlarut dan tersuspensi dalam air setelah dilakukan proses pemanasan dengan asam kuat

2.13

spike matrix

contoh uji yang diperkaya dengan larutan baku dengan kadar tertentu

3 Cara uji

3.1 Prinsip

Analit logam seng dalam nyala udara-asetilen diubah menjadi bentuk atomnya, menyerap energi radiasi elektromagnetik yang berasal dari lampu katoda dan besarnya serapan berbanding lurus dengan kadar analit.

3.2 Bahan

- air bebas mineral;
- asam nitrat (HNO_3) pekat p.a;
- logam seng (Zn) dengan kemurnian 99,9%;
- gas asetilen (C_2H_2) HP dengan tekanan minimum 100 psi;
- larutan pengencer HNO_3 0,05 M;
Larutkan 3,5 mL HNO_3 pekat ke dalam 1000 mL air bebas mineral dalam gelas piala.
- larutan pencuci HNO_3 5% (v/v).
Tambahkan 50 mL asam nitrat pekat ke dalam 800 mL air bebas mineral dalam gelas piala 1000 mL, lalu tambahkan air bebas mineral hingga 1000 mL dan homogenkan.
- Larutan kalsium
Larutkan 630 mg kalsium karbonat (CaCO_3) dalam 50 mL HCl (1+5). Bila perlu larutan dididihkan untuk menyempurnakan larutan. Dinginkan dan encerkan dengan air bebas mineral hingga 1 liter.
- udara tekan.

3.3 Peralatan

- Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-nyala;
- lampu katoda berongga (*Hollow Cathode Lamp*, HCL) seng;
- gelas piala 100 mL dan 250 mL;
- pipet volumetrik 10,0 mL dan 50,0 mL;
- labu ukur 50,0 mL; 100,0 mL dan 1000,0 mL;
- Erlenmeyer* 100 mL;
- corong gelas;
- kaca arloji;
- pemanas listrik;
- seperangkat alat saring vakum;

- k) saringan membran dengan ukuran pori 0,45 μm ;
- l) timbangan analitik dengan ketelitian 0,0001 g; dan
- m) labu semprot.

3.4 Pengawetan contoh uji

Bila contoh uji tidak dapat segera diuji, maka contoh uji diawetkan sesuai petunjuk di bawah ini:

Wadah	:	Botol plastik (<i>polyethylene</i>) atau botol gelas
Pengawet	:	a) Untuk logam terlarut, saring dengan saringan membran berpori 0,45 μm dan diasamkan dengan HNO_3 hingga $\text{pH} < 2$. b) Untuk logam total, asamkan dengan HNO_3 hingga $\text{pH} < 2$
Lama Penyimpanan	:	6 bulan
Kondisi Penyimpanan	:	Suhu ruang

3.5 Persiapan pengujian

3.5.1 Persiapan contoh uji seng terlarut

Siapkan contoh uji yang telah disaring dengan saringan membran berpori 0,45 μm dan diawetkan. Contoh uji siap diukur.

3.5.2 Persiapan contoh uji seng total

Siapkan contoh uji untuk pengujian seng total, dengan tahapan sebagai berikut:

- a) homogenkan contoh uji, pipet 50,0 mL contoh uji dan masukkan ke dalam gelas piala 100 mL atau *Erlenmeyer* 100 mL;
- b) tambahkan 5 mL HNO_3 pekat, bila menggunakan gelas piala, tutup dengan kaca arloji dan bila dengan *Erlenmeyer* gunakan corong sebagai penutup;
- c) panaskan perlahan-lahan sampai sisa volumenya 15 mL - 20 mL;
- d) jika destruksi belum sempurna (tidak jernih), maka tambahkan lagi 5 mL HNO_3 pekat, kemudian tutup gelas piala dengan kaca arloji atau tutup *Erlenmeyer* dengan corong dan panaskan lagi (tidak mendidih). Lakukan proses ini secara berulang sampai semua logam larut, yang terlihat dari warna endapan dalam contoh uji menjadi agak putih atau contoh uji menjadi jernih;

CATATAN Jika destruksi tidak sempurna, lihat Lampiran B.

- e) bilas kaca arloji dan masukkan air bilasannya ke dalam gelas piala;
- f) pindahkan contoh uji ke dalam labu ukur 50,0 mL (saring bila perlu) dan tambahkan air bebas mineral sampai tepat tanda tera dan dihomogenkan;
- g) contoh uji siap diukur serapannya.

3.5.3 Pembuatan larutan induk logam seng 100 mg Zn/L

- a) timbang $\pm 0,100$ g logam seng, masukkan ke dalam labu ukur 1000,0 mL;
- b) tambahkan 20 mL HCl (1+1) hingga larut (≈ 100 mg Zn/L);
- c) tambahkan air bebas mineral hingga tepat tanda tera, lalu homogenkan;
- d) hitung kadar seng berdasarkan hasil penimbangan.

CATATAN Larutan ini dapat dibuat dari larutan standar 1000 mg Zn/L siap pakai.

3.5.4 Pembuatan larutan baku logam seng 10 mg Zn/L

- pipet 10,0 mL larutan induk seng 100 mg Zn/L, masukkan ke dalam labu ukur 100,0 mL;
- tepatkan dengan larutan pengencer sampai tanda tera dan homogenkan.

3.5.5 Pembuatan larutan kerja logam seng (Zn)

Buat deret larutan kerja dengan 1 (satu) blanko dan minimal 3 (tiga) kadar yang berbeda secara proporsional dan berada pada rentang pengukuran.

3.6 Pembuatan kurva kalibrasi dan pengukuran contoh uji

3.6.1 Pembuatan kurva kalibrasi

Kurva kalibrasi dibuat dengan tahapan sebagai berikut:

- operasikan alat dan optimasikan sesuai dengan petunjuk penggunaan alat untuk pengukuran seng;

CATATAN 1 Salah satu cara optimasi alat dengan uji sensitifitas.

CATATAN 2 Tambahkan *matrix modifier* dan atau atasi gangguan pengukuran sesuai dengan SSA yang digunakan.

- aspirasikan larutan blanko ke dalam SSA-nyala kemudian atur serapan hingga nol;
- aspirasikan larutan kerja satu persatu ke dalam SSA-nyala, lalu ukur serapannya pada panjang gelombang 213,9 nm, kemudian catat;
- lakukan pembilasan pada selang aspirator dengan larutan pengencer;
- buat kurva kalibrasi dari data pada butir 3.6.1.c) di atas, dan tentukan persamaan garis lurusnya;
- jika koefisien korelasi regresi linier (r) < 0,995, periksa kondisi alat dan ulangi langkah pada butir 3.6.1 b) sampai dengan c) hingga diperoleh nilai koefisien $r \geq 0,995$.

3.6.2 Pengukuran contoh uji

Uji kadar seng dengan tahapan sebagai berikut:

- aspirasikan contoh uji ke dalam SSA-nyala lalu ukur serapannya pada panjang gelombang 213,9 nm. Bila diperlukan, lakukan pengenceran;

CATATAN 1 Bila hasil pengukuran untuk seng terlarut diluar kisaran pengukuran, maka lakukan pengenceran dan ulangi langkah 3.5.1.

CATATAN 2 Bila hasil pengukuran untuk seng total diluar kisaran pengukuran, maka lakukan pengenceran dan ulangi langkah 3.5.2.

- catat hasil pengukuran.

3.7 Perhitungan

Kadar logam seng (Zn) dihitung sebagai berikut:

$$\text{Zn (mg/L)} = C \times fp \quad (1)$$

Keterangan:

C adalah kadar yang didapat hasil pengukuran (mg/L);

fp adalah faktor pengenceran.

4 Pengendalian mutu

- Gunakan bahan kimia pro analisis (pa).
- Gunakan alat gelas bebas kontaminasi.
- Gunakan alat ukur yang terkalibrasi.
- Dikerjakan oleh analis yang kompeten.
- Lakukan analisis dalam jangka waktu yang tidak melampaui waktu penyimpanan maksimum.
- Koefisien korelasi regresi linier (r) lebih besar atau sama dengan 0,995 dengan intersepsi lebih kecil atau sama dengan batas deteksi.
- Lakukan analisis blanko dengan frekuensi 5% - 10% per *batch* (satu seri pengukuran) atau minimal 1 kali untuk jumlah contoh uji kurang dari 10 sebagai kontrol kontaminasi.
- Lakukan analisis duplo dengan frekuensi 5% - 10% per satu seri pengukuran atau minimal 1 kali untuk jumlah contoh uji kurang dari 10 sebagai kontrol ketelitian analisis. Jika Perbedaan Persen Relatif (*Relative Percent Difference*, RPD) lebih besar dari 10% maka dilakukan pengukuran selanjutnya hingga diperoleh nilai RPD kurang dari atau sama dengan 10%.

Persen RPD

$$\%RPD = \left| \frac{\text{hasil pengukuran} - \text{duplikat pengukuran}}{(\text{hasil pengukuran} + \text{duplikat pengukuran})/2} \right| \times 100\% \quad (2)$$

- Lakukan kontrol akurasi dengan *spike matrix* atau salah satu standar kerja dengan frekuensi 5% - 10% per satu seri pengukuran atau minimal 1 kali untuk jumlah contoh uji kurang dari 10. Kisaran persen temu balik untuk *spike matrix* adalah 85% - 115% dan untuk standar kerja 90% - 110%.

Persen temu balik (% *recovery*, %R)

$$\%R = \left(\frac{A - B}{C} \right) \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

- A adalah kadar contoh uji yang diperkaya (*spike*) (mg/L);
 B adalah kadar contoh uji (mg/L);
 C adalah kadar standar yang ditambahkan (*target value*) (mg/L).

CATATAN 1 Volume *spike matrix* yang ditambahkan maksimal 5% dari volume contoh uji.

CATATAN 2 Hasil akhir kadar contoh uji yang diperkaya (*spike matrix*) berkisar 2 kali kadar contoh uji. Kadar contoh uji yang sudah diperkaya berada pada kisaran rentang pengukuran.

5 Presisi dan bias

Standar ini telah melalui uji banding metode dengan peserta 10 laboratorium pada kadar 1 mg Zn/L dengan tingkat presisi (%RSD) 5,90% dan akurasi (bias metode) 1,6%.

6 Rekomendasi

- Lakukan analisis *blind sample*.
- Buat *control chart* untuk akurasi dan presisi analisis.

Lampiran A
(normatif)
Pelaporan

Catat pada buku kerja hal-hal sebagai berikut:

- 1) Parameter yang dianalisis.
- 2) Nama analis.
- 3) Tanggal analisis.
- 4) Rekaman hasil pengukuran duplo.
- 5) Rekaman kurva kalibrasi.
- 6) Nomor contoh uji.
- 7) Tanggal penerimaan contoh uji.
- 8) Rekaman hasil perhitungan.
- 9) Hasil pengukuran persen *spike matrix* atau standar kerja dan CRM atau *blind sample* (bila dilakukan).
- 10) Kadar analit dalam contoh uji.



Lampiran B
(informatif)

Pemakaian asam lain bersama dengan asam nitrat untuk persiapan contoh uji

Tabel B.1 - Pemakaian asam lain bersama dengan asam nitrat untuk persiapan contoh uji

Asam	Disarankan untuk analisis	Bisa berguna untuk contoh uji	Tidak disarankan untuk analisis
HCl	Ag	Sb, Ru, Sn	Th, Pb
H ₂ SO ₄	Ti	-	Ag, Pb, Ba
HClO ₄	-	mengandung organik	-
HF	-	mengandung silika	-



Bibliografi

Standard Methods for the Examination of water and wastewater 21st Edition, 2005, Method 3111B. *Electrothermal Atomic Absorption Spectrofotometric Method*

Komite Akreditasi Nasional, SR 02, *Persyaratan tambahan untuk akreditasi laboratorium pengujian kimia dan biologi*, 2004.



UNIVERSITAS ANDALAS

LAMPIRAN D

Data Percobaan

UNTUK KEDJAJAAN BANGSA

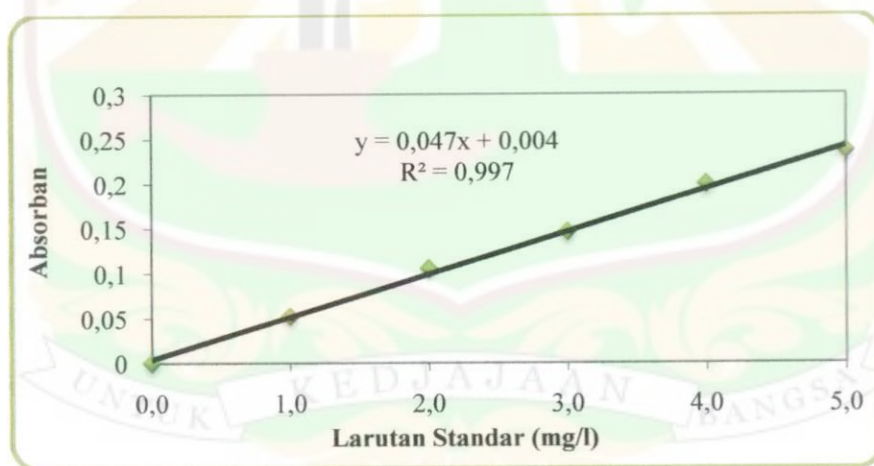
DATA PERCOBAAN

Konsentrasi Zn di dalam sampel dianalisis menggunakan alat Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Konsentrasi sampel yang terbaca pada alat ini dinyatakan dalam angka-angka absorban. Dalam menentukan konsentrasi sampel, maka diperlukan rentang konsentrasi larutan standar dalam bentuk angka absorban yang mewakili rentang konsentrasi sampel yang akan dianalisis.

Tabel 1 Konsentrasi Larutan Standar dan Absorban

Larutan Standar (mg/l)	Absorban
0	0,000
1,0	0,052
2,0	0,105
3,0	0,146
4,0	0,199
5,0	0,236

Data-data diatas diplot ke dalam grafik dengan konsentrasi larutan standar pada sumbu x dan absorban pada sumbu y. Kemudian ditentukan persamaan regresi linearnya.



Gambar 1 Grafik Linear Larutan Standar

Persamaan regresi yang didapat dari kurva larutan standar diatas, digunakan untuk mengetahui konsentrasi logam Zn pada tiap-tiap sampel dengan mengganti konstanta 'y' pada persamaan regresi dengan nilai adsorban sampel.

1. Percobaan Analisa Kualitas dan Studi Pendahuluan

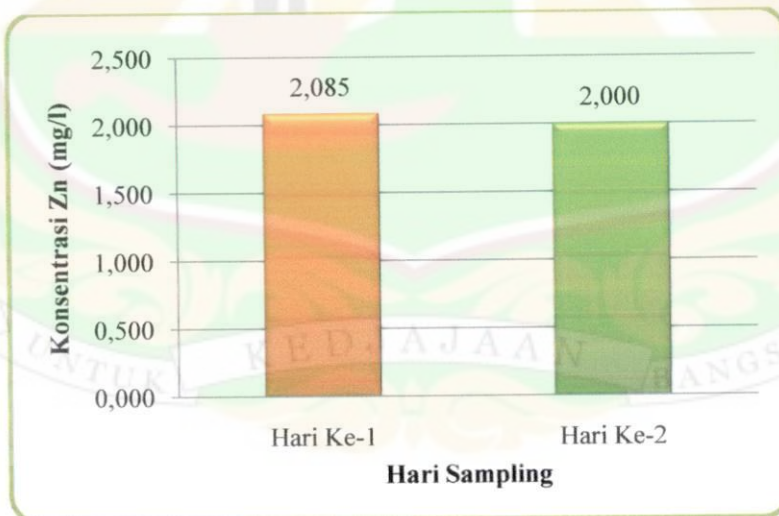
Percobaan ini menghasilkan data mengenai analisa kualitas sampel air Sungai Batang Idas dengan tujuan untuk mengetahui kandungan-kandungan logam yang kemungkinan ada. Selain itu juga menghasilkan nilai konsentrasi logam Zn untuk dua hari pengambilan sampel (Senin tanggal 28 Mei 2012 dan Selasa tanggal 29 Mei 2012) dalam penentuan konsentrasi larutan artifisial yang akan digunakan.

Tabel 2 Analisa Kualitas Sampel Air Sungai Batang Idas

Parameter	Hasil	Satuan
pH	8,78	-
Temperatur	25	°C
Kadmium (Cd)	1,740	mg/l
Mangan (Mn)	1,280	mg/l
Tembaga (Cu)	3,000	mg/l
Seng (Zn)	2,000	mg/l

Tabel 3 Konsentrasi Logam Zn pada Dua Hari Pengambilan Sampel

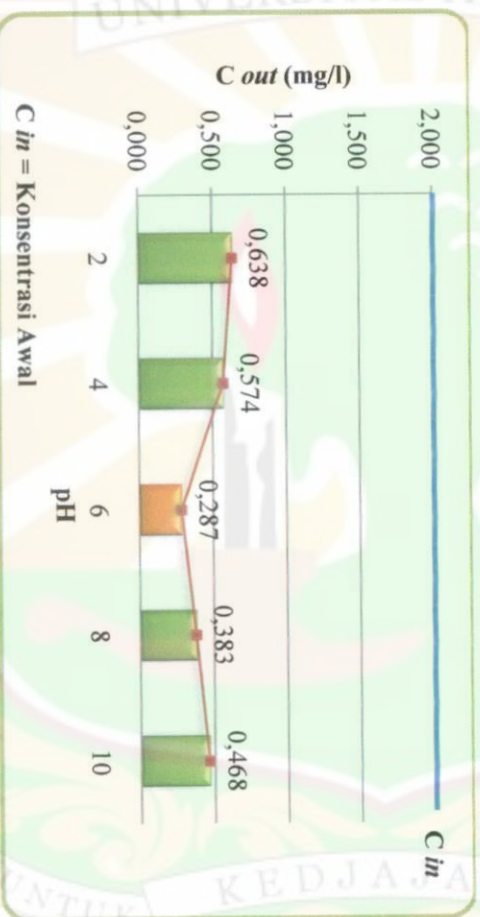
Waktu Sampling	Absorban	C out (mg/l)
Hari Ke-1 (Senin)	0,102	2,085
Hari Ke-2 (Selasa)	0,098	2,000



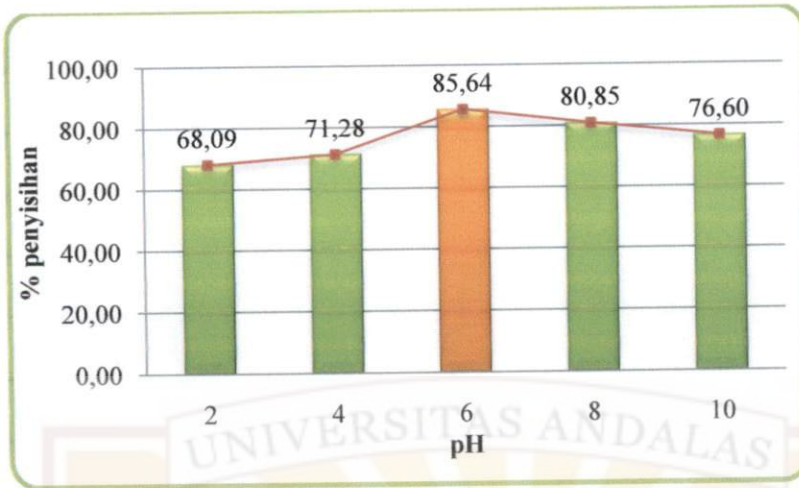
Gambar 2 Perbandingan Konsentrasi Logam Zn pada Hari Sampling

Tabel 4 Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi pH

Variasi pH	Massa (mg)	Kecepatan Pengadukan (rpm)		Waktu Pengadukan (menit)		Waktu Pengendapan (menit)	Absorban	C_{out} (mg/l)	C_{in} (mg/l)	C_{out} rata-rata (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
		Koagulasi	Flokulasi	Koagulasi	Flokulasi						
2	200	80	20	1	9	30	0,034	0,638	2	0,638	68,09
							0,034	0,638			
							0,032	0,596			
							0,030	0,553			
4	200	80	20	1	9	30	0,018	0,298	2	0,287	85,64
							0,017	0,277			
							0,022	0,383			
							0,022	0,383			
6	200	80	20	1	9	30	0,025	0,447	2	0,383	80,85
							0,027	0,489			
							0,025	0,447			
							0,027	0,489			
8	200	80	20	1	9	30	0,027	0,489	2	0,468	76,60
							0,027	0,489			
							0,027	0,489			
							0,027	0,489			
10	200	80	20	1	9	30	0,027	0,489	2	0,468	76,60
							0,027	0,489			
							0,027	0,489			
							0,027	0,489			



Gambar 3 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi pH



Gambar 4 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi pH

Contoh perhitungan pada variasi pH 2:

- Penentuan konsentrasi akhir logam Zn ($C_{out 1}$)

$$y = 0,047(x) + 0,004$$

$$x = \frac{(0,034 - 0,004)}{0,047}$$

$$x = 0,638 \text{ mg/l}$$

- Perhitungan efisiensi penyisihan (%R)

$$\%R = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

$$\%R = \frac{2 \text{ mg/l} - 0,638 \text{ mg/l}}{2 \text{ mg/l}} \times 100\%$$

$$\%R = 68,09\%$$

b. Penentuan Massa Bioflokulan Optimum

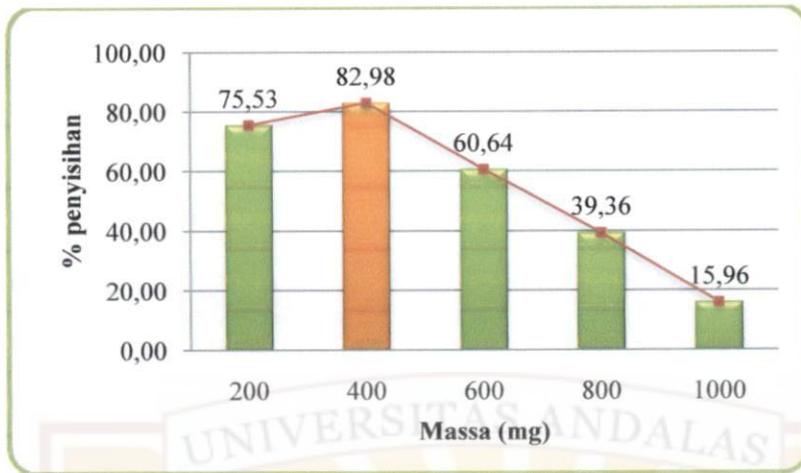
Percobaan penentuan massa bioflokulan optimum ini dilakukan dengan parameter parameter pH optimum yang didapatkan dari percobaan optimasi sebelumnya adalah pH 6 dan parameter lainnya seperti kecepatan pengadukan koagulasi 80 rpm, kecepatan pengadukan flokulasi 20 rpm, waktu pengadukan koagulasi 1 menit, waktu pengadukan flokulasi 9 menit dan waktu pengendapan 30 menit dalam volume kerja 500 ml larutan artifisial, konsentrasi *influen* (C_{in}) 2 mg/l dan pada suhu ruangan.

Tabel 5 Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Massa

Variasi Massa (mg)	pH Optimum	Kecepatan Pengadukan (rpm)		Waktu Pengadukan (menit)		Waktu Pengendapan (menit)	Absorban	C_{out} (mg/l)	C_{in} (mg/l)	C_{out} rata-rata (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
		Koagulasi	Flokulasi	Koagulasi	Flokulasi						
200	6	80	20	1	9	30	0,026	0,468	2	0,489	75,53
400							0,028	0,511			
600							0,022	0,383			
							0,018	0,298			
800							0,041	0,787			
							0,041	0,787			
1000	0,060	1,191									
	0,062	1,234									
	0,085	1,723									
	0,081	1,638									



Gambar 5 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Massa



Gambar 6 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Massa

Contoh perhitungan pada variasi massa 200 mg:

- Penentuan konsentrasi akhir logam Zn ($C_{out 1}$)

$$y = 0,047(x) + 0,004$$

$$x = \frac{(0,026 - 0,004)}{0,047}$$

$$x = 0,468 \text{ mg/l}$$

- Perhitungan efisiensi penyisihan (%R)

$$\%R = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

$$\%R = \frac{2 \text{ mg/l} - 0,468 \text{ mg/l}}{2 \text{ mg/l}} \times 100\%$$

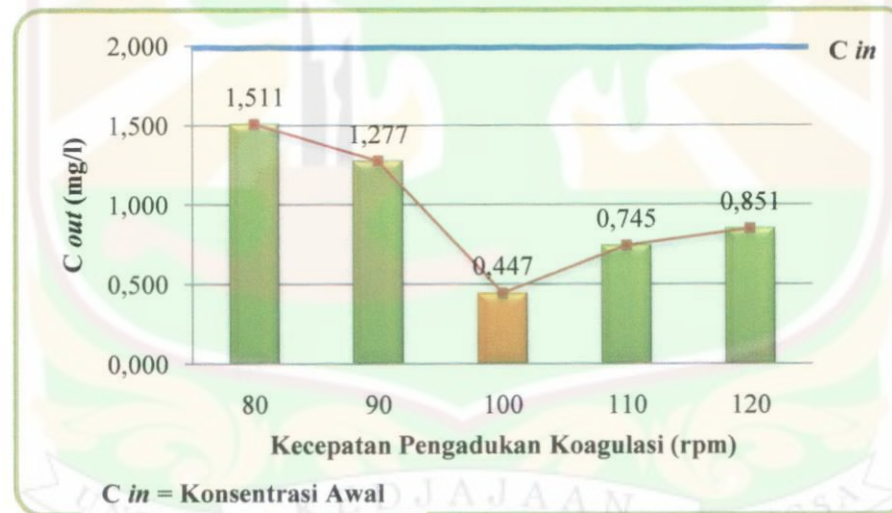
$$\%R = 76,60\%$$

c. Penentuan Kecepatan Pengadukan Koagulasi Optimum

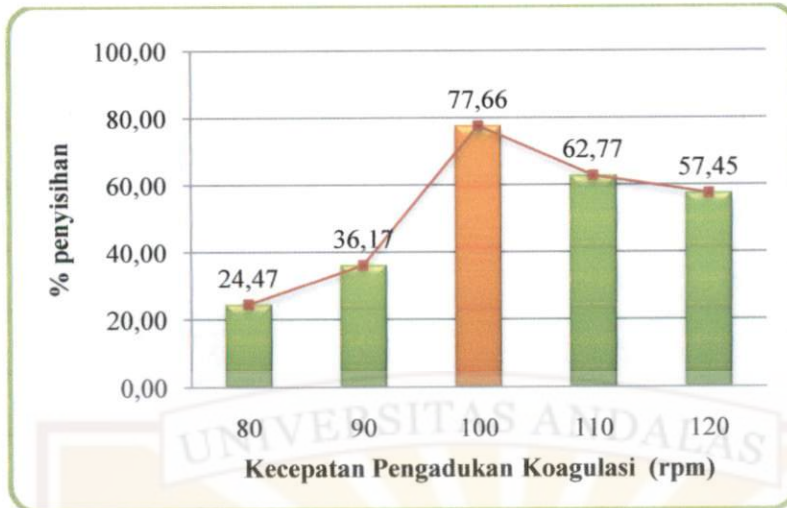
Percobaan penentuan kecepatan pengadukan koagulasi optimum ini dilakukan dengan parameter pH larutan optimum 6 dan massa optimum 400 mg, kecepatan pengadukan flokulasi 20 rpm, waktu pengadukan koagulasi 1 menit, waktu pengadukan flokulasi 9 menit dan waktu pengendapan 30 menit dalam volume kerja 500 ml larutan artifisial, konsentrasi *influen* (C_{in}) 2 mg/l dan pada suhu ruangan.

Tabel 6 Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Koagulasi

Variasi Kecepatan Koagulasi (rpm)	pH Optimum	Massa Optimum (mg)	Kecepatan Pengadukan Flokulasi (rpm)	Waktu Pengadukan (menit)		Waktu Pengendapan (menit)	Absorban	C_{out} (mg/l)	C_{in} (mg/l)	C_{out} rata-rata (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)								
				Koagulasi	Flokulasi														
80	6	400	20	1	9	30	0,075	1,511	2	1,511	24,47								
90							0,062	1,234											
100							0,066	1,319											
							0,026	0,468											
110							0,024	0,426											
							0,042	0,809											
120							0,036	0,681											
							0,043	0,830											
															0,045	0,872		0,851	57,45



Gambar 7 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Koagulasi



Gambar 8 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Koagulasi

Contoh perhitungan pada variasi kecepatan pengadukan koagulasi 80 rpm:

- Penentuan konsentrasi akhir logam Zn ($C_{out 1}$)

$$y = 0,047(x) + 0,004$$

$$x = \frac{(0,075 - 0,004)}{0,047}$$

$$x = 1,511 \text{ mg/l}$$

- Perhitungan efisiensi penyisihan (%R)

$$\%R = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

$$\%R = \frac{2 \text{ mg/l} - 1,511 \text{ mg/l}}{2 \text{ mg/l}} \times 100\%$$

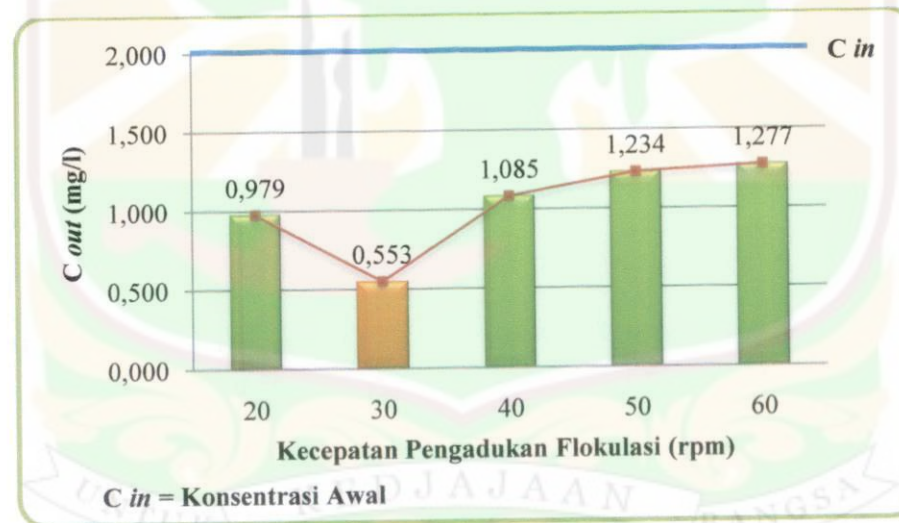
$$\%R = 24,47\%$$

d. Penentuan Kecepatan Pengadukan Flokulasi Optimum

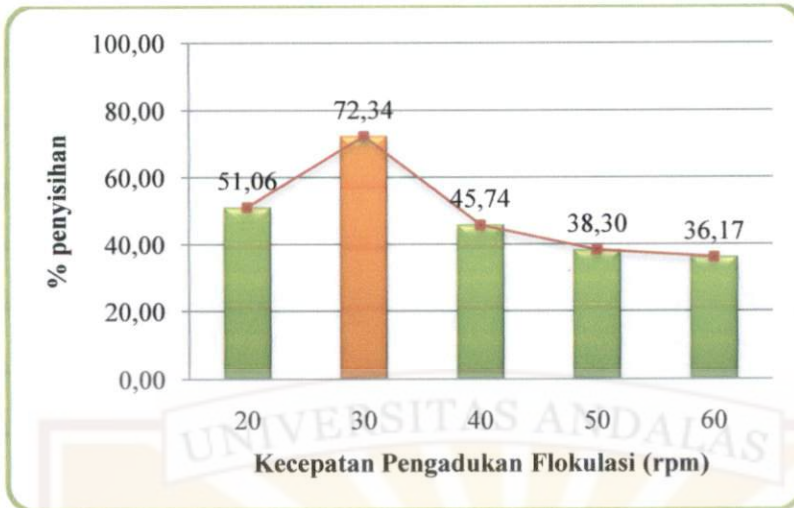
Percobaan penentuan kecepatan pengadukan flokulasi optimum ini dilakukan dengan parameter pH larutan optimum 6, massa optimum 400 mg, kecepatan pengadukan koagulasi optimum 100 rpm, waktu pengadukan koagulasi 1 menit, waktu pengadukan flokulasi 9 menit dan waktu pengendapan 30 menit dalam volume kerja 500 ml larutan artifisial, konsentrasi *influen* (C_{in}) 2 mg/l dan pada suhu ruangan.

Tabel 7 Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Flokulasi

Variasi Kecepatan Flokulasi (rpm)	pH Optimum	Massa Optimum (mg)	Kecepatan Pengadukan Koagulasi Optimum (rpm)	Waktu Pengadukan (menit)		Waktu Pengendapan (menit)	Absorban	C _{out} (mg/l)	C _{in} (mg/l)	C _{out} rata-rata (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
				Koagulasi	Flokulasi						
20	6	400	100	1	9	30	0,047	0,915	2	0,979	51,06
							0,053	1,043			
30							0,030	0,553		0,553	72,34
							0,030	0,553			
40							0,056	1,106		1,085	45,74
							0,054	1,064			
50							0,062	1,234		1,234	38,30
							0,062	1,234			
60	0,062	1,234	1,277	36,17							
	0,066	1,319									



Gambar 9 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Flokulasi



Gambar 10 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Kecepatan Pengadukan Flokulasi

Contoh perhitungan pada variasi kecepatan pengadukan flokulasi 20 rpm:

- Penentuan konsentrasi akhir logam Zn ($C_{out 1}$)

$$y = 0,047(x) + 0,004$$

$$x = \frac{(0,047 - 0,004)}{0,047}$$

$$x = 0,915 \text{ mg/l}$$

- Perhitungan efisiensi penyisihan (%R)

$$\%R = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

$$\%R = \frac{2 \text{ mg/l} - 0,915 \text{ mg/l}}{2 \text{ mg/l}} \times 100\%$$

$$\%R = 54,25\%$$

e. Penentuan Waktu Pengadukan Koagulasi Optimum

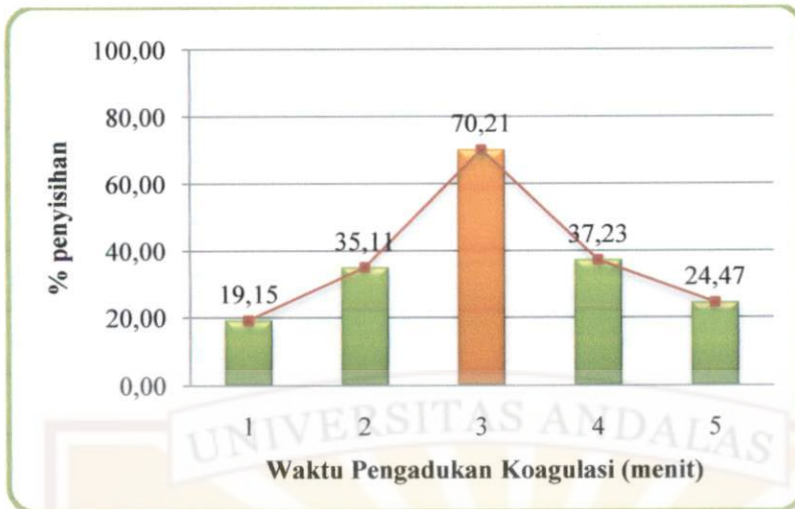
Percobaan penentuan waktu pengadukan koagulasi optimum ini dilakukan dengan parameter pH larutan optimum 6, massa optimum 400 mg, kecepatan pengadukan koagulasi optimum 100 rpm, kecepatan pengadukan flokulasi optimum 30 rpm, waktu pengadukan flokulasi 9 menit dan waktu pengendapan 30 menit dalam volume kerja 500 ml larutan artifisial, konsentrasi *influen* (C_{in}) 2 mg/l dan pada suhu ruangan.

Tabel 8 Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Koagulasi

Variasi Waktu Koagulasi (menit)	pH Optimum	Massa Optimum (mg)	Kecepatan Pengadukan Optimum (rpm)		Waktu Pengadukan Flokulasi (menit)	Waktu Pengendapan (menit)	Absorban	C out (mg/l)	C in (mg/l)	C out rata-rata (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
			Koagulasi	Flokulasi							
1	6	400	100	30	9	30	0,079	1,596	2	1,617	19,15
2							0,081	1,638		1,298	35,11
3							0,064	1,277		0,596	70,21
							0,066	1,319			
4							0,031	0,574		1,255	37,23
							0,033	0,617			
5							0,061	1,213		1,511	24,47
							0,065	1,298			
							0,072	1,447			
							0,078	1,574			



Gambar 11 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Koagulasi



Gambar 12 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Koagulasi

Contoh perhitungan pada variasi waktu pengadukan koagulasi 1 menit:

- Penentuan konsentrasi akhir logam Zn ($C_{out 1}$)

$$y = 0,047(x) + 0,004$$

$$x = \frac{(0,079 - 0,004)}{0,047}$$

$$x = 1,596 \text{ mg/l}$$

- Perhitungan efisiensi penyisihan (%R)

$$\%R = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

$$\%R = \frac{2 \text{ mg/l} - 1,596 \text{ mg/l}}{2 \text{ mg/l}} \times 100\%$$

$$\%R = 20,20\%$$

f. Penentuan Waktu Pengadukan Flokulasi Optimum

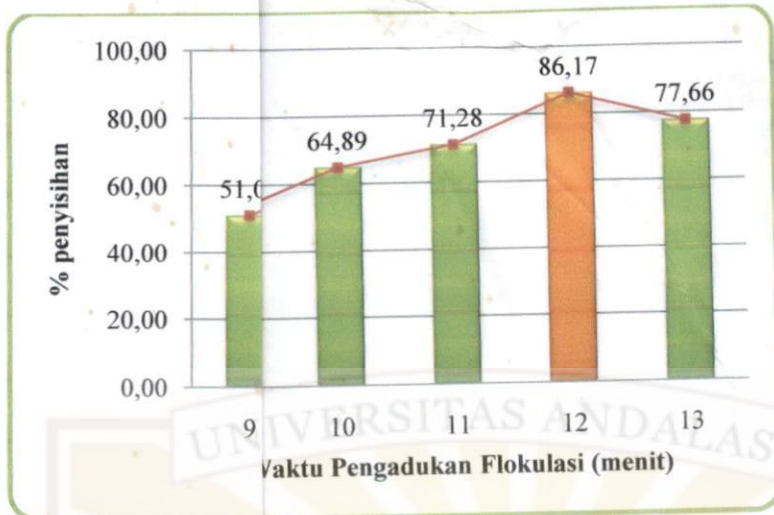
Percobaan penentuan waktu pengadukan flokulasi optimum ini dilakukan dengan parameter pH larutan optimum 6, massa optimum 400 mg, kecepatan pengadukan koagulasi optimum 100 rpm, kecepatan pengadukan flokulasi optimum 30 rpm, waktu pengadukan koagulasi optimum 3 menit dan waktu pengendapan 30 menit dalam volume kerja 500 ml larutan artifisial, konsentrasi *influen* (C_{in}) 2 mg/l dan pada suhu ruangan.

Tabel 9 Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Flokulasi

Variasi Waktu Flokulasi (menit)	pH Optimum	Massa Optimum (mg)	Kecepatan Pengadukan Optimum (rpm)		Waktu Pengadukan Koagulasi Optimum (menit)	Waktu Pengendapan (menit)	Absorban	C_{out} (mg/l)	C_{in} (mg/l)	C_{out} rata-rata (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
			Koagulasi	Flokulasi							
9	6	400	100	30	3	30	0,049	0,957	2	0,979	51,06
10							0,051	1,000			
11							0,039	0,745			
							0,035	0,660			
12							0,032	0,596			
							0,030	0,553			
13							0,017	0,277			
							0,017	0,277			
	0,027	0,489									
	0,023	0,404									



Gambar 13 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Flokulasi



Gambar 14 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengadukan Flokulasi

Contoh perhitungan pada variasi waktu pengadukan flokulasi 9 menit:

- Penentuan konsentrasi akhir logam Zn ($C_{out 1}$)

$$y = 0,047(x) + 0,004$$

$$x = \frac{(0,049 - 0,004)}{0,047}$$

$$x = 0,957 \text{ mg/l}$$

- Perhitungan efisiensi penyisihan (%R)

$$\%R = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

$$\%R = \frac{2 \text{ mg/l} - 0,957 \text{ mg/l}}{2 \text{ mg/l}} \times 100\%$$

$$\%R = 52,15\%$$

g. Penentuan Waktu Pengendapan Optimum

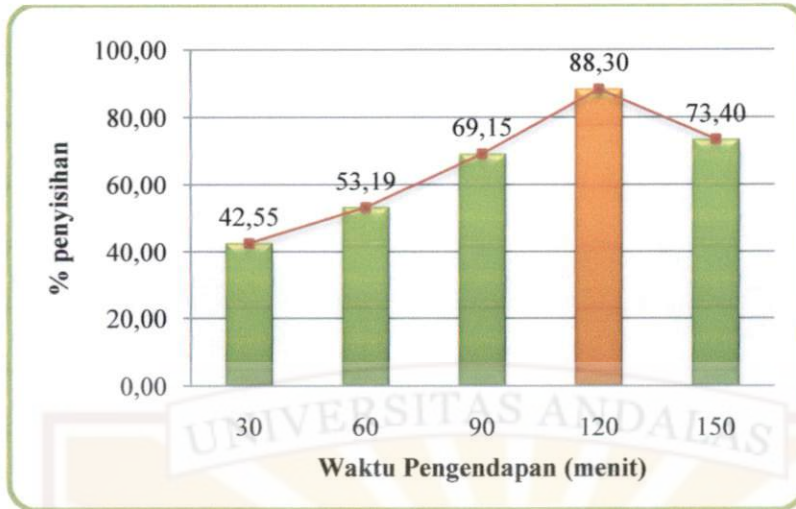
Percobaan penentuan waktu pengendapan optimum ini dilakukan dengan parameter pH larutan optimum 6, massa optimum 400 mg, kecepatan pengadukan koagulasi optimum 100 rpm, kecepatan pengadukan flokulasi optimum 30 rpm, waktu pengadukan koagulasi optimum 3 menit dan waktu pengadukan flokulasi optimum 12 menit dalam volume kerja 500 ml larutan artifisial, konsentrasi *influen* (C_{in}) 2 mg/l dan pada suhu ruangan.

Tabel 10 Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengendapan

Variasi Waktu Pengendapan (menit)	pH Optimum	Massa Optimum (mg)	Kecepatan Pengadukan Optimum (rpm)		Waktu Pengadukan Optimum (menit)		Absorban	C_{out} (mg/l)	C_{in} (mg/l)	C_{out} rata-rata (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
			Koagulasi	Flokulasi	Koagulasi	Flokulasi					
30	6	400	100	30	3	12	0,057	1,128	2	1,149	42,55
							0,059	1,170			
60							0,050	0,979		0,936	
							0,046	0,894			
90							0,032	0,596		0,617	
							0,034	0,638			
120							0,014	0,213		0,234	
							0,016	0,255			
150	0,031	0,574	0,532								
	0,027	0,489									



Gambar 15 Perbandingan Konsentrasi Akhir Logam Zn pada Variasi Waktu Pengendapan



Gambar 16 Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Variasi Waktu Pengendapan

Contoh perhitungan pada variasi waktu pengendapan 30 menit:

- Penentuan konsentrasi akhir logam Zn ($C_{out 1}$)

$$y = 0,047(x) + 0,004$$

$$x = \frac{(0,057 - 0,004)}{0,047}$$

$$x = 1,128 \text{ mg/l}$$

- Perhitungan efisiensi penyisihan (%R)

$$\%R = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

$$\%R = \frac{2 \text{ mg/l} - 1,128 \text{ mg/l}}{2 \text{ mg/l}} \times 100\%$$

$$\%R = 43,60\%$$

3. Percobaan Aplikasi

Percobaan aplikasi ini dilakukan dalam volume kerja 500 ml dengan kondisi optimum yang telah diperoleh dari perhitungan sebelumnya. Variasi yang digunakan adalah pH optimum, massa bioflokulan optimum, kecepatan pengadukan koagulasi dan flokulasi optimum, waktu pengadukan koagulasi dan flokulasi optimum serta waktu pengendapan optimum pada suhu ruangan.

Tabel 11 Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penyisihan Logam Zn pada Sampel Air Sungai Batang Idas

Sampel	pH Optimum	Massa Optimum (mg)	Kecepatan Pengadukan Optimum (rpm)		Waktu Pengadukan Optimum (menit)		Waktu Pengendapan Optimum (menit)	Absorban	C _{out} (mg/l)	C _{in} (mg/l)	C _{out} rata-rata (mg/l)	Efisiensi Penyisihan (%)
			Koagulasi	Flokulasi	Koagulasi	Flokulasi						
Air Sungai Batang Idas	6	400	100	30	3	12	120	0,024	0,426	2,085	0,383	81,63
								0,020	0,340			

Contoh perhitungan pada sampel air Sungai Batang Idas:

- Penentuan konsentrasi akhir logam Zn (C_{out 1})

$$y = 0,047(x) + 0,004$$

$$x = \frac{(0,024 - 0,004)}{0,047}$$

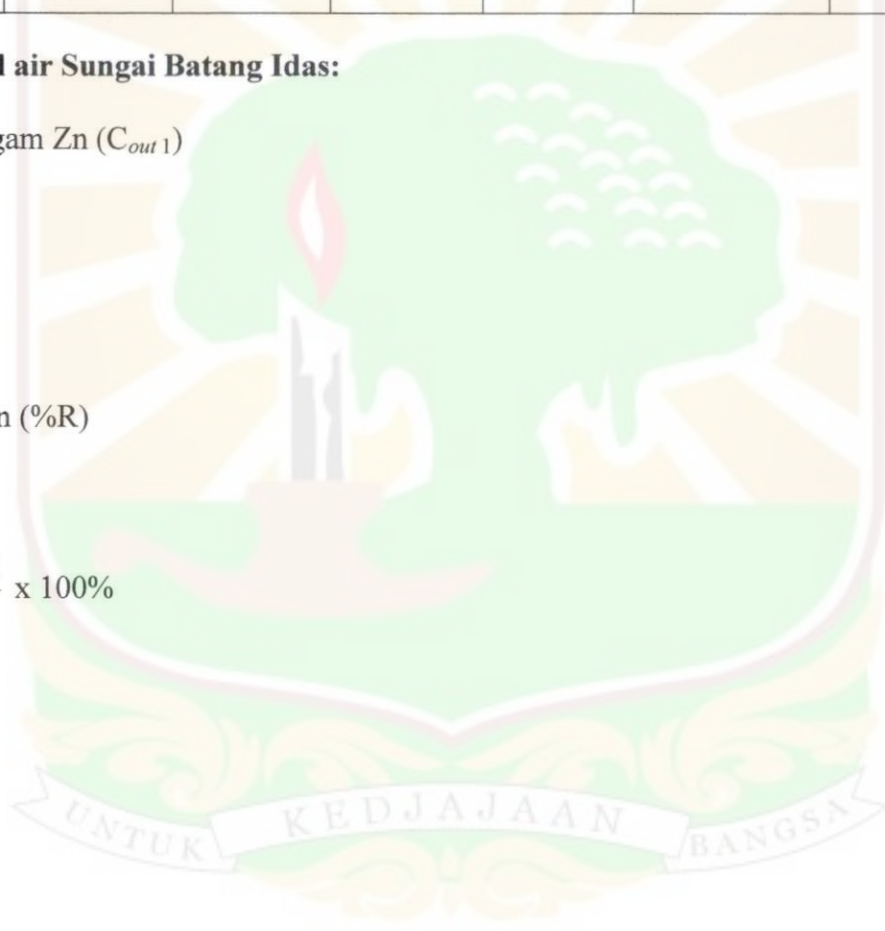
$$x = 0,426 \text{ mg/l}$$

- Perhitungan efisiensi penyisihan (%R)

$$\%R = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

$$\%R = \frac{2,085 \text{ mg/l} - 0,426 \text{ mg/l}}{2,085 \text{ mg/l}} \times 100\%$$

$$\%R = 79,57\%$$



DOKUMENTASI

a. Alat-Alat Praktikum



Foto 1.a pH Meter



Foto 2.a Magnetic Mixer



Foto 3.a Neraca Analitik



Foto 4.a Labu Ukur 2 L



Foto 5.a Jar Test



Foto 6.a Spektrofotometri Serapan Atom (SSA)

b. Lokasi Sampling dan Pengawetan Sampel



Foto 1.b Lokasi Pengambilan Sampel Sungai Batang Idas, Kota Padang



Foto 2.b Pengambilan Sampel Air Sungai Batang Idas



Foto 3.b Pengambilan HNO₃



Foto 4.b Pengawetan Sampel

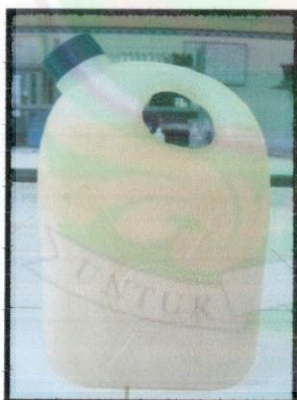


Foto 5.b Sampel Siap diinkubasi

c. Pembuatan Bioflokulan Biji Kelor Tanpa Kulit



Foto 1.c Pohon Kelor



Foto 2.c Buah Kelor Tua/Kering



Foto 4.c Biji Kelor Setelah dikupas

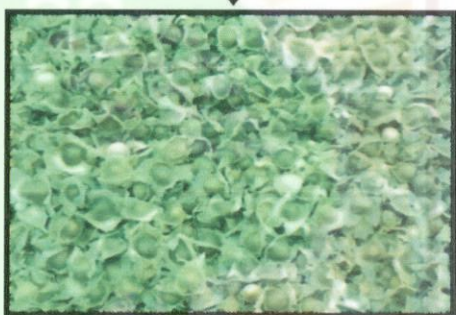


Foto 3.c Biji Kelor



Foto 5.c Bubuk Biji Kelor



Foto 6.c Proses Penjemuran



Foto 9.c Penimbangan

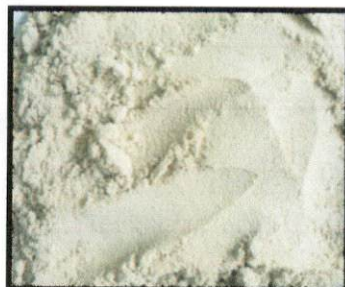


Foto 8.c Bubuk Halus



Foto 7.c Proses Pengayakan

d. Pembuatan Larutan Artifisial



Foto 1.d Larutan Induk



Foto 2.d Pengambilan Larutan Induk



Foto 4.d Pengenceran dengan *Aquadest*

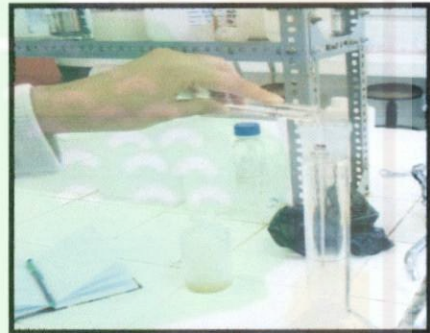


Foto 3.d Pembuatan Larutan Artifisial



Foto 5.d Penyimpanan Larutan Artifisial

e. Percobaan pada Sampel



Foto 1.e Pengaturan pH



Foto 2.e Pemberian Bioflokulan



Foto 4.e Pengadukan dengan Jar Test



Foto 3.e Sampel Setelah dicampur Bioflokulan



Foto 5.e Pengendapan Sampel



Foto 6.e Pemipetan Sampel yang Telah diendapkan

A

A



Foto 7.e Sampel dipipet ke Wadah



Foto 8.e Pemberian HNO_3



Foto 10.e Penyaringan Sampel



Foto 9.e Proses Destruksi



Foto 11.e Sampel Siap dikukur



Foto 12.e Pengukuran dengan SSA