

**EFEKTIFITAS BIJI KELOR (*Moringa oleifera*, LAMK)
SEBAGAI KOAGULAN FOSFAT
DALAM LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT
(Studi Kasus di RSUD Dr. Saiful Anwar Malang)**

SKRIPSI

Oleh:

USWATUN KHASANAH

NIM. 03530023



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MALANG**

2008

**EFEKTIFITAS BIJI KELOR (*Moringa oleifera*, LAMK)
SEBAGAI KOAGULAN FOSFAT
DALAM LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT
(Studi Kasus di RSUD Dr. Saiful Anwar Malang)**

SKRIPSI

Diajukan Kepada:

Universitas Islam Negeri Malang

**Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S. Si)**

Oleh:

**USWATUN KHASANAH
NIM. 03530023**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MALANG**

2008

HALAMAN PERSETUJUAN

**EFEKTIFITAS BIJI KELOR (*Moringa oleifera*, LAMK)
SEBAGAI KOAGULAN FOSFAT
DALAM LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT
(Studi Kasus di RSUD Dr. Saiful Anwar Malang)**

SKRIPSI

Oleh:

**USWATUN KHASANAH
NIM. 03530023**

Telah disetujui oleh:

Pembimbing Utama	Pembimbing Agama
<u>Eny Yulianti, M.Si</u> NIP. 150 368 797	<u>Ahmad Barizi, MA</u> NIP. 150 283 991

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Malang**

**Diana Candra Dewi, M.Si
NIP. 150 327 251**

HALAMAN PENGESAHAN

**EFEKTIFITAS BIJI KELOR (*Moringa oleifera*, LAMK)
SEBAGAI KOAGULAN FOSFAT
DALAM LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT
(Studi Kasus di RSUD Dr. Saiful Anwar Malang)**

SKRIPSI

Oleh:

USWATUN KHASANAH

NIM. 03530023

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Tanggal, 24 Juli 2008

Susunan Dewan Penguji:	Tanda Tangan
1. Penguji Utama : Rini Nafsiati Astuti, M.Pd NIP. 150 327 252	()
2. Ketua Penguji : Elok Kamilah Hayati, M.Si NIP. 150 377 253	()
3. Sekretaris Penguji: Eny Yulianti, M.Si NIP. 150 368 797	()
4. Anggota Penguji : Ahmad Barizi, M.A NIP. 150 283 991	()

**Mengetahui dan Mengesahkan
Ketua Jurusan Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Malang**

**Diana Candra Dewi, M.Si
NIP. 150 327 251**

MOTTO

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا
إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ﴿٥٦﴾

“Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik.”

(Qs. al-A'rāf/ 7:56)

PERSEMBAHAN

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.
(Dan di dalam kesukaran ada kelapangan)
Qs. Alam Nasyrh/94:6

Ku persembahkan karya ini untuk :

**Allah Swt sujud syukurku selalu tercurahkan kepada-Nya
atas nikmat, kasih sayang, kesempatanNya**

**Sang Revolusioner Akbar Rosulullah Muhammad Saw.
Pancaran cahaya suri tauladannya yang selalu terpatri di
hati**

**Kedua orang tuaku, Bapak Moch. Syahid dan Ibu Zuhrotul
Amanah yang senantiasa menjadi sumber energi dan atas
cinta, kasih sayang, perhatian, kesabaran serta
keikhlasannya.**

**Keluarga besarku (Maz Mustofa Cs, Maz Sony Cs, Maz
'Ainul Cs, Mba' Aniz Cs, Maz Faris) atas sumber inspirasi
dan doanya.**

**Seseorang yang 'tlah menjadi pelipur di kala tangis maupun
tawa,
dunia ini terasa lebih berwarna.
Semoga Ridla Illahi selalu tercurahkan.**

**Penghuni setia Wartel A, plus Teman-teman kimia angkatan
2003, terima kasih atas semangat dan dukungannya.
Semoga kesuksesan selalu menyertai.
Aamiin...**

**Aktifis2 sepanjang kota Kepanjen-Malang, jasa K-lian tak
'kan terbalaskan :b**

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji syukur kehadiran Allah Swt yang telah memberikan limpahan taufik, rahmah serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “**Efektifitas Biji Kelor (*Moringa oleifera*, LAMK) Sebagai Koagulan Fosfat Dalam Limbah Cair Rumah Sakit (Studi Kasus di RSUD Dr. Saiful Anwar Malang)**”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains (S.Si).

Shalawat serta salam semoga tetap tercurah limpahkan kepada baginda Rasulullah SAW yang telah menjadi uswatun hasanah dengan membawa pancaran cahaya pengetahuan dan kebenaran, sehingga pada detik ini kita masih mampu mengarungi hidup dan kehidupan yang berlandaskan iman dan islam.

Penulis menyadari bahwa selama berlangsung penelitian, penyusunan sampai tahap penyelesaian skripsi ini yang tak lepas dari bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan tanpa batas kepada semua pihak yang telah memberikan arahan, bimbingan dan petunjuk serta motivasi dalam proses penyusunannya, antara lain:

1. Prof. Dr. H. Imam Suprayogo selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.
2. Prof. Drs. Sutiman Bambang Sumitro, S.U., D.Sc Selaku Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi (UIN) Malang.

3. Diana Candra Dewi, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Sains Dan Teknologi (UIN) Malang.
4. Eny Yulianti, M.Si selaku pembimbing utama yang telah dengan sabar meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Ahmad Barizi, MA, selaku pembimbing agama yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan dalam mengintegrasikan ilmu kimia dengan agama.
6. Anton Prasetyo, M.Si, selaku konsultan penulis yang telah dengan sabar memberikan bimbingan selama penelitian dan penulisan skripsi ini.
7. Rini Nafsiati Astuti, M.Pd dan Elok Kamilah Hayati, M.Si atas saran dan kritiknya yang konstruktif dalam penyelesaian skripsi ini.
8. DR. Pawik Supriadi, Sp Jp, selaku Direktur RSUD Dr. Saiful Anwar Malang yang telah memberikan izin penelitian ini.
9. Drg. Asri Kusuma Djadi, MMR, selaku kepala diklit yang telah bersedia memberikan izin dan bantuannya.
10. Daryono SKM,M.Kes selaku kepala Instalasi Penyehatan Lingkungan
11. Annisah S.KM, Edwin Nasibu, ST, Haryono DS, Masfiyati, ST selaku staf IPL RSUD Dr. Saiful Anwar Malang dan semua staf IPL (Isra', Ronny, Khoir, dan Agus), terima kasih atas kebersamaannya.
12. Tri Kustono Adi, S.Si, Bapak Yanuar Ponco Prananto, S.Si, Ibu Rachmawati Ningsih, M.Si dan Nur Aini, S.Si yang telah membantu dalam referensi jurnal dan waktu luangnya untuk diskusi.

13. Semua Dosen Serta Staf Pegawai Kantor Jurusan Kimia yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan pada Penulis selama mengikuti pendidikan strata 1.
14. Kepala beserta pengelola laboratorium Central Biomedik Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya Malang.
15. Keluarga besar Moch. Syahid yang selalu mendoakan dan memberikan motivasi untuk keberhasilanku.
16. *Moringa oleifera groups* (Zulkarnain, S.Si, Lilik M.K., S.Si, Lailatul M, S.Si) atas kerjasama, diskusi, bantuan dan dukungannya dalam menyelesaikan skripsi ini serta
17. Teman, sahabat dan saudaraku seperjuangan angkatan 2003 kimia, aku yakin musim ini akan cepat berlalu dan kita pasti akan menuai hasil yang terbaik.
18. Semua pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.

Tiada kata yang pantas penulis ucapkan selain dari do'a, semoga apa yang telah diberikan menjadi amal yang diterima di sisi Allah Swt. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan bagi penulis khususnya. Amien ya robbal 'alamin!

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, Juli 2008

Penulis

DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
2.1	Unsur-unsur Yang Terkandung Per 100 Gram Biji Kelor Kering	11
2.2	Unsur-unsur Yang Terkandung Per 100 Gram Biji Kelor Masak.....	12
2.3	Kandungan Biji Kelor	12
2.4	Kadar Limbah Cair Rumah Sakit di Jakarta Berdasarkan Sumber Limbah	38
2.5	Baku Mutu Limbah Cair RSU Dr. Saiful Anwar Malang	39
4.1	Data Pengamatan Koagulasi Sampel Buatan.....	62
4.2	Data Pengamatan Konsentrasi Fosfat Dalam Larutan Kontrol.....	65
4.3	Nilai Bilangan Panjang Gelombang Biji Kelor Berdasarkan Pengujian Dengan Spektrofotometri Inframerah.....	84

DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
2.1	Daun, Polong, dan Bunga Kelor	9
2.2	Struktur Zat Aktif 4-alfa-4-rhamnosyloxy-benzil-isothiocyanate	11
2.3	Struktur Asam Amino Asam Glutamat	14
2.4	Asam Amino Dalam Bentuk Ion Dwi Kutub	16
2.5	Asam Amino Yang Bersifat Amfoter	16
2.6	Mekanisme Koagulasi	21
2.7	Partikel Bermuatan Negatif dan Lapisan Difusi Ganda	28
2.8	Proses Biologis Secara Dekomposisi Aerobik	34
4.1	Konsentrasi Fosfat Pada Outlet IPAL RSUD Dr. Saiful Anwar Malang Periode 2007	51
4.2	Struktur Keggin α -[XM ₁₂ O ₄₀] ⁿ⁻	52
4.3	Spektra Sinar Tampak Senyawa Kompleks Heterofosfomolibdat	52
4.4	Waktu Kestabilan Senyawa Kompleks Heterofosfomolibdat	58
4.5	Perputaran Struktur Keggin	59
4.6	Kurva Sensitivitas dan Limit Deteksi Heterofosfomolibdat	61
4.7	Perubahan Dosis dan Waktu Pengendapan Kelor Terhadap Fosfat Total	68
4.8	Perubahan Dosis dan Waktu Pengendapan Kelor Terhadap Ortofosfat	70
4.9	Tahap-tahap Koagulasi Polielektrolit Biji Kelor	72
4.10	Hubungan Lamanya Penyimpanan Biji Kelor Dengan Efisiensi Kekekruhan	73
4.11	Kurva Perubahan pH Setelah Diinteraksikan Dengan Biji Kelor	75
4.12	Kurva Perubahan Konduktifitas	77
4.13	Pengaruh Variasi pH Terhadap Konsentrasi Fosfat Total	79
4.14	Pengaruh Variasi pH Terhadap Konsentrasi Ortofosfat	80
4.15	Asam Amino Yang Bersifat Amfoter	81

4.16	Spektra Serbuk Biji Kelor Sebelum Diinteraksikan Dengan Fosfat.....	82
4.17	Spektra Serbuk Biji Kelor Setelah Diinteraksikan Dengan Fosfat.....	83
4.18	Skema Kegiatan Rumah Sakit Umum Dr. Saiful Anwar Malang.	87
4.19	Skema Sistem Pengolahan Limbah Cair.....	90



DAFTAR LAMPIRAN

	Lampiran	Halaman
Lampiran 1	Diagram Alir Penelitian.....	106
Lampiran 2	Perhitungan Preparasi Larutan	109
Lampiran 3	Panjang Gelombang Serapan Maksimum Heterofosfomolibdat	112
Lampiran 4	Absorbansi Penentuan Waktu Kestabilan Heterofosfomolibdat	113
Lampiran 5	Data Sensitivitas Dan Limit Deteksi	113
Lampiran 6	Perhitungan Limit Deteksi.....	114
Lampiran 7	Hasil Pengukuran Larutan Kontrol	115
Lampiran 8	Data Penentuan Dosis Dan Waktu Pengendapan.....	116
Lampiran 9	Data Penentuan Dosis Dan Waktu Pengendapan Optimum (Ortofosfat).....	117
Lampiran 10	Data Konduktifitas Rata-Rata Terhadap Dosis Dan Waktu Pengendapan	118
Lampiran 11	Data Perubahan pH Rata-Rata Terhadap Dosis Dan Waktu Pengendapan.....	118
Lampiran 12	Data Optimasi pH Koagulasi (Fosfat Total).....	119
Lampiran 13	Data Optimasi pH Koagulasi (Ortofosfat).....	120
Lampiran 14	Uji Statistik	121
Lampiran 13	Dokumentasi Penelitian.....	122

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	7
1.5 Manfaat Penelitian	7

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kelor (<i>Moringa oleifera</i> , LAMK)	8
2.1.1 Biji Kelor	11
2.1.2 Protein Dalam Biji Kelor	13
2.1.3 Biji Kelor Sebagai Koagulan	17
2.2 Koagulasi dan Flokulasi	19
2.2.1 Destabilisasi Koloid	24
2.2.2 Stabilisasi Koloid	26
2.3 Pencemaran Lingkungan	29
2.3.1 Sifat-sifat Air Limbah	33

2.3.2 Limbah Rumah Sakit	36
2.4 Fosfat	40
2.5 Spektrofotometer	42

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	45
3.2 Rancangan Penelitian	45
3.3 Bahan dan Alat Penelitian.....	45
3.4 Prosedur Penelitian	46
3.4.1 Preparasi Biji Kelor.....	46
3.4.2 Pengambilan dan Pengawetan Sampel	46
3.4.3 Optimasi Analisa Fosfat Menggunakan Spektrofotometer HACH 4000	47
3.4.4 Analisis Fosfat Awal Sampel Dengan Metode Stano Klorida	48
3.4.5 Penentuan Dosis Koagulan Dan Waktu Pengendapan Optimum Koagulasi Fosfat Menggunakan Biji Kelor	49
3.4.6 Penentuan pH Optimum Koagulasi Fosfat Menggunakan Biji Kelor.....	49
3.4.7 Teknik Analisa Data	50

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Keadaan Optimum Spektrofotometer HACH 4000	52
4.1.1 Penentuan Panjang Gelombang Optimum	53
4.1.2 Penentuan Waktu Kestabilan.....	57
4.1.3 Limit Deteksi dan Sensitivitas	59
4.2 Koagulasi Sampel Buatan Menggunakan Koagulan Biji Kelor	62
4.3 Pengendapan Limbah Cair Rumah Sakit Tanpa Biji Kelor.....	64
4.4 Penentuan Keadaan Optimum Koagulasi Menggunakan Biji Kelor	66
4.4.1 Penentuan Dosis dan Waktu Pengendapan Optimum Biji Kelor.....	66

4.4.2 Penentuan pH Optimum Koagulasi Fosfat Menggunakan Biji Kelor.....	79
4.5 Karakteristik Serbuk Biji Kelor Menggunakan FTIR	81
4.6 Aplikasi Biji Kelor Dalam Mengurangi Konsentrasi Fosfat Limbah Cair Rumah Sakit Umum Dr. Saiful Anwar Malang.....	86
4.7 Pemanfaatan Biji Kelor Dalam Pengolahan Air Limbah Menurut Perspektif Islam.....	91
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	97
5.2 Saran	98
DAFTAR PUSTAKA	99
LAMPIRAN	106

ABSTRAK

Khasanah, Uswatun, 2008, **Efektifitas Biji Kelor (*Moringa Oleifera*, LAMK) Sebagai Koagulan Fosfat Dalam Limbah Cair Rumah Sakit (Studi Kasus di RSUD Dr. Saiful Anwar Malang)**, Skripsi, Jurusan Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.

Pembimbing utama : Eny Yulianti, M.Si
Pembimbing agama : Ahmad Barizi, MA

Kata Kunci: Fosfat, koagulan, biji kelor (*Moringa oleifera*, LAMK), limbah cair.

Konsentrasi fosfat dalam limbah cair yang berlebihan akan menyebabkan eutrofikasi dan ketidakseimbangan di perairan sehingga banyak mikroorganisme yang mati. Kerusakan lingkungan ini disebabkan oleh manusia sendiri sebagaimana firman Allah Swt dalam Qs. ar-Rūm 41: “*Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)*”. Alternatif pengolahan limbah cair dapat dilakukan dengan metode koagulasi menggunakan biji kelor.

Penelitian ini dilakukan di laboratorium IPL RSUD Dr. Saiful Anwar Malang pada bulan Oktober 2007- Mei 2008. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dosis optimum dengan variasi dosis 200, 250, 300, 350, 400 ppm dan waktu pengendapan optimum biji kelor dalam mengurangi konsentrasi fosfat limbah cair rumah sakit pada variasi waktu 0, 15, 30, 60, 90, dan 120 menit dan mengetahui pH optimum pada variasi pH 2, 3, 4, 5 dan 6 untuk mengurangi konsentrasi fosfat menggunakan biji kelor. Efektifitas koagulan biji kelor diukur dalam satuan ppm dan persen.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kelor 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. Efektifitas 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. Penurunan konsentrasi fosfat dalam limbah cair ini disebabkan adanya gaya tarik menarik antara gugus $-NH_3^+$ biji kelor dengan $H_2PO_4^-$ dalam limbah cair, hal ini dikarenakan adanya kandungan protein di dalam biji kelor yang didukung oleh data sekunder FTIR. Pemanfaatan biji kelor (*habbân mutarōkibbân*) sebagai koagulan fosfat membuktikan kebesaran Allah Swt, tiada penciptaan-Nya yang sia-sia walaupun itu sekecil biji kelor.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan merupakan salah satu usaha manusia untuk memenuhi kebutuhannya. Pembangunan dapat membawa dampak positif bagi masyarakat, tetapi pembangunan juga dapat membawa resiko terjadinya pencemaran dan kerusakan lingkungan, sehingga struktur dan fungsi dasar ekosistem sebagai penunjang kehidupan dapat mengalami kerusakan (Zamroni, 2005).

Yuniato (2005: 1) menjelaskan bahwa pembangunan juga harus berwawasan lingkungan yang disertai pengolahan limbah yang terpadu sehingga kerusakan struktur dan fungsi dasar ekosistem yang berakibat penurunan kualitas keseimbangan lingkungan dapat dihindari.

Rumah sakit merupakan salah satu wujud pembangunan sarana di bidang kesehatan yang keberadaannya dapat menimbulkan dampak positif dan negatif. Dampak positif dari pembangunan rumah sakit adalah meningkatnya derajat kesejahteraan dan kesehatan masyarakat, sedangkan dampak negatifnya adalah sampah dan limbah medis maupun nonmedis yang dapat menimbulkan penyakit dan pencemaran yang perlu perhatian khusus (Wisaksono, 2001).

Limbah cair rumah sakit banyak mengandung senyawa organik (Cristiningrum, 2008: 12). Senyawa organik tersebut dapat berupa protein, karbohidrat dan lemak. Senyawa organik membutuhkan oksigen yang lebih banyak dalam degradasi (dekomposisi) sehingga terjadi penurunan oksigen dalam

biota perairan dan mengakibatkan peristiwa ikan munggut (ikan mati secara masal akibat kekurangan oksigen) (Fahrizal, 2004: 1).

Dampak limbah cair yang mengandung senyawa organik ini umumnya disebabkan oleh detergen. Detergen sangat berbahaya bagi lingkungan karena dari beberapa kajian menyebutkan bahwa detergen memiliki kemampuan untuk melarutkan bahan bersifat karsinogen, misalnya Benzopyrene, selain gangguan terhadap masalah kesehatan, kandungan detergen dalam air minum akan menimbulkan bau dan rasa tidak enak. Detergen sering menggunakan senyawa fosfat untuk bahan pengisi yang berfungsi mencegah menempelnya kembali kotoran (Fahrizal, 2008: 1)

Fosfat merupakan salah satu polutan pencemaran air. Fosfat tergolong senyawa mikronutrien berupa senyawa fosfor. Fosfat dalam konsentrasi melebihi baku mutu akan mengganggu keseimbangan kehidupan di perairan, racun terhadap mikroorganisme dan bersifat korosif (Fachrul, dkk., 2006). Konsentrasi fosfat yang berlebihan di dalam badan air akan menyebabkan pertumbuhan tanaman air yang tidak terkendali (eutrofikasi).

Ledakan pertumbuhan ini menyebabkan berkurangnya oksigen yang seharusnya digunakan bersama oleh seluruh tumbuhan dan hewan air. Dekomposisi dari tanaman yang telah mati dapat menyerap lebih banyak oksigen, sehingga berakibat penurunan aktivitas bakteri atau kerusakan ekosistem perairan karena banyaknya tumbuhan atau hewan yang mati (Dewi, dkk., 2003 dan Masduqi, 2004). Konsentrasi fosfat yang melebihi ambang batas yaitu 2 ppm dalam perairan dapat mengakibatkan gangguan tulang pada kesehatan manusia di

lingkungan sekitarnya (Djabu,et al.,1991 dalam Soeparman dan Soeparmin, 2001: 9).

Yuniato (2005) menyatakan bahwa kadar fosfat limbah cair rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang melebihi batas ambang menurut standar limbah cair rumah sakit Jawa Timur. Kadar fosfat (PO_4^{3-}) pada outlet limbah cair rumah sakit mencapai 6,85 ppm sedangkan batas ambang yang ditetapkan pemerintah KEPMEN. LH. No.Kep-58/MENLH/12/1995 sebesar 2 ppm.

Konsentrasi fosfat yang melebihi ambang batas dapat mengganggu keseimbangan kehidupan biota di perairan pembuangan terakhir (sungai Brantas). Pencemaran air akan berlanjut ke lingkungan sekitarnya sehingga pencemaran ini akan selalu berkesinambungan dan berakhir pada kerusakan. Allah Swt berfirman dalam Qs. ar-Rûm 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا
لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

"Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)" (Qs. ar-Rûm/30:41).

Ayat di atas menjelaskan bahwa semesta alam ini telah diciptakan Allah Swt dalam satu sistem dan sesuai dengan kebutuhan hidup manusia, tetapi telah terjadi ketidakseimbangan lingkungan (*al-fasād*) dalam sistem kerja semesta alam yang disebabkan oleh perbuatan manusia sendiri (*kasabat aidî an-nās*). Ketidakseimbangan di darat dan laut (*al-fasād fî al-barri wa al-bahr*) akan

mengakibatkan bencana bagi kehidupan manusia (Shihab, 2002: 77-78). Allah Swt berfirman dalam Qs. ash-Qashash 77 yang menjelaskan bahwa Allah Swt tidak menyukai manusia-manusia yang berbuat kerusakan lingkungan (*al-mufsidîn*) karena akan berdampak terhadap keseimbangan alam.

وَلَا تَبْغِ الْفَسَادَ فِي الْأَرْضِ إِنَّ اللَّهَ لَا يُحِبُّ الْمُفْسِدِينَ

”Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di (muka) bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan” (Qs. ash-Qashash/28: 77).

Pengolahan limbah rumah sakit adalah bagian dari penyehatan lingkungan di rumah sakit yang bertujuan melindungi masyarakat dari bahaya pencemaran lingkungan yang bersumber dari limbah rumah sakit (Anonimous, 2006). Pengolahan limbah cair yang mengandung fosfat dapat dilakukan secara kimia yaitu menggunakan metode koagulasi dengan penambahan bahan koagulan, seperti aluminium (tawas) dan garam-garam besi seperti FeCl_2 . Pengolahan limbah cair menggunakan koagulasi ini sangat efektif dalam pengurangan fosfat (Yunianto, 2005).

Pengolahan air limbah dengan pengendapan telah dilakukan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yaitu dengan pengendapan kimia ferosulfat dengan persentase pengurangan BOD 94%, COD 92%, zat padat tersuspensi 94% dan warna 95% (Anonimous^a, 2007). Pengolahan air limbah menggunakan koagulan kimia seperti tawas dapat menyebabkan korosif karena penambahan tawas menyebabkan perubahan pH larutan menjadi asam dan penyakit *Alzheimer*.

Salah satu alternatif pemecahan pengolahan air limbah adalah mengolah air limbah menggunakan biji kelor sebagai koagulan alami. Hasil penelitian Hidayat (2003) tentang efektifitas bioflokulan biji kelor dalam proses pengolahan limbah cair industri pulp dan kertas menggunakan parameter yang diamati yaitu waktu pengendapan, nilai warna, nilai kekeruhan, *Total Suspended Solid* (TSS), *Chemical Oxygen Demand* (BOD), dan *Biological Oxygen Demand* (COD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa bioflokulan biji kelor pada konsentrasi 1500 ppm mampu mengendapkan flok limbah cair industri pulp dan kertas dalam waktu 8 menit 20 detik, efektifitas nilai warna 69,79 %, nilai kekeruhan 91,47 %, TSS 18,45 %, COD 75 %, dan BOD 81,49 % (Hidayat, 2003 dalam Savitri, dkk., 2006).

Biji kelor (*habbān*) yang kurang dimanfaatkan oleh masyarakat ternyata memiliki kandungan senyawa protein, alkali, karbohidrat dan vitamin. Biji kelor juga dapat digunakan sebagai penjernih air sekaligus koagulan dalam pengolahan limbah cair, hal ini sebagai bukti bahwa Allah Swt menciptakan beraneka ragam makhluk dengan manfaat tertentu, sebagaimana firman Allah swt:

وَأَيُّهُمُ الْأَرْضُ الْمَيِّتَةُ أَحْيَيْنَاهَا وَأَخْرَجْنَا مِنْهَا حَبًّا فَمِنْهُ يَأْكُلُونَ ﴿٣٦﴾

“Dan suatu tanda (kekuasaan Allah yang besar) bagi mereka adalah bumi yang mati. kami hidupkan bumi itu dan kami keluarkan dari padanya biji-bijian, Maka daripadanya mereka makan.” (Qs. Yāsīn/36: 33)

Biji kelor dapat digunakan sebagai koagulan alami karena memiliki zat aktif 4-alfa-4-rhamnosyloxy-benzil-isothiocyanate yang cenderung bermuatan

positif, sehingga mampu mendestabilisasikan koloid yang bermuatan negatif (Ritwan, 2004), seperti PO_4^{3-} .

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang tersebut permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapakah dosis optimum biji kelor untuk mengurangi kadar fosfat limbah cair di RSUD Dr. Saiful Anwar Malang?
2. Berapakah waktu pengendapan optimum biji kelor untuk mengurangi kadar fosfat limbah cair di RSUD Dr. Saiful Anwar Malang?
3. Berapakah pH optimum koagulasi pada sampel untuk mengurangi kadar fosfat limbah cair di RSUD Dr. Saiful Anwar Malang menggunakan koagulan biji kelor?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui dosis optimum biji kelor untuk mengurangi kadar fosfat limbah cair RSUD Dr. Saiful Anwar Malang.
2. Mengetahui waktu pengendapan optimum biji kelor untuk mengurangi kadar fosfat limbah cair RSUD Dr. Saiful Anwar Malang.
3. Mengetahui pH optimum koagulasi untuk mengurangi kadar fosfat limbah cair RSUD Dr. Saiful Anwar Malang menggunakan biji kelor.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair RSUD Saiful Anwar Malang di bak inlet.
2. Kondisi yang diamati adalah waktu pengendapan dan dosis optimum biji kelor, serta pH optimum koagulasi pada sampel dalam mengurangi kadar fosfat limbah cair RSUD Saiful Anwar Malang.
3. Analisis kuantitatif kadar fosfat menggunakan metode spektrofotometri stano klorida.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi kepada pihak RSUD Saiful Anwar Malang tentang efektifitas serbuk biji kelor dalam mengurangi konsentrasi fosfat limbah cair.
2. Memberikan informasi kepada masyarakat tentang pemanfaatan serbuk biji kelor sebagai koagulan, sehingga dapat menaikkan nilai ekonomis biji kelor.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kelor (*Moringa oleifera*, LAMK)

Klasifikasi tumbuhan kelor yang disusun berdasarkan takson-taksonnya, sebagai berikut (Anonymous^f, 2007):

Kingdom : Plantae
Divisi : Magnoliophyta
Kelas : Magnoliopsida
Bangsa : Brassicales
Suku : Moringaceae
Marga : Moringa
Jenis : *Moringa oleifera*, LAMK

Tanaman ini berbunga sepanjang tahun, berwarna putih, buahnya berbentuk segitiga dengan panjang sekitar 30 cm, tumbuh subur mulai dari dataran rendah sampai ketinggian 700 m di atas permukaan laut (Unus, 2007). Daun kelor berbentuk sirip majemuk ganda dan beranak daun membundar kecil-kecil. Bunganya berwarna putih kekuningan dan tudung pelepah bunganya berwarna hijau. Bunga kelor keluar sepanjang tahun dengan aroma bau semerbak (Savitri, dkk., 2006).

Bentuk dari daun, polong dan bunga kelor dapat dilihat pada Gambar 2.1:



Gambar 2.1 Daun, Polong, Dan Bunga Kelor (*Moringa oleifera*, LAMK)
(Anonymous^e, 2007)

Perkembangbiakannya dengan cara stek, buah kelor berbentuk segitiga memanjang yang disebut *klentang* (Jawa). Getah kelor yang telah berubah warna menjadi coklat disebut *blendok* (Jawa) (Anonymous^f, 2007). Tanaman kelor merupakan perdu dengan tinggi 7-11 meter, pohon kelor tidak terlalu besar, batang kayunya getas (mudah patah), mempunyai akar yang kuat dan bertangkai-tangkai, sebagaimana dalam firman Allah Swt dalam Qs. an-An'âm/6: 99 yang menyebutkan bahwa Allah Swt menciptakan berbagai macam tumbuhan yang mengeluarkan biji-bijian (*habbān mutarōkibbān*) untuk diambil manfaatnya.

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرَجُ مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِن طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِّنْ

أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالزَّمَانَ مِثْلَهَا وَغَيْرَ مُتَشَبِهٍ ۚ أَنْظِرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ
وَيَنْعِهِ ۚ إِنَّ فِي ذَٰلِكُمْ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴿٩٩﴾

“Dan Dialah yang menurunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan Maka Kami keluarkan dari tumbuh-tumbuhan itu tanaman yang menghijau. Kami keluarkan dari tanaman yang menghijau itu butir yang banyak; dan dari mayang korma mengurai tangkai-tangkai yang menjulai, dan kebun-kebun anggur, dan (Kami keluarkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. Perhatikanlah buahnya di waktu pohonnya berbuah dan (perhatikan pulalah) kematangannya. Sesungguhnya pada yang demikian itu ada tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi orang-orang yang beriman.” (Qs. an-An’âm/6: 99).

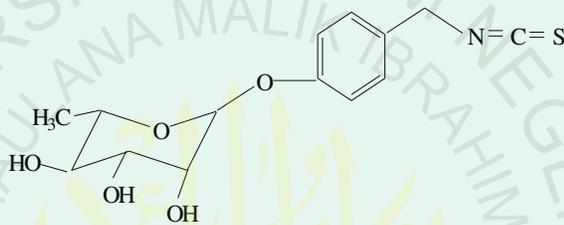
Allah Swt menciptakan berbagai tanaman dengan membawa manfaat dari yang paling panjang usianya sampai paling banyak manfaatnya. Penciptaan tanaman kelor pun memberikan manfaat baik dari sisi ekonomi, kesehatan maupun bagi ilmu pengetahuan, begitu juga dengan tumbuhan kelor.

Daun dan akarnya banyak mengandung senyawa alkali, protein, vitamin, asam amino, dan karbohidrat yang dapat dijadikan sebagai obat tradisional. Biji kelor juga dapat digunakan sebagai penjernih atau koagulan air limbah, dan penyembuh asam urat, sehingga biji kelor dapat bernilai ekonomi tinggi (Wardhana, 2005).

Daun kelor berdasarkan berat keringnya mengandung protein sekitar 27 %, vitamin A, vitamin C, kalsium (Ca), dan besi (Fe) (Savitri, dkk., 2006). Akar kelor dapat digunakan sebagai obat penyakit dalam, misalnya obat reumatik, epilepsi, yaitu dengan cara mengambil air rebusan akarnya (Unus, 2007).

2.1.1 Biji Kelor

Biji kelor juga berperan sebagai koagulan yang efektif karena adanya zat aktif 4-alfa-4-rhamnosyloxy-benzil-isothiocyanate yang terkandung dalam biji kelor. Zat aktif itu mampu mengadsorbsi partikel-partikel air limbah (Ritwan, 2004). Gambar struktur dari kandungan aktif 4-alfa-4-rhamnosyloxy-benzil-isothiocyanate dalam biji kelor adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Struktur Zat Aktif 4-alfa-4-rhamnosyloxy-benzil-isothiocyanate (Sumber: Fahey, 2005)

Unsur-unsur yang terkandung dalam biji kelor kering dapat diketahui sebagaimana Tabel 2.1 yang disajikan di bawah ini.

Tabel 2.1 Unsur-Unsur Yang Terkandung Per 100 Gram Biji Kelor Kering

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: <http://newcorp.hort.edu> dalam Prayogo, 2006.

Unsur-unsur yang terkandung dalam biji kelor masak dapat diketahui sebagaimana Tabel 2.2 yang disajikan di bawah ini.

Tabel 2.2 Unsur-Unsur Yang Terkandung per 100 Gram Biji Kelor Masak

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	miligram
Protein	110	miligram
Fe	5,3	miligram
Vitamin A	184	UI
Niacin	0,2	miligram
Asam Askorbat	120	miligram
Cu	310	μ gram
I	1,8	μ gram

Sumber: <http://newcorp.hort.edu> dalam Prayogo, 2006.

Tabel 2.3 Kandungan Biji Kelor

Komponen	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

Lanjutan Tabel 2.3

Komponen	Jumlah (%)
Natrium	0,34
Mangan	0,008
Tembaga	0,0005

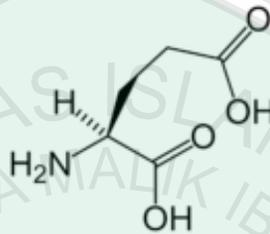
Sumber : Muharto 2004 dalam Prayogo, 2006.

2.1.2 Protein Dalam Biji Kelor

Biji kelor merupakan bagian dari tanaman kelor yang memiliki protein dengan konsentrasi yang tinggi. Protein biji kelor penting untuk diketahui dalam proses penjernihan air, protein inilah yang berperan sebagai koagulan partikel-partikel penyebab kekeruhan. Protein tersebut adalah polielektrolit kationik. Polielektrolit membantu koagulasi dengan menetralkan muatan-muatan partikel koloid, tetapi polielektrolit bermuatan sama sebagaimana koloid dapat juga digunakan sebagai koagulan dengan menjembatani antar partikel (Stevens, 2001: 576). Kenyataan ini diperkuat oleh LaMer dan Healy (1963) dalam Hidayat (2006) yang menyatakan bahwa biji kelor sebagai polielektrolit dapat dijadikan sebagai bahan penjernih air dengan cara adsorpsi dan membuat jembatan antar partikel dan Ndabigengesere (1995: 708) menyatakan bahwa mekanisme koagulasi biji kelor didominasi oleh proses adsorpsi dan penetralan muatan.

Jahn (1986) dalam Hidayat (2006) dan Ndabigengesere (1995: 708) menyatakan bahwa konsentrasi protein yang tinggi di dalam biji kelor merupakan flokulan polielektrolit kationik alami berbasis polipeptida dengan berat molekul berkisar antara 6.000-16.000 dalton. Muyubi dan Evison (1995) dalam Hidayat (2006: 133) menyatakan bahwa konsentrasi protein dari biji kelor (biji dalam

kotiledon) sebesar 147.280 ppm/gram, dari kulit biji kelor sebesar 15.680 ppm/gram, dan dari kulit biji kelor sebesar 73.547 ppm/gram. Protein tersebut mengandung tiga asam amino yang sebagian besar merupakan asam glutamat, metionin, dan arginin.



Gambar 2.3 Struktur Asam Amino Asam Glutamat

Rantai cabang asam amino glutamat bermuatan negatif pada gugus karboksilnya, sedangkan arginin bermuatan positif pada gugus guanidino. Asam metionin mempunyai rantai cabang atom belerang yang berperan dalam pembentukan ikatan disulfida molekul protein (Winarno, 2002: 55-56).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2006) diketahui konsentrasi protein dari masing-masing bagian biji kelor dan bagian biji dalam menunjukkan nilai 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 koagulan 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 sebagai bahan koagulan tanpa dikupas kulit bijinya. Ndabigengesere (1995) dalam Hidayat

(2006) menyatakan bahwa biji kelor bagian dalam beserta kulit biji kelor dan biji bagian dalam saja sama-sama memiliki aktivisasi koagulasi.

Wirahadikusumah (1997) menyatakan bahwa berdasarkan gugus alkil (R-) yang dimiliki asam amino dapat dibagi menjadi empat golongan, antara lain:

1. Asam amino dengan gugus alkil non polar

Golongan ini terdiri dari lima asam amino dengan alkil alifatik (alanin, leusin, 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.

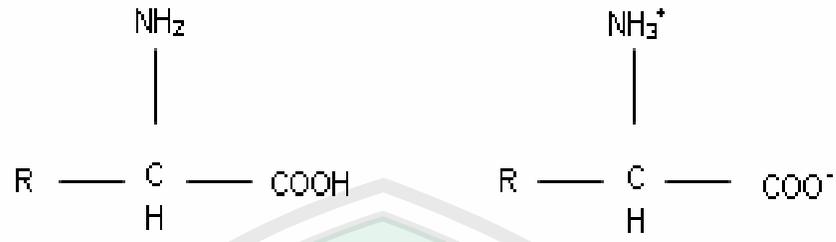
3. Asam amino dengan gugus alkil bermuatan negatif (asam amino asam)

Golongan ini bermuatan negatif pada pH 6,0-7,0 yang terdiri dari asam aspartat dan asam glutamat yang masing-masing memiliki gugus karboksil.

4. Asam amino dengan gugus alkil bermuatan positif (asam amino basa)

Golongan ini bermuatan positif pada pH 7,0 yang terdiri dari lisin, arginin, dan histidin.

Asam amino jika dilarutkan ke dalam air maka gugus fungsionalnya akan mengalami ionisasi atau disosiasi. Asam amino selalu ada dalam bentuk ion dan berdwikutub jika berada di dalam larutan air netral (*zwitter ion*) (Wirahadikusumah, 1997):



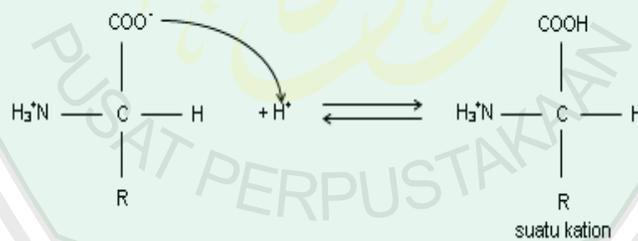
bentuk tak berdisosiasi

bentuk ion dwikutub zwitterion

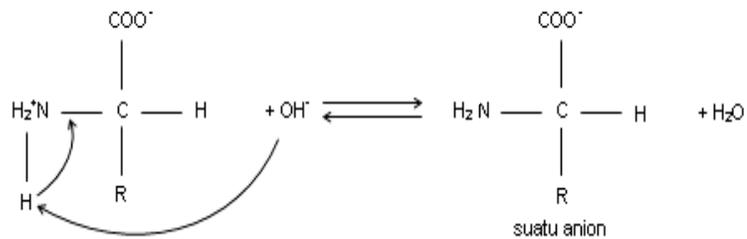
Gambar 2.4 Asam Amino Dalam Bentuk Ion Dwi Kutub

Molekul asam amino mengandung ion karboksilat ($-\text{COO}^-$) maupun suatu ion ammonium ($-\text{NH}_3^+$), karena asam amino bersifat amfoter yang berarti asam amino dapat bereaksi dengan asam maupun basa, yang akan menghasilkan suatu kation atau anion (Fessenden and Fessenden, 1999):

dalam asam



dalam basa



Gambar 2.5 Asam Amino Yang Bersifat Amfoter

2.1.3 Biji Kelor Sebagai Koagulan

Pusat-pusat pengolahan air perkotaan atau *municipal water treatment* dengan skala besar melakukan pengolahan air dengan cara menambahkan senyawa kimia penggumpal (*coagulants*) ke dalam air kotor yang akan diolah. Penambahan koagulan di dalam proses pengolahan mengakibatkan partikel-partikel yang berada di dalam air akan saling berdempetan menjadi suatu gumpalan yang lebih besar lalu mengendap, kemudian air di bagian atas yang bersih dipisahkan untuk memenuhi keperluan keluarga sehari-hari (Savitri dkk., 2006).

Hasil penelitian Hidayat (2003) mengenai efektifitas bioflokulan biji kelor dalam proses pengolahan limbah cair industri pulp dan kertas. Parameter yang diamati adalah waktu pengendapan, nilai warna, nilai kekeruhan, *Total Suspended Solid* (TSS), *Chemical Oxygen Demand* (BOD), dan *Biological Oxygen Demand* (COD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa bioflokulan biji kelor pada konsentrasi 1500 ppm mampu mengendapkan flok limbah cair industri pulp dan kertas dalam waktu 8 menit 20 detik, efektifitas nilai warna 69,79 %, nilai kekeruhan 91,47 %, TSS 18,45 %, COD 75 %, dan BOD 81,49 %. Untuk PAC (*Poly Aluminum Chlorida*), bioflokulan biji kelor memberikan hasil yang lebih baik untuk parameter waktu pengendapan, namun untuk parameter nilai kekeruhan dan COD tidak berbeda nyata, sedangkan untuk parameter nilai warna, dan BOD ternyata PAC memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan bioflokulan biji kelor, hal ini berarti bahwa biji kelor dapat bermanfaat sebagai

bioflokulan dalam proses pengolahan limbah cair industri pulp dan kertas (Savitri dkk., 2006).

Biji kelor sebagai penjernih air telah diteliti dengan memanfaatkan biji kelor yang berperan sebagai pengendap (koagulan) dengan hasil yang memuaskan. Hasil penelitian Chandra (2004), biji kelor bisa dimanfaatkan sebagai bahan koagulan (bioflokulan) dalam mengolah limbah cair pabrik tekstil. Penelitian ini menghasilkan degradasi warna sampai 98 %, penurunan BOD 62 % dan dapat menurunkan kandungan lumpur limbah menjadi 70 ml per liter. Proses penjernihan air dengan biji kelor dapat berlangsung melalui proses fisik (pengadukan dan penyaringan) dan biologis (penggumpalan atau pengendapan) bahkan proses penyerapan (Savitri dkk., 2006).

Biji kelor sebagai koagulan tidak beracun, dapat diuraikan secara biologis, dan ramah lingkungan. Penggunaan biji kelor pada pengolahan air lindi TPA Benowo dengan dosis 150 mg/L dapat dicapai penyisihan 90 % kekeruhan, TSS 83 %, TDS 40 %, COD 19 %, BOD 61,5 % (Dwiryanti, 2005).

Al-Qur'an banyak menyebutkan tentang pemanfaatan tumbuhan-tumbuhan oleh manusia. Pemanfaatan tumbuh-tumbuhan yang tidak berlebihan (*wa lā tusrifū*) dan disertai zakat maupun sedekah (*wa ātū ḥaqqoh*) karena Allah Swt tidak menyukai manusia yang berlebihan (*innahu lā yuḥibbu al-musrifīn*), sebagaimana firman Allah Swt dalam al-Qur'an yang berbunyi:

* وَهُوَ الَّذِي أَنْشَأَ جَنَّاتٍ مَّعْرُوشَاتٍ وَغَيْرِ مَّعْرُوشَاتٍ وَالنَّخْلَ وَالزَّرْعَ مُخْتَلِفًا
 أَكْلُهُمْ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُتَشَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَبِهٍ ۚ كُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ إِذَا
 أَثْمَرَ وَآتُوا حَقَّهُ يَوْمَ حَصَادِهِ ۗ وَلَا تُسْرِفُوا ۚ إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ ﴿١٤١﴾

”Dan Dialah yang menjadikan kebun-kebon yang berjunjung dan yang tidak berjunjung, pohon korma, tanam-tanaman yang bermacam-macam buahnya, zaitun dan delima yang serupa (bentuk dan warnanya) dan tidak sama (rasanya). Makanlah dari buahnya (yang bermacam-macam itu) bila Dia berbuah, dan tunaikanlah haknya di hari memetik hasilnya (dengan disedekahkan kepada fakir miskin); dan janganlah kamu berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang yang berlebih-lebihan.” (Qs. an-An’am/6: 141).

2.2 Koagulasi dan Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi merupakan istilah yang berasal dari bahasa latin *coagulare* yang berarti bergerak bersama-sama dan *flokulare* yang berarti membentuk flok yang digunakan untuk menjelaskan agregat partikel-partikel koloid (Metcalf, 1994).

Koagulasi adalah destabilisasi partikel yang dihasilkan melalui kompromi lapisan ganda bermuatan listrik yang mengelilingi permukaan partikel. Flokulasi merupakan destabilisasi partikel melalui adsorpsi organik yang diikuti dengan pembentukan partikel-polimer-partikel. Proses koagulasi dan flokulasi dapat dijelaskan secara umum yaitu serangkaian proses yang meliputi destabilisasi muatan partikel karena adanya penambahan koagulan. Penyebaran pusat-pusat aktif partikel yang tidak stabil akan saling mengikat partikel-partikel pada air keruh (pembentukan inti endapan) kemudian proses pengendapan flok-flok

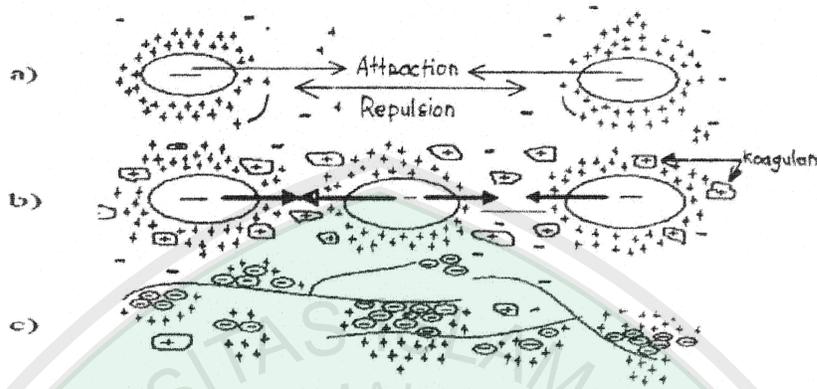
(penggabungan inti endapan) dan yang terakhir terjadi proses pengendapan flok pada bak pengendapan (Metcalf, 1994).

Koagulasi juga efektif untuk mengubah warna, mikro molekul organik dan partikel di dalam air. Proses koagulasi memiliki dua langkah yang penting yaitu (Notodarmojo,dkk., 2004):

1. Partikel dalam air sampel yang diolah secara kimiawi untuk membuat keadaan yang tidak stabil. Hal ini termasuk juga dalam penambahan satu atau lebih bahan kimia dalam bak *rapid mixing*
2. Destabilisasi partikel yang nantinya akan menyebabkan adanya kontak dari masing-masing partikel sehingga terjadi pembentukan agregat dan ini terjadi di bak flokulasi dengan pengadukan lambat.

Proses koagulasi pada pengolahan air meliputi tiga tahap, antara lain: penambahan dan pencampuran bahan koagulan, pemisahan antara partikel koloid atau disebut destabilisasi, dan benturan antar partikel yang sudah mengalami destabilisasi akibat gerakan molekul atau pengadukan.

Gambar dari mekanisme koagulasi dapat dilihat pada Gambar 2.6:



Gambar 2.6 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, 2000).

Proses koagulasi dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, antara lain (Hammer, 2007):

1. Dosis koagulan

Kebutuhan koagulan atau dosis koagulan pada proses koagulasi air keruh tergantung pada jenis air keruhnya. Air dengan tingkat kekeruhan tinggi membutuhkan dosis koagulan yang tepat sehingga proses pengendapan partikel koloid pada air keruh berlangsung dengan baik. Dosis koagulan yang tepat mampu mengendapkan dan mampu mengurangi partikel koloid penyebab kekeruhan dalam air secara maksimal. Penentuan dosis koagulan dengan metode *Jar Test* dapat digunakan untuk membantu menentukan dosis dari suatu bahan kimia (koagulan) tertentu yang dibutuhkan pada proses koagulasi.

2. Kecepatan pengadukan

Pengadukan pada proses koagulasi dibutuhkan untuk reaksi penggabungan antara koagulan dengan bahan organik dalam air, melarutkan koagulan dalam air, dan menggabungkan inti-inti endapan menjadi molekul besar. Kecepatan pengadukan yang tepat sangatlah penting di dalam proses koagulasi. Kecepatan putaran pengadukan yang kurang akan menyebabkan koagulan untuk dapat terdispersi dengan baik sebaliknya apabila kecepatan pengadukan terlalu tinggi akan menyebabkan flok-flok yang sudah terbentuk akan terpecah kembali sehingga terjadi pengendapan tidak sempurna.

3. Derajat keasaman

Derajat keasaman (*power of hydrogen* atau pH) adalah suatu besaran yang menyatakan sifat asam basa dari suatu larutan. Derajat keasaman (pH) mempengaruhi koagulasi air keruh. Derajat keasaman air keruh berkaitan dengan pemilihan jenis koagulan yang akan digunakan dalam koagulasi. Pemilihan jenis koagulan yang tepat dalam kondisi pH air keruh akan membantu koagulasi.

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). Waktu pengendapan adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengendapkan flok-flok yang terbentuk pada koagulasi.

5. Pengaruh kekeruhan

Kekeruhan teramati sebagai sifat larutan yang mengandung zat yang tersuspensi di dalamnya. Semakin tinggi intensitas cahaya yang dihamburkan semakin tinggi kekeruhan dan begitu sebaliknya. Hal-hal yang perlu diperhatikan mengenai kekeruhan dalam proses koagulasi flokulasi adalah sebagai berikut:

- a. Kebutuhan koagulan tergantung pada kekeruhan tetapi penambahan koagulan tidak selalu berkorelasi linear terhadap kekeruhan.
- b. Ukuran partikel yang tidak seragam jauh lebih mudah untuk dikoagulasi. Hal ini karena pusat aktif lebih mudah terbentuk pada partikel yang kecil, sedangkan partikel yang besar mempercepat terjadinya pengendapan. Kombinasi dari dua partikel ini menyebabkan semakin mudahnya proses koagulasi.

6. Pengaruh jenis koagulan

Pemilihan koagulan disesuaikan dengan jenis koloid yang terkandung di dalam air. Jenis koagulan biasanya memiliki tanda ion yang berlawanan dengan muatan ion yang terdapat pada air tersebut. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi daya tolak menolak antara sesama koloid sehingga terbentuk flok.

7. Pengaruh temperatur

Temperatur erat hubungannya dengan viskositas air semakin tinggi suhu air maka 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. Di

samping itu, peningkatan suhu menyebabkan peningkatan dosis koagulan seperti alum pada pH netral. Spesies muatan positif Al menurun dengan peningkatan temperatur.

8. Pengaruh garam-garam di air

Garam mineral sangat dipengaruhi oleh senyawa pembentuk konsentrasinya yang terdapat di dalam air terlarut. Pengaruh yang disebabkan oleh garam mineral dalam air adalah kemampuan untuk menggantikan ion hidroksinya pada senyawa kompleks hidroksi. Selain itu, garam mineral juga berpengaruh dalam menentukan pH dan dosis koagulan.

9. Komposisi kimia larutan

Air akan mengandung bermacam-macam koloid dan elektrolit pada keadaan air yang alami. Larutan elektrolit merupakan sistem yang kompleks dengan kandungan yang tidak mudah untuk diinterpretasikan. Kompleks merupakan masalah koloid dan fenomena koagulasi menunjukkan bahwa setiap teori atau penelitian empiris dapat dengan mudah terjadi kesalahan atau pengecualian tertentu.

2.2.1 Destabilisasi Koloid

Pendestabilan partikel dilakukan dalam dua tahap yaitu mengurangi muatan elektrostatis sehingga menurunkan nilai potensial zeta dari koloid dan memberikan kesempatan kepada partikel untuk bertumbukan atau bergabung, cara ini dilakukan dengan pengadukan (Notodarmojo, dkk., 2004).

Mekanisme destabilisasi koloid menurut Amirtharajah dan O'Melia (1990: 280-284), Raju (1995: 139-140) dibagi menjadi 4 tipe yaitu: kompresi (penekanan) lapisan ganda, adsorpsi dan netralisasi muatan, penjaringan dalam suatu presipitasi, adsorpsi dan jaringan antar partikel.

a. Kompresi (penekanan) lapisan ganda. Interaksi koagulan terhadap satu partikel koloid murni bersifat elektrostatik. Ion koagulan yang memiliki muatan elektrik yang sama dengan koloid akan ditolak, sedangkan yang memiliki muatan elektrik yang berbeda akan ditarik. Apabila koagulan dengan konsentrasi tinggi ditambahkan ke dalam dispersi koloid, maka konsentrasi ion berbeda muatan akan meningkat sehingga ketebalan lapisan ganda akan berkurang. penipisan lapisan ini meningkat untuk menanggulangi rintangan energi, dengan cara ini partikel dapat bergabung. Semakin banyak ion yang berbeda muatan, maka koagulasi makin cepat terjadi.

b. Adsorpsi dan netralisasi muatan. Muatan elektrik partikel koloid dapat dinetralisasi oleh molekul yang berbeda muatan yang memiliki kemampuan mengadsorpsi koloid, contohnya koagulan dodesilamin ($C_{12}H_{25}NH_3^+$), merupakan substansi yang aktif di permukaan sehingga terakumulasi dipermukaan koloid.

c. Penjaringan dalam suatu presipitasi. Garam logam seperti aluminium sulfat $Al_2(SO_4)_3$, feri klorida ($FeCl_3$), CaO atau $Ca(OH)_2$ sering digunakan sebagai koagulan dalam pengolahan air atau air limbah. Konsentrasi koagulan yang memadai atau berlebih, diperlukan untuk membentuk endapan logam hidroksida seperti $Al(OH)_3$ atau $Fe(OH)_3$, sehingga partikel koloid dapat

dijaring dan mengendap bersama. Partikel koloid berperan sebagai inti endapan, jadi tingginya laju pengendapan seiring dengan peningkatan partikel dalam air. Proses penyapuan koloid dari suspensi ini disebut dengan koagulasi sapu.

d. Adsorpsi dan jembatan antar partikel. Polimer organik sintesis sering digunakan sebagai agen destabilisasi dalam pengolahan air limbah. Polimer ini merupakan rantai panjang, muatan polimer dapat mendestabilisasi koloid melalui formasi jembatan. Salah satu sisi muatan rantai polimer dapat melekat atau mengadsorpsi sisi koloid, sementara itu sisi molekul polimer lain meluas ke dalam larutan. Bila sisi yang meluas itu berikatan dengan koloid lain, maka dua koloid akan terikat bersama secara efektif dan disebut dengan flok.

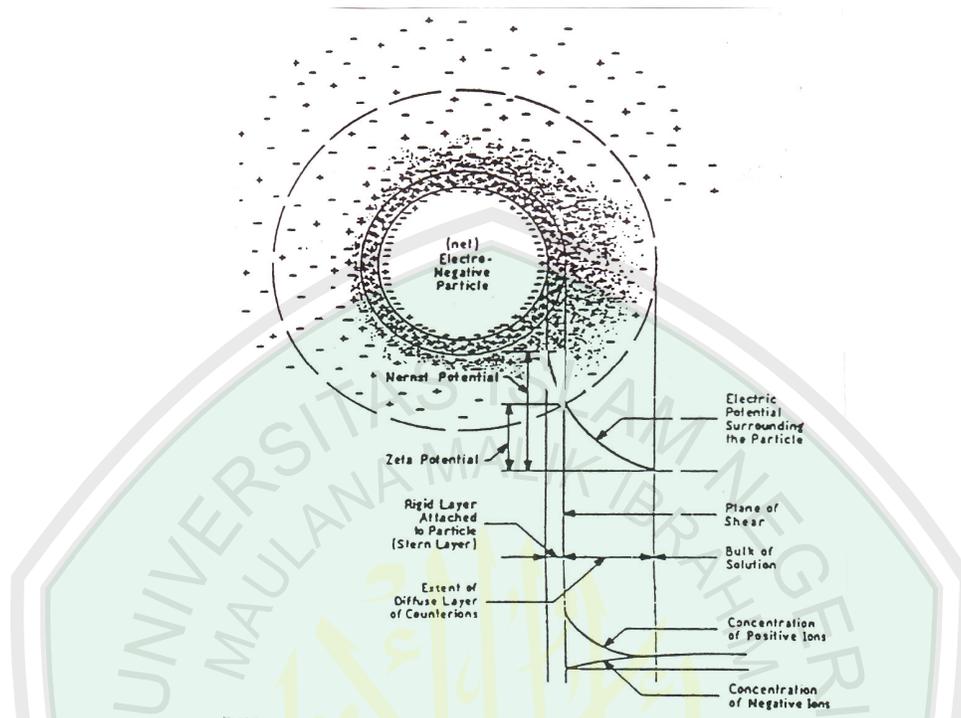
2.2.2 Stabilisasi Koloid

Mysels (1952) dalam Raju (1995: 137) mengelompokkan koloid tidak stabil berdasarkan laju agregasinya menjadi koloid *diturnal* (koloid dengan laju pengendapan lambat) dan koloid *conducous* (koloid dengan laju pengendapan cepat), sehubungan dengan stabilisasi koagulasi dan koloid, Amirtharajah dan O'Melia (1990: 275) menyatakan bahwa suspensi koloid tidak mempunyai muatan listrik bersih, muatan utama partikel harus diseimbangkan di dalam sistem itu. Gambar 2.7 menunjukkan skema partikel koloid bermuatan negatif dengan awan ion (lapisan difusi) di sekitar partikel. Ion bermuatan yang berkumpul di daerah interfisial bersama-sama muatan utama membentuk suatu lapisan elektrik ganda. Lapisan difusi ini dihasilkan oleh daya tarik elektrostatik ion yang

bermuatan terhadap partikel (*counterions*), tolakan elektrostatik ion bermuatan sama sebagai partikel (*similions*), dan difusi molekuler atau termal yang melawan gradien konsentrasi akibat efek elektrostatik. Raju (1995: 137) menyatakan penjelasan stabilitas koloid tersebut sebagai teori difusi ganda

Ketika potensial elektrik diterapkan ke dalam suspensi partikel bermuatan negatif, mereka akan bergerak ke arah elektroda positif. Potensi yang menyebabkan gerakan partikel berhubungan dengan bidang gunting (*plane of shear*) cairan di sekitar partikel yang disebut dengan potensi zeta atau potensi elektrokinetik (Amirtharajah dan O'Melia, 1990: 275). Lokasi bidang tersebut ada di batas luar lapisan Stern seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Lapisan Stern adalah zona stasioner ion positif (Raju, 1995: 138).

Konsep potensi zeta ini diperoleh dari teori difusi ganda, pembungkus ion positif yang tetap dibentuk di atas partikel bermuatan negatif oleh daya tarik elektrostatik. Potensi zeta mempunyai nilai maksimum di partikel permukaan dan menurunkan jarak partikel dari permukaan (Amirtharajah dan O'Melia, 1990: 275). Model jembatan untuk destabilisasi koloid oleh polimer diberikan oleh LaMer (1963) dalam Raju (1995: 140), ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Partikel Bermuatan Negatif Dan Lapisan Difusi Ganda (Sumber: Amirtharajah & O'Melia, 1990 dalam Hidayat, 2006).

Selain adanya lapisan difusi ganda dan potensi zeta penting juga dipahami adanya gaya van der Waals sehubungan dengan koagulasi. Ketika dua partikel koloid yang sama berhadapan satu sama lain, lapisan difusi mereka mulai berinteraksi. Setelah semakin dekat, ada suatu gaya tolak elektrostatis yang meningkat sesuai dengan tingkat kedekatannya. Energi potensial penolakan (ψ_R) mengalami penurunan yang besar ketika jarak pemisahan partikel meningkat (Raju, 1995: 138). Gaya tolak tersebut menjaga partikel terhadap agregasi. Secara serentak ada gaya tarik tertentu ketika partikel koloid mendekati satu sama lain. Gaya tarik ini disebut gaya van der Waals. Keberadaan gaya van der Waals merupakan fungsi komposisi dan kepadatan koloid dan tidak terikat pada

komposisi fase larutan. Gaya van der Waals berkurang dengan cepat ketika jarak antar partikel itu terus meningkat. Energi potensial yang menarik (ψ_A) juga berkurang seiring dengan meningkatnya jarak antar partikel koloid. Efek muatan pada stabilitas koloid dapat dijelaskan dengan menambah energi interaksi menarik dan yang menolak. Jaringan interaksi ($\psi_R - \psi_A$) dianggap sebagai energi penghalang atau rintangan terhadap agregasi partikel koloid (Amirtharajah dan O'Melia, 1990: 275).

2.3 Pencemaran Lingkungan

Pencemaran lingkungan ini sangat berakibat buruk bagi manusia atau pun alam sekitar, baik pencemaran udara maupun pencemaran air. Pencemaran menurut SK Menteri Kependudukan Lingkungan Hidup No 02/MENKLH/1988, adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam air/udara, dan/atau berubahnya tatanan (komposisi) air/udara oleh kegiatan manusia dan proses alam, sehingga kualitas air/udara menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai dengan peruntukannya (Aninymous^h, 2007).

Salim (1984) menyatakan apabila terjadi gangguan terhadap salah satu tatanan lingkungan hidup karena perbuatan manusia atau proses alam, maka akan terjadi gangguan terhadap keseimbangan ekosistem dalam lingkungan hidup menyeluruh, oleh karena itu agar tetap terpelihara keseimbangan dan kelestarian lingkungan hidup demi kesejahteraan hidup manusia dan makhluk-makhluk

lainnya, maka Allah Swt telah memperingatkan kepada manusia (*wa lâ tufsidū fi al-ardli*) di dalam Qs. al-A'râf 56:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ﴿٥٦﴾

"Dan janganlah kamu membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik." (Qs. al-A'râf/7: 56).

Kata-kata *ba'da islâhîhā* dengan jelas menunjukkan adanya hukum keseimbangan dalam tatanan lingkungan hidup yang harus diusahakan agar tetap terpelihara kelestariannya. Kerusakan (*al-fasâd*) di bumi yang disebabkan kaum sebelumnya telah diperbaiki oleh Allah Swt (*ba'da islâhîhā*).

Perubahan lingkungan akibat pesatnya perkembangan industri yang menyebabkan pencemaran dari hasil limbah buangan industri. Limbah tanpa pengolahan terlebih dahulu yang dibuang ke lingkungan akan mengakibatkan pencemaran air, tanah, dan udara. Allah Swt berfirman dalam al-Qur'an surat al-Qhashash 77 telah memperingatkan kepada mereka yang mengadakan kerusakan lingkungan:

وَأَتَّبِعْ فِي مَآءِ آتِنَاكَ اللَّهُ الدَّارَ الْآخِرَةَ ۗ وَلَا تَنْسَ نَصِيبَكَ مِنَ الدُّنْيَا ۗ وَأَحْسِنَ كَمَا أَحْسَنَ اللَّهُ إِلَيْكَ ۗ وَلَا تَبْغِ الْفَسَادَ فِي الْأَرْضِ ۗ إِنَّ اللَّهَ لَا يُحِبُّ الْمُفْسِدِينَ ﴿٧٧﴾

”Dan carilah pada apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu (kebahagiaan) negeri akhirat, dan janganlah kamu melupakan bahagianmu dari (kenikmatan) duniawi dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik, kepadamu, dan janganlah kamu berbuat kerusakan di (muka) bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan. (Qs. al-Qhashash/28: 77).

Kata *al-fasād* berarti mengadakan kerusakan maksudnya Allah Swt tidak menyukai adanya kerusakan di muka bumi ini, sifat-sifat merusak bumi, tanaman-tanaman dan binatang merupakan sifat yang keji (Gani, dkk., 1994: 178).

Pencemaran (*al-fasād*) yang ditimbulkan manusia dapat berefek pada komposisi air, udara maupun tanah. Tanah merupakan unsur penting sebagai lahan pertumbuhan. Penciptaan tanah yang terbagi menjadi dua macam yaitu tanah yang baik (*al-baladu al-thoyyib*) dan tanah yang tidak subur (*wa-alladzî khobutsa*). Allah Swt berfirman:

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ ۗ وَالَّذِي خَبثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكْدًا ۗ
كَذَلِكَ نُصَرِّفُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ ﴿٥٨﴾

“Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur.” (Qs. al-A’râf /7: 58)

Tanaman-tanaman akan tumbuh subur pada tanah yang baik karena adanya kandungan unsur hara dan mineral-mineral yang dibutuhkan tanaman, hal ini agar manusia bersyukur (*liqoumin yasykurūn*) atas kebesaran Allah Swt dengan pemanfaatan sumber daya alam secara profesional dan proposional.

Syarat suatu tanah dikatakan subur dan tidak dapat dijelaskan secara ilmiah. Sutedjo dan Kartasapoetra (2002) menjelaskan bahwa tanah tersusun atas air $\pm 25\%$, mineral 17 % dan bahan organik $\pm 5\%$. Berdasarkan susunan tersebut, maka kesuburan tanah dapat dinilai atas dasar tinggi rendahnya kadar mineral dan tingkat kemudahan mineral diserap oleh tanaman. Tingkat kemudahan mineral berhubungan dengan proses pengangkutan pelarut sehingga proses hayati secara optimum membutuhkan H₂O karena air memiliki peran sebagai pelarut semua proses kimia, pengangkutan dan penghidratasi berbagai sistem koloid.

Bentuk pencemaran yang sering terjadi selain pencemaran tanah adalah pencemaran air. Pasya (2004) menjelaskan bahwa air merupakan sesuatu yang mutlak diperlukan untuk kelangsungan kehidupan, dan bahkan para ahli mengatakan bahwa kehidupan itu dalam air, dan tidak ada satu interaksi kimia pun yang terjadi dalam tubuh tanpa melibatkan air. Air merupakan sumber yang utama dalam kelangsungan hidup tumbuhan (*fa anbatnâ bihi jannâtin*), sebagaimana firman Allah Swt dalam Qs. Qâf/50: 9.

وَنَزَّلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً مُّبْرَكًا فَأَنْبَتْنَا بِهِ جَنَّاتٍ وَحَبَّ الْحَصِيدِ

“Dan kami turunkan dari langit air yang banyak manfaatnya lalu kami tumbuhkan dengan air itu pohon-pohon dan biji-biji tanaman yang diketam”

Pencemaran yang mengakibatkan penurunan kualitas air dapat berasal dari limbah terpusat (*point sources*) dan limbah tersebar (*non point sources*). Limbah terpusat dapat dihasilkan dari limbah industri-industri, usaha peternakan, perhotelan, rumah sakit, sedangkan limbah tersebar (*non point sources*)

merupakan limbah-limbah yang dihasilkan dari pertanian, perkebunan dan domestik (Santi, 2004).

Pencemaran air sering diakibatkan oleh limbah cair tanpa pengolahan dari industri. Limbah cair atau disebut juga buangan air merupakan kombinasi dari cairan dan sampah-sampah cair yang ada digabung dengan air tanah, air permukaan, dan air hujan yang mungkin ada (Metcalf dan Eddy, 1991). Ehler dan Steel (1975) menyatakan bahwa limbah cair adalah cairan yang dibawa atau dialirkan oleh saluran air buangan sehingga secara umum dapat dikatakan air limbah merupakan cairan yang berasal dari rumah tangga, industri dan tempat lainnya yang biasanya mengandung zat-zat yang membahayakan kehidupan dan mengganggu kelestarian lingkungan hidup (Rina, 2006).

2.3.1 Sifat - Sifat Air Limbah

Sesuai dengan sifat dan bahan, maka air limbah dapat diketahui parameter-parameter dalam pengolahan air limbah, antara lain (Prayogo, 2006):

1. Suhu

Suhu air limbah sangat berpengaruh terhadap adanya oksigen yang terlarut di dalam air limbah. Suhu yang tinggi dalam air limbah dapat menurunkan oksigen terlarut. Suhu optimum untuk aktifitas mikroorganisme adalah 25 °C-35 °C (Metcalf dan Eddy, 1991).

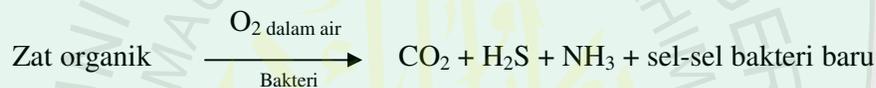
2. pH (derajat keasaman)

pH adalah kandungan atau konsentrasi ion hidrogen dalam air. Konsentrasi ion hidrogen ini sangat berpengaruh terhadap reaksi kimia juga pada proses

biologis. pH yang baik untuk air limbah antara 6,5-8,5. Proses biologis air limbah akan sangat sulit jika pH air limbah tidak netral, sedangkan pH air limbah di rumah sakit bervariasi tergantung dari sumber air limbah yang ada di rumah sakit.

3. BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*)

BOD adalah banyaknya oksigen yang diperlukan untuk menguraikan benda organik oleh bakteri aerobik melalui proses biologis (*Biological Oxidation*) secara dekomposisi aerobik.



Gambar 2.8 Proses Biologis (*Biological Oxidation*) Secara Dekomposisi Aerobik (Sumber: Prayogo, 2006).

Semakin banyak zat organik yang diuraikan maka semakin banyak pula pemakaian akan menuju keadaan yang aerobik, kemudian akan menyebabkan bau kurang enak karena timbulnya gas-gas. COD atau kebutuhan oksigen kimiawi adalah jumlah kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi zat-zat organik secara kimiawi. Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis dan mengakibatkan berkurangnya kandungan oksigen dalam air. Hasil pengukuran COD dapat digunakan untuk memperkirakan BOD. Penguraian bahan organik secara biologis di alam melibatkan bermacam-macam organisme dan menyangkut reaksi oksidasi dengan hasil akhir karbon dioksida (CO₂) dan air (H₂O). Oksidasi berjalan

sangat lambat dan secara teoritis memerlukan waktu yang tak terbatas. Dalam waktu 5 hari BOD, oksidasi organik karbon akan mencapai 60%-70%. Waktu inkubasi 5 hari dapat mengurangi kemungkinan hasil oksidasi ammonia (NH₃) yang cukup tinggi. Ammonia dapat dioksidasi menjadi nitrit dan nitrat, sehingga mempengaruhi hasil penentuan BOD. Reaksi yang dapat terjadi adalah (Salmin,2005):



Hubungan antara BOD/COD adalah sebagai berikut (Prayogo, 2006):

- a. BOD/COD < 0,4, maka air buangan atau limbah mengandung zat-zat yang sulit diuraikan secara biologis.
- b. BOD/COD > 0,4, maka air buangan atau limbah mengandung zat-zat yang mudah diuraikan secara biologis.

4. TSS (*Total Suspended Solid*)

Menurut Salvato (1972), *total suspended solid* merupakan sisa padatan yang tertinggal pada penyaringan atau dengan kata lain berat zat padat tersuspensi atau tak terlarut dalam volume tertentu dari limbah cair, masing-masing berupa bahan organik dan mineral. Penetrasi sinar (cahaya) yang masuk ke dalam air bisa berkurang dengan adanya *total suspended solid* sehingga akan mempengaruhi regenerasi oksigen secara fotosintesis (Prayogo, 2006).

2.3.2 Limbah Rumah Sakit

Limbah rumah sakit merupakan semua limbah yang dihasilkan oleh kegiatan rumah sakit dan kegiatan penunjang lainnya. Jenis limbah rumah sakit dapat dikategorikan menjadi dua kelompok yaitu limbah klinis dan non klinis, baik padat maupun cair. Limbah klinis adalah yang berasal dari pelayanan medis, veterineri, farmasi atau sejenis, pengobatan, penelitian atau pendidikan yang menggunakan bahan-bahan beracun, infeksius berbahaya atau bisa membahayakan kecuali jika dilakukan pengamanan tertentu (Wisaksono, 2001).

Bentuk limbah klinis bermacam-macam dan berdasarkan potensi yang terkandung di dalamnya dapat dikelompokkan sebagai berikut (Wisaksono, 2001):

1. Limbah benda tajam

Limbah benda tajam adalah obyek atau alat yang memiliki sudut tajam, sisi, ujung atau bagian menonjol yang dapat memotong atau menusuk kulit seperti jarum hipodermik, pecahan gelas, pisau bedah. Semua benda tajam ini memiliki potensi bahaya dan dapat menyebabkan cedera melalui sobekan atau tusukan. Benda-benda tajam yang terbuang mungkin terkontaminasi oleh darah, cairan tubuh, bahan mikrobiologi, bahan beracun atau radio aktif.

2. Limbah infeksius

Limbah infeksius mencakup pengertian sebagai berikut:

- a. Limbah yang berkaitan dengan pasien yang memerlukan isolasi penyakit menular (perawatan intensif)
- b. Limbah laboratorium yang berkaitan dengan pemeriksaan mikrobiologi dari poliklinik dan ruang perawatan/isolasi penyakit menular.

3. Limbah jaringan tubuh

Limbah jaringan tubuh meliputi organ, anggota badan, darah dan cairan tubuh, biasanya dihasilkan pada saat pembedahan atau otopsi.

4. Limbah sitotoksik

Limbah sitotoksik adalah bahan yang terkontaminasi atau mungkin terkontaminasi dengan obat sitotoksik selama peracikan, pengangkutan atau tindakan terapi sitotoksik.

5. Limbah farmasi

Limbah farmasi ini dapat berasal dari obat-obat kadaluwarsa, obat-obat yang terbuang karena *batch* yang tidak memenuhi spesifikasi atau kemasan yang terkontaminasi, obat-obat yang tidak lagi diperlukan oleh institusi yang bersangkutan dan limbah yang dihasilkan selama produksi obat-obatan.

6. Limbah kimia

Limbah kimia adalah limbah yang dihasilkan dari penggunaan bahan kimia dalam tindakan medis, veterineri, laboratorium, proses sterilisasi, dan riset.

7. Limbah radioaktif

Limbah radioaktif adalah bahan yang terkontaminasi dengan radio isotop yang berasal dari penggunaan medis atau riset radio nukleida.

Selain limbah klinis, dari kegiatan penunjang rumah sakit juga menghasilkan limbah non klinis atau dapat disebut sampah non medis. Sampah non medis ini dapat berasal dari kantor atau administrasi kertas, sisa makanan buangan, sampah dapur (sisa pembungkus, sisa makanan atau bahan makanan, sayur dan lain-lain) (Wisaksono, 2001). Konsentrasi rata-rata limbah cair rumah

sakit berdasarkan sumber limbah dari kegiatan-kegiatan di enam rumah sakit, Jakarta digambarkan dalam Tabel 2.4:

Tabel 2.4 Kadar Limbah Cair Rumah Sakit di Jakarta Berdasarkan Sumber Limbah

Parameter	Sumber Limbah Rumah Sakit			
	Dapur	Laundry	R.Perawatan	UGD
pH	6	12,5	6,8	5,9
BOD	302	215	127	154
COD	642	629	429	188
TSS	269	110	44	36
NH ₃	0,24	0,31	0,36	2,2
PO ₄	6,32	6,79	11,5	20

Sumber: Hasil penelitian Lab. Teknik Penyehatan dan Lingkungan FT-UI. Data dari 6 RS di DKI.

Limbah rumah sakit mengandung logam berat dan senyawa kimia yang berasal dari ruang tes patologi dan klinik serta laboratorium, sedangkan air limbah yang berasal dari dapur mengandung lemak dan minyak dalam mentega, margarin dan minyak sayur. Lemak merupakan salah satu senyawa organik yang stabil dan tidak mudah didekomposisi oleh bakteri. Lemak dan minyak merupakan bahan yang mempunyai viskositas yang tinggi dan menghambat oksigen ke air limbah (Anonymous^b, 2007).

Kualitas limbah cair rumah sakit tidak boleh melebihi batas baku mutu limbah cair rumah sakit menurut SK. Menteri Lingkungan Hidup No. 58 tahun 1995 tanggal 21 Desember 1995 sesuai dengan Tabel 2.5:

Tabel 2.5 Baku Mutu Limbah Cair RSUD Dr. Saiful Anwar Malang

Parameter	Kadar Maksimum
FISIKA	
Suhu	30° C
KIMIA	
pH	6 – 9
BOD ₅	30 mg / L
COD	80 mg / L
TSS	30 mg / L
NH ₃ Bebas	0,1 mg / L
PO ₄	2 mg / L
MIKROBIOLOGIK	
MPN-Kuman Gol Koli / 100 ml	10.000
RADIOAKTIF	
³² P	7 x 10 ² Bq / L
³⁵ S	2 x 10 ³ Bq / L
⁴⁵ Ca	3 x 10 ² Bq / L
⁵¹ Cr	7 x 10 ⁴ Bq / L
⁶⁷ Ga	1 x 10 ³ Bq / L
⁸⁵ Sr	4 x 10 ³ Bq / L
⁹⁹ Mo	7 x 10 ³ Bq / L
¹¹³ Sn	3 x 10 ³ Bq / L
¹²⁵ I	1 x 10 ⁴ Bq / L
¹³¹ I	7 x 10 ⁴ Bq / L
¹⁹² Ir	1 x 10 ⁴ Bq / L
²⁰¹ Tl	1 x 10 ⁵ Bq / L

Sumber: SK. Menteri Lingkungan Hidup No. 58 tahun 1995 tanggal 21 Desember 1995 (Anonymous^h, 2007).

2.4 Fosfat

Fosfor merupakan golongan VB dalam sistem periodik dengan valensi atomnya ns^2np^3 . Fosfat (PO_4^{3-}) merupakan bentuk dari fosfor dalam kondisi asam okso yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan (Yunianto, 2005). Fosfat terdapat di dalam air limbah sebagai senyawa ortofosfat, polifosfat dan fosfat organik (Alaert, 1987). Fosfat berikatan dengan hidrogen membentuk asam fosfat, H_3PO_4 . Fosfat memiliki ΔH_f° - 1279 (kJ/mol) dan ΔG_f° -1119 (kJ/mol). Fosfat (PO_4^{3-}) merupakan bentuk dari fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan (Yunianto, 2005). Asam murni dan kristal hidratnya mempunyai gugus PO_4 tetrahedral yang dihubungkan oleh ikatan-ikatan hidrogen (Cotton and Wilkinson, 1989).

Asam fosfat memiliki tiga bentuk senyawa fosfat, yaitu asam ortofosfat, H_3PO_4 ; asam pirofosfat, $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$; dan asam metafosfat, HPO_3 . Asam fosfat biasanya disebut dengan asam ortofosfat. Ortofosfat adalah yang paling stabil dan sering disebut dengan fosfat saja (Vogel, 1990). Ortofosfat membentuk tiga deret garamnya yaitu ortofosfat primer, misalnya KH_2PO_4 ; ortofosfat sekunder, misalnya K_2HPO_4 ; dan ortofosfat tersier, misalnya K_3PO_4 (Vogel, 1990). Asam murni ortofosfat adalah padatan kristal yang tidak berwarna, titik lelehnya 42,35 °C. Ortofosfat tidak mempunyai sifat pengoksidasi pada suhu di bawah 300-400 °C (Cotton and Wilkinson, 1989).

Fosfat total menggambarkan jumlah total fosfat, baik berupa partikulat atau terlarut, anorganik maupun organik. Fosfat organik banyak terdapat di pengairan. Perubahan polifosfat menjadi ortofosfat pada air limbah yang mengandung bakteri berlangsung sangat cepat dibandingkan dengan perubahan

yang terjadi pada air bersih (Yuniato, 2005). Perubahan polifosfat dan fosfat organik menjadi ortofosfat dapat dilakukan dengan peleburan atau metode digesti dengan asam sulfat (Alaerts, dkk., 1984). Analisa fosfat dapat dilakukan dengan metode stano klorida dalam suasana asam. Prinsip metode stano klorida ini pembentukan asam molibdofosfor oleh reduktor timah (II) klorida untuk pembentukan warna biru molibdenum (Clessceri, 1989).

Zhou and Struve (2004) menyatakan bahwa penentuan fosfat total dengan sampel cair didahului dengan metode digesti persulfat untuk mendekstruksi fosfat organik atau polifosfat menjadi ortofosfat, kemudian diteruskan dengan metode stano klorida. Mahajlovi, et al (2002) menyatakan bahwa pengukuran fosfat total dapat menggunakan molibdenum dan digesti untuk mengubah polifosfat menjadi ortofosfat.

Fosfat dalam lingkungan dapat bersumber dari limbah industri dan domestik, seperti fosfat yang berasal dari detergen. Komposisi kimia detergen terdiri dari tiga komponen utama yaitu surfaktan, bahan pembentuk dan bahan-bahan lainnya, misalnya softener (Fachrul, dkk., 2006). Detergen yang mengandung softener dapat meningkatkan daya cuci detergen. Senyawa fosfat yang biasanya terkandung dalam detergen sebagai bahan softener yaitu Sodium Tri Poly Phosphates (STPP) (Anonimous^d, 2007).

Fosfat dalam konsentrasi melebihi baku mutu akan mengganggu keseimbangan badan air. Fosfat yang berlebihan dalam badan air dapat menyebabkan peningkatan unsur hara dan pertumbuhan tanaman air yang berlebihan sehingga mengakibatkan konsentrasi oksigen menurun (eutrofikasi).

Penggunaan fosfat dalam detergen telah dilarang di beberapa negara maju (Anonimou^ds, 2007). Pengurangan fosfat secara kimia dapat menggunakan koagulasi yaitu dengan penambahan bahan koagulan, seperti aluminium dan garam-garam besi. Pengurangan menggunakan koagulasi ini sangat efektif dalam pengurangan fosfat. Dengan reaksi sebagai berikut (Yuniato, 2005):



2.5 Spektrofotometer

Spektroskopi merupakan instrumen analisis yang digunakan untuk mengukur energi secara selektif jika energi tersebut ditransmisikan, direfleksikan, dan diemisikan sebagai fungsi gelombang (Khopkar, 1990). Metode spektrofotometri didasarkan pada interaksi antar energi radiasi elektromagnetik dengan molekul pada panjang gelombang UV 180-380 nm dan panjang gelombang 380-780 nm untuk sinar *Visible* (Hayati, 2007). Interaksi ini menyebabkan promosi elektron dalam keadaan eksitasi dan terjadi penyerapan energi radiasi elektromagnetik dengan molekul dengan serapan spesifik untuk molekul (Petter, 1974).

Spektrum radiasi elektromagnetik digunakan untuk menganalisis spesies kimia dan dapat menelaah interaksinya dengan radiasi elektromagnetik. Radiasi elektromagnetik ini berupa kumpulan-kumpulan energi yang disebut foton. Foton memiliki energi tertentu dan dapat menyebabkan transisi tingkat energi suatu atom atau molekul (Khopkar, 1990).

Instrumentasi dari spektrofotometer dapat berupa susunan alat-alat, seperti sumber radiasi, monokromator, wadah sampel, detektor, penguat/amplifier, dan rekorder. Spektrum ultraviolet pada senyawa tertentu biasanya diperoleh dengan melewatkan cahaya berpanjang gelombang tertentu (cahaya monokrom) melalui larutan encer senyawa tersebut dalam pelarut yang tidak menyerap misalnya, air, etanol, dan heksana (Khopkar, 1990). Fraksi dari radiasi yang diteruskan atau ditransmisikan oleh larutan disebut transmittan biasanya dinyatakan dalam besaran (%) dengan simbol T dari larutan (Hayati, 2007):

$$T = I/I_0 \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan: I = sinar atau intensitas radiasi yang diteruskan (keluar dari sampel)

I₀ = sinar atau intensitas yang dilewatkan dalam wadah transparan (sinar masuk)

Absorbans merupakan intensitas radiasi yang diserap oleh larutan dalam wadah transparan. Absorbans disimbolkan dengan A dari suatu larutan. Absorbans merupakan logaritma dari 1/T atau logaritma (I/I₀), yaitu (Hayati, 2007):

$$A = \log 1/T = \log (I/I_0) \text{ atau } A = -\log T \dots\dots\dots (2.2)$$

Absorbans berbanding langsung dengan tebal larutan dan konsentrasi larutan (hukum Beer), yaitu (Hayati, 2007):

$$A = abc \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan: A = absorbansi

a = konstanta yang disebut dengan absorptivitas

b = tebal larutan (kuvet)

c = konsentrasi larutan

Jika larutan c dinyatakan dalam ppm maka digunakan absorptivitas dengan simbol "a", jika konsentrasi c dinyatakan dengan mol/L (molar), maka digunakan absorptivitas molar dengan simbol "ε" sehingga didapat persamaan seperti pada hukum Lambert Beer. Hukum Lambert Beer merupakan fungsi konsentrasi molekul yang menyerap. Hukum Lambert Beer dapat ditulis dalam persamaan (Creswell, 2005):

$$A = \epsilon bc \dots\dots\dots (2.4)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Instalasi Pengolahan Limbah (IPL) RSUD Dr. Saiful Anwar Malang. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2007 - Mei 2008.

3.2 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok dua arah dan bersifat kuantitatif. Rancangan penelitian ini dibagi beberapa tahap, antara lain:

1. Penentuan panjang gelombang maksimum spektrofotometer HACH 4000
2. Penentuan waktu kestabilan optimum
3. Penentuan limit deteksi dan sensitivitas
4. Preparasi koagulan biji kelor
5. Pengambilan dan pengawetan sampel
6. Penentuan waktu pengendapan dan dosis optimum biji kelor, serta pengukuran konduktivitas dan pH.
7. Penentuan pH optimum koagulasi pada sampel menggunakan biji kelor

3.3 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan adalah sebagai berikut: limbah cair RSUD Dr Saiful Anwar Malang, biji kelor yang sudah tua, HCl 0,01 N, akuades, indikator

phenolphthalein, reagen amonium molibdat, NaOH 0,1 N, kalium persulfat, SnCl₂, KH₂PO₄, gliserol, dan H₂SO₄ 0,1 N.

Peralatan yang dipakai dalam penelitian ini antara lain: spektrofotometer HACH 4000, pH meter 3310 Jenway, hot plate, stirer, dan neraca analitik.

3.4 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahap analisis yang dilakukan, yaitu:

3.4.1 Preparasi Biji Kelor

Buah kelor yang sudah tua diambil bijinya (dikupas kulit luarnya), kemudian dibersihkan dari kulit arinya (berwarna coklat) hingga diperoleh biji kelor yang berwarna putih. Biji kelor yang sudah dikupas selanjutnya ditumbuk dengan menggunakan cawan porselen dan kemudian disimpan dalam toples dan ditutup rapat.

3.4.2 Pengambilan dan Pengawetan Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang (influen). Sampel diambil menggunakan gelas yang telah dibilas dengan larutan HCl 0,01 N (Clesceri, et al., 1989) dan sampel yang akan diambil. Sampel diambil pada pukul 08.00 BBWI, 13.00 BBWI, dan 17.00 BBWI dengan setiap pengambilan sebanyak 3 liter, kemudian dihomogenkan dan ditutup rapat. Pengawetan sampel dilakukan dengan diletakkan di tempat isothermis yaitu pada suhu 4°C ± 2°C (Hadi, 2005) atau diletakkan di freezer (Clesceri, et al., 1989).

3.4.3 Optimasi Analisa Fosfat Menggunakan Spektrofotometer HACH 4000

3.4.3.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Dipipet 2 ml larutan standar fosfat 30 mg/L dan ditambahkan akuades sampai 50 ml. Larutan ini ditambahkan 2 ml reagen ammonium molibdat dan 5 tetes larutan stannous klorida. Larutan yang mengandung reagen ammonium molibdat dikocok, kemudian didiamkan selama 10 menit dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang 625-780 nm dengan interval panjang gelombang 5 nm. Panjang gelombang optimum merupakan panjang gelombang dengan nilai absorbansi optimum.

3.4.3.2 Penentuan Waktu Kestabilan Optimum Senyawa Molibdenum Molibdat Menggunakan Spektrofotometer HACH 4000

Dipipet 2 ml larutan standar fosfat 30 mg/L dan ditambahkan akuades sampai 50 ml. Selanjutnya, larutan ditambahkan 2 ml reagen ammonium molibdat dan 5 tetes larutan stannous klorida. Larutan yang mengandung reagen ammonium molibdate dikocok, kemudian didiamkan selama selang waktu 1-15 menit dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang maksimum. Dibuat kurva antara panjang gelombang versus nilai absorbansi. Waktu optimum pengukuran kestabilan merupakan waktu pengukuran kestabilan reagen ammonium molibdat saat absorbansi mencapai optimum yang dapat ditentukan dengan membuat kurva waktu versus absorbansi.

3.4.3.3 Penentuan Sensitivitas Dan Batas Deteksi Analisa Kadar Fosfat Menggunakan Spektrofotometer HACH 4000

Dibuat larutan standar fosfat dengan variasi konsentrasi fosfat 0 ppm; 2 ppm; 4 ppm; 6 ppm; 8 ppm; 10 ppm; 20 ppm; dan 30 ppm. Diambil 2 ml larutan standar fosfat, kemudian dimasukkan ke dalam labu ukur 50 ml dan ditandabatkan. Larutan ini ditambahkan 2 ml reagen ammonium molibdat dan 5 tetes larutan stano klorida. Larutan yang mengandung reagen ammonium molibdat dikocok, kemudian didiamkan selama waktu kestabilan optimum reagen ammonium molibdat dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang optimum. Dibuat kurva linear hubungan antara konsentrasi larutan dan absorbansi larutan, dan akan diperoleh persamaan sehingga dapat ditentukan sensitivitas dan batas deteksinya.

3.4.4 Analisis Fosfat Awal Sampel Dengan Metode Stano Klorida.

Sepuluh mililiter sampel ditambahkan 1 tetes indikator PP, jika larutan berwarna pink maka ditambahkan H_2SO_4 0,1 N sampai sampel tidak berwarna. Selanjutnya, ditambahkan 0,1 gram kalium persulfat dan dipanaskan selama 15 menit atau volume akhir sampel mencapai 1 ml, kemudian larutan didinginkan dan ditambah akuades sampai 6 ml. Dua mililiter sampel setelah proses digesti dan 2 ml sampel tanpa digesti dipindahkan ke labu ukur 50 ml, masing-masing ditanda bataskan dengan akuades, kemudian ditambahkan 2 ml reagen ammonium molibdat dan 5 tetes larutan stano klorida. Larutan didiamkan selama waktu kestabilan optimum dan diukur absorbansinya pada panjang gelombang optimum.

Analisa tanpa digesti adalah pengukuran ortofosfat, sedangkan fosfat total harus dilakukan digesti terlebih dahulu (Clessceri, et al., 1989).

3.4.5 Penentuan Dosis Koagulan Dan Waktu Pengendapan Optimum Koagulasi Fosfat Menggunakan Biji Kelor

Serbuk biji kelor dibuat dengan variasi konsentrasi 200 ppm, 250 ppm, 300 ppm, 350 ppm, dan 400 ppm, selanjutnya masing-masing koagulan dilarutkan dengan 100 ml sampel. Interaksi sampel dengan koagulan biji kelor dilakukan menurut langkah berikut: serbuk biji kelor diletakkan di atas gelas arloji dan ditambahkan sedikit sampel yang akan dianalisis, kemudian diaduk sampai diperoleh larutan berwarna putih. Selanjutnya, sampel yang mengandung biji kelor dimasukkan ke dalam botol yang berisi sampel yang akan dianalisis. Sampel yang mengandung serbuk kelor ini diaduk cepat selama 0,5 menit kemudian diaduk lambat selama 5 menit. Larutan dibiarkan mengendap dengan berbagai variasi waktu yaitu 15, 30, 60, 90, dan 120 menit. Setelah itu, dipipet 12 ml untuk dianalisa fosfat total dan ortofosfat menggunakan spektrofotometer HACH 4000. Sampel diambil lagi sebanyak 25 ml digunakan untuk mengukur konduktifitas dan pH sampel. Perlakuan ini juga dilakukan pada larutan kontrol.

3.4.6 Penentuan pH Optimum Koagulasi Fosfat Menggunakan Biji Kelor

Diukur pH sampel dengan variasi pH 2, 3, 4, 5, dan 6 dengan penambahan H_2SO_4 0,1 N atau NaOH 0,1 N, kemudian ditambahkan dengan serbuk biji kelor dengan dosis optimum. Interaksi dengan biji kelor dilakukan menurut langkah berikut: serbuk biji kelor dengan dosis optimum diletakkan diatas gelas arloji dan

ditambahkan sedikit sampel dengan kondisi pH 2, kemudian diaduk sampai larutan berwarna putih. Sampel yang mengandung biji kelor dimasukkan ke dalam beker gelas yang berisi sampel dengan kondisi pH 2 yang akan dianalisis. Sampel yang mengandung kelor diaduk cepat selama 0,5 menit, kemudian diaduk lambat selama 5 menit. Larutan dibiarkan mengendap dengan waktu pengendapan optimum. Masing-masing larutan dipipet 12 ml, kemudian dianalisa fosfat total dan ortofosfatnya menggunakan spektrofotometer HACH 4000 dengan metode stano klorida. Perlakuan ini diulang dengan prosedur yang sama dengan variasi sampel dengan kondisi pH 3, 4, 5, dan 6.

3.4.7 Teknik Analisa Data

Hasil dari penelitian ini akan disajikan dalam bentuk grafik, kemudian untuk menentukan dosis dan waktu pengendapan optimum biji kelor dilakukan analisa data menggunakan uji statistik. Uji statistik yang dilakukan terdiri dari dua tahap yaitu uji pendahuluan dan uji lanjutan Uji pendahuluan yang dapat dilakukan adalah uji F, RAK, RAL, dan ANOVA, tetapi pada penelitian ini dipilih uji ANOVA dua arah. Jika hasil dari uji pendahuluan terdapat beda nyata, maka dilanjutkan dengan uji BNT untuk mengetahui beda nyata terkecil pengaruh variasi dosis dan waktu pengedapan terhadap penurunan konsentrasi fosfat. Hasil uji statistik penentuan dosis dan waktu pengedapan digunakan sebagai dosis dan waktu pengedapan optimum dalam penentuan pH optimum.

Penelitian ini juga menggunakan data sekunder FTIR untuk mengetahui kemungkinan gugus aktif dalam biji kelor yang berperan sebagai koagulan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektifitas koagulan biji kelor dalam mengurangi konsentrasi fosfat limbah cair rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang dengan membandingkan hasil pengolahan limbah cair rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang menggunakan biji kelor dan tanpa biji kelor. Data pengukuran konsentrasi fosfat dalam bentuk ortofosfat (PO_4^{3-}) pada outlet Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang periode tahun 2007, disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.1.



Sumber: IPAL RSU Dr. Saiful Anwar Malang, 2007

Gambar 4.1 Konsentrasi Fosfat Pada Outlet IPAL RSU. Dr. Saiful Anwar Malang Periode Tahun 2007

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut: a) Optimasi spektrofotometer HACH 4000 untuk analisa kadar fosfat melalui penentuan panjang gelombang maksimum, penentuan waktu kestabilan kompleks

maksimum, penentuan limit deteksi dan sensitivitas, b) Optimasi koagulasi biji kelor terhadap fosfat pada limbah cair rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang melalui penentuan waktu pengendapan optimum, penentuan dosis koagulan biji kelor optimum dan penentuan pH koagulasi biji kelor optimum.

4.1 Penentuan Keadaan Optimum Spektrofotometer HACH 4000

4.1.1 Penentuan Panjang Gelombang Optimum

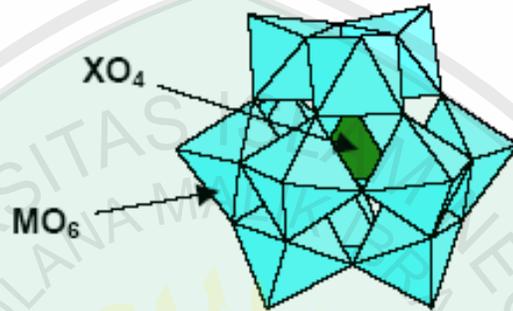
Penentuan panjang gelombang ini bertujuan untuk mengetahui panjang gelombang maksimum pengukuran fosfat menggunakan metode spektrofotometri stano klorida dengan spektrofotometer HACH 4000. Panjang gelombang maksimum merupakan panjang gelombang dengan nilai absorbansi maksimum. Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan dengan pengukuran absorbansi senyawa kompleks heterofosfomolibdat pada variasi panjang gelombang 625-780 nm dengan interval 5 nm.

Analisa kadar fosfat menggunakan metode spektrofotometri berdasarkan reaksi reduksi oksidasi asam fosfomolibdat oleh timah (II) klorida, SnCl_2 dalam suasana asam dan membentuk senyawa kompleks heterofosfomolibdat yang mempunyai karakteristik warna biru molibdenum (Radojevie, et al., 1999: 239):



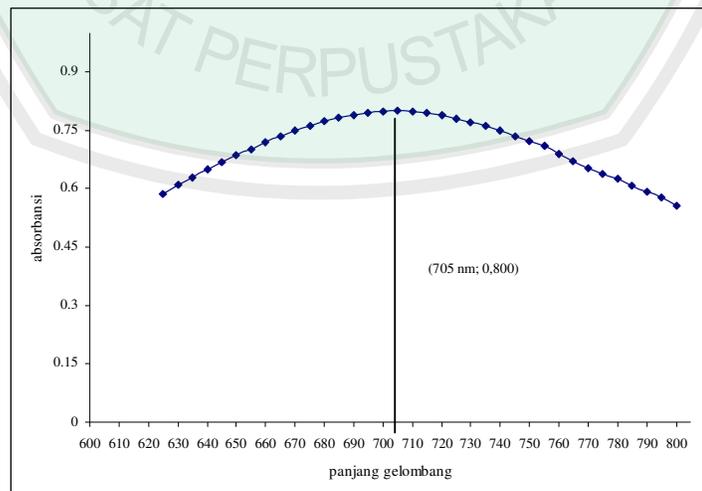
Ortofosfat direaksikan dengan amonium molibdat dalam suasana asam menghasilkan heterofosfomolibdat, $\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}^{3-}$ yang mempunyai struktur α -keggin, kemudian direduksi dengan timah (II) klorida menghasilkan senyawa kompleks heterofosfomolibdat $\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}^{7-}$ yang mengandung molibdenum (VI)

oksida dan molibdenum (V) oksida dan mempunyai struktur β -Keggin dengan reaksi sebagai berikut (Anonimous^d, 2007):



Gambar 4.2 Struktur Keggin $\alpha\text{-[XM}_{12}\text{O}_{40}]^{n-}$. M = (Mo atau W), X = (hetero atom yang terdiri dari atom P^V, Al^{III}, Ge^{IV}) (Sumber: Anonimousⁱ, 2007: 52-53)

Spektra sinar tampak senyawa kompleks heterofosfomolibdat dan hasil penentuan panjang gelombang maksimum disajikan dalam Gambar 4.3 dan data selengkapnya pada Lampiran 3:



Gambar 4.3 Spektra Sinar Tampak Senyawa Kompleks Heterofosfomolibdat

Gambar 4.3 menunjukkan panjang gelombang maksimum pengukuran fosfat menggunakan HACH 4000 adalah 705 nm ($A = 0,800$). Warna komplementer yang ditimbulkan dari reduksi timah (II) klorida adalah warna biru molibdenum. Khopkar (2003: 195) dan Underwood (2002: 384) menjelaskan bahwa warna komplementer biru memiliki panjang gelombang sekitar 650-780 nm, jika hasil ini dibandingkan dengan Clessari (1989), maka panjang gelombang maksimum dalam pengukuran konsentrasi fosfat menggunakan HACH 400 mengalami pergeseran yang awalnya 690 nm menjadi 705 nm.

Pergeseran panjang gelombang maksimum ke arah yang lebih panjang merupakan pergeseran *red shift* (pergeseran merah atau batokromik) karena adanya auksokrom yang terdelokalisasi, sehingga energi yang dibutuhkan untuk mempromosikan elektron menjadi lebih rendah. Ciri-ciri auksokrom adalah heteroatom yang langsung terikat pada kromofor, misalnya: $-OCH_3$, $-Cl$, $-OH$ dan NH_2 (Sastrohamidjojo, 2001: 23). Pergeseran sebesar 10-30 nm terjadi jika substitusi atau auksokrom berada pada kedudukan ekuatorial (Sastrohamidjojo, 2001: 33). Pergeseran batokromik juga disertai adanya pengaruh hiperkromik (kenaikan intensitas) yang kuat akibat transisi $n-\pi^*$.

Transisi tersebut merupakan perbedaan energi dua tingkat yang bersesuaian dengan panjang gelombang sinar yang termasuk dalam sinar tampak. Hubungan energi transisi dan panjang gelombang adalah berbanding terbalik. Energi transisi elektron diumpamakan radiasi elektromagnetik sebagai partikel yang bertenaga atau berenergi (foton). Jika foton memiliki panjang gelombang

pendek, maka foton tersebut mempunyai energi transisi yang lebih tinggi (Sastrohamidjojo, 2001: 4).

$$E = h.v = \frac{h.c}{n.\lambda} \dots\dots\dots (4.1)$$

Keterangan :

- E = energi foton dalam erg
- h = tetapan Planck, $6,624 \times 10^{-34}$ J/det
- v = frekuensi radiasi elektromagnetik dalam Hertz
- c = kecepatan cahaya dalam hampa $2,9976 \times 10^{10}$ cm/det
- n = indeks bias (perbandingan kecepatan cahaya dalam hampa dengan kecepatannya dalam media)
- λ = panjang gelombang dalam nm

Pengukuran absorbansi selanjutnya dilakukan pada panjang gelombang absorbansi maksimum 705 nm. Pengukuran dilakukan pada panjang gelombang maksimum sehingga diharapkan analisis akan lebih sensitif.

Warna biru yang diakibatkan oleh reduksi SnCl_2 dianalisis dengan spektroskopi sinar tampak. Warna merupakan pancaran cahaya yang mempunyai panjang gelombang dan energi tertentu yang diteruskan ke retina mata, sehingga manusia atau hewan dapat mengidentifikasi warna dengan panjang gelombang masing-masing. Cahaya yang diteruskan ke penglihatan mengakibatkan manusia dapat membedakan warna yang terdapat di alam ini. Allah Swt berfirman:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا ۚ وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بِيضٌ وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا وَغَرَابِيبُ سُودٌ ﴿٢٧﴾ وَمِنَ النَّاسِ وَالدَّوَابِّ ۖ وَأَلَّا نَعْمَ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهُ ۚ كَذَٰلِكَ ۖ إِنَّمَا تَخْشَى اللَّهَ مِنْ عِبَادِهِ الَّذِينَ عَلَّمُوا ۚ
 إِنَّ اللَّهَ عَزِيزٌ غَفُورٌ ﴿٢٨﴾

”Tidakkah kamu melihat bahwasanya Allah menurunkan hujan dari langit lalu kami hasilkan dengan hujan itu buah-buahan yang beraneka macam jenisnya. dan di antara gunung-gunung itu ada garis-garis putih dan merah yang beraneka macam warnanya dan ada (pula) yang hitam pekat. Dan demikian (pula) di antara manusia, binatang-binatang melata dan binatang-binatang ternak ada yang bermacam-macam warnanya (dan jenisnya). Sesungguhnya yang takut kepada Allah di antara hamba-hamba-Nya, hanyalah ulama. Sesungguhnya Allah Maha Perkasa lagi Maha Pengampun.” (Qs. al-Fathîr/35: 27-28).

Allah Swt menjelaskan dalam al-Qur’an bahwa Allah Swt menciptakan berbagai warna di alam semesta ini untuk membedakan satu sama lain. Sinar atau cahaya merupakan penyebab timbulnya warna dari benda tertentu yang dapat memantulkan cahaya dan diteruskan ke penglihatan. Allah Swt menjadikan proses penglihatan berkaitan secara langsung dengan jatuhnya cahaya ke benda itu, kemudian di tangkap oleh mata (Pasya, 2004: 105). Allah Swt berfirman:

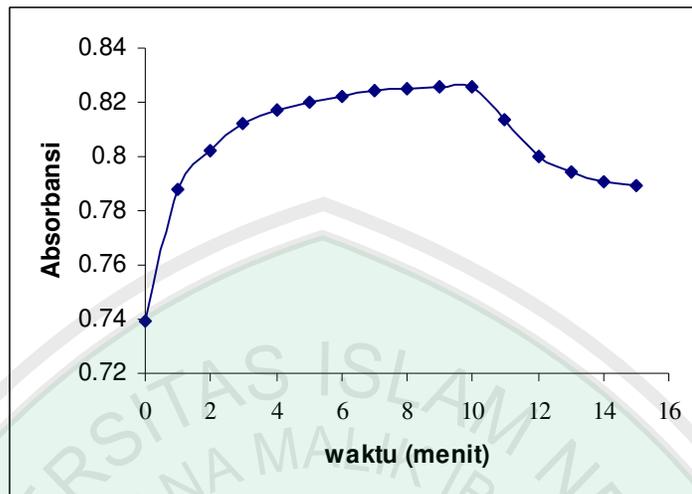
يٰۤاَيُّهَا الَّذِيْنَ ءَامَنُوْا اتَّقُوا اللّٰهَ وَاٰمِنُوْا بِرِسُوْلِهِۦ ۚ يُوْثِقْكُمْ كِفٰلِيْنَ ۖ مِّنْ رَّحْمٰتِيْهِ ۚ وَتَجْعَلْ لَّكُمْ نُوْرًا تَمْشُوْنَ بِهٖ ۚ وَيَغْفِرْ لَكُمْ ۗ وَاللّٰهُ غَفُوْرٌ رَّحِيْمٌ ﴿٢٨﴾

”Hai orang-orang yang beriman (kepada para rasul), bertakwalah kepada Allah dan berimanlah kepada Rasul-Nya, niscaya Allah memberikan rahmat-Nya kepadamu dua bagian, dan menjadikan untukmu cahaya yang dengan cahaya itu kamu dapat berjalan dan dia mengampuni kamu. dan Allah Maha Pengampun lagi Maha Penyayang.” (Qs. al-Hadîd/37: 28).

Allah Swt menjadikan cahaya sebagai sumber penerang sehingga manusia dapat melihat benda-benda yang dilalui pancaran cahaya itu dan dapat beraktifitas di siang hari (Pasya, 2004: 101). Allah Swt menciptakan sinar matahari di siang hari dan cahaya bulan di malam hari untuk memberikan manfaat bagi manusia, dalam bidang kimia sinar dibedakan menjadi beberapa sinar seperti sinar tampak, UV atau infra merah yang digunakan untuk mengidentifikasi suatu struktur senyawa kimia dan mengetahui kadar senyawa.

4.1.2 Penentuan Waktu Kestabilan Maksimum

Penentuan waktu kestabilan maksimum dilakukan melalui pengukuran larutan fosfat 30 ppm pada panjang gelombang maksimum 705 nm pada variasi waktu 1-15 menit dengan interval 1 menit. Waktu kestabilan maksimum merupakan waktu pembentukan senyawa kompleks heterofosfomolibdat dengan nilai absorbansi tertinggi. Kurva pengaruh variasi waktu terhadap absorbansi senyawa kompleks heterofosfomolibdat disajikan pada Gambar 4.4 dan data selengkapnya pada Lampiran 4.

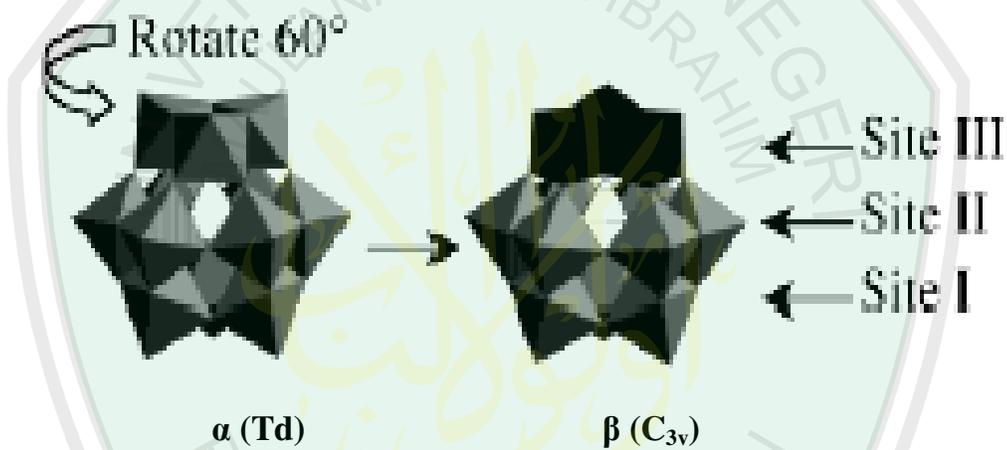


Gambar 4.4 Waktu Kestabilan Senyawa Kompleks Heterofosfomolibdat

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa senyawa kompleks heterofosfomolibdat mempunyai kestabilan pada menit ke-9 dan 10 pertama ($A = 0,826$). Menit ke-1 sampai menit ke-8, nilai absorbansi terus naik karena diduga antara renggang waktu 1 sampai 8 menit masih terjadi proses reduksi oleh timah (II) klorida membentuk senyawa kompleks heterofosfomolibdat. Absorbansi terus menurun setelah menit ke ke-11 ($A = 0,814$), sehingga pengukuran dapat dilakukan antara 9-10 menit setelah penambahan SnCl_2 . Hasil penelitian ini diperkuat dengan Clesseri (1989), bahwa kestabilan kompleks heterofosfomolibdat terjadi pada rentang waktu antara 10-12 menit.

Kompleks heterofosfomolibdat mempunyai stuktur keggin dan tiap atom O dari fosfat yang berstruktur tetrahedral diikat oleh 3 atom Mo yang berstruktur oktahedral (MoO_6) membentuk cluster yang terdiri dari 12 struktur oktahedral dengan atom pusat Mo dan 1 atom fosfat. Struktur α -keggin mengalami rotasi 60° (Neiwert, et al., 2002: 6951) ini menyebabkan senyawa ini tidak stabil karena

fosfat yang berstruktur tetrahedral normal mempunyai simetri Td (simetri yang terjadi pada tetrahedral normal) berubah menjadi tetrahedral yang mempunyai simetri C_{3v} (simetri yang terjadi pada tetrahedral karena rotasi 120° dan refleksi pada bidang vertikal). Perubahan rotasi 60° pada 3 atom Mo menyebabkan perubahan sudut fosfat yang berstruktur tetrahedral normal (109,47°) menjadi tetrahedral terdistorsi, sehingga tolakan dalam cluster lebih besar dan struktur menjadi tidak stabil.



Gambar 4.5 Perputaran Struktur Keggin (Sumber: Neiwert, et al., 2002: 6951)

4.1.3 Limit Deteksi Dan Sensitivitas

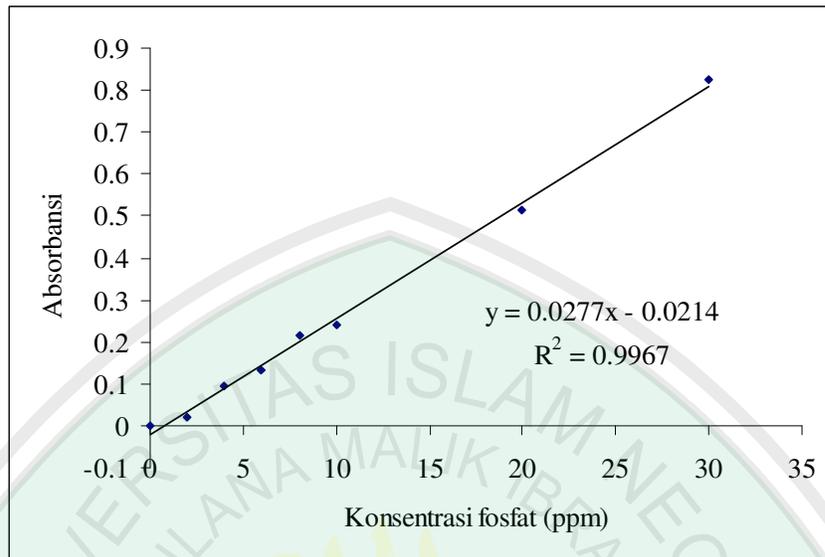
Sensitivitas didefinisikan sebagai besarnya *slope* dari kurva yang diperoleh bila besarnya sinyal analisis diplot terhadap konsentrasi yang dianalisis (Hidayat, 1987 dalam Yulianti, 2007: 55). Sensitivitas analisis mencerminkan kemampuan suatu metode analisis untuk diaplikasikan serta tingkat kesalahan yang mungkin dapat ditoleransi dalam suatu analisis. Kepekaan analisis atau sensitivitas dapat

dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis metode yang digunakan dan peralatan yang digunakan (Ibnu, dkk., 2005: 17).

Limit deteksi merupakan suatu bilangan yang menunjukkan batas konsentrasi terendah dari analit yang dapat terdeteksi dengan batas kepercayaan yang diinginkan, sehingga peneliti merasa yakin bahwa data yang diperoleh analisis berbeda secara statistik dari pengukuran blanko.

Penentuan limit deteksi dan sensitivitas bertujuan untuk mengetahui kemampuan metode untuk mendeteksi suatu komponen dalam sampel dan mengetahui batas konsentrasi minimum yang dapat terdeteksi. Penentuan ini dilakukan dengan membuat konsentrasi fosfat 0 ppm, 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm, 8 ppm, 10 ppm, 20 ppm dan 30 ppm dan dipreparasi sesuai dengan metode analisis fosfat secara spektrofotometri stano klorida.

Kurva penentuan sensitivitas dan limit deteksi metode spektrofotometri stano klorida pada panjang gelombang 705 nm dan kestabilan kompleks di antara 9 sampai 10 menit dengan beberapa variasi konsentrasi disajikan pada Gambar 4.6 dan data selengkapnya disajikan pada Lampiran 5.



Gambar 4.6 Kurva Sensitivitas dan Limit Deteksi Heterofosfomolibdat

Berdasarkan Gambar 4.6, diperoleh persamaan regresi sederhana $y = bx + a$ yang merupakan fungsi dari konsentrasi x , $y = 0,0277x - 0,0214$. y adalah nilai absorbansi dan x adalah konsentrasi fosfat dalam ppm. Persamaan regresi ini memiliki kemiringan (*slope*) yang menggambarkan kepekaan analisis sebesar 0,0277 dengan perpotongan (*intersep*) di sumbu y di titik -0,0214. Taraf kepercayaan terhadap pengukuran atau koefisien regresi yang menunjukkan linearitas kurva sebesar 0,9967. Persamaan regresi di atas memiliki perbedaan yang tidak signifikan dari nol sehingga kurva tersebut dapat dikatakan mempunyai hubungan linear dan sesuai dengan hukum Lambert Beer ($R^2 = 1$).

Kepekaan analisis fosfat dengan metode stano klorida pada panjang gelombang 705 nm dan waktu kestabilan tidak lebih dari 10 menit adalah 0,0277 ppm. Berdasarkan perhitungan limit deteksi pada Lampiran 6, diperoleh harga limit deteksi 1,9 ppm. Apabila dilihat dari harga koefisien regresi yang tinggi,

mendekati angka satu maka hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi fosfat menjadi sangat linear dan mendekati satu garis lurus, maka persamaan di atas berlaku sesuai dengan hukum Lambert Beer.

4.2 Koagulasi Sampel Buatan Menggunakan Koagulan Biji Kelor

Sampel buatan yang digunakan adalah larutan fosfat 16 ppm dan konsentrasi biji kelornya adalah 200 ppm. Koagulasi ini bertujuan untuk membandingkan hasil koagulasi antara sampel buatan dan limbah cair rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang, karena komposisi limbah cair rumah sakit sangat kompleks. Hasil penurunan konsentrasi fosfat pada sampel buatan disajikan pada Tabel 4.1, sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Pengamatan Koagulasi Sampel Buatan (Larutan fosfat 16 ppm dengan konsentrasi kelor 200 ppm)

Waktu	Fosfat Rerata	Fosfat Terkoagulasi	Persentase Penurunan	Konduktifitas Rerata	pH Rerata
0	15,935	0	0	0,98	7,01
15	15,484	0,45	2,83	0,98	6,93
30	14,942	0,92	5,8	0,94	6,87
60	14,31	1,55	9,79	0,93	6,82
90	14,04	1,86	11,69	0,91	6,79
120	13,282	2,54	16,08	0,85	6,71

Sumber: Data penelitian (diolah)

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa biji kelor berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi fosfat dengan variasi waktu pengendapan 0, 15, 30, 60, 90, dan 120 menit. Berdasarkan Tabel 4.1, dapat dinyatakan bahwa dengan pemberian dosis biji kelor 200 ppm mampu menurunkan konsentrasi fosfat sebesar 2,54 ppm atau 16,08 %. Penurunan konsentrasi ini relatif kecil karena biji kelor kurang efektif

sebagai koagulan jika sampel mempunyai nilai turbiditas (kekeruhan) yang rendah (Katayon, et al., 2004: 150). Penurunan konsentrasi yang terjadi karena destabilisasi koloid dengan pengurangan gaya repulsi antara ion fosfat dan terjadi proses jembatan antar partikel. Ndabingengesere (1995: 708) dan Katayon (2004: 151) menyatakan bahwa mekanisme koagulasi biji kelor didominasi oleh proses adsorpsi dan penetralan muatan. Semakin besar energi tarikan, maka jarak muatan antar partikel semakin berkurang sehingga terjadi penipisan lapisan difusi ganda. Semakin netral muatan koloid, maka akan membentuk flok-flok dan akhirnya mengendap.

Penurunan konsentrasi fosfat ini didukung dengan penurunan nilai konduktifitas sampel menjadi 0,85 mS/cm yang menunjukkan adanya pengurangan mobilitas ion fosfat. Pemberian biji kelor menyebabkan muatan ion fosfat saling bergerak ke arah yang berlawanan kemudian berikatan, sehingga mobilitas ion bergerak lambat. Jika mobilitas ion berkurang, maka konduktifitas juga berkurang (Atkins, 1990: 313).

Konduktifitas larutan sangat dipengaruhi oleh kehadiran besarnya konsentrasi, gerakan ion yang ditimbulkan dan suhu pada saat pengukuran (Hidayat, 2006: 143). Atkins (1990: 302-307) juga menyatakan bahwa konduktifitas sangat tergantung pada mobilitas ion, semakin besar mobilitas ion semakin besar pula konduktifitasnya.

Radojevic (1999: 168-169) menyatakan bahwa ion H^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , dan HCO_3^- mempunyai pengaruh yang besar pada nilai konduktifitas,

sedangkan ion-ion seperti Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Al^{3+} , NO_3^- , HPO_4^{2-} , dan H_2PO_4^- mempunyai pengaruh yang kecil pada nilai konduktifitas dalam pelarut air.

Pemberian biji kelor menyebabkan penurunan pH menjadi lebih asam sekitar 7,01 berubah menjadi 6,71, hal ini diperkuat dengan Hidayat (2006) menyatakan bahwa pH sampel air sungai Lengi berubah dari 7,03 menjadi 6,84 setelah ditambahkan koagulan biji kelor sebanyak 30 ppm. Perubahan pH diduga karena adanya gugus karboksil asam amino dalam biji kelor yang melepaskan ion H^+ dalam suasana asam. Katayon (2004: 149) menyatakan bahwa penurunan pH yang relatif kecil terjadi setelah proses koagulasi biji kelor antara pH 6,5-7,0, hal ini dikarenakan ion hidrogen (H^+) dari asam lemah pada biji kelor yang seimbang dengan ion hidroksida pada sampel.

4.3 Pengendapan Limbah Cair Rumah Sakit Tanpa Biji Kelor

Pengendapan limbah cair rumah sakit tanpa penambahan biji kelor berfungsi sebagai larutan kontrol. Pembuatan larutan kontrol bertujuan mengontrol penurunan sekaligus membandingkan penurunan konsentrasi fosfat atau perubahan yang terjadi pada sampel limbah cair rumah sakit Dr. Saiful Anwar Malang, sehingga dapat meminimasi kesalahan analisa. Larutan kontrol dilakukan di setiap konsentrasi biji kelor pada pengukuran fosfat limbah cair rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang. Hasil pengamatan larutan kontrol yang diperoleh disajikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Pengamatan Konsentrasi Fosfat Dalam Larutan Kontrol

Kontrol Pada Dosis Kelor	Menit ke-	PO ₄ ³⁻	Fosfat total	Konduktifitas	pH
200	0	16,116	29,148	1,35	6,99
	15	16,007	29,148	1,35	7,05
	30	15,899	29,256	1,35	7,05
	60	16,079	28,931	1,35	7,03
	90	15,863	28,57	1,35	6,98
	120	15,899	28,895	1,36	7,05
250	0	16,116	29,401	1,35	6,98
	15	16,116	28,968	1,35	7,06
	30	16,116	28,209	1,36	7,1
	60	16,152	29,22	1,35	7,09
	90	15,935	29,184	1,35	6,8
	120	15,935	29,112	1,35	6,89
300	0	16,116	29,112	1,35	6,99
	15	16,007	28,931	1,36	6,81
	30	15,935	27,993	1,35	7,02
	60	15,935	28,57	1,35	6,87
	90	15,682	28,931	1,35	6,8
	120	15,863	28,751	1,35	6,87
350	0	16,043	29,401	1,35	7,01
	15	16,007	29,148	1,36	7,03
	30	15,213	28,209	1,35	7,03
	60	15,935	27,957	1,35	6,91
	90	15,574	27,848	1,35	6,94
	120	15,863	28,931	1,36	7,04
400	0	16,152	29,401	1,35	7,01
	15	16,152	28,968	1,36	7,02
	30	16,152	28,57	1,35	6,93
	60	16,007	29,148	1,35	6,93
	90	16,043	28,931	1,35	6,93
	120	16,043	28,606	1,36	7,01

Sumber: Data penelitian (diolah)

Berdasarkan Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa pengendapan limbah cair rumah sakit tanpa penambahan biji kelor tidak berpengaruh signifikan terhadap konsentrasi fosfat (PO₄³⁻) maupun fosfat total, hal ini dikarenakan fosfat membentuk koloid yang stabil. Nilai pH limbah rumah sakit pun tidak mengalami penurunan yang besar antara 6,8-7,0, hal ini dikarenakan tidak ada perubahan

bentuk fosfat dalam rentang pH tersebut yaitu H_2PO_4^- dan sebagian kecil dalam bentuk HPO_4^{2-} (Radojevie, et al., 2004: 236). Nilai konduktifitas limbah cair rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang juga tidak mengalami perubahan yang signifikan, tetapi jika hasil ini dibandingkan dengan data nilai konduktifitas pada Tabel 4.1, maka nilai konduktifitas kontrol lebih tinggi. Perbedaan nilai konduktifitas sebesar 0,4 mS/cm dikarenakan ion fosfat dalam air tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai konduktifitas. Kenaikan nilai konduktifitas pada larutan kontrol dikarenakan banyaknya kandungan mineral atau ion-ion seperti Ca^{2+} , Na^+ , maupun H^+ yang memberikan pengaruh yang besar terhadap nilai konduktifitas (Katayon, 2004: 168-169).

4.4 Penentuan Keadaan Optimum Koagulasi Menggunakan Biji Kelor

4.4.1 Penentuan Dosis Dan Waktu Pengendapan Optimum Biji Kelor

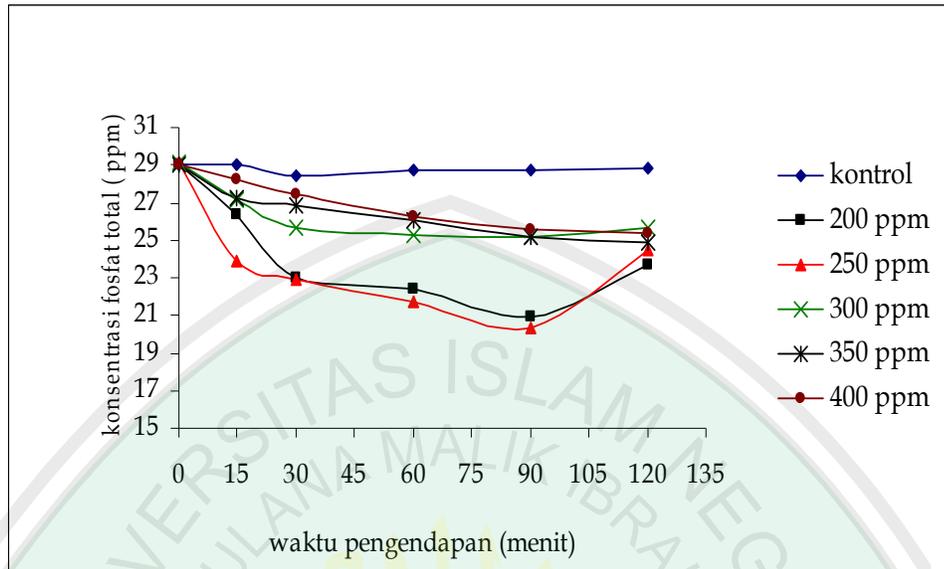
Penentuan dosis optimum koagulan kelor bertujuan untuk mengetahui dosis optimum koagulan biji kelor dalam mengurangi konsentrasi fosfat dalam limbah cair rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang. Dosis optimum koagulan merupakan dosis koagulan biji kelor dengan nilai penurunan konsentrasi fosfat terbesar, sedangkan penentuan waktu pengendapan optimum bertujuan untuk menentukan waktu pengendapan optimum fosfat pada limbah cair rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang menggunakan biji kelor.

Preparasi biji kelor dilakukan dengan memilih biji kelor yang sudah tua karena biji tersebut memiliki kualitas yang bagus dengan kandungan protein yang banyak. Konsentrasi protein yang tinggi di dalam biji kelor oleh Jahn (1986) dalam Hidayat (2006) dinyatakan sebagai flokulan polielektrolit kationik alami

berbasis polipeptida dengan berat molekul berkisar antara 6.000-16.000 dalton, kemudian dikupas kulit arinya karena biji kelor (biji dalam) memiliki protein yang cukup tinggi dibandingkan tanpa dikupas. Hidayat (2006) menyatakan bahwa konsentrasi protein dari biji kelor (biji dalam) sebesar 147.280 ppm/gram, dari kulit biji kelor sebesar 15.680 ppm/gram, dan dari kulit biji kelor sebesar 73.547 ppm/gram.

Penghalusan biji kelor bertujuan untuk memperbesar luas permukaan biji kelor sehingga semakin besar intensitas tumbukan antara fosfat dan biji kelor. Biji kelor dengan variasi dosis 200, 250, 300, 350, dan 400 ppm diinteraksikan dengan fosfat, kemudian diaduk dengan waktu pengadukan cepat 0,5 menit dan 5 menit pengadukan lambat. Pengadukan cepat bertujuan untuk memberikan kontribusi tumbukan antara koloid fosfat dan koagulan sehingga terjadi destabilisasi koloid fosfat yang bermuatan negatif oleh koagulan kelor yang bermuatan positif. Koagulasi akan menghasilkan agregat kecil-kecil dihasilkan pada pengadukan cepat. Pengadukan lambat bertujuan untuk memberikan waktu untuk terjadi proses flokulasi yaitu terbentuknya flok-flok yang lebih besar sehingga membentuk endapan, kemudian dilakukan variasi waktu pengendapan 0, 15, 30, 60, 90, dan 120 menit.

Hasil penentuan dosis dan waktu pengendapan optimum biji kelor dalam menurunkan kadar fosfat total ditunjukkan pada Lampiran 8 dan dibuat grafik pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Perubahan Dosis Dan Waktu Pengendapan Kelor Terhadap Fosfat Total

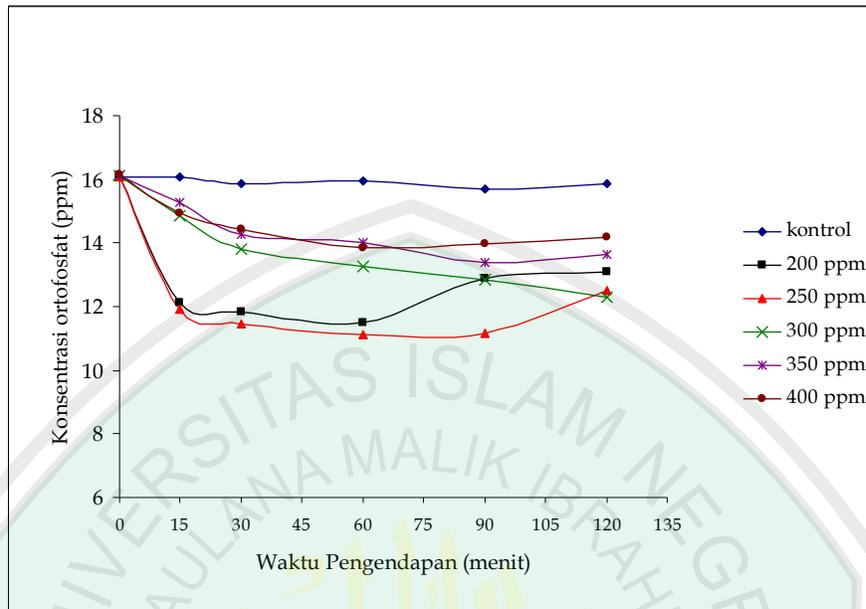
Data yang diperoleh pada dosis 200 ppm memiliki waktu pengendapan optimum pada menit ke-90 dengan penurunan sebesar 8,068 ppm atau 27,04 %. Pada dosis 250 ppm waktu pengendapan optimum terjadi pada menit ke-90 dengan penurunan sebesar 8,754 atau 30,15 %, sedangkan dosis 300 ppm waktu pengendapan optimum terjadi pada menit ke-90 dengan penurunan sebesar 3,862 ppm atau 13,31 %. Pada dosis 350 ppm waktu pengendapan optimum terjadi pada menit ke-120 dengan penurunan sebesar 4,296 ppm atau 14,75 %, sedangkan dosis 400 ppm waktu pengendapan terjadi pada menit ke-120 dengan penurunan sebesar 3,7 ppm atau 12,72 %. Penurunan konsentrasi yang kecil ini juga dipengaruhi oleh elektrolit anionik lainnya yang ikut terkoagulasi.

Teknik analisa data penentuan dosis dan waktu pengendapan optimum dilakukan dengan uji statistik yang meliputi dua tahap yaitu tahap uji pendahuluan

dan uji lanjutan. Tahap pendahuluan yang digunakan adalah uji ANOVA dua arah karena adanya dua penentuan kondisi optimum dalam satu perilaku terhadap penurunan konsentrasi fosfat. Analisa data dilanjutkan dengan uji BNT untuk mengetahui beda nyata terkecil pengaruh dari seluruh variasi dosis (200 ppm, 250 ppm, 300 ppm, 350 ppm, dan 400 ppm) biji kelor mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap penurunan konsentrasi fosfat. Pada dosis 200 dan 250 ppm memberikan penurunan konsentrasi yang paling besar, tetapi dari hasil uji BNT pada konsentrasi 200 ppm dan 250 ppm tidak memberikan beda nyata sehingga dosis efektif atau optimum yang digunakan untuk penentuan pH optimum adalah pada dosis 200 ppm.

Hasil uji ANOVA dua arah variasi waktu pengendapan menunjukkan bahwa adanya pengaruh antara variasi waktu pengendapan yang dilakukan, sedangkan hasil BNT menunjukkan bahwa pada menit ke-90 memberikan beda nyata diantara variasi waktu pengendapan sehingga waktu pengendapan optimum terjadi pada menit ke-90. Uji ANOVA dua arah selengkapnya ada pada lampiran 14.

Hasil penentuan dosis dan waktu pengendapan optimum biji kelor dalam menurunkan kadar ortofosfat ditunjukkan pada Lampiran 9 dan dibuat grafik pada Gambar 4.8.

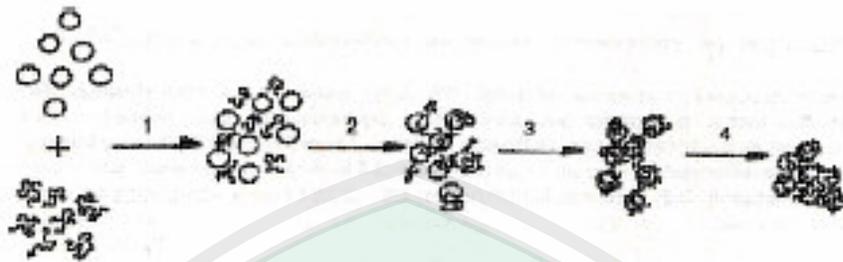


Gambar 4.8 Perubahan Dosis Dan Waktu Pengendapan Kelor Terhadap Ortofosfat

Berdasarkan Gambar 4.8, tampak bahwa variasi dosis kelor dan waktu pengendapan memberikan pengaruh terhadap konsentrasi ortofosfat (biasa disebut dengan fosfat saja) tetapi tidak signifikan. Data yang diperoleh pada dosis 200 ppm memiliki waktu pengendapan optimum pada menit ke-90 dengan penurunan sebesar 3,195 ppm atau 29,87 %, sedangkan pada dosis 250 ppm waktu pengendapan optimum terjadi pada menit ke-60 dengan penurunan sebesar 4,97 ppm atau 30,74 %. Pada dosis 300 ppm waktu pengendapan optimum terjadi pada menit ke-120 dengan penurunan sebesar 3,83 ppm atau 23,74 %, sedangkan pada dosis 350 ppm waktu pengendapan optimum terjadi pada menit ke-90 dengan penurunan sebesar 2,65 ppm atau 16,54 %. Pada dosis 400 ppm waktu pengendapan terjadi pada menit ke-60 dengan penurunan sebesar 2,22 ppm atau 13,81 %.

Berdasarkan data yang diperoleh, penurunan konsentrasi fosfat maupun fosfat total dalam limbah cair rumah sakit disebabkan adanya proses koagulasi antara biji kelor dengan fosfat. Terjadinya koagulasi ini disebabkan adanya destabilisasi koloid atau pengurangan gaya repulsi (tolakan) dari koloid fosfat. Destabilisasi koloid dapat terjadi karena adanya penambahan koagulan biji kelor yang mempunyai muatan yang berbeda dengan fosfat. Penggumpalan fosfat dengan biji kelor terjadi karena adanya gaya adsorpsi (tarik-menarik) antara polielektrolit kationik (NH_3^+) yang terdapat di biji kelor dengan partikel-partikel fosfat (H_2PO_4^-), sehingga akhirnya membentuk suatu jembatan antar muatan partikel dan membentuk agregat yang besar, hal ini didukung oleh Pernitsky (2003: 2) yang menyatakan bahwa mekanisme koagulasi terdiri dari empat proses, antara lain: penjaringan dalam partikel, adsorpsi, penetralan muatan, dan presipitasi.

Polielektrolit merupakan bagian dari polimer khusus yang dapat terionisasi dan mempunyai kemampuan untuk membuat terjadinya suatu flokulasi dalam medium cair. Protein dalam biji kelor merupakan salah satu contoh dari polielektrolit. Kennedy (2001) dalam Widodo (2005: 7) menjelaskan bahwa koagulasi yang disebabkan oleh polielektrolit meliputi empat tahap yaitu: 1) Dispersi dari polielektrolit dalam suspensi, 2) Adsorpsi antara permukaan solid-liquid, 3) Kompresi atau pemeraman dari polielektrolit yang teradsorpsi dan 4) Koalisi atau penyatuan dari masing-masing polielektrolit yang telah terlingkupi oleh partikel untuk membentuk flok-flok kecil dan berkembang menjadi flok yang lebih besar. Keempat proses tersebut digambarkan dalam Gambar 4.9.



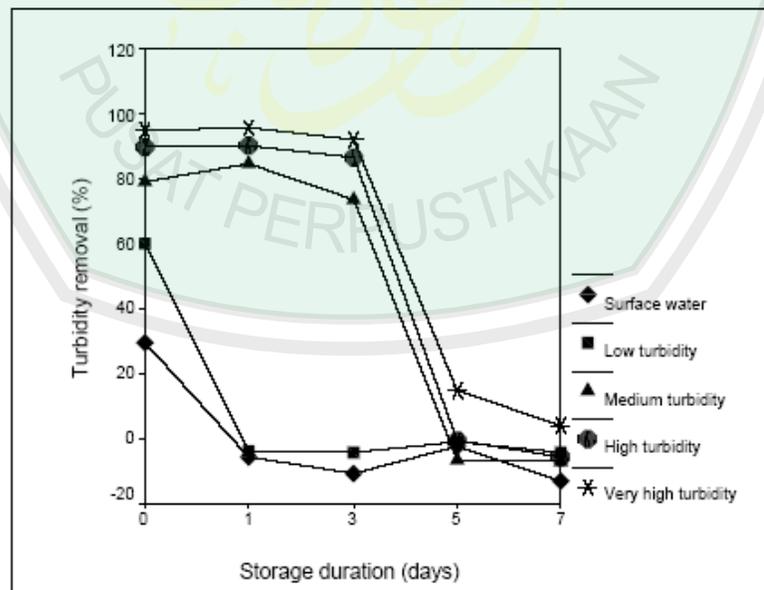
Gambar 4.9 Tahap Tahap Koagulasi Polielektrolit Biji Kelor
(Sumber: Kennedy, dkk. 2001 dalam Widodo, dkk., 2005: 7).

Penambahan biji kelor berpengaruh tidak signifikan secara statistik terhadap penurunan konsentrasi fosfat, baik dalam bentuk ortofosfat maupun fosfat total, jika hasil ini dibandingkan dengan data pada Tabel 4.1, maka penurunan konsentrasi fosfat mengalami penurunan. Peningkatan kembali konsentrasi fosfat seiring dengan peningkatan dosis biji kelor maupun waktu pengendapan, hal ini diduga karena lemahnya interaksi antara fosfat dengan biji kelor dan adanya kompetisi antara polielektrolit anionik lainnya yang terkandung dalam limbah cair rumah sakit untuk terikat atau terkoagulasi dengan biji kelor, hal ini seperti yang diungkapkan oleh Raju (1995) dalam Hidayat (2006: 28) yang menjelaskan bahwa interaksi antara fosfat dengan biji kelor adalah gaya van der Waals. Companion (1991: 101-103), menyatakan gaya van der Waals merupakan gaya terlemah dan gaya universal yang dapat bekerja pada jarak yang tidak dapat menyebabkan pertumpangtindihan atau pengalihan elektron, gaya ini hanya mempunyai energi yang kecil yaitu sekitar 0,4 sampai 40 kJ/mol yang tidak cukup untuk menghasilkan pemutusan ikatan. Lemahnya energi yang dimiliki oleh gaya

van der Waals antara biji kelor dengan fosfat mengakibatkan fosfat mudah terlepas kembali.

Peningkatan kembali kadar fosfat diduga karena batas pengecilan lapisan difusi telah mencapai titik maksimum, potensial zeta lebih dari nol dan gaya van der Waals menjadi lemah (Linggawati, 2002). Khalil dan Aly (2001) dalam Linggawati (2002: 6) menyatakan bahwa flokulasi maksimum terjadi pada saat harga potensial zeta menuju nol.

Peningkatan kembali konsentrasi fosfat juga dikarenakan lamanya waktu pengendapan. Katayon, et al. (2004: 149) menyatakan bahwa pengendapan atau penyimpanan biji kelor dan tingkat kekeruhan sampel juga berpengaruh terhadap efektifitas koagulasi biji kelor, semakin lama penyimpanan biji kelor, maka semakin kecil penurunan kekeruhan, seperti disajikan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Hubungan Lamanya Penyimpanan Biji Kelor Dengan Efisiensi Kekeruhan (Sumber: Katayon, et al., 2004: 149)

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa efektifitas koagulasi biji kelor menuju titik nol seiring dengan bertambahnya lama penyimpanan biji kelor, hal ini sesuai dengan hasil penelitian yaitu rata-rata pada menit ke-90, persentase penurunan fosfat berkurang. Kekeruhan sampel juga berpengaruh terhadap efektifitas koagulasi biji kelor. Biji kelor akan memberikan hasil penurunan nilai kekeruhan yang besar terhadap sampel yang memiliki kekeruhan yang tinggi.

Hidayat (1996) dalam Hidayat (2006: 136) menyatakan bahwa penambahan koagulan biji kelor yang berlebih dapat menyebabkan kekeruhan kembali air baku yang dijernihkan. Penambahan biji kelor yang berlebih dapat menyebabkan jarak antar muatan bertambah dan gaya repulsi antar muatan yang sama bertambah. Hal ini juga diperkuat oleh Migo, dkk., (1993) dalam Novita (2001) yang menjelaskan adanya adsorpsi dari kation berlebih dapat menyebabkan terjadinya deflokulasi atau restabilisasi koloid karena adanya gaya tolak menolak antara muatan positif partikel.

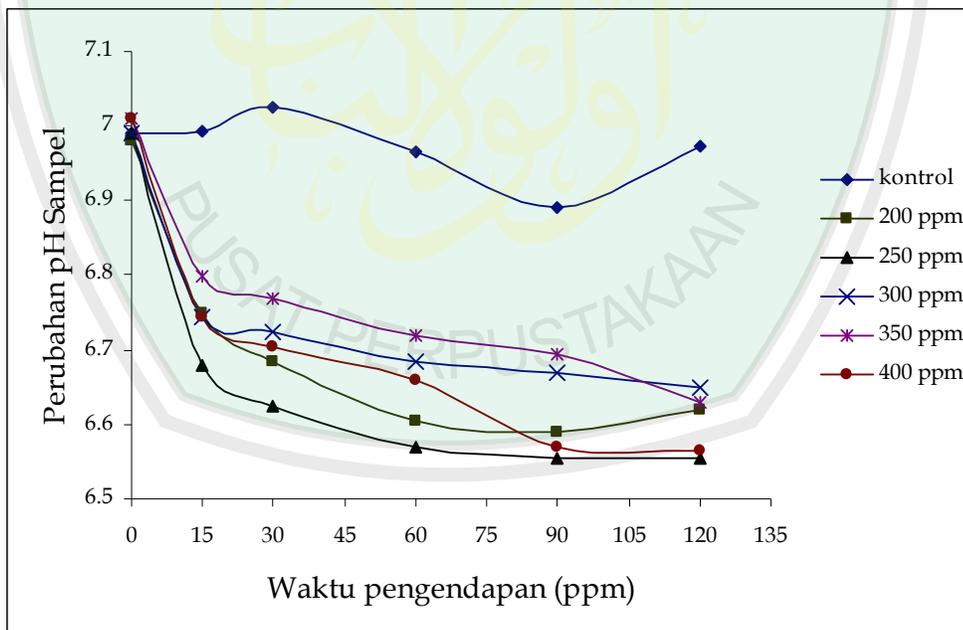
Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan Hidayat (2006: 133) tentang keelektronegatifan protein biji kelor yang didukung dengan alat Elphor Micro Rapid System dari Bender and Hobein diketahui bahwa terdapat protein yang bermuatan positif di dalam biji kelor, dan memiliki konsentrasi yang cukup tinggi yaitu sebesar 147.280 ppm/gram. Protein ini berfungsi sebagai polielektrolit kationik alami berbasis polipeptida dengan berat molekul sekitar antara 6.000-16.000 dalton. Faktor lain yang mungkin mempengaruhi adalah adanya partikel-partikel koloid yang terikat erat dengan molekul air (limbah cair rumah sakit

umum Dr. Saiful Anwar Malang) yang berkompetensi untuk berikatan dengan biji kelor.

Proses koagulasi sangat tergantung dari kecepatan pengadukan. Kurangnya kecepatan pengadukan dapat mengakibatkan pembentukan flok-flok kurang baik, sebaliknya jika kecepatan pengadukan terlalu besar dapat mengakibatkan terpecahnya kembali flok-flok yang terjadi.

4.4.2.1 Pengaruh Penambahan Dosis Biji Kelor Dan Waktu Pengendapan Terhadap Perubahan pH

Hasil pengukuran pH setelah diinteraksikan dengan biji kelor disajikan pada Gambar 4.11.

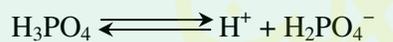


Gambar 4.11 Kurva Perubahan pH Setelah Diinteraksikan Dengan Biji Kelor

Gambar 4.11 menunjukkan bahwa terjadi perubahan pH setelah pemberian biji kelor selama variasi waktu pengendapan tetapi tidak signifikan. Perubahan pH terjadi di sekitar 6,6 sampai dengan 6,9 sedangkan pH awal sekitar pH 7,0. Hidayat (2006: 137).

Perubahan pH semakin asam dengan bertambahnya waktu pengendapan, hal tersebut dapat terjadi karena dengan bertambahnya dosis biji kelor. Perubahan pH ini juga dipengaruhi oleh biji kelor karena biji kelor merupakan protein yang memiliki asam lemah yang dapat melepaskan ion H^+ dalam medium air, sehingga banyak biji kelor akan menambah pH sampel (Katayon, et al., 2004)

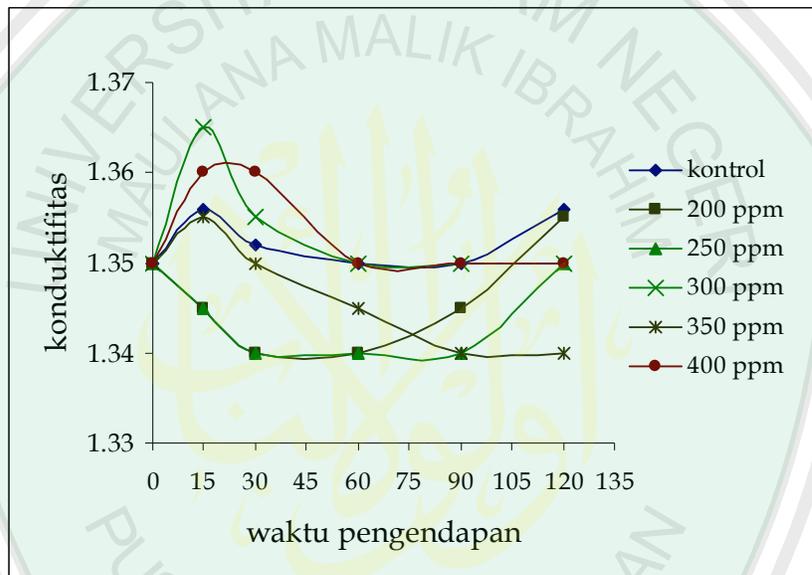
Fosfat dalam medium air pada pH 7 dapat berdisosiasi membentuk senyawa $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , dan PO_4^{3-} yang menghasilkan ion H^+ dengan bertahap, sehingga pH sampel semakin asam (Radojovic, et al., 1999: 237).



Data yang disajikan pada Gambar 4.11, jika dibandingkan dengan data pada Tabel 4.1 yang menunjukkan bahwa pH sampel akan bertambah asam seiring dengan penambahan dosis biji kelor. Tetapi, penambahan biji kelor yang berlebih menyebabkan kenaikan kembali pH sampel. Perubahan pH mengalami kenaikan menuju pH netral, hal ini disebabkan karena adanya gugus fenol dan amoniak yang terkandung dalam limbah cair rumah sakit yang lebih bersifat basa dalam medium air.

4.4.2.2 Pengaruh Penambahan Dosis Biji Kelor Dan Waktu Pengendapan Terhadap Perubahan Konduktifitas

Penentuan konduktifitas dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap penambahan dosis biji kelor dan waktu pengendapan. Hasil pengukuran konduktifitas setelah diinteraksikan dengan biji kelor disajikan pada Gambar 4.12 dan data selengkapnya pada Lampiran 10.



Gambar 4.12 Kurva Perubahan Konduktifitas

Konduktifitas merupakan kemampuan suatu larutan untuk menghantarkan aliran listrik dengan satuan milisiemens per cm (mS/cm) yang dahulu dikenal sebagai ohm (Ω) (Atkin, 1999: 303).

Berdasarkan data pada Gambar 4.12, konduktifitas sampel mengalami penurunan walaupun penurunannya tidak signifikan. Konduktifitas awal sampel adalah 1,35 mS/cm, setelah diinteraksikan dengan biji kelor sebesar 200 ppm dan 250 ppm dengan waktu pengendapan 30 menit nilai konduktifitas mengalami

penurunan menjadi 1,34 mS/cm. Penurunan ini menyatakan bahwa berkurangnya mobilitas fosfat karena terkoagulasi dengan biji kelor, tetapi fosfat bukanlah satu-satunya ion yang mempengaruhi konduktifitas sampel sehingga penurunan konduktifitas sangat kecil. Fosfat merupakan ion mikro yang dapat mempengaruhi nilai konduktifitas, sehingga penambahan ataupun pengurangan kadar fosfat berpengaruh sedikit pada nilai konduktifitas sampel.

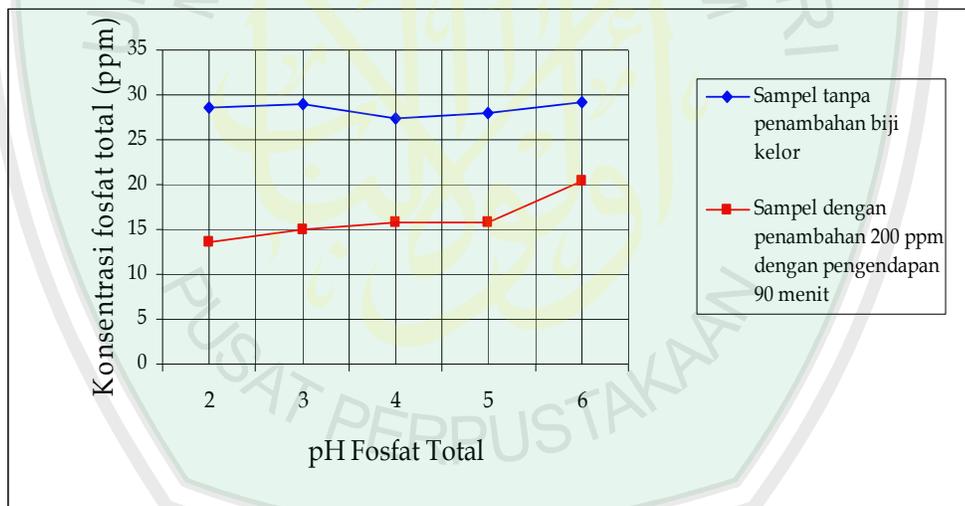
Penambahan waktu pengendapan juga mempengaruhi nilai konduktifitas, jika dibandingkan dengan data pada Tabel 4.1 yang menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai konduktifitas seiring dengan penambahan waktu pengendapan, maka dimungkinkan adanya mobilitas ion yang bergerak cepat selain ion fosfat sendiri. Pengukuran konduktifitas dipengaruhi oleh adanya interaksi ion-ion. Ketika elektrolit dimasukkan ke dalam larutan yang berion maka ion yang terdapat dalam larutan akan mengalami medan listrik seragam yaitu kation akan bereaksi dengan percepatan menuju elektroda negatif dan anion bereaksi menuju elektroda positif. Mobilitas ion-ion ini akan menambah nilai konduktifitas larutan, tetapi ion-ion akan mengalami tumbukan antara ion pelarut yang dapat memperlambat sebanding dengan kecepatannya. sehingga konduktifitas akan berkurang dengan bertambahnya viskositas pelarut dan ukuran ion (Atkin, 1999: 307-13).

Berdasarkan data pada Gambar 4.12, penambahan dosis dan waktu pengendapan selanjutnya mengalami peningkatan konduktifitas, hal ini diduga karena adanya ion-ion lainnya yang terdapat di dalam sampel. Peningkatan kembali nilai konduktifitas melebihi konduktifitas awal dimungkinkan karena pelepasan kembali elektrolit-elektrolit selain fosfat yang terkoagulasi seiring

dengan penambahan dosis biji kelor, selain itu biji kelor merupakan polielektrolit sehingga penambahan biji kelor akan menambah jumlah ion-ion dalam sampel dan nilai konduktivitas pun akan meningkat.

4.4.3 Penentuan pH Optimum Koagulasi Fosfat Menggunakan Biji Kelor

Tahap penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pH optimum koagulasi biji kelor terhadap fosfat. pH optimum merupakan pH dengan persentase penurunan kadar fosfat paling tinggi. Hasil pengaruh variasi pH terhadap penurunan konsentrasi fosfat total disajikan pada Gambar 4.13.

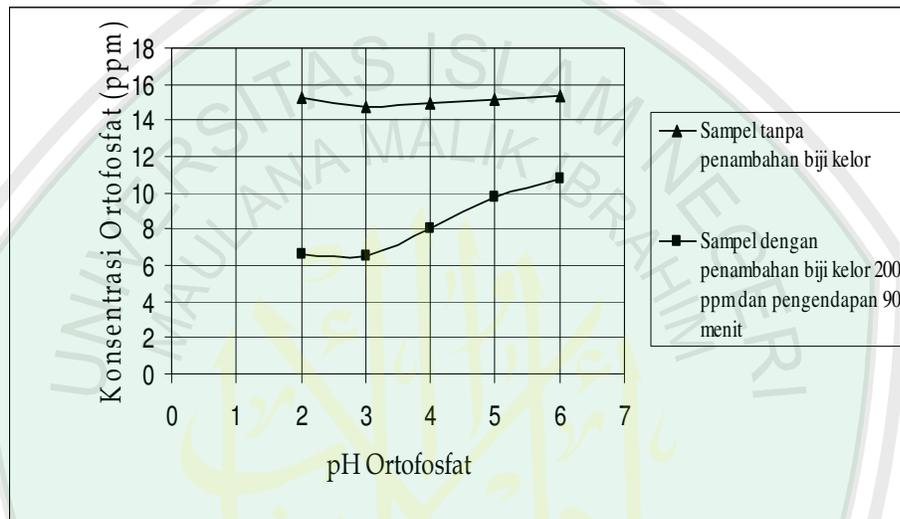


Gambar 4.13 Pengaruh Variasi pH Terhadap Konsentrasi Fosfat Total

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa pada pH 6 terjadi penurunan konsentrasi fosfat total sebesar 7,46 ppm atau 25,62 %. Pada pH 5 terjadi penurunan konsentrasi fosfat total sebesar 11,39 ppm atau sebesar 40,53 %, sedangkan pada pH 4 terjadi penurunan sebesar 11,89 ppm atau sebesar 42,98 %.

Pada pH 3 terjadi penurunan sebesar 14,09 ppm atau 48,47 %, sedangkan pada pH 2 terjadi penurunan sebesar 14,92 ppm atau 52,31 %.

Hasil pengaruh variasi pH terhadap penurunan konsentrasi fosfat total disajikan pada Gambar 4.14.

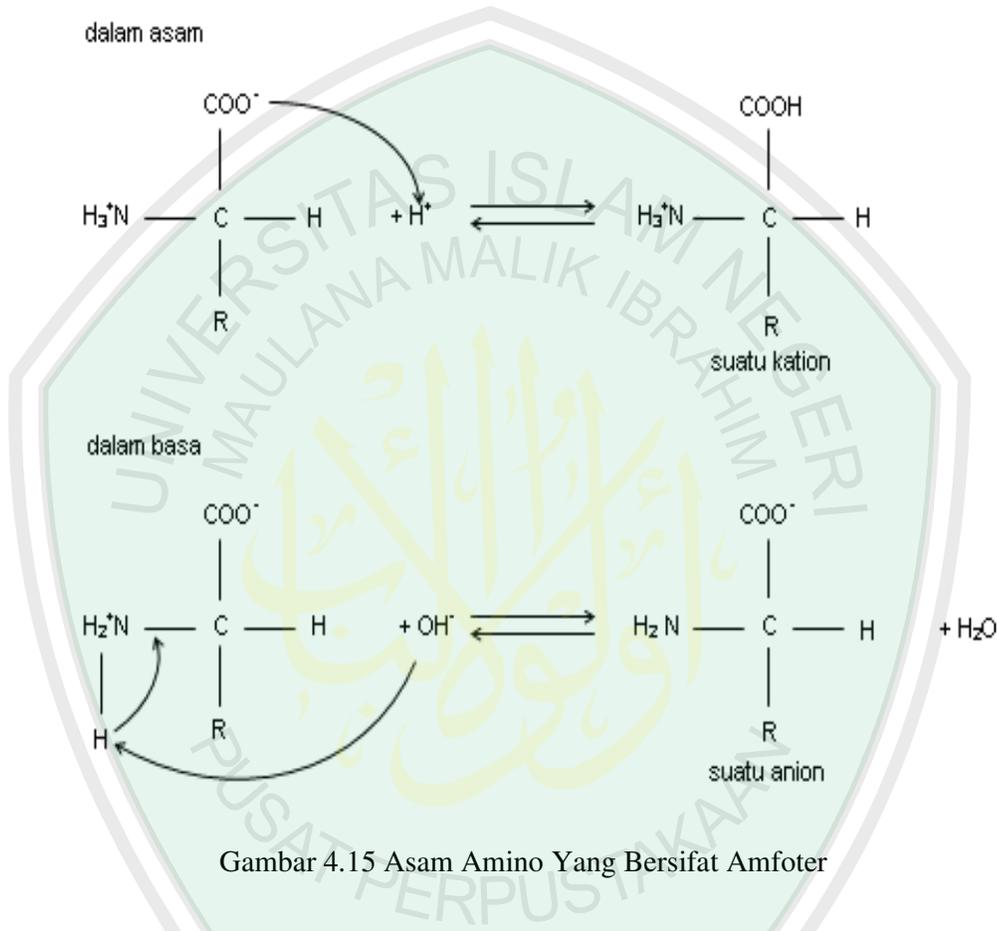


Gambar 4.14 Pengaruh Variasi pH Terhadap Konsentrasi Ortofosfat

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa pada pH 6 terjadi penurunan konsentrasi fosfat total sebesar 4,58 atau 29,78 %. Pada pH 5 terjadi penurunan konsentrasi fosfat sebesar 5,36 atau sebesar 35,41 %, sedangkan pada pH 4 terjadi penurunan sebesar 6,93 atau sebesar 46,22 %. Pada pH 3 terjadi penurunan sebesar 8,27 atau 56,07 %, sedangkan pada pH 2 terjadi penurunan sebesar 8,64 atau 56,70 %.

Penurunan konsentrasi fosfat setelah dinteraksikan dengan biji kelor dikarenakan pada suasana asam, ion asam amino dari protein biji kelor akan membentuk senyawa kationik (NH_3^+), sedangkan fosfat dalam suasana asam

membentuk senyawa anionik, seperti: H_2PO_4^- sehingga terjadi gaya tarik menarik van der Waals antara polielektrolit kationik asam amino dan polielektrolit anionik fosfat.

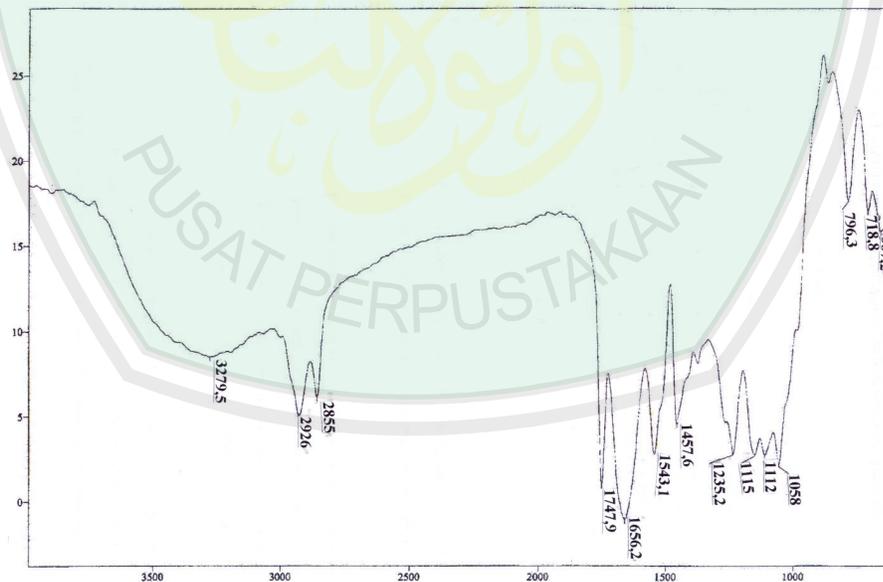


Gambar 4.15 Asam Amino Yang Bersifat Amfoter

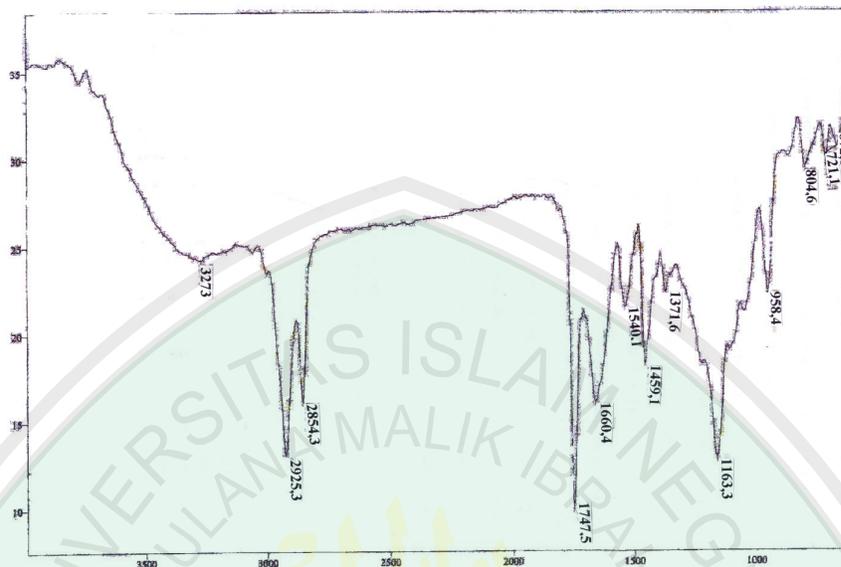
Penurunan konsentrasi fosfat paling besar pada pH 2, hal ini dikarenakan pembentukan polielektrolit kationik gugus $-\text{NH}_3^+$ pada pH 2 sudah terbentuk sempurna sehingga mampu mengendapkan fosfat lebih besar, sedangkan pada rentang pH 2-6 fosfat berbentuk H_2PO_4^- . Konsentrasi fosfat pada pH 3 sampai 6 terjadi penurunan yang tidak terlalu signifikan karena pada pH tersebut gugus $-\text{NH}_3^+$ dimungkinkan semakin menurun dan gugus $-\text{NH}_2$ semakin meningkat.

4.5 Karakteristik Serbuk Biji Kelor Menggunakan FTIR

Identifikasi menggunakan spektrofotometri inframerah (IR) bertujuan untuk mendapatkan keterangan tentang keberadaan gugus fungsional dari suatu molekul, hal ini dikarenakan setiap gugus fungsional memiliki daerah vibrasi yang khas (Sastrohamidjojo, 1992: 2). Koagulasi fosfat oleh biji kelor diperkirakan terjadi akibat keberadaan protein dari biji kelor yang aktif berikatan dengan fosfat. Berdasarkan komposisi yang ada biji kelor memiliki kandungan protein yang cukup besar, hal ini perlu dikaji dengan melakukan karakterisasi terhadap serbuk biji kelor sebelum dan sesudah diinteraksikan dengan fosfat dengan pengamatan IR. Spektra serbuk biji kelor dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan 4.17, sebagai berikut:



Gambar 4.16 Spektra Serbuk Biji Kelor Sebelum Diinteraksikan Dengan Fosfat (Sumber: Yulianti, 2007).



Gambar 4.17 Spektra Serbuk Biji Kelor Sesudah Diinteraksikan Dengan Fosfat (Sumber: Yulianti, 2007).

Berdasarkan spektra di atas, terdapat perbedaan serapan antara serbuk biji kelor sebelum dan sesudah digunakan untuk koagulan fosfat. Spektra serbuk biji kelor sebelum digunakan sebagai koagulan fosfat menunjukkan serapan pada daerah $3279,5 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan adanya gugus OH yang terikat hidrogen secara intermolekuler (satu molekul atau molekul lain sejenis atau berbeda) dengan intensitas serapan lemah. Socrates (1994) menyatakan vibrasi rentangan $3550\text{-}3230 \text{ cm}^{-1}$, namun sedikit mengalami pergeseran bilangan gelombangnya menjadi 3273 cm^{-1} . Gugus karbonil C=O ditunjukkan oleh serapan pada bilangan gelombang $1747,9 \text{ cm}^{-1}$ gugus ester, hal yang sama juga terjadi pada serbuk biji kelor sesudah diinteraksikan dengan fosfat, tetapi mengalami sedikit pergeseran menjadi $1747,5 \text{ cm}^{-1}$.

Data bilangan gelombang (cm^{-1}) dan jenis vibrasi dari biji kelor sebelum dan sesudah diinteraksikan dengan senyawa fosfat disajikan dalam dalam Tabel 4.3, sebagai berikut:

Tabel 4.3 Nilai Bilangan Panjang Gelombang Biji Kelor Berdasarkan Pengujian Dengan Spektrofotometri Inframerah.

No	Kelor	Kelor + Fosfat	Range (cm ⁻¹)	Intensitas	Jenis Vibrasi
1	3279,5	3273	3550-3250	sedang-lemah	OH dari H yang terikat pada OH secara intermolekuler
2	2926	2925,3	2940-2915	Sedang-tajam	Rentangan -CH ₂ - asimetri
3	2855	2854,3	3000-2800	tajam	Rentangan C-H, CH aromatik
4	1747,9	1747,5	1750-1725	tajam	Rentangan C=O (ester)
5	1656,2	1660,4	1680-1630	tajam	Rentangan C=O amida sekunder
6	1543,1	1540,1	1590-1500	sedang	Rentangan NH deformasi dari amida
7	1457,6	1459,1	1480-1440	sedang	Vibrasi gunting -CH ₂ - dari alkana
8	-	1371,6	1390-1370	sedang	Rentangan -CH simetri deformasi
9	1235,2	-	1270-1030	tajam	Rentangan C-O dari aromatik
10	-	1163,3	1250-1150	Sangat tajam	Rentangan P=O dari fosfat
11	1151	-	1140-820	sedang - tajam	Rentangan C-O simetri dari eter
12	1112	-	1140-820	sedang - tajam	Rentangan C-O simetri dari eter
13	1058	-	1085-1030	tajam	Rentangan alkohol -OH primer
14	-	958,4	1110-930	tajam	Rentangan P-N dari vibrasi P-N-C
15	796,3	804,6	860-780	tajam	Rentangan C-H keluar bidang
16	718,8	721,1	830-700	sedang-tajam	Rentangan CH deformasi keluar bidang
17	667,2	672,1	~ 655	sedang-tajam	tekuk alkil isotiosianat (N=C=S)

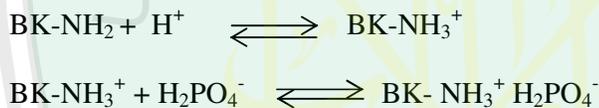
Sumber: Socrates (1994).

Spektra serbuk biji kelor sebelum dan sesudah diinteraksikan dengan fosfat terjadi banyak pergeseran bilangan gelombang antara lain rentangan C-H dari CH aromatik pada serapan bilangan gelombang 2855 cm^{-1} bergeser menjadi $2854,3\text{ cm}^{-1}$, rentangan C=O dari amida sekunder pada serapan bilangan gelombang $1656,2\text{ cm}^{-1}$ bergeser menjadi $1660,4\text{ cm}^{-1}$, rentangan NH deformasi dari amida, serapan bilangan gelombang $1543,1\text{ cm}^{-1}$ bergeser menjadi $1540,1\text{ cm}^{-1}$, vibrasi gantung $-\text{CH}_2-$ dari alkana pada serapan bilangan gelombang $1457,6\text{ cm}^{-1}$ bergeser menjadi $1459,1\text{ cm}^{-1}$, rentangan C-H keluar bidang pada serapan bilangan gelombang $796,3\text{ cm}^{-1}$ bergeser menjadi $804,6\text{ cm}^{-1}$, dan vibrasi pada tekuk alkil isotiosianat ($\text{N}=\text{C}=\text{S}$) pada serapan bilangan gelombang $667,2\text{ cm}^{-1}$ bergeser menjadi $672,1\text{ cm}^{-1}$. Pergeseran ini diduga karena gugus-gugus tersebut telah berinteraksi dengan fosfat.

Kesamaan gugus inilah yang menjadi parameter untuk menyatakan bahwa sebagian besar interaksi fosfat dengan biji kelor adalah proses adsorpsi fisika. Adsorpsi tersebut bersifat reversibel dan cepat, selain itu juga terjadi adsorpsi kimia yang ditunjukkan dengan terbentuknya vibrasi-vibrasi baru pada serbuk biji kelor seperti vibrasi akibat rentangan $-\text{CH}$ simetri deformasi pada serapan bilangan gelombang $1371,6\text{ cm}^{-1}$, vibrasi akibat rentangan $\text{P}=\text{O}$ yang diduga dari senyawa fosfat pada serapan gelombang $1163,3\text{ cm}^{-1}$, dan rentangan $\text{P}-\text{N}$ yang diduga dari vibrasi $\text{P}-\text{N}-\text{C}$ pada serapan bilangan gelombang $958,4\text{ cm}^{-1}$. Sukardjo (2002) menyatakan bahwa adsorpsi kimiawi terjadi dengan terbentuknya senyawa kimia sehingga ikatan yang terjadi lebih kuat, hal ini juga dikuatkan dengan

Ndabingengesere (1994:178) yang menyatakan bahwa sebagian besar proses koagulasi biji kelor adalah proses adsorpsi dan penetralan muatan.

Spektra serbuk biji kelor sesudah diinteraksikan dengan fosfat menunjukkan adanya kenaikan intensitas seperti pada vibrasi $-CH_2-$ asimetri dan rentangan C-H aromatik yang dikarenakan adanya fosfat yang terikat pada biji kelor. Rentangan P=O juga terdapat pada spektra sesudah diinteraksikan dengan biji kelor yang diduga dari senyawa fosfat pada serapan gelombang $1163,3\text{ cm}^{-1}$ dan rentangan P-N yang diduga dari vibrasi P-N-C pada serapan bilangan gelombang $958,4\text{ cm}^{-1}$, data ini menunjukkan bahwa fosfat berikatan dengan N, nitrogen, yang diduga dari NH_3^+ yang berasal dari protein biji kelor. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:

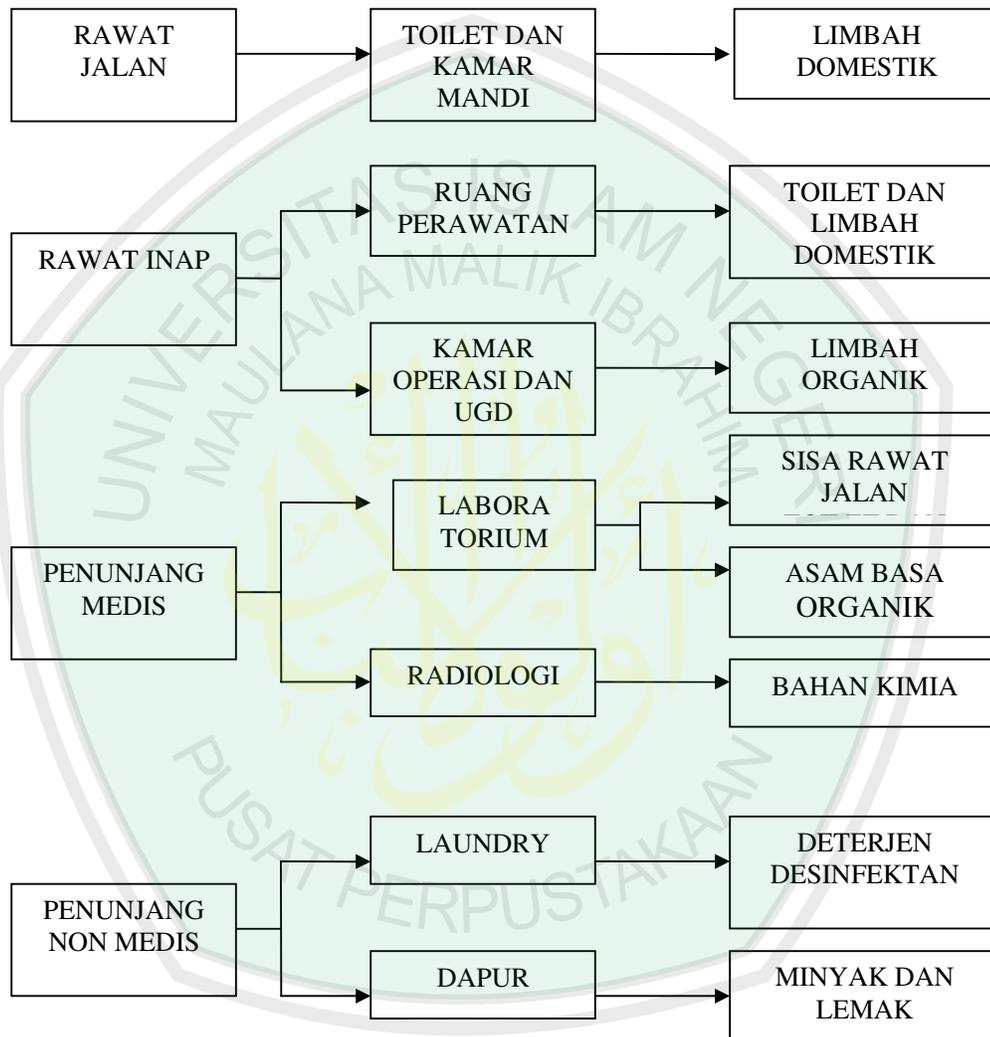


Keterangan : BK = gugus lain dalam biji kelor.

4.6 Aplikasi Biji Kelor Dalam Mengurangi Konsentrasi Fosfat Limbah Cair Rumah Sakit Umum Dr. Saiful Anwar Malang

Jenis, kuantitas, dan kualitas limbah cair rumah sakit dipengaruhi oleh beberapa faktor tergantung kebijakan tentang suplai dan perlengkapan maupun tipe dari spesialisasi medis yang dilaksanakan. Faktor yang mempengaruhi jenis dan kuantitas limbah cair rumah sakit antara lain: 1). Tingkat pelayanan medis, 2). Jumlah kunjungan, 3) Jenis penyakit, dan 4). Jumlah pasien. Kegiatan-kegiatan di rumah sakit yang mempengaruhi kualitas maupun kuantitas limbah cair rumah sakit terdiri dari berbagai sumber, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar

4.18 sebagai berikut (IPL RSUD Dr. Saiful Anwar, 2007 dalam Cristiningrum (2008, 16):



Gambar 4.18 Skema Kegiatan Rumah Sakit Umum Dr. Saiful Anwar, Malang (Sumber: Cristiningrum, 2008)

Instalasi pengolahan limbah cair rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang telah sejak tanggal 31 Maret 2004 untuk menanggulangi pencemaran. Sistem pengolahan limbah cair rumah sakit melalui berbagai tahapan antara lain

sistem penyaluan pipa, sistem pengumpulan, *screen*, *buffer basin*, *fluidized bed biofilm reactor*, *settling basin (secondary clarifier)*, *treated water basin*, *storage basin* dan *mixing tank*, *dewatering unit*, dan *desinfection basin* (Cristiningrum, 2008: 19-30), namun secara umum pengolahan limbah rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang sesuai dengan tahapan pengolahan limbah cair rumah sakit. Soeparman dan Soeparmin (2001) menyatakan bahwa kegiatan pengolahan limbah cair secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi 6 bagian, antara lain:

1. Pengolahan pendahuluan (*pre treatment*)

Pengolahan pendahuluan bertujuan untuk mensortir kerikil, lumpur, menghilangkan zat padat dan memisahkan lemak agar mempercepat dan memperlancar proses selanjutnya.

2. Pengolahan pertama (*primary treatment*)

Pengolahan pertama bertujuan untuk menghilangkan zat padat tercampur melalui pengendapan atau pengapungan, sehingga akan mengurangi kebutuhan oksigen pada pengolahan biologis. Bahan kimia dapat ditambahkan untuk menetralkan keadaan atau meningkatkan pengurangan partikel kecil yang tercampur.

3. Pengolahan kedua (*secondary treatment*)

Pengolahan kedua mencakup proses biologis untuk mengurangi bahan-bahan organik melalui kerja mikroorganisme yang ada di dalamnya, terdapat dua hal penting yang perlu dilakukan, yaitu proses penambahan oksigen dan proses pembunuhan bakteri.

4. Pengolahan ketiga (*tertiary treatment*)

Pengolahan ketiga baru dilakukan bila pengolahan pertama dan kedua masih banyak terdapat zat-zat tertentu yang masih berbahaya bagi masyarakat umum.

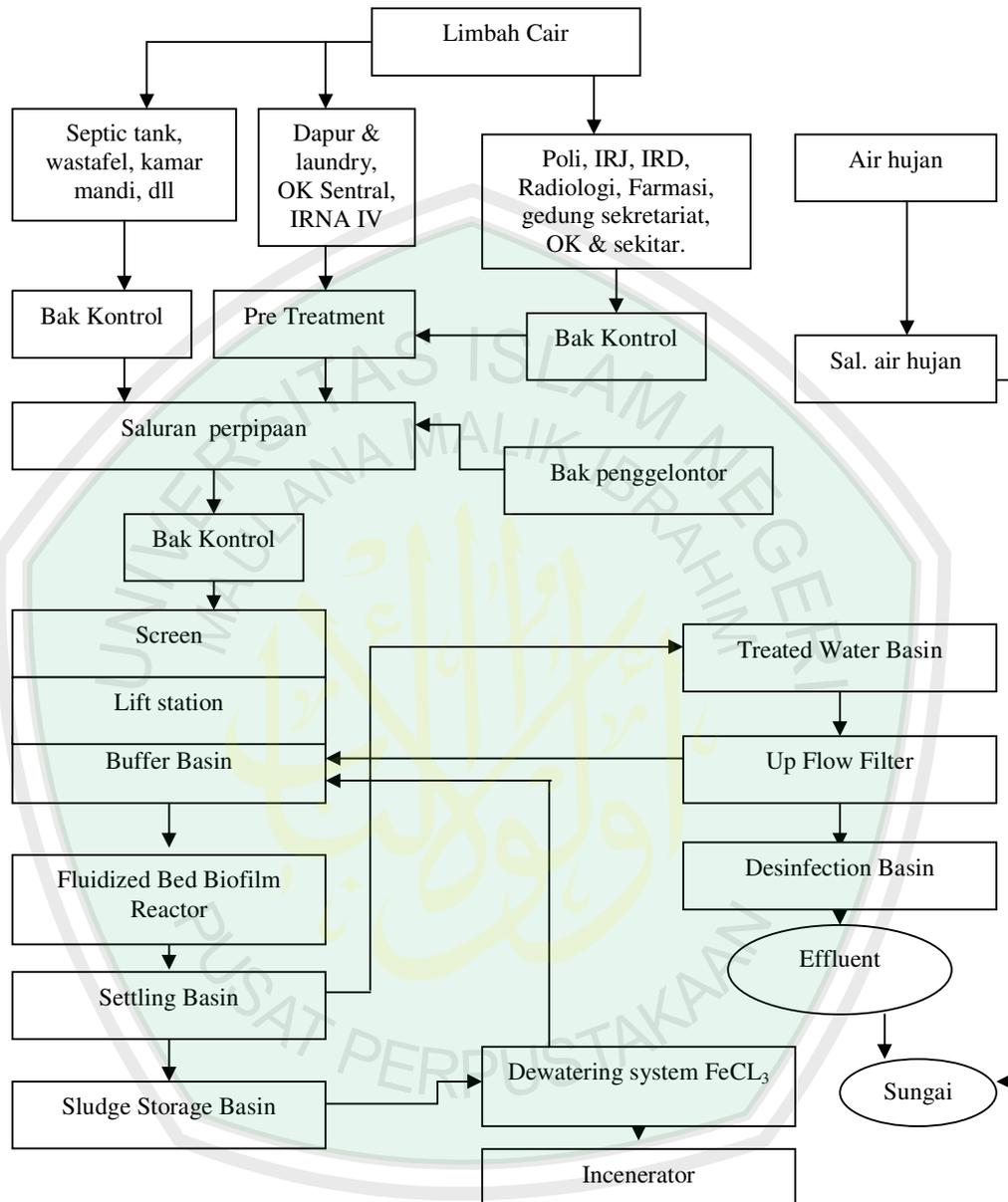
5. Pembunuhan bakteri (*desinfection*)

Desinfeksi bertujuan untuk mengurangi atau membunuh mikroorganisme patogen yang ada dalam limbah cair. Pada tahap ini dapat digunakan pembubuhan kimia, bahan radiasi atau panas.

6. Pengolahan lanjut (*ultimate disposal*)

Pengolahan ini melalui proses pemekatan, penstabilan, pengatusan, pengurangan air, pengeringan dan pembuangan.

Skema proses pengolahan limbah cair di rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang adalah sebagai berikut :



Gambar 4.19 Skema Sistem Pengolahan Limbah Cair
(Sumber: IPL RSUD Dr. Saiful Anwar Malang)

Berdasarkan Gambar 4.19, kegiatan rumah sakit pada *laundry* dan dapur merupakan kegiatan penghasil limbah cair. *Laundry* dan dapur merupakan penghasil limbah cair paling besar dibanding sumber yang lainnya, dimana sekitar

54,54% volume limbah cair berasal dari kegiatan ini, selain itu kegiatan ini penghasil limbah cair dengan kandungan fosfat terbesar. Data yang diketahui debit limbah cair rata-rata yang dihasilkan adalah 253,48 m³/hari (IPL, 2007) dengan kapasitas jumlah tempat tidur sebanyak 767 tempat tidur.

Berdasarkan hasil penelitian, penurunan konsentrasi fosfat total optimum sebesar 52,31 % terjadi pada dosis 200 ppm dengan waktu pengendapan 90 menit dalam pH 2 dan ortofosfat sebesar 56,70 % pada pH 2, jika hasil ini dikonversikan dengan debit limbah cair rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang maka diperlukan serbuk biji kelor rata-rata 50,696 kg /hari. Hasil ini tidak terlalu efektif karena kurangnya budidaya biji kelor sehingga untuk mendapatkannya mengalami kendala, selain itu kondisi optimum penurunan konsentrasi fosfat total terjadi pada pH 2. pH asam ini akan berpengaruh pada pemeliharaan peralatan IPL yang terbuat dari besi. Besi dalam suasana asam akan mengalami pengkaratan. Tetapi, pemanfaatan biji kelor dalam mengurangi konsentrasi fosfat total dapat dilakukan pada pH 6 karena tingkat keasaman lebih rendah. Persentase penurunan fosfat total dalam pH netral sebesar 26,52 % dan ortofosfat sebesar 29,78 %. Biji kelor rata-rata yang dibutuhkan dalam pH netral sebesar 50,696 kg /hari.

4.7 Pemanfaatan Biji Kelor (*Moringa Oleifera*, LAMK) Dalam Pengolahan Air Limbah Menurut Perspektif Islam

Manusia sebagai Khalifah mempunyai tugas dan tanggung jawab yang besar untuk memelihara serta melestarikan alam yang merupakan lingkungan hidupnya, sehingga tercipta lingkungan yang nyaman, sehat, dan menjadi sumber

penghidupan bagi kesejahteraan umat manusia dari generasi ke generasi selanjutnya (Gani, 1994). Allah Swt berfirman:

هُوَ الَّذِي خَلَقَ لَكُمْ مَّا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا ثُمَّ أَسْتَوَىٰ إِلَى السَّمَاءِ فَسَوَّاهُنَّ سَبْعَ سَمَوَاتٍ وَهُوَ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ﴿٢٩﴾

”Dia-lah Allah, yang menjadikan segala yang ada di bumi untuk kamu dan dia berkehendak (menciptakan) langit, lalu dijadikan-Nya tujuh langit. dan dia Maha mengetahui segala sesuatu.” (Qs. al-Baqarah/2: 29).

Allah Swt memberikan alam semesta ini untuk manusia untuk dimanfaatkan, dipelihara sekaligus untuk dikelolanya, tetapi dalam pemanfaatan dan pengelolanya manusia dianjurkan untuk tidak berlebih-lebihan (*walâtusrifū*) karena sisanya akan terbuang sia-sia dan Allah Swt tidak menyukai manusia yang berlebih-lebihan (*innahu lâ yuhibbu al-musrifin*). Islam juga mengajarkan bahwa hak kita dalam memanfaatkan alam juga dibatasi dengan hal alam dan isinya itu sendiri.

﴿ يَبْنَىٰ ءَادَمَ خُذُوا زِينَتَكُمْ عِنْدَ كُلِّ مَسْجِدٍ وَكُلُوا وَاشْرَبُوا وَلَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ ﴿٣١﴾

”Hai anak Adam, pakailah pakaianmu yang indah di setiap (memasuki) mesjid, makan dan minumlah, dan janganlah berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan.” (Qs. Al A’râf/7:31).

Allah Swt juga memperkuat larangannya dalam pemakaian berlebih-lebihan karena sifat yang berlebih-lebihan akan menimbulkan kemudhorotan,

terutama dalam pemanfaatan sumber daya alam. Allah Swt berfirman dalam al-Qur'an.

﴿ وَهُوَ الَّذِي أَنْشَأَ جَنَّاتٍ مَّعْرُوشَاتٍ وَغَيْرَ مَعْرُوشَاتٍ وَالنَّخْلَ وَالزَّرْعَ مُخْتَلِفًا أَكْلُهُمْ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُتَشَابِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ كُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَءَاتُوا حَقَّهُ يَوْمَ حَصَادِهِ وَلَا تُسْرِفُوا إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ ﴾

"Dan dialah yang menjadikan kebun-kebun yang berjunjung dan yang tidak berjunjung, pohon korma, tanam-tanaman yang bermacam-macam buahnya, zaitun dan delima yang serupa (bentuk dan warnanya) dan tidak sama (rasanya). Makanlah dari buahnya (yang bermacam-macam itu) bila dia berbuah, dan tunaikanlah haknya di hari memetik hasilnya (dengan disedekahkan kepada fakir miskin); dan janganlah kamu berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang yang berlebih-lebihan." (Qs. al-An'am/6: 141).

"Berlebih-lebihan" dalam ayat ini kata yang digunakan adalah kata "israf", yang berarti "khata" yang berarti bersalah. Kata *israf* dalam ilmu fiqih bermakna "mubadzir" atau "boros" (Hasan, 2006:418). Ayat diatas menjelaskan tentang larangan berlebih-lebihan dalam menggunakan dan memanfaatkan sumber daya alam seperti halnya penggunaan fosfat dalam pembuatan detergen. Penggunaan detergen dan fosfat yang berlebihan akan berdampak pada kerusakan (*al-fasâd*) ekosistem di perairan biotik maupun mikroorganisme.

Kerusakan alam di darat dan di laut (*al-fasâd fî al-barri wa al-bahr*) karena ulah tangan manusia sendiri (*kasabat aidî an-nâs*), semakin banyak dosa dan pelanggaran manusia mengakibatkan gangguan keseimbangan di darat dan di laut. Allah Swt berfirman:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي
عَمَلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

"Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan Karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)." (Qs. ar-Rūm/30: 41)

Kata *zahara* pada mulanya berarti sesuatu di muka bumi, sehingga di permukaan menjadi nampak dan terang serta diketahui dengan jelas. Kata *al-fasâd* menurut al-Ashfahani adalah keluarnya sesuatu keseimbangan, baik sedikit maupun banyak. Beberapa ulama kontemporer memahaminya dalam arti kerusakan lingkungan (Shihab, 2002: 76-77).

Allah Swt menciptakan semua makhluk saling kait-berkait seperti adanya rantai makanan dalam ekosistem, dalam keterkaitan itu lahir keserasian dan keseimbangan dari yang terkecil hingga terbesar, jika terjadi gangguan pada keseimbangan lingkungan (*al-fasâd*) maka akan berdampak pada manusia sebagai salah satu bagian rantai ekosistem itu (Shihab, 2002). Bertolak dari berbagai masalah, sebaiknya manusia menjaga keseimbangan ekosistem dengan melestarikan atau memulihkan kembali keseimbangan lingkungan (*wa ahsinū*)
Sebagaimana firman Allah Swt yang berbunyi:

وَأَحْسِنُوا إِنَّ اللَّهَ يُحِبُّ الْمُحْسِنِينَ ﴿١٩٥﴾

".... dan berbuat baiklah, (karena) Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang berbuat baik." (Qs. al-Baqarah/2: 195).

Kata *ihsan* di dalam al-Qur'an mempunyai dimensi pengertian yang luas dan mencakup berbagai aspek hubungan, di samping aspek hubungan manusia dan Tuhan termasuk juga aspek hubungan dengan dirinya sendiri dengan sesama dan manusia dengan alam lingkungan sekitar (Gani, 1994:178). Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah Swt memerintahkan manusia untuk berbuat baik terhadap sesama manusia ataupun lingkungan dengan tetap menjaga kelestarian lingkungan atau mencegah terjadinya pencemaran lingkungan terutama yang disebabkan oleh kandungan fosfat yang terlalu tinggi.

Berdasarkan hasil penelitian, biji kelor dapat digunakan salah satu alternatif kogulan dalam pengolahan limbah cair rumah sakit. Pengolahan ini sangat penting karena kadar fosfat dalam outlet limbah cair rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang masih di atas ambang batas (> 2 mg/L). Keadaan ini sangat berpengaruh pada keseimbangan ekosistem sungai Brantas sebagai pembuangan terakhir limbah cair rumah sakit karena sungai Brantas sangat berperan dalam sistem pengairan di kota Malang. Hal ini membuktikan kebenaran al-Qur'an dalam surat Shâd ayat 27, yang berbunyi:

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَطْلًا ۚ ذَٰلِكَ ظَنُّ الَّذِينَ كَفَرُوا ۚ فَوَيْلٌ

لِلَّذِينَ كَفَرُوا مِنَ النَّارِ ﴿٢٧﴾

"Dan kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya tanpa hikmah. Yang demikian itu adalah anggapan orang-orang kafir, Maka celakalah orang-orang kafir itu Karena mereka akan masuk neraka." (Qs. Shâd/38:27).

Pemanfaatan biji kelor (*habbân*) merupakan solusi penanganan pencemaran lingkungan membuktikan kebesaran Allah Swt, tiada penciptaan-Nya yang sia-sia (*wa mâ bainahumâ bathîlâ*) walaupun itu sekecil biji kelor (*habbân mutarökibbân*).



BAB V

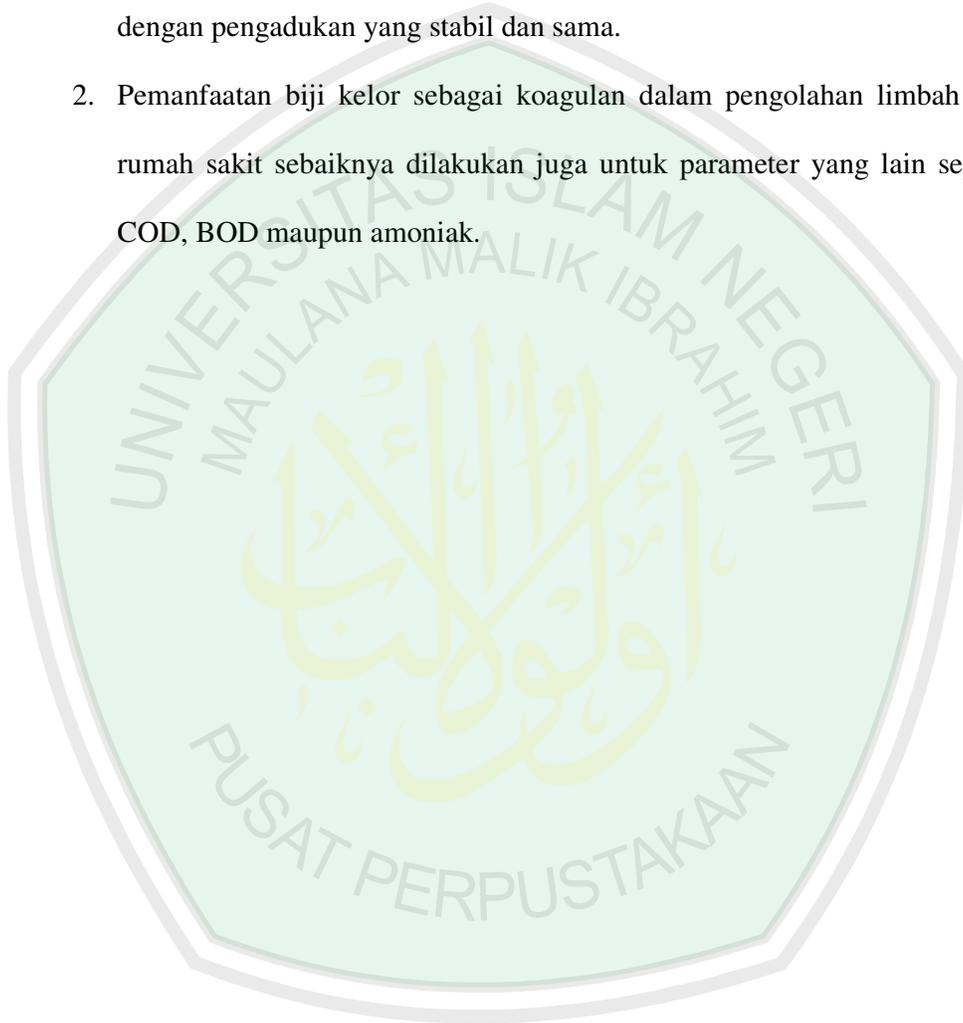
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Dosis optimum kaagulasi fosfat limbah cair rumah sakit umum Dr. Saiful Anwar Malang menggunakan biji kelor yang 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.
2. Penurunan konsentrasi fosfat paling besar diperoleh 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.
3. Penurunan konsentrasi fosfat terbesar terjadi pada kondisi pH larutan 2, hal ini dikarenakan gugus $-\text{NH}_3^+$ yang telah terbentuk sempurna atau lebih besar dari pada gugus $-\text{NH}_2$ pada pH larutan asam dan pada pH 2 fosfat membentuk senyawa H_2PO_4^- .

5.2 Saran

1. Penentuan kondisi optimum koagulasi sebaiknya dilakukan dengan prosedur *jar test* karena dapat meminimasi kesalahan dalam analisa dengan pengadukan yang stabil dan sama.
2. Pemanfaatan biji kelor sebagai koagulan dalam pengolahan limbah cair rumah sakit sebaiknya dilakukan juga untuk parameter yang lain seperti COD, BOD maupun amoniak.



DAFTAR PUSTAKA

- Alert,G. Dr., Ir dan Sumestri Sri Santika,MSc.Ir., 1987, *Metode Penelitian Air*, Surabaya: Usaha Nasional, Hal: 232
- Anonimous, 2006, *Limbah Rumah Sakit: Berbahaya Bagi Kesehatan Lingkungan*, Bali Post, <http://www.balipost.co.id/balipostcetak/2006/10/2/ling1.htm>, Diakses tanggal 17 Juli 2007
- Anonimous^a, 2007, *BPPT Perkenalkan Pengolahan Air Limbah Melalui Pengendapan Kimia*, BPPT, http://lc.bppt.go.id/ipitek/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=35, Diakses tanggal 17 Juli 2007
- Anonimous^b, 2007, *Instalasi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakit*, IPTEK-BPPT, http://lc.bppt.go.id/ipitek/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=35, Diakses tanggal 17 Juli 2007
- Anonimous^c, 2007, *Keggin Structure*, <http://ms.wikipedia.org/wiki/keggin-structure>, Diakses tanggal 20 April 2008
- Anonimous^d, 2007, *Molybdenum Blue*, http://ms.wikipedia.org/wiki/molybdenum_blue.htm, Diakses tanggal 30 Januari 2008
- Anonimous^e, 2007, *Moringa*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Moringa>. Diakses tanggal 4 April 2007
- Anonimous^f, 2007, *Kelor*, http://www.ipitek.net.id/ind/pd_tanobat/view.php?id=144, Diakses tanggal 4 April 2007
- Anonimous^g, 2007, *Keputusan Menteri Negara Kependudukan Dan Lingkungan Hidup*, Nomor: kep-02/MENKLH/i/1988. Tentang Pedoman Penetapan Baku Mutu Lingkungan, Diakses tanggal 4 April 2007
- Anonimous^h, 2007, *Overview to The Theoretical Studies on Polyoxometalates*, http://www.tdx.cesca.es/TESIS_URV/AVAILABLE/TDX-0426104-095633/capitol3.pdf, Diakses tanggal 11 Juni 2008
- Arief, Amiruddin, Drs., 1989, *Biologi Umum I*, Malang: IKIP Malang, Hal: 128

- Atkins, P.W., 1990, *Kimia Fisik Jilid I*, Terjemahan Kartohadiprodo, Jakarta: Erlangga
- Beran, Kamilah, 2007, *Bahaya Bahan Sediaan di Rumah Sakit Pada Sabun dan Bahan Pencuci*, Pusat Racun Negara. USM, Kualalumpur, [Http://www.prn2.usm. my/ mainsite/bulletin/ kosmik/ 1996/ kosmik 11. html](http://www.prn2.usm.my/mainsite/bulletin/kosmik/1996/kosmik11.html), Diakses tanggal 27 Juli 2007
- Christinningrum, 2008, *Studi Evaluasi Sistem Pengolahan Limbah Cair Di Rumah Sakit Umum Dr. Saiful Anwar Malang*, Skripsi, Fakultas Teknik, Jurusan Teknil Sipil, Universitas Brawijaya, Malang
- Clessceri, L.S., EG Arnorld.R.R. Trussel and A.H.F. Mory, 1989, *Standart Methods for The Examination of Water and Wastewater*, 17th Ed, Washington: AWWA and APLF
- Cresswell, Clifford.J, Olaf A. Runquist, Malcolm M. Campbell, 2005, *Analisis Spektrum Senyawa Organik*, Alih bahasa: Kosasih Padmawinata dan Ny. Iwang Soediro, Bandung: ITB
- Day, Jr and Underwood, Al, 1999, *Analisa Kimia Kuantitatif*, Jakarta: Erlangga
- Dwiryanti, D., 2005, *Pengolahan Lindi Dengan Biji Moringa Oleifera, Lamk Dan Membran Mikrofiltrasi*, Makalah Seminar Kimia Lingkungan VII, Surabaya
- Dwidjoseputro, D., 1994, *Ekologi Manusia Dengan Lingkungannya*, Jakarta: Erlangga
- Effendy, 2006, *Spektroskopi UV-VIS Senyawa Koordinasi*, PSSJ Pendidikan Kimia, Program Pasca Sarjana, Malang: Universitas Negeri Malang
- Fachrul, Melati Ferianita, Herman Haeruman, dan Anita Anggraeni, 2006, *Distribusi Spatial Nitrat, Fosfat dan Ratio N/P di Perairan Teluk Jakarta*, Teknik Lingkungan, Universitas Trisakti, Disampaikan pada Seminar Nasional Penelitian Lingkungan di Perguruan Tinggi, IATPI –Teknik Lingkungan ITB, Bandung, Tanggal 17-18 Juli 2006

- Fahey, Jed.W., 2005, *Moringa oleifera: A Review Of The Medical Evidence For Its Nutritional, Therapeutic, and Prophylactic protpertis, Part I*, http://www.tfljournal.org/article.php/20051_20112_4931_586, Diakses tanggal 14 Desember 2007
- Fahrizal, 2004, Mewaspada *Bahaya Limbah Domestik Di Kali Mas*, Portal Lingkungan Hidup dan Pembangunan Berkelanjutan, Surabaya, http://tm.lib.itb.ac.id/go.php?id=jbpk_simba_gdl_grey-2002-inyomanpar-3, Diakses tanggal 23 April 2008
- Fatah, R.A, dan Sudarsono., 1992, *Ilmu dan Teknologi Dalam Islam*, Jakarta: Departemen Agama RI
- Fessenden, R.J and Fessenden, J.S., 1999, *Kimia Organik II*, Terjemahan Pudja Atmika, Jakarta: Erlangga
- Firdayati, Mayrina dan Handajani, Marisa, 2005, *Studi Karakteristik Dasar Limbah Industri Tepung Aren*, Penerbit Departemen Teknik Lingkungan, Bandung, *Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan Binaan Infrastructure and Built Environment Volume I, No. 2, Desember 2005*, [www.ftsl.itb.ac.id/wp-content/uploads/2007/04/ Studi% 20 Karakteristik.PDF](http://www.ftsl.itb.ac.id/wp-content/uploads/2007/04/Studi%20Karakteristik.PDF), Diakses tanggal 5 April 2007
- Gani, B.A dan Umam, C., 1994, *Beberapa Aspek Ilmiah Tentang Qur'an*, Jakarta: PT. Pustaka Lintera Antar Nusa
- Hammer, Mark, J and Hammer, Mark J.Jr., 1996, *Water and Wastewater Technology*, Third Edition, Prentice Hall International Edition
- Hayati, Elok Kamilah, 2007, *Buku Ajar Kimia Spektroskopi*, Jurusan Kimia UIN Malang, Malang, Hal: 17-20
- Hidayat, S., 2003, *Efektifitas Bioflokulan Biji Moringa Oleifera Dalam Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Pulp Dan Kertas*, [http:// digilib. lb itb.ac.ai/ go.php](http://digilib.lb.itb.ac.ai/go.php), Diakses tanggal 25 Maret 2007
- Hidayat, S., 2006, *Pemberdayaan Masyarakat Bantaran Sungai Lematang Dalam Menurunkan Kekeruhan Air Dengan Biji Kelor (Moringa oleifera, Lamk) Sebagai Upaya Pengembangan Proses Penjernihan Air*. Disertasi, Program Pasca Sarjana, Universitas Negeri Malang

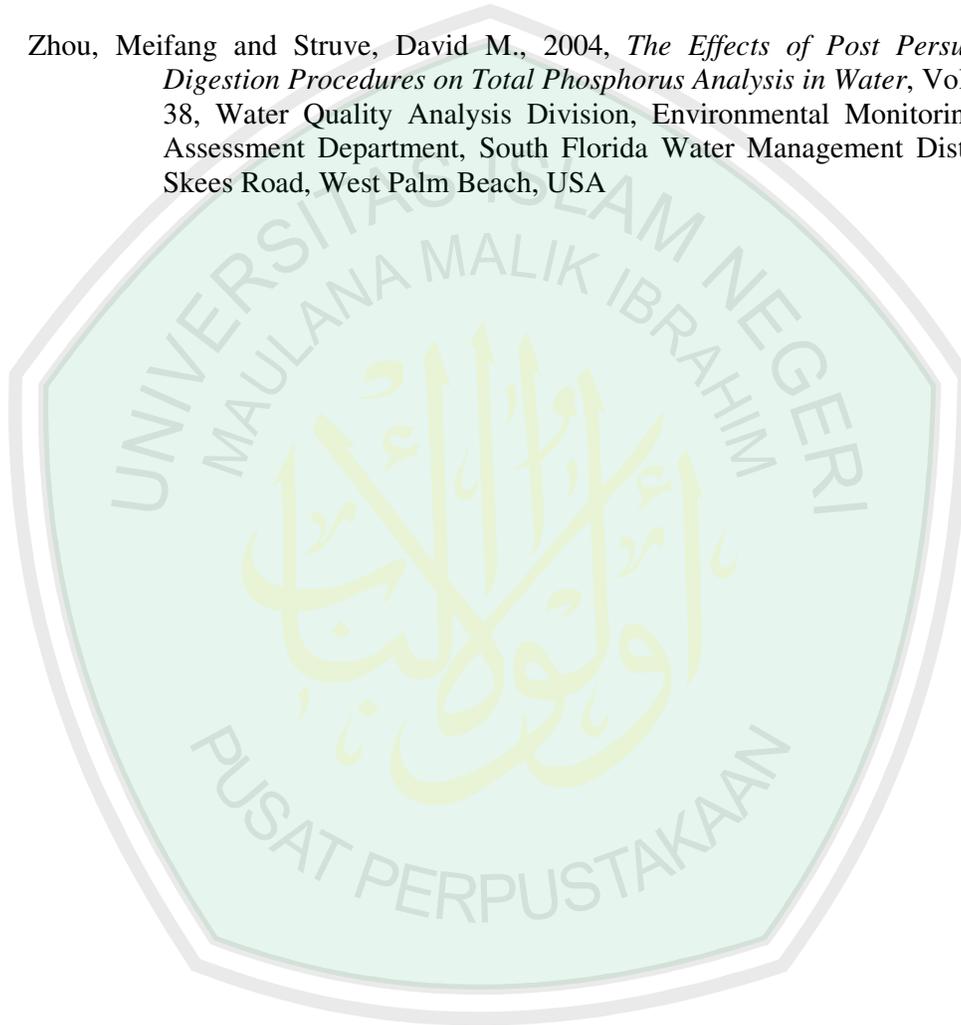
- Ibnu, M. Sodik, dkk., 2005, *Kimia Analitik I*, Malang: UM-press
- Katayon, S., M.J. Megat Mohd Noor, M.Aasma, A.M. Thamer, A.G. Liew Abdullah, A.Idris, A.M. Suleyman, M.B. Aminuddin dan B.C. Khor, 2004, *Effects of Storage Duration and Temperature of Moringa Oleifera Stock Solution on Its Performance in Coagulation*, International Journal Of Engineering and Technology, Volume 1, No.2, Hal:146-151
- Khopkar, S.M., 1990, *Konsep Dasar Kimia Analitik*, Jakarta: UI Press
- Linggawati, Muhdarina, Harapan Sianturi, 2002, *Efektivitas Pati-Fosfat Dan Aluminium Sulfat Sebagai Flokulan Dan Koagulan*, Jurnal Natur Indonesia 4 (1), Jurusan Kimia-FMIPA, Universitas Riau
- Metcalf and Edy, 2003, *Wastewater Engineerin: Treatment And Reuse*, Fourth Edition, Washington: McGraw- Hill Companies, Inc
- Mihajlovi, Randjelp, Nataar, Ignjatovi, Marijar Todorovi, Ivanka Hoclajtner-Antunovi and Vesnam, Kaljevi, 2002, *Spectrophotometric Determination of Phosphorus in Coal and Coal Ash Using Bismuth Phosphomolybdate Complex*, Volume 68, Yugoslavia: J.Serb. Chem. Soc
- Ndabigengesere, Anselme I, K., Subba Narasiah and Brian G., Talbot., 1995, *Active Agents And Mechanism Of Coagulation Of Turbid Waters Using Moringa Oleifera*, Vol. 29, No. 2, Hal: 703-710, Great Britain: Elsevier Science Ltd
- Neiwert, Wade A., Jennifer J. Cowan, Kenneth I. Hardcastle, Craig L. Hill dan Ira A. Weinstock, 2002, *Stability and Structure in α - and β -Keggin Heteropolytungstates*, Inorganic Chemistry Community, Volume 41, Number. 26, Hal 6951
- Notodarmojo, Suprihanto, Andriani Astuti dan Anne Juliah, 2004, *Kajian Unit Pengolahan Menggunakan Media Berbutir Dengan Parameter Kekeruhan, TSS, Senyawa Organik dan pH*, Bandung: ITB
- Pasya, A.F., 2004, *Dimensi Sains Al Qur'an*, Jakarta: Tiga Serangkai

- Pernitsky, David, 2003, *Coagulation*, Associated Engineering, Alberta: Calgary, Hal: 2
- Petter, D.G., Hayes, J.M., and Heiffjeb, G.M., 1974, *Chemical Operation And Measurement*, First Edition, Philadelphia: W.B. Saunders, Co
- Poedjiadi, Anna, 1994, *Dasar-dasar Biokimia*, Jakarta: UI-Press
- Prayogo, Setiyo, 2006, *Karakteristik Koagulasi Biji Kelor Untuk Menurunkan Kekeruhan Pada Limbah Industri Penyamakan Kulit di Lingkungan Industri Kecil (LIK) Magetan*, Skripsi tidak diterbitkan, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
- Radojevie, Miroslav, Vladimir N.Bashkin, 1999, *The Pratical Environment Analysis*, The Royal Society of Chemistry, Inggris: MPG Books Ltd, Hal 167-243
- Rina, Sofiany, 2004, *Efektivitas Biji Moringa Oleifera Dalam Memperbaiki Sifat Fisika-Kimia Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Di Sukaregang, Garut*, Bandung: ITB, <http://digilib.bi.itb.ac.id/print.php?id=jbptitbbi-gdl-s2-2004-rinasofian-338>, Diakses tanggal 9 April 2007.
- Ritwan, 2004, *Biji Kelor Penjernih Air*, Intisari-RRI-Online, Jakarta, http://www.rri-online.com/modules.php?name=Pendidikan&op=info_pendidikan_detail&id=37, Di akses tanggal 20 Maret 2007
- Santi, Devi Nuraini, 2004, *Pengelolaan Limbah Cair Pada Industri Penyamakan Kulit Industri Pulp Dan Kertas Industri Kelapa Sawit*, Universitas Sumatra Utara, Sumatra Utara, Hal: 1-6
- Sastrohamidjojo, Hardjono, 2001, *Spektroskopi*, Yogyakarta: Liberty.
- Savitri, Evika Sandi, Eny Yulianti, Diana Candra Dewi, 2006, *Pemanfaatan Biji Kelor Sebagai Bioflokulan Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Keramik Di Dinoyo Malang*, Malang: UIN Malang
- Shihab, M. Quraish, 2002, *Tafsir Al Mishbah*, Jakarta: Lentera Hati
- Socrates, G., 1994, *Infrared Characteristics Groups Frequencies Tables and Charts*, Second Edition, London: University of West London

- Soeparman, MSc dan Suparmin, SST, 2001, *Pembuangan Tinja Dan Limbah Cair*, Buku Kedokteran, Jakarta: EGC
- Unus, Suriawiria, 2007, *Aneka Manfaat Kelor*, IPB, Bogor, [http:// www. kompas. com/kompas-cetak/0208/28/iptek/ anek 32. htm](http://www.kompas.com/kompas-cetak/0208/28/iptek/ anek 32. htm), Diakses tanggal 20 Maret 2007
- Utami, Achsin, 1994, *Industri-Industri Penghasil Limbah B3*, Jakarta: Harian Umum Kompas
- Vogel, 1990, *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Mikro*, Edisi ke lima, Bagian II, Jakarta: PT Kalman Media Pusaka
- Widodo, Agus dan Andy Prasetyo, 2005, *Potensi Kitosan Dari Sisa Udang Sebagai Koagulan Logam Berat Limbah Cair Industri Tekstil*, Karya Tulis Ilmiah Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Hal: 7
- Wisaksono, Satmoko, 2001, *Karakteristik Limbah Rumah Sakit dan Pengaruhnya terhadap Kesehatan dan Lingkungan*, Direktorat Pengawasan Narkoba, Direktorat Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan Departemen Kesehatan RI, Jakarta, [http://www.kalbe.co.id/files/cdk/files/17Karakteristik Limbah Rumah Sakit130. pdf/130.html](http://www.kalbe.co.id/files/cdk/files/17Karakteristik%20Limbah%20Rumah%20Sakit130.pdf/130.html), Diakses tanggal 17 Juli 2007
- Yuniato, Dhany, 2005, *Studi Efisiensi Sistem Pengolahan Limbah Cair di RSUD Saiful Anwar Malang Terhadap Parameter BOD, COD, TSS dan Phospat*, Skripsi tidak diterbitkan, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
- Yulianti, Eny, 2005, *Adsorpsi Metil 1-[(Butil Amino) Karbonil]-1H-densimidazol-Z-Karbamat-2 (Benomil) Pada Humin Sebagai Fraksi Tak Larut Tanah Gambut Pontianak Kalimantan Barat*, Tesis, Program Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Yulianti, Eny, 2007, *Studi Interaksi Antara Biji Kelor Terhadap Pestisida Paraquat (1,1 dimetil 4,4-bipiridilium) dan Fosfat Dalam Medium Air*, Laporan Penelitian, Universitas Islam Negeri Malang, Malang

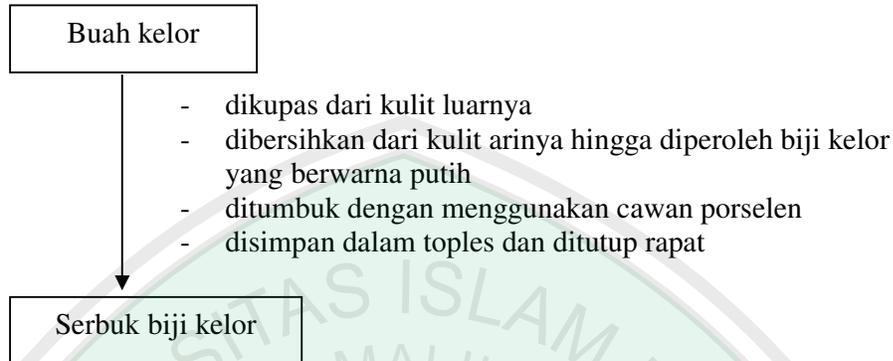
Zamroni, Mufti, 2005, *Studi Efektifitas Pengolahan Limbah Cair Untuk Penurunan Kadar BOD, COD, NH₃ dan Coliform Pada Instalasi Pengolahan Limbah Cair RSUD Dr Saiful Anwar*, Skripsi tidak diterbitkan, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Hal: 20-22

Zhou, Meifang and Struve, David M., 2004, *The Effects of Post Persulfate Digestion Procedures on Total Phosphorus Analysis in Water*, Volume 38, Water Quality Analysis Division, Environmental Monitoring & Assessment Department, South Florida Water Management District, Skees Road, West Palm Beach, USA

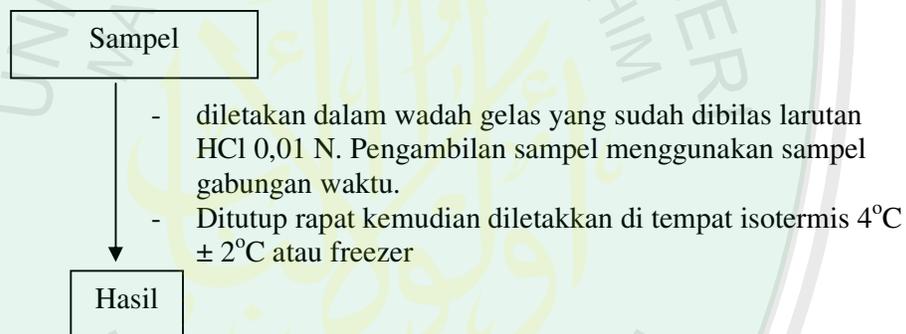


Lampiran 1. Diagram Alir Penelitian

L.1.1 Preparasi Koagulan Biji Kelor

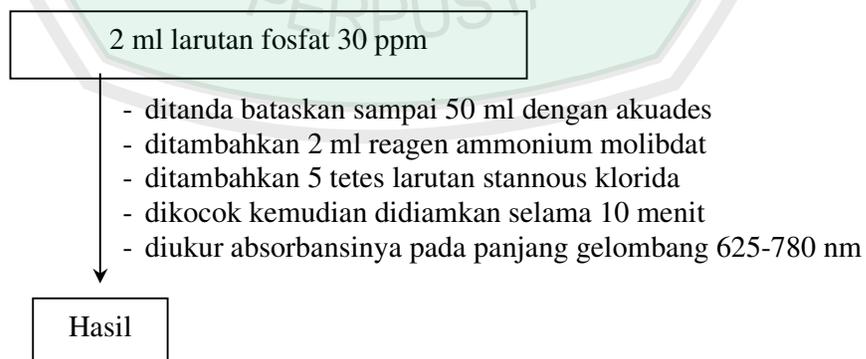


L.1.2 Pengambilan dan Pengawetan Sampel

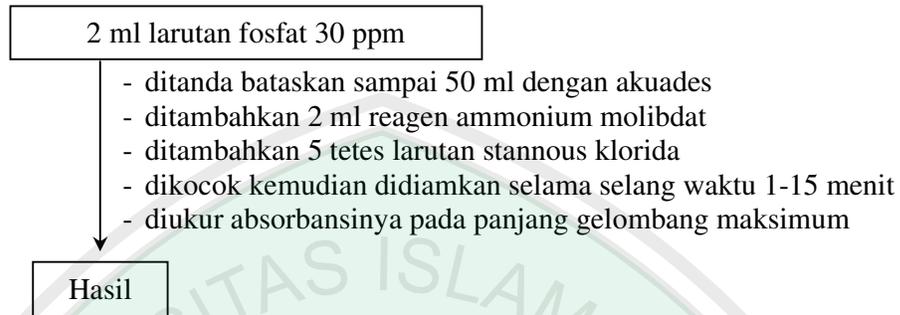


L.1.3 Optimasi Spektrofotometer HACH 4000

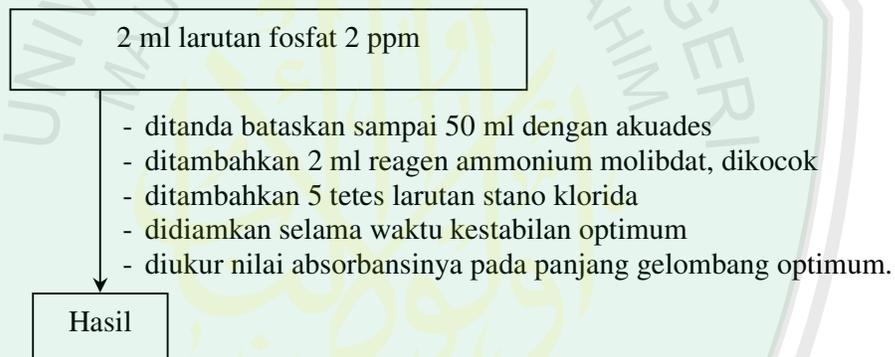
L.1.3.1 Penentuan Panjang Gelombang Maksimum



L.1.3.2 Penentuan Waktu Kestabilan Senyawa Kompleks Heterofosfomolibdat



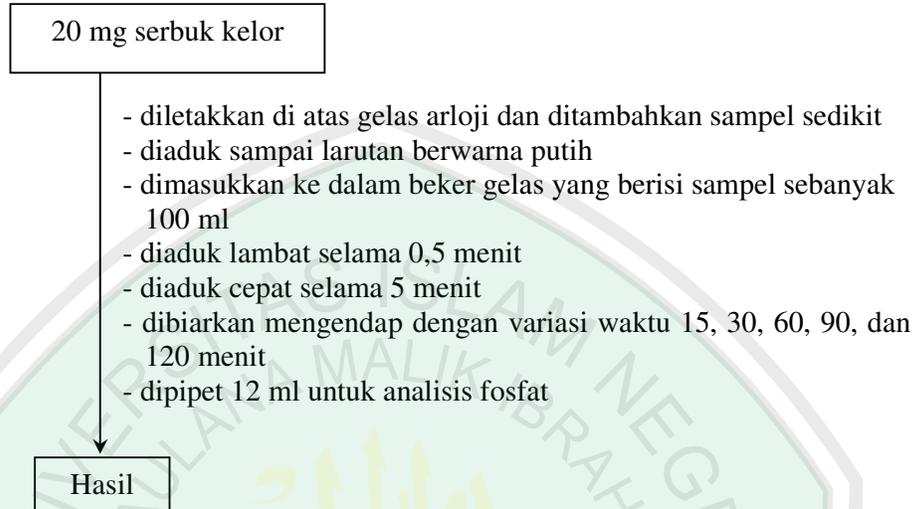
L.1.3.3 Penentuan Sensitivitas dan Batas Deteksi



Catatan:

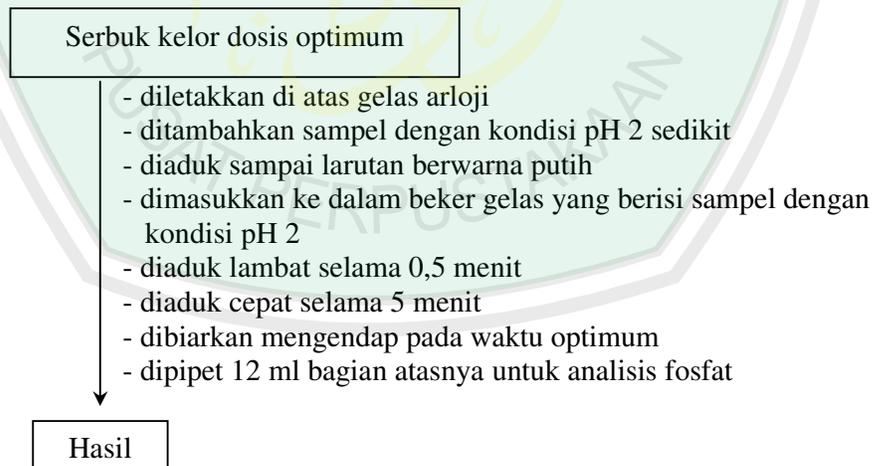
- Perlakuan di atas diulang dengan perlakuan yang sama dengan variasi konsentrasi fosfat 0 ppm; 4 ppm; 6 ppm; 8 ppm; 10 ppm; 20 ppm; dan 30 ppm.
- Pembuatan larutan fosfat 2 ppm yaitu:
$$V_1 \cdot M_1 = V_2 \cdot M_2$$
$$V_1 \cdot 50 \text{ ppm} = 50 \text{ ml} \cdot 2 \text{ ppm}$$
$$V_1 = (100 \text{ ml} \cdot \text{ppm}) / 50 \text{ ppm}$$
$$= 2 \text{ ml}$$
- Masing-masing konsentrasi dibuat dengan rumus dan perlakuan yang sama dengan cara mengambil larutan fosfat 50 ppm sebanyak 2, 4, 6, 8, 10, 20, dan 30 ml.

L.1.4 Penentuan Waktu Pengendapan Dan Dosis Optimum Koagulasi Fosfat Menggunakan Biji Kelor.



Catatan : perilaku di atas diulangi pada konsentrasi kelor 25 mg (250 ppm), 30 mg (300 ppm), 35 mg (350 ppm) dan 40 mg (400 ppm) dalam 100 ml sampel.

L.1.5 Penentuan pH Optimum Koagulasi Fosfat Menggunakan Biji Kelor



Catatan : Perlakuan di atas diulangi pada sampel dengan kondisi pH 3, 4, 5, dan 6.

Lampiran 2. Perhitungan Preparasi Larutan

L.2.1. Larutan Baku Fosfat 50 ppm

Membuat larutan stok fosfat 50 ppm sebanyak 1000 mL dari KH_2PO_4

$$\text{Ar PO}_4 = 94,97 \text{ g/mol}$$

$$\text{Mr K}_2\text{H}_2\text{PO}_4 = 136,06 \text{ g/mol}$$

$$50 \text{ ppm PO}_4 = \frac{\text{berat}}{\text{volume}}, \text{ jika volume larutan } 1000 \text{ mL (1L) maka:}$$

$$50 \text{ ppm PO}_4 = \frac{\text{amg}}{1\text{L}}, \text{ maka massa PO}_4 \text{ yang dibutuhkan:}$$

$$a = 50 \text{ ppm} \times 1 \text{ L}$$

$$a = 50 \text{ mg}$$

sehingga berat $\text{K}_2\text{H}_2\text{PO}_4$ yang dibutuhkan adalah:

$$\text{Berat PO}_4 = \frac{\text{ArPO}_4}{\text{MrKH}_2\text{PO}_4} \times \text{berat KH}_2\text{PO}_4$$

$$50 \text{ mg} = \frac{94,97}{136,06} \times W \text{ (mg)}$$

$$50 \text{ mg} = 0,699 \times W$$

$$W = \frac{50}{0,699}$$

$$W = 70,531 \text{ mg}$$

L.2.2 Pembuatan Reagen Amonium Molibdat

Ammonium molibdat sebanyak 6,25 g dilarutkan dengan 45 ml akuades. Akuades sebanyak 100 ml ditambahkan 70 ml H_2SO_4 pekat pelan-pelan, biarkan sampai dingin. Larutan ammonium molibdat ditambahkan ke larutan asam sulfat, kemudian tanda bataskan sampai 250 ml.

L.2.3 Pembuatan Reagen Stano Klorida

Stano klorida sebanyak 2,5 g dilarutkan dengan 100 ml gliserol. Panaskan untuk mempercepat kelarutannya. Dinginkan.

L.2.4 Larutan HCl 0,01 M

Untuk membuat larutan HCl 0,01 M sebanyak 500 mL:

$$\text{bj HCl pekat} = 1,19 \text{ g/mL}$$

$$\text{Kadar} = 37 \%$$

$$\text{Mr HCl} = 36,461 \text{ g/mol}$$

$$\text{Konsentrasi HCl} = \frac{\text{bj}}{\text{Mr}} \times \% \times \frac{1000\text{mL}}{1\text{L}}$$

$$= \frac{1,19}{36,461} \times 0,37 \times \frac{1000}{1}$$

$$= 0,033 \times 0,37 \times 1000$$

$$= 12,075 \text{ M}$$

HCl 0,01 M 500 mL dihitung dengan rumus

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$0,01 \times 500 = 12,075 \times V_2$$

$$\frac{5}{12,075} = V_2$$

$$V_2 = 0,41 \text{ mL}$$

L.2.5 Larutan NaOH 0,1 M

Untuk membuat larutan NaOH 0,1 M sebanyak 500 ml, maka:

$$\text{Mol NaOH} = M \times V$$

$$= 0,1 \times 0,5 \text{ L}$$

$$= 0,05 \text{ mol}$$

$$\text{Massa NaOH} = \text{mol NaOH} \times \text{Mr}$$

$$= 0,05 \text{ mol} \times 40 \text{ g/mol}$$

$$= 2 \text{ gram}$$

L.2.6 Larutan H₂SO₄ 0,1 M

Untuk membuat larutan H₂SO₄ 0,1 M sebanyak 500 ml

$$\text{bj H}_2\text{SO}_4 = 1,8325 \text{ g/ml}$$

$$\text{Mr H}_2\text{SO}_4 = 98,0776 \text{ g/mol}$$

$$\text{Kadar} = 96 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Konsentrasi H}_2\text{SO}_4 \text{ pekat (M)} &= \frac{\text{bj}}{\text{Mr}} \times \% \times \frac{1000}{1} \\ &= \frac{1,8325}{98,0776} \times 96 \times \frac{1000}{1} \\ &= 0,0187 \times 0,96 \times 1000 \\ &= 17,952 \text{ mol/L} \end{aligned}$$

H₂SO₄ 0,1 M 500 ml dihitung dengan rumus :

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$17,952 \times V_1 = 0,1 \times 500$$

$$V_1 = \frac{50}{17,952}$$

$$V_1 = 2,8 \text{ ml}$$

Lampiran 3. Panjang Gelombang Serapan Maksimum Heterofosfomolibdat

Pjg. Gel (nm)	A₁	A₂	rerata
625	0,599	0,576	0,588
630	0,621	0,597	0,609
635	0,642	0,616	0,629
640	0,663	0,636	0,65
645	0,683	0,654	0,669
650	0,701	0,671	0,686
655	0,718	0,686	0,702
660	0,735	0,702	0,719
665	0,753	0,718	0,736
670	0,767	0,73	0,749
675	0,78	0,743	0,762
680	0,792	0,754	0,773
685	0,802	0,763	0,783
690	0,71	0,77	0,74
695	0,815	0,776	0,796
700	0,818	0,779	0,799
705	0,819	0,78	0,8
710	0,817	0,779	0,798
715	0,813	0,775	0,794
720	0,807	0,769	0,788
725	0,799	0,762	0,781
730	0,79	0,753	0,772
735	0,78	0,743	0,762
740	0,767	0,731	0,749
745	0,753	0,716	0,735
750	0,739	0,703	0,721
755	0,724	0,696	0,71
760	0,708	0,672	0,69
765	0,689	0,65	0,67
770	0,673	0,635	0,654
775	0,658	0,658	0,658
780	0,643	0,643	0,643

Lampiran 4. Absorbansi Penentuan Waktu Kestabilan Heterofosfomolibdat

Waktu	A ₁	A ₂	Rerata
0	0,745	0,719	0,732
1	0,799	0,771	0,785
2	0,812	0,788	0,8
3	0,822	0,798	0,81
4	0,825	0,805	0,815
5	0,828	0,809	0,819
6	0,829	0,812	0,821
7	0,831	0,814	0,823
8	0,832	0,815	0,824
9	0,835	0,816	0,826
10	0,836	0,816	0,826
11	0,822	0,814	0,818
12	0,799	0,803	0,801
13	0,796	0,793	0,795
14	0,795	0,787	0,791
15	0,794	0,784	0,789

Lampiran 5. Data Sensitivitas Dan Limit Deteksi

[Fosfat] ppm	A ₁	A ₂	Rerata
30	0,836	0,816	0,826
20	0,512	0,514	0,513
10	0,237	0,247	0,242
8	0,211	0,216	0,214
6	0,128	0,136	0,132
4	0,094	0,099	0,097
2	0,018	0,025	0,022
0	0	0	0

Lampiran 6. Perhitungan Limit Deteksi

Panjang gelombang optimum = 705 nm

Kestabilan kompleks optimum antara 9-10 menit

[PO ₄]	rerata	X ₂	Y ₂	Y _i	(Y-Y _i) ²
0	0	0	0	-0,0214	0,00045796
2	0,0215	4	0,0005	0,034	0,00015625
4	0,0965	16	0,0093	0,0894	0,00005776
6	0,132	36	0,0174	0,1448	0,00016384
8	0,2135	64	0,0456	0,2002	0,00017689
10	0,242	100	0,0586	0,2556	0,00018496
20	0,513	400	0,2632	0,5326	0,00038416
30	0,826	900	0,6823	0,8096	0,00026896
Jumlah					0,00185078

$$y = bx + a$$

$$y = 0,0277x - 0,0214$$

$$y_B = a = -0,0214$$

standar deviasi blanko secara teori s_B,

$$s_B = \sqrt{\frac{\sum (y - y^{\wedge})^2}{n - 2}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,00185078}{6}}$$

$$= 0,017563$$

$$y = y_B + 3 \cdot s_B$$

$$= -0,0214 + 3 \cdot 0,017563$$

$$= 0,031289$$

Maka berdasarkan persamaan $y = a + bx$ diperoleh harga batas deteksi (x) adalah

$$x = \frac{y - y_B}{b}$$

$$= \frac{0,031289 - (-0,0214)}{0,0277}$$

$$= 1,9$$

Lampiran 7. Hasil Pengukuran Larutan Kontrol

Kelor	Menit ke-	PO ₄	Ptot	Konduktifitas	pH
200	0	16,116	29,148	1,35	6,99
	15	16,007	29,148	1,35	7,05
	30	15,899	29,256	1,35	7,05
	60	16,079	28,931	1,35	7,03
	90	15,863	28,57	1,35	6,98
	120	15,899	28,895	1,36	7,05
250	0	16,116	29,401	1,35	6,98
	15	16,116	28,968	1,35	7,06
	30	16,116	28,209	1,36	7,1
	60	16,152	29,22	1,35	7,09
	90	15,935	29,184	1,35	6,8
	120	15,935	29,112	1,35	6,89
300	0	16,116	29,112	1,35	6,99
	15	16,007	28,931	1,36	6,81
	30	15,935	27,993	1,35	7,02
	60	15,935	28,57	1,35	6,87
	90	15,682	28,931	1,35	6,8
	120	15,863	28,751	1,35	6,87
350	0	16,043	29,401	1,35	7,01
	15	16,007	29,148	1,36	7,03
	30	15,213	28,209	1,35	7,03
	60	15,935	27,957	1,35	6,91
	90	15,574	27,848	1,35	6,94
	120	15,863	28,931	1,36	7,04
400	0	16,152	29,401	1,35	7,01
	15	16,152	28,968	1,36	7,02
	30	16,152	28,57	1,35	6,93
	60	16,007	29,148	1,35	6,93
	90	16,043	28,931	1,35	6,93
	120	16,043	28,606	1,36	7,01

Lampiran 8. Data Penentuan Dosis Dan Waktu Pengendapan Optimum

Dosis Biji Kelor (ppm)	Waktu Pengendapan (Menit)	Absorbansi		konsentrasi fosfat total (ppm)		Fosfat terkoagulasi (ppm)	% rerata fosfat terkoagulasi
		1	2	1	2		
200	0	0,786	0,78	29,148	28,931	0	0
	15	0,758	0,662	28,137	24,671	2,635	9,07
	30	0,653	0,546	24,346	20,483	6,624	22,81
	60	0,653	0,505	24,346	19,003	7,364	25,36
	90	0,498	0,619	18,750	23,119	8,068	27,82
	120	0,68	0,59	25,321	22,072	5,342	18,4
250	0	0,783	0,781	29,039	28,967	0	0
	15	0,628	0,655	23,44	24,418	5,072	17,49
	30	0,588	0,638	22	23,805	6,101	21,03
	60	0,635	0,597	23,696	22,324	5,992	20,66
	90	0,547	0,534	20,519	20,050	8,754	30,15
	120	0,646	0,668	24,093	24,888	4,512	15,56
300	0	0,785	0,78	29,111	28,931	0	0
	15	0,764	0,698	28,353	25,971	1,859	6,41
	30	0,725	0,655	26,945	24,418	3,339	11,51
	60	0,716	0,639	26,620	23,841	3,790	13,06
	90	0,72	0,631	26,765	23,552	3,862	13,31
	120	0,741	0,636	27,523	23,732	3,393	11,69
350	0	0,786	0,785	29,148	29,111	0	0
	15	0,777	0,688	28,823	25,610	1,913	6,57
	30	0,759	0,685	28,173	25,501	2,292	7,87
	60	0,744	0,657	27,631	24,49	3,068	1,53
	90	0,721	0,629	26,801	23,480	3,989	13,69
	120	0,718	0,615	26,693	22,974	4,296	14,75
400	0	0,786	0,783	29,148	29,039	0	0
	15	0,768	0,754	28,498	27,992	0,848	2,91
	30	0,742	0,736	27,559	27,343	1,642	5,65
	60	0,733	0,678	27,234	25,249	2,851	9,8
	90	0,727	0,649	27,018	24,202	3,483	11,97
	120	0,729	0,635	27,090	23,696	3,700	12,72

Lampiran 9. Data Penentuan Dosis Dan Waktu Pengendapan Optimum (Ortofosfat)

Dosis Biji Kelor (ppm)	Waktu Pengendapan (Menit)	Absorbansi		konsentrasi fosfat (ppm)		Fosfat (ppm)	% rerata fosfat terkoagulasi
		1	2	1	2		
200	0	0,423	0,424	16,043	16,079	0	0
	15	0,335	0,295	12,866	11,422	3,917	24,36
	30	0,325	0,287	12,505	11,134	4,242	26,38
	60	0,311	0,284	12	11,025	4,549	28,28
	90	0,34	0,33	13,047	12,686	3,195	29,87
	120	0,346	0,336	13,264	12,903	2,978	18,52
250	0	0,425	0,42	16,116	15,935	0	0
	15	0,303	0,315	11,711	12,144	4,097	25,57
	30	0,3	0,291	11,603	11,278	4,585	28,61
	60	0,288	0,285	11,17	11,061	4,91	30,74
	90	0,296	0,279	11,458	10,845	4,874	30,41
	120	0,298	0,351	11,531	13,444	3,538	2201
300	0	0,425	0,425	16,116	16,116	0	0
	15	0,411	0,37	15,61	14,13	1,245	7,73
	30	0,369	0,354	14,094	13,552	2,292	14,22
	60	0,36	0,331	13,769	12,722	2,87	17,81
	90	0,35	0,318	13,408	12,253	3,285	20,38
	120	0,353	0,285	13,516	11,061	3,827	23,74
350	0	0,423	0,423	16,043	16,043	0	0
	15	0,418	0,385	15,863	14,671	0,776	4,84
	30	0,384	0,364	14,635	13,913	1,769	11,03
	60	0,373	0,36	14,238	13,769	2,04	12,71
	90	0,35	0,349	13,408	13,372	2,653	16,54
	120	0,36	0,352	13,769	13,48	2,419	15,08
400	0	0,426	0,422	16,152	16007	0	0
	15	0,397	0,388	15,105	14,78	1,137	7,07
	30	0,382	0,374	14,563	14,274	1,661	10,33
	60	0,366	0,359	13,986	13,733	2,22	13,81
	90	0,379	0,352	14,455	13,48	2,112	13,13
	120	0,38	0,364	14,491	13,913	1,877	11,67

Lampiran 10. Data Konduktifitas Rata-Rata Terhadap Dosis Dan Waktu Pengendapan

Dosis kelor	waktu pengendapan (menit)					
	0	15	30	60	90	120
0	1,35	1,356	1,352	1,35	1,35	1,356
200	1,35	1,345	1,34	1,34	1,345	1,355
250	1,35	1,345	1,34	1,34	1,34	1,35
300	1,35	1,365	1,355	1,35	1,35	1,35
350	1,35	1,355	1,35	1,345	1,34	1,34
400	1,35	1,36	1,36	1,35	1,35	1,35

Lampiran 11. Data Perubahan pH Rata-Rata Terhadap Dosis Dan Waktu Pengendapan

Dosis kelor	waktu pengendapan (menit)					
	0	15	30	60	90	120
0	6,99	6,99	7,03	6,97	6,89	6,97
200	6,98	6,75	6,68	6,60	6,59	6,62
250	6,99	6,68	6,62	6,57	6,55	6,55
300	6,99	6,74	6,72	6,68	6,67	6,65
350	7,01	6,8	6,77	6,72	6,69	6,63
400	7,01	6,74	6,70	6,66	6,57	6,56

Lampiran 12. Data Optimasi pH Koagulasi (Fosfat Total)

pH	pH Akhir rerata	fosfat awal (ppm)	fosfat tanpa biji kelor diendapkan 90 menit (ppm)	Absorbansi		Fosfat (ppm)		Fosfat rerata (ppm)	fosfat terkoagulasi	t
				1	2	1	2			
2	1,89	28,53	28,53	0,35	0,361	13,40	13,80	13,61	14,92	
3	2,93	29,07	29,08	0,42	0,367	15,93	14,02	14,98	14,09	
4	4,05	27,66	27,31	0,441	0,39	16,69	14,85	15,77	11,89	
5	4,80	28,1	28,06	0,464	0,419	17,52	15,90	16,71	11,39	
6	5,79	29,14	29,11	0,615	0,543	22,97	20,37	21,67	7,47	

Lampiran 13. Data Optimasi pH Koagulasi (Ortofosfat)

pH	pH Akhir rerata	Fosfat rerata (ppm)	fosfat tanpa biji kelor diendapkan 90 menit (ppm)	Absorbansi		Fosfat (ppm)		Fosfat rerata (ppm)	fosfat terkoagulasi	te
				1	2	1	2			
2	1,89	6,60	15,25	0,163	0,16	6,66	6,54	6,60	8,65	
3	2,93	6,48	14,74	0,161	0,155	6,58	3,36	6,48	8,27	
4	4,05	8,06	15	0,199	0,205	7,96	8,17	8,06	6,93	
5	4,80	9,78	15,14	0,241	0,258	9,47	10,09	9,78	5,36	
6	5,79	10,81	15,39	0,268	0,288	10,45	11,17	10,81	4,58	

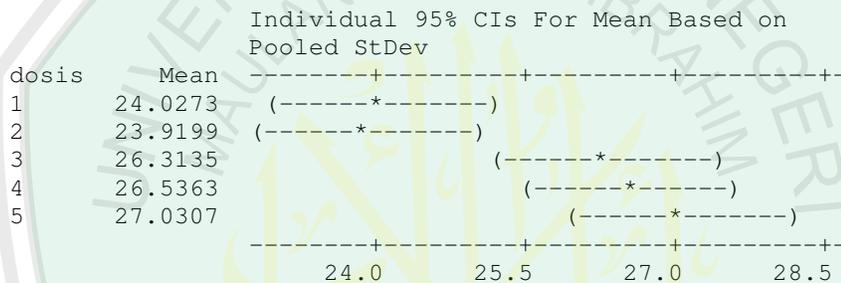
Lampiran 14. Uji Statistik

Uji Pendahuluan: Two-way ANOVA: data versus dosis, waktu

Source	DF	SS	MS	F	P	α
dosis	4	104.673	26.1682	7.40	0.000	0.05
waktu	5	199.161	39.8322	11.26	0.000	0.05
Interaction	20	50.597	2.5298	0.72	0.781	
Error	30	106.108	3.5369			
Total	59	460.538				

Nilai P lebih kecil dari pada 0.05 menunjukkan bahwa adanya beda nyata antara variasi dosis dan waktu pengendapan maka dilanjutkan ke uji BNT (beda nyata terkecil).

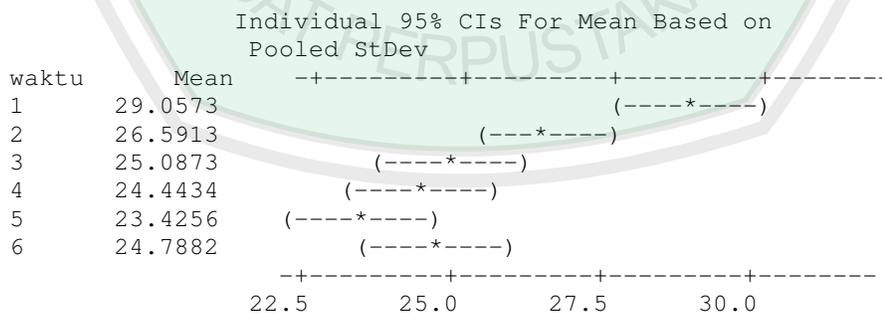
Tabel Uji BNT Dosis Kelor



Keterangan: dosis 1 (200 ppm), 2 (250 ppm), 3 (300 ppm), 4 (350 ppm), 5 (400 ppm).

Tabel BNT di atas menunjukkan bahwa pada dosis 1 (200 ppm) dan 2 (250 ppm) tidak memiliki beda nyata, sehingga dosis optimumnya adalah 200 ppm.

Tabel Uji BNT Waktu Pengendapan



Keterangan: Waktu 1 (0 menit), 2 (1 menit), 3 (30 menit), 4 (60 menit), 5 (90 menit) dan 6 (120 menit).

Tabel BNT di atas menunjukkan bahwa waktu pengendapan 90 menit memiliki beda nyata terkecil di antara variasi waktu pengendapan yang lainnya dan memiliki hasil sisa fosfat yang paling kecil, sehingga menit ke-90 merupakan waktu pengendapan optimum.

Lampiran 15. Dokumentasi Penelitian



L.15.1 Buah Kelor Kering di Pohon



L.15.2 Bak Inlet IPL RSUD Dr. Saiful Anwar Malang



L.15.3 Uji Pendahuluan. a) Biru Molibdenum b) Pengendapan menggunakan biji kelor c) Hasil penyaringan setelah dikoagulasi dengan biji kelor



L.15.4 Spektrofotometer HACH 4000